

**RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD
DEL AIRE DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

MANUEL IGNACIO AMAYA MARTÍNEZ

NANCY GÓMEZ ORDOÑEZ

ISABEL CRISTINA REY ESTUPIÑÁN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2009

**RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD
DEL AIRE DEL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

MANUEL IGNACIO AMAYA MARTÍNEZ

NANCY GÓMEZ ORDOÑEZ

ISABEL CRISTINA REY ESTUPIÑÁN

**Monografía presentada como requisito para optar al título de
Especialista en Ingeniería Ambiental**

Director

EDGAR FERNANDO CASTILLO MONROY

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2009

TITULO: RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DEL
ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

AUTORES: ISABEL CRISTINA REY
MANUEL I. AMAYA
NANCY GÓMEZ ORDOÑEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DIRECTOR ING. EDGAR CASTILLO

PALABRAS CLAVES: AIRE, CALIDAD, GESTIÓN, BUCARAMANGA

CONTENIDO: El objetivo del presente trabajo es hacer una recopilación y análisis de la información disponible, así como de los procesos administrativos de la vigilancia de la calidad del aire del Area Metropolitana de Bucaramanga con el fin de establecer un diagnóstico de acuerdo con los elementos que debe incluir un SGCA (Sistema de Gestión de la Calidad del Aire). Para lograr el objetivo planteado, se realizó un estudio del estado del arte de los diferentes SGCA aplicados en otros países, así como el estado actual de la Gestión de la Calidad del Aire en CDMB, el diseño de la red de monitoreo para el Area Metropolitana de Bucaramanga, su estructura administrativa, Infraestructura técnica y logística, flujo de información e índice de calidad del aire (IBUCA). Con la información obtenida de la red, se procedió a evaluar la calidad, cantidad y acopio de la información disponible, así como el porcentaje de captura de datos para los diferentes parámetros medidos y la validación de estos, tanto para calidad de aire como meteorológico. Los resultados obtenidos están entre otros, que la red de calidad del aire cuenta con una disponibilidad superior al 90% de datos, lo que permite evaluar el comportamiento de los diferentes contaminantes monitoreados en un periodo de tiempo determinado. Adicionalmente se concluye que los contaminantes PM_{10} y Ozono son los de mayor incidencia en la calidad del aire del área metropolitana de Bucaramanga, por tanto, se recomienda continuar con el monitoreo de estos contaminantes. Finalmente se plantean unas recomendaciones en cuanto a la viabilidad de continuar con el monitoreo de algunos parámetros que se han determinado como de poco interés en cuanto a la calidad del aire del Área Metropolitana de Bucaramanga.

RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DEL ÁREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS. ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA. DIRECTOR EDGAR
FERNANDO CASTILLO.

TITLE: COMPILING AND ANALYZING THE AIR QUALITY INFORMATION OF METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA

AUTHORS: ISABEL CRISTINA REY
MANUEL I. AMAYA
NANCY GOMEZ ORDOÑEZ

FACULTY OF PHYSIOCHEMISTRY ENGINEERING
SCHOOL OF CHEMICAL ENGINEERING
DIRECTOR EDGAR FERNANDO CASTILLO

KEY WORDS: AIR, QUALITY, MANAGEMENT, BUCARAMANGA

CONTENT: The aim of this document is compiling and analyzing the available information as well as the administrative process of air quality surveillance in metropolitan area of Bucaramanga to obtain the diagnosis according to the elements that an Air Quality Management System must include. In order to obtain the proposed objective, a study of the state of the art in different quality air management systems applied in other countries was done, as well as the current status of the Air Quality Management in CDMB, the Air Monitoring Network design for Metropolitan area of Bucaramanga, its administrative structure, logistics and technical infrastructure, data flow and Air Quality Index (IBUCA). The obtained results are, among other things, that the Air Quality network counts on an availability data above 90% that permits to evaluate the different measured pollutants behavior in a determined period of time. By using the obtained network information, it proceeded to assess the quality, quantity and storing of the available information, the data collection percent for the different measured parameters and its validation either air quality or meteorological data. In addition, it concludes that PM_{10} and Ozone are the pollutants with the greatest impact in Metropolitan area of Bucaramanga's air quality, therefore, it recommends to continue with monitoring those pollutants. Finally, the document poses some recommendations about viability to continue with monitoring some parameters which are considered not very interesting for Metropolitan area of Bucaramanga's air quality.

COMPILING AND ANALYZING THE AIR QUALITY INFORMATION OF METROPOLITAN AREA OF BUCARAMANGA
FACULTY OF PHYSIOCHEMISTRY ENGINEERING. SCHOOL OF CHEMICAL ENGINEERING. DIRECTOR EDGAR
FERNANDO CASTILLO

CONTENIDO

| | |
|--|-----------------|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| <i>I. MARCO TEÓRICO Y TÉCNICO</i> | <i>2</i> |
| 1.1 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE | 2 |
| 1.1.1 GENERALIDADES:..... | 2 |
| 1.1.2 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE: | 4 |
| 1.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE (SGCA): | 5 |
| 1.2.1 INVENTARIO DE EMISIONES: | 5 |
| 1.2.2 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE:..... | 7 |
| 1.2.3 MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE:..... | 8 |
| 1.2.4 ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS Y ANALISIS DE IMPACTOS EN LA SALUD: | 10 |
| 1.2.5 SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES:..... | 13 |
| 1.2.5.1 Mecanismos para la Recolección de Material Particulado..... | 13 |
| 1.2.5.2 Cámaras de Sedimentación por Gravedad..... | 13 |
| 1.2.5.3 Ciclones..... | 14 |
| 1.2.5.4 Colectores Húmedos..... | 15 |
| 1.2.5.5 Filtros de Mangas..... | 17 |
| 1.2.5.6 Precipitadores Electroestáticos..... | 17 |
| 1.2.5.7 Mecanismos para el Control de la Emisión de Gases..... | 18 |
| 1.3 NORMATIVA COLOMBIANA DE CALIDAD DEL AIRE..... | 19 |
| 1.4 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD DEL AIRE EN OTRAS CIUDADES DEL MUNDO..... | 26 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.4.1 | ESTRATEGIAS APLICADAS..... | 26 |
| 1.4.1.1 | BOGOTA, COLOMBIA. Estrategia basada en sistemas de transporte sustentable..... | 26 |
| 1.4.1.2 | DELHI, INDIA. Estrategias basadas en legislación..... | 26 |
| 1.4.1.3 | BANGKOK, TAILANDIA. Estrategias basadas en tecnología disponible..... | 27 |
| 1.4.1.4 | QUITO, ECUADOR. Estrategia basada en arborización | 28 |
| 1.4.1.5 | CIUDAD DE MEXICO, MEXICO. Programa para mejorar la calidad del aire en el área metropolitana del Valle de la Ciudad de México. PROAIRE..... | 28 |
| 1.4.1.6 | Estrategias regionales en America Latina y el Caribe..... | 29 |

II. GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA31

2.1 JURISDICCIÓN DE CDMB31

2.2 ASPECTOS AMBIENTALES DE CALIDAD DEL AIRE DE CDMB.....31

2.2.1 Principales fuentes:.....31

2.2.2 Contaminantes Problema:.....32

2.3 ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CDMB.....32

2.3.1 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE33

2.3.2 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE.....33

2.3.2.1 Diseño de la Red de Monitoreo:.....33

2.3.2.2 Conformación actual de estaciones:35

2.3.2.3 Objetivos de la Red.....39

2.3.2.4 Estructura Administrativa y personal de la Red40

2.3.2.5 Infraestructura Técnica y logística42

2.3.2.6 Software.....42

2.3.2.7 Flujo de la Información.....43

| | | |
|----------|---|----|
| 2.3.2.8 | Reporte de la Calidad del Aire | 44 |
| 2.3.2.9 | Índice de la calidad del Aire | 44 |
| 2.3.2.10 | Aspectos relacionados con el aseguramiento y control de calidad del los datos:..... | |
| | | 45 |
| 2.3.3 | Estudios epidemiológicos..... | 50 |
| 2.3.4 | Documentos sobre necesidades de gestión y desarrollo normativo hacia el control de fuentes de emisión | 50 |
| 2.3.5 | Estudio de quejas..... | 51 |
| 2.3.6 | Deterioro de la calidad del aire (mediciones previas)..... | 51 |
| 2.3.7 | Estudios académicos | 53 |
| 2.3.7.1 | Información sobre el diseño de redes anteriores a la existente | 54 |

III. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE PROVENIENTE DE LAS ESTACIONES DE LA CDMB.....56

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.1 | EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD, CALIDAD, OPORTUNIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS.... | 56 |
| 3.1.1 | Análisis del porcentaje de captura de datos..... | 57 |
| 3.1.1.1 | Material Particulado Inferior a 10 μm – PM ₁₀ | 57 |
| 3.1.1.2 | Dióxido de Azufre – SO ₂ | 58 |
| 3.1.1.3 | Dióxido de Nitrógeno – NO ₂ | 59 |
| 3.1.1.4 | Ozono – O ₃ | 60 |
| 3.1.1.5 | Monóxido de Carbono - CO | 60 |
| 3.1.2 | ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS..... | 61 |
| 3.1.3 | VALIDACIÓN DE DATOS | 62 |
| 3.1.3.1 | Material Particulado Inferior a 10 μm – PM ₁₀ | 62 |
| 3.1.3.2 | Dióxido de Azufre – SO ₂ | 65 |
| 3.1.3.3 | Ozono – O ₃ | 71 |
| 3.1.3.4 | Monóxido de Carbono – CO | 73 |

| | |
|---|------------|
| 3.2 DETERMINACIÓN DE ÁREAS – FUENTE DE CONTAMINACIÓN | 74 |
| 3.2.1 Material Particulado Inferior a 10 μm – PM_{10} | 74 |
| 3.2.2 Dióxido de Azufre – SO_2 | 75 |
| 3.2.3 Dióxido de Nitrógeno – NO_2 | 76 |
| | |
| IV. ANALISIS DE LA INFORMACION DE METEOROLOGICA PPROVENIENTE DE LAS ESTACIONES DE LA CDMB..... | 77 |
| | |
| 4.1 Condiciones climatológicas predominantes en Bucaramanga | 80 |
| 4.1.1 Resúmenes horarios de las variables climáticas..... | 80 |
| 4.1.2 Rosas de vientos y tablas de dirección del viento para las estaciones meteorológicas analizadas en Bucaramanga..... | 92 |
| 4.1.2.1 Estación Centro | 92 |
| 4.1.2.2 Estación Chimitá..... | 94 |
| 4.1.2.3 Estación Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Río Frío - PTAR 96 | |
| 4.1.2.4 Estación Universidad Industrial de Santander - UIS | 98 |
| 4.1.3 Comportamiento espacial de las variables climáticas en la ciudad de Bucaramanga..... | 100 |
| 4.1.4 Condiciones micrometeorológicas predominantes en Bucaramanga | 109 |
| | |
| V. DIAGNOSTICO GENERAL Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA | 111 |
| | |
| VI. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES..... | 115 |
| | |
| VII. BIBLIOGRAFIA | 117 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| <i>Tabla 1 Instrumentos de gestión de calidad del aire.....</i> | <i>5</i> |
| <i>Tabla 2 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Tabla 3. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Tabla 4 Estaciones de la Red de Calidad del Aire de la CDMB.....</i> | <i>36</i> |
| <i>Tabla 5 Personal de la Red de Monitoreo.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Tabla 6 Equipos que conforman la red de calidad del aire de CDMB.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Tabla 7 Software de apoyo para la red.....</i> | <i>43</i> |
| <i>Tabla 8 IBUCA y sus categorías de salubridad.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Tabla 9 Estimativo del aporte de la industria a la polución de aire en Bucaramanga.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Tabla 10 Estimativo de las emisiones contaminantes de los automóviles en Bucaramanga.....</i> | <i>53</i> |
| <i>Tabla 11. Resumen de la información de calidad del aire disponible en la CDMB*</i> | <i>56</i> |
| <i>Tabla 12. Disponibilidad de datos para calcular promedios anuales de PM₁₀ en la CDMB*</i> | <i>57</i> |
| <i>Tabla 13 Disponibilidad de datos para calcular los promedios anuales de SO₂ en la CDMB*</i> | <i>58</i> |
| <i>Tabla 14 Disponibilidad de datos para calcular los promedios anuales de NO₂ en la CDMB*</i> | <i>59</i> |
| <i>Tabla 15 Disponibilidad de datos de O₃ diarios en al CDMB*</i> | <i>60</i> |
| <i>Tabla 16 Disponibilidad de datos de CO diarios en la CDMB*</i> | <i>61</i> |
| <i>Tabla 17 Cálculo de excedencias de PM₁₀ para clasificar áreas-fuente de contaminación.....</i> | <i>75</i> |

| | |
|---|------------|
| <i>Tabla 18 Disponibilidad de datos meteorológicos existentes en la red de Bucaramanga.....</i> | <i>77</i> |
| <i>Tabla 19 Resumen climatológico multianual por horas. Estación Centro. Período 2001 – 2006.....</i> | <i>81</i> |
| <i>Tabla 20 Resumen climatológico multianual por horas. Estación Chimitá. Período 2001 - 2006.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Tabla 21Resumen climatológico multianual por horas. Estación PTAR. Período 2002 - 2006.....</i> | <i>86</i> |
| <i>Tabla 22. Resumen climatológico multianual por horas. Estación UIS. Período 2002 - 2006.....</i> | <i>88</i> |
| <i>Tabla 23 Resultados del análisis vectorial del viento. Bucaramanga. Período diurno.....</i> | <i>91</i> |
| <i>Tabla 24 Resultados del análisis vectorial del viento. Bucaramanga. Período nocturno.....</i> | <i>91</i> |
| <i>Tabla 25 Resultados del análisis vectorial del viento. Bucaramanga. Período total (24 h)</i> | <i>91</i> |
| <i>Tabla 26 Resumen de valores promedios mensuales de las variables climáticas en Bucaramanga. Período 2002 – 2006.....</i> | <i>102</i> |
| <i>Tabla 27 Valores meteorológicos horarios promedios para Bucaramanga. Período 2001 – 2005.....</i> | <i>109</i> |
| <i>Tabla 28 Evaluación de estado de elementos de la calidad del aire.....</i> | <i>112</i> |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1 Esquema Sistema de Gestión de la Calidad del Aire</i> | 4 |
| <i>Figura 2. Medición de diferentes parámetros de contaminación atmosférica</i> | 7 |
| <i>Figura 3. Resultados dados por modelos de dispersión (Archivos de K-2 e imágenes de Internet)</i> | 9 |
| <i>Figura 4. Fundamento de Cámara de Sedimentación por Gravedad</i> | 14 |
| <i>Figura 5. Fundamento de Lavador de Gases Tipo Convencional</i> | 16 |
| <i>Figura 6 Ubicación de las estaciones redes de monitoreo de Bucaramanga.</i> | 35 |
| <i>Figura 7 Diagrama de flujo de la integración del sistema</i> | 43 |
| <i>Figura 8. Diagrama de cajas de las mediciones de 24 horas de PM₁₀ en la CDMB</i> | 63 |
| <i>Figura 9 Diagrama de cajas de las mediciones anuales de PM₁₀ de la CDMB</i> | 64 |
| <i>Figura 10. Diagrama de cajas de las mediciones de 3 horas de SO₂ de la CDMB</i> | 66 |
| <i>Figura 11 Diagrama de cajas de las mediciones de 24 horas de SO₂ en la CDMB</i> | 67 |
| <i>Figura 12 Diagrama de cajas de las mediciones anuales de SO₂ en la CDMB</i> | 68 |
| <i>Figura 13. Diagrama de cajas de las mediciones de 1 hora de NO₂ de la CDMB</i> . | 69 |
| <i>Figura 14. Diagrama de cajas de las mediciones de 24 horas de NO₂ de la CDMB</i> | 70 |
| <i>Figura 15 Diagrama de cajas de las mediciones anuales de NO₂ en la CDMB</i> | 71 |
| <i>Figura 16 Diagrama de cajas de las mediciones horarias de O₃ en la CDMB</i> | 72 |
| <i>Figura 17. Diagrama de cajas de las mediciones de 8 horas de O₃ en la CDMB</i> .. | 73 |
| <i>Figura 18 Distribución horaria de la velocidad del viento en la Estación Centro (2001 – 2006)</i> | 82 |
| <i>Figura 19 Distribución porcentual horaria de la precipitación en la Estación Centro (2001 – 2006)</i> | 82 |
| <i>Figura 20 Distribución horaria de la velocidad del viento en la Estación Chimitá (2001 – 2006)</i> | 84 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 21 Distribución porcentual horaria de la precipitación en la Estación Chimitá (2001 – 2006)</i> | 85 |
| <i>Figura 22 Distribución horaria de la velocidad del viento en la Estación PTAR (2002 – 2006)</i> | 87 |
| <i>Figura 23. Distribución porcentual horaria de la precipitación en la Estación PTAR (2002 – 2006)</i> | 87 |
| <i>Figura 24 Distribución horaria de la velocidad del viento en la Estación UIS (2002 – 2006)</i> | 89 |
| <i>Figura 25 Distribución porcentual horaria de la precipitación en la Estación UIS (2002 – 2006)</i> | 90 |
| <i>Figura 26 Rosa de vientos multianual total (2001 – 2006). Estación Centro</i> | 92 |
| <i>Figura 27 Porcentaje de datos en cada dirección del viento. Estación Centro</i> | 93 |
| <i>Figura 28 Rosa de vientos multianual diurna (2001 – 2006). Estación Centro</i> | 93 |
| <i>Figura 29 Rosa de vientos multianual nocturna (2001 – 2006). Estación Centro</i> | 94 |
| <i>Figura 30 Rosa de vientos multianual total (2001 – 2006). Estación Chimitá</i> | 94 |
| <i>Figura 31 Porcentaje de datos en cada dirección del viento. Estación Chimitá</i> | 95 |
| <i>Figura 32 Rosa de vientos multianual diurna (2001 – 2006). Estación Chimitá</i> | 95 |
| <i>Figura 33. Rosa de vientos multianual nocturna (2001 – 2006). Estación Chimitá</i> | 96 |
| <i>Figura 34 Rosa de vientos multianual total (2002 – 2006). Estación PTAR</i> | 96 |
| <i>Figura 35 Porcentaje de datos en cada dirección del viento. Estación PTAR</i> | 97 |
| <i>Figura 36 Rosa de vientos multianual diurna (2002 – 2006). Estación PTAR</i> | 97 |
| <i>Figura 37 Rosa de vientos multianual nocturna (2002 – 2006). Estación PTAR</i> .. | 98 |
| <i>Figura 38 Rosa de vientos multianual total (2002 – 2006). Estación UIS</i> | 98 |
| <i>Figura 39 Porcentaje de datos en cada dirección del viento. Estación UIS</i> | 99 |
| <i>Figura 40 Rosa de vientos multianual diurna (2002 – 2006). Estación UIS</i> | 99 |
| <i>Figura 41 Rosa de vientos multianual nocturna (2002 – 2006). Estación UIS</i> | 99 |
| <i>Figura 42 Localización de las estaciones meteorológicas de la red urbana de calidad del aire de Bucaramanga</i> | 105 |

| | |
|---|------------|
| <i>Figura 43 Distribución intra-anual de la temperatura del aire y la radiación solar en las estaciones meteorológicas de la red de calidad del aire de Bucaramanga....</i> | <i>106</i> |
| <i>Figura 44 Distribución intra-anual de la precipitación en las estaciones meteorológicas de la red de calidad del aire de Bucaramanga</i> | <i>107</i> |
| <i>Figura 45 Distribución intra-anual de la presión atmosférica y la humedad relativa en las estaciones meteorológicas de la red de calidad del aire de Bucaramanga</i> | <i>108</i> |
| <i>Figura 46 Análisis GAP CDMB</i> | <i>114</i> |

INTRODUCCIÓN

A continuación se desarrollo la monografía RECOPIACION Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA varios aspectos importantes del estudio de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Bucaramanga teniendo como punto de referencia los Sistemas de Gestión de la Calidad del Aire.

Esta monografía parte de la estructura general de un Sistema de Gestión de la Calidad del Aire y desde allí se establecen cuales de estos elementos son llevados a cabo actualmente por la Autoridad Ambiental Regional CDMB (Corporación Autónoma Regional para La Defensa de la Meseta de Bucaramanga).

Al mismo tiempo se recopila, restaura y analiza la información recopilada en los últimos años por la CDMB y ECOPETROL en cuanto a Calidad del Aire y micrometeorología. Sobre este último punto se hacen recomendaciones a futuro sobre el manejo de información y adquisición de la misma.

Por último se hacen sugerencias que permitan fortalecer la gestión de la calidad del aire en el Área metropolitana de Bucaramanga que permitan planear su desarrollo a futuro.

En general esta monografía mostrará un panorama general de lo que ha sido la evolución de la calidad del aire en la ciudad durante los últimos años y sus posible alternativas futuro.

1. MARCO TEÓRICO Y TÉCNICO

1.1 SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

1.1.1 GENERALIDADES: Como respuesta al incremento en las concentraciones de contaminantes del aire producto del consumo de energía, los diferentes países se han preocupando por su medición y control. A pesar de que el tener equipos de monitoreo y realizar controles y seguimiento a las fuentes emisoras, estos esfuerzos pueden resultar inútiles si no se cuenta con un sistema articulado de Gestión de la Calidad del Aire.

Un SGCA es un conjunto de procesos, procedimientos y aplicación de normas en la búsqueda de disminuir los impactos a nivel de calidad del aire y salud pública en un marco de mejoramiento continuo. Su aplicación involucra el estudio de la relación fuente-receptor y las implicaciones de esta relación utilizando diferentes técnicas de estudio.

Estos sistemas involucran diversos componentes relacionados con aspectos de medición, modelación, seguimiento a impactos, efectos y control; todos estos componentes finalmente redundarán en el mejoramiento continuo en la calidad del aire de la zona de estudio.

En general un SGCA involucra los siguientes aspectos:

- Identificación y medición de fuentes de emisión

- Estudio de dispersión de contaminantes y creación de modelos de simulación
- Determinación de la calidad del aire
- Cálculo y evaluación de los riesgos ambientales para la salud (estudios epidemiológicos)
- Evaluación de daños por contaminación
- Análisis del costo ambiental
- Determinación de opciones de mitigación
- Evaluación costo-beneficio de opciones de mitigación
- Establecimiento de regulaciones y medidas de control
- Desarrollo de programa educativo

Entre los beneficios de un Sistema de Gestión de la Calidad del Aire (SGCA) se encuentra la capacidad de poder establecer un mayor control y entendimiento de los procesos que contribuyen a las emisiones y las consecuencias de estas en la calidad del aire así como la toma de decisiones acertadas. Lo anterior permite aumentar la eficiencia de los procesos antropogénicos con una consecuente disminución en el impacto ambiental atmosférico.

El siguiente esquema ilustra las etapas posibles de un Sistema de Gestión de la Calidad del Aire.

Figura 1 Esquema Sistema de Gestión de la Calidad del Aire



1.1.2 INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE: A pesar que muchas ciudades de nuestro país no han implementado un SGCA, seguramente si se han adelantado algunos de los elementos de este. Dentro de los posibles instrumentos de gestión de la calidad del aire que seguramente se hayan implementado y desarrollado son:

Tabla 1 Instrumentos de gestión de calidad del aire¹

| Sector | Acción de Mitigación |
|----------------------------|---|
| Transporte | Sustitución de gasolina con plomo por gasolina sin plomo |
| | Establecimiento de normas mínimas de emisiones |
| | Aplicación de programa de inspección y certificación para vehículos |
| | Programa de conversión de combustible de vehículos (gasolina a gas natural) |
| | Programa mejoramiento de calidad del diesel |
| | Programa de utilización de convertidor catalítico |
| | Mejoramiento de sistemas de transporte público |
| | Mejoramiento en sistema de manejo de tráfico |
| Industria | Aplicación de sistema de cargos por emisiones |
| | Implantación de programas de tecnologías limpias y prevención de polución |
| | Fiscalización efectiva de normas de emisión |
| Generación de Electricidad | Reemplazo de combustibles (de más a menos contaminantes) |
| | Mejoramiento de la eficacia energética (producción, distribución, transmisión y consumo de energía) |
| Otras | Mejoramiento de los sistemas de prevención y control de incendios |
| | Control y fiscalización de incineración de basureros ilegales |

1.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE (SGCA):

1.2.1 **INVENTARIO DE EMISIONES:** La primera acción que se debe ejecutar es obtener un inventario de emisiones para los contaminantes atmosféricos dentro de la zona de estudio. Un inventario de emisiones hace referencia a las cantidades de contaminantes que entran en la atmósfera en un periodo de tiempo determinado

¹ Tomado de la página web: La gestión ambiental y la calidad del aire en Caracas. Sucre Francisco.

(normalmente el tiempo escogido es un año), el cual debe abarcar todas las fuentes presentes en la zona definida. Un estudio correctamente elaborado debe suministrar la localización, magnitud, frecuencia, duración y contribución relativa de estas emisiones. Es importante aclarar que los inventarios de emisiones no tienen en cuenta las reacciones atmosféricas.

El análisis de estos resúmenes identifica las principales fuentes de contaminación dentro de la zona de estudio. Esta información puede ser útil para planificar los sistemas de gestión y las redes de control de calidad del aire.

Las etapas asociadas con la elaboración de un inventario de emisiones global son las siguientes (EPA., 1972):

- Clasificación de todos los contaminantes y fuentes de emisiones en la zona geográfica definida.
- Identificación y recopilación de información sobre los factores de emisión para cada uno de los contaminantes y fuentes identificadas.
- Determinación de la cantidad diaria de materiales manejados, procesados o quemados, u otra información sobre unidades de producción dependiendo de las fuentes individuales identificadas.
- Cálculo de la tasa de emisión de cada contaminante de atmósfera, expresada sobre una base anual.
- Suma de las emisiones de contaminantes específicos para cada una de las categorías de las fuentes identificadas.

Es importante aclarar que los inventarios de emisiones deben ser actualizados periódicamente, tomando en cuenta que pueden aparecer nuevas fuentes y que las fuentes pueden variar su emisión.

1.2.2 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE:

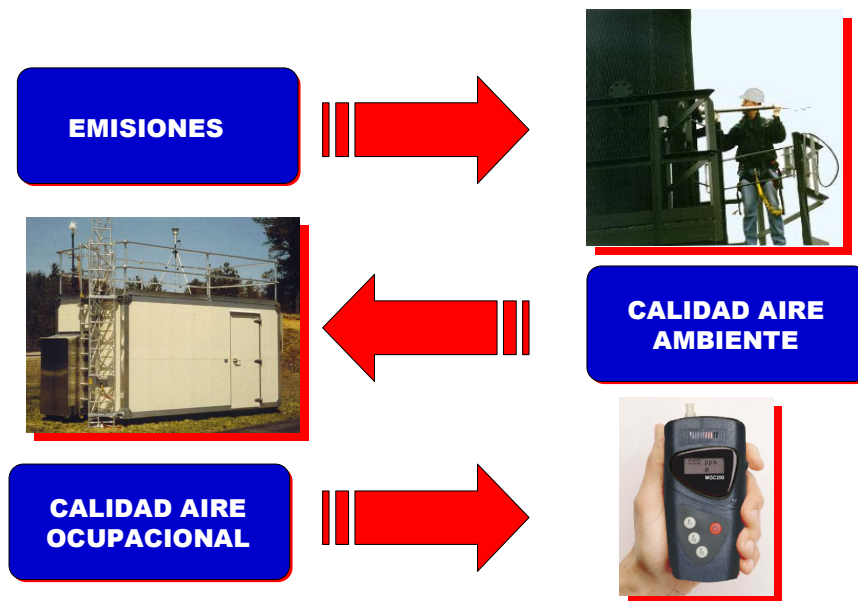
Definición:

Metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones y flujo másico de sustancias o de contaminantes presentes en el aire y emitidas en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

Tipos de monitoreo de contaminación atmosférica:

Se debe tener en claro lo que se quiere medir. Hay que distinguir entre la medición de las emisiones y la medición de la calidad del aire o inmisión.

Figura 2. Medición de diferentes parámetros de contaminación atmosférica



1.2.3 Modelación de la calidad del aire: La modelación de la dispersión de contaminantes es una técnica para estimar la mezcla y dilución de contaminantes en la atmósfera a partir de aproximaciones matemáticas al fenómeno.

Esta técnica ha sido ampliamente utilizada a lo largo de los últimos 40 años. Su primera aplicación fue durante la Primera Guerra Mundial ante la utilización de gases venenosos como armas.

Los modelos pueden simular situaciones simples como una única fuente puntual, con un solo receptor y condiciones constantes, hasta situaciones complejas de varias fuentes con varios receptores y variaciones de las condiciones atmosféricas, así como otras condiciones particulares.

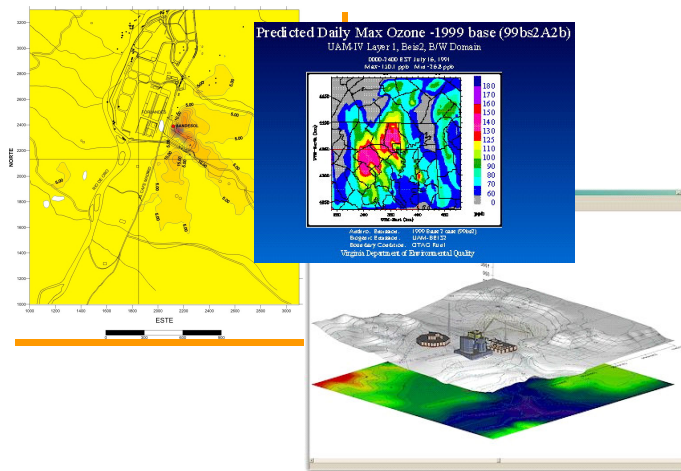
Los modelos permiten evaluar sistemas de control antes de su implementación, disminuyendo así el riesgo de una elección equivocada en una situación particular. Lo anterior se ve reflejado en la elección de sistemas económica y técnicamente viables.

Las ecuaciones usadas en los modelos de dispersión se han convertido en programas de computador que han facilitado el trabajo del modelador. Así, se pueden simular diferentes condiciones y con datos constituidos por miles y a veces millones de registros.

A pesar que simular matemáticamente un fenómeno complejo como la dispersión de contaminantes atmosféricos es inexacto, este se constituye en el instrumento con mayor validez en la planificación y en la adopción de normas para la corrección de situaciones donde se sobrepasen niveles aceptables de impacto atmosférico.

Un modelo de dispersión usa datos de la fuente, meteorología y receptores. Hay modelos para distintos tipos de fuentes, los hay especializados en fuentes fijas y en fuentes móviles, de fuentes con emisiones continuas y no continuas, entre otros.

Figura 3. Resultados dados por modelos de dispersión (Archivos de K-2 e imágenes de Internet)



Usos de la Modelación de la Calidad del Aire:

Aunque son muchos los usos de los modelos de dispersión, a continuación se plantean los más comunes:

- Para determinar áreas de influencia de fuentes contaminantes.
- Determinación del impacto en la calidad del aire de obras civiles actuales o de futura construcción (vías, parqueaderos, intercambiadores viales, viaductos, etc.), impacto por fuentes industriales, fábricas, etc., sobre un área determinada, planeación urbana e industrial a escala regional, local y nacional.

- Para la implementación de programas regulatorios locales anti contaminación, leyes o reglas gubernamentales.
- Para la evaluación del estado de polución del aire urbano o rural.
- Para predecir concentraciones de contaminación de aire en un tiempo futuro en vías y otro tipo de obra civil que incluya tránsito de vehículos, ofreciendo la ventaja de poder estimar futuros factores de emisión en obras que aun no se construyen y que podrían servir como guía de modificaciones en los diseños para evitar un alto impacto negativo en la calidad del aire de la zona. Este mismo uso anterior aplicado a zonas industriales y fábricas actuales o futuras.
- Análisis de los efectos de descargas o escapes accidentales de gases tóxicos.
- Para el diseño de redes de calidad del aire.
- Para el diseño de programas de prevención.
- Para la comparación de alternativas previas a la implementación de un sistema de control.
- Para definir la altura óptima de chimeneas en instalaciones industriales. Se determina usando el modelamiento los cambios en las concentraciones del contaminante al cambiar la altura de la chimenea.

1.2.4 Estudios epidemiológicos² y analisis de impactos en la salud:..La epidemiología se considera la ciencia básica para la medicina preventiva y una fuente de información para la formulación de políticas de salud pública. De manera sencilla se define la epidemiología como el estudio de la aparición de enfermedades y de otras características relacionadas con la salud en poblaciones humanas y animales. Los epidemiólogos estudian la frecuencia de las enfermedades y la variación de dicha frecuencia en distintos grupos de personas; es decir, estudian la relación causa-efecto entre exposición y enfermedad. Las

² El primer párrafo tomado de EPIDEMIOLOGIA Y ESTADISTICA. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Franco Merletti, Colin L. Solkolne y Paolo Vineis

enfermedades no se producen de manera aleatoria; tienen causas —muchas de ellas de origen humano— que pueden evitarse. Por consiguiente, muchas enfermedades podrían prevenirse si se conocieran sus causas. Los métodos epidemiológicos han sido cruciales para identificar numerosos factores etiológicos que, a su vez, han justificado la formulación de políticas sanitarias encaminadas a la prevención de enfermedades, lesiones y muertes prematuras.

Los estudios de evaluación de impactos en la salud proveen información cuantitativa y cualitativa sobre cómo determinada política, programa o proyecto puede afectar la salud de la población, lo cual es de utilidad para la toma de decisiones políticas. Con respecto a las consecuencias en la salud de los niveles de contaminación del aire, este tipo de estudios se dirige a predecir el mejoramiento en la salud que podría esperarse a través de reducciones en la contaminación del aire, por esta razón son llamados también Análisis de Beneficios en la Salud Humana.

Para analizar cuantitativamente el impacto en la salud de la contaminación del aire en exteriores en una ciudad específica o región, es necesario tener información sobre concentraciones de calidad del aire y exposición, los grupos de población expuesta, la incidencia de fondo de mortalidad y morbilidad y funciones concentración-respuesta. La escogencia de cuáles criterios de valoración en la salud incluir en la evaluación puede estar determinada por la fuerza de los estudios disponibles, la accesibilidad a la información de salud, y la importancia del impacto desde una perspectiva económica y de salud. La mayoría de análisis hechos hasta la fecha indican que los efectos en la mortalidad, particularmente aquellos que se relacionan con la exposición a largo plazo a los contaminantes del aire, tienden a dominar los efectos económicos estimados.

Existen varios beneficios de conducir estudios de evaluación de impactos en la salud. En primer lugar, pueden asociarse cuantitativamente criterios de valoración

en la salud adversos a un contaminante dado y puede determinarse la magnitud de los efectos en la salud asociados con cambios en la contaminación del aire. En segundo lugar, la información puede usarse de un modo útil hacia proveer mejoras costo-efectivas en la salud pública. Los estimativos cuantitativos de los impactos de cambios en la contaminación del aire, aún si se hacen con gran incertidumbre, hacen que las consecuencias de políticas propuestas, tales como el establecimiento de estrategias de control, sean más explícitas y comprensibles para el público. Si se añade valoración económica a los impactos en la salud, los beneficios económicos pueden determinarse para estrategias alternas de reducción de la contaminación del aire.

Los estudios epidemiológicos existentes proveen evidencia de asociaciones entre concentraciones de calidad del aire y diversos criterios de valoración en la salud, incluyendo mortalidad prematura, admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, ingresos de urgencias, ataques de asma, bronquitis aguda, síntomas respiratorios, ausencias laborales y restricciones en las actividades. De este modo, los estudios de Evaluación de impactos en la salud humana al extrapolar las observaciones de estos estudios a poblaciones o situaciones no cubiertas por los estudios, pueden dar estimativos del cambio estimado en el número de casos de mortalidad prematura, admisiones hospitalarias, etc., que pueden esperarse de un cambio específico en la contaminación del aire.

Para una ciudad determinada o región, la evaluación cuantitativa de los impactos en la salud debidos a la contaminación del aire de exteriores se basa en cuatro componentes:

- (a) Evaluación de las concentraciones y exposición en una situación previa y posterior

- (b) El tamaño y composición de los grupos de población expuestos a los niveles dados de contaminación del aire
- (c) La incidencia de fondo de la mortalidad y morbilidad en la región
- (d) Las funciones concentración – respuesta (valoración cuantitativa del impacto en la salud por unidad de carga contaminante).

1.2.5 SISTEMAS DE CONTROL DE EMISIONES³:

1.2.5.1 Mecanismos para la Recolección de Material Particulado. Las operaciones básicas en la recolección de polvo por medio de cualquier dispositivo son:

Separación de las partículas transportadas por el gas de la corriente gaseosa por deposición sobre una superficie de recolección. Esto requiere de la aplicación de una fuerza que produzca un movimiento diferencial de la partícula con relación al gas, y de tiempo suficiente de retención del gas para que la partícula emigre hasta la superficie de recolección.

Retención del depósito sobre la superficie.

Eliminación del depósito recolectado sobre la superficie para su recuperación o desecho.

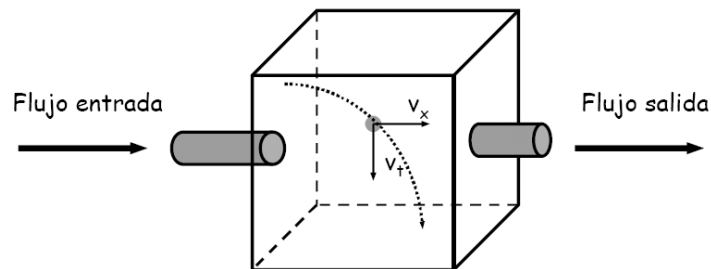
Los principales mecanismos de la deposición de Material Particulado que se aplican en los recolectores son 1) deposición por gravedad, 2) intersección en la línea de flujo, 3) deposición por inercia, 4) deposición por difusión, y 5) deposición electrostática.

1.2.5.2 Cámaras de Sedimentación por Gravedad. Las cámaras de sedimentación por gravedad son colectores sencillos y económicos en los cuales las fuerzas gravitatorias dominan el movimiento vertical de las partículas. Este tipo

³ APARTES DEL LIBRO INGENIERIA AMBIENTAL HENRY – HEINKE

de colectores son en esencia un ducto con expansiones en donde la velocidad horizontal de las partículas se reduce para dar tiempo a que se sedimenten por gravedad.

Figura 4. Fundamento de Cámara de Sedimentación por Gravedad



1.2.5.3 **Ciclones.** El equipo de recolección de polvo que se emplea con mayor frecuencia es el ciclón, en el cual el gas cargado de polvo penetra tangencialmente en una cámara cilíndrica o cónica en uno o más puntos, y sale de la misma a través de una abertura central. En virtud de su inercia, las partículas de polvo tienden a desplazarse hacia la pared exterior del separador, desde la cual son conducidas hacia un receptor.

El ciclón es esencialmente una cámara de sedimentación en que la aceleración gravitacional se sustituye con la aceleración centrífuga. En las condiciones de operación utilizadas comúnmente, la fuerza o aceleración centrífuga de separación varía de cinco veces la gravedad, en los ciclones de baja resistencia y diámetro muy grande, hasta 2500 veces la gravedad en las unidades muy pequeñas de alta resistencia. La entrada inmediata a un ciclón es casi siempre rectangular.

Campos de aplicación:

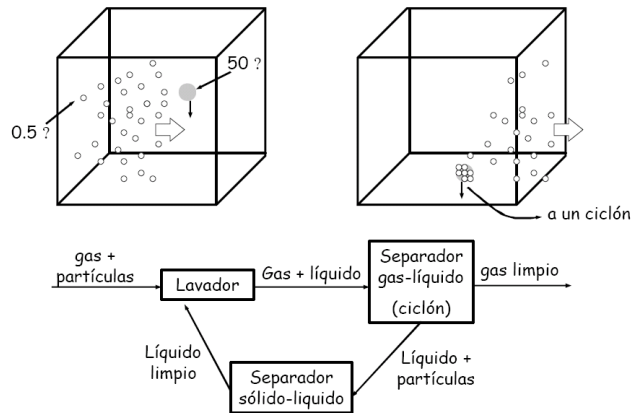
Dentro del intervalo de sus capacidades de funcionamiento, los recolectores de ciclón son unos de los medios menos costosos para la recolección de polvo desde el punto de vista de la inversión y de la operación. Su limitación principal es que, a menos que se utilicen unidades muy pequeñas, la eficiencia de recolección es muy baja para partículas menores de 5 μm y, en especial, para partículas menores de 2 o 3 μm . A pesar de que los ciclones se pueden utilizar para recolección de partículas mayores a 200 μm , las cámaras de asentamiento por gravedad o los separadores sencillos por inercia, suelen dar resultados satisfactorios y están sujetos a una abrasión menor.

1.2.5.4 **Colectores Húmedos.** Los colectores húmedos o lavadores, tienen por objeto aumentar el tamaño de partícula por medio de pequeñas gotas de agua, ya que es más fácil recolectar partículas más grandes.

Lavador de Gases Tipo Convencional.

En el lavador convencional las gotas de agua chocan con el material particulado de los gases que fluyen usualmente en dirección contraria a estas. Estos sistemas necesitan sistemas de tratamiento de líquidos antes de verter el líquido que contiene las partículas recolectadas. No todas las veces las colisiones entre gotas de agua y partículas dan como resultado la recolección de las últimas debido a la tensión superficial del líquido utilizado y la humectabilidad de las partículas. En ocasiones se introducen sustancias químicas para reducir la tensión superficial de las gotitas y aumentar la cantidad de colisiones efectivas. Las pérdidas de presión que se presentan en este tipo de sistemas es de 15 a 40 cm. de agua. Las eficiencias comunes de los lavadores convencionales es de 95% para material particulado menor a 5 micras.

Figura 5. Fundamento de Lavador de Gases Tipo Convencional



Lavador de Gases Tipo Venturi.

En este tipo de lavadores los gases las partículas se aceleran en una garganta tipo Venturi para desacelerarse con rapidez cuando la corriente de gases se expande. El líquido se inyecta en una corriente continua perpendicular al flujo de gas.

La alta velocidad relativa entre el gas y la corriente de líquido da como resultado que esta última se desintegre y se formen gotas. Las partículas que se mueven junto con la corriente de gases chocan con el líquido cuando las gotas se están formando, por lo tanto quedan atrapadas en las gotas de agua.

Las gotas que son más grandes que las partículas se desaceleran con más lentitud que las partículas que están en la sección en expansión del Venturi, por lo cual se recolectan más partículas en esta sección. Las gotas que contienen las partículas se extraen después como partículas más grandes.

La pérdida de presión a través de los lavadores de gases de tipo Venturi varía entre 50 y 200 cm de agua. Con altas caídas de presión este tipo de lavadores son capaces de recolectar partículas de hasta 1 micra con eficiencias que se acercan al 99%.

1.2.5.5 Filtros de Mangas. Los filtros de mangas son similares a una aspiradora a gran escala. Estos equipos se utilizan para extraer partículas secas de corrientes gaseosas secas y a baja temperatura (desde 0 a 275 °C). Se suspenden mangas en tela de 15 a 30 cm de diámetro y de hasta 10 m de diámetro en una cámara, y el aire es forzado a pasar a través de este medio filtrante y se descarga luego de pasar por esta.

La mayoría de veces la tela es tejida en algodón, fibras sintéticas o de vidrio dependiendo de la temperatura del gas, las partículas, y sus características físicas y químicas.

La tela de la que se fabrican las mangas puede tener agujeros de hasta 100 micras de ancho, sin embargo si se maneja correctamente, el colector puede manejar eficiencias superiores al 99% para partículas con diámetro de partícula menores a 1 micra.

1.2.5.6 Precipitadores Electroestáticos. En este tipo de equipos se utiliza una diferencia de voltaje entre un electrodo y las placas colectoras tan alta como sea posible, teniendo en cuenta que no supere la intensidad de campo en la cual haya salto de chispa.

Se desprenden electrones de manera tal que se adhieren a las partículas y las dotan de carga. Los iones con carga de la misma polaridad que el electrodo emigran a las superficies conectadas a tierra en virtud de fuerzas electrostáticas,

estos chocan con las partículas sólidas en la corriente gaseosa y les confieren una carga que origina el movimiento de las partículas hacia las placas colectoras.

Cuando las partículas tocan las placas se adhieren a ellas, con el tiempo se acumula una capa de partículas que actúa como manto aislante y la magnitud de la carga superficial del manto puede aproximarse a la del electrodo. Este manto se debe retirar de manera continua golpeando las placas verticales para que la capa de partículas se deslice hacia abajo, estas partículas que caen en la parte inferior de la placa se recogen en tolvas para eliminarlas.

1.2.5.7 Mecanismos para el Control de la Emisión de Gases. Existen cuatro formas fundamentales para reducir la emisión de gases indeseables.

- Reducir o eliminar la producción de gases.
- Inducir los gases a reaccionar después de su producción en procesos químicos para generar emisiones diferentes menos convenientes.
- Extraer de manera selectiva el producto indeseable de una corriente gaseosa por absorción (transferencia de moléculas gaseosas a un líquido)
- Extraer de manera selectiva el gas indeseable por adsorción (depósito de moléculas gaseosas a una superficie sólida)

Procesos de Absorción para Gases Tóxicos.

Equipos como absorbedores o torres rociadoras son utilizadas para extraer de manera selectiva un gas específico de una mezcla de gases y son similares a los

lavadores de gases de baja presión. Los usos más comunes son la remoción de SO_2 en altas concentraciones y absorción de CO_2 en líquidos.

Procesos de Adsorción para Gases Tóxicos.

La adsorción selectiva de gases se consigue en lechos de adsorbente sólido a través del cual se hacen pasar los gases. El adsorbente se elige con base en su capacidad para recolectar el gas deseado. La adsorción es un proceso termoquímico del cual se conoce muy poco, conforme un gas se deposita en la superficie adsorbente, se desprende el calor de adsorción y el sólido se calienta, en ciertos casos este calentamiento puede causar la ignición de un lecho de carbón.

Las propiedades de los adsorbentes es función de las propiedades físicas y químicas del sólido, en particular el área de la superficie de los poros y fisuras de las partículas sólidas, dentro de las cuales se deposita el gas.

Los usos más comunes son la remoción de H_2S en altas concentraciones.

1.3 NORMATIVA COLOMBIANA DE CALIDAD DEL AIRE

Desde el año de 1967 se han realizados esfuerzos para controlar la contaminación del aire; en este año se instalaron las primeras redes de monitoreo de calidad del aire, pero solo hasta el año de 1973, se expidió la ley 23, cuyo objetivo era “Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”.

Ya con esta ley, al gobierno se le concedieron facultades para la expedición del código nacional de recursos naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, el cual fue sancionado por el presidente por medio del Decreto 2811 de 1974. De este decreto, específicamente del artículo 9, se realizó la propuesta de la norma de calidad del aire.

Posteriormente en 1979 se expide una ley que promulga las medidas sanitarias para la protección del medio ambiente (Ley 09 de 1979). Aquí se le otorgaron las facultades al Ministro de Salud para proferir normas para el control de la contaminación atmosférica, por lo cual el ministro en el año 1982 expidió el decreto 02 el cual reglamentaba parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979 y también el Decreto – Ley 2811 de 1974, en cuanto a emisiones atmosféricas.

En el año de 1995 el Ministerio de Medio Ambiente (creado bajo la ley 99 de 1993) estableció el decreto 948, el cual derogó el decreto 02 de 1982. Este Decreto contenía el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.

A partir de ese momento, se expidieron diferentes decretos que modificaron o derogaron del 948 de 1995. Estos fueron:

- El decreto 2107 de 1995, que modificó el 948 sobre uso de crudos pesados, quemas abiertas, emisiones vehiculares y actividades contaminantes.
- El decreto 1224 de 1996 que derogó del artículo 40 de la 948 de 1995, sobre calidad de combustibles.
- El decreto 1228 de 1997 que modificó del artículo 91 del decreto 948 de 1995 sobre certificación del cumplimiento de normas de emisión para vehículos automotores.
- El decreto 1552 del 2000 que modificó el artículo 38 del decreto 948 de 1995 y el artículo 3 del decreto 2107 de 1995, sobre emisiones de vehículos diesel.

- El decreto 979 del 2006 que modifica los artículos 7, 10, 93, 94 y 106 del decreto 948 de 1995.

A su vez se han realizado resoluciones concernientes al tema, algunas de ellas son:

- Resolución 619 de 1997 sobre factores que requieren permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
- Resolución 601 de 2006 la cual establece la norma de calidad del aire o Nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia, esta deroga parcialmente en el decreto 02 de 1982, y el objetivo de esta resolución es “establecer la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, con el propósito de garantizar un ambiente sano y minimizar los riesgos sobre la salud humana que puedan ser causados por la concentración de contaminantes en el aire ambiente.”

En la siguiente tabla se presentan los niveles máximos permitidos de calidad del aire para Colombia, establecidas en la resolución 601 del 2006. Estos datos se calcularon con el promedio geométrico para PST y aritmético para los demás contaminantes:

Tabla 2 Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio

| Contaminante | Unidad | Límite máximo permisible | Tiempo de exposición |
|-----------------|----------------------------------|--------------------------|----------------------|
| PST | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 100 | Anual |
| | | 300 | 24 horas |
| MP10* | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 70 | Anual |
| | | 150 | 24 horas |
| SO ₂ | ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 0.031 (80) | Anual |
| | | 0.096 (250) | 24 horas |
| | | 0.287 (750) | 3 horas |
| NO ₂ | ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 0.053 (100) | Anual |
| | | 0.08 (150) | 24 horas |
| | | 0.106 (200) | 1 hora |
| O ₃ | ppm ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 0.041 (80) | 8 horas |
| | | 0.061 (120) | 1 hora |
| CO | ppm (mg/m ³) | 8.8 (10) | 8 horas |
| | | 35 (40) | 1 hora |

Nota: mg/m³ o $\mu\text{g}/\text{m}^3$: a las condiciones de 298,15°K y 101,325 KPa. (25°C y 760 mm Hg).

*El límite máximo permisible anual de MP10 en el año 2009 será 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el año 2011 será 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Decreto 979 del 03 ABRIL 2006 por el cual se modifican los artículos 7, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. El decreto reglamenta la declaración de los niveles de prevención, alerta y emergencia y las áreas fuente de contaminación

En la siguiente tabla se indican las concentraciones y los tiempos de exposición bajo los cuales las autoridades ambientales competentes pueden declarar los estados excepcionales de Prevención, Alerta y Emergencia.

Tabla 3. Concentración y tiempo de exposición de los contaminantes para los niveles de prevención, alerta y emergencia

| Contaminante | Tiempo de Exposición | Unidades | Prevención | Alerta | Emergencia |
|--------------|----------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
| PST | 24 horas | µg/m3 | 375 | 625 | 875 |
| PM10 | 24 horas | µg/m3 | 300 | 400 | 500 |
| SO2 | 24 horas | ppm (µg/m3) | 0.191 (500) | 0.382 (1.000) | 0.612 (1.600) |
| NO2 | 1 hora | ppm (µg/m3) | 0.212 (400) | 0.425 (800) | 1.064 (2.000) |
| O3 | 1 hora | ppm (µg/m3) | 0.178 (350) | 0.356 (700) | 0.509 (1.000) |
| CO | 8 horas | ppm (mg/m3) | 14.9 (17) | 29.7 (34) | 40,2 (46) |

Nota: mg/m3 o µg/m3: a las condiciones de 298,15°K y 101,325 KPa. (25°C y 760 mm Hg).

A continuación se transcribe el Decreto número 979 en los que tiene que ver con la declaratoria de áreas fuente de contaminación:

Artículo 108. Clasificación de “Áreas – fuente” de contaminación.

Las autoridades ambientales competentes deberán clasificar como áreas – fuente de contaminación zonas urbanas o rurales del territorio nacional, según la cantidad y características de las emisiones y el grado de concentración de contaminantes en el aire, a partir de mediciones históricas con que cuente la autoridad ambiental, con el fin de adelantar los programas localizados de reducción de la contaminación atmosférica.

En esta clasificación se establecerán los distintos tipos de áreas, los límites de emisión de contaminantes establecidos para las fuentes fijas y móviles que operen o que contribuyan a la contaminación en cada una de ellas, el rango o índice de

reducción de emisiones o descargas establecidos para dichas fuentes y el término o plazo de que éstas disponen para efectuar la respectiva reducción.

Para los efectos de que trata este artículo las áreas – fuente de contaminación se clasificarán en cuatro (4) clases, a saber:

1. Clase I - Áreas de contaminación alta: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación o dispersión, excede con una frecuencia igual o superior al setenta y cinco por ciento (75%) de los casos de la norma de calidad anual. En estas áreas deberán tomarse medidas de contingencia, se suspenderá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptarán programas de reducción de la contaminación que podrán extenderse hasta por diez (10) años.
2. Clase II- Áreas de contaminación media: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al cincuenta por ciento (50%) e inferior al setenta y cinco por ciento (75%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas deberán tomarse medidas de contingencia se restringirá el establecimiento de nuevas fuentes de emisión y se adoptaran programas de reducción de la contaminación que podrán, extenderse hasta por cinco (5) años.
3. Clase III- Áreas de contaminación moderada: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al veinticinco por ciento (25%) e inferior al cincuenta por ciento (50%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas se tomarán medidas dirigidas a controlar los niveles de contaminación y adoptar programas de

reducción de la contaminación, que podrán extenderse hasta por tres (3) años.

4. Clase IV- Áreas de contaminación marginal: aquellas en que la concentración de contaminantes, dadas las condiciones naturales o de fondo y las de ventilación y dispersión, excede con una frecuencia superior al diez por ciento (10%) e inferior al veinticinco por ciento (25%) de los casos la norma de calidad anual. En estas áreas se tomarán medidas dirigidas a controlar los niveles de contaminación que permitan la disminución de la concentración de contaminantes o que por lo menos las mantengan estables.

Parágrafo Primero: Para la estimación de la frecuencia de las excedencias se utilizarán medias móviles, las cuales se calculan con base en las mediciones diarias.

Parágrafo Segundo: Para la clasificación de que trata el presente artículo, bastará que la frecuencia de excedencias de un solo contaminante, haya llegado a los porcentajes establecidos para cada una de las áreas de contaminación.

1.4 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN OTRAS CIUDADES DEL MUNDO

1.4.1 ESTRATEGIAS APLICADAS⁴

1.4.1.1 BOGOTÁ, COLOMBIA. Estrategia basada en sistemas de transporte sustentable *Sistema de Transporte Rápido Transmilenio.* Bogotá es un ejemplo de un caso exitoso de implementación de transporte sustentable. El tiempo de viaje ha sido reducido en un 13%, la muertes producidas por accidentes de tráfico se redujo a 21%, se ha reducido el consumo de combustibles, la calidad del aire ha sido mejorada y se ampliaron los espacios públicos para peatones y ciclistas. El programa en cuestión no sólo se enfocó en la tecnología vehicular, sino en la adopción de medidas para aumentar los espacios públicos. Esta estrategia incluyó la construcción y recuperación de áreas para peatones (banquetas, plazas, corredores), la construcción de vías específicas para bicicletas (200 km hasta ahora construidos), restricción del 40% de los vehículos privados durante la hora pico de tráfico utilizando los números de las placas, y la introducción y expansión de un sistema a gran escala de transporte rápido de autobuses, el Transmilenio. Aunque la calidad del aire no fue uno de los aspectos prioritarios, hubo mejorías. El reemplazo de autobuses obsoletos, la operación eficiente de los autobuses y un cambio modal contribuyeron a la reducción de contaminantes.

1.4.1.2 DELHI, INDIA. Estrategias basadas en legislación. Reconversión a gas natural. El crecimiento acelerado de la población en la ciudad de Delhi en las últimas tres décadas resultó en aumento de 4 millones de habitantes en 1970 a 14

⁴ Gestión de la Calidad del Aire. Marzo 31, 2006. Disponible en Internet: http://mce2.org/education/posters_esp/carteles15.pdf

millones en el año 2001, un aumento de la flota vehicular de 0.2 a 3.5 millones y un aumento considerable de las emisiones vehiculares (2 veces para SO₂, 6 veces para NO_x y 12 veces para partículas suspendidas para el mismo periodo). Diferentes medidas para reducir la contaminación del aire fueron consideradas, finalmente, en 1998 la Suprema Corte de la India ordenó, después de una larga disputa relacionada con la contaminación del aire en Delhi, que la flota vehicular de esta ciudad aumentara de aproximadamente 3,000 a 10,000 para 2001 y que todo el parque vehicular de autobuses así como los motonetas de tres ruedas y taxis fueran reconvertidos a gas natural comprimido.

Para fines de 2002, toda la flota de autobuses era libre de diesel. En total, 70,000 vehículos fueron reconvertidos a gas natural: año 2001: 10,000 autobuses, 5,000 minibuses, 47,000 vehículos a tres ruedas, 5,000 taxis y 10,350 autos. Como parte de este programa se implementaron otras medidas de control en transporte para reducir niveles de partículas suspendidas: reducción de azufre en combustibles, eliminación de plomo en gasolinas (desde 1998), reducción de niveles de benceno en gasolina (de 5 a 1% en 2000), eliminación de vehículos viejos “deschatarización”, publicación de estándares de emisión más estrictos y reconversión de taxis, motonetas y autobuses a gas natural comprimido.

1.4.1.3 BANGKOK, TAILANDIA. Estrategias basadas en tecnología disponible *Proyecto “DIESEL”*. Desarrollando estrategias integradas para reducir las emisiones de vehículos a diesel existentes. Con 5.8 millones de habitantes, una alta densidad poblacional y alta flota vehicular la calidad del aire se vio deteriorado en los últimos años. Los altos niveles de partículas suspendidas debidos principalmente a las emisiones de vehículos a diesel llevaron a definir el proyecto “DIESEL”.

Entre los factores que contribuyeron a los elevados índices de partículas suspendidas por vehículos a diesel se encuentran: antigüedad de la flota vehicular, uso intensivo de las unidades, condiciones de manejo intensivas, poco

mantenimiento de las unidades, sobre carga de capacidad, y tráfico. El proyecto tiene tres componentes:

- a) Recolección de información específica de la ciudad incluyendo combustibles, flota vehicular, efectos en salud y calidad del aire;
- b) Evaluación de alternativas tecnológicas para reducir emisiones de diesel: programas de mantenimiento e inspección vehicular, introducción de combustibles alternos, introducción de nuevos vehículos;
- c) Resultados esperados: banco de datos, diesel polución reducción estrategias, la diseminación de posibles estrategias a otras ciudades.

1.4.1.4 **QUITO, ECUADOR. Estrategia basada en arborización** En Quito se han sembrado aproximadamente 35.000 árboles nativos en el área urbana consolidada del Distrito Metropolitano de Quito en un año. Así mismo se ha logrado controlar en un 60% las quemas de áreas verdes en la época de verano (el área vigilada es de 96.000 Ha), y se han restaurado y mejorado tres parques tradicionales de la ciudad.

1.4.1.5 **CIUDAD DE MEXICO, MEXICO.⁵ Programa para mejorar la calidad del aire en el área metropolitana del Valle de la Ciudad de México. PROAIRE** Este programa plantea diferentes medidas de control de emisiones entre las cuales se pueden mencionar:

- Mejorar la calidad de los combustibles reduciendo los contenidos de azufre tanto en gasolina como en DIESEL.

⁵ Estrategias de control de emisiones en la zona metropolitana del Valle de la Ciudad de México. Marzo 31, 2006. Disponible en Internet: http://mce2.org/education/posters_esp/carteles14.pdf

- Modernizar los programas de modernización vehicular, y el programa “hoy no circula”.
- Renovar el transporte público, incentivando el cambio el transporte de baja y mediana capacidad de pasajeros a transporte de alta capacidad.
- Promover el uso de energía solar para sustituir el uso de combustibles fósiles.

1.4.1.6 Estrategias regionales en America Latina y el Caribe⁶

1.4.1.6.1. **Eliminación del plomo de la gasolina.** El plan de acción suscrito en la Cumbre de las Américas por los Jefes de Estado de 34 países incluye la Alianza para Prevenir la Contaminación. Este acuerdo ha propiciado actividades de cooperación para el desarrollo de políticas de medio ambiente y para la puesta en vigencia de leyes e instituciones. Como parte del compromiso, los gobiernos respectivos se comprometieron a establecer planes nacionales de acción para la eliminación gradual del plomo de la gasolina. En la Cumbre de Santa Cruz de la Sierra de 1996, 11 países de la Región informaron que habían eliminado el plomo: Argentina, Bermuda, Brasil, Canadá, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Estados Unidos, Guatemala, Honduras y Nicaragua.

1.4.1.6.2. **Iniciativa de aire Limpio para ciudades de América Latina del Banco Mundial** Una de las principales metas de esta iniciativa es promover el desarrollo o fortalecimiento de los planes de acción para mejorar la calidad del aire en los grandes

⁶ Portal Oficial del Sistema de la Integración Centroamericana SICA. Estrategia de manejo de calidad del aire para Centroamérica. Mayo 18, 2006. Disponible en Internet: www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=libr_9423_1_19062006.pdf

centros urbanos de América Latina. Actualmente, se están desarrollando o fortaleciendo planes para las ciudades de Lima-Callao, Ciudad de México, Río de Janeiro, Santiago, São Paulo y Buenos Aires.

1.4.1.6.3. **Programa Aire Puro en Centro América** Financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (SWISSCONTACT). Su meta es el mejoramiento de la calidad del aire urbano en Guatemala, Honduras, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador y Panamá, a través de la capacitación de profesionales en el sector automotriz, el establecimiento de un sistema de inspección regular de automóviles y la sensibilización de la población.

2. GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Actualmente se exponen los avances de la Corporación Autónoma Regional para La Meseta de Bucaramanga en el campo de la calidad del aire.

2.4. JURISDICCIÓN DE CDMB

La CDMB tiene jurisdicción sobre la región que comprende la Meseta de Bucaramanga; aquí se encuentra la mayor población de Santander, el Área Metropolitana, que incluye los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta.

Esta región posee una población poco mayor a un millón de habitantes. El área metropolitana presenta un activo crecimiento y se observa un gran desarrollo en la construcción de viviendas, principalmente en los municipios de Floridablanca y Piedecuesta. El comercio es muy activo y en el sector manufacturero predominan las pymes de calzado y metalmecánica. Por otro lado, las grandes industrias constituyen un sector minoritario.

2.5. ASPECTOS AMBIENTALES DE CALIDAD DEL AIRE DE CDMB

2.5.1. Principales fuentes: La mayor fuente de contaminación atmosférica la constituyen las fuentes móviles, pues aunque se encuentran ubicadas algunas

industrias en la región, su impacto en la calidad del aire no ha sido significativo comparado con el de las fuentes móviles, esto puede deducirse al observarse los datos reportados por la estación Chimitá que monitoreaba la zona industrial hasta 2006 y que nunca reportaron niveles elevados de los contaminantes criterio. La zona con mayor contaminación atmosférica la constituye el Centro de Bucaramanga, debido al denso y lento flujo vehicular característico de esta zona.

2.5.2. Contaminantes Problema: Durante los años de funcionamiento de la red se han identificado como principales contaminantes el ozono y el PM_{10} . El ozono en la estación Ciudadela ha registrado niveles significativamente altos que son preocupantes debido a que monitorea una región con una gran población estudiantil y una importante zona residencial de la ciudad. Aunque no se han realizado estudios de modelación, se presume que esta alta concentración se debe en gran parte a los contaminantes primarios provenientes del centro de la ciudad, debido a los vientos que se desplazan hacia esta parte de la ciudad como lo indica la rosa de los vientos. El PM_{10} se presenta elevado en zonas de alto tráfico vehicular y debido a eventos extraordinarios como por ejemplo la construcción del Sistema de Transporte Masivo Metrolínea, lo que originó obras de construcción extensas y la congestión del tráfico vehicular en otros sectores.

2.6. ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CDMB

A continuación se desarrolla un diagnóstico del Sistema de Gestión de la Calidad del Aire de la CDMB. En él se exponen tanto la obtención de la información recopilada (por entrevista y entrega de información) durante el desarrollo del proyecto como el análisis de información entregada.

A continuación se explican cada uno de los aspectos tenidos en cuenta en el desarrollo del diagnóstico:

2.6.1. SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE A lo largo de su historia, la CDMB ha ido incorporando diferentes aspectos de un Sistema de Gestión de la Calidad del Aire como los siguientes:

Red de Monitoreo de la Calidad del Aire: Más adelante se detallan aspectos respecto al monitoreo de la calidad del aire.

Estudios Epidemiológicos: Actualmente se está realizando el primer estudio gestionado por la CDMB en convenio con la FOSCAL, aprobado y cofinanciado por Colciencias, sobre PM₁₀ y su relación con los problemas respiratorios en los niños de Bucaramanga.

Dentro de los proyectos al mediano y largo plazo de mejora del sistema o sus elementos se encuentran:

- Identificación de fuentes de emisión fijas mediante el Módulo de Uso de Recursos (MUR).
- Inclusión de Estación Móvil como apoyo a la RCVA.
- Fortalecimiento de personal para desarrollar modelación.

2.6.2. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

2.6.2.6. Diseño de la Red de Monitoreo: Se realizó un estudio preliminar para la elaboración del diseño de la red (se estudió la población y sus características, el tráfico automotor, mediciones de PM₁₀, CO, Ruido, y estimaciones de la industria).

Se creó con un equipo interinstitucional conformado por las siguientes entidades : IDEAM, CDMB, la Secretaría de Salud y Medio Ambiente de Bucaramanga, la Secretaría de Salud Departamental, la Universidad Industrial de Santander (UIS), el Instituto Colombiano de Petróleo (ICP) quien contactó a un experto mexicano en el monitoreo de la calidad del aire. La metodología para la realización del documento de diseño fue un taller en el que se definieron el número y ubicación de las estaciones a instalar, características de los equipos, contaminantes a medir, entre otros.

Posteriormente se redactó un documento más simplificado para pasar el proyecto al Ministerio de Medio Ambiente.

Cuando la red se instaló y entró en funcionamiento el 15 de diciembre de 2000, existían únicamente cinco estaciones: Centro, Ciudadela, Chimitá, PTAR y UIS. Los equipos eran nuevos y en el primer año la operación fue realizada por SANAMBIENTE.

En el año 2002, la Secretaría de Salud de Bucaramanga suscribió un convenio con la CDMB para la instalación de una nueva estación en el Norte de Bucaramanga. Se consiguieron unos equipos que presentaron muchos problemas de operación y eventualmente se declararon dañados, por tanto se sacaron de la red. La Secretaría se retiró del convenio y la estación Norte casi se retira por carencia de equipos. La CDMB optó por trasladar un equipo de PM₁₀ existente en la estación Florida para la estación Norte para evitar la disminución de la cobertura en la población del área metropolitana.

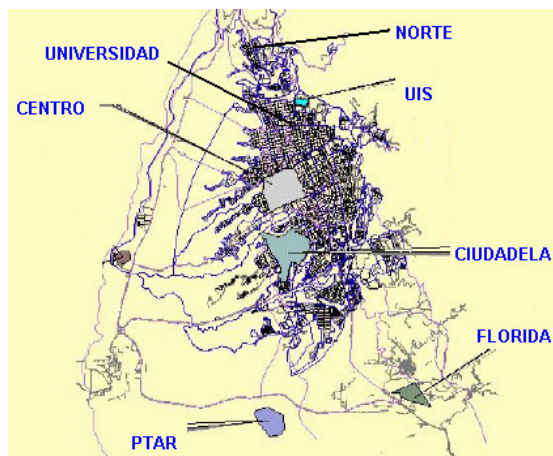
Debido a que el mayor problema de contaminación se encuentra en las fuentes móviles, se espera que con la implementación del Sistema de Transporte Masivo Metrolínea mejore la calidad del aire de ciertas regiones que presentan un denso flujo vehicular, y por tanto, es muy importante la existencia de la red pues esta

permitirá la verificación de esta hipótesis. Por otro lado actualmente se realiza un monitoreo especial a las obras de construcción dado que causan traumatismos en el normal flujo vehicular y son generadoras de grandes cantidades de material particulado debido a las extensas áreas de construcción. La estación Chimitá ha sido reubicada varias veces para monitorear las fases de dicha construcción, en el momento de la visita esta se encontraba ubicada en el barrio Universidad.

Desde mayo de 2006 hasta mayo de 2007 se encuentran instaladas cuatro estaciones temporales (Carrera 17, La Joya, San Miguel y La Concordia) que tienen la finalidad de soportar un estudio epidemiológico.

2.6.2.7. Conformación actual de estaciones: La red está constituida por las siguientes estaciones:

Figura 6 Ubicación de las estaciones redes de monitoreo de Bucaramanga⁷.



⁷ Adaptado de documento "Conformación Redaire CDMB".

Tabla 4 Estaciones de la Red de Calidad del Aire de la CDMB

| ESTACIÓN | IMAGEN |
|--|---|
| <p>CENTRO (Cra 15 con calle 34)</p> <p>Ubicada estratégicamente en el centro de Bucaramanga.</p> <p>Es actualmente la estación más completa de la red pues monitorea todos los contaminantes criterio (PM_{10}, CO, SO_2, NO_2, O_3) y también meteorología. Es completamente automática y todos los equipos están en buen estado. Posee comunicación vía telefónica con la central.</p> <p>Esta estación es clave para evaluar el impacto en la calidad del aire debido a la construcción y posterior implementación del Sistema de Transporte Masivo Metrolínea.</p> |  |
| <p>UNIVERSIDAD (Cra 24 con calle 11)</p> <p>Es la segunda estación más completa y monitorea todos los contaminantes criterio (PM_{10}, CO, SO_2, NO_2, O_3). Sus equipos son automáticos y están en buen estado pero la información debe descargarse a un portátil directamente de la estación. Se encuentra a nivel del suelo y puede ser objeto de choque de vehículos debido a su ubicación desprotegida.</p> <p>Actualmente se encuentra monitoreando temporalmente en sectores cercanos a las obras de construcción del Sistema de Transporte Masivo Metrolínea para evaluar su impacto. Esta estación estaba ubicada antiguamente en la zona industrial de Chimitá.</p> |  |

NORTE (Hospital del Norte)

Sólo monitorea PM₁₀. Este equipo es automático pero la estación carece de comunicación telefónica y se encuentra relativamente lejos de la central. Ubicada sobre la terraza del Hospital del Norte.



FLORIDABLANCA (Telebucaramanga)

Ubicada en el sector de Cañaveral a poca distancia de la autopista que conduce de Bucaramanga a Floridablanca, sobre la terraza del edificio de Telebucaramanga. Ubicada principalmente para evaluar el impacto de fuentes móviles en el sector sur de la ciudad. Cuenta con analizador de CO.



DIAG. 15 CON CARRERA 17

Muestreador de aire de alto volumen de PM₁₀ ubicado sobre cruce de dos vías de alto tráfico vehicular en la ciudad. Este muestreador junto con los de San Miguel, La Joya y La Concordia hacen parte de un estudio epidemiológico en desarrollo por la CDMB y estarán instalados desde mayo de 2006 hasta mayo de 2007.



LA JOYA

Muestreador de aire de alto volumen que hace parte de una campaña de monitoreo para estudiar el PM₁₀ y analizador automático de ozono. Ubicados en zona residencial al occidente del centro de Bucaramanga.



SAN MIGUEL

Muestreador de aire de alto volumen que hacen parte de una campaña de monitoreo para estudiar el PM_{10} . Ubicado en zona residencial ubicada al occidente del centro de Bucaramanga.



LA CONCORDIA

Analizador de alto volumen de PM_{10} y analizador automático de ozono, ubicados en vivienda en la carrera 21 (vía arterial) en el barrio central de La Concordia.



Otras estaciones con que cuenta la red corresponden a una estación ubicada en la zona de la Ciudadela Real de Minas para monitoreo de CO y dos estaciones meteorológicas ubicadas en la Universidad Industrial de Santander al norte de la ciudad y en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) situada en el anillo vial que conduce de Girón a Floridablanca, al sur de Bucaramanga.

2.6.2.8. Objetivos de la Red ..Los objetivos establecidos para la red de Bucaramanga son:

- Contar con un equipo humano con capacidad suficiente para el análisis e interpretación del fenómeno de dispersión de contaminantes mediante la utilización de metodologías y procedimientos avanzados
- Identificar completamente y controlar las principales fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos en el Área Metropolitana de Bucaramanga.
- Disponer de una base informativa suficiente que permita conocer regímenes micrometeorológicos, la dinámica de los contaminantes atmosféricos y estimar los efectos de potenciales nuevas fuentes de contaminación atmosférica en el Área Metropolitana.
- Identificar alternativas de solución a partir de un conocimiento de causa de los diferentes aspectos del fenómeno.
- Utilizar una estructura funcional del sistema informativo de calidad del aire, que cumpla los objetivos y procedimientos de elaboración, sobre una arquitectura hardware y software que permita su futura integración con otros elementos externos y el interfaz apropiado con el usuario final.
- Contar con un espacio físico dotado de una infraestructura tal que permita recibir, en tiempo real, el valor de los parámetros registrados por las estaciones químicas y meteorológicas, su almacenamiento y procesamiento orientado a fortalecer la tarea de seguimiento constante, medición,

evaluación y control de los fenómenos de contaminación del aire de la CDMB.

- Atender quejas de la comunidad y ejecutar correctivos de acuerdo al fenómeno observado en la localidad.
- Observar tendencias de concentración de contaminantes a largo plazo.
- Activar procedimientos de control para eventos crítico.
- Proporcionar información requerida en los procesos de planificación y ordenamiento territorial a fin de que el factor ambiental sea tenido en cuenta en las decisiones que se adopten. Información que permite fijar, en el área de impacto de la red, los límites permisibles de emisión, descarga, transporte o depósito de sustancias contaminantes que afecte el medio ambiente o los recursos naturales.
- Permitir, de manera acertada, declarar los niveles de prevención, alerta y emergencia en el área donde ocurran eventos de concentración de contaminantes que así lo ameriten.

2.6.2.9. Estructura Administrativa y personal de la Red En el primer año de funcionamiento la red fue operada por SANAMBIENTE mediante un contrato suscrito con la CDMB, posteriormente la CDMB asumió directamente la operación de la red.

El personal que actualmente está encargado de la operación de la red es:

Tabla 5 Personal de la Red de Monitoreo

| Cargo | Profesión | Nombre | Antigüedad | Contacto |
|---------------------------------|---|--------------------------|------------|--|
| Responsable Grupo Redaire | Ingeniero Químico, Especialista Ing Ambiental | Juan Carlos Castro | 10 años | juan.castro@cdmb.gov.co |
| Profesional SMA | Ingeniero Electrónico | Henry Castro | 6 años | redaire@cdmb.gov.co |
| Operador Tecnólogo SMA | Tecnólogo Electrónico | Manuel Campos | 6 años | manuel.campos@cdmb.gov.co |
| Operador Tecnólogo | Tecnólogo Electrónico | Arides Jaimes | - | manuel.campos@cdmb.gov.co |

Bajo la perspectiva de la CDMB, la actual estructura administrativa no es suficiente para el cumplimiento de los objetivos de la red, dado que se requieren estudios de modelación y el personal actual no tiene la preparación específica ni tiempo disponible para realizar dichos estudios.

2.6.2.10. Infraestructura Técnica y logística

Estaciones de Calidad del Aire y Meteorológicas

Tabla 6 Equipos que conforman la red de calidad del aire de CDMB

| EQUIPO | CANTIDAD | MODELO | MARCA |
|------------|----------|----------------------|------------------------|
| SO2 | 2 | 100A | API |
| NOx | 2 | 200A | API |
| CO | 3 | 300 | API |
| | 1 | 9830B | Monitor Labs |
| O3 | 2 | 400A | API |
| | 1 | ML 9810B | Monitor Labs |
| PM10 | 2 | BAM 1020 | Met One Instruments |
| | 1 | TEOM 1400A | R&P |
| | 4 | Muestreador HiVol | Andersen Graseby |
| Calibrador | 5 | 700 | API |
| Aire Cero | 5 | 701 | API |
| Datalogger | 7 | 8816 | ESC |

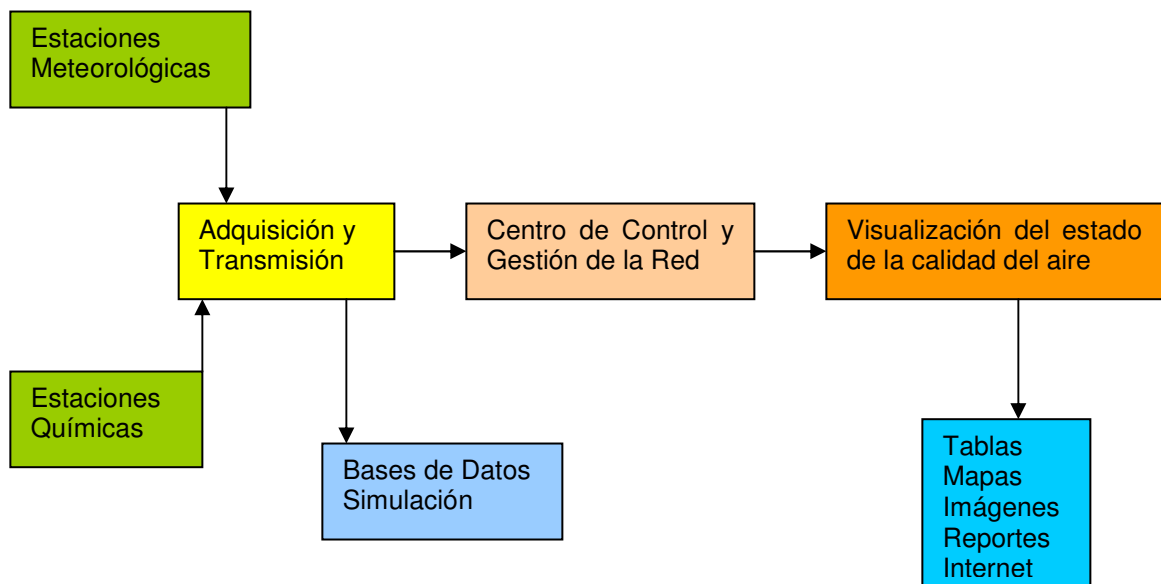
2.6.2.11. Software La red de Calidad de Aire de Bucaramanga cuenta con el siguiente software de apoyo a la red:

Tabla 7 Software de apoyo para la red.

| NOMBRE | USO | OBSERVACIONES |
|-----------------|---|--|
| APICOM | Para descargar a la central los datos provenientes los dataloggers de las estaciones automáticas con equipos API. | Útil pero limitante pues sólo aplica para equipos API. |
| Microsoft Excel | Como base de datos y para la elaboración de informes | |

2.6.2.12. Flujo de la Información A continuación se muestra el esquema de integración de sistemas de para el manejo de la información de la red:

Figura 7 Diagrama de flujo de la integración del sistema



2.6.2.13. Reporte de la Calidad del Aire Actualmente se presentan tres tipos de informes: trimestrales, eventos especiales y para Metrolínea.

Los informes especiales se realizan debido a actividades inusuales que pueden generar cambios significativos en los niveles de calidad de aire (Día sin carro, Informe Año Nuevo).

Los informes para Metrolínea reportan el seguimiento que se realiza a las obras de construcción de este sistema de transporte.

Los informes trimestrales muestran el estado de la calidad del aire en las zonas donde se encuentran las estaciones; éstos contienen gráficas comparativas de concentración de contaminantes medidos en distintas escalas de tiempo y su respectivo análisis, donde se relacionan los posibles eventos que ocasionaron variaciones de los niveles de los mismos. Se compara con la norma local y se muestra el IBUCA en una gráfica de fácil comprensión para el público en general. Los informes internos contienen además información técnica específica sobre las actividades realizadas en cada estación (visitas, mantenimiento, reubicaciones), que por no ser de interés general, no se publica en Internet.

Los informes de eventos especiales y trimestrales se publican en Internet en esta página <http://www.cdm.gov.co/web/conozca/3marcosbase.htm> Link Aire -> IBUCA

2.6.2.14. Índice de la calidad del Aire La CDMB ha establecido desde el año 2004 el Índice de Calidad del Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga (IBUCA), siendo este un indicador adimensional que posee una escala de 0 a 10 la cual depende del grado de contaminación del aire, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8 IBUCA y sus categorías de salubridad.

| | | | | |
|----------|----------|-----------|---------|--------------|
| Bueno | Moderado | Regular | Malo | Peligroso |
| 0 – 1,25 | 1,26-2,5 | 2,51-7,50 | 7,51-10 | Mayor que 10 |

$$IBUCA = \frac{C_i}{NCA_i} * 10$$

Donde:

IBUCA : Índice de calidad del aire del área metropolitana de Bucaramanga.

C : Concentración medida del contaminante a evaluar.

i : Contaminante a evaluar (PM10, SO2, CO, NO2 y O3).

NCA_i : Norma de Calidad del aire local para cada uno de los contaminantes. (Resolución 601 de 2006).

El IBUCA es un índice que reporta diariamente la calidad del aire, indicando el nivel de concentración de que se respira y su correlación con la salud, simplificando los reportes de contaminación del aire para que pueda ser comprendido por el público en general utilizando cinco colores cada uno con su respectiva clasificación epidemiológica. Sin embargo, hasta este año se empezó a realizar un estudio que relaciona la calidad del aire con el impacto en la salud humana.

2.6.2.15. Aspectos relacionados con el aseguramiento y control de calidad del los datos:

La red acogió como guía para su Sistema de Gestión de Calidad el documento *“Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II:*

Part 1 A" de EPA⁸. A continuación se comenta la forma de implementación de cada uno de los siguientes aspectos en la red de monitoreo de la CDMB,

Objetivos y Políticas de aseguramiento de la calidad en los monitoreos

La red cuenta con algunos procedimientos como el mantenimiento preventivo, correctivo y análisis de información.

Documento Control

La red cuenta con documentación clara y definida de casi todos sus aspectos, empezando con el diseño e implementación de la red, las características de las estaciones, descripción del personal, los procedimientos de mantenimiento y análisis de la información.

Se tiene registro de los archivos planos descargados y se almacenan una base de datos depurada desde el inicio de la operación. Se lleva registro del IBUCA calculado desde su implementación y se guardan los informes de operación tanto internos como externos.

Los equipos de monitoreo y de soporte cuentan con hojas de vida que se encuentran en las estaciones.

Entrenamiento

El personal operativo ha sido muy estable y ha realizado entrenamiento específico de mantenimiento de los equipos, fundamentos de química ambiental y aspectos normativos de la operación de la red. Los siguientes son los cursos y entrenamientos recibidos por el personal actual:

⁸ Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Part 1 A

- Capacitación de Sanambiente. 2001.
- Curso Especializado de Mantenimiento API. 2002
- Capacitación AQM. 2004
- Taller sobre el Protocolo de IDEAM.

Análisis del diseño de la red

La red ha cambiado para atender situaciones especiales y así mismo ha ampliado su cobertura con el desarrollo de campañas de monitoreo.

Mantenimiento Preventivo

La red cuenta con procedimientos documentados y establecidos para el mantenimiento preventivo, tales como colocación de filtros para mantener los equipos limpios, limpieza, revisión periódica de la configuración de los equipos.

Recolección de la muestra

Para los analizadores automáticos excepto MP10 se realiza una toma de muestra cada diez minutos, mientras que los analizadores automáticos de MP10 realizan una toma de muestra cada hora. Las tomas de aire de MP10 y para analizar gases son diferentes. Para los muestreadores activos de MP10 se recolecta la muestra cada tercer día como establece la norma.

Análisis de la muestra

Todos los analizadores automáticos y los muestreadores se encuentran homologados por la EPA, por tanto su capacidad de medición se encuentra certificada bajo las condiciones de operación y rangos establecidos por la EPA.

Para los muestreadores activos de PM10, la medición de las muestras recolectadas se lleva a cabo en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la CDMB, en La Finca La Esperanza, el cual está adscrito a la Subdirección de Normatización y

está certificado por el IDEAM. No se tiene implementada una cadena custodia de las muestras.

Reporte de errores en los datos

Las estaciones automáticas cuentan con el software de adquisición de información del datalogger que el personal operativo ha programado con banderas especiales para eventos que interrumpen el monitoreo, ya sean programados, cuando un equipo se saca temporalmente fuera de funcionamiento por actividades de mantenimiento preventivo o correctivo, o bien no programados, como ausencia de energía eléctrica.

Procura del control de calidad

- La información se reporta en unidades internacionalmente aceptadas y el IBUCA es un índice que permite su fácil comparación internacional.
- No se realizan mediciones comparativas entre los equipos con muestras de laboratorios.
- Los equipos presentes en las estaciones cumplen estandarización de la EPA.
- El Laboratorio de Aguas y Suelos de la CDMB, La Finca La Esperanza, está adscrito a la Subdirección de Normatización y está certificado por el IDEAM.

Calibración

En todas las estaciones fijas se realiza calibración de cero y span de acuerdo a los manuales de los equipos. Se cuenta con generadores de aire cero, cilindros de gases puros y calibradores de span automáticos. Las actividades de calibración regulares se programan en el datalogger generalmente se calibran semanalmente, excepto los analizadores automáticos de MP10, el cual se calibra cada hora. Los

muestreadores activos de MP10 se calibran cada vez que se cambian de ubicación. Adicionalmente se realiza la calibración de los componentes electrónicos de los equipos, ajustando las mediciones según recomendaciones del fabricante. Los procedimientos de calibración se encuentran documentados en las hojas de vida de los equipos ubicadas en las estaciones.

Acciones correctivas

Se tiene establecido cuales son las fallas más frecuentes de los equipos como las lámparas de UV, la fuente IR, los kits de bombas y por tanto se prevén los repuestos más frecuentes con anterioridad. Cuando es un daño mayor se envían directamente a los centros autorizados por los fabricantes.

Costos de la calidad

La red realiza un presupuesto anual de operación donde incorpora los gastos de personal, servicios, repuestos y consumibles, además de la incorporación de la implementación de proyectos.

Pruebas inter-laboratorios y dentro del laboratorio

No se realizan pruebas comparativas con laboratorios.

Procedimientos de auditoria

Se han realizado procedimientos de auditoría interna.

Validación de datos

Los datos descargados en la central son depurados de acuerdo con las banderas establecidas en los archivos descargados para los eventos que interrumpen el

monitoreo continuo. La validación de estos datos se realiza manualmente y se deja constancia en la base de datos de los eventos que causaron la eliminación de los mismos.

Análisis estadísticos de los datos

Se realiza un análisis de los datos básico donde se calculan promedios en diversas escalas de tiempo, máximos y mínimos, pero falta un tratamiento más profundo de los datos (p. ej., análisis de percentiles).

2.6.3. Estudios epidemiológicos Actualmente se desarrolla el proyecto interinstitucional “La contaminación ambiental y sus efectos en la salud, Bucaramanga 2007 – 2008”, cuyo objetivo principal es determinar la asociación entre la contaminación atmosférica y la presencia de síntomas respiratorios en la población pediátrica (niños menores de 7 años residentes alrededor de zonas de monitoreo de PM₁₀ y Ozono). Se compararán las tasas de incidencia de síntomas respiratorios agudos entre los niveles de contaminación ambiental y se determinará la asociación de la prevalencia de síntomas con la contaminación por material particulado y ozono mediante un análisis multivariado de tipo multinivel que tenga en cuenta tres niveles o jerarquías diferentes pero relacionadas en el estudio (individuo, vivienda y nivel de polución)⁹.

2.6.4. Documentos sobre necesidades de gestión y desarrollo normativo hacia el control de fuentes de emisión Se busca implementar un proyecto denominado “Prevención, control y monitoreo de la contaminación atmosférica con énfasis en el mejoramiento de la salud pública”, el cual planea en primera instancia conformar un mecanismo interinstitucional de acción coordinada y

⁹ Documento de presentación proyecto “La contaminación ambiental y sus efectos en la salud, Bucaramanga 2007 – 2008”. Información suministrada por la CDMB.

decidida, para prevenir y controlar la contaminación del aire de manera que permita alcanzar las metas propuestas de calidad ambiental a los menores costos y generando los mayores beneficios sociales posibles¹⁰.

Para atender la baja presencia institucional en el control y seguimiento de actividades que generan contaminación del aire en las zonas declaradas como de preservación y de recuperación para la preservación dentro de los límites del Distrito de Manejo Integrado –DMI, y con el objeto de definir una acción concertada y armónica por parte de los actores involucrados en la solución de la problemática, es necesario adelantar un inventario general de fuentes de emisión que permita identificar las acciones a seguir en concordancia con las condiciones y restricciones para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales bajo el concepto de desarrollo sostenible.

2.6.5. Estudio de quejas No se han reportado documentos relacionados con la ejecución de estudios y seguimiento de quejas por parte de la autoridad ambiental en su área de jurisdicción.

2.6.6. Deterioro de la calidad del aire (mediciones previas) El documento de diseño de la red de vigilancia de la calidad del aire de Bucaramanga¹¹ reporta una estimación de los niveles de emisión provenientes de las principales fuentes de contaminación existentes en ese entonces en el área de jurisdicción de la corporación.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

¹⁰ Documento: Proyecto 2: Prevención, control y monitoreo de la contaminación atmosférica con énfasis en el mejoramiento de la salud pública. Información suministrada por la CDMB.

¹¹ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB. Diseño de la red de monitoreo de la calidad del aire en el área metropolitana de Bucaramanga y su área de influencia “PROAIRE AMB”. Bucaramanga – Colombia. 1996.

Tabla 9 Estimativo del aporte de la industria a la polución de aire en Bucaramanga.

| FUENTE | CANTIDAD | EMISIÓN TOTAL POLVO (Kg/día) | EMISIÓN TOTAL SO ₂ (Kg/día) |
|--|------------|------------------------------------|---|
| Calderas y planas térmicas de carbón | 4 | 5.380 | 1.664 |
| Calderas de hornos de combustóleo (fuel-oil) | 4 | 56 | 1.460 |
| Plantas de asfalto | 2 | 469 | - |
| Pequeñas industrias de fundición y ornamentación | 50 | 8.000 | - |
| Manejo de materiales de construcción | 6 | 6.127 | - |
| Plantas productoras de yeso | 2 | 1.956 | - |
| Arroceras y molinos de granos | 70 | 9.472 | - |
| Industrias de cemento | 1 | 2.400 | - |
| Hornos para ladrillos | 12 | 3.840 | 2.272 |
| Otras fuentes | - | 1.500 | 435 |
| TOTAL | 151 | 39.200 | 5.831 |

El aporte industrial a la contaminación atmosférica consistió primordialmente en emisiones de material particulado y dióxido de azufre (SO₂) provenientes de procesos de combustión, de fundición, manejo de materiales, plantas productoras de yeso, asfalto, cemento y arroceras.

Tabla 10 Estimativo de las emisiones contaminantes de los automóviles en Bucaramanga.

| CONTAMINANTE | EMISIÓN (Ton/año) | EMISIÓN (Ton/día) |
|--------------------|----------------------|----------------------|
| CO | 125.419 | 340,6 |
| NO ₂ | 2.634 | 7,2 |
| Hidrocarburos (HC) | 9.387 | 25,7 |
| Aldehídos (HCHO) | 136 | 0,37 |
| SO ₂ | 643 | 1,76 |

La información obtenida ofreció una idea de la cantidad de los contaminantes emitidos, lo que explicó el hecho que en cuanto a contaminación atmosférica por monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno e hidrocarburos; el transporte representó una de las principales fuentes de contaminación.

2.6.7. Estudios académicos En un estudio realizado por la Universidad Industrial de Santander¹² se estimó la reducción de las concentraciones de CO y PM₁₀ en un tramo vial de la ciudad como consecuencia de la implementación de un sistema integrado de transporte masivo (SITM). Se determinó que dichas concentraciones disminuirán de manera aproximada, en 10 y 80% respectivamente gracias a la disminución en el número de autobuses y al mejoramiento tecnológico de los nuevos vehículos de servicio público del SITM. El estudio fue realizado en dos etapas: emisiones vehiculares y dispersión de las mismas en el área de interés. En la primera, las variables a determinar fueron: volumen vehicular, aspecto tecnológico y velocidad de circulación; mientras que la segunda etapa fue alimentada con las emisiones halladas, la geometría de la zona y sus características meteorológicas.

¹² AMADO ORDUZ, Juan P y GÓMEZ BERNATE, Juan S. Estudio comparativo de contaminación atmosférica por la operación de un S.I.T.M. en Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. 2004.

2.6.7.6. Información sobre el diseño de redes anteriores a la existente¹³

En 1996 la CDMB realizó el diseño de la red de monitoreo de la calidad del aire en el área metropolitana de Bucaramanga y su zona de influencia “PROAIRE AMB”, con el propósito de evaluar los niveles contaminación presentes en el aire y constituir una fuente de información técnica que permitiera:

- Observar tendencias a largo plazo.
- Atender quejas sobre normas de calidad del aire.
- Evaluar las estrategias de control.
- Activar procedimientos de control en situaciones de emergencia.
- Evaluar riesgos a la salud humana.
- Evaluar otro tipo de riesgos ambientales.
- Proporcionar una base de datos para planear los usos del suelo.
- Validar modelos de dispersión.
- Obtener una línea base.

Para el cumplimiento de estos objetivos se planteó una acción interinstitucional liderada por la CDMB y conformada por la Oficina de Control Ambiental de la Alcaldía de Bucaramanga, las Direcciones de Tránsito de los municipios del área metropolitana, la Secretaría de Salud de Santander y la Secretaría de Aguas y Medio Ambiente; el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), la Universidad Industrial de Santander (UIS), el IDEAM y la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB).

En ese entonces se determinó que el problema de la contaminación atmosférica en la ciudad de Bucaramanga y sus alrededores, estaba enmarcado por las emisiones de material particulado (polvo en suspensión y sedimentables), gases

¹³ Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB. Diseño de la red de monitoreo de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Bucaramanga y su zona de influencia “PROAIRE AMB”. Bucaramanga – Colombia. 1996.

(SO₂, CO, NO₂ y oxidantes fotoquímicos), vapores (hidrocarburos, aldehídos) y ruidos provenientes de las diversas fuentes de contaminación existentes.

Los contaminantes considerados para su vigilancia fueron: material particulado en suspensión, dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y ozono (O₃).

Los sitios de monitoreo se localizaron en zonas comerciales, industriales y residenciales estratégicamente seleccionados en la ciudad y escogidos de acuerdo a las normas de la OPS. En principio se identificaron cinco sectores para la ubicación de estos puntos de muestreo, los cuales fueron:

| | |
|--------------------------------------|---------------------|
| Centro Salud Regadero: | Norte |
| Calle 36 con carrera 15: | Centro |
| Puerta del Sol: | Sur |
| Carrera 15 - Bulevar Bolívar: | Centro-Norte |
| Zona Industrial: | Occidente |

En cada sitio se instaló una estación de vigilancia equipada con un medidor de alto volumen (Hi-Vol) y una estación con analizadores de SO₂, NO₂, O₃, y CO.

Actualmente la totalidad de las estaciones de vigilancia de la red son de tipo automático (7) y algunas de estas han sido reubicadas con el propósito de hacer seguimiento y control a las emisiones producidas por las obras del sistema de transporte masivo en algunos sectores de la ciudad.

3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE PROVENIENTE DE LAS ESTACIONES DE LA CDMB

3.4. EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD, CALIDAD, OPORTUNIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS

La CDMB cuenta con datos de calidad del aire de PM₁₀, SO₂, NO₂, O₃ y CO desde enero de 2001, de acuerdo a lo establecido en la Tabla 11 26.

Tabla 11. Resumen de la información de calidad del aire disponible en la CDMB*

| ESTACIÓN | CONTAMINANTE | | | | |
|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-------------|----------------|
| | PM ₁₀ | SO ₂ | NO ₂ | CO | O ₃ |
| Centro | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a |
| | 31-dic-06 | 01-abr-06 | 01-abr-06 | 01-abr-06 | 01-abr-06 |
| Chimita | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a |
| | 31-dic-06 | 01-abr-06 | 01-abr-06 | 01-abr-06 | 01-abr-06 |
| Ciudadela | | | | 01-ene-01 a | 01-ene-01 a |
| | | | | 31-dic-06 | 31-dic-06 |
| Florida | 01-ene-01 a | | | 01-ene-01 a | |
| | 31-dic-06 | | | 01-dic-06 | |
| Norte | | | 21-may-03 a | 21-may-03 a | |
| | | | 28-feb-05 | 30-nov-03 | |

*Para el análisis de la información se tuvo en cuenta información disponible a diciembre 31 de 2006. A pesar que la red cuenta con información hasta esa fecha, de las estaciones Ciudadela, Norte y Florida solo se obtuvo información hasta febrero de 2005.

3.4.1. Análisis del porcentaje de captura de datos Este análisis se realizó para cada uno de los contaminantes para los que se tiene información. A continuación se muestra el análisis realizado.

3.4.1.6. Material Particulado Inferior a 10 μm – PM₁₀ Los equipos de PM₁₀ de la CDMB son automáticos por lo que la resolución de los datos recolectados es de una hora. Teniendo en cuenta esta condición, en la Tabla 12 se presenta el porcentaje de captura de datos para calcular los promedios anuales, con base en una frecuencia diaria, es decir, sobre una cantidad máxima de 365 datos por año. Para el cálculo de la disponibilidad de datos, se tuvieron en cuenta los promedios diarios que cuentan con 18 o más datos horarios.

Tabla

12. Disponibilidad de datos para calcular promedios anuales de PM₁₀ en la CDMB*

| ESTACIÓN | AÑO | | | | | | | | | | | | Multi anua l |
|-------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|--------------------|
| | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | |
| | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | |
| Centro | 355 | 97,3 | 365 | 100 | 316 | 86,6 | 339 | 92,6 | 358 | 98,1 | 335 | 91,8 | 94,4 |
| Chimitá** | 356 | 97,5 | 363 | 99,5 | 341 | 93,4 | 334 | 91,3 | 353 | 96,7 | 349 | 95,6 | 95,7 |
| Florida*** | 327 | 89,6 | 361 | 98,9 | 361 | 98,9 | 366 | 100 | 59 | 100 | | | 97,0 |

*La disponibilidad de datos para el primer año de operación de cada estación se calcula desde la fecha de inicio de la estación.

** La estación Chimitá ha sido trasladada en cuatro ocasiones durante los años 2005 y 2006 para realizar campañas de monitoreo alrededor del proyecto de transporte masivo.

*** Solamente se cuenta con información de la estación Florida hasta febrero de 2005

Como se puede observar en la tabla anterior, la disponibilidad de datos en las estaciones que cuentan con analizadores de material particulado es superior a la cantidad mínima de datos requerida para realizar comparación con la norma anual (75%) y del 90% exigido por las normas internacionales para redes automáticas.

3.4.1.7. Dióxido de Azufre – SO₂ Los equipos de SO₂ de la CDMB son automáticos y generan datos de concentración cada hora. En la tabla 13 se presenta el porcentaje de captura de datos para calcular los promedios anuales, con base en una frecuencia diaria, es decir, sobre una cantidad máxima de 365 datos por año. Para el cálculo de la disponibilidad de datos, se tuvieron en cuenta los promedios diarios que cuentan con 18 o más datos horarios.

Tabla 13 Disponibilidad de datos para calcular los promedios anuales de SO₂ en la CDMB*

| Estación | AÑO | | | | | | | | | | | | Multi-anual |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------------|
| | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | |
| | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | |
| Centro | 355 | 97,3 | 354 | 97,0 | 351 | 96,2 | 345 | 94,3 | 353 | 96,7 | 347 | 95,1 | 96,1 |
| Chimita** | 350 | 95,9 | 363 | 99,5 | 352 | 96,4 | 364 | 99,5 | 355 | 97,3 | 339 | 92,9 | 97,0 |

*La disponibilidad de datos para el primer año de operación de cada estación se calcula desde la fecha de inicio de la estación

** La estación Chimitá ha sido trasladada en cuatro ocasiones durante los años 2005 y 2006 para realizar campañas de monitoreo alrededor del proyecto de transporte masivo.

Como se puede observar en la Tabla 13, la disponibilidad de datos en las estaciones que cuentan con analizadores de SO₂ es superior a la cantidad mínima de datos requerida para realizar comparación con la norma anual (75%) y del 90% exigido por las normas internacionales para redes automáticas.

3.4.1.8. Dióxido de Nitrógeno – NO₂ Los equipos de NO₂ de la CDMB son automáticos y generan datos de concentración cada hora, con base en esta información, en la Tabla 14 se presenta el porcentaje de captura de datos para los años comprendidos entre el 2001 y 2006 en las estaciones de Chimitá, Centro y Norte. Este porcentaje es importante para calcular los promedios anuales con base en una frecuencia diaria, es decir, sobre una cantidad máxima de 365 datos por año. Para el cálculo de la disponibilidad de datos, se tuvieron en cuenta los promedios diarios que cuentan con 18 o más datos horarios.

Como se puede observar en la Tabla 14, la disponibilidad de datos en las estaciones que cuentan con analizadores de NO₂ es superior a la cantidad mínima de datos requerida para realizar comparación con la norma anual (75%). Adicionalmente, todas las estaciones cuentan con una disponibilidad de datos superior al exigido por las normas internacionales para redes automáticas (90%), excepto la estación Centro en el año 2006.

Tabla 14 Disponibilidad de datos para calcular los promedios anuales de NO₂ en la CDMB*

| Estación | Año | | | | | | | | | | | | Multi-anual |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------------|
| | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | |
| | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | |
| Centro | 355 | 97,3 | 352 | 96,4 | 351 | 96,2 | 347 | 94,8 | 362 | 99,2 | 320 | 87,7 | 95,3 |
| Chimita** | 355 | 97,3 | 362 | 99,2 | 353 | 96,7 | 357 | 97,5 | 354 | 97,0 | 351 | 96,2 | 97,4 |
| Norte*** | | | | | 201 | 55,1 | 346 | 94,5 | 58 | 98,3 | | | 76,7 |

*La disponibilidad de datos para el primer año de operación de cada estación depende de la fecha de inicio de operación de la estación

** La estación Chimitá ha sido trasladada en cuatro ocasiones durante los años 2005 y 2006 para realizar campañas de monitoreo alrededor del proyecto de transporte masivo.

*** Solamente se cuenta con información de la estación Norte hasta febrero de 2005

3.4.1.9. Ozono – O₃ Los equipos de O₃ de la CDMB son automáticos y generan datos de concentración cada hora. En la Tabla 15 se presenta el porcentaje de captura de datos para cada año, con base en una frecuencia diaria, es decir, sobre una cantidad máxima de 365 datos por año. Para el cálculo de la disponibilidad de datos, se tuvieron en cuenta los días en que existen 6 o más horas de medición a partir de las 7 de la mañana y las 8 de la noche, teniendo las características de formación y destrucción de este contaminante.

Tabla 15 Disponibilidad de datos de O₃ diarios en al CDMB*

| Estación | Año | | | | | | | | | | | | Multi-anual |
|------------------|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------------|
| | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | |
| | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | |
| Centro | 362 | 99,2 | 365 | 100 | 360 | 98,6 | 363 | 99,2 | 362 | 99,2 | 349 | 95,6 | 98,7 |
| Chimitá** | 362 | 99,2 | 365 | 100 | 361 | 98,9 | 365 | 100 | 363 | 99,5 | 356 | 97,5 | 99,2 |
| Ciudadela *** | 351 | 96,2 | 365 | 100 | 365 | 100 | 365 | 100 | 59 | 100 | | | 99,1 |

*La disponibilidad de datos para el primer año de operación de cada estación se calcula desde la fecha de inicio de la estación

** La estación Chimitá ha sido trasladada en cuatro ocasiones durante los años 2005 y 2006 para realizar campañas de monitoreo alrededor del proyecto de transporte masivo.

*** Solamente se cuenta con información de la estación Ciudadela hasta febrero de 2005

Como se puede observar en la Tabla 15, la disponibilidad de datos en las estaciones que cuentan con analizadores de O₃ es superior a la cantidad mínima de datos requerida para realizar comparación con la norma anual (75%) y del 90% exigido por las normas internacionales para redes automáticas.

3.4.1.10. Monóxido de Carbono – CO Los equipos de CO de la CDMB son automáticos y generan datos de concentración cada hora. En la Tabla 16 se

presenta el porcentaje de captura de datos para cada año con base en una frecuencia diaria, es decir, sobre una cantidad máxima de 365 datos por año. Para el cálculo de la disponibilidad de datos, se tuvieron en cuenta los días en que existen 6 o más horas de medición.

Tabla 16 Disponibilidad de datos de CO diarios en la CDMB*

| Estación | Año | | | | | | | | | | | | Multi- anual |
|------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-----------------|
| | 2001 | | 2002 | | 2003 | | 2004 | | 2005 | | 2006 | | |
| | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | Datos | % | |
| Centro | 331 | 90,1 | 362 | 99,1 | 360 | 98,6 | 363 | 99,2 | 365 | 100 | 347 | 95,1 | 97,2 |
| Chimitá** | 361 | 98,9 | 365 | 100 | 362 | 99,2 | 366 | 100 | 359 | 98,4 | 360 | 98,6 | 99,2 |
| Ciudadela *** | 355 | 97,3 | 354 | 97,0 | 365 | 100 | 363 | 99,2 | 55 | 93,2 | | | 98,2 |
| Florida*** | 319 | 87,4 | 362 | 99,2 | 274 | 75,1 | 354 | 96,7 | 59 | 100 | | | 93,7 |
| Norte | | | | | 189 | 97,9 | | | | | | | 97,9 |

*La disponibilidad de datos para el primer año de operación de cada estación se calcula desde la fecha de inicio de la estación

** La estación Chimitá ha sido trasladada en cuatro ocasiones durante los años 2005 y 2006 para realizar campañas de monitoreo alrededor del proyecto de transporte masivo.

*** Solamente se cuenta con información de las estaciones Ciudadela, Florida hasta febrero de 2005

Como se puede observar en la tabla 16, la disponibilidad de datos en las estaciones que cuentan con analizadores de CO es superior a la cantidad mínima de datos requerida para realizar comparación con la norma anual (75%) y del 90% exigido por las normas internacionales para redes automáticas.

3.4.2. ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS La base de datos de la CDMB utiliza archivos planos para exportar los datos crudos mensualmente, es decir, existe un archivo plano por estación y por mes que cuenta datos horarios para

todos los contaminantes medidos en la estación. Posteriormente, los datos son importados a archivos de Excel, contando con un único archivo por estación. En este proceso de importación se realiza la validación de los datos generados, de acuerdo a los reportes de mantenimiento que se presenten.

Estas bases de datos incluyen los datos de concentración, las marcas y en la mayoría de las ocasiones las explicaciones de las marcas, por lo que es posible a través de la base de datos determinar la calidad de los datos generados y las correcciones realizadas por la calibración de los equipos.

Los eventos de mantenimiento y calibración o los registros de actividades relacionadas con el control y aseguramiento de la calidad de los datos se ven reflejados en la base de datos. De igual manera, se reflejan datos de validación adicionales que puedan ser realizados por el personal encargado del manejo de los datos.

La base de datos presenta los datos de cada contaminante separados por día y se realizan cálculos de los promedios requeridos para comparar con la norma de calidad del aire vigente.

3.4.3. VALIDACIÓN DE DATOS Con el fin de identificar la eficacia de los procedimientos de validación, se evaluó la consistencia de los datos validados almacenados en la base de datos, para cada contaminante.

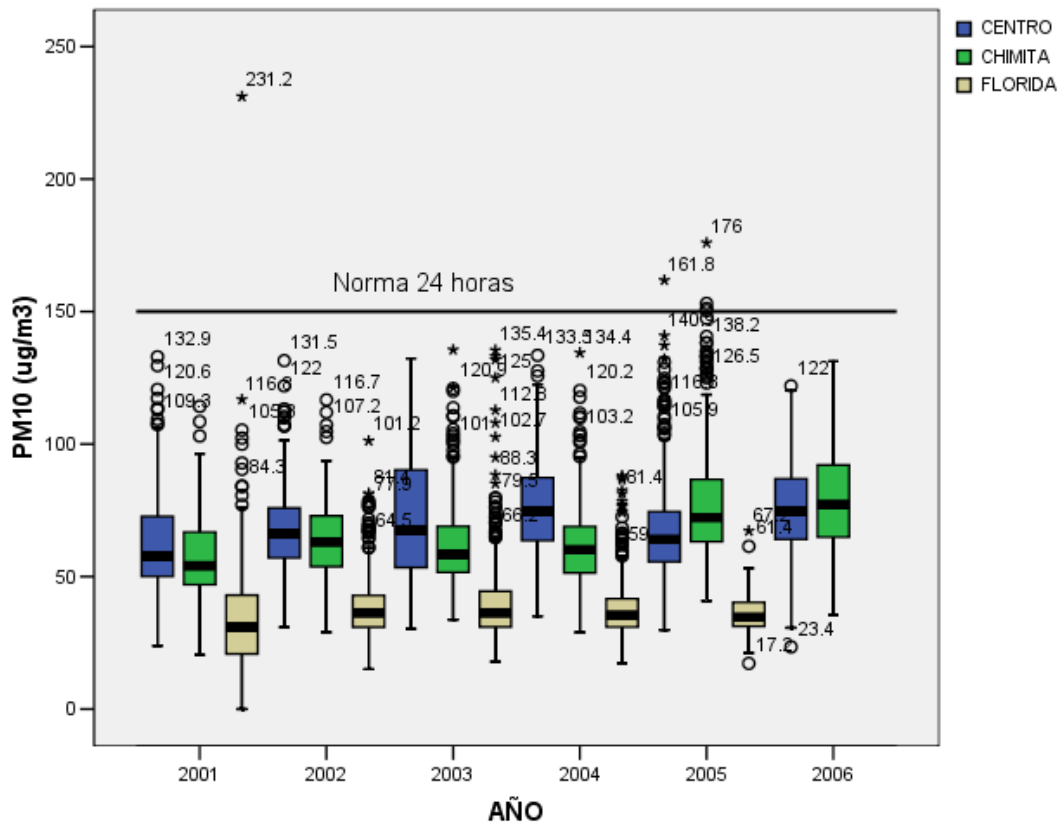
3.4.3.6. Material Particulado Inferior a 10 μm – PM₁₀ Con la disponibilidad de datos de las estaciones de la red de la CDMB es posible establecer el comportamiento anual y de 24 horas de este contaminante.

Comportamiento 24 horas

En la Figura 8 se presentan los diagramas de cajas por año y por estación, donde se puede observar que solamente algunos valores reportados como datos atípicos se encuentran por encima de la norma de 24 horas.

De las mediciones de PM₁₀ en la CDMB se puede concluir que con excepción de algunos datos, no se presenta violación de la norma diaria de calidad del aire, sin embargo, todas las estaciones cuentan con valores que permiten clasificar las áreas de influencia de las estaciones como área-fuente de contaminación (valores por encima de 70 µg/m³).

Figura 8. Diagrama de cajas de las mediciones de 24 horas de PM₁₀ en la CDMB



La estación Florida históricamente ha presentado valores por debajo de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que las otras dos estaciones presentan más del 75% de los valores por encima de este valor.

La estación Chimitá presenta un aumento en la dispersión en los datos en los últimos dos años, lo que puede estar ocasionado por el traslado que se ha hecho de la estación en varias oportunidades.

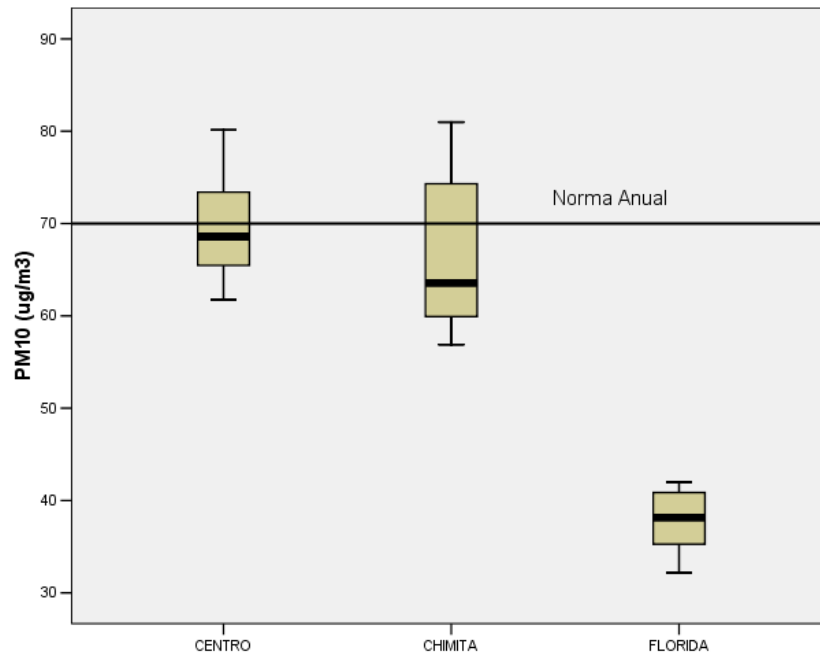
En general, el 95% de los promedios de 24 horas de las estaciones han permanecido relativamente constantes durante el periodo de operación de la red de la CDMB y por debajo de $128 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Comportamiento anual

En la Figura 9 se presenta el diagrama de cajas por estación, donde se puede observar que en las estaciones Centro y Chimitá más del 25% de los promedios anuales supera la norma anual de calidad del aire. En la estación Florida todos los promedios anuales se encuentran por debajo de la norma de calidad del aire.

Los promedios anuales presentan comportamientos estadísticamente normales, sin valores extremos o atípicos. Adicionalmente, la estación Chimitá presenta una dispersión mayor a la dispersión de las otras dos estaciones, probablemente por los traslados a los que ha sido sometida.

Figura 9 Diagrama de cajas de las mediciones anuales de PM_{10} de la CDMB



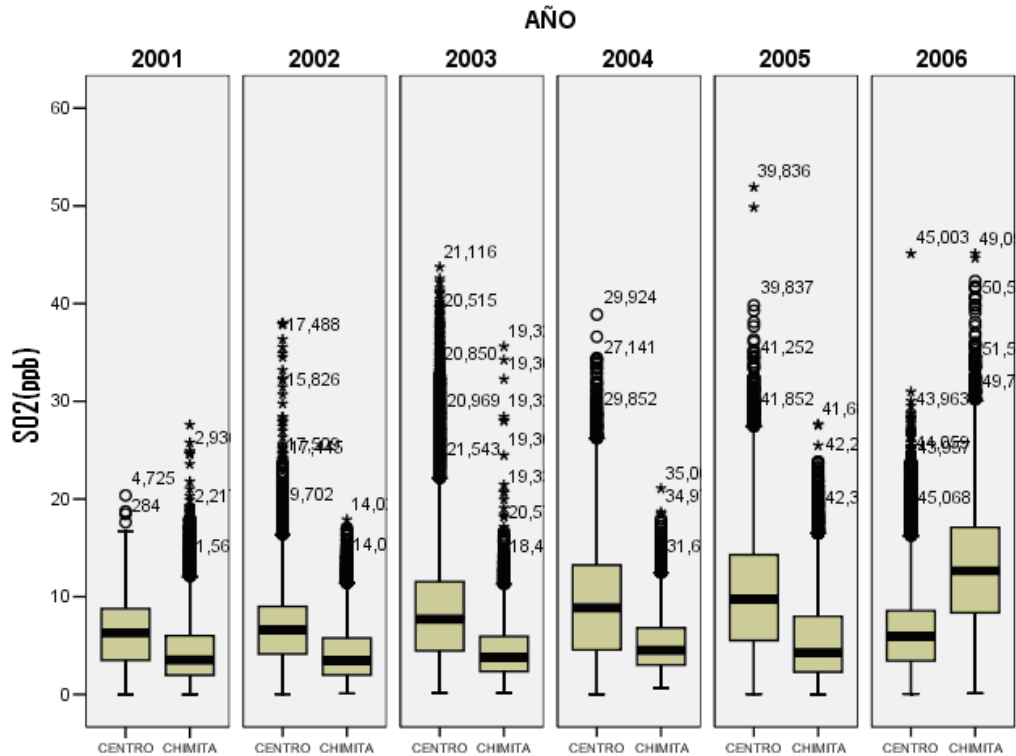
3.4.3.7. Dióxido de Azufre – SO₂ Con la disponibilidad de datos de las estaciones de la CDMB es posible evaluar el comportamiento para 3 horas, 24 horas y anual de este contaminante.

Comportamiento 3 horas

En la Figura 10 se presentan los diagramas de cajas por año y por estación, donde se puede observar que todas las mediciones de 3 horas se encuentran por debajo del 20% de la norma de 3 horas (287 ppb) y de la norma 24 horas (96 ppb). De igual manera, se puede observar que solamente los valores considerados como extremos se encuentran por encima de 30 ppb.

La concentración histórica de este contaminante en las dos estaciones se ha mantenido relativamente constante y la dispersión de los datos en la estación Chimitá aumentó el último año, probablemente por los traslados que se realizaron.

Figura 10. Diagrama de cajas de las mediciones de 3 horas de SO₂ de la CDMB

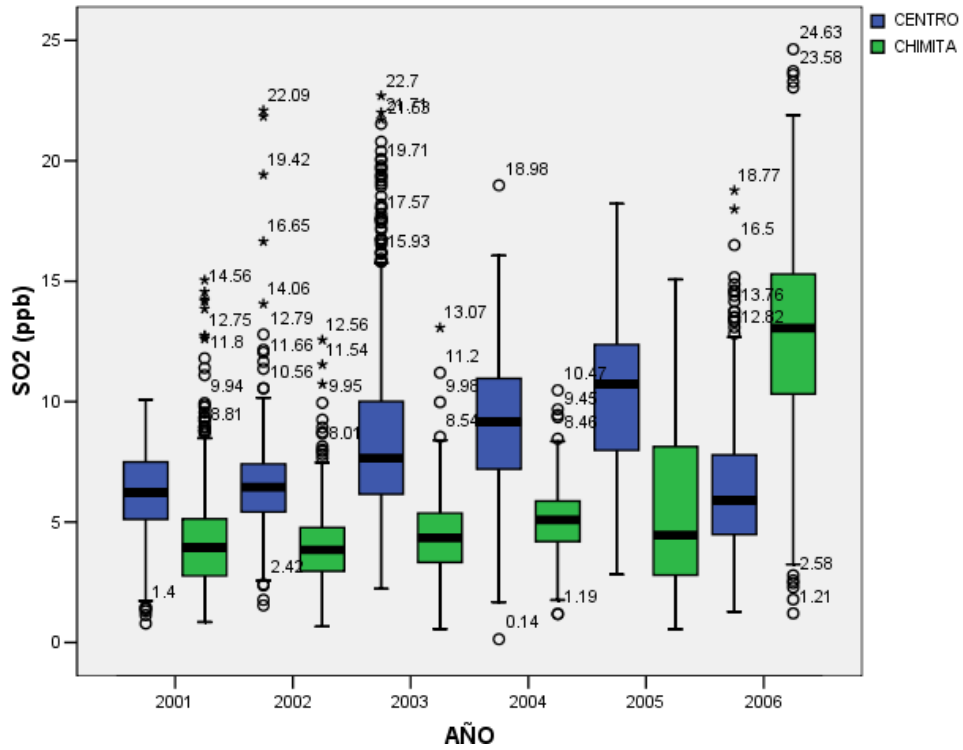


Comportamiento 24 horas

En la Figura 11 se presentan los diagramas de cajas por año y por estación, donde se puede observar que todas las mediciones de 24 horas se encuentran por debajo del 25% de la norma de 24 horas (96 ppb) y por debajo de la norma anual (31 ppb), indicador que sirve para determinar la clasificación de áreas-fuente de contaminación.

Es importante anotar que existen valores bajos que se pueden considerar como valores extremos, lo que puede estar asociado a fallas en la calibración del aire cero.

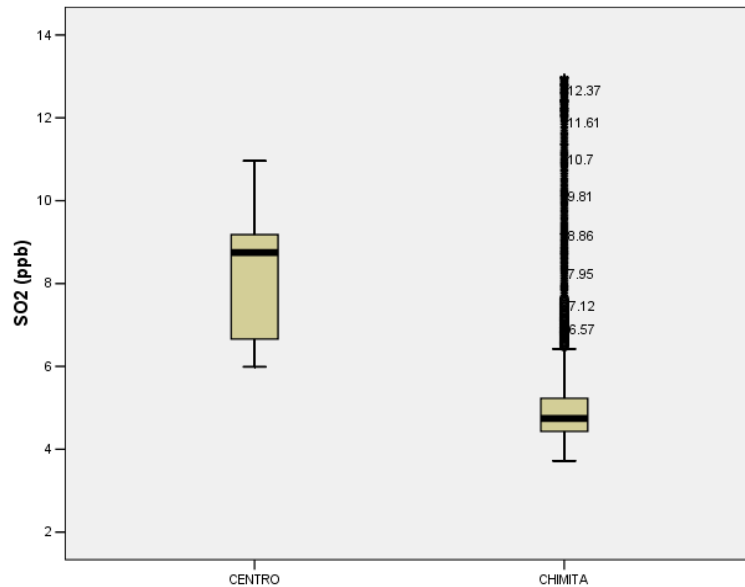
Figura 11 Diagrama de cajas de las mediciones de 24 horas de SO₂ en la CDMB



Comportamiento anual

En la Figura 12 se presentan los diagramas de cajas por estación, donde se puede observar que todas las mediciones anuales se encuentran por debajo del 50% de la norma anual (31 ppb), lo que permite determinar que es posible trasladar las estaciones a zonas donde se espera mayor concentración de este contaminante o disminuir la frecuencia de medición. Los valores extremos y atípicos que se presentan en la estación Chimitá son ocasionados por los valores medidos durante los traslados que se han hecho de la estación.

Figura 12 Diagrama de cajas de las mediciones anuales de SO₂ en la CDMB



Dióxido de Nitrógeno – NO₂

Con la disponibilidad de información en la red de la CDMB es posible evaluar el comportamiento horario de 24 horas y anual de este contaminante.

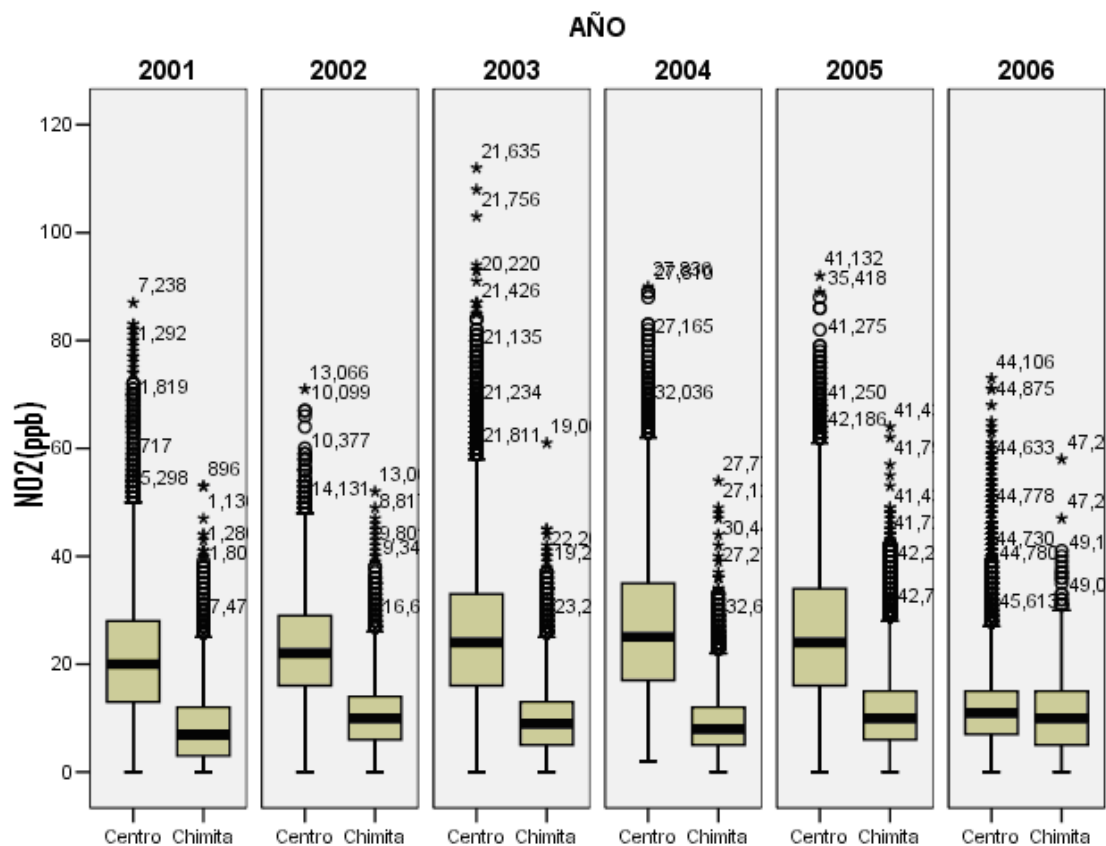
Comportamiento 1 hora

En la Figura 13 se presentan los diagramas de cajas por año y por estación, donde se puede observar que solamente algunos valores considerados como atípicos se encuentran por encima de la norma de 1 hora (106 ppb). Más del 75% de los valores se encuentra por debajo de 40 ppb y los valores considerados como atípicos se encuentran por debajo de 120 ppb.

La estación Centro presenta un comportamiento relativamente constante, con excepción del año 2006 donde se presentó una ligera disminución en las

concentraciones del contaminante. En la estación Chimitá el comportamiento se ha mantenido constante a lo largo del tiempo.

Figura 13. Diagrama de cajas de las mediciones de 1 hora de NO₂ de la CDMB



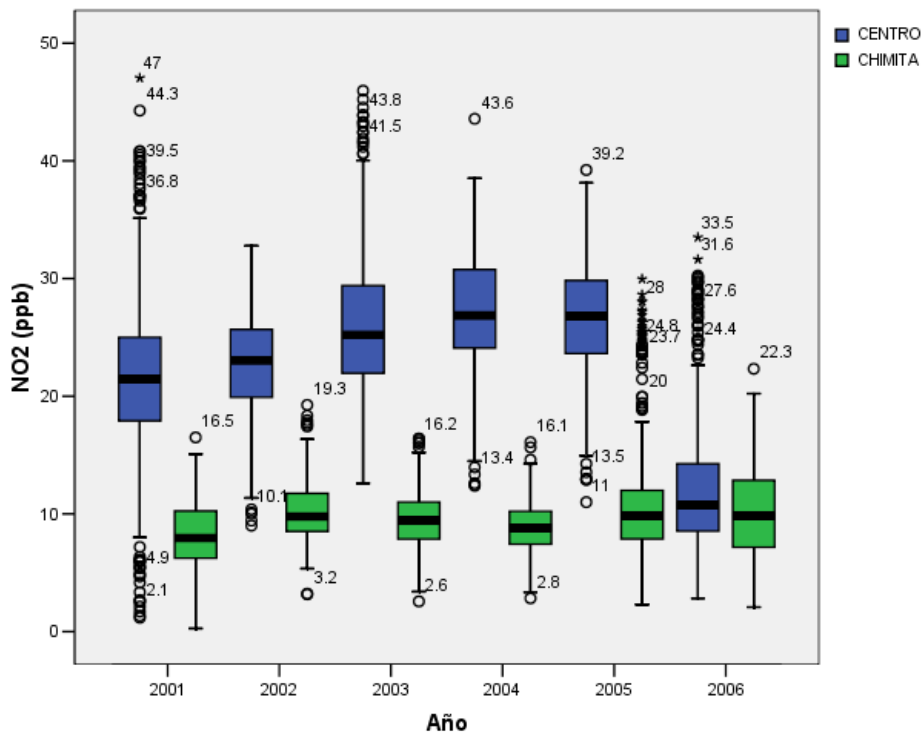
Comportamiento 24 horas

En la Figura 14 se presentan los diagramas de cajas por año y por estación, donde se puede observar que todas las mediciones de 24 horas se encuentran por debajo de la norma de 24 horas (80 ppb) y de la norma anual (53 ppb), indicador que sirve para determinar la clasificación de áreas-fuente de contaminación.

En la estación Centro se presenta una reducción considerable en las mediciones 24 horas en el año 2006 comparadas con los años anteriores. De igual manera, el 95% de los datos se encuentra por debajo de 40 ppb.

La estación Chimitá cuenta con más del 95% de los datos por debajo de 20 ppb, presentando un comportamiento relativamente constante, con excepción del año 2006 donde se presentó un aumento en la dispersión de los valores, posiblemente por el traslado que se ha hecho de la estación en varias ocasiones.

Figura 14. Diagrama de cajas de las mediciones de 24 horas de NO₂ de la CDMB

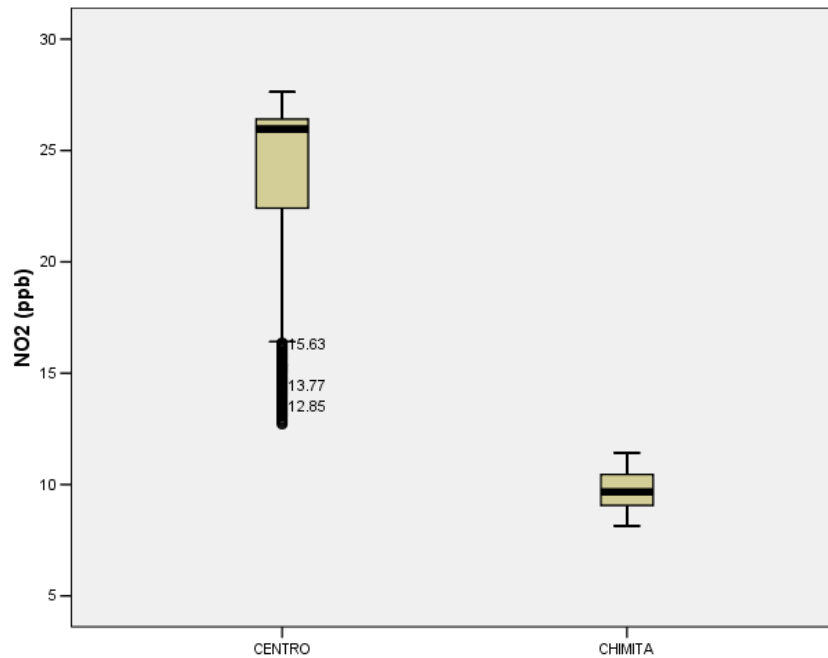


Comportamiento anual

En la Figura 15 se presentan los diagramas de cajas por estación, donde se puede observar que todas las mediciones anuales se encuentran por debajo del 50% de

la norma anual (53 ppb), lo que permite determinar que es posible trasladar las estaciones a zonas donde se espera mayor concentración de este contaminante o disminuir la frecuencia de medición.

Figura 15 Diagrama de cajas de las mediciones anuales de NO₂ en la CDMB



3.4.3.8. Ozono – O₃

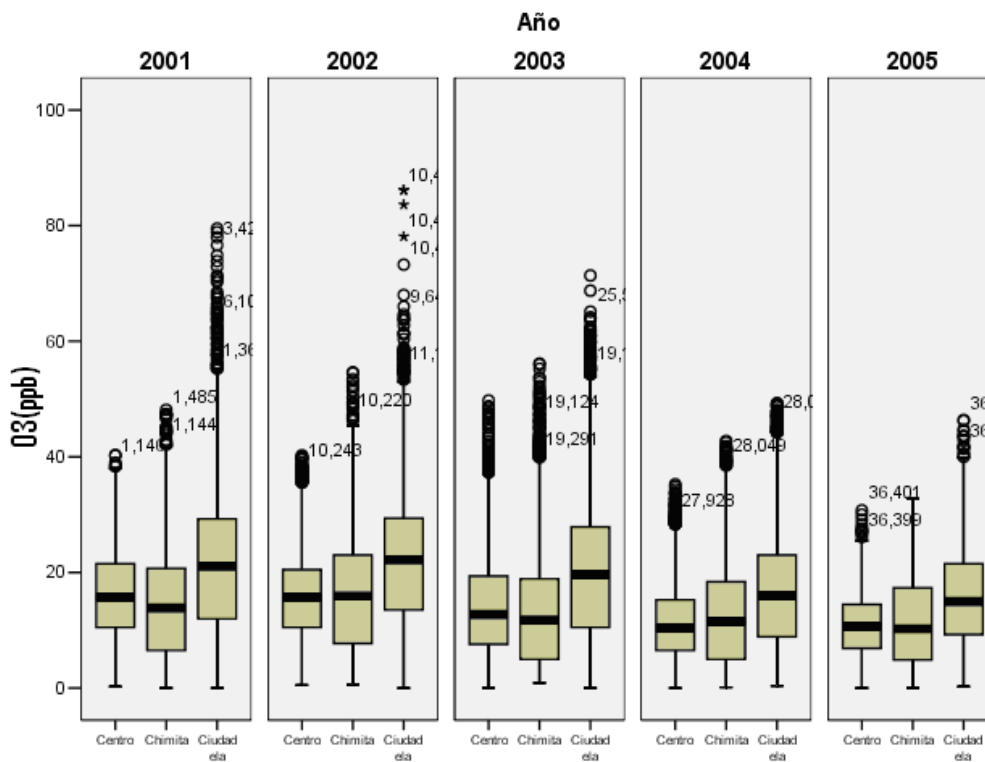
Comportamiento horario

En la Figura 16 se presenta el diagrama de cajas por año y por estación, donde se puede observar que solamente los datos considerados como atípicos y extremos se encuentran por encima de la norma horaria (61 ppb). Es importante anotar que para el análisis realizado no se contó con los datos validados de la estación Ciudadela, por lo que es probable que los datos atípicos hayan sido corregidos por los operadores de la red.

En la Figura 16 se presenta el diagrama de cajas por año y por estación, donde se puede observar que solamente los valores considerados atípicos están por encima de la norma para 8 horas (41 ppb). Es importante anotar que para el análisis realizado no se contó con los datos validados de la estación Ciudadela, por lo que es probable que los datos atípicos hayan sido corregidos por los operadores de la red.

En general, el comportamiento de los promedios de 8 horas en las estaciones de la red de la CDMB tiene un comportamiento normal. Si se tiene en cuenta que durante la noche no se genera ozono debido a la ausencia de luz solar, es necesario evaluar la presencia de valores elevados de este contaminante en estas horas.

Figura 17. Diagrama de cajas de las mediciones de 8 horas de O₃ en la CDMB



3.4.3.9. Monóxido de Carbono – CO

Comportamiento horario

El 95% de los datos históricos de la red de calidad del aire de la CDMB se encuentran por debajo de 8 ppm, es decir, se encuentran por debajo de la norma de calidad horaria (35 ppm) y de la norma de calidad para 8 horas (8,8 ppm).

Comportamiento 8 horas

El 95% de los datos históricos de la red de calidad del aire de la CDMB se encuentran por debajo de 8 ppm, es decir, se encuentran por debajo de la norma de calidad para 8 horas.

3.5. DETERMINACIÓN DE ÁREAS – FUENTE DE CONTAMINACIÓN

Dado la disponibilidad de datos con que se cuenta en las estaciones de calidad del aire, a continuación se realiza una evaluación de los datos para determinar la existencia de valores que puedan indicar la posible existencia de áreas-fuente de contaminación.

3.5.1. Material Particulado Inferior a 10 μm – PM₁₀ En la Tabla 17 se presentan los cálculos de excedencias de PM₁₀ para cada año comprendido entre el 2001 y el 2006. En esta tabla se puede observar que todas las estaciones presentan excedencias que permiten clasificar sus áreas de influencia como áreas-fuente de contaminación moderada hasta el año 2005, con excepción de la estación Centro en el 2004 que se podría haber clasificado como área-fuente de contaminación media, al igual que la estación Chimitá en el 2005. Estas dos estaciones presentan características de área-fuente de contaminación media en el 2006.

La estación Florida no presenta condiciones que permitan establecer un área-fuente de contaminación en su área de influencia.

Tabla 17 Cálculo de excedencias de PM₁₀ para clasificar áreas-fuente de contaminación

| AÑO | CRITERIO | CENTRO | CHIMITA | FLORIDA |
|------|-----------|--------|---------|---------|
| 2001 | No. Datos | 346 | 352 | 327 |
| | > 70 | 97 | 71 | 25 |
| | % Exced. | 28% | 20% | 8% |
| 2002 | No. Datos | 364 | 363 | 361 |
| | > 70 | 148 | 121 | 11 |
| | % Exced. | 41% | 33% | 3% |
| 2003 | No. Datos | 316 | 344 | 361 |
| | > 70 | 141 | 79 | 22 |
| | % Exced. | 45% | 23% | 6% |
| 2004 | No. Datos | 341 | 335 | 366 |
| | > 70 | 206 | 76 | 11 |
| | % Exced. | 60% | 23% | 3% |
| 2005 | No. Datos | 358 | 351 | 59* |
| | > 70 | 122 | 197 | 0 |
| | % Exced. | 34% | 56% | 0% |
| 2006 | No. Datos | 337 | 349 | |
| | > 70 | 212 | 221 | |
| | % Exced. | 63% | 63% | |

* Información disponible a febrero de 2005

3.5.2. Dióxido de Azufre – SO₂ En ninguna de las estaciones de calidad del aire que registran este contaminante se presentan excedencias que permitan clasificar sus áreas de influencia como áreas-fuente de contaminación.

3.5.3. Dióxido de Nitrógeno – NO₂ Al igual que con el SO₂, en ninguna de las estaciones de calidad del aire que registran este contaminante se presentan excedencias que permitan clasificar sus áreas de influencia como áreas-fuente de contaminación.

4. ANALISIS DE LA INFORMACION DE METEOROLOGICA PROVENIENTE DE LAS ESTACIONES DE LA CDMB

En la Tabla 18 se detallan los días con datos meteorológicos faltantes en las estaciones de las redes de calidad del aire de la ciudad de Bucaramanga.

En el caso de Bucaramanga, los porcentajes de días con datos meteorológicos faltantes son relativamente bajos, varían entre el 0 y el 5.7%, lo que refleja que la red meteorológica de esta ciudad ha operado de una manera adecuada entre los años 2001 y 2006 y se cuenta con una buena base de datos meteorológicos para la simulación con los modelos de dispersión y para realizar los estudios de calidad del aire en general.

Tabla 18 Disponibilidad de datos meteorológicos existentes en la red de Bucaramanga

| ESTACION | | UIS | PTAR | Chimitá | Centro |
|----------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| PERIODO DATOS | | Feb. 2002 - Oct. 2006 | Feb. 2002 - Oct. 2006 | Ene. 2001 - Mar. 2006 | Ene. 2001 - Dic. 2006 |
| VARIABLES | | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P |
| AÑO | INDICADOR | | | | |
| 2001 | Días de operación | | | 365 | 365 |
| | Días falta todos | | | 0 | 7 |
| | Días falta T | | | 0 | 7 |
| | Días falta HR | | | 0 | 7 |

| ESTACION | UIS | PTAR | Chimitá | Centro | |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|
| PERIODO DATOS | Feb. 2002 - Oct. 2006 | Feb. 2002 - Oct. 2006 | Ene. 2001 - Mar. 2006 | Ene. 2001 - Dic. 2006 | |
| VARIABLES | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | |
| | Días falta RS | | 58 | 7 | |
| | Días falta VV | | 58 | 7 | |
| | Días falta DV | | 58 | 7 | |
| | Días falta Pb | | 0 | 7 | |
| | Días falta Precip. | | 0 | 7 | |
| 2002 | Días de operación | 334 | 336 | 365 | 365 |
| | Días falta todos | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Días falta T | 0 | 124 | 0 | 0 |
| | Días falta HR | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Días falta RS | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Días falta VV | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Días falta DV | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Días falta Pb | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Días falta Precip. | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2003 | Días de operación | 365 | 365 | 365 | 365 |
| | Días falta todos | 0 | 0 | 0 | 92 |
| | Días falta T | 0 | 0 | 0 | 92 |
| | Días falta HR | 0 | 0 | 0 | 92 |
| | Días falta RS | 0 | 0 | 0 | 106 |
| | Días falta VV | 0 | 0 | 0 | 92 |
| | Días falta DV | 0 | 0 | 0 | 92 |
| | Días falta Pb | 0 | 0 | 0 | 92 |
| | Días falta Precip. | 0 | 0 | 0 | 92 |

| ESTACION | UIS | PTAR | Chimitá | Centro | |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|
| PERIODO DATOS | Feb. 2002 - Oct. 2006 | Feb. 2002 - Oct. 2006 | Ene. 2001 - Mar. 2006 | Ene. 2001 - Dic. 2006 | |
| VARIABLES | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | |
| 2004 | Días de operación | 365 | 365 | 365 | 365 |
| | Días falta todos | 17 | 0 | 0 | 8 |
| | Días falta T | 17 | 0 | 0 | 8 |
| | Días falta HR | 17 | 265 | 0 | 8 |
| | Días falta RS | 17 | 0 | 0 | 8 |
| | Días falta VV | 185 | 0 | 0 | 8 |
| | Días falta DV | 185 | 0 | 0 | 8 |
| | Días falta Pb | 17 | 0 | 0 | 8 |
| | Días falta Precip. | 17 | 0 | 0 | 8 |
| 2005 | Días de operación | 365 | 365 | 365 | 365 |
| | Días falta todos | 13 | 102 | 0 | 0 |
| | Días falta T | 13 | 102 | 0 | 0 |
| | Días falta HR | 13 | 142 | 0 | 0 |
| | Días falta RS | 13 | 102 | 0 | 0 |
| | Días falta VV | 13 | 102 | 0 | 0 |
| | Días falta DV | 13 | 102 | 0 | 75 |
| | Días falta Pb | 13 | 102 | 0 | 0 |
| | Días falta Precip. | 13 | 102 | 0 | 0 |
| 2006 | Días de operación | 292 | 365 | 174 | 365 |
| | Días falta todos | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | Días falta T | 0 | 0 | 77 | 9 |
| | Días falta HR | 0 | 0 | 77 | 9 |
| | Días falta RS | 0 | 0 | 77 | 9 |

| ESTACION | UIS | PTAR | Chimitá | Centro |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| PERIODO DATOS | Feb. 2002 - Oct. 2006 | Feb. 2002 - Oct. 2006 | Ene. 2001 - Mar. 2006 | Ene. 2001 - Dic. 2006 |
| VARIABLES | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P | T, HR, DV, VV, RS, PB, P |
| Días falta VV | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Días falta DV | 0 | 31 | 0 | 69 |
| Días falta Pb | 0 | 0 | 77 | 9 |
| Días falta Precip. | 0 | 0 | 77 | 9 |
| Total días operación | 1721 | 1796 | 1999 | 2190 |
| Total días falta todo | 30 | 102 | 0 | 116 |
| % días falta todo | 1.74 | 5.68 | 0,00 | 5.30 |
| % días falta T | 1.74 | 12.58 | 3.85 | 5.30 |
| % días falta HR | 1.74 | 22.66 | 3.85 | 5.30 |
| % días falta RS | 1.74 | 5.68 | 6.75 | 5.94 |
| % días falta VV | 11.50 | 5.68 | 2.90 | 5.30 |
| % días falta DV | 11.50 | 7.41 | 2.90 | 11.46 |
| % días falta Pb | 1.74 | 5.68 | 3.85 | 5.30 |
| % días falta Precip. | 1.74 | 5.68 | 3.85 | 5.30 |

4.4. Condiciones climatológicas predominantes en Bucaramanga

4.4.1. Resúmenes horarios de las variables climáticas Los resúmenes climatológicos horarios para velocidad y dirección del viento, temperatura, precipitación, humedad relativa, radiación solar y presión atmosférica para la ciudad de Bucaramanga, son presentados a partir de la Tabla 19 hasta la Tabla 22 y también a partir de la Figura 19 hasta la Figura 26 para los períodos completos en las estaciones de medición de parámetros meteorológicos.

Tabla 19 Resumen climatológico multianual por horas. Estación Centro. Período 2001 – 2006

| HORA | VEL VTO m/s | DIR VTO | TEMP °C | PRECIP mm | PRECIP % | HUM REL % | RAD SOL W/m ² | PRESIÓN hPa |
|----------|----------------|------------|------------|--------------|-------------|-----------------|-----------------------------|----------------|
| 0 | 0.61 | S | 19.27 | 78.60 | 7.67 | 94.08 | 0.00 | 663.95 |
| 1 | 0.59 | SW | 18.98 | 72.15 | 7.04 | 94.47 | 0.00 | 663.89 |
| 2 | 0.56 | W | 18.71 | 96.32 | 9.40 | 94.73 | 0.00 | 663.83 |
| 3 | 0.57 | S | 18.49 | 77.02 | 7.51 | 95.01 | 0.00 | 663.81 |
| 4 | 0.56 | S | 18.31 | 79.40 | 7.75 | 95.34 | 0.00 | 663.83 |
| 5 | 0.57 | S | 18.17 | 59.07 | 5.76 | 95.31 | 1.33 | 663.89 |
| 6 | 0.66 | S | 18.45 | 33.48 | 3.27 | 94.55 | 60.70 | 663.97 |
| 7 | 0.91 | S | 19.64 | 27.42 | 2.67 | 90.69 | 226.03 | 664.14 |
| 8 | 1.12 | S | 21.11 | 30.32 | 2.96 | 84.05 | 428.68 | 664.20 |
| 9 | 1.19 | S | 22.72 | 21.45 | 2.09 | 75.64 | 608.31 | 664.25 |
| 10 | 1.50 | NW | 24.03 | 20.82 | 2.03 | 69.45 | 709.81 | 664.21 |
| 11 | 2.33 | NW | 24.59 | 6.10 | 0.60 | 68.53 | 701.45 | 664.08 |
| 12 | 2.97 | NW | 24.55 | 12.73 | 1.24 | 70.25 | 683.41 | 663.94 |
| 13 | 3.14 | NW | 24.34 | 16.07 | 1.57 | 71.79 | 616.39 | 663.85 |
| 14 | 3.15 | NW | 24.09 | 19.52 | 1.90 | 73.35 | 515.08 | 663.73 |
| 15 | 3.03 | NW | 23.62 | 34.02 | 3.32 | 75.82 | 370.90 | 663.70 |
| 16 | 2.71 | NW | 22.86 | 55.62 | 5.43 | 79.81 | 189.51 | 663.65 |
| 17 | 2.20 | NW | 21.87 | 44.37 | 4.33 | 85.05 | 47.43 | 663.72 |
| 18 | 1.63 | NW | 21.06 | 37.52 | 3.66 | 89.33 | 0.14 | 663.77 |
| 19 | 1.24 | N | 20.71 | 47.67 | 4.65 | 90.78 | 0.00 | 663.90 |
| 20 | 0.97 | N | 20.45 | 32.57 | 3.18 | 91.49 | 0.00 | 664.01 |
| 21 | 0.77 | N | 20.20 | 24.27 | 2.37 | 92.10 | 0.00 | 664.05 |
| 22 | 0.70 | N | 19.90 | 43.42 | 4.24 | 92.82 | 0.00 | 664.07 |
| 23 | 0.66 | SE | 19.58 | 55.12 | 5.38 | 93.61 | 0.00 | 664.05 |
| 24 Horas | 1.43 | NW | 21.07 | 1025.00 | 100.00 | 85.75 | | 663.94 |
| Diurno | 2.07 | NW | 22.66 | 321.90 | 31.40 | 78.25 | 429.81 | 663.95 |
| Nocturno | 0.79 | S | 19.49 | 703.10 | 68.60 | 93.26 | | 663.92 |

Figura 18 Distribución horaria de la velocidad del viento en la Estación Centro (2001 – 2006)

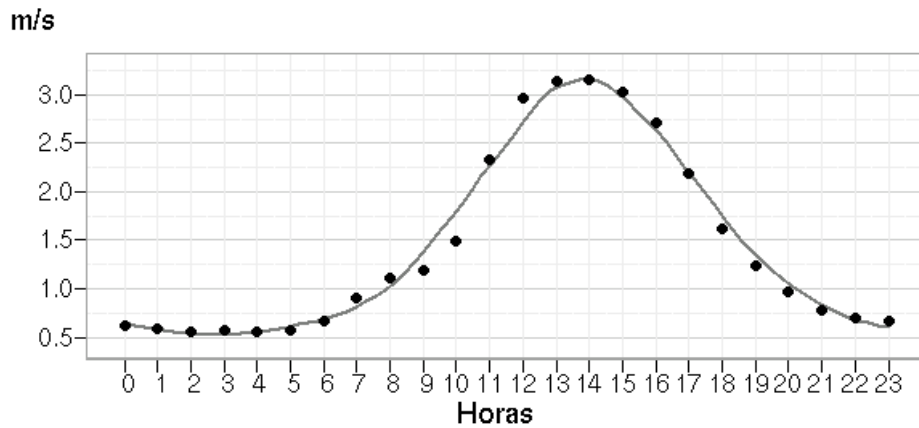
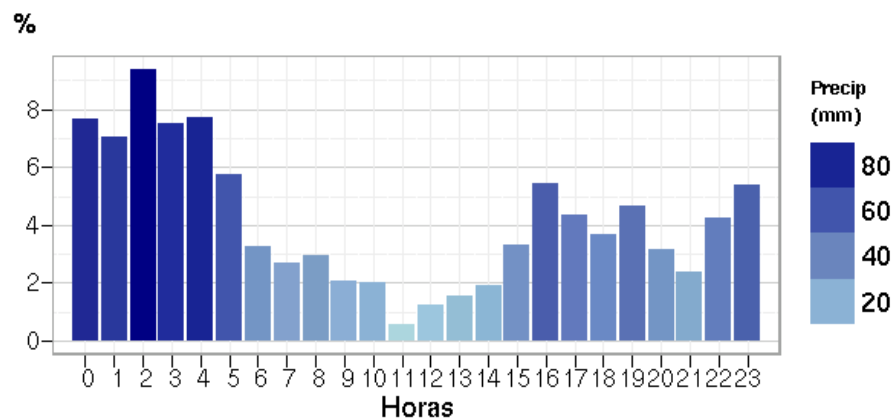


Figura 19 Distribución porcentual horaria de la precipitación en la Estación Centro (2001 – 2006)



De la Tabla 19 y en las Figuras 18 y 19 se establece que en el sector de la estación Centro la velocidad media del viento es de 1.4 m/s para las 24 horas del día, con un rango entre 3.1 m/s entre las 13 y las 14 horas y 0.6 m/s entre la medianoche y las 6 a.m. Predomina la dirección del viento del NW, aun cuando en la noche la dirección más frecuente es del S. La temperatura media a 2 metros sobre el suelo es de 21.1° C. El 68% de la precipitación se registra en el período nocturno y el 32% en el diurno; la mayor cantidad de lluvia se registra entre la

medianoche y las 5 a.m., con cerca de un 45% de la precipitación total. La humedad relativa media es alta (86%) y la radiación solar media horaria es de 430 W/m².

Tabla 20 Resumen climatológico multianual por horas. Estación Chimitá. Período 2001 - 2006.

| HORA | VEL VTO m/s | DIR VTO | TEMP °C | PRECIP mm | PRECIP % | HUM REL % | RAD SOL W/m ² | PRESIÓN HPa |
|------|-------------------|------------|------------|--------------|-------------|-----------------|--------------------------------|----------------|
| 0 | 0.79 | W | 23.26 | 49.05 | 6.51 | 93.48 | 0.06 | 665.33 |
| 1 | 0.78 | W | 22.98 | 64.01 | 8.49 | 94.23 | 0.07 | 665.11 |
| 2 | 0.78 | W | 22.71 | 68.67 | 9.11 | 94.61 | 0.07 | 664.83 |
| 3 | 0.81 | W | 22.51 | 74.78 | 9.92 | 94.93 | 0.07 | 664.92 |
| 4 | 0.78 | W | 22.33 | 50.86 | 6.75 | 95.12 | 0.07 | 664.72 |
| 5 | 0.81 | W | 22.14 | 42.26 | 5.60 | 95.23 | 1.73 | 664.77 |
| 6 | 0.79 | S | 22.33 | 29.60 | 3.93 | 94.12 | 59.46 | 666.87 |
| 7 | 0.81 | S | 23.85 | 17.86 | 2.37 | 87.24 | 233.97 | 667.52 |
| 8 | 0.91 | S | 25.88 | 18.00 | 2.39 | 76.97 | 463.44 | 666.66 |
| 9 | 0.93 | S | 27.70 | 12.04 | 1.60 | 68.09 | 689.85 | 663.96 |
| 10 | 1.21 | S | 28.46 | 14.98 | 1.99 | 61.68 | 819.04 | 664.41 |
| 11 | 1.72 | SE | 28.63 | 9.05 | 1.20 | 59.84 | 801.74 | 665.02 |
| 12 | 2.02 | SE | 28.75 | 5.62 | 0.74 | 59.72 | 696.41 | 667.06 |
| 13 | 2.13 | SE | 28.61 | 6.29 | 0.83 | 60.10 | 590.08 | 667.23 |
| 14 | 2.13 | SE | 28.60 | 18.96 | 2.52 | 61.14 | 494.58 | 666.92 |
| 15 | 2.09 | SE | 28.48 | 28.28 | 3.75 | 63.22 | 346.36 | 666.72 |
| 16 | 1.88 | S | 28.30 | 28.55 | 3.79 | 66.57 | 173.30 | 666.76 |
| 17 | 1.52 | S | 27.62 | 35.69 | 4.73 | 71.63 | 39.78 | 666.43 |
| 18 | 1.10 | S | 26.69 | 35.00 | 4.64 | 77.66 | 0.33 | 664.78 |
| 19 | 0.97 | W | 25.73 | 21.37 | 2.83 | 82.67 | 0.03 | 664.89 |
| 20 | 0.92 | W | 24.99 | 28.55 | 3.79 | 86.43 | 0.04 | 664.77 |
| 21 | 0.87 | W | 24.45 | 22.98 | 3.05 | 89.03 | 0.05 | 666.05 |
| 22 | 0.86 | W | 24.03 | 34.33 | 4.55 | 91.11 | 0.08 | 665.59 |

| HORA | VEL VTO m/s | DIR VTO | TEMP °C | PRECIP mm | PRECIP % | HUM REL % | RAD SOL W/m ² | PRESIÓN HPa |
|----------|-------------|---------|---------|-----------|----------|-----------|--------------------------|-------------|
| 23 | 0.80 | W | 23.56 | 37.20 | 4.93 | 92.39 | 0.07 | 665.73 |
| 24 Horas | 1.18 | W | 25.52 | 754.01 | 100.00 | 79.88 | | 665.71 |
| Diurno | 1.51 | S | 27.27 | 224.94 | 29.83 | 69.19 | 450.67 | 666.30 |
| Nocturno | 0.86 | W | 23.78 | 529.08 | 70.17 | 90.57 | | 665.12 |

Figura 20 Distribución horaria de la velocidad del viento en la Estación Chimitá (2001 – 2006)

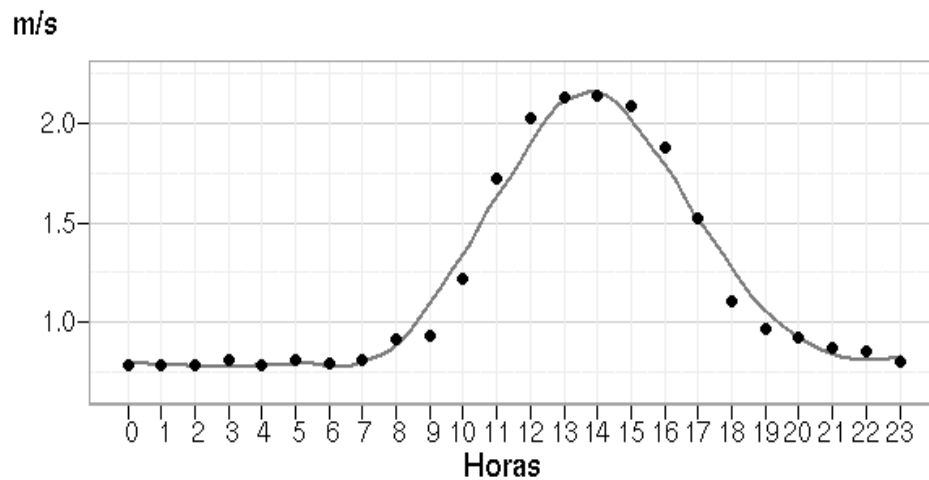
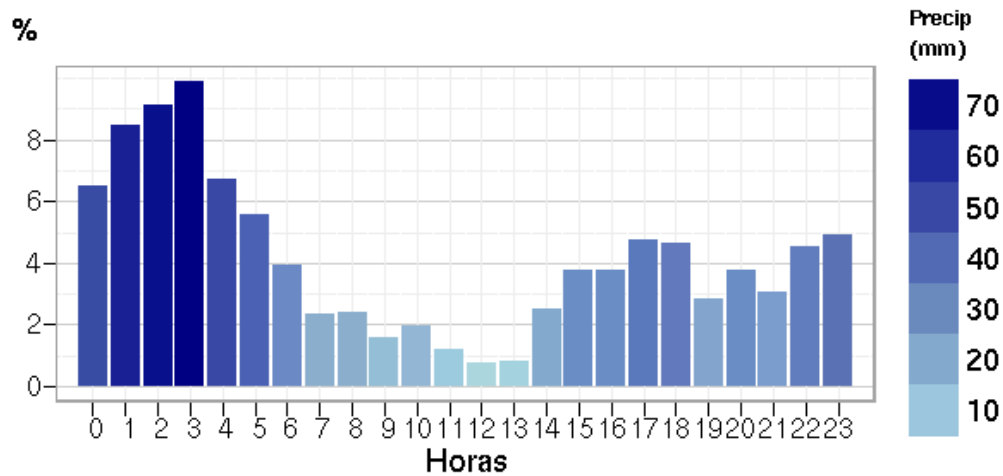


Figura 21 Distribución porcentual horaria de la precipitación en la Estación Chimitá (2001 – 2006)



En la Tabla 20 y las Figuras 20 y 21 se aprecia que en el sector de la estación Chimitá, la velocidad media del viento es de 1.2 m/s para las 24 horas del día, con un rango entre 2.1m/s entre las 13 y las 15 horas y 0.8 m/s entre la medianoche y las 7 a.m. Predomina la dirección del viento del W en las 24 horas, aun cuando en el día la dirección más frecuente es del S.

La temperatura media a 2 metros sobre el suelo es de 25.5° C, mayor en cerca de 4°C que en la estación Centro. El 70% de la precipitación se registra en el período nocturno y el 30% en el diurno; la mayor cantidad de lluvia se registra entre la medianoche y las 5 a.m. con cerca de un 45% de la precipitación total. La humedad relativa media es del 80% y la radiación solar media horaria es de 450 W/m².

Tabla 21 Resumen climatológico multianual por horas. Estación PTAR. Período 2002 - 2006.

| HORA | VEL VTO m/s | DIR VTO | TEMP °C | PRECIP mm | PRECIP % | HUM REL % | RAD SOL W/m ² | PRESIÓN HPa |
|----------|-------------------|------------|------------|--------------|-------------|-----------------|--------------------------------|----------------|
| 0 | 0.13 | SW | 19.49 | 82.28 | 6.88 | 93.46 | 1.37 | 675.84 |
| 1 | 0.14 | W | 19.29 | 89.14 | 7.45 | 93.83 | 1.49 | 675.82 |
| 2 | 0.14 | W | 19.09 | 110.22 | 9.21 | 94.14 | 1.63 | 675.75 |
| 3 | 0.15 | W | 18.91 | 94.00 | 7.86 | 94.33 | 1.74 | 675.76 |
| 4 | 0.13 | W | 18.73 | 71.10 | 5.94 | 94.53 | 1.86 | 675.75 |
| 5 | 0.14 | W | 18.58 | 84.06 | 7.03 | 94.57 | 3.64 | 675.81 |
| 6 | 0.17 | W | 18.86 | 55.14 | 4.61 | 94.06 | 49.01 | 675.90 |
| 7 | 0.36 | NE | 20.69 | 40.44 | 3.38 | 87.54 | 212.12 | 676.02 |
| 8 | 0.54 | NE | 23.04 | 18.46 | 1.54 | 76.72 | 458.23 | 676.12 |
| 9 | 0.59 | NE | 25.28 | 13.46 | 1.13 | 66.30 | 683.17 | 676.16 |
| 10 | 0.70 | NE | 26.53 | 24.32 | 2.03 | 59.76 | 788.03 | 676.11 |
| 11 | 1.05 | E | 26.91 | 15.42 | 1.29 | 57.87 | 752.55 | 676.05 |
| 12 | 1.51 | E | 26.89 | 7.92 | 0.66 | 59.25 | 763.69 | 675.94 |
| 13 | 1.57 | E | 26.69 | 14.24 | 1.19 | 61.01 | 648.33 | 675.82 |
| 14 | 1.37 | E | 26.29 | 33.24 | 2.78 | 62.91 | 502.08 | 675.73 |
| 15 | 1.20 | S | 25.70 | 42.26 | 3.53 | 65.37 | 304.13 | 675.68 |
| 16 | 0.95 | S | 24.94 | 53.56 | 4.48 | 69.00 | 131.40 | 675.67 |
| 17 | 0.63 | S | 23.70 | 43.56 | 3.64 | 74.52 | 32.97 | 675.69 |
| 18 | 0.36 | SW | 22.38 | 70.14 | 5.86 | 81.18 | 0.84 | 675.75 |
| 19 | 0.21 | SW | 21.52 | 52.24 | 4.37 | 86.14 | 0.64 | 675.82 |
| 20 | 0.16 | SW | 20.89 | 39.12 | 3.27 | 89.29 | 0.74 | 675.92 |
| 21 | 0.13 | W | 20.40 | 27.88 | 2.33 | 91.02 | 0.86 | 675.96 |
| 22 | 0.13 | W | 20.05 | 51.06 | 4.27 | 92.09 | 1.04 | 675.94 |
| 23 | 0.13 | W | 19.74 | 63.02 | 5.27 | 92.77 | 1.23 | 675.94 |
| 24 Horas | 0.52 | W | 22.27 | 1196.28 | 100.00 | 80.48 | | 675.87 |
| Diurno | 0.89 | NE | 24.63 | 362.02 | 30.26 | 69.52 | 443.81 | 675.91 |
| Nocturno | 0.16 | W | 19.92 | 834.26 | 69.74 | 91.44 | | 675.84 |

Figura 22 Distribución horaria de la velocidad del viento en la Estación PTAR (2002 – 2006)

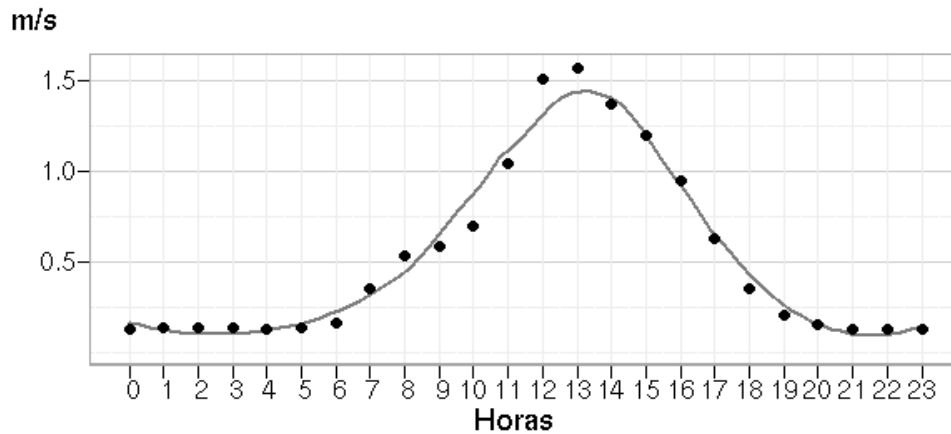
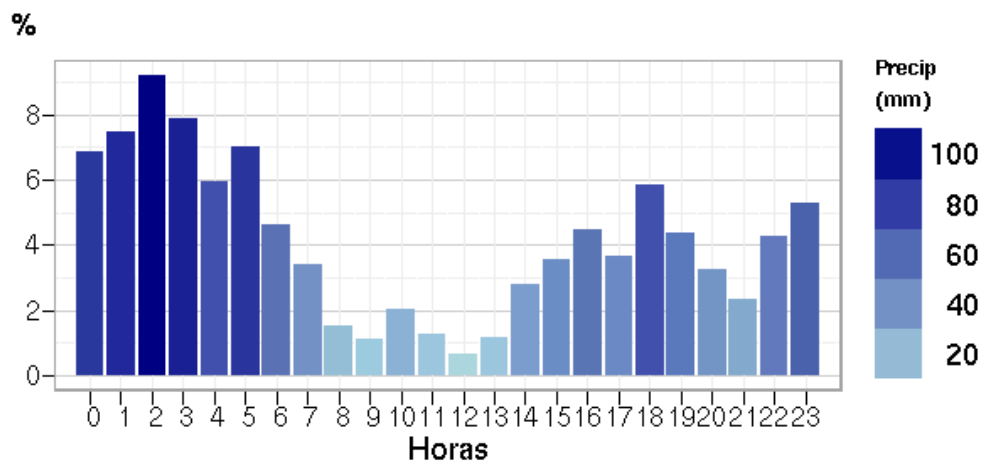


Figura 23. Distribución porcentual horaria de la precipitación en la Estación PTAR (2002 – 2006)



En la Tabla 21 y las Figuras 22 y 23 se aprecia que en el sector de la estación PTAR la velocidad media del viento es muy baja, 0.5 m/s para las 24 horas del día, con un rango entre 1.6 m/s a las 13 horas y apenas 0.1 m/s entre las 9 p.m. y las 5 a.m. Predomina la dirección del viento del W en las 24 horas, aun cuando en el día la dirección más frecuente es del NE.

La temperatura media a 2 metros sobre el suelo es de 22.3°C. El 70% de la precipitación se registra en el período nocturno y el 30% en el diurno; la mayor cantidad de lluvia se registra entre la medianoche y las 5 a.m., con cerca de un 45% de la precipitación total. La humedad relativa media es del 80% y la radiación solar media horaria es de 444 W/m².

Tabla 22. Resumen climatológico multianual por horas. Estación UIS. Período 2002 - 2006.

| HORA | VEL VTO m/s | DIR VTO | TEMP °C | PRECIP mm | PRECIP % | HUM REL % | RAD SOL W/m ² | PRESIÓN HPa |
|------|-------------------|------------|------------|--------------|-------------|-----------------|--------------------------------|----------------|
| 0 | 0.67 | SW | 21.87 | 65.04 | 5.35 | 85.06 | 0.88 | 677.67 |
| 1 | 0.67 | SW | 21.58 | 114.06 | 9.38 | 85.37 | 0.90 | 677.33 |
| 2 | 0.65 | N | 21.30 | 116.92 | 9.61 | 85.68 | 0.87 | 677.09 |
| 3 | 0.63 | N | 21.06 | 74.10 | 6.09 | 86.08 | 0.83 | 677.02 |
| 4 | 0.62 | N | 20.85 | 62.08 | 5.10 | 86.52 | 0.80 | 677.17 |
| 5 | 0.62 | N | 20.67 | 76.62 | 6.30 | 86.80 | 2.84 | 677.47 |
| 6 | 0.63 | SW | 20.86 | 42.58 | 3.50 | 85.41 | 60.26 | 677.79 |
| 7 | 0.73 | SE | 21.75 | 32.26 | 2.65 | 81.74 | 219.76 | 678.04 |
| 8 | 0.90 | SE | 22.72 | 29.52 | 2.43 | 78.94 | 411.78 | 678.14 |
| 9 | 1.04 | SE | 24.01 | 26.56 | 2.18 | 74.36 | 604.57 | 678.05 |
| 10 | 1.28 | SE | 25.34 | 22.46 | 1.85 | 68.04 | 706.33 | 677.90 |
| 11 | 1.69 | SE | 26.11 | 11.46 | 0.94 | 65.86 | 721.43 | 677.56 |
| 12 | 1.91 | SE | 26.30 | 15.72 | 1.29 | 66.98 | 632.49 | 677.30 |
| 13 | 1.98 | SE | 26.24 | 24.38 | 2.00 | 68.30 | 515.40 | 676.78 |
| 14 | 1.95 | SE | 26.07 | 38.22 | 3.14 | 69.72 | 416.47 | 676.27 |
| 15 | 1.83 | SE | 25.65 | 52.00 | 4.28 | 72.15 | 298.36 | 675.98 |
| 16 | 1.59 | SE | 25.02 | 68.90 | 5.66 | 75.29 | 166.21 | 675.98 |

| HORA | VEL VTO m/s | DIR VTO | TEMP °C | PRECIP mm | PRECIP % | HUM REL % | RAD SOL W/m ² | PRESIÓN HPa |
|----------|-------------|---------|---------|-----------|----------|-----------|--------------------------|-------------|
| 17 | 1.20 | SE | 24.21 | 41.44 | 3.41 | 79.24 | 47.96 | 676.36 |
| 18 | 0.90 | S | 23.42 | 59.62 | 4.90 | 83.18 | 1.63 | 676.71 |
| 19 | 0.82 | S | 23.03 | 38.40 | 3.16 | 84.84 | 0.80 | 677.22 |
| 20 | 0.74 | S | 22.80 | 40.28 | 3.31 | 85.30 | 0.81 | 677.60 |
| 21 | 0.72 | SW | 22.60 | 38.10 | 3.13 | 85.20 | 0.82 | 677.85 |
| 22 | 0.71 | SW | 22.38 | 48.02 | 3.95 | 84.94 | 0.87 | 678.00 |
| 23 | 0.73 | SW | 22.13 | 77.54 | 6.38 | 84.97 | 0.86 | 677.94 |
| 24 Horas | 1.05 | SE | 23.25 | 1216.28 | 100.00 | 79.58 | | 677.30 |
| Diurno | 1.40 | SE | 24.52 | 405.50 | 33.34 | 73.83 | 400.08 | 677.18 |
| Nocturno | 0.71 | SW | 21.98 | 810.78 | 66.66 | 85.33 | | 677.42 |

Figura 24 Distribución horaria de la velocidad del viento en la Estación UIS (2002 – 2006)

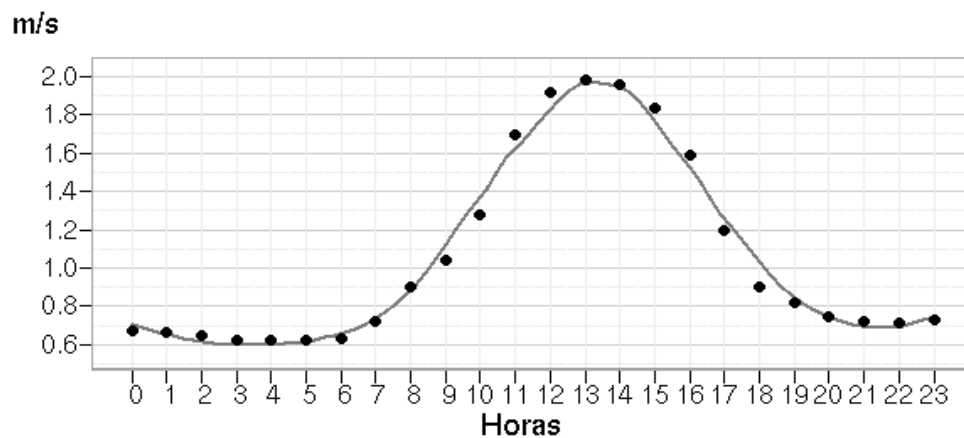
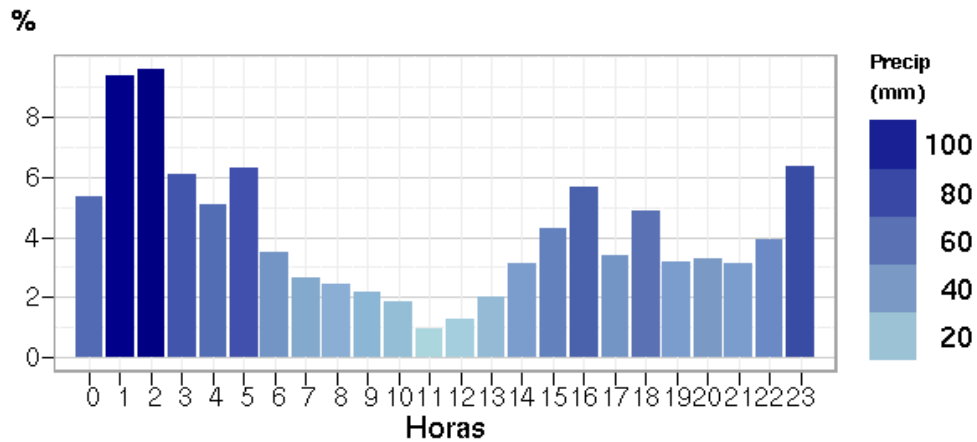


Figura 25 Distribución porcentual horaria de la precipitación en la Estación UIS (2002 – 2006)



En la Tabla 22 y las Figuras 24 y 25 se aprecia que en el sector de la estación UIS, la velocidad media del viento es de 1.1 m/s para las 24 horas del día, con un rango entre 2 m/s a las 13 horas y 0.6 m/s entre las 3 y las 6 a.m. Predomina la dirección del viento del SE en las 24 horas, aun cuando en la noche la dirección más frecuente es del SW.

La temperatura media a 2 metros sobre el suelo es de 23.3° C. El 66% de la precipitación se registra en el período nocturno y el 33% en el diurno; la mayor cantidad de lluvia se registra entre las 11 p.m. y las 5 a.m., con cerca de un 50% de la precipitación total. La humedad relativa media es del 80% y la radiación solar media horaria es de 400 W/m².

En las Tablas 23 a 25 se presentan los resúmenes de los análisis vectoriales del viento realizados para las diversas estaciones meteorológicas establecidas en Bucaramanga, para los períodos diurnos, nocturnos y diarios totales.

Tabla 23 Resultados del análisis vectorial del viento. Bucaramanga. Período diurno

| ESTACIÓN | VIENTO PREDOMINANTE | |
|----------|---------------------|--------------------|
| | Intensidad (m/s) | Dirección (grados) |
| Centro | 1.17 | 299 |
| Chimitá | 0.75 | 176 |
| PTAR | 0.49 | 107 |
| UIS | 0.93 | 163 |

Tabla 24 Resultados del análisis vectorial del viento. Bucaramanga. Período nocturno

| ESTACIÓN | VIENTO PREDOMINANTE | |
|----------|---------------------|--------------------|
| | Intensidad (m/s) | Dirección (grados) |
| Centro | 0.15 | 318 |
| Chimitá | 0.43 | 247 |
| PTAR | 0.10 | 193 |
| UIS | 0.25 | 208 |

Tabla 25 Resultados del análisis vectorial del viento. Bucaramanga. Período total (24 h)

| ESTACIÓN | VIENTO PREDOMINANTE | |
|----------|---------------------|--------------------|
| | Intensidad (m/s) | Dirección (grados) |
| Centro | 0.66 | 301 |
| Chimitá | 0.49 | 201 |
| PTAR | 0.27 | 157 |
| UIS | 0.31 | 150 |

En general, predominan vientos con velocidades bajas, inferiores a 1.2 m/s y con direcciones asociadas que varían poco a lo largo del día. En los períodos diurnos prevalecen las direcciones del S y del SE (entre 110 y 180 grados); en los períodos nocturnos hay una moderada variabilidad en las direcciones, aun cuando prevalecen las del W, lo que refleja el mayor efecto de las condiciones locales, y en los períodos totales hay un predominio de los vientos del SE y SW.

4.4.2. Rosas de vientos y tablas de dirección del viento para las estaciones meteorológicas analizadas en Bucaramanga

4.4.2.6. Estación Centro

Figura 26 Rosa de vientos multianual total (2001 – 2006). Estación Centro

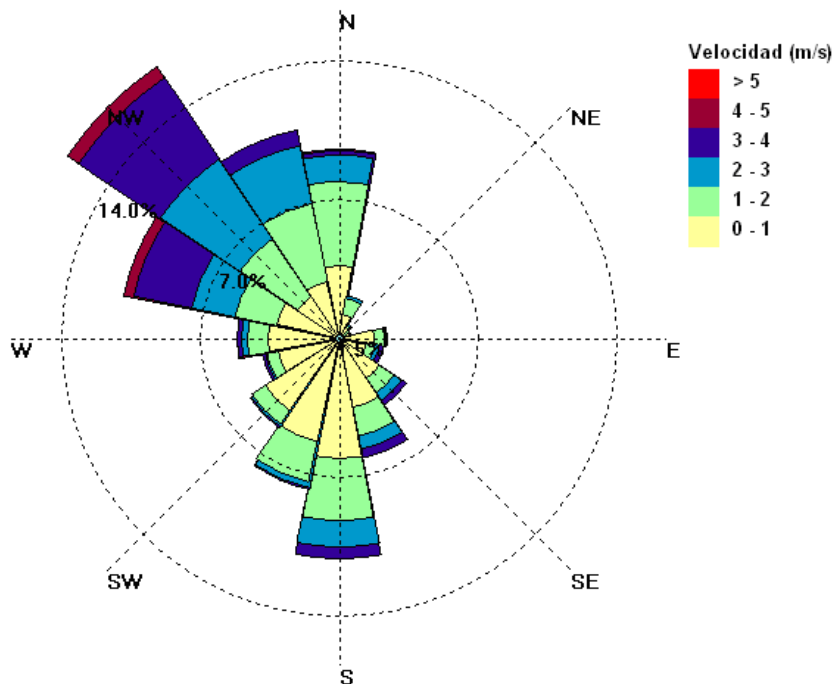


Figura 27 Porcentaje de datos en cada dirección del viento. Estación Centro

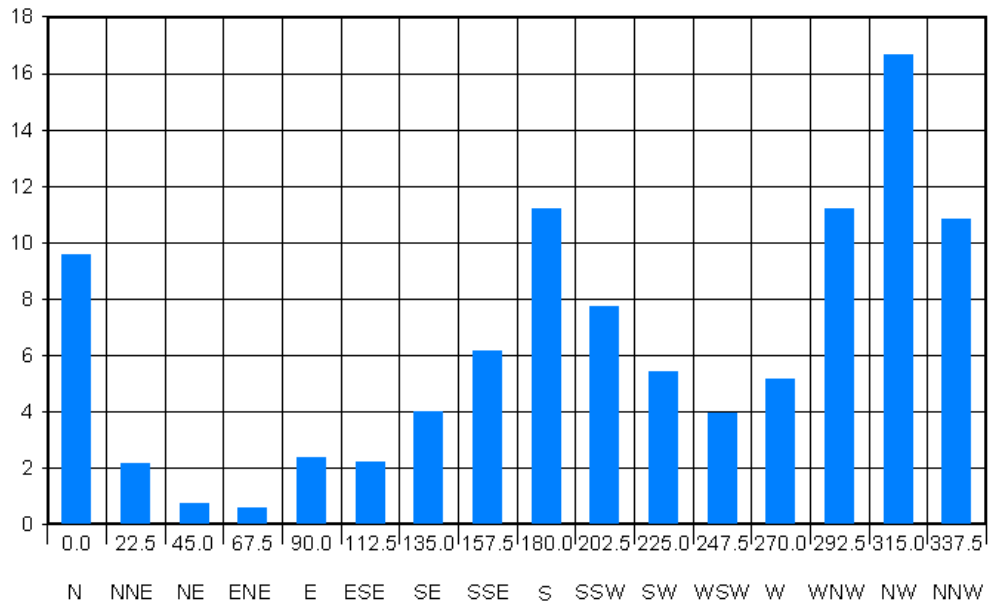


Figura 28 Rosa de vientos multianual diurna (2001 – 2006). Estación Centro

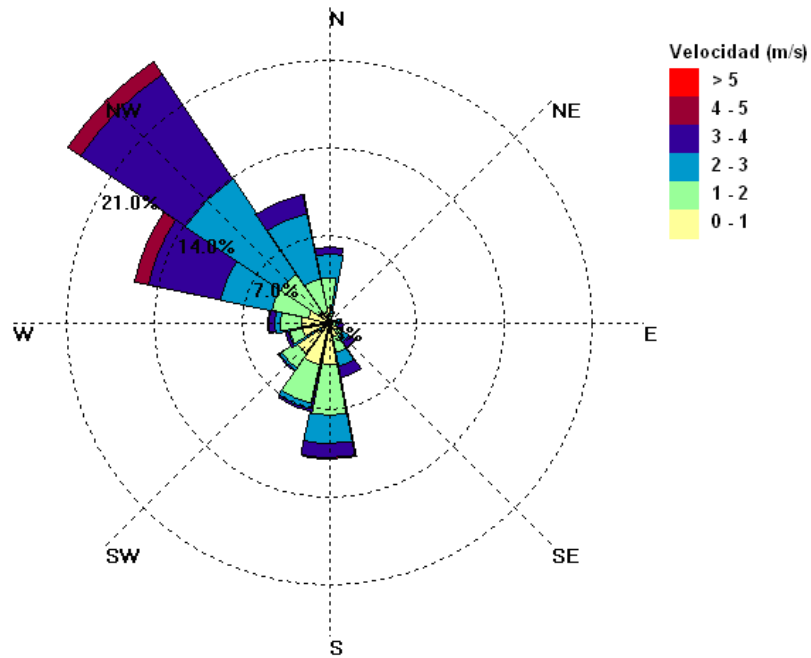
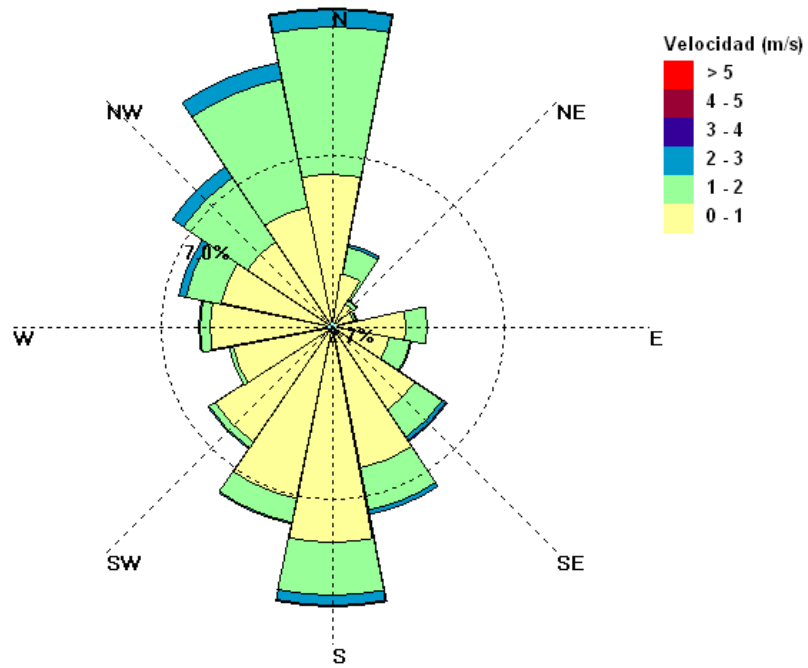


Figura 29 Rosa de vientos multianual nocturna (2001 – 2006). Estación Centro



4.4.2.7. Estación Chimitá

Figura 30 Rosa de vientos multianual total (2001 – 2006). Estación Chimitá.

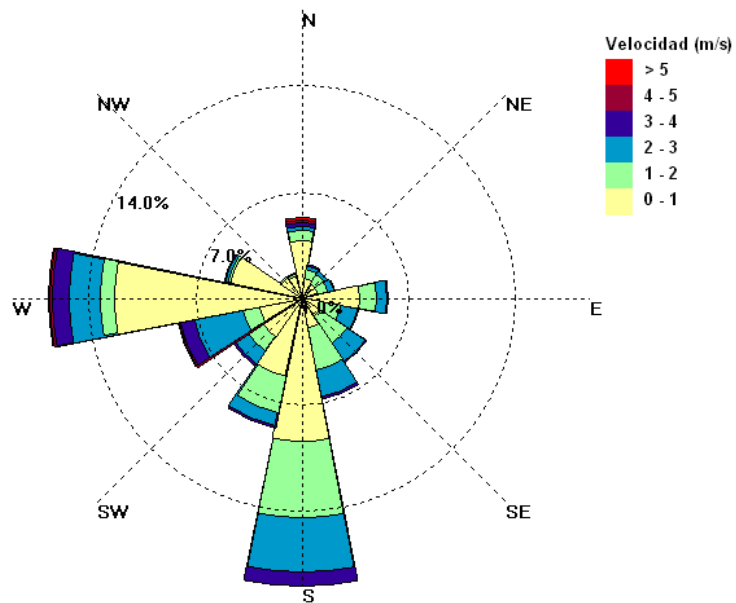


Figura 31 Porcentaje de datos en cada dirección del viento. Estación Chimitá

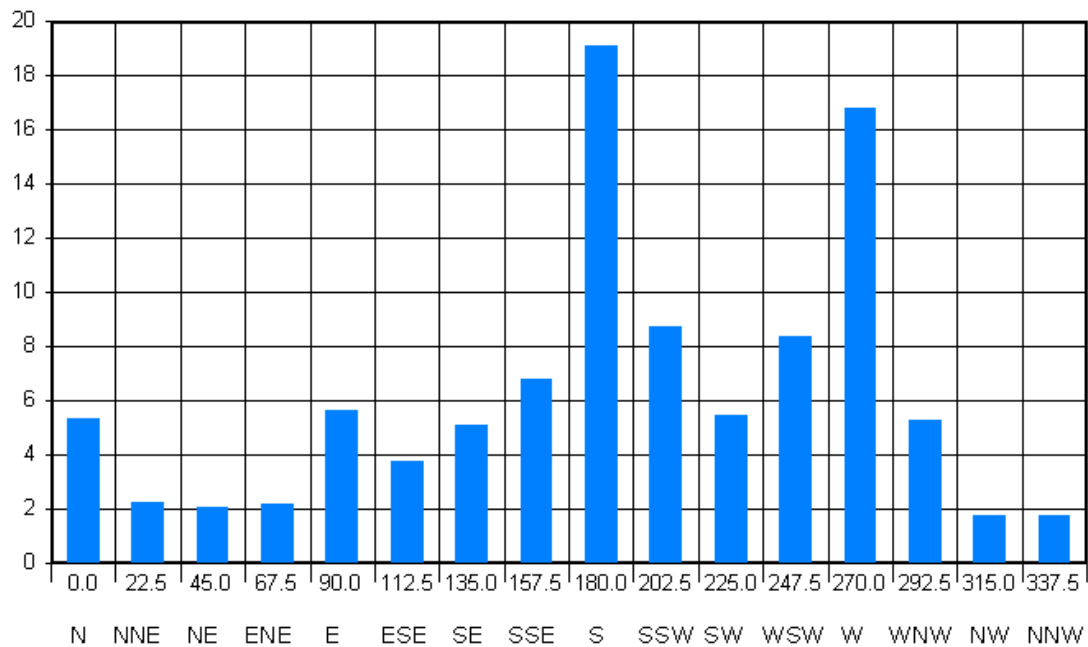


Figura 32 Rosa de vientos multianual diaria (2001 – 2006). Estación Chimitá

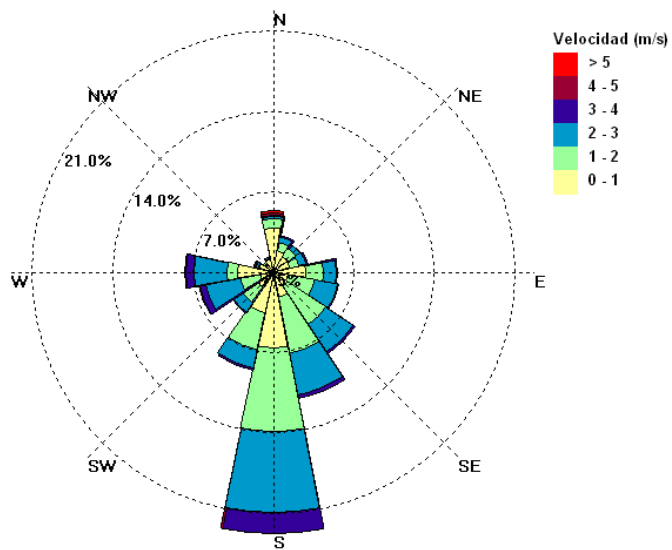
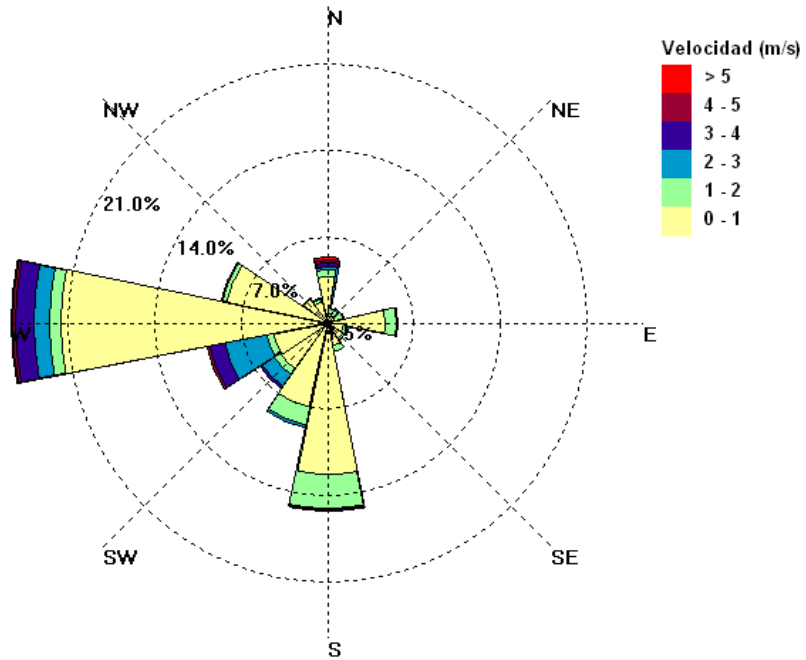


Figura 33. Rosa de vientos multianual nocturna (2001 – 2006). Estación Chimitá



4.4.2.8. Estación Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Río Frío - PTAR

Figura 34 Rosa de vientos multianual total (2002 – 2006). Estación PTAR

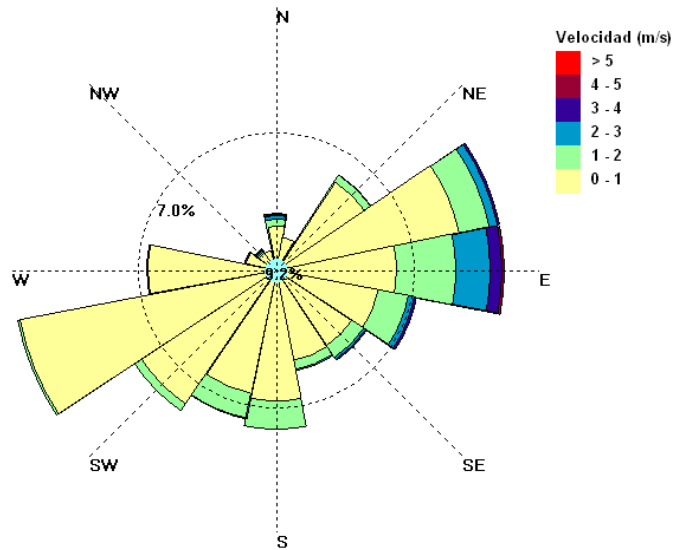


Figura 35 Porcentaje de datos en cada dirección del viento. Estación PTAR

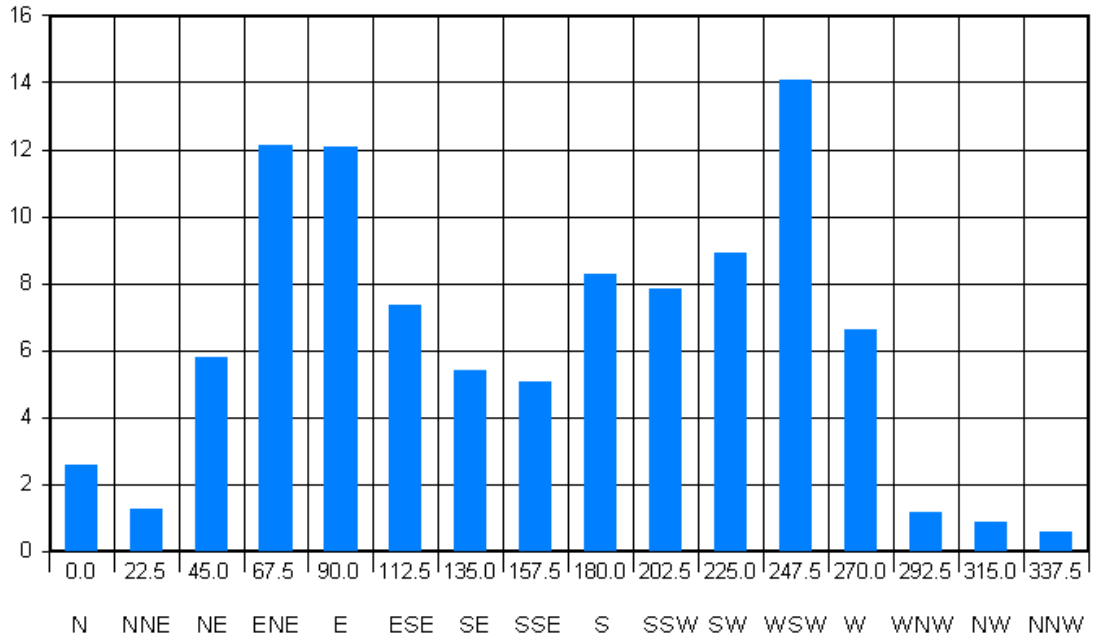


Figura 36 Rosa de vientos multianual diaria (2002 – 2006). Estación PTAR

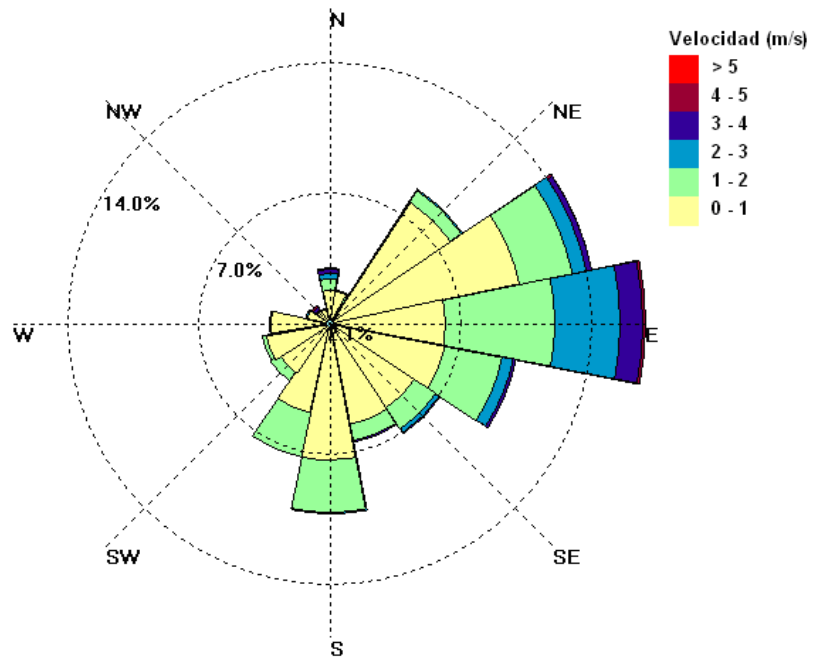
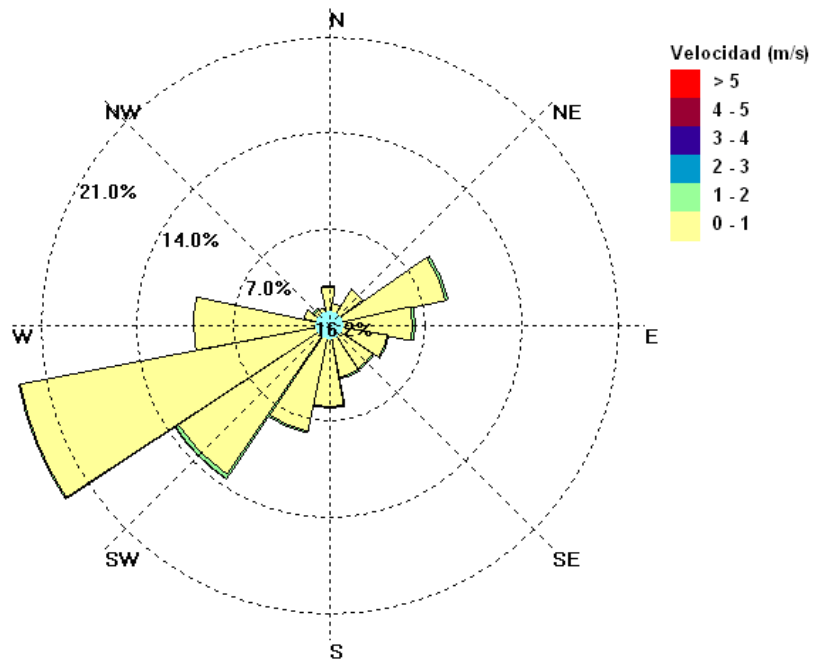


Figura 37 Rosa de vientos multianual nocturna (2002 – 2006). Estación PTAR



4.4.2.9. Estación Universidad Industrial de Santander - UIS

Figura 38 Rosa de vientos multianual total (2002 – 2006). Estación UIS

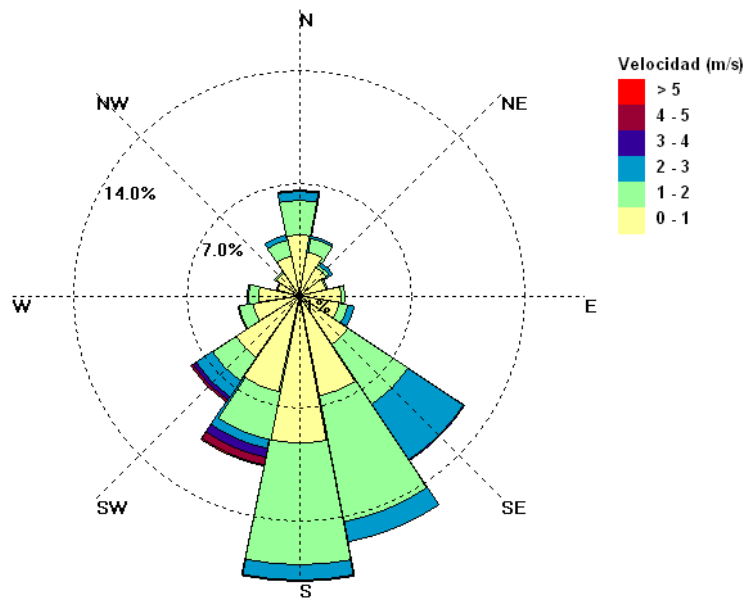


Figura 39 Porcentaje de datos en cada dirección del viento. Estación UIS

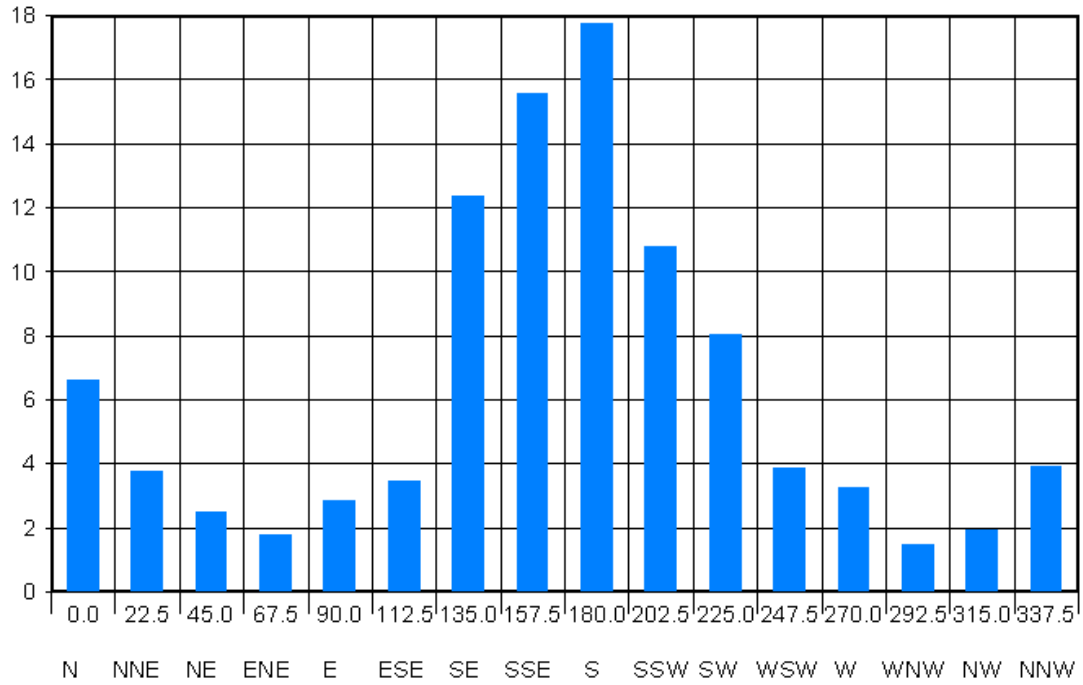


Figura 40 Rosa de vientos multianual diurna (2002 – 2006). Estación UIS

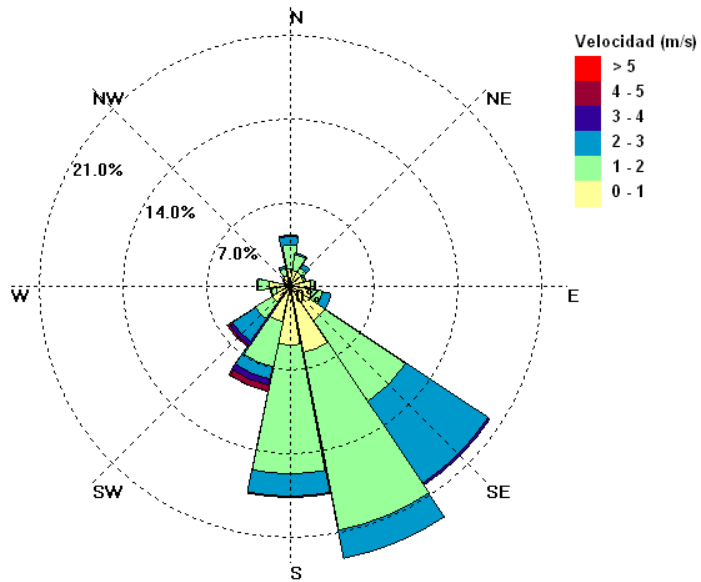
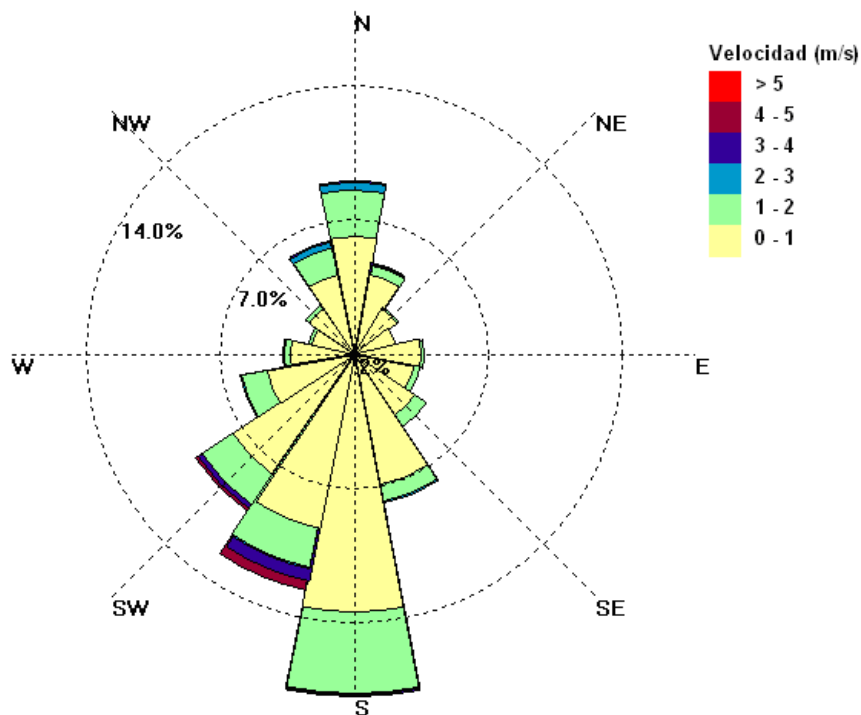


Figura 41 Rosa de vientos multianual nocturna (2002 – 2006). Estación UIS



4.4.3. Comportamiento espacial de las variables climáticas en la ciudad de Bucaramanga En la Tabla 26 se presentan los valores climáticos medios mensuales y anuales de las variables analizadas, a partir de los cuales se elaboraron las figuras subsiguientes.

Se utilizó para tal el efecto el período 2002 – 2006, para el que se cuenta con las series respectivas en las estaciones meteorológicas de la red urbana de calidad del aire.

Del análisis de la Tabla 26 y las figuras citadas, se resaltan las siguientes conclusiones:

La velocidad del viento media anual oscila entre 0.5 m/s en el sur de la ciudad (Estación PTAR) y 1.4 m/s en la estación localizada en el centro de la ciudad. Los

valores medios diurnos alcanzan los 2.1 m/s en el centro y los valores medios nocturnos son muy bajos (cercanos a las calmas) en la estación PTAR en el sur.

En la Estación Centro, los valores medios mensuales de la velocidad del viento varían entre 1.57 m/s en febrero (máximo en el año) y 1.25 m/s en junio. La temperatura media fluctúa entre 21 °C en el centro y 25 °C en Chimitá al SW de la ciudad.

La precipitación media anual oscila entre un mínimo de 754 mm en Chimitá y un máximo de 1276 mm en la estación UIS en el norte de Bucaramanga. En la estación del centro de la ciudad, los meses con mayor pluviosidad son octubre y noviembre en los que se han registrado cerca de 140 mm/mes.

La humedad relativa media anual es próxima al 80% en las diversas estaciones, con excepción de la estación del centro de la ciudad, en la que alcanza el 85%.

La radiación solar media anual es mayor en el sur, estación PTAR con 444 W/m² y menor en el sector de la UIS con 400 W/m².

Tabla 26 Resumen de valores promedios mensuales de las variables climáticas en Bucaramanga. Período 2002 – 2006

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| CENTRO | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad Viento (m/s) | 1.48 | 1.57 | 1.54 | 1.44 | 1.40 | 1.25 | 1.31 | 1.35 | 1.41 | 1.48 | 1.46 | 1.46 | 1.43 |
| Velocidad Viento día (m/s) | 2.17 | 2.25 | 2.24 | 2.13 | 2.00 | 1.86 | 1.90 | 1.97 | 2.01 | 2.12 | 2.10 | 2.13 | 2.07 |
| Velocidad Viento noche (m/s) | 0.79 | 0.88 | 0.84 | 0.76 | 0.79 | 0.65 | 0.71 | 0.73 | 0.81 | 0.84 | 0.82 | 0.78 | 0.79 |
| Temperatura (° C) | 21.02 | 21.60 | 21.56 | 21.21 | 21.17 | 20.97 | 20.93 | 21.34 | 20.86 | 20.71 | 20.58 | 20.87 | 21.07 |
| Precipitación (mm) | 37.70 | 105.38 | 99.68 | 95.30 | 91.95 | 69.32 | 57.80 | 42.30 | 79.10 | 137.20 | 140.23 | 62.28 | 1018.25 |
| H R (%) | 86.26 | 80.80 | 83.39 | 86.68 | 86.47 | 85.95 | 84.28 | 83.94 | 85.75 | 87.48 | 89.18 | 88.04 | 85.75 |
| Radiación solar (W/m ²) | 419.55 | 446.68 | 463.46 | 449.77 | 457.17 | 420.56 | 407.11 | 424.71 | 440.16 | 426.86 | 410.10 | 391.57 | 429.81 |
| Presión atmosférica (HPa) | 664.46 | 664.08 | 664.11 | 664.15 | 661.92 | 662.53 | 665.17 | 664.02 | 669.04 | 664.23 | 664.19 | 664.35 | 663.94 |
| CHIMITÁ | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad Viento (m/s) | 1.55 | 1.56 | 1.28 | 0.91 | 0.97 | 0.98 | 0.87 | 1.22 | 1.27 | 1.26 | 1.24 | 1.23 | 1.18 |
| Velocidad Viento día (m/s) | 1.79 | 1.76 | 1.65 | 1.34 | 1.32 | 1.35 | 1.29 | 1.56 | 1.63 | 1.59 | 1.50 | 1.53 | 1.51 |
| Velocidad Viento noche (m/s) | 1.31 | 1.36 | 0.91 | 0.47 | 0.62 | 0.61 | 0.46 | 0.88 | 0.91 | 0.92 | 0.97 | 0.92 | 0.86 |
| Temperatura (° C) | 25.36 | 26.06 | 25.84 | 25.67 | 25.69 | 25.15 | 25.14 | 25.47 | 25.14 | 25.15 | 25.12 | 25.50 | 25.52 |
| Precipitación (mm) | 47.57 | 87.97 | 81.42 | 79.20 | 65.60 | 44.21 | 56.11 | 33.70 | 73.02 | 71.36 | 80.28 | 33.58 | 754.01 |

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| H R (%) | 77.62 | 74.25 | 77.80 | 81.81 | 82.53 | 82.67 | 81.72 | 79.34 | 80.66 | 82.01 | 84.10 | 82.49 | 79.88 |
| Radiación solar (W/m ²) | 396.46 | 439.02 | 466.78 | 473.77 | 505.47 | 475.84 | 475.35 | 492.28 | 480.63 | 439.19 | 409.92 | 399.36 | 450.67 |
| Presión atmosférica (HPa) | 659.53 | 660.77 | 656.53 | | 668.42 | 667.40 | 669.85 | 669.07 | 666.56 | 666.57 | 665.34 | 665.89 | 665.71 |
| PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – PTAR | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad Viento (m/s) | 0.58 | 0.74 | 0.64 | 0.53 | 0.52 | 0.40 | 0.39 | 0.43 | 0.46 | 0.51 | 0.50 | 0.56 | 0.52 |
| Velocidad Viento día (m/s) | 1.03 | 1.27 | 1.09 | 0.88 | 0.83 | 0.63 | 0.64 | 0.73 | 0.78 | 0.88 | 0.85 | 1.00 | 0.89 |
| Velocidad Viento noche (m/s) | 0.14 | 0.22 | 0.20 | 0.18 | 0.20 | 0.17 | 0.14 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.12 | 0.16 |
| Temperatura (° C) | 22.29 | 22.67 | 22.22 | 21.69 | 21.96 | 22.12 | 22.83 | 22.34 | 22.11 | 22.80 | 22.51 | 22.13 | 22.27 |
| Precipitación (mm) | 92.68 | 164.23 | 109.22 | 83.05 | 121.60 | 61.25 | 76.65 | 73.80 | 117.35 | 156.65 | 136.33 | 39.55 | 1232.35 |
| H R (%) | 77.86 | 77.02 | 78.22 | 83.59 | 84.87 | 82.87 | 82.27 | 79.91 | 79.74 | 83.40 | 82.00 | 78.05 | 80.48 |
| Radiación solar (W/m ²) | 438.65 | 475.26 | 482.49 | 446.77 | 480.07 | 421.42 | 408.84 | 462.28 | 461.90 | 448.49 | 440.64 | 430.93 | 443.81 |
| Presión atmosférica (HPa) | 676.26 | 674.13 | 676.46 | 676.06 | 675.90 | 676.05 | 674.97 | 675.96 | 675.60 | 674.59 | 675.52 | 675.35 | 675.87 |
| UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER – UIS | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad Viento (m/s) | 1.02 | 1.55 | 1.10 | 1.03 | 1.05 | 1.00 | 0.97 | 0.99 | 1.05 | 0.97 | 0.85 | 0.93 | 1.05 |
| Velocidad Viento día (m/s) | 1.42 | 1.87 | 1.46 | 1.40 | 1.39 | 1.30 | 1.27 | 1.33 | 1.40 | 1.29 | 1.17 | 1.31 | 1.40 |
| Velocidad Viento noche (m/s) | 0.63 | 1.22 | 0.75 | 0.67 | 0.71 | 0.69 | 0.66 | 0.66 | 0.70 | 0.64 | 0.52 | 0.54 | 0.71 |
| Temperatura (° C) | 23.11 | 23.38 | 23.95 | 23.11 | 23.49 | 23.12 | 23.29 | 23.64 | 23.22 | 22.84 | 22.55 | 22.83 | 23.25 |

| | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC | AÑO |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| Precipitación (mm) | 94.18 | 148.44 | 138.16 | 134.84 | 117.46 | 97.53 | 77.90 | 52.80 | 95.52 | 109.76 | 114.83 | 94.45 | 1275.86 |
| H R (%) | 75.49 | 73.37 | 76.68 | 83.35 | 82.55 | 82.41 | 78.78 | 77.97 | 79.21 | 82.23 | 82.79 | 78.19 | 79.58 |
| Radiación solar (W/m ²) | 382.87 | 404.29 | 410.88 | 413.09 | 438.78 | 389.30 | 393.04 | 415.27 | 394.95 | 386.47 | 374.38 | 383.56 | 400.08 |
| Presión atmosférica (HPa) | 678.16 | 671.26 | 677.62 | 677.82 | 677.95 | 678.33 | 677.99 | 677.90 | 677.95 | 677.61 | 678.21 | 678.37 | 677.30 |

Figura 42 Localización de las estaciones meteorológicas de la red urbana de calidad del aire de Bucaramanga

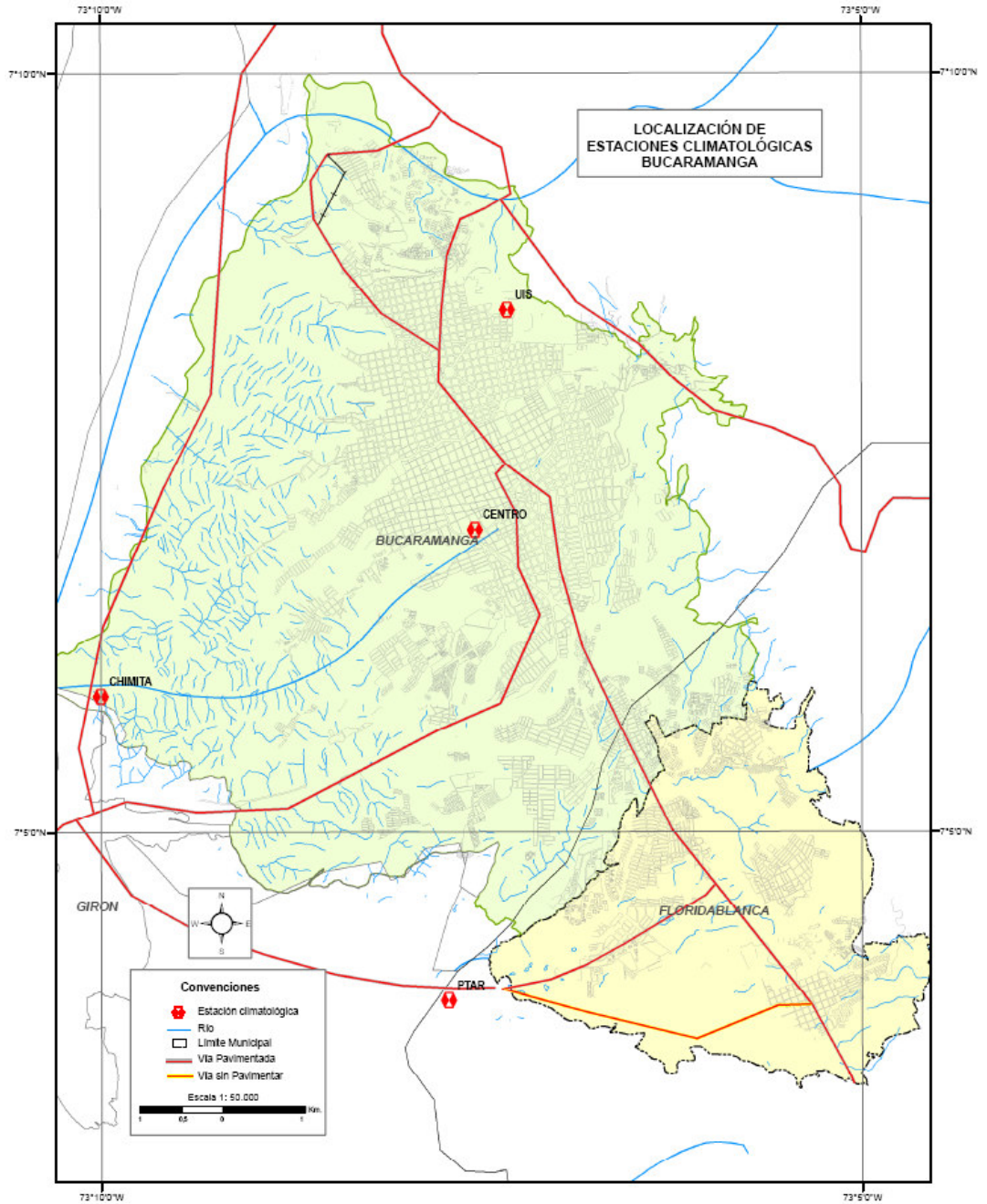


Figura 43 Distribución intra-anual de la temperatura del aire y la radiación solar en las estaciones meteorológicas de la red de calidad del aire de Bucaramanga

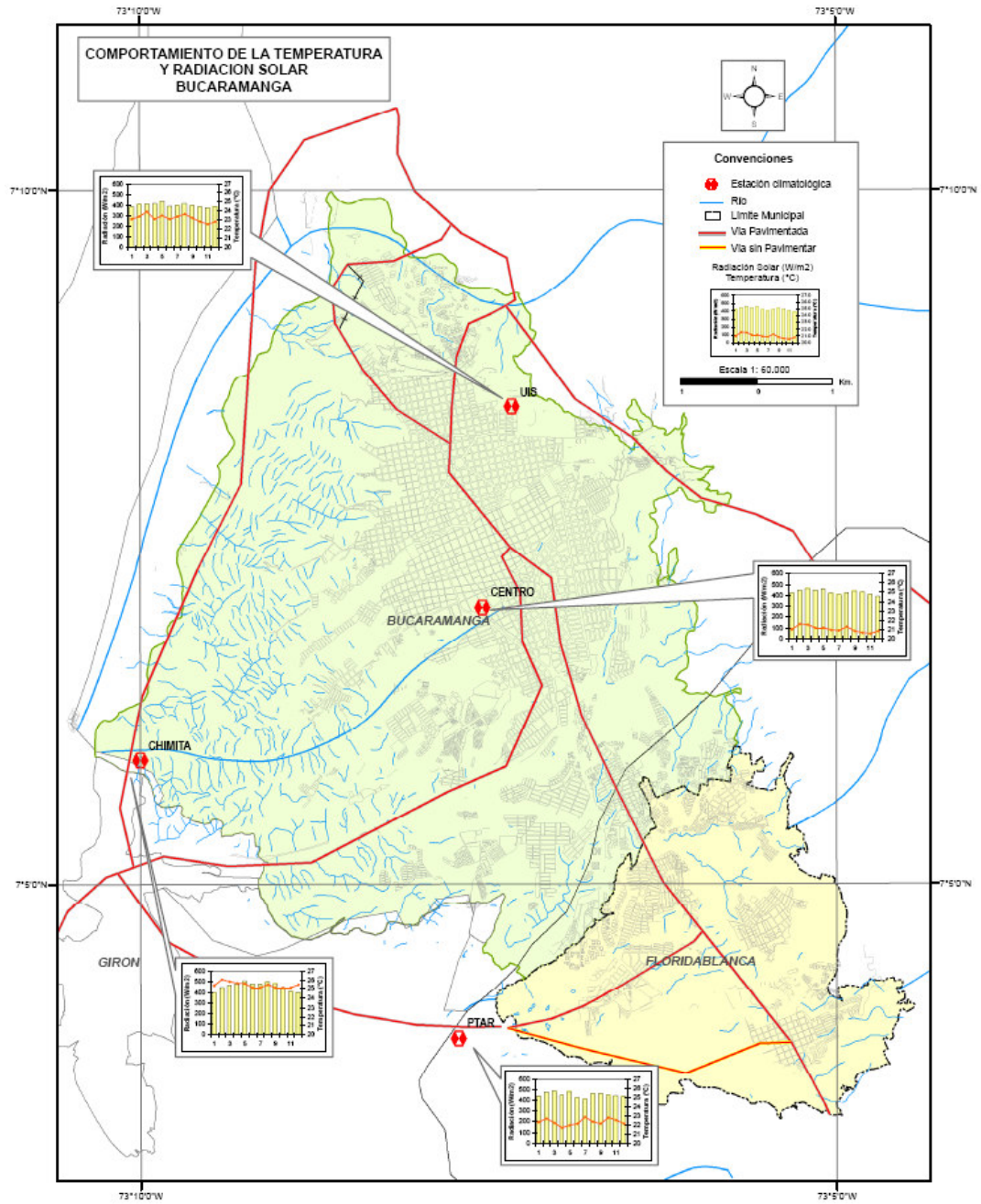


Figura 44 Distribución intra-anual de la precipitación en las estaciones meteorológicas de la red de calidad del aire de Bucaramanga

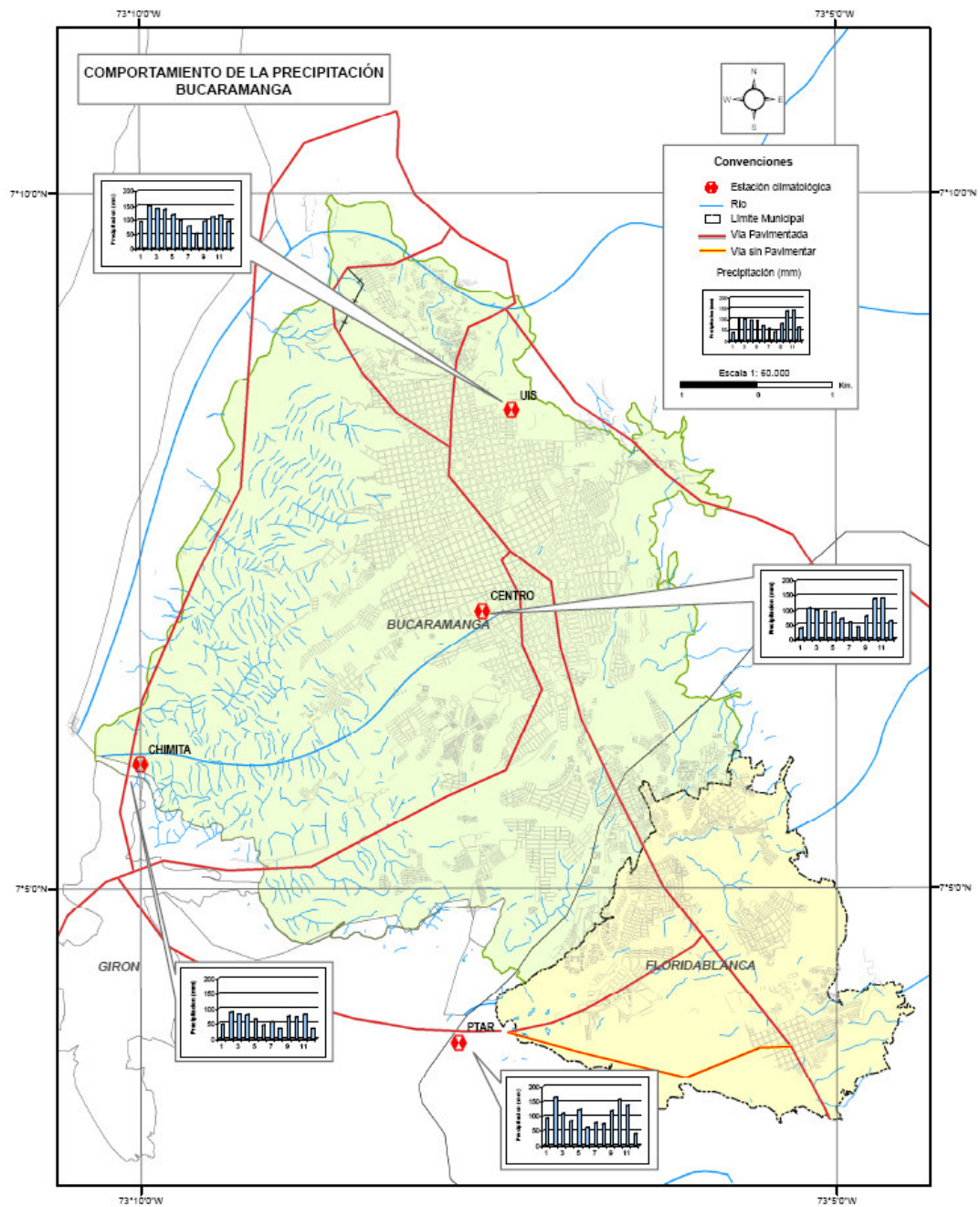
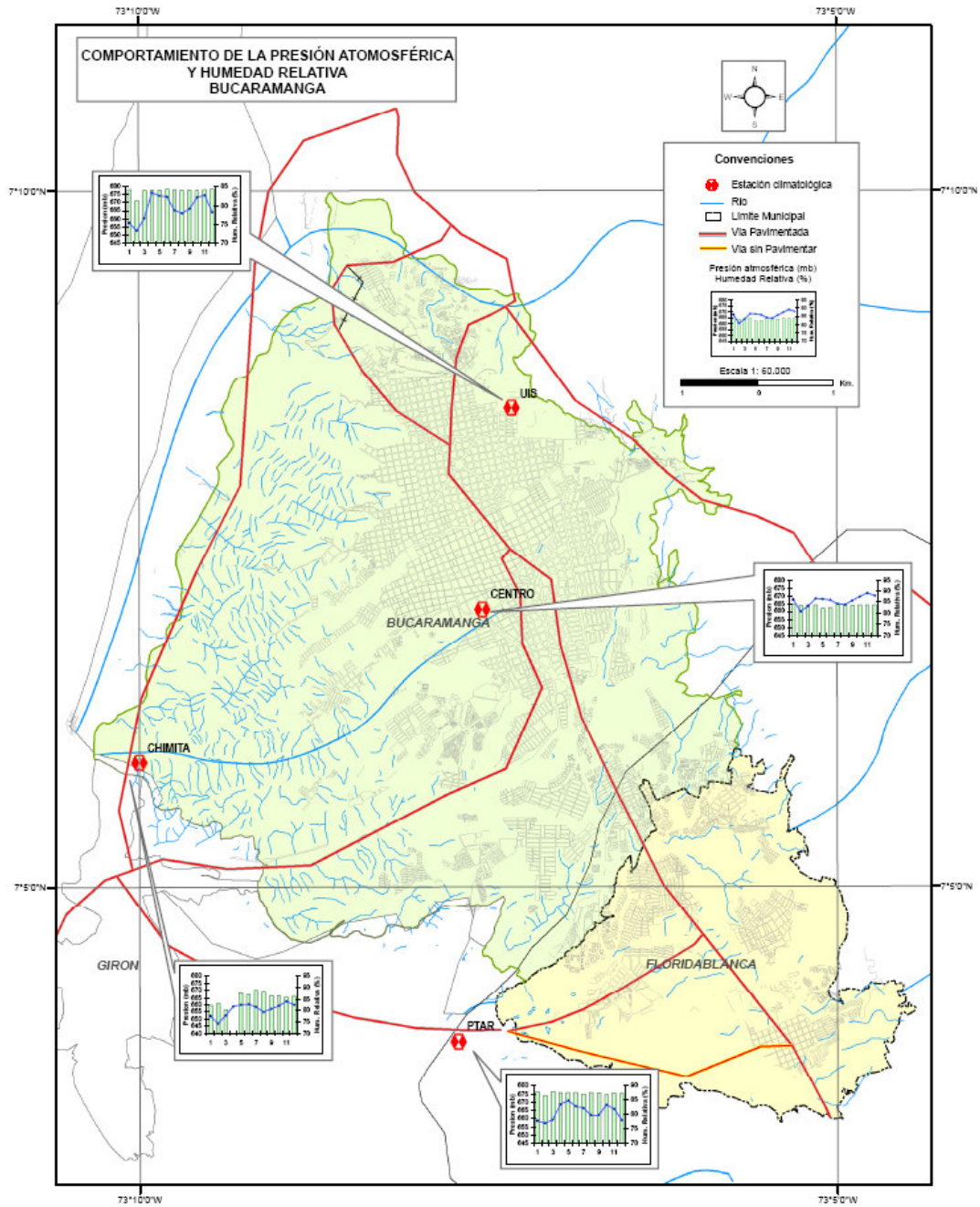


Figura 45 Distribución intra-anual de la presión atmosférica y la humedad relativa en las estaciones meteorológicas de la red de calidad del aire de Bucaramanga



4.4.4. Condiciones micrometeorológicas predominantes en Bucaramanga

En la Tabla 27 son reportados los valores medios horarios del conjunto de las estaciones meteorológicas de Bucaramanga (valores promedios de las 4 estaciones) de las variables: velocidad del viento, temperatura del aire radiación solar, así como la fracción de la nubosidad estimada a partir de la distribución horaria de la precipitación.

Tabla 27 Valores meteorológicos horarios promedios para Bucaramanga. Período 2001 – 2005

| HORA | VEL VTO m/s | TEMP ° C | PRECIPIT % | FRACCIÓN NUBOSIDAD | RAD SOL W/m ² |
|------|-------------------|-------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1 | 0.55 | 20.70 | 8.0 | 0.8 | |
| 2 | 0.54 | 20.45 | 9.3 | 0.8 | |
| 3 | 0.54 | 20.24 | 7.8 | 0.7 | |
| 4 | 0.53 | 20.05 | 6.3 | 0.6 | |
| 5 | 0.54 | 19.89 | 6.1 | 0.6 | |
| 6 | 0.57 | 20.12 | 3.9 | 0.3 | 57.4 |
| 7 | 0.71 | 21.48 | 2.7 | 0.2 | 222.5 |
| 8 | 0.87 | 23.18 | 2.3 | 0.2 | 439.2 |
| 9 | 0.94 | 24.92 | 1.7 | 0.2 | 645.6 |
| 10 | 1.17 | 26.08 | 2.0 | 0.2 | 753.9 |
| 11 | 1.70 | 26.55 | 1.0 | 0.2 | 744.1 |
| 12 | 2.10 | 26.61 | 1.0 | 0.2 | 692.2 |
| 13 | 2.20 | 26.46 | 1.4 | 0.2 | 592.2 |
| 14 | 2.15 | 26.25 | 2.6 | 0.2 | 481.8 |
| 15 | 2.03 | 25.86 | 3.8 | 0.3 | 330.3 |
| 16 | 1.78 | 25.27 | 4.9 | 0.4 | 165.6 |
| 17 | 1.39 | 24.34 | 4.0 | 0.4 | 42.3 |
| 18 | 1.00 | 23.38 | 4.8 | 0.4 | |
| 19 | 0.82 | 22.74 | 3.8 | 0.3 | |
| 20 | 0.71 | 22.28 | 3.6 | 0.3 | |
| 21 | 0.63 | 21.90 | 2.8 | 0.2 | |
| 22 | 0.61 | 21.58 | 4.2 | 0.4 | |

| HORA | VEL VTO m/s | TEMP ° C | PRECIPIT % | FRACCIÓN NUBOSIDAD | RAD SOL W/m ² |
|------|-------------------|-------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|
| 23 | 0.59 | 21.24 | 5.5 | 0.5 | |

5. DIAGNOSTICO GENERAL Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

A continuación se presenta un análisis GAP con el fin de evidenciar los aspectos que debe fortalecer la CDMB con el fin de incorporar todos los elementos deseables en el marco de un Sistema de Gestión de la calidad del aire.

Para el diagnóstico cuantitativo se presenta el análisis GAP respectivo para el Sistema de Vigilancia de calidad del aire. Para ello se ha realizado el siguiente procedimiento:

1. Definir los elementos de gestión de la calidad del aire más relevantes.
2. Asignar unos puntajes ponderados para cada uno de dichos elementos de gestión.
3. Dar una calificación posible a cada uno de los elementos de gestión.
4. Obtener un promedio ponderado de la gestión de la calidad del aire.

Se han definido los siguientes elementos de gestión relevantes con máximo puntaje 10 y con las respectivas ponderaciones:

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1. Planeación del SG-CA | 15 |
| 2. Monitoreo de la calidad del aire | 20 |
| 3. Modelación de la calidad del aire | 15 |
| 4. Inventario de emisiones | 15 |
| 5. Estudios exposición/dosis | 15 |
| 6. Control | 20 |

La Tabla 28 especifica el formato para la evaluación de cada uno de los aspectos mencionados. A continuación se detalla la metodología

Tabla 28 Evaluación de estado de elementos de la calidad del aire

| | VALORES | CALIF. RED |
|--|---------|------------|
| 1. PLANEACION DEL SG-CA | | 6 |
| A. Se tiene un SG-CA claramente establecido y documentado | 10 | |
| B. Se tienen todos los elementos del un SG-CA Documentados, pero no consolidados | 8 | |
| C. Se tienen algunos elementos del SG-CA | 6 | 6 |
| D. No se tiene un SG-CA | 0 | |
| 2. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE | | 8.9 |
| <u>2.1. OPERACIÓN</u> | | |
| A. La red opera en forma continua | 2 | 2 |
| B. Tiene una red pero opera intermitentemente | 1.5 | |
| C. Tiene una red pero no opera actualmente | 0.5 | |
| D. La red no opera | 0 | |
| <u>2.2. ORGANIZACIÓN (RECURSOS HUMANOS)</u> | | |
| A. Posee una organización adecuada a las necesidades | 1 | 1 |
| B. Existe una organización que debe ser reforzada | 0.8 | |
| C. El personal es cambiado constantemente | 0.6 | |
| D. No posee personal capacitado para la operación | 0 | |
| <u>2.3. INFRAESTRUCTURA</u> | | |
| A. Posee una red adecuada a las necesidades (Equipos y Software) | 2 | |
| B. La red debe ser mejorada en equipos o software | 1.5 | 1.5 |
| C. La red debe ser mejorada en equipos y software | 1 | |
| D. No tiene red | 0 | |
| <u>2.4. OBJETIVOS DE MONITOREO</u> | | |
| A. La red tiene objetivos claros y documentados | 2 | 2 |
| B. La red tiene objetivos claros pero no están documentados | 1.5 | |
| C. La red no tiene objetivos claros planteados | 0 | |

2.5. PLAN DE CALIDAD

| | | |
|---|-----|-----|
| A. Se tiene un Plan de calidad establecido e implementado | 1 | |
| B. Se tienen algunos elementos del plan de calidad | 0.6 | 0.6 |
| C. Solamente se tienen procedimientos | 0.5 | |
| D. No se tiene implementado un plan de calidad | 0 | |

2.6 REPORTE

| | | |
|--|---|---|
| A. La información se reporta periódicamente a la comunidad | 2 | 2 |
| B. La información se reporta algunas veces | 1 | |
| C. La información no se reporta | 0 | |

3. MODELACION DE LA CALIDAD DEL AIRE

| | | |
|---|----|---|
| A. Tiene un modelo de calidad del aire implementado | 10 | |
| B. Se tiene un modelo en proceso de mejora | 8 | |
| B. Se tiene un modelo preliminar | 6 | |
| C. Se han hecho acercamientos en modelación | 4 | 4 |
| D. No se tiene un modelo de dispersión | 0 | |

4. INVENTARIO DE EMISIONES

| | | |
|--|----|---|
| A. Tiene un inventario de emisiones implementado y actualizado | 10 | |
| B. Tiene un inventario de emisiones parcial | 6 | |
| C. No tienen inventario de emisiones | 0 | 0 |

5. ESTUDIOS EXPOSICION/DOSIS

| | | |
|--|----|----|
| A. Se tiene un plan de estudios exposición dosis y se encuentra en ejecución | 10 | 10 |
| B. Se han desarrollado algunos estudios aislados | 7 | |
| C. No se han realizado estudios | 0 | |

6. CONTROL

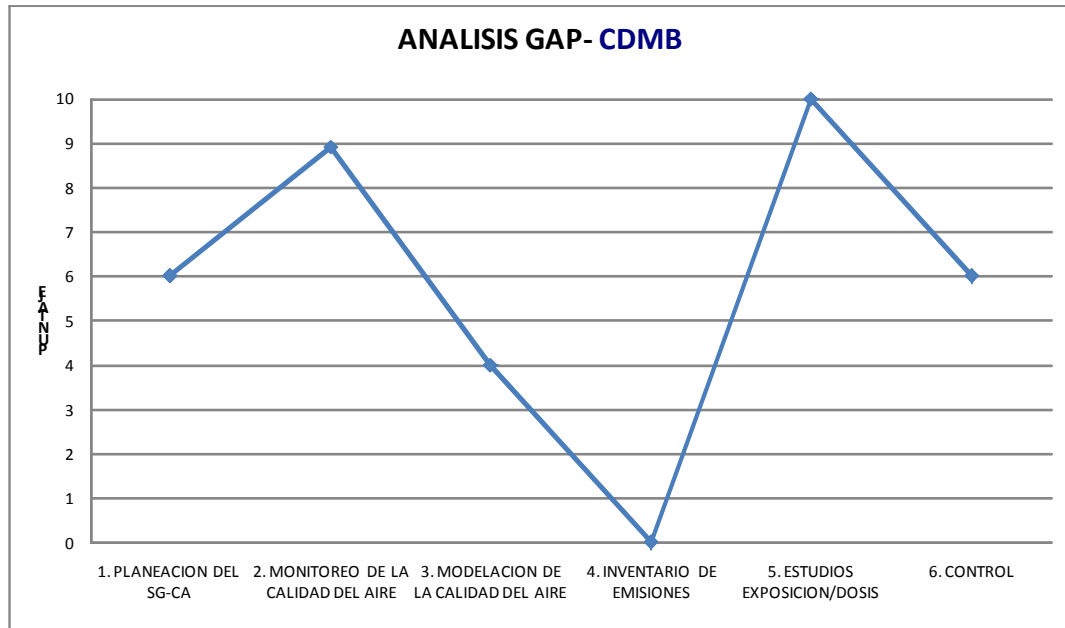
6.1. PLANES DE CONTROL

| | | |
|---|---|---|
| A. Se han establecido programas de descontaminación | 3 | |
| B. Se han implementado algunos planes no documentados | 2 | 2 |
| C. No se tienen planes de control | 0 | |

6.2 ACCIONES DE CONTROL

| | | |
|--|---|---|
| A. Se están desarrollando acciones de control de acuerdo a un plan | 7 | |
| B. Se han tomado algunas acciones de control | 4 | 4 |
| C. No se han tomado acciones de control | 0 | |

Figura 46 Análisis GAP CDMB



De acuerdo a los aspectos anteriormente descritos las fortalezas de la CDMB están en el manejo de su red y en los estudios de exposición dosis que viene adelantando pero debe fortalecer algunos puntos como inventario de emisiones, modelación y control.

En general también debe documentarse los objetivos que se buscan en relación a la mejora de la calidad del aire en la zona de influencia de la CDMB.

VI. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- Las estaciones de calidad del aire de la red de la CDMB iniciaron su operación en enero de 2001 con una disponibilidad de datos en general superior al 90%, lo que permite evaluar adecuadamente el comportamiento de los contaminantes y alcanzar los niveles internacionales de disponibilidad de datos recomendado para este tipo de redes.
- Los equipos utilizados por la red de la CDMB permiten incluir marcaciones para identificar el estado de los datos obtenidos y la base de datos utiliza dichas marcaciones para retirar del análisis aquellos datos que no cuenten con la calidad necesaria o que sean resultado de acciones de mantenimiento o calibración.
- Se recomienda ir rotando la hora en que se verifica la calibración de los equipos por cuanto actualmente se ha perdido el dato histórico de las 12 de la noche, hora en que se realizan dichas calibraciones.
- La base de datos cuenta con un sistema de validación que permite excluir datos que no deben ser tenidos en cuenta para el análisis.
- Existe información adicional en la base de datos que permite determinar la razón de los valores extremos y atípicos o verificar las labores de calibración o mantenimiento realizadas.
- De acuerdo a los datos analizados durante los años evaluados, los valores de PM_{10} permiten verificar la existencia de áreas-fuente de contaminación

en el área de influencia de sus estaciones. Por lo tanto, es importante actualizar esta información con el fin de verificar el estado actual de dicha clasificación y tomar las medidas de control adecuadas.

- Se recomienda trasladar los equipos de SO₂ y NO₂ a sitios donde se esperen mayores concentraciones o en su defecto disminuir la frecuencia de medición de estos contaminantes. De acuerdo al análisis realizado incluso se podría suprimir la medición de estos contaminantes, principalmente CO.
- Es importante complementar los avances que se vienen realizando con modelación e inventarios de emisiones, aspectos que han sido muy poco desarrollados en la CDMB.

VII. BIBLIOGRAFIA

MERLETTI Franco. L.SOLKOLNE Colin. VINEIS Paolo. EPIDEMIOLOGIA Y ESTADISTICA. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.

HEINKE Henry INGENIERIA AMBIENTAL

Documento “Conformación Redaire CDMB”.

AMADO ORDUZ, Juan P y GÓMEZ BERNATE, Juan S. Estudio comparativo de contaminación atmosférica por la operación de un S.I.T.M. en Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. 2004.

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga – CDMB. Diseño de la red de monitoreo de la calidad del aire en el Área Metropolitana de Bucaramanga y su zona de influencia “PROAIRE AMB”. Bucaramanga – Colombia. 1996.

Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Part 1 A

Portal Oficial del Sistema de la Integración Centroamericana SICA. Estrategia de manejo de calidad del aire para Centroamérica. Mayo 18, 2006. Disponible en Internet: www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=libr_9423_1_19062006.pdf

Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Gestión de la calidad del aire. Capitulo 9. Disponible en Internet: www.cepis.ops-oms.org/bvsci/E/fulltext/orienta/cap9c.pdf

Gestión de la Calidad del Aire. Marzo 31, 2006. Disponible en Internet: http://mce2.org/education/posters_esp/carteles15.pdf

Estrategias de control de emisiones en la zona metropolitana del Valle de la Ciudad de Mexico. Marzo 31, 2006. Disponible en Internet: http://mce2.org/education/posters_esp/carteles14.pdf