

**REDISEÑO DE LA RED DE VIGILANCIA Y CONTROL DE CALIDAD DEL AIRE
PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA**

**YAJAIRA MANOSALVA GÓMEZ
CESAR EDUARDO PIÑEROS HUERTAS**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ
2006**

**REDISEÑO DE LA RED DE VIGILANCIA Y CONTROL DE CALIDAD DEL AIRE
PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA**

**YAJAIRA MANOSALVA GÓMEZ
CESAR EDUARDO PIÑEROS HUERTAS**

Trabajo de Grado para optar al Título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

**Director
GABRIEL HERRERA TORRES
Ingeniero Sanitario**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
BOGOTÁ
2006**

Nota de Aceptación

Director

Jurado

Jurado

Bogotá, octubre de 2006

A mis padres, por creer siempre en mí y darme su apoyo incondicional
A mis hermanos Karen, Sadi Ernesto y Tana, mis amigos de infancia.
A mis hermanas Mamia y Cami, que a pesar de su corta edad tienen algo que enseñarme.
A mi tía Margely, Doña Hilda y Don Hugo, por su constante colaboración y paciencia.
A Cesar por su apoyo y ser mi equilibrio en los momentos más duros

YAJAIRA

A la memoria de mi padre.
A mi madre, por apoyarme firmemente en lo que va y queda de mi vida.
A mi tío Hugo, por tomar la gran responsabilidad de educarme.
A Luis Gabriel, más que hermano, un amigo incondicional.
A Nicolás, una razón más para seguir adelante.
A Doña Aurora y su familia, por brindarme su confianza.
A Yajaira, por su “paciencia” interminable.

CESAR

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

- Ing. Gabriel Herrera Torres. Director del proyecto.
- Ing. Xiomara Sanclemente. Jefe de redes IDEAM, por ampliar la visión del proyecto.
- Ing. Alexander Valencia. Contratista redes, IDEAM, por su colaboración en el diagnóstico de la red.
- Ing. Yesid Navas Peñaranda. Director General CORPONOR, por su continuo apoyo.
- Dr. Jesús María D' Latour, Subdirector Control de Calidad Ambiental CORPONOR (2004 – 2005), por creer en el proyecto
- Dr. Luis Lizcano Contreras. Subdirector Control de Calidad Ambiental COSPONOR (2005 -), por darle continuidad al proyecto.
- Santos Omar Monsalve Vásquez. Técnico operativo CORPONOR, por su asistencia y acompañamiento en la corporación.
- Ing. Mireya Moreno. Contratista control de fuentes móviles y RVCA eje industrial de Cúcuta, por depositar su confianza en nosotros.
- Toñito, Luis y demás personas de la subdirección de Control de Calidad Ambiental por recibirnos en su grupo de trabajo.
- Luis Fajardo. Centro de Documentación IDEAM, por brindar la información necesaria a tiempo.
- Ing. Edwin García. Recurso aire CAR Cundinamarca, por su valiosa contribución.
- Familia Gómez, por su hospitalidad durante nuestra estadía en Cúcuta.

TABLA DE CONTENIDO

	PAG
GLOSARIO	14
RESUMEN	18
ABSTRACT	19
INTRODUCCIÓN	20
1. MARCO LEGAL	21
2. MARCO TEORICO	25
2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	25
2.2 TIPOS DE CONTAMINANTES	25
2.3 FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y ORIGEN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES	25
2.4 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN	27
2.4.1 Efectos sobre el ser humano	28
2.4.2 Efectos sobre la atmósfera y el medio	28
2.4.2.1 <i>Efectos Globales.</i>	28
2.4.2.2 <i>Efectos Locales.</i>	30
2.5 TRANSPORTE Y DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES	30
2.5.1 Meteorología	31
2.5.1.1 <i>Velocidad y dirección del viento</i>	31
2.5.1.2 <i>Presión atmosférica</i>	32
2.5.1.3 <i>Estabilidad atmosférica</i>	32
2.5.1.4 <i>Radiación Solar</i>	33
2.5.1.5 <i>Precipitación</i>	35
2.5.1.6 <i>Humedad relativa</i>	35
2.5.1.7 <i>Temperatura</i>	35
2.5.2 Topografía	35
2.5.3 Chimeneas	36
2. 6 RED DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE (RVCA)	39

2.6.1 Tipos de Redes	39
2.6.2 Diseño de la Red de Vigilancia de Calidad del Aire	39
2.6.2.1 Definición de objetivos de la red	39
2.6.2.2 Diagnóstico de línea base y análisis de datos	40
2.6.2.3 Modelación	41
2.6.2.4 Definición de parámetros a medir	42
2.6.2.5 Definición del número y sitios de vigilancia	42
2.6.2.6 Microlocalización de los sitios de vigilancia	43
2.6.2.7 Selección de técnicas de muestreo de la RVCA	46
2.6.2.8 Determinación de tiempos de muestreo	49
2.7 CAMPAÑAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE	50
2.8 ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD	51
3. JUSTIFICACIÓN DEL REDISEÑO DE LA RVCA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA	53
4. METODOLOGÍA	55
4.1 ACTIVIDADES	55
4.2 OBJETIVOS	56
4.2.1 General	56
4.2.2 Específicos	57
5. DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO	58
5.1 ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA	58
5.2 GENERALIDADES DE LOS MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA	59
6. CLIMATOLOGIA	64
6.1 DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	65
6.1.1 Precipitación	65
6.1.2 Temperatura	65
6.1.3 Evaporación	66
6.1.4 Humedad relativa	67
6.1.5 Nubosidad	68
6.1.6 Brillo solar	68
6.1.7 Radiación solar	68
6.1.7.1 Estimación de la radiación solar	69
6.1.8 Régimen de vientos	72

6.1.8.1 <i>Elaboración de rosas de vientos</i>	72
6.1.8.2 <i>Estimación de la estabilidad diaria</i>	73
6.1.9 Estabilidad atmosférica	75
7. INVENTARIO DE EMISORES Y EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	77
7.1 INVENTARIO FUENTES FIJAS PUNTUALES	77
7.1.1 Tipos y Características de los Combustibles	80
7.1.2 Equipos de Combustión generadores de emisiones	81
7.1.3 Estimación de Emisiones	82
7.1.3.1 <i>Cargas contaminantes emitidas en el Área Metropolitana de Cúcuta por fuentes fijas puntuales</i>	83
7.2 INVENTARIO DE FUENTES FIJAS DIFUSAS	85
7.3 INVENTARIO DE FUENTES MÓVILES	87
7.3.1 Características del Parque Automotor de Cúcuta.	87
7.3.2 Tipo y características de los combustibles	91
7.3.3 Establecimiento de la malla vial	91
7.3.4 Estimación de la emisión vehicular	92
7.3.5 Emisiones obtenidas para fuentes móviles en la ciudad de San José de Cúcuta	94
8. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA	97
8.1 DIAGNOSTICO DE LOS SITIOS DE MEDICIÓN RVCA SAN JOSÉ DE CÚCUTA (PERÍODO DE OPERACIÓN 1999 – 2003)	99
8.1.1 Evaluación a la ubicación de las actuales estaciones de la red de vigilancia de la calidad del aire	100
8.1.2 Resultados del diagnóstico de las estaciones de vigilancia de Calidad del aire	101
8.2 ESTADO DE EQUIPOS, SUMINISTROS E INSTALACIONES DE LABORATORIO Y RECURSOS HUMANOS	102
8.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DE LA RED ACTUAL DE VIGILANCIA	104
8.3.1 Análisis de Partículas Suspendidas Totales (PST) de Enero de 2000 a Diciembre de 2002	105
9. PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA RVCA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA	111
9.1 MODELACIÓN DE CONTAMINANTES TSP, SO₂ y NO_x	111
9.1.1 Descripción del modelo de dispersión ISCLT	111
9.1.1.1 <i>Opciones del Programa</i>	112

9.1.1.2	<i>Datos de entrada utilizados</i>	113
9.1.1.3	<i>Datos de salida generados por el modelo</i>	115
9.1.1.4	<i>Resultados de la modelación para el Área Metropolitana de San José de Cúcuta</i>	117
9.2	INFRAESTRUCTURA DE LA RED	118
9.2.1	Determinación de Parámetros a Muestrear.	118
9.2.2	Determinación del número de estaciones.	118
9.2.3	Microlocalización de las nuevas estaciones	120
9.2.4	Determinación de Equipos.	120
9.2.5	Duración del programa de vigilancia	120
9.2.6	Frecuencia de muestreo	121
9.3	MANEJO DE LA RED DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE	122
9.3.1	Objetivos de la red.	122
9.3.2	Organigrama de la red	123
9.3.2	Aseguramiento y Control de la Calidad	125
9.3.2.1	<i>Aseguramiento de la Calidad</i>	125
9.3.2.2	<i>Control de la Calidad</i>	127
9.3.2.3	<i>Estimación de la Calidad</i>	130
10.	COSTOS	133
11.	CONCLUSIONES	135
12.	RECOMENDACIONES	139
13.	BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS		144

LISTA DE TABLAS

	PAG
Tabla 1. Tipos de plumas en ductos o chimeneas.	37
Tabla 2. Tipos de redes según su escala espacial.	40
Tabla 3. Información requerida en el diagnostico de línea base.	42
Tabla 4. Promedio sugerido de estaciones de vigilancia en zonas urbanas según la densidad de población.	43
Tabla 5. Promedio mínimo sugerido de sitios de vigilancia.	44
Tabla 6. Resumen de criterios para ubicación de toma muestras y caminos de medición.	45
Tabla 7. Distancia mínima de separación entre toma muestras o caminos de medición y vías vehiculares.	46
Tabla 8. Metodologías de muestreo para la calidad del aire.	47
Tabla 9. Duración de un programa de vigilancia.	49
Tabla 10. Frecuencias de muestreo.	50
Tabla 11. Tiempo de toma de muestras por contaminante.	50
Tabla 12. Generalidades San José Cúcuta.	60
Tabla 13. Generalidades Villa del Rosario.	60
Tabla 14. Generalidades de Los Patios.	61
Tabla 15. Generalidades de El Zulia.	62
Tabla 16. Generalidades de San Cayetano.	62
Tabla 17. Información general estación Camilo Daza.	64
Tabla 18. Valores máximos mensuales de temperatura (2002-2004).	66
Tabla 19. Valores mínimos mensuales de temperatura (2002-2004).	66
Tabla 20. Valores medios mensuales de nubosidad (2002-2004).	68
Tabla 21. Determinación de estabilidad en situaciones diurnas.	73
Tabla 22. Determinación de estabilidad en situaciones nocturnas.	75
Tabla 23. Fuentes fijas puntuales relacionadas en el Área Metropolitana de Cúcuta.	78
Tabla 24. Características de los combustibles usados por fuentes fijas puntuales.	81
Tabla 25. Emisiones de TSP, SO ₂ , NO _x Y CO, generadas por fuentes fijas puntuales en el área de estudio.	84
Tabla 26. Consolidado de chircales de subsistencia en el Área Metropolitana.	85
Tabla 27. Patios de acopio en el Área Metropolita y promedio del frente de trabajo.	86
Tabla 28. Emisión de TSP de molinos de arroz.	87
Tabla 29. Composición vehicular detallada por tipo de vehículo y servicio en San José de Cúcuta.	88
Tabla 30. Composición vehicular del parque automotor venezolano que transita en la ciudad de Cúcuta.	89
Tabla 31. Características de los combustibles Utilizados por fuentes móviles.	91
Tabla 32. Flujo vehicular para la malla vial establecida del área de estudio en horas pico.	93
Tabla 33. Emisión diaria de contaminantes por fuentes móviles.	94

Tabla 34. Contenido de las fichas de diagnostico para las estaciones de vigilancia de calidad del aire.	99
Tabla 35. Descripción de las estaciones de la red de vigilancia de la calidad del aire en el eje industrial de Cúcuta.	102
Tabla 36. Listas de verificación para la RVCA.	102
Tabla 37. Datos de partículas suspendidas totales para el eje industrial de Cúcuta.	107
Tabla 38. Matriz de estabilidad atmosférica para el Área Metropolitana.	113
Tabla 39. Alturas de mezcla utilizadas en el modelo de dispersión de contaminantes.	115
Tabla 40. Exponente Power – Law.	115
Tabla 41. Determinación del número de estaciones mínimas.	119
Tabla 42. Determinación del número de estaciones mínimas.	120
Tabla 43. Sitios propuestos para las estaciones de la RVCA.	120
Tabla 44. Información de estaciones propuestas Red de Vigilancia de Calidad del Aire Área Metropolitana San José de Cúcuta.	121
Tabla 45. Desarrollo de un programa de aseguramiento de la calidad.	126
Tabla 46. Auditorias requeridas en la RVCA del Área Metropolitana de San José de Cúcuta.	131
Tabla 47. Inversión I etapa de la RVCA Área Metropolitana de Cúcuta.	133
Tabla 48. Inversión II etapa de la RVCA Área Metropolitana de Cúcuta.	134

LISTA DE GRÁFICOS

	PAG
Gráfica 1. Distribución poblacional Área Metropolitana San José de Cúcuta.	59
Gráfica 2. Valores de precipitación (mm). estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).	65
Gráfica 3. Valores medios de temperatura estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).	66
Gráfica 4. Valores mensuales de evaporación estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).	67
Gráfica 5. Humedad relativa estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).	67
Gráfica 6. Brillo solar estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).	68
Gráfica 7. Radiación global mensual en San José de Cúcuta (2002-2004).	71
Gráfica 8. Distribución de tipos de estabilidad para situaciones diurnas.	76
Gráfica 9. Distribución de tipos de estabilidad para situaciones nocturnas.	76
Gráfica 10. Tipo de actividades generadoras de emisiones a la atmósfera en el Área Metropolitana de Cúcuta.	80
Gráfica 11. Tipo de combustibles utilizados por las fuentes fijas puntuales en el Área Metropolitana de Cúcuta.	81
Gráfica 12. Tipos de equipos de combustión en el Área Metropolitana.	82
Gráfica 13. Distribución porcentual de contaminantes emitidos por fuentes fijas puntuales en el área de estudio.	83
Gráfica 14. Emisiones generadas de TSP, SO ₂ , NO _x y CO por tipo de industria.	84
Gráfica 15. Vehículos de placas colombianas detallados por servicio.	89
Gráfica 16. Vehículos placas colombianas detallados por tipo.	89
Gráfica 17. Composición de vehículos matriculados en la ciudad de Cúcuta según año modelo.	90
Gráfica 18. Clasificación de vehículos en la ciudad de Cúcuta por tipo de matrícula.	90
Gráfica 19. Tipos de combustibles utilizados por fuentes móviles en el Área Metropolitana de Cúcuta.	92
Gráfica 20. Aporte de contaminantes por fuentes móviles en San José de Cúcuta.	95
Gráfica 21. Emisión diaria de contaminantes por tipo de vehículo en San José de Cúcuta.	95
Gráfica 22. Emisión de contaminantes por fuentes móviles en las principales vías de San José de Cúcuta.	96
Gráfica 23. Emisión de contaminantes durante el día en San José de Cúcuta.	96
Gráfica 24. Concentración diaria de PST en el eje industrial de la ciudad de Cúcuta, para el último año de operación (2002).	105
Gráfica 25. Concentración promedio anual para partículas suspendidas totales en el eje industrial de Cúcuta.	107
Gráfica 26. Concentración media mensual de PST Año 2000.	108
Gráfica 27. Concentración media mensual de PST Año 2001.	108
Gráfica 28. Concentración media mensual de PST Año 2002.	109

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

	PAG
Cuadro 1. Tipos de contaminante.	26
Cuadro 2. Clasificación general de los contaminantes.	26
Cuadro 3. Fuentes de contaminación.	27
Cuadro 4. Fases de diseño de una red de vigilancia de calidad del aire.	41
Cuadro 5. Metodología rediseño de la red de vigilancia de la calidad del aire para el Área Metropolitana de Cúcuta.	56
Cuadro 6. Metodología del inventario de fuentes móviles.	88
Cuadro 7. Parámetros de entrada programa ISCLT.	116
Cuadro 8. Organigrama red propuesta.	123
Cuadro 9. Ciclo de Programas de AC para la Vigilancia de Calidad del Aire.	126
Cuadro 10. Programa básico de capacitación para los integrantes de la RVCA – Área Metropolitana San José de Cúcuta.	128
 Figura 1. Transición legislativa en materia de aire.	 22
Figura 2. Comportamiento del efecto invernadero.	28
Figura 3. Disminución de la capa de ozono.	29
Figura 4. Factores incidentes en especies forestales.	30
Figura 5. Variación vertical de la velocidad del viento en función del tipo de superficie.	36
Figura 6. Recomendaciones para ubicación de estaciones de vigilancia.	44
Figura 7 Topografía del Área Metropolitana de San José de Cúcuta.	59
Figura 8. Rosa de vientos Apto. Camilo Daza serie histórica (19 años).	72
Figura 9. Localización de las estaciones de la RVCA eje industrial.	100

GLOSARIO

Aerosol: Gas o aire enriquecido con sustancias sólidas o líquidas, capaces de mantener partículas en suspensión durante un tiempo prolongado.

Altura de mezcla: Capa de aire en la que se distribuyen los gases.

Altura efectiva de chimenea: La altura efectiva de emisión es la altura de la chimenea más la elevación del penacho debido al efecto combinado del momento cinético, impulso mecánico que tienen los gases por ser expulsados forzosamente en forma vertical y por el empuje térmico causado por una menor densidad del efluente respecto del aire circundante debido al exceso de temperatura o al menor peso molecular.

Atmósfera: Es la mezcla de gases y partículas suspendidas que envuelve la Tierra y que permanece en torno a ella gracias a la atracción gravitacional del planeta. Sus principales componentes son el nitrógeno molecular (78% en volumen) y oxígeno molecular (21% en volumen). El vapor de agua, el dióxido de carbono (CO₂), y otros elementos gaseosos de menor concentración ocupan el 1% restante.

Capa de ozono: Acumulación de Ozono (O₃) situada entre 20 y 25 kilómetros de altura, formada por la acción de los rayos solares sobre las moléculas de oxígeno (O₂).

Clima: Conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región, deducido principalmente por el estado medio de la atmósfera, determinado a lo largo de un período de tiempo de varias décadas (idealmente tres o más).

Concentración: Corresponde a la proporción de contaminante presente en un medio, generalmente expresada en unidades de masa como micro o nanogramos fraccionando a una unidad de masa mayor como gramos o kilos (µg/k o ng/g) o a una de volumen como centímetros o metros cúbicos (µg/m³ o ng/cc). En ocasiones la concentración se expresa directamente en una fracción como Partes por millón (ppm). El nivel de daño que causa un contaminante depende en buena medida de su nivel de concentración.

Concentración de fondo o Background: Es aquella que existe previamente y de manera independiente a la aportada por las fuentes estudiadas. Es atribuida a las fuentes naturales y a las artificiales no identificadas.

Contaminación atmosférica: Presencia de contaminantes en la atmósfera, tales como polvo, gases o humo en cantidades y durante períodos de tiempo tales que resultan dañinos para los seres humanos, la vida silvestre y la propiedad. Estos

contaminantes pueden ser de origen natural o producidos por el hombre directa o indirectamente.

Contaminante: Todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

Contaminante primario: Es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química.

Contaminante secundario: Contaminante que puede ser producido en la atmósfera por procesos físicos o químicos, a partir de contaminantes primarios u otras sustancias presentes como resultado de emisiones de fuentes estacionarias o móviles.

Dióxido de azufre (SO₂): Gas producido por la quema de combustibles fósiles que contienen azufre (S), la fundición de minerales sulfurados y procesos industriales. Es precursor del Material Particulado Secundario formándolo mediante la asociación a pequeñas partículas (aerosoles).

Dióxido de nitrógeno (NO₂): Es producido directa e indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas, en el proceso de combustión el nitrógeno se oxida para formar principalmente monóxido de nitrógeno (NO) y en menor proporción dióxido de nitrógeno. El NO se transforma en NO₂ mediante reacciones fotoquímicas.

Emisión: Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil.

Exposición: Esta determinada por la cantidad de contaminante que estuvo en contacto con una persona, población o medio y el tiempo que dicho contaminante actúa directamente sobre esa persona.

Factor de emisión: Cantidad promedio de un contaminante emitido por una industria, en relación con la cantidad definida de material procesado.

Fuente de emisión: Es toda actividad, proceso u operación, realizado por seres humanos o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

Fuente fija difusa: Es aquella en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión.

Inmisión: Transferencia de contaminantes de la atmósfera a un receptor. Aire inmisible es el aire respirable al nivel de la troposfera.

Inversión térmica: Se habla de inversión térmica cada vez que la temperatura aumenta con la altura. En este caso la estabilidad atmosférica es intensa y la inversión térmica inhibe los movimientos verticales.

Material particulado (MP): Es una mezcla de partículas líquidas, sólidas o líquidas y sólidas suspendidas en el aire que difieren en tamaño, composición y origen. El tamaño de las partículas suspendidas en la atmósfera varía en más de cuatro órdenes de magnitud, desde unos pocos nanómetros a decenas de micrómetros.

El Material Particulado conviene clasificarlo por sus propiedades aerodinámicas (Diámetro Aerodinámico), dado que éstas son un factor decisivo para el transporte y la remoción de las partículas desde el aire. También, son determinantes para la deposición en el sistema respiratorio y están asociadas con la composición química y las fuentes de esas partículas, cuando se habla del tamaño de una partícula se está hablando de su diámetro aerodinámico.

Material particulado respirable: Comprende las partículas de diámetro aerodinámico (d.a.) menor a 10 μm . Representa una mezcla compleja de sustancias orgánicas e inorgánicas. De acuerdo a masa y composición se tienden a dividir en dos grupos principales, PM Grueso, de d.a. mayor a 2,5 μm y menor a 10 μm y PM Fino menor a 2,5 μm en d.a., existiendo también el denominado PM ultrafino de alrededor de 0,1 μm .

Microgramo (μg): Unidad de masa que corresponde a la millonésima parte de un gramo.

Monóxido de carbono (CO): Esta sustancia es producida por la combustión incompleta de carburantes y ciertos procesos biológicos e industriales. Actúa en la sangre suplantando al oxígeno (O_2) e impidiendo su llegada al cerebro y los músculos, incluyendo el corazón.

Muestreo isocinético: Método para determinar los efluentes gaseosos en un flujo de emisión de una fuente. El isocinetismo se presenta cuando la velocidad, dirección y sentido con que se capta la muestra, es idéntica a la que se emite por el ducto de la fuente.

Óxidos de nitrógeno (NO Y NO_2): También conocidos como NO_x . Son producidos por actividad volcánica, bacteriana, tormentas eléctricas y la combustión a altas temperaturas de combustibles fósiles. En presencia de humedad forman ácido nítrico favoreciendo la generación de material particulado fino (PM 2.5).

Ozono (O₃): Es el estado del oxígeno en el que cada molécula se compone de tres átomos del mismo (O₃). A temperatura y presión ambientales el ozono es un gas de olor acre e incoloro, que en grandes concentraciones puede volverse azulado, es necesario distinguir entre el ozono presente en la estratosfera y el de la troposfera; en ambos casos su formación y destrucción son fenómenos fotoquímicos. El ozono estratosférico se forma por acción de la radiación ultravioleta, que disocia las moléculas de oxígeno molecular (O₂) en dos átomos, los cuales son altamente reactivos, pudiendo reaccionar estos con otra molécula de O₂ formándose el ozono. El mecanismo mediante el cual se genera el ozono en la troposfera es completamente distinto, ya que a esta altura no llegan las radiaciones ultravioletas, el ozono en este caso, se forma a partir de ciertos precursores (NO_x - óxidos de nitrógeno; y VOCs - compuestos orgánicos volátiles, como el formaldehído), contaminantes provenientes de la actividad humana; estos contaminantes se disocian formando radicales con radiación menos energética, y dichos radicales pueden formar ozono con el oxígeno molecular. El conjunto del ozono, NO_x y VOCs forma una neblina visible en zonas muy contaminadas denominada smog fotoquímico.

Opacidad: Capacidad de una sustancia para impedir la transmisión de luz a su través. Expresada como el porcentaje de luz absorbida.

Partes por millón (ppm): Unidad de concentración que corresponde al fraccionamiento de una unidad en un millón.

Partículas totales en suspensión (PST): Son materiales finamente divididos, presentes (suspendidos) en el aire, sólidos o líquidos de un diámetro igual o inferior a 50 micrómetros (µm). La fracción de PST de tamaño superior a 10 micrones corresponde a partículas no respirables, depositándose en la parte superior del sistema respiratorio y son limpiadas y expulsadas a través de la formación de mucus, a través de la tos o de la deglución.

PM 2.5: Corresponde a la fracción fina del PM₁₀, con un diámetro aerodinámico inferior a 2,5 µm, lo que les permite penetrar más por el sistema respiratorio llegando a los alvéolos pulmonares.

Smog: Contaminación atmosférica más visible, generalmente formada por material particulado y contaminantes gaseosos como el dióxido de azufre. El término “smog”, significa Smoke (humo) y fog (neblina).

RESUMEN

Mediante un diagnóstico de la actual Red de Vigilancia de la Calidad del Aire, que opera en la zona de influencia del eje industrial de San José de Cúcuta se ha evidenciado la necesidad de replantear su diseño de tal manera que tenga un cubrimiento de toda la ciudad e incluso involucrar los municipios que integran su Área Metropolitana, cuya industria es igualmente importante en cuanto a emisión de contaminantes atmosféricos.

El rediseño de la Red de Vigilancia de Calidad del Aire se basó en la información del inventario de emisores y emisiones, población, topografía y meteorología de la zona de estudio; dicha información fue procesada mediante el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos ISCLT (Industrial Source Complex Long Term) el cual maneja una formulación Gaussiana. Los resultados obtenidos del programa de modelación fueron utilizados junto a los datos de densidad de población y mediante criterios propuestos por la Environmental Protection Agency USEPA, la Compañía Estatal de Tecnología en Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB) y el Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental del IDEAM para proponer la cantidad de estaciones, contaminantes a monitorear y sitios de ubicación de las mismas teniendo en cuenta la infraestructura existente, así pues se propone medir Material particulado (PST, PM10), dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Finalmente se hace énfasis en el manejo que se debe dar a la red para garantizar su correcta operación y la calidad de los datos arrojados de manera que puedan ser publicados a la población interesada y se conviertan en herramienta para la toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental.

La implementación de la nueva red se propone en dos etapas con el fin de balancear la inversión y garantizar la destinación de presupuesto para su continua operación.

ABSTRACT

By a diagnostic of the present “Red de Vigilancia de la Calidad del Aire” (Air Quality Surveillance Net) that is operating in the industrial axis of San José de Cúcuta influence zone, it becomes evident the need to rethink its design in such way that has a total covering of the city and even involves the municipalities that integrates its Metropolitan Area, the industry of this municipalities has the same significance when we talk about to emission of atmospheric pollutants.

The rethinking of the “Air Quality Surveillance and Control Net” was based in the information of the emitters and emissions inventory, population, topography and meteorology of the study area; that information was processed through the dispersion of atmospheric pollutants model ISCLT (Industrial Source Complex Long Term) which handles a Gaussian formulation. The obtained results of the modeler program were used together with the population density data and by means of standards proposed by the Environmental Protection Agency (USEPA), “Compañía Estatal de Tecnología en Saneamiento Ambiental de Brasil” (CETESB) and the air module’s surveillance and monitoring protocol of the environmental information system of the IDEAM, to propose the number of stations, the pollutants to monitor, and the stations places of location, keeping in mind the existent infrastructure, therefore, we propose to measure particulate material (PST, PM10), dioxide of sulfur, nitrogen oxides, and monoxide of carbon. Finally we make emphasis in the operation that should be given to the net to guarantee its correct operation and the quality of the obtained data, so that can be published to the interested population and becomes a tool in the environmental authority’s taking decision process.

The implementation of the new net is propose in two stages, in order to balance the investment and to guarantee the budget destination for its continuous operation.

INTRODUCCIÓN

En el departamento Norte de Santander, CORPONOR como autoridad ambiental ha velado por la vigilancia de la calidad del aire a través del control a las industrias susceptibles de generar contaminantes atmosféricos, en el año 1999 con la implementación de una red de vigilancia de calidad del aire diseñada para la zona de influencia del eje industrial de Cúcuta, la corporación dio un paso más en la gestión del medio atmosférico.

El presente proyecto busca la ampliación de dicha red siendo consecuente con el desarrollo de la región tanto a nivel industrial como de su población y teniendo en cuenta que se hace necesaria una mayor cobertura, lo cual incluye los municipios que conforman el Área Metropolitana ya que estos juegan un papel importante en la actual tendencia de la industria de la región.

En este documento se hace un estudio profundo y concienzudo de todos y cada uno de los aspectos que influyen en el diseño de la red de vigilancia de calidad del aire, desde la normatividad vigente, las características y consecuencias que cada contaminante posee, la información que caracteriza a la región hasta la justificación de la necesidad de mejorar la red que actualmente opera; a cada uno de esos aspectos se ha dedicado un capítulo cuyo fin es dar a entender su importancia y relación con los demás para obtener un producto final que satisfaga tanto las necesidades de la población como los requerimientos de las autoridades ambientales.

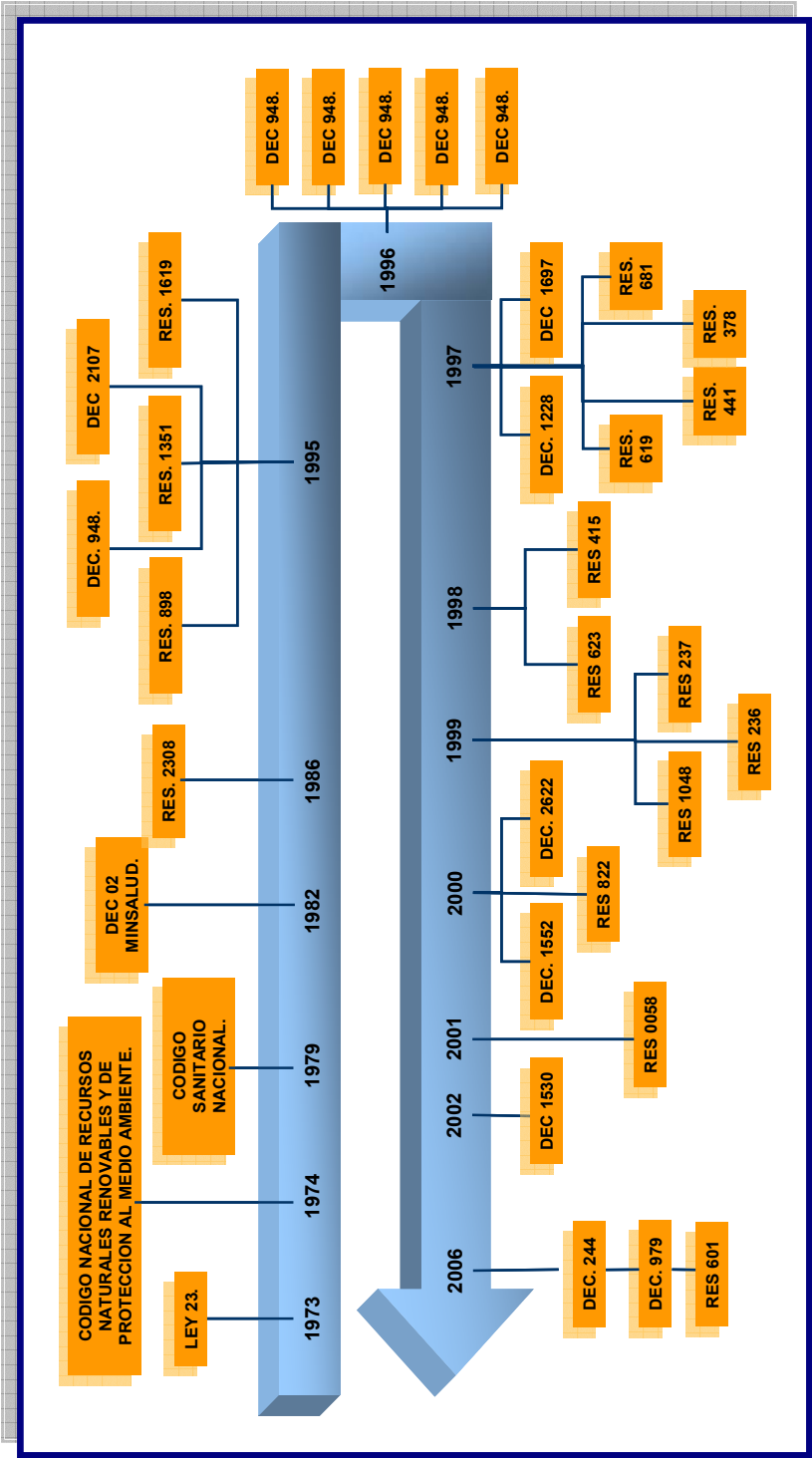
1. MARCO LEGAL

En Colombia al igual que en otros países en vía de desarrollo, se ha presentado grandes dificultades para la instauración de una política ambiental eficaz que se adapte a las condiciones propias de nuestro entorno social.

Ya específicamente hablando del recurso aire, se puede decir que el interés por el mismo se presentó por primera vez en 1967, cuando mediante convenio suscrito entre el Gobierno Nacional, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), se dio inicio a la evaluación de la calidad del aire. En 1973 empezó la red de calidad del aire REDPANAIRE con una estación en Bogotá, ya para 1981 se contaba con 25 estaciones de medición de partículas en suspensión y dióxido de azufre ubicadas en centros urbanos del país.

En 1973 con la ley 23, en la que se faculta al presidente de la República para expedir el sucesivo Código de Recursos Naturales, se incluye como parte del medio ambiente a la atmósfera considerando así el aire como un *Bien Contaminable*. Con la expedición del Dec. 2811 De 1974 (Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente), se estipula la obligación del gobierno de mantener la atmósfera en condiciones que permitan el desarrollo normal de la vida, así como se prevé subsecuentes disposiciones en cuanto a niveles permisibles de concentración de contaminantes, calidad de aire, métodos de control, circulación de vehículos y establecimiento de estaciones y redes de vigilancia. En 1979 con la Ley 09 (Código Sanitario Nacional) se establece la competencia del Ministerio de Salud en cuanto a las regulaciones para calidad de aire, emisión de contaminantes, prohibiciones, permisos y sanciones. Estos dos códigos fueron la base para la formulación de la política ambiental en materia de control a la contaminación atmosférica, así se inició el crecimiento de la reglamentación para el recurso aire con la expedición del Dec. 02 de 1982 en el que se faculta al Ministerio de Salud para sancionar a las fuentes de contaminación. Para el período de 1983-1986 se realiza el registro de fuentes fijas, en 1985 se ha incrementado la cantidad de estaciones a 47 dando especial trato al material particulado. Con la Ley 99 de 1993 se reordenan las competencias para dar continuidad a la formulación de políticas ambientales, la figura 1 resume la transición legislativa en materia de aire para Colombia.

Figura 1. Transición legislativa en materia de aire.



Fuente: Autores

- **Ley 23 de 1973.** EL Congreso de la República faculta al Presidente para expedir el Código de los Recursos Naturales y Protección al Medio Ambiente.
- **Decreto – ley 2811 de 1974.** El Presidente de la República expide el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente.
- **Decreto 02 de 1982.** La Presidencia de la República reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9/79 y el Decreto - Ley 2811/74 en cuanto a emisiones atmosféricas.
- **Resolución 2308 de febrero de 1986.** En el cual se adopta el procedimiento para análisis de calidad del aire.
- **Decreto 948 de junio de 1995.** Reglamento de la protección y control de la calidad del aire. Deroga parcialmente el Decreto 002/82.
- **Decreto 2107 de 1995.** Modifica parcialmente el Decreto 948/95 sobre uso de crudos pesados, quemas abiertas, emisiones vehiculares y actividades contaminantes.
- **Resolución 898 de agosto de 1995.** Calidad de los Combustibles.
- **Resolución 125 de febrero de 1996.** Adiciona la Resolución 898/95 sobre calidad del Diesel.
- **Resolución 909 de agosto de 1996.** Modifica la Resolución 0005/96. Niveles de Emisión de Fuentes Móviles.
- **Resolución 378 de mayo de 1997.** Implementa la prueba dinámica para la expedición del certificado de emisiones.
- **Decreto 1697 de junio de 1997.** Modifica parcialmente el Decreto 948/95 sobre Normas de los Combustibles.
- **Resolución 619 de julio de 1997.** Factores que requieren permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
- **Resolución 681 de julio de 1997.** Adiciona la Resolución 378/97 sobre visado del certificado de emisiones.
- **Resolución 236 de 1999.** Deroga la Resolución 1208/97 sobre expedición de certificados de emisiones.

- **Decreto 1552 de 2000.** Modifica el artículo 58 del Decreto 948/95 y el artículo 3 de Decreto 2107/95 sobre emisiones del vehículo Diesel.
- **Decreto 2622 de diciembre de 2000.** Modifica el artículo 40 del Decreto 948/95 y el artículo 2 del Decreto 1697/97 sobre calidad de los combustibles.
- **Decreto 1530 de julio de 2002.** Modifica el artículo 40 el Decreto 948/95, el artículo 2 del Decreto 2622/00 sobre calidad de los combustibles.
- **Decreto 244 del 30 de enero de 2006, del MAVDT.** Por el cual se crea y reglamenta La Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la prevención y control de la contaminación aire – CONAIRE.
- **Decreto 979 del 3 de abril de 2006, del MAVDT.** Por el cual se modifican los artículos 7, 10, 93, 94 y 108 del decreto 948 de 1995.
- **Resolución 601 del 4 de abril de 2006, del MAVDT.** Por el cual se establece la norma de calidad del Aire o nivel de Inmisión, para todo el territorio Nacional en condiciones de referencia.

2. MARCO TEORICO

2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se considera como contaminación atmosférica, la condición en la que algunas sustancias alcanzan niveles de concentración mayores a los normales ambientales pudiendo así ocasionar riesgo o daños en las personas, ecosistemas o bienes.

La emisión de las sustancias contaminantes atmosféricas se da en estado gaseoso, ya sea a través de ductos o de manera difusa en áreas determinadas. Dicha contaminación es causada de dos formas:

- *Naturalmente*: Se da por actividad volcánica, acción biológica en pantanos, incendios forestales y descomposición biológica.
- *Antrópicamente*: Por uso de combustibles fósiles como el petróleo y carbón, automóviles, uso de fertilizantes nitrogenados y procesos químicos.

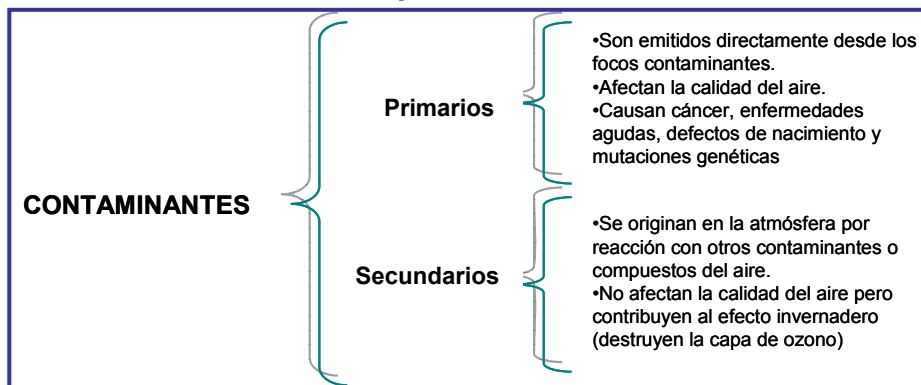
2.2 TIPOS DE CONTAMINANTES

En el cuadro 1 se presenta la clasificación de los contaminantes según el decreto 948 de 1995, expedido por el ministerio del medio ambiente. Existen infinidad de gases que se liberan a la atmósfera y que pueden ser calificados como contaminantes. Estos gases se pueden clasificar como derivados de sus elementos más característicos, así pues tenemos compuestos derivados del carbono, azufre, nitrógeno, etc. A continuación se presenta una descripción de los contaminantes según su clase y el tipo al que pertenecen (de primer o segundo grado).

2.3 FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y ORIGEN DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES

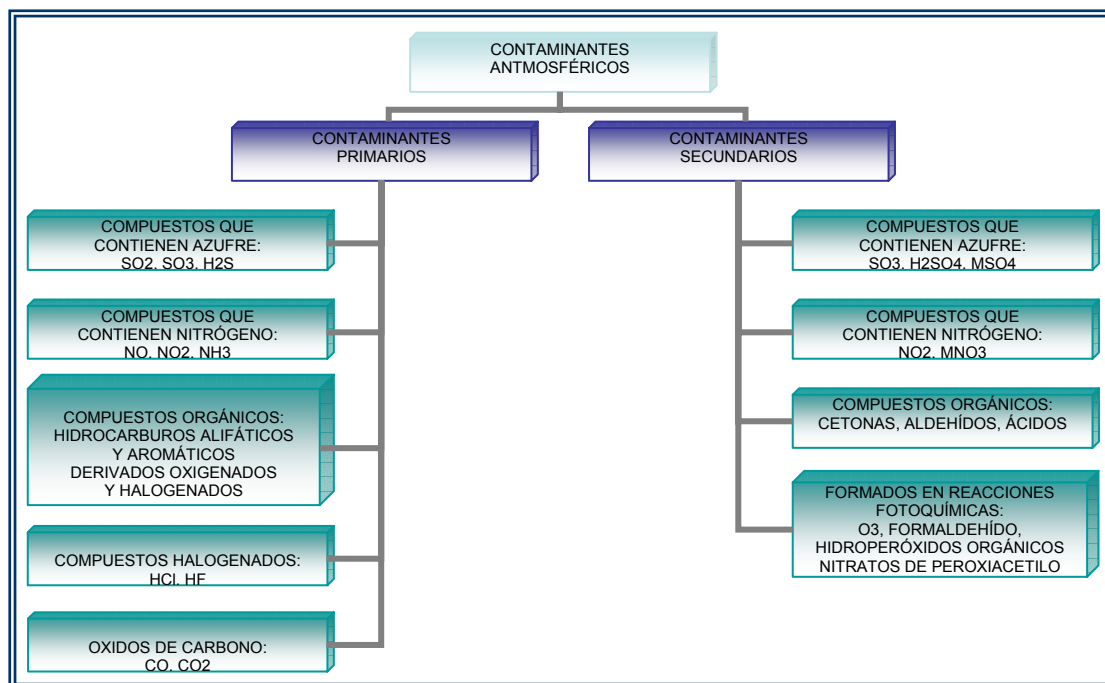
La contaminación del aire puede generarse por dos tipos de fuentes, clasificadas como *naturales*, como la actividad volcánica y los procesos biológicos, cuyo control es casi imposible; y *artificiales*, que se generan por el desarrollo de las actividades humanas en la producción de bienes y servicios.

Cuadro 1. Tipos de contaminante.



Fuente: Autores

Cuadro 2. Clasificación general de los contaminantes.



Fuente: CEPIS. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire y autores.

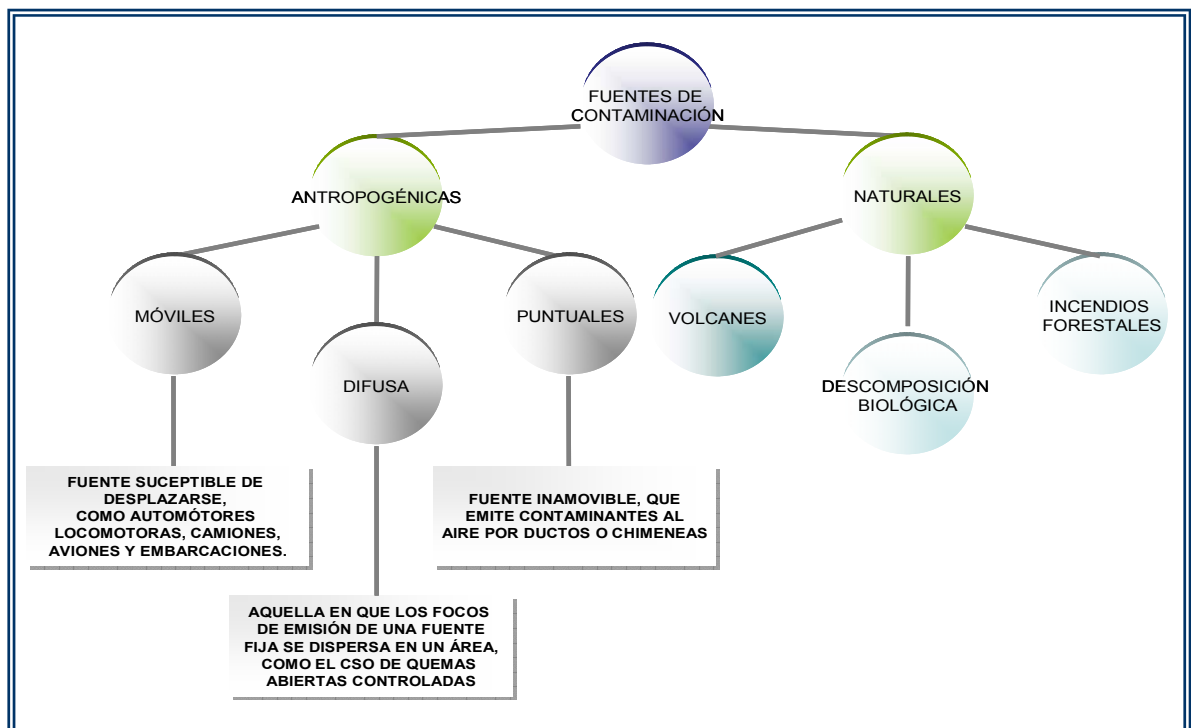
El material particulado que existe en la atmósfera se genera por la combustión de combustibles como el carbón, aceite diesel y combustibles para motores en fuentes móviles; procesos productivos que realizan molido, fundición y trituración de materias primas también constituyen un aporte significativo a la contaminación atmosférica.

Los óxidos de azufre, provienen principalmente del consumo de combustibles que contienen azufre, pero se destaca que su aporte se ve incrementado por el procesamiento de minerales y procesos de fabricación que utilicen ácido sulfúrico.

El monóxido de carbono se genera principalmente por la combustión incompleta de combustibles en vehículos de motor y unidades de calefacción. Compuestos como los hidrocarburos se producen por la combustión incompleta de los combustibles y la refinación del petróleo.

Los óxidos de nitrógeno se originan en un proceso de combustión cuando el nitrógeno del aire o el presente en el combustible se combinan con el oxígeno a elevadas temperaturas.

Cuadro 3. Fuentes de contaminación.



Fuente: Autores.

2.4 EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN

El aire es el principal medio de transporte de cualquier contaminante y por consiguiente, su contacto con el hombre, animales y plantas; causa efectos nocivos en órganos importantes, impidiendo el normal desarrollo vital de los individuos.

2.4.1 Efectos sobre el ser humano¹. Los contaminantes atmosféricos afectan principalmente al sistema respiratorio, la piel y los ojos además de ocasionar problemas en otros sistemas; dichos efectos se dividen en cuatro grupos a saber:

- *Efectos a corto plazo o agudos:* estos se dan de manera súbita y su duración es relativamente corta, de unos pocos minutos hasta unos días.
- *Efectos a largo plazo o crónicos:* persisten por períodos extensos o de años.
- *Efectos no respiratorios:* Estos afectan además de los pulmones a otros órganos y una vez inhalados pueden absorberse al torrente sanguíneo y llegar a todas las áreas del cuerpo.

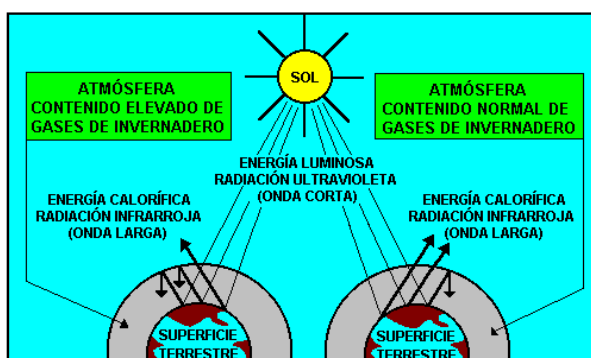
Refiriéndose a todos los contaminantes atmosféricos existentes en el aire ambiente, se puede decir que su reacción se presenta casi inmediatamente una vez ingresan por el sistema respiratorio.

2.4.2 Efectos sobre la atmósfera y el medio². Contaminantes como el SO₂, NO_x, partículas en suspensión, plomo causan efectos a nivel local o regional; mientras que sustancias como CFC, CO₂, Metano generan efectos globales que afectan a la atmósfera y repercuten en el clima del planeta en conjunto.

2.4.2.1 Efectos Globales.

- *Efecto invernadero:* Se presenta cuando el suelo y el agua superficial de los mares al calentarse, pierden calor por emisión de radiación infrarroja, pero el vapor de agua y el dióxido de carbono de la atmósfera hacen que parte de ésta radiación se refleje hacia la tierra, evitando así que se pierda en el espacio.

Figura 2. Comportamiento del efecto invernadero.



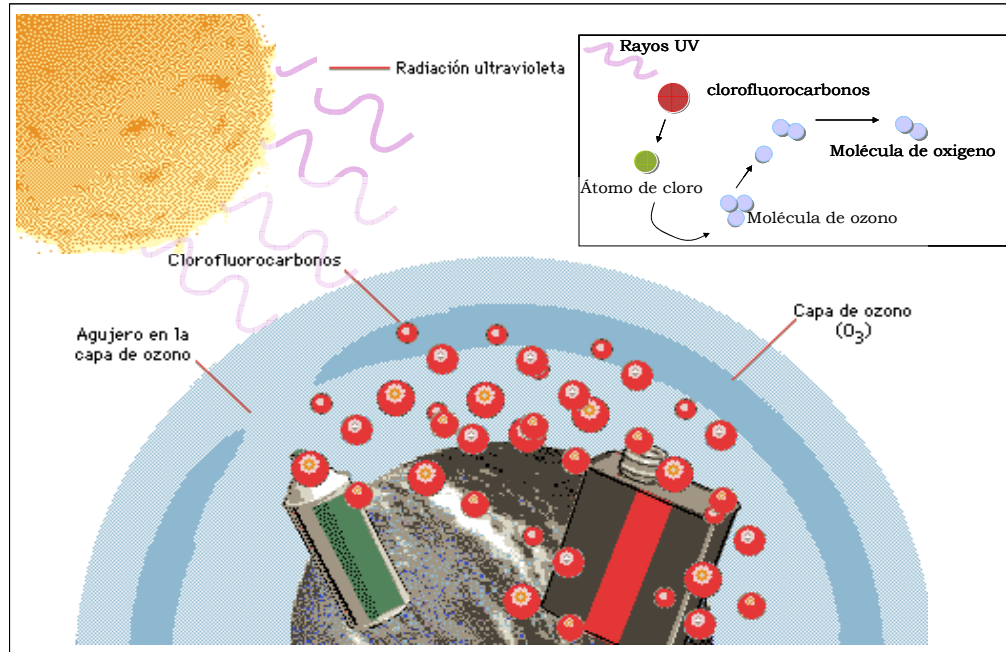
Fuente: Área de Gobierno de Medio Ambiente.
Contaminación atmosférica. España.
<http://www.mambiente.munimadrid.es/>

¹ www.cepis.ops-oms.org/bvsala/e/home.htm. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire.

² Cortazar Adriana. Efectos Ambientales ocasionados por la contaminación atmosférica. Efectos globales y Locales.

- *Disminución del ozono en la estratosfera:* Durante su estadía en esta capa los óxidos de nitrógeno (cuyo origen no es natural), clorofluorometanos, productos agroquímicos que contienen bromuro de metilo y di-bromuro de etileno, hidrocarburos bromados como pitorretardante, pueden destruir el ozono.

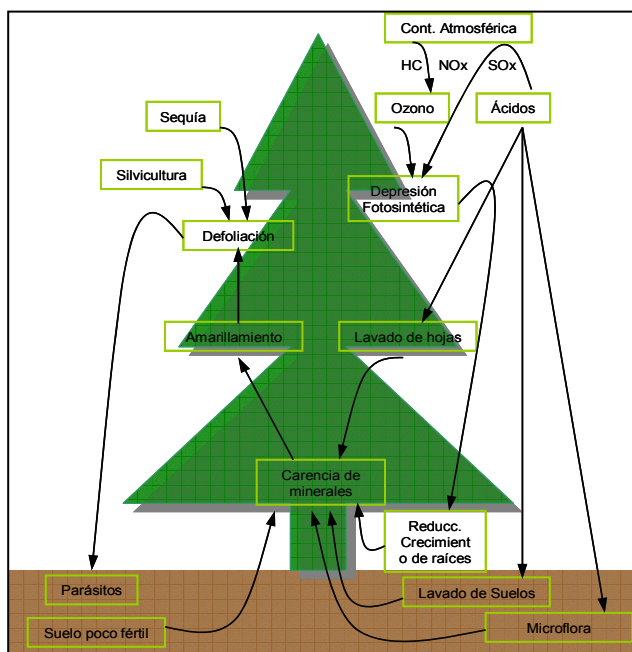
Figura 3. Disminución de la capa de ozono.



Fuente: Autores

- *Lluvia ácida:* Esta proviene principalmente de la combustión del carbón y petróleo, que favorece la emisión de dióxido de azufre y óxido de nitrógeno, convirtiéndose en ácido sulfúrico y ácido nítrico en la atmósfera; por lo general estos gases caen a la tierra en forma de lluvia y nieve y como partículas ácidas secas a kilómetros de distancia de su lugar de origen. Una lluvia recibe el nombre de ácida cuando su pH se encuentra por debajo de 5.6. Uno de los principales efectos de este fenómeno es la acidificación de las fuentes naturales de agua, lo cual tiene un efecto devastador en los ecosistemas de dichas fuentes, especialmente en poblaciones muy sensibles a los cambios de pH; también se presenta desmineralización del suelo debido a la lixiviación de nutrientes. La figura 4 muestra los factores más comunes que inciden en las especies forestales.

Figura 4. Factores incidentes en especies forestales.



Fuente: Cortazar Adriana. Efectos ambientales ocasionados por la dispersión atmosférica

2.4.2.2 Efectos Locales.

- Smog fotoquímico: Se forma cuando en presencia de oxígeno, los hidrocarburos sufren una reacción catalizada por las radiaciones ultravioleta de la luz solar, en una situación en que la circulación atmosférica ha provocado el estancamiento del aire.
- Visibilidad: La reducción de la visibilidad es uno de los efectos más comunes de la contaminación atmosférica y se debe especialmente a la absorción y dispersión de la luz por los materiales líquidos y sólidos arrastrados por el aire. En concentraciones elevadas, el ozono, el vapor de agua y el óxido de azufre, aunque no son visibles cambian las características de absorción y transmisión de la atmósfera.

2.5 TRANSPORTE Y DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES³

Los factores que son responsables de la dilución o no de los contaminantes están estrechamente ligados con ciertos parámetros meteorológicos, estos factores, hacen que la dispersión del material residual descargado en la atmósfera dependan de las condiciones meteorológicas que predominen en la capa

³ Cepis. Transporte y dispersión de contaminantes en el aire ambiental. Capítulo 6.

atmosférica próxima a la tierra, capa superficial de sólo 1000 metros de espesor. La dispersión esta controlada por las fluctuaciones de velocidad y dirección del viento. Otros factores como la estabilidad de la temperatura atmosférica, características topográficas y asperezas de la superficie, repercuten en el grado de dilución de las emisiones por el viento.

El transporte y dispersión de contaminantes del aire están influenciados por complejos factores. Las variaciones globales y regionales del clima y las condiciones topográficas locales afectan el transporte y dispersión de los contaminantes.

2.5.1 Meteorología. Esta disciplina aplicada a la contaminación atmosférica, representa la principal herramienta para determinar el comportamiento en la dispersión de los contaminantes.

2.5.1.1 Velocidad y dirección del viento. El calentamiento diferencial del aire produce gradientes de presión, que a su vez producen movimientos horizontales en la atmósfera.

El flujo general del aire sobre la superficie de la tierra se produce por sistemas de presión a gran escala y la fuerza y dirección del viento en cualquier punto están determinadas por la posición, intensidad y movimiento de los sistemas. Es importante considerar los factores locales, tales como la presencia de mar o tierra, montañas o grandes urbes que influyen en los detalles del movimiento del aire.

También llamada movimiento horizontal, la velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área. Mientras mayor sea la velocidad del viento, menor será la concentración de contaminantes; el viento diluye y dispersa rápidamente los contaminantes en el área circundante.

Existen diferentes fuerzas que influyen en el comportamiento del aire, *la fuerza de gradiente de presión*, que equilibra la fuerza que tiende a mover el aire de una zona de alta presión a una de baja presión; *la fuerza de coriolis*, que es causada por la rotación de la tierra y hace que el viento que se mueve verticalmente sobre la tierra se desvíe hacia la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur; *la fuerza de fricción*, que afecta la circulación del viento cerca de la superficie terrestre, hasta que llega a altitudes aproximadas de 500 a 1000 metros. Esta fuerza además de reducir la velocidad del viento, afecta la dirección del mismo.

Los cambios de la dirección y velocidad del viento pueden representarse gráficamente por medio de una rosa de vientos en donde se le asigna una probabilidad a la dirección del viento por medio de un análisis de frecuencia.

El movimiento vertical, también afecta al transporte y dispersión de los contaminantes del aire, cuando hablamos a la estabilidad atmosférica nos referimos al movimiento vertical; así, las condiciones inestables en la atmósfera producen la mezcla vertical. Generalmente, durante el día el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente y liviano que el aire en la atmósfera superior debido a la absorción de la energía solar. El aire caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire frío y pesado de la atmósfera superior que tiende a bajar. Este movimiento constante de aire crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado.

Generalmente, cuando el aire más caliente está por encima del aire frío se presentan condiciones atmosféricas estables, de ese modo se inhibe la mezcla vertical; esta condición se conoce como **inversión térmica**. Cuando hay una ligera mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores.

2.5.1.2 Presión atmosférica. Se conoce como presión atmosférica a la fuerza que ejerce una columna de aire sobre el hombre debido al peso de los gases que componen la atmósfera, los cuales poseen moléculas y átomos que se mueven a gran velocidad, chocando unos contra otros golpeando así la superficie de la tierra, y los seres que allí se encuentran. La presión es un factor determinante en la aplicación de las normas de calidad del aire en diferentes sitios del país, ya que estas normas están expresadas en función de condiciones tanto de presión y temperatura de referencia, las cuales deben ser corregidas para las condiciones locales del sitio a tratar.

2.5.1.3 Estabilidad atmosférica. La estabilidad atmosférica tiene que ver con la estratificación térmica de la atmósfera. La situación de mínima energía es una estratificación en la que el aire frío se encuentra por debajo del aire caliente. La troposfera que es calentada desde la superficie por efecto de la radiación solar tiende por ende a mezclarse verticalmente. Si una burbuja de aire que empieza a ascender tiene una temperatura mayor que el aire que la circunda tenderá a seguir ascendiendo, de lo contrario tenderá a descender. Al ascender la burbuja de aire se expandirá debido al descenso de presión con la altura y por lo tanto perderá energía enfriándose. Eventualmente, la burbuja se encontrará a la misma temperatura del aire que la circunda. Si sigue ascendiendo luego de alcanzar ese punto seguirá enfriándose hasta empezar a descender. Al empezar a descender será comprimida y por lo tanto calentada. En ausencia de fuentes externas de calor (proceso adiabático) la tasa de cambio de la temperatura de una burbuja de aire por efecto de expansión y compresión en la atmósfera es de aproximadamente diez grados por kilómetro (10°C/Km). Si hay vapor de agua presente, al ascender este vapor será eventualmente condensado liberando energía (calor latente) y eso hará que la tasa de cambio de la temperatura en la burbuja disminuya (típicamente 6.5°C/Km). Se habla de **inversión térmica** o **capa de inversión** cuando la temperatura del aire en lugar de disminuir con la altura

aumenta con esta. Esta es una condición de mucha estabilidad que inhibe los movimientos verticales y por consecuencia la mezcla vertical.

Al concepto de estabilidad atmosférica, se suman los siguientes términos no menos importantes:

Altura de mezcla: Es el nivel en el cual el viento y la turbulencia dejan de ser afectados por las condiciones de la superficie. La *capa de mezcla* es entonces, la comprendida entre la superficie y la altura de mezcla. En algunas ocasiones la altura de mezcla no supera los 30 o 40 metros sobre el suelo (inversiones nocturnas con cielo despejado) pero en otras supera los 1000 metros, como es el caso en días muy soleados y despejados. (CORTAZAR, 1996).

Condiciones atmosféricas inestables: se produce la mezcla vertical y hay dispersión. Cerca de la superficie terrestre el aire es más caliente en el día gracias a la absorción de la energía solar, luego este aire sube y se mezcla con el aire más frío de la alta atmósfera.

Condiciones atmosféricas estables: Cuando el aire más caliente está por encima del aire frío y no hay mezcla vertical, también se le llama a este fenómeno ***inversión térmica*** y se presentan altas concentraciones de los contaminantes, esta situación se presenta preferiblemente en las horas de la noche o en días con cielos totalmente cubiertos.

En la parte inferior de la estratosfera la temperatura permanece casi invariable con la altura; a medida que se asciende, la temperatura aumenta con la altura, por lo tanto está caracterizada por condiciones de mucha estabilidad que inhiben los movimientos verticales. Por eso, aquellas sustancias que son transportadas a la estratosfera o emitidas a ella (emisiones por volcanes, aviones, etc.) serán dispersadas en la dirección vertical muy lentamente permaneciendo allí por meses o años. La troposfera es muy fluctuante y tiene una tendencia inherente a la mezcla vertical, particularmente en la capa límite. La mezcla en la dirección horizontal es en general más eficiente en altura donde los vientos son más intensos que en la capa límite.

La medición numérica de la estabilidad se da en el porcentaje de tiempo que abarca cada tipo de estabilidad: A (muy inestable), B (inestabilidad), C (débilmente inestable), D (neutra), E (estable) y F (fuertemente estable). La estabilidad varía dependiendo de otros parámetros meteorológicos como la temperatura y el brillo solar.

2.5.1.4 Radiación Solar. El parámetro de radiación solar brinda información acerca del balance térmico de la atmósfera, este indica la cantidad de energía solar que cae sobre la superficie terrestre. La constante solar, es la cantidad

promedio de radiación recibida; equivale a $1.97 \text{ cal/cm}^2 \text{ min.}$, 1.353 W/m^2 , $428 \text{ BTU/pie}^2 \text{ h}$, $4.871 \text{ Kj/m}^2 \text{ h}$).

La radiación solar es transmitida a través de ondas electromagnéticas, en longitudes visibles entre 0.38 a 0.78 micrómetros, también en ondas infrarrojas y ultravioletas. Del total de la radiación emitida un 99% esta entre 0.5 y 40 micrómetros de longitud, de las cuales las mayores a 2.5 micrómetros son absorbidas por el vapor del agua y el dióxido de carbono de la atmósfera y aquellas que son menores a 0.29 micrómetros son absorbidas por el nitrógeno y oxígeno.

Como factores y circunstancias de la radiación solar se pueden mencionar⁴:

- *La traslación de la tierra alrededor del sol.* La tierra describe órbitas elípticas en uno de cuyos focos está el Sol (según las leyes de Kepler). estas órbitas se encuentran en el plano de la eclíptica, estando el eje alrededor del cual gira la Tierra formando un ángulo de $23^\circ 27'$ con ese plano. Al tomar el plano del ecuador de la Tierra, su intersección con el de la eclíptica define la línea de los equinoccios, que no coinciden exactamente con el eje pequeño de la elipse, lo mismo ocurre con la de los solsticios, que tampoco coincide exactamente con el eje grande de la elipse, es decir el solsticio de invierno no coincide con el perihelio, mientras que el solsticio de verano no coincide con el afelio.
- *El día y la noche.* La Tierra tiene algunos movimientos más aparte de la rotación y la traslación. En consecuencia, la duración del día varía estacionalmente, y lo mismo ocurre con la aproximadamente media jornada de día y la media jornada de noche, que llegan en algunos períodos del año, y sobre todo en latitudes altas, a ser muy diferentes en duración.
- *Recepción de la radiación solar en la superficie terrestre.* Al entrar la radiación solar en la atmósfera, los gases que constituyen esta absorben una parte importante, y además de forma selectiva. El ozono absorbe radiaciones de onda inferiores a $0.29 \mu\text{m}$, el oxígeno absorbe fuertemente la radiaciones de $0.76 \mu\text{m}$, por su parte el vapor de agua, el metano y el CO_2 absorbe intensamente la radiaciones (sobre todo las IR). Las radiaciones correspondientes al infrarrojo pasan muy limitadamente, solo en unas bandas determinadas del espectro o ventanas atmosféricas como la existente entre los 8 y los $14 \mu\text{m}$, del infrarrojo térmico. Así el suelo recibe radiación global, compuesta por la radiación solar directa y por la radiación solar difusa, que es muy variable, pues depende factores como la hora del día, el estado de la atmósfera, la latitud o la estación climática.

⁴ Seoáñez Mariano. Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental. p 108

Los contaminantes primarios que se encuentran en las capas inferiores de la atmósfera necesitan la luz solar para que se lleve a cabo las reacciones fotoquímicas y se originen los contaminantes secundarios en forma de neblumo fotoquímico.

Estrechamente relacionados con la radiación solar, están los conceptos de *calentamiento diferencial* y *transporte de calor*; el primero hace referencia a la propiedad que tiene cada tipo de superficie terrestre (arena, grama, tierra, etc.) de calentarse y enfriarse de manera diferente, siendo mayor la absorción de energía solar en superficies delgadas; el segundo se lleva a cabo por medio de tres procesos, la conducción en el que hay transmisión de calor a través de la materia sin que esta se transfiera, la convección que presenta transferencia de calor cuando la materia está en movimiento vertical, y advección en el que hay transferencia de calor por movimiento horizontal.

2.5.1.5 Precipitación. Este parámetro meteorológico ayuda a limpiar el material particulado y en algunos casos los óxidos de azufre presentes en el aire resultante de actividades industriales y de construcción, sin embargo favorece la aparición de contaminantes secundarios peligrosos.

2.5.1.6 Humedad relativa. En días y regiones con humedad relativa elevada, el dióxido de azufre se transforma más fácilmente en ácido sulfúrico, el cual es muy corrosivo y contribuye a la lluvia ácida.

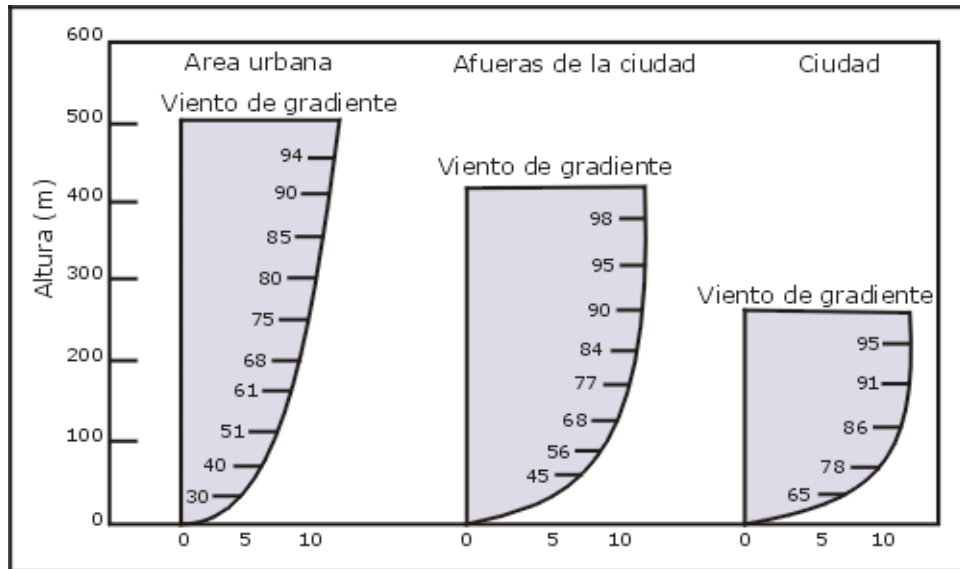
2.5.1.7 Temperatura⁵. La evolución de la temperatura está marcada por la intensidad de la radiación solar que se recibe. Cuanta más contaminación de partículas sólidas exista, más reflexión habrá y entrará menos energía a la superficie terrestre, lo que provocará un descenso de las temperaturas. Este parámetro junto con la humedad producen en ciertas mezclas de contaminantes reacciones fotoquímicas, con fuerte tendencia a la acidez.

2.5.2 Topografía. Las condiciones topográficas influyen en el calentamiento de la tierra y del aire, en consecuencia también se verá afectado el flujo en las zonas cercanas a la superficie terrestre. Las grandes ciudades rodeadas por una topografía compleja como valles o cadenas montañosas, frecuentemente presentan considerables concentraciones de contaminantes atmosféricos.

Como se sabe, el viento es el medio de transporte de los contaminantes y este se ve afectado por las condiciones topográficas del lugar, así, cuando la superficie terrestre es muy accidentada, la velocidad del viento disminuye, su dirección cambia y se hace más turbulento debido a la fuerza de fricción que la superficie ejerce sobre él.

⁵ Ibid. p 113, 116

Figura 5. Variación vertical de la velocidad del viento en función del tipo de superficie.



Fuente: CEPIS. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire.

Existen dos procesos que se generan en el flujo del viento por la acción de la topografía, la altitud y la latitud:

- **Turbulencia Térmica.** Se produce por el calentamiento diferencial, es decir por el calentamiento que se genera en los diferentes tipos de superficies y de gradientes térmicos.
- **Turbulencia Mecánica.** Es causada por el viento que fluye por superficies de diferentes tamaños y formas (esfuerzos cortantes del viento). En las zonas urbanas, la influencia térmica domina sobre los efectos de fricción. Los materiales como el concreto, el ladrillo y el asfalto absorben el calor más rápido que el suelo y la vegetación.

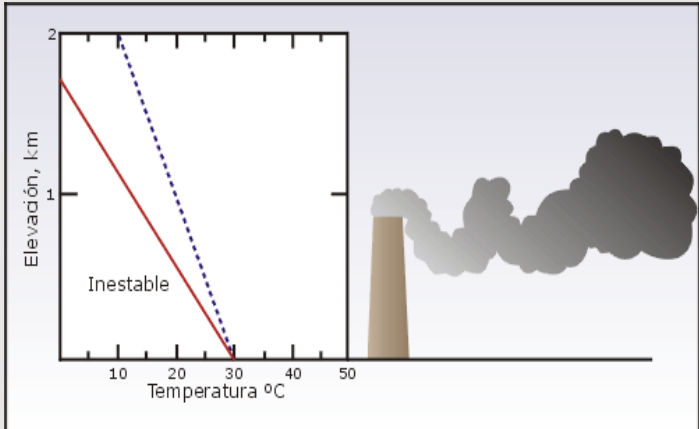
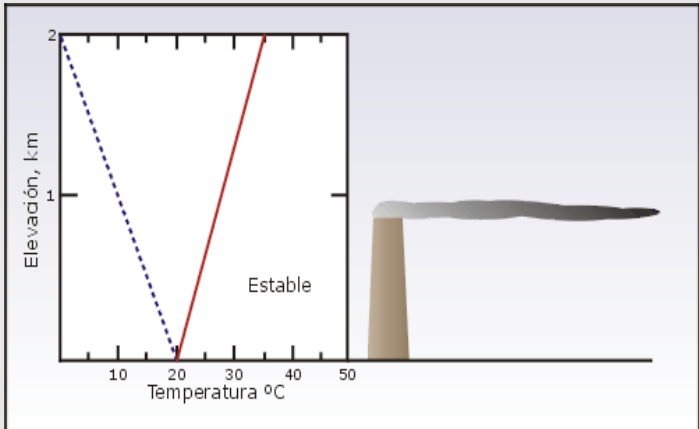
2.5.3 Chimeneas. Las chimeneas son ductos diseñados con el fin de ayudar a la dispersión de los contaminantes; mientras más alta sea la chimenea mejor será la dispersión de la pluma, evitando que esta alcance las poblaciones aledañas. La altura de la pluma está determinada por la velocidad y empuje de los gases que salen por la chimenea. A menudo se añade energía calórica a los gases para aumentar la altura de la pluma.

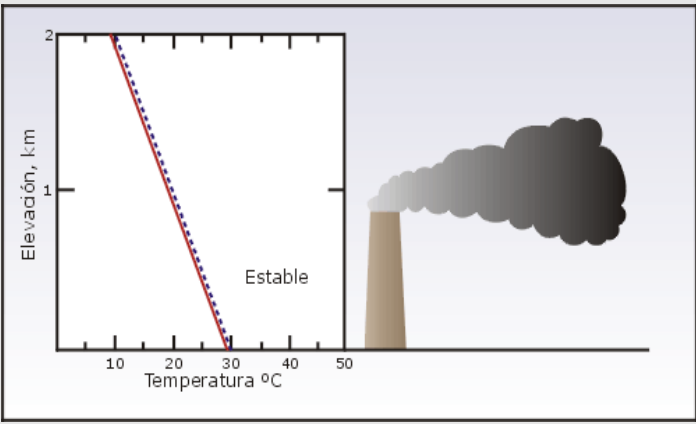
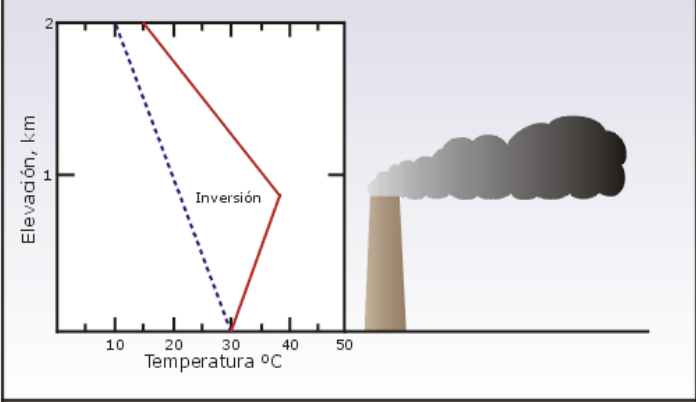
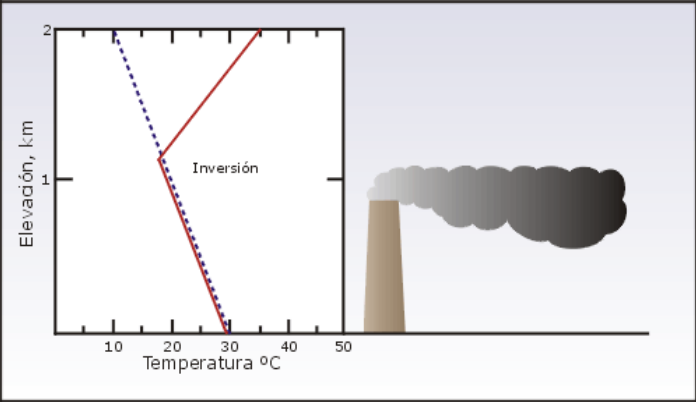
La altura y dirección de la pluma dependen de la estabilidad atmosférica. La elevación de la columna de humo se debe al *momentum* y al *empuje*. El *momentum* se observa en la tendencia de la columna a elevarse a su velocidad de emisión. El *empuje* es causado por la diferencia de densidad entre la columna de

humos y la atmósfera. También se presenta un fenómeno denominado *transporte masivo*, es el movimiento por debajo de la columna de humo, se da por acción del viento y sigue la dirección promedio del mismo.

Debido a los procesos de turbulencia, existen diferentes tipos de comportamientos de pluma, ver Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de plumas en ductos o chimeneas.

ESTABILIDAD Y COMPORTAMIENTO DE LA PLUMA	
<p>PLUMA DE ESPIRAL</p> 	<p>CONDICIÓN DE ESTABILIDAD: INESTABLE</p> <p>A medida que el aire se eleva, el aire más frío se mueve por debajo. La superficie terrestre puede hacer que se caliente y empiece a elevarse nuevamente. Bajo estas condiciones, la circulación vertical en ambas direcciones aumenta y se produce una mezcla vertical considerable. El grado de inestabilidad depende de la importancia de las diferencias entre los gradientes verticales ambientales y los adiabáticos secos. (Este es un gradiente vertical súper adiabático).</p> <p>TIPO DE PLUMA: ESPIRAL</p> <p>La pluma de espiral se produce en condiciones muy inestables debido a la turbulencia causada por el acelerado giro del aire. Mientras las condiciones inestables generalmente son favorables para la dispersión de los contaminantes, algunas veces se pueden producir altas concentraciones momentáneas en el nivel del suelo si los espirales de la pluma se mueven hacia la superficie.</p>
<p>PLUMA ABANICO</p> 	<p>CONDICIÓN DE ESTABILIDAD: ESTABLE</p> <p>Cuando el gradiente vertical ambiental es menor que el gradiente vertical adiabático (se enfría a menos de 9,8 °C /1.000 m), el aire es estable y resiste la circulación vertical. Este es un gradiente vertical subadiabático. El aire que se eleva verticalmente permanecerá más frío y, por lo tanto, más denso que el aire circundante. Una vez que se retira la fuerza de elevación, el aire que se elevó regresará a su posición original. Las condiciones estables se producen durante la noche, cuando el viento es escaso o nulo.</p> <p>TIPO DE PLUMA:</p> <p>La pluma de abanico se produce en condiciones estables. El gradiente de inversión inhibe el movimiento vertical sin impedir el horizontal y la pluma se puede extender por varios kilómetros a sotavento de la fuente. Las plumas de abanico ocurren con frecuencia en las primeras horas de la mañana durante una inversión por radiación.</p>

<p style="text-align: center;">PLUMA DE CONO</p> 	<p>CONDICIÓN DE ESTABILIDAD: NEUTRA Cuando el gradiente vertical de la temperatura del ambiente es el mismo que el gradiente vertical adiabático seco, la atmósfera se encuentra en estabilidad neutral. Estas condiciones no estimulan ni inhiben el movimiento vertical del aire. Se produce durante los días con viento o cuando una capa de nubes impide el calentamiento o enfriamiento fuerte de la superficie terrestre.</p> <p>TIPO DE PLUMA: CONO La pluma de cono es característica de las condiciones neutrales o ligeramente estables. Este tipo de plumas tiene mayor probabilidad de producirse en días nublados o soleados, entre la interrupción de una inversión por radiación y el desarrollo de condiciones diurnas inestables.</p>
<p style="text-align: center;">PLUMA DE FLOTACIÓN</p> 	<p>CONDICIÓN DE ESTABILIDAD: INVERSIÓN Se produce con el enfriamiento acelerado de la superficie terrestre. A medida que la Tierra se enfía, la capa de aire cercana a la superficie también lo hace. Si este aire se enfía a una temperatura menor que la del aire de la capa superior, se vuelve muy estable y la capa de aire cálido impide cualquier movimiento vertical.</p> <p>TIPO DE PLUMA: FLOTACIÓN Cuando las condiciones son inestables sobre una inversión, la descarga de una pluma sobre esta da lugar a una dispersión efectiva sin concentraciones notorias en el nivel del suelo alrededor de la fuente. Esta condición se conoce como flotación.</p>
<p style="text-align: center;">PLUMA DE FUMIGACIÓN</p> 	<p>CONDICIÓN DE ESTABILIDAD: INVERSIÓN. Una inversión se produce cuando la temperatura del aire aumenta con la altura. Esta situación es muy común pero generalmente está confinada a una capa relativamente superficial. Las plumas emitidas a las capas de aire que experimentan una inversión (capas invertidas) no se dispersan mucho al ser transportadas por el viento.</p> <p>TIPO DE PLUMA: FUMIGACIÓN Cuando la inestabilidad alcanza el nivel de la pluma entrampada bajo la capa de inversión, los contaminantes se pueden transportar rápidamente hacia abajo hasta llegar al suelo. Este fenómeno se conoce como fumigación. Las concentraciones de contaminantes en el nivel del suelo pueden ser muy altas cuando se produce la fumigación. Esta se puede prevenir si las chimeneas son suficientemente altas.</p>

Fuente: Autores

2. 6 RED DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE (RVCA)

Una Red de Vigilancia de Calidad de Aire, es la herramienta mediante la cual las entidades de protección ambiental, llevan a cabo la vigilancia y control de la contaminación atmosférica de un área determinada; la RVCA consta de un conjunto de estaciones fijas o móviles, automáticas o manuales cuyo fin es medir las concentraciones de los contaminantes criterio del aire ambiental emitidos por fuentes específicas, dicha información tomada de la RVCA es procesada y analizada con el objeto de mejorar la calidad del recurso aire.

2.6.1 Tipos de Redes. Las redes de vigilancia de calidad del aire se clasifican según su funcionalidad:

- *Redes Urbanas.* Estas se ubican en ciudades con más de 250000 habitantes, se pueden conocer las concentraciones de los contaminantes críticos emitidos por las fuentes fijas y móviles presentes y que generan un impacto al recurso aire y a la población.
- *Redes Industriales.* Se constituyen con el fin de tener un control de las emisiones por parte de las industrias estableciendo su influencia sobre la calidad del aire, determinando niveles de contaminación para establecer la incidencia de estos contaminantes emitidos sobre la población. Este tipo de red está ubicada exclusivamente en el área que corresponde al complejo industrial.
- *Redes de Fondo.* Estas redes se establecen para la determinación de los niveles de concentración de sustancias criterio en ambientes que cuentan con una buena calidad del aire cuyos datos sirven como base para la comparación con los ambientes que se encuentran afectados por la contaminación atmosférica.

De igual manera las RVCA se pueden clasificar según la escala espacial, la Tabla 2. Muestra esta clasificación.

2.6.2 Diseño de la Red de Vigilancia de Calidad del Aire⁶. En el Cuadro 4 se resumen las fases para llevar a cabo la estrategia de vigilancia y control de calidad del aire.

2.6.2.1 Definición de objetivos de la red. Los objetivos para la vigilancia de la calidad del aire, deben definirse de forma clara y concisa, se debe tener en cuenta las posibilidades técnicas y capacidad económica de la entidad, de tal manera que

⁶ IDEAM. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental. 2005

se puede hacer uso óptimo de los recursos disponibles. Los siguientes son aspectos básicos a identificar en los objetivos de la red:

Tabla 2. Tipos de redes según su escala espacial.

ESCALA	DESCRIPCIÓN Y DIMENSIONES DEL RADIO DE COBERTURA
Micro	Concentraciones en volúmenes de aire asociados con áreas de dimensiones que van desde 2 metros hasta 100 metros.
Media	Concentraciones típicas de algunas manzanas de la ciudad, con un área de dimensiones entre 100 metros y 0.5 kilómetros.
Vecindario	Concentraciones de un área de la ciudad con usos de suelo relativamente similares, con dimensiones entre 0.5 y 4 kilómetros.
Urbana	Promedio de los valores de concentración en una ciudad, en un área de dimensiones desde 4 a 50 kilómetros. Se requiere más de un punto para su definición.
Regional	Usualmente un área rural, con condiciones geográficas homogéneas, con dimensiones entre decenas y centenas de kilómetros.
Nacional/Global	Concentraciones que caracterizan a un país o a una nación como un todo.

Fuente: IDEAM. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental. 2005

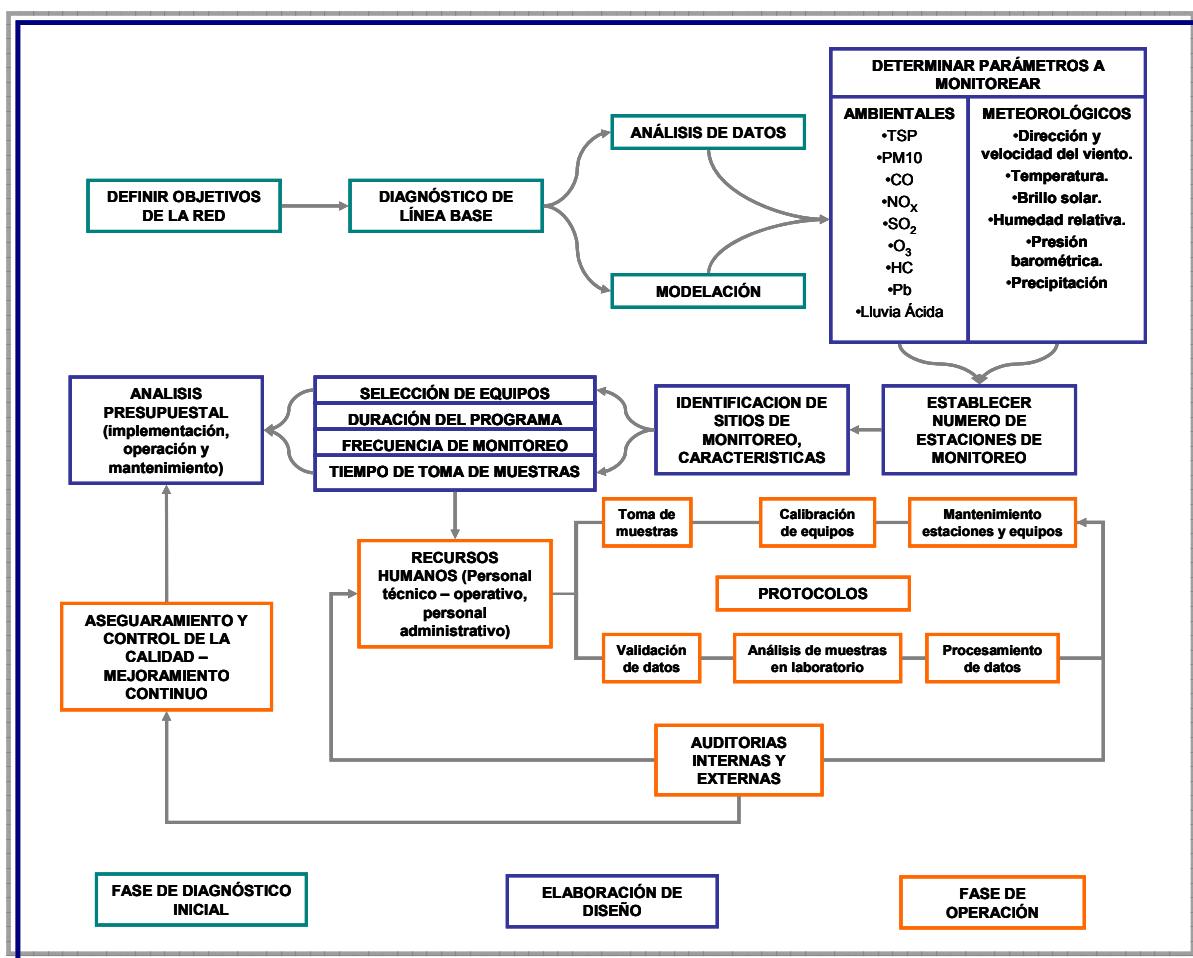
- *¿Qué se mide?* Esta pregunta depende de la información existente, del inventario de emisiones y de la generación de contaminantes. Para determinar los contaminantes que se van a monitorear es recomendable analizar los resultados de un diagnóstico previo de los episodios de contaminación en el área de estudio.
- *¿Cómo se mide?* Los métodos desarrollados para la medición pueden ser manuales o automáticos. El tipo de medición depende de los objetivos, de la calidad de los datos, de los contaminantes que se pretende vigilar y de los recursos disponibles.
- *¿Dónde y cuando se mide?* Para determinar el sitio y la frecuencia de medición, se tendrán en cuenta los objetivos, los recursos disponibles, seguridad, fácil acceso, servicios básicos (energía, teléfono). El lugar y la frecuencia de medición deben ser evaluados periódicamente por cambios que se puedan presentar.

2.6.2.2 Diagnóstico de línea base y análisis de datos. En este punto se debe establecer las causas de la contaminación atmosférica en la zona de interés, así como los parámetros anteriormente mencionados de topografía y meteorología, las fuentes y tipos de emisión de contaminantes y las características propias de la región y su población. En la Tabla 3 se resume la información necesaria para establecer el diagnóstico de línea base. Con el conjunto de esta información, será posible alimentar modelos de dispersión de contaminantes para identificar y controlar posibles zonas críticas.

Una vez se ha recopilado toda la información pertinente para caracterizar apropiadamente la línea base, se debe analizar y procesar los datos obtenidos, especialmente la información correspondiente a emisiones de cada tipo de fuente

y la meteorológica, para garantizar que los resultados de la modelación sean lo más cercano posible a la realidad.

Cuadro 4. Fases de diseño de una red de vigilancia de calidad del aire.



Fuente: Autores, adaptado González Julieta, Rediseño de la red de monitoreo de calidad del aire para los municipios de Ibagué, Espinal San Luis-Payandé. 2003

2.6.2.3 Modelación. Los modelos de dispersión son herramientas que manejadas adecuadamente, permiten entender mejor los impactos de las fuentes contaminantes en el aire ambiente. Estos modelos mediante ecuaciones matemáticas relacionan la emisión de un contaminante y las correspondientes concentraciones en el aire; estas ecuaciones ayudan a predecir los resultados del cambio de la cantidad de contaminantes emitidos al aire por una fuente nueva o una existente. La veracidad de la predicción de la calidad del aire estimada depende directamente de la información detallada usada para los modelos aplicados.

Tabla 3. Información requerida en el diagnostico de línea base.

DIAGNÓSTICO LÍNEA BASE	Tipo de emisiones y fuentes de emisión	<p>Esta información se obtiene a partir de los inventarios de emisores y emisión, los cuales se estructuran a partir de la información que reposa en los archivos de la autoridad ambiental, y se actualizan mediante visitas a las diferentes actividades industriales, en este inventario se identifican los tipos de fuentes de emisión a saber:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Fuentes fijas puntuales y difusas.</i> nombre o razón social, ubicación de la fuente, información concerniente al proceso de producción, información de fuentes internas como silos, calderas, chimeneas (características de salida de gases) presencia o no de dispositivos de control y su eficiencia. • <i>Fuentes móviles.</i> Número de vehículos (composición vehicular), tipo y consumo de combustible, velocidad de tránsito, conteos vehiculares (vías congestionadas, horas pico).
	Información topográfica y meteorológica	Con la información topográfica se podrá conocer como puede ser la dispersión de los contaminantes. En cuanto a la información meteorológica será necesario conocer la temperatura, lluvia, humedad relativa, nubosidad, radiación o brillo solar, lo más importante, velocidad y dirección del viento.
	Información de calidad del aire	Existen casos en los que se cuenta con estudios de calidad anteriores, estos suelen ser útiles para confrontarlos con los resultados de modelos de dispersión y para conocer los antecedentes en el área de estudio.
	Información general de la región	Esta información corresponde específicamente al tema de planeación de la zona de estudio, será necesario pues conocer el número de habitantes, los usos del suelo, la hidrología, nivel educativo, actividades económicas, causas de morbilidad y mortalidad en la población. Así se logrará identificar los efectos generados sobre la salud pública, dando prioridad a las zonas más vulnerables según sus características poblacionales.

Fuente: Autores, adaptado González Julieta, Rediseño de la red de monitoreo de calidad del aire para los municipios de Ibagué, Espinal San Luis-Payandé. 2003

2.6.2.4 Definición de parámetros a medir. Usando como base los resultados del modelo de dispersión de contaminantes y la información general del área de estudio, se determinan los contaminantes a medir por orden de prioridad según las concentraciones modeladas; si la información meteorológica de la zona de estudio no es lo suficientemente representativa, se definirá que tipo de parámetros meteorológicos se necesita medir dentro de la red.

2.6.2.5 Definición del número y sitios de vigilancia. Una vez definidos los objetivos de la red, delimitada el área de estudio y los parámetros que se necesitan vigilar, se llevará a cabo la organización temporal y distribución espacial de los puntos de medición de manera que sean representativos de la totalidad del área de estudio; la óptima operación de la red implica que esta cuente con cierto número de estaciones con localizaciones precisas; la vigilancia y control en zonas urbanas se realiza en sitios representativos del área de estudio, tales como: centro de las ciudades, sectores industriales, zonas comerciales, zonas de gran densidad de

tráfico y zonas residenciales. En general el número de estaciones se elige en función de:

- La población que habita en el área que se pretende vigilar.
- La problemática de contaminación existente en el área a vigilar.
- El método de muestreo y los equipos a emplear.
- Los recursos económicos, humanos y tecnológicos disponibles.

En las Tablas 4 y 5 se muestran las guías de la OMS y USEPA, que proporcionan las herramientas para determinar el número mínimo de equipos de muestreo por contaminante medido; más adelante, en el capítulo 10 (tabla 41) se presenta la propuesta por la CETESB de Brasil, herramienta que se utilizó en el rediseño de la RVCA del Área Metropolitana de San José de Cúcuta.

Cualquiera sea la opción escogida para la determinación del número de estaciones de vigilancia, se debe tener en cuenta que tales valores corresponden a los números mínimos y que la autoridad ambiental correspondiente, de acuerdo a sus condiciones de recursos económicos, humanos y aspectos logísticos será quien determine la cantidad exacta de sitios y contaminantes a vigilar.

Una vez establecida la cantidad de estaciones de medición, se realizará la localización de estos sitios, la cual dependerá del tipo de vigilancia que se desee realizar (objetivos de la red), de la extensión del área que debe cubrirse, de la variabilidad espacial de los contaminantes.

2.6.2.6 Microlocalización de los sitios de vigilancia. Una vez se ha definido el número de estaciones, seleccionado las áreas donde se deben instalar los equipos y los contaminantes que se van a medir en cada una de ellas, debe evaluarse la microlocalización de todos los sitios propuestos; como medida preventiva es recomendable proponer por lo menos tres sitios posibles de ubicación para cada estación. La figura 6 muestra los aspectos a tener en cuenta en la microlocalización. Para evaluar la microlocalización de un sitio específico se debe tener en cuenta:

Tabla 4. Promedio sugerido de estaciones de vigilancia en zonas urbanas según la densidad de población.

POBLACIÓN URBANA (Millones)	PARAMETRO A VIGILAR					
	PM	SO ₂	NO _x	O ₃	CO	Meteorológicos (Velocidad y dirección del viento y gradientes térmicos)
Menos de 1	2	2	1	1	1	1
1 – 4	5	5	2	2	2	2
4 – 8	8	8	4	3	4	2
Más de 8	10	10	5	4	5	3

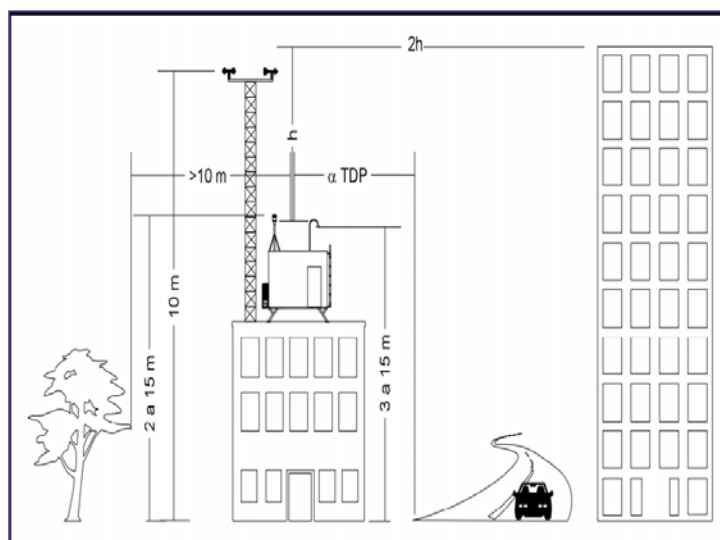
Fuente: OPS-OMS Manual de Vigilancia de Calidad del Aire. 1973

Tabla 5. Promedio mínimo sugerido de sitios de vigilancia.

CONTAMINANTE	POBLACIÓN (Habitantes)	NÚMERO MÍNIMO DE SENSORES
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES	Menos de 100.000	4
	100.000 – 1'000.000	$4 + 0.6 \times \text{cada } 10^5 \text{ hab.}$
	1'000.000 – 5'000.000	$7.5 + 0.25 \times \text{cada } 10^5 \text{ hab.}$
	Más de 5'000.000	$12 + 0.16 \times 10^5 \text{ hab.}$
DIÓXIDO DE AZUFRE	Menos de 100.000	1
	100.000 – 5'000.000	$1 + 0.15 \times \text{cada } 10^5 \text{ hab.}$
	Mas de 5'000.000	$6 + 0.05 \times \text{cada } 10^5 \text{ hab.}$
MONÓXIDO DE CARBONO	Menos de 100.000	1
	100.000 – 5'000.000	$1 + 0.15 \times \text{cada } 10^5 \text{ hab.}$
	Mas de 5'000.000	$6 + 0.05 \times \text{cada } 10^5 \text{ hab.}$
DIÓXIDO DE NITROGENO	Menos de 100.000	3
	100.000 – 1'000.000	$4 + 0.6 \times \text{cada } 10^5 \text{ hab.}$
	Mas de 1'000.000	10

Fuente: Code US Federal Register, Título 40, Cap. 1. Part. 50 National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards.

Figura 6. Recomendaciones para ubicación de estaciones de vigilancia.



Fuente: IDEAM.2005. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental.

- **Condiciones de seguridad.** Debe pensarse en la seguridad tanto de los equipos como del público en general, asegurar que el sitio de instalación este adecuado o pueda acondicionarse con medidas convencionales como iluminación, cercas, etc. Si un sitio no cumple con este requisito resulta mejor ubicar la estación en un lugar cercano que este acondicionado, teniendo en cuenta que allí se cumplan los objetivos de la red.

- *Exposición de los toma muestras y sensores.* Este criterio ayudará a garantizar que la ubicación de los equipos y sensores sea apropiada para lograr muestras representativas y significativas; así pues los equipos deberán estar suficientemente separados de fuentes locales de contaminación como parqueaderos, vías sin pavimentar; de igual manera se debe evitar lugares cubiertos o que presenten estancamientos locales como callejones de vientos formados por edificios altos.
- *Condiciones de logística.* El lugar debe contar con facilidades de acceso permanente tanto para operadores como para equipos y suministros; contar con una línea telefónica y electricidad.
- *Condiciones visuales y arquitectónicas.* La instalación de una estación puede resultar ofensiva visualmente o no armonizar con su entorno desde el punto de vista arquitectónico, este tema puede resultar muy importante para el propietario del lugar, por lo tanto debe considerarse.

Las Tablas 6 y 7 resumen los criterios a tener en cuenta en la ubicación del toma muestras, en función de la escala espacial de la red, del tipo de contaminante y el tráfico vehicular.

Tabla 6. Resumen de criterios para ubicación de toma muestras y caminos de medición.

CONTAMINANTE	Escala de vigilancia (Longitud máxima del camino de medición en metros)	Altura desde el piso al toma muestra horizontal o vertical, o 80% de la altura hasta el camino de medición ^a (metros)	Distancia desde estructuras de soporte ^b hasta el toma muestra horizontal o vertical, o 90% de la distancia al campo de medición. ^a (metros)	Distancia desde el toma muestra o desde el camino de medición ^a a los árboles cercanos (metros)
SO ₂ ^{c, d, e, f}	300 (Media) 1000 (Vecindario, Urbana, Regional)	3 – 15	> 1	> 10
CO ^{d, e, g}	300 (Media) 1000 (Vecindario, Urbana, Regional)	3 ± 0.5 3 – 15	> 1	> 10
O ₃ ^{c, d, e}	300 (Media) 1000 (Vecindario, Urbana, Regional)	3 – 15	> 1	> 10
Precursores de O ₃ ^{c, d, e}	1000 (Vecindario, Urbana, Regional)	3 – 15	> 1	> 10
NO ₂ ^{c, d, e}	300 (Media) 1000 (Vecindario, Urbana, Regional)	3 – 15	> 1	> 10
PM ₁₀ ^{c, d, e, f, h, y} PM _{2.5} ^{c, d, e, f, h, i}	Micro, Media Vecindario, Urbana y Regional	2– 7 (Micro) 2 – 15 (otras)	>2 a todas las escalas, distancia horizontal solamente	>10 a todas las escalas

^a El camino de medición para analizadores de camino abierto es aplicable solo medición de CO a escala micro, media o de vecindario y aplicable para todas las escalas para medición de SO₂, O₃, precursores de O₃ y NO₂.

b Cuando el sitio de vigilancia se encuentra en una azotea, esta distancia se refiere a cualquier muro, columna, o baranda etc. situados en la misma.

c Debería ser >20 m desde de las goteras de los árboles. Cuando estos actúan como obstáculos, la distancia debe ser 10 m.

d Distancia desde el toma muestra, o 90% de la distancia desde el camino de medición, a un obstáculo (como un edificio). Cuando el obstáculo esta mas alto que el toma muestra o el camino de medición, debe ser al menos dos veces la diferencia de altura entre el obstáculo y el toma muestra o el camino de medición.

e Debe tener flujo no restringido de aire 270° alrededor del toma muestra, 180° si el toma muestra se extiende desde el lado de un edificio.

f El toma muestras y el camino de medición deben encontrarse lejos de fuentes menores de contaminación, como chimeneas de hornos. La distancia de separación depende de la altura del punto de emisión de la fuente menor, del tipo de combustible empleado en la misma, de la calidad de combustible. Este criterio esta diseñado para evitar influencias indebidas de fuentes menores.

g Para sitios de vigilancia de CO a micro escala, el toma muestra debe estar a mas de 10 m de una intersección de calles y preferiblemente en una locación a mitad de manzana.

h Para dos o más toma muestras de PM10 localizados en el mismo sitio, debe observarse entre ellos, una separación de 2 – 4 m.

i Para dos o más toma muestras de PM2.5 localizados en el mismo sitio, debe observarse entre ellos, una separación de 1 – 4 m.

Fuente: Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental. IDEAM.2005

Tabla 7. Distancia mínima de separación entre toma muestras o caminos de medición y vías vehiculares.

Valor promedio del tráfico diario vehículo por día	Distancia de separación mínima en metros entre vías vehiculares y toma muestras o caminos de medición a varias escalas.			
	O ₃ Vecindario Urbana	NO ₂ Vecindario Urbana	CO Vecindario	Percusores de Ozono
< 10000	10	10	10	>10
10000-15000	20	20	25	20
15000-20000	30	30	45	30
20000-30000			80	
30000-40000	50	50	115	50
40000-50000			135	
50000-60000			150	
60000-70000	100	100		100
70000-110000	250	250		200

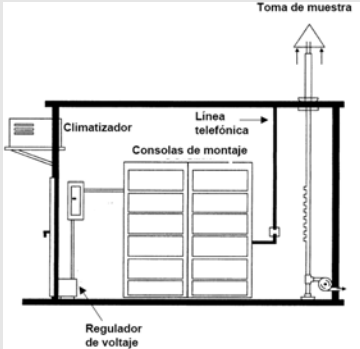
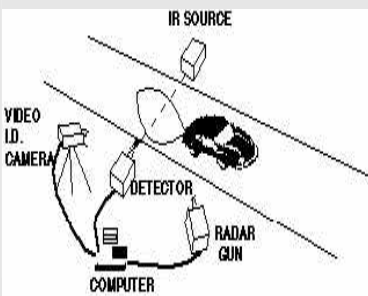
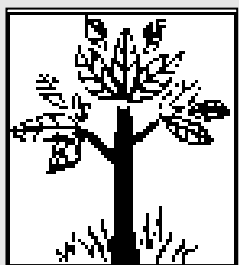
Fuente: IDEAM.2005. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental.

2.6.2.7 Selección de técnicas de muestreo de la RVCA. Después de contar con la distribución de la red, se debe considerar cual debe ser el cubrimiento temporal que requiere el cumplimiento de los objetivos de vigilancia, y seleccionar con base en ellos la técnica de medición apropiada.

Las técnicas de medición pueden dividirse en cinco grupos, en la Tabla 8 se presentan las características de cada grupo y sus diferencias tanto en desempeño y costos.

Tabla 8. Metodologías de muestreo para la calidad del aire.

METODOLOGIA DE MUESTREO		
<p>MUESTREADORES PASIVOS</p>  <p>Personales.</p>  <p>Burbujeador pasivo</p>	<p>Colectan un contaminante específico por medio de su adsorción y absorción en un sustrato químico seleccionado.</p> <p>Después de su exposición por un apropiado periodo de muestreo, que varía desde un par de horas hasta un mes, la muestra se regresa al laboratorio, donde se realiza la <input type="checkbox"/>amplinit del contaminante y después se analiza cuantitativamente.</p>	<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muy bajo costo. ▪ Muy simples. ▪ Útiles para cribado y estudios de base. <p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proveen sólo promedios semanales y mensuales. ▪ Requieren análisis de laboratorio. <p>INVERSIÓN: US\$2-4 por muestra.</p> <p>SE UTILIZA PARA ANALIZAR: PST, NO₂, SO₂, NH₃, VOC's, O₃.</p>
<p>MUESTREADORES ACTIVOS</p> <p>Captador de Volumen</p>  	<p>Requieren una cantidad de volumen de aire que sea bombeado a través de un medio de colección para su posterior análisis en un laboratorio.</p> <p>Existen para casi todos los principales contaminantes atmosféricos.</p> <p>Los <input type="checkbox"/>amplinita<input type="checkbox"/>es activos más utilizados actualmente, son:</p> <p><input type="checkbox"/>amplinita<input type="checkbox"/>es acidimétricos (para medir SO₂); Método de filtración (para PST); Método gravimétrico de altos volúmenes "High Vol" (para PST y Pm₁₀)</p>	<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bajo costo. ▪ Fáciles de operar ▪ Confiables en: operación y funcionamiento. ▪ Historia de bases de datos. <p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proporciona concentraciones pico o de alerta. ▪ Trabajo intensivo. ▪ Requieren análisis de laboratorio. <p>INVERSIÓN: US\$2000-4 000 por unidad.</p> <p>SE UTILIZA PARA ANALIZAR: SO₂, partículas en suspensión, NO₂, O₃.</p>

<p style="text-align: center;">ANALIZADORES AUTOMATICOS</p> 	<p>Estos instrumentos se basan en propiedades físicas o químicas del gas que va a ser detectado continuamente, utilizando métodos optoelectrónicos. El aire muestreado entra en una cámara de reacción donde, ya sea por una propiedad óptica del gas que pueda medirse directamente o por una reacción química que produzca quimiluminiscencia o luz fluorescente, se mide esta luz por medio de un detector que produce una señal eléctrica proporcional a la concentración del contaminante muestreado.</p>	<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Valores a tiempo real Concentraciones máximas y mínimas. Permite por la detección de valores máximos a tiempo real establecer situaciones de alerta para implementar las respectivas medidas de contingencia. <p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Costo elevado de adquisición Requieren personal especializado para su manejo Constante mantenimiento y calibración <p>INVERSIÓN: US\$13 200 – 26 400 por monitor. SE UTILIZA PARA ANALIZAR: PST, PM10, P2.5, NO2, SO2, CO, HC, VOC's, O3.</p>
<p style="text-align: center;">SENSORES REMOTOS</p> 	<p>Realizan mediciones integradas a lo largo de una trayectoria, los métodos utilizados incluyen el uso del reflejo de la luz solar en partículas, absorción de radiación infrarroja, láser, etc.</p>	<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Proporcionan patrones de resolución de datos. Útiles cerca de fuentes y para mediciones verticales en la atmósfera. Mediciones de multi componentes. <p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Muy complejos y caros. Difíciles de operar, calibrar y validar. No son siempre comparables con los analizadores convencionales. <p>INVERSIÓN: >US\$264 000 por sensor.</p>
<p style="text-align: center;">BIOINDICADORES</p> 	<p>Este tipo de método incluye la utilización de la superficie de las plantas como receptoras de contaminantes. Las plantas acumulan contaminantes en sus tejidos. Se realiza una estimación de los efectos que los contaminantes provocan en plantas.</p>	<p>VENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Baratos. Útiles para identificar la presencia de algunos contaminantes. <p>DESVENTAJAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Problemas en la estandarización de sus metodologías y otros inherentes a los procedimientos. Algunos requieren análisis de laboratorio. <p>INVERSIÓN: Costo Variable.</p>

Fuente: Autores, adaptado UNEP-WHO. GEMS AIR. Methodology Review Handbook. 1994

2.6.2.8 *Determinación de tiempos de muestreo.* La determinación de los tiempos de muestreo dependerá del tipo de programa que se pretenda llevar a cabo. Lo primero que se debe definir es la duración del programa de vigilancia. La frecuencia de muestreo y el tiempo de toma de muestra se determinan para programas discontinuos en función de los objetivos de vigilancia.

- *Duración del programa.* Es el período durante el cual se llevarán a cabo las mediciones para recopilar la base de datos necesaria para cumplir con los objetivos. En la Tabla 9 se propone la duración de programas de vigilancia, según el objetivo básico.

Tabla 9. Duración de un programa de vigilancia.

OBJETIVO	DURACIÓN DEL PROGRAMA
Cumplimiento de normas o determinación de tendencias	Mayor o igual a 5 años
Estrategias de control.	≥ 2 años. uno antes y otro después de implantar la estrategia de control
Identificación de áreas críticas.	2 años. Dependiendo la complejidad del área
Información al público.	Mínimo un año
Estudios específicos.	Dependerá de los parámetros evaluados, cantidad de datos requeridos y frecuencia de muestreo

Fuente: IDEAM.2005. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental.

- *Frecuencia de muestreo.* Corresponde al número de muestras de un contaminante del aire que se tomarán en un intervalo de tiempo, en un sitio de muestreo; esta dependerá de la legislación vigente, del propósito de la muestra y del tipo de equipo a ser utilizado. Este concepto se aplica a la operación de equipos activos semiautomáticos, en mediciones con estos equipos, para establecer valores medios anuales, se recomienda una frecuencia de 1 a 2 veces por semana dependiendo de las concentraciones y variando el día de la semana, en la tabla 10 se muestran las frecuencias de muestreo establecidas en la legislación vigente.
- *Tiempo de toma de muestra.* Corresponde al período de tiempo en que se lleva a cabo la determinación de concentraciones de los contaminantes; mientras más corto sea este, más altos serán los valores máximos esperados. La Tabla 11 muestra los tiempos de toma de muestras por contaminantes.

Tabla 10. Frecuencias de muestreo.

PÁRAMETRO	FRECUENCIA
Partículas Suspendidas Totales (PST)	Una muestra cada tercer día.
Partículas Menores a 10 Micras (PM10)	Una muestra cada tercer día.
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Una muestra cada tercer día.
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Una muestra cada tercer día.
Monóxido de Carbono (CO)	Una muestra diaria. Período de 8 h.
Oxidantes Fotoquímicos (O ₃)	Una muestra diaria de 6 a.m. – 6 p.m.

Fuente: IDEAM.2005. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental.

Tabla 11. Tiempo de toma de muestras por contaminante.

PARÁMETRO	TIEMPO
PST	24 Horas
PM10	24 Horas
NO _x	24 Horas
SO ₂	24 Horas
CO	1, 8, 16 y 24 Horas
O ₃	1, 8, 16 y 24 Horas

Fuente: Propuesta Metodológica Para el Manejo y Diseño de Redes de Monitoreo de Calidad de Aire. CESID Cortés. Unisalle, 2001

En cuanto a tiempos de muestreo se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Se deben medir concentraciones promedio de 24 horas.
2. Para determinar variaciones estacionales y promedios anuales se recomienda una duración mínima de un año.
3. Con el fin de realizar comparaciones significativas a corto plazo, es recomendable el muestreo diario.
4. Para detectar situaciones de emergencia de contaminación atmosférica, se debe muestrear de forma horaria.

2.7 CAMPAÑAS DE VIGILANCIA DE CALIDAD DE AIRE

Independientemente, si la autoridad ambiental cuenta con una RVCA, es necesario que cuente con recursos que le permitan llevar a cabo actividades de control y vigilancia del recurso aire.

Con el fin de realizar estudios específicos en lugares remotos o que no estén dentro del área de cobertura de la red, en caso de accidentes o incidentes, o para evaluar sitios para la posible instalación de estaciones fijas debido al crecimiento

del área urbana, es necesario contar con una unidad móvil, que de igual manera puede ser equipada con equipos no automáticos como TSP, PM10.

La duración, períodos y frecuencia de las campañas, deben ser fijados de tal manera que sean tan representativos como sea posible del valor límite o norma de calidad (1 hora, 24 horas, 1 año).

2.8 ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD

La calidad de los resultados acerca de los niveles de concentración de los contaminantes debe ser óptima ya que las autoridades ambientales toman decisiones sobre las fuentes generadoras a partir de esos resultados. Los procedimientos de aseguramiento de la calidad y control de calidad sirven como herramienta para comparar el comportamiento de los contaminantes sobre diversas áreas.

El aseguramiento de la calidad (AC) es un programa diseñado para alcanzar los objetivos de calidad de datos y garantizar que los datos recopilados por el sistema de medición tienen una calidad conocida.

El control de calidad (CC) es un conjunto de pruebas y procedimientos rutinarios diseñados para implementar un programa de aseguramiento de la calidad. Un programa de AC implica la planeación de actividades, la implementación de procedimientos, y la realización de pruebas para llevar a cabo un apropiado CC de datos y documentos. Este programa es un requerimiento en toda actividad de medición de calidad del aire.

En conclusión el Aseguramiento de la Calidad se refiere al manejo del proceso completo que lleva a una calidad definida de los datos producidos, mientras que el Control de la Calidad consiste en las actividades que se llevan a cabo para obtener la exactitud y la precisión deseada de las mediciones; los siguientes criterios de calidad son de especial interés para datos ambientales⁷:

- Representatividad: Que la muestra de contaminante sea típica respecto a las condiciones, al período y al lugar para el cual se obtiene el dato. La representatividad está fuertemente relacionada al diseño de la red y la selección de los sitios.
- Exactitud: Que tan cerca llega el valor de la medición al valor real o de referencia.
- Precisión: Reproducibilidad del dato.
- Totalidad: La cantidad de datos obtenidos como fracción de lo que se tenía planificado obtener.

⁷ Swisscontact. Manual de laboratorio. Monitoreo del Aire. Programa Aire Puro. P 71.

En un programa de Aseguramiento y Control de Calidad, debe ejecutarse cuatro pasos específicos⁸:

1. La definición de un objetivo de calidad que se pretende alcanzar; eso incluye indicadores de calidad como son la incertidumbre combinada o expandida, la responsabilidad del personal, etc.
2. Definir como se debe alcanzar el objetivo, por ejemplo a través de Procedimientos de Operación Estándar (SOP), la calibración regular de los equipos comprobada con estándares nacionales o internacionales, un programa de mantenimiento para los equipos y el entrenamiento del personal.
3. Evaluación de los registros de calidad, tal como tablas de control, control interno de procedimientos, etc.
4. Reporte y discusión de los resultados con gerencia y personal; se planean acciones correctivas y nuevos objetivos, definiendo la necesidad de entrenamiento del personal y de fondos a invertir para lograr los nuevos objetivos.

⁸ Ibid. p 72.

3. JUSTIFICACIÓN DEL REDISEÑO DE LA RVCA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA

El desarrollo industrial y urbano da origen a una elevada cantidad de residuos de los cuales una parte significativa (emisiones) pasa a la atmósfera. El área Metropolitana de Cúcuta, debido a sus actividades industriales, comerciales y domésticas, proporciona concentraciones considerables de contaminación atmosférica, por lo tanto se hace necesario conocer las cantidades reales que permitan pronosticar el grado de polución. La contaminación del aire es uno de los costos de la creciente industrialización y del desarrollo económico asociado con más vehículos, más bienes materiales y más espacio dedicado a zonas urbanas.

Con el fin de que las autoridades ambientales competentes en cada caso puedan realizar un control a la calidad del aire en su jurisdicción, se ha propuesto establecer una herramienta que representa un punto de apoyo para que las autoridades logren ejercer su gestión, esta herramienta se constituye en la implementación y operación de redes de vigilancia y control de la calidad del aire, diseñadas para establecer el impacto generado tanto por fuentes fijas como móviles. En el caso de la Corporación Autónoma Regional de La Frontera Nororiental (CORPONOR), se ha trabajado con una red compuesta de cinco (5) estaciones para monitorear Partículas Totales Suspendidas en el área correspondiente al eje industrial de la Ciudad de San José de Cúcuta.

Lo anterior hace necesario el rediseñar dicha red para que se lleve a cabo el control de fuentes fijas y móviles de la ciudad y su área metropolitana. De esta forma resulta obligante reubicar los actuales puntos de muestreo por varias razones que a continuación se señalan:

▪ Estación Barrio Panamericano

Este equipo se encuentra ubicado en un taller de servicio automotriz donde se encuentran almacenados contenedores con gasolina, muy cerca de la vía Panamericana con alto flujo vehicular y transporte pesado, no se encuentran senderos peatonales, a pesar que la vía es pavimentada se presentan senderos destapados causando así incremento en las concentraciones de material particulado; registrando en el 2002 valores que superan el límite de la norma (Dec. 02 de 1982), por lo que esta ubicación no permite la caracterización real y confiable del impacto generado por las industrias.

- **Estación Escuela Oriental Prados del Norte**

Este punto de muestreo se encuentra ubicado en las cercanías a la ciudadela del calzado, zona de concentración de industrias tintoreras, las cuales en su proceso productivo manejan calderas cuyo combustible es carbón mineral. Este punto nos muestra el comportamiento de los contaminantes emitidos por este sector industrial y calidad de aire en esta zona, sin embargo el rediseño de la RVCA obliga a que este sea reestablecido según estudios previos.

- **Estación Servicio de Enseñanza Nacional (SENA)**

Ubicado en la azotea de la institución, mostrando valores confiables y reales de la calidad del aire de la zona, por lo tanto no se hace necesaria su reubicación, a excepción de que se haga necesario su reubicación según los resultados de los estudios para el rediseño de la RVCA.

- **Estación Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS)**

Ubicada en el quinto piso del edificio Fundadores donde se ejecutó una obra de infraestructura que consistió en la construcción de una cubierta, constituyéndose como obstáculo para la toma correcta de la muestra, además se presenta una población arbórea muy densa que impide el flujo normal de las corrientes de aire.

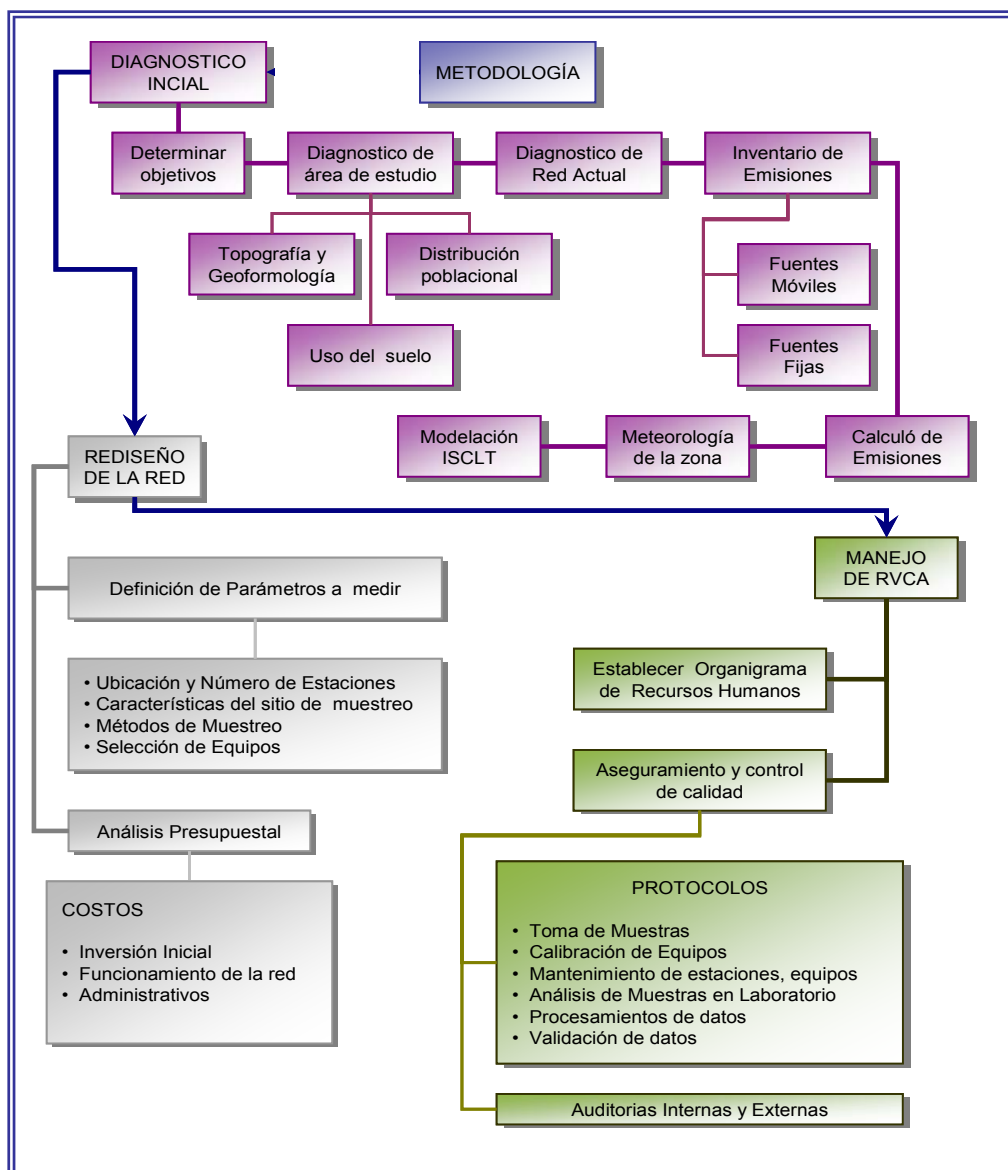
4. METODOLOGÍA

Para la propuesta de rediseño de la RVCA del Área Metropolitana de Cúcuta se partirá de un análisis de línea base correspondiente a la información propia del área de estudio como su población, topografía y comportamiento meteorológico, diagnóstico efectuado a la red instalada en el eje industrial de la ciudad núcleo y el inventario de emisores y emisiones. Con esa información se llevó a cabo una predicción del comportamiento de los contaminantes mediante el modelo de dispersión ISCLT, para finalmente, con base en criterios establecidos por entes regulatorios, proponer la infraestructura y organización de la nueva RVCA que operará para el Área Metropolitana. En el Cuadro 5 se presenta cada uno de los pasos de la metodología anteriormente descrita.

4.1 ACTIVIDADES

- Realizar el diagnóstico del área de estudio, recolectando la información necesaria correspondiente a topografía, meteorología, demografía, transporte e industria.
- Efectuar el diagnóstico de la red actual de vigilancia de calidad del aire.
- Analizar los datos meteorológicos, transporte e industria recopilados, caracterizando las emisiones consolidando un inventario de emisiones para fuentes móviles, fuentes fijas puntuales y fuentes fijas difusas.
- Ejecutar el modelo gaussiano de dispersión ISCLT.
- Determinar los parámetros a muestrear de acuerdo a los datos de salida arrojados por el modelo.
- Fijar el número de estaciones, en función de la población que habita en el área de estudio y las concentraciones que se presenten en ella.
- Establecer la ubicación de cada una de las estaciones teniendo en cuenta condiciones de seguridad de los equipos, exposición de los tomas muestras con el fin de obtener mediciones representativas y significativas y condiciones de logística, como electricidad y fácil acceso a los operadores, equipos, repuestos.
- Precisar la técnica de muestreo, selección de equipos y establecer estrategias determinando la duración, frecuencia y tiempos de muestreo.
- Definir objetivos de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana de Cúcuta.
- Estipular las actividades necesarias para el manejo de la Red de Vigilancia de Calidad del Aire, correspondientes al aseguramiento y control de calidad de la misma.
- Determinar los costos necesarios para la inversión inicial, operación y mantenimiento de la red.

Cuadro 5. Metodología rediseño de la red de vigilancia de la calidad del aire para el Área Metropolitana de Cúcuta.



Fuente: Autores

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 General

Proponer una nueva Red de Vigilancia y Control de Calidad del Aire (RVCA), cuyos resultados sirvan de apoyo para la toma de decisiones por parte de la autoridad ambiental competente, CORPONOR.

4.2.2 Específicos

- Realizar el diagnóstico a la red de vigilancia de la calidad del aire actual.
- Caracterizar las diferentes fuentes de contaminación relevantes para el área de estudio.
- Modelar la dispersión de los contaminantes sobre la zona objeto de vigilancia.
- Interrelacionar la información meteorológica con las acciones de vigilancia proyectadas.
- Desarrollar un manual de consulta que permita la solución práctica de problemas e interrogantes en la eventual operación de la RVCA.

5. DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO

5.1 ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA⁹

El Área Metropolitana de San José de Cúcuta, conformada por los municipios de Cúcuta, Villa del Rosario, Los Patios, El Zulia y San Cayetano, se encuentra en el Departamento Norte de Santander, localizada en el noreste de Colombia, en la zona fronteriza con Venezuela.

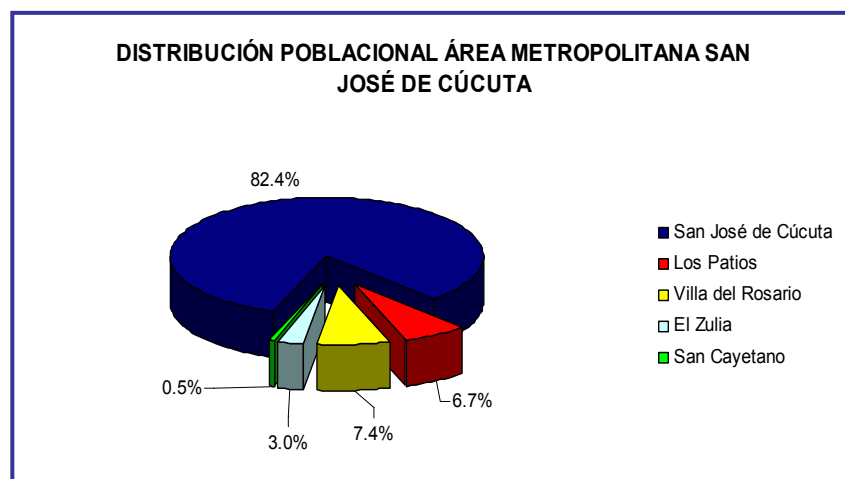
La estructura del Área está dada por un centro regional en este caso la ciudad de Cúcuta, a la que se le han anexado los municipios de Los Patios, Villa del Rosario, en menor grado El Zulia y San Cayetano. Territorialmente el Área Metropolitana pasa de los 2000 kilómetros cuadrados, representando así el 10% del Departamento de Norte de Santander.

La condición que implica Cúcuta y su área de influencia, localizada en la zona fronteriza con Venezuela, le da una característica especial, al ser el centro regional más importante de la zona y tener el comercio como actividad principal en la ciudad. Para el año de 2005 se estimó una población total de 900799 habitantes en el Área Metropolitana de Cúcuta distribuida como se muestra en la gráfica 1.

Fisiográficamente el territorio del Área Metropolitana está conformado por dos valles, divididos y enmarcados por colinas y montañas: los valles de los ríos Pamplonita y Táchira, en donde están localizados los municipios de Cúcuta, Los Patios y Villa del Rosario en territorio Colombiano, y San Antonio y Ureña en territorio Venezolano; y en el valle del río Zulia donde se localizan los municipios de El Zulia y San Cayetano. La figura 7 muestra la topografía y configuración del Área Metropolitana.

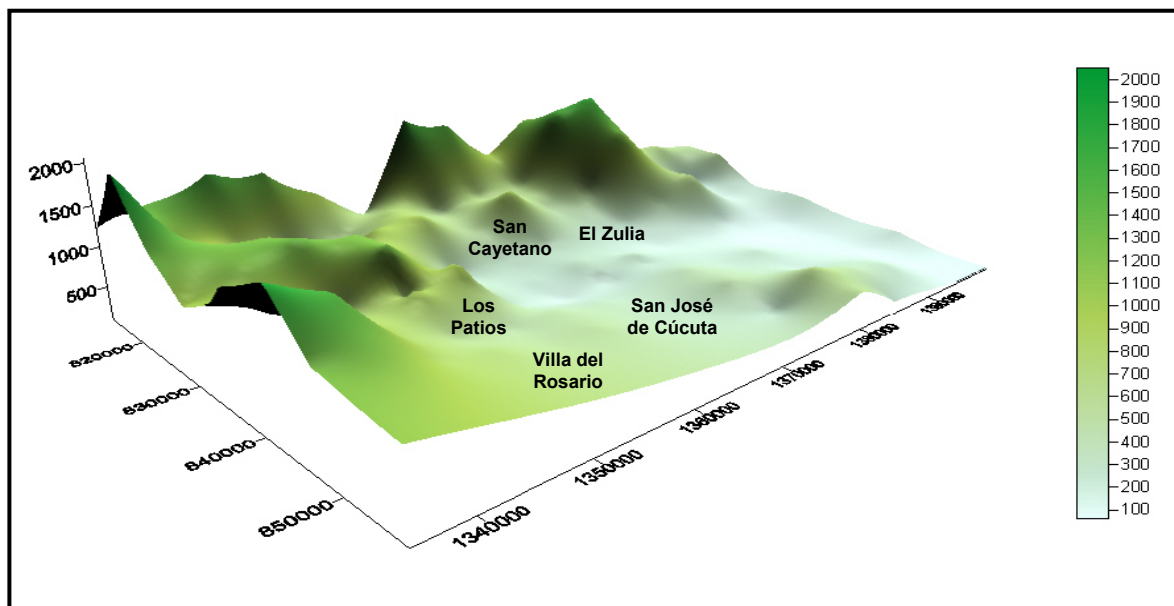
⁹ Departamento Administrativo de Planeación Municipal. POT San José de Cúcuta.

Gráfica 1. Distribución poblacional Área Metropolitana San José de Cúcuta.



Fuente: Autores

Figura 7 Topografía del Área Metropolitana de San José de Cúcuta.



Fuente: Autores.

5.2 GENERALIDADES DE LOS MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA

A continuación en las tablas 12 a 16 se resumen las generalidades de cada uno de los municipios que conforman el Área Metropolitana de San José de Cúcuta.

Tabla 12. Generalidades San José Cúcuta.

MUNICIPIO DE SAN JOSE DE CÚCUTA	
UBICACIÓN	7°54'5" de Latitud Norte y 72°29'4" de Longitud Oeste.
LÍMITES	Norte: Tibú, Puerto Santander y Venezuela; Sur: Bochalema, Los Patios y Villa del Rosario; Este: Venezuela; Oeste: Sardinata, El Zulia, y San Cayetano
AREA Y ELEVACIÓN	Extensión territorial de 1160 km ² , a una a.s.n.m de 320 m.
POBLACIÓN	Proyección a 2005 (DANE), 742689 habitantes.
DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA	El área urbana se divide en diez comunas; mientras que el área rural esta dividida por sectores, los cuales se conforman por corregimientos y veredas.
USOS DEL SUELO	Vivienda: 4109.19 Ha Comercio: 173.72 Ha Industria: 202.11 Ha Instituciones y de servicios: 732.14 Ha Zonas recreacionales, comunales, verdes y de protección ecológica: 778.11 Ha
INDUSTRIA	Existe una zona industrial donde reúne algunas de las edificaciones de uso industrial de la ciudad, confluyendo allí el tráfico pesado del Municipio y de esta zona de frontera. <ul style="list-style-type: none"> La prestación de servicios públicos como lo es la energía eléctrica, el alumbrado público y la recolección de aseo, La industria manufacturera entre las que se cuenta la fabricación de cilindros, la industria textilera, la fabricación de componentes para el calzado, la fabricación de bolsas plásticas y procesamiento de polietilenos, El procesamiento y empaque de alimentos como el arroz, el pollo y los subproductos cárnicos, La industria procesadora del café, La industria procesadora de lácteos, La fabricación de pastas alimenticias, La fabricación de empaques de papel, La producción de pisos y enchapes a partir de la arcilla, El envasado de gas GLP, La distribución comercial de oxígeno envasado, La fabricación de válvulas y elementos propios de la industria petrolera.
HIDROLOGÍA	El municipio de Cúcuta, se encuentra dentro del área de influencia de las cuencas de los Ríos Zulia, Pamplonita, San Miguel, Quebrada la Floresta y las subcuencas de los ríos Táchira y Guaramito, las cuales hacen parte de la Gran Cuenca del Catatumbo que a su vez entrega sus aguas al Lago de Maracaibo en Venezuela.
SALUD	Son la población menor de 14 años y las mujeres entre los 15 y 44 años, las más expuestas a los problemas de salud: enfermedades respiratorias, de los dientes, diarrea aguda, urinarias, anemia, parasitismo intestinal.
EDUCACIÓN	El Municipio de San José de Cúcuta, para efectos del servicio, está sectorizado en 11 núcleos educativos, distribuidos en ocho urbanos, dos rurales y uno mixto; cuenta con 490 establecimientos educativos entre oficiales y privados.

Fuente: POT San José de Cúcuta.

Tabla 13. Generalidades Villa del Rosario.

MUNICIPIO DE VILLA DEL ROSARIO	
UBICACIÓN	El Municipio de Villa del Rosario se encuentra situado en la parte Noreste del departamento Norte de Santander, a los 7° 34' 30" de latitud Norte y 1° 31' 25" de longitud oriental del meridiano de Greenwich, a una distancia de Cúcuta de 7.0 Km.
LÍMITES	NORTE: Con el Municipio de San José de Cúcuta. ORIENTE: Con el río Táchira. SUR: Con el Municipio de Ragonvalia OCCIDENTE: Con el Municipio de los patios

AREA Y ELEVACIÓN	Extensión territorial 107Km ² , a una a.s.n.m de 429 m.
POBLACIÓN	Proyección a 2005 (DANE), 66513 habitantes.
DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA	Zona rural: Esta zona se encuentra conformada por seis (6) veredas y cinco (5) corregimientos. Zona Urbana: La cabecera municipal consta de 23 barrios, 33 urbanizaciones y 3 invasiones.
USOS DEL SUELO	Tierras dedicadas a agricultura: 1964.7 Ha. Tierras de pastizales: 1996.5 Ha. Tierras con bosques: 4536.9 Ha. Zona urbana: 1652 Ha. Área de expansión urbana 175 Ha.
INDUSTRIA	En el municipio se llevan a cabo explotaciones de arcilla en el área rural y urbana que se caracterizan por procesos de producción manuales, artesanales, con secado al natural, la mayoría de ellos ilegales que han venido ocasionando un alto impacto en el medio natural circundante.
HIDROLOGÍA	La red hidrográfica del Municipio está constituida por el río Táchira que nace es el cerro de las banderas, en el páramo del Tamá a una altura de 3.368 metros, en el Municipio de Hernán y al cual llegan una serie de quebradas, como los Nogales, la Cañada etc.
SALUD	Las primeras causas de egresos hospitalarios en los diferentes grupos etáreos siempre predominan las enfermedades diarreicas agudas EDA e infecciones respiratorias agudas IRA con un 81% del total de los hospitalizados.
EDUCACIÓN	El municipio en la zona urbana cuenta con veinticuatro (24) instituciones educativas de carácter oficial y trece (13) instituciones de carácter privado, seis (6) con educación no formal y cuatro (4) centros de educación para adultos.

Fuente: PBOT Villa del Rosario.

Tabla 14. Generalidades de Los Patios.

MUNICIPIO DE LOS PATIOS	
UBICACIÓN	Sus coordenadas (origen este) de localización, son entre: X = 833.000 a 845.000 m este Y = 1'336.500 a 1'364.000 m norte
LÍMITES	NORTE: Con el Municipio de San José de Cúcuta. ORIENTE: Con el Municipio de los patios. SUR: Con los Municipio de Ragonvalia y Chinacota. OCCIDENTE: Con San José de Cúcuta y Bochalema.
AREA Y ELEVACIÓN	Extensión territorial de 131 km ² , a una a.s.n.m de 250 m.
POBLACIÓN	Proyección a 2005 (DANE), 60346 habitantes.
DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA	El casco urbano del Municipio, se localiza en la zona norte del Municipio y está conformado por 50 Barrios, de los cuales 25 son urbanizaciones.
USOS DEL SUELO	Tierras dedicadas a agricultura: 323.7 Ha. Tierras de pastizales: 558.8 Ha. Tierras con bosques: 1059.7 Ha. Zona urbana: 11084 Ha.
INDUSTRIA	El uso industrial de procesamiento está casi que exclusivamente representado por Cementos Diamante. En la actividad industrial los sectores más representativos son metalmecánica, confecciones y madera.

HIDROLOGÍA	Su red hídrica pertenece a la Cuenca del Río Pamplonita, Gran Cuenca del Catatumbo.
SALUD	Las principales causas de consulta en todas las edades son las infecciones respiratorias agudas (IRA), seguidas por la caries dental, las enfermedades diarreicas agudas (EDA) y el poli parasitismo intestinal (PPI).
EDUCACION	La población en edad escolar (3 a 17 años) corresponde aproximadamente a 20000 personas, para atenderlas se cuenta con 54 establecimientos educativos, 10 de los cuales corresponden a Escuelas y Colegio rurales y 44 a Escuelas y Colegios urbanas ubicadas en la cabecera municipal.

Fuente: PBOT Los Patios.

Tabla 15. Generalidades de El Zulia.

MUNICIPIO DEL ZULIA	
UBICACIÓN	Se localiza entre los 1144500 y 1171500 m este y los 1366400 y 1408500 m norte (coordenadas origen Bogotá).
LÍMITES	NORTE: con el municipio de San José de Cúcuta. SUR: con los municipios de San Cayetano y Santiago. ORIENTE: con el municipio de San José de Cúcuta. OCCIDENTE: con los municipios de Gramalote y Sardinata.
AREA Y ELEVACIÓN	Extensión territorial de 48979 Ha, con a.s.n.m. de 220 m.
POBLACIÓN	Proyección a 2005 (DANE), 26880 habitantes.
DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA	La cabecera municipal se divide en 9 barrios, mientras que el sector rural se divide en 30 comunidades.
USOS DEL SUELO	Tierras agrícolas: 9572 Ha. Tierras Pastizales: 11317 Ha. Tierras con bosques: 26242 Ha. Tierras erosionadas: 1754 Ha. Zona urbana: 94 Ha.
INDUSTRIA	Producción de calzado, procesamiento de arcilla (fábrica ladrillos, tejas y materos), artesanías de madera, Agro-industria, Metalurgia y metalmecánica, productos de cerámicas y yeso, producción de carbón, confecciones, fabrica de muebles de madera.
HIDROLOGÍA	Cuenca mayor del río Zulia, a la que pertenecen los ríos Zulia, Peralonso, Salazar, Cucutilla y la Plata.
SALUD	De las causas de consulta en todas las edades se presentan en orden de prioridad, la caries dental, infecciones respiratorias agudas (IRA), enfermedades diarreicas agudas (EDA) y poli parasitismo intestinal (PPI).
EDUCACIÓN	La población en edad escolar (3 a 17 años) corresponde a aproximadamente 10000 personas, para atenderlas se cuenta con 55 establecimientos educativos, 47 de los cuales corresponden a Escuelas y Colegio rurales y ocho 8 a Escuelas y Colegios urbanas ubicadas en la cabecera municipal.

Fuente: EOT El Zulia.

Tabla 16. Generalidades de San Cayetano.

MUNICIPIO DE SAN CAYETANO	
UBICACIÓN	Entre las coordenadas planas (origen Bogotá) x: 1.155.000 a 1.170.000 m este y: 1.347.000 a 1.370.000 m norte.

LÍMITES	NORTE: El Zulia y San José de Cúcuta. SUR: Bochalema. ORIENTE: San José de Cúcuta. OCCIDENTE: Santiago y Durania.
AREA Y ELEVACIÓN	Extensión territorial de 14198 Ha, a una a.s.n.m. de 235 m.
POBLACIÓN	Proyección a 2005 (DANE), 4371 habitantes.
DIVISIÓN POLITICO ADMINISTRATIVA	Cuenta con dos (2) corregimientos y diez veredas que conforman su base político administrativa
INDUSTRIA	La actividad representativa en el municipio es la generadora de energía eléctrica Termotasajero.
HIDROLOGÍA	Cuenca mayor del río Zulia, a la que pertenecen los ríos Zulia, Peralonso, Salazar, Cucutilla y la Plata.
SALUD	Las principales causas de consulta en todas las edades corresponden a infecciones respiratorias agudas (IRA), enfermedades diarreicas agudas (EDA) y poli parasitismo intestinal (PPI).

Fuente: EOT San Cayetano.

6. CLIMATOLOGIA

En el estudio de la contaminación atmosférica, la climatología del área de influencia resulta ser uno de los aspectos más determinantes del comportamiento de las sustancias contaminantes en el aire; la mejor manera de establecer las condiciones reales del ambiente en que dichas sustancias interactúan y realizan su dinámica es mediante estudios micro meteorológicos que muestren el comportamiento de la atmósfera hora a hora puesto que la atmósfera varía notablemente en momentos del día como la madrugada, el mediodía y la noche.

Dado que en el territorio del Área Metropolitana solo se cuenta con una estación meteorológica sinóptica, que mide los parámetros necesarios para este tipo de estudio, se tuvo en cuenta para el área de estudio, la información que ofrece la estación ubicada en el aeropuerto Camilo Daza.

Para el rediseño de la red de vigilancia de calidad del aire, se llevó a cabo el análisis de temperatura, precipitación, humedad relativa, nubosidad, brillo solar, y velocidad y dirección del viento con base en series mensuales multianuales. Ya que en la zona no existe información de radiación solar, fue necesario calcularla mediante algoritmos que involucran otros parámetros de los que se conocen datos.

Dado que en los demás municipios que conforman el Área Metropolitana de San José de Cúcuta no se cuenta con estaciones que proporcionen la información necesaria para las aplicaciones del presente estudio, se optó por utilizar solamente la información meteorológica correspondiente a la estación Aeropuerto Camilo Daza de la ciudad de San José de Cúcuta, presumiendo que el comportamiento climatológico no difiera notablemente en los diferentes municipios por su poca accidentalidad geográfica. A continuación se presenta la información de la estación meteorológica.

Tabla 17. Información general estación Camilo Daza.

Estación	Código	Tipo	Latitud	Longitud	Elevación	Área Hidrográfica	Zona Hidrográfica	Sub zona Hidrográfica	Municipio
Apto Camilo Daza	1601501	SP	07°56" N	73° 31" W	250 m.s.n.m	Caribe	R. Catatumbo	Pamplonita	San José de Cúcuta

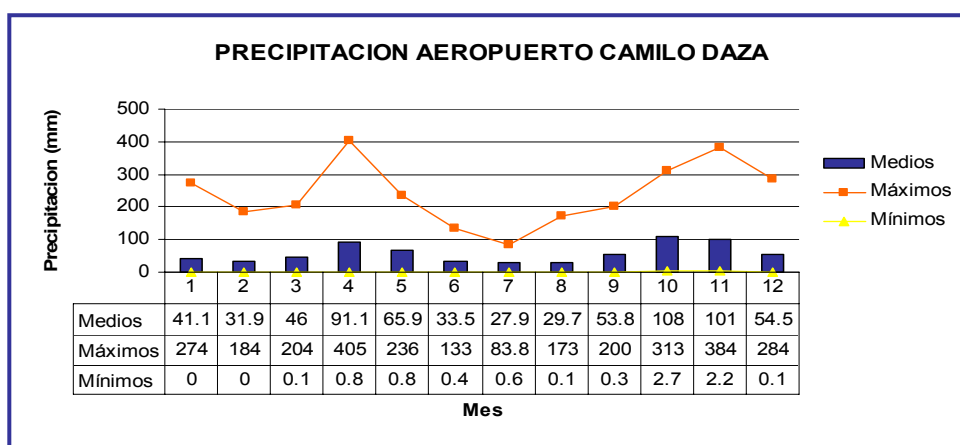
Fuente: IDEAM

6.1 DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.1.1 Precipitación. La importancia de este parámetro meteorológico radica en que su presencia ayuda a reducir las concentraciones de contaminantes en el aire, específicamente de material particulado; sin embargo si existen altas concentraciones de óxidos de azufre en la atmósfera, esta reacciona con ellos dando así origen al ácido sulfhídrico o también conocido como lluvia ácida.

La zona presenta un comportamiento bimodal (gráfica 2), definido por dos períodos lluviosos de marzo a mayo y septiembre a diciembre, y dos períodos secos de junio a agosto y enero a febrero. El promedio anual de días con precipitación es de 120, representando así un 33% de los días del año.

Gráfica 2. Valores de precipitación (mm). estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).



Fuente: Autores.

6.1.2 Temperatura.

“Si la temperatura disminuye en una proporción inferior al gradiente adiabático seco, cualquier masa de aire que intente subir tendrá una temperatura menor que el medio circundante. Bajo esta circunstancia, la atmósfera es estable y posee un gran potencial de contaminación” (CORTAZAR, 1996). La temperatura media en la zona fluctúa entre los 23.2 y los 30.9 °C, presentando los meses de marzo, agosto y septiembre como los meses más calurosos del año, mientras que en febrero, noviembre y diciembre se presentan las temperaturas más bajas. En las tablas 18 y 19 se muestran los valores de temperaturas máximas y mínimas respectivamente; y en la gráfica 3 se observan los valores medios de temperatura para la zona de estudio.

Tabla 18. Valores máximos mensuales de temperatura (2002-2004).

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MEDIOS	34.4	35	35.4	35.6	36	35.6	36	36.7	37	36.4	35.2	34.4
MAXIMOS	38.5	38.5	39	40.5	41	40.5	41	42.5	42.5	39.6	38	38.5
MINIMOS	29.4	30	30.7	31.3	33	32.4	33.2	33.4	34.7	33.8	30.6	30

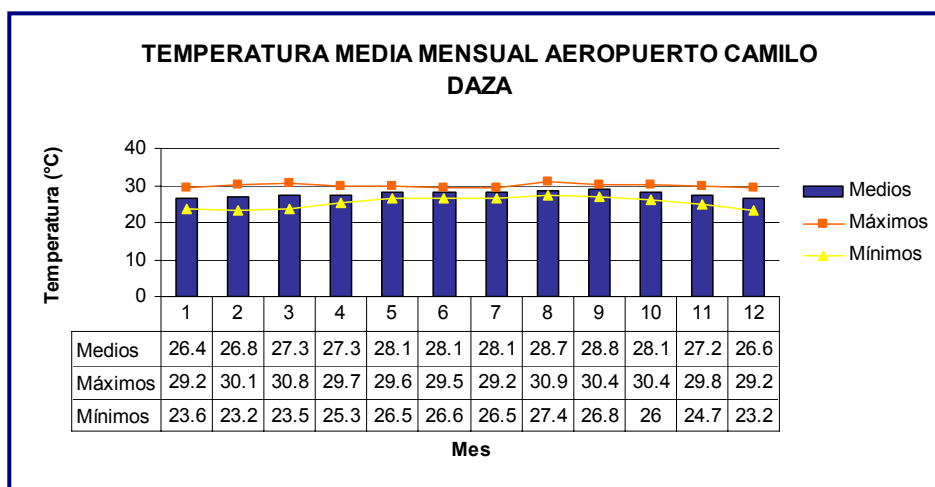
Fuente: Autores

Tabla 19. Valores mínimos mensuales de temperatura (2002-2004).

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MEDIOS	19.5	19.8	20.3	20.5	21	20.9	20.8	21	21	20.7	20.5	19.9
MAXIMOS	22.5	22.3	22.3	23.4	23.3	22.8	22.3	23	23.6	22.6	22.2	22.4
MINIMOS	16.6	16	18	18	18	17.4	18.4	18	18.6	18	17.6	16.8

Fuente: Autores

Gráfica 3. Valores medios de temperatura estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).

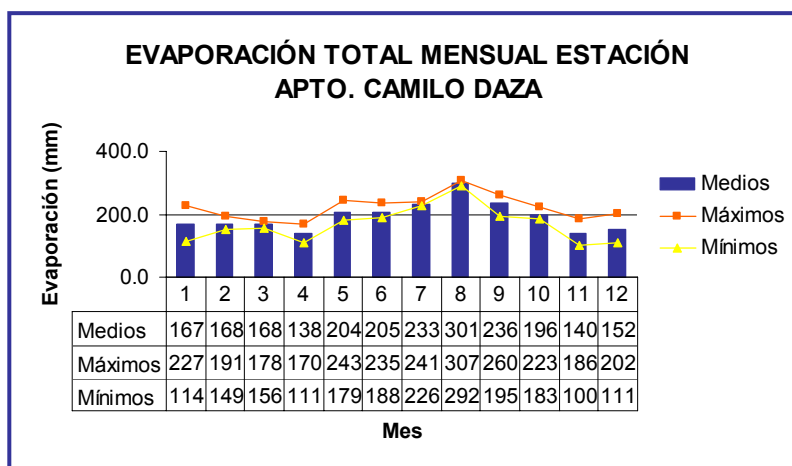


Fuente: Autores.

De acuerdo con los datos de la estación Apto. Camilo Daza, la zona presenta una temperatura media de 27.6 °C, con variaciones mínimas durante el año (diferencia entre máximas y mínimas menor a los 10 °C) dando características casi uniformes a lo largo de este. Se presenta una máxima absoluta de 42.5 °C en los meses de agosto y septiembre y una mínima absoluta de 16 °C en el mes de febrero.

6.1.3 Evaporación. El vapor de agua puede reaccionar con los dióxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno dando origen a contaminantes secundarios como ácido sulfhídrico y anhídrido.

Gráfica 4. Valores mensuales de evaporación estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).

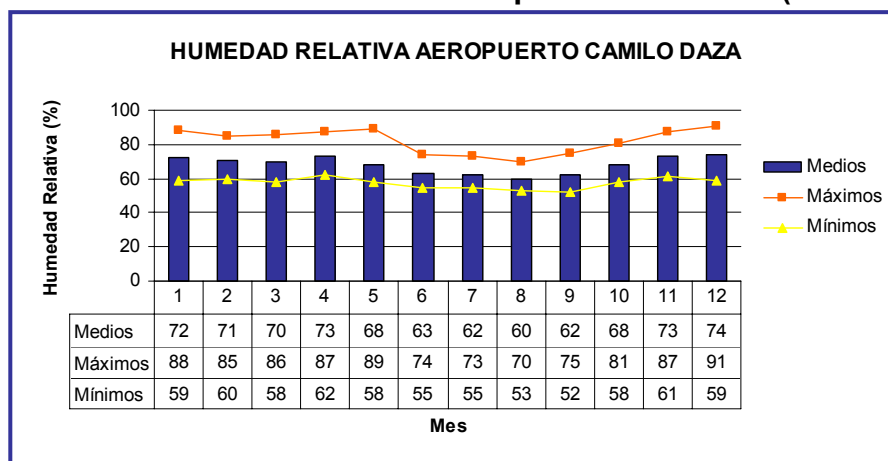


Fuente: Autores.

Como se puede observar en la gráfica 4, los niveles más altos de evaporación se presentan en los meses de mayo, julio, agosto y septiembre; de las gráficas 2 y 4 se establece claramente una relación inversa entre la evaporación y la precipitación.

6.1.4 Humedad relativa. Tal como el comportamiento de la evaporación, una alta humedad relativa ayudará a dar origen a contaminantes secundarios. Como lo muestra la gráfica 5 los valores altos de humedad en la zona de estudio, corresponden a los últimos y primeros meses del año, coincidiendo así con las temporadas de lluvia.

Gráfica 5. Humedad relativa estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).



Fuente: Autores.

Puede decirse que el comportamiento de la humedad en San José de Cúcuta es uniforme, con pequeñas fluctuaciones a mediados del año.

6.1.5 Nubosidad. Según los datos de la estación Apto. Camilo Daza (tabla 20) el cielo en San José de Cúcuta permanece cubierto con valores entre 6 y 7 octas, presentando en ocasiones valores de 2 octas con cielo despejado. La importancia de este parámetro radica en la dispersión de los contaminantes, con presencia de nubes se reduce la turbulencia convectiva y la velocidad de los vientos.

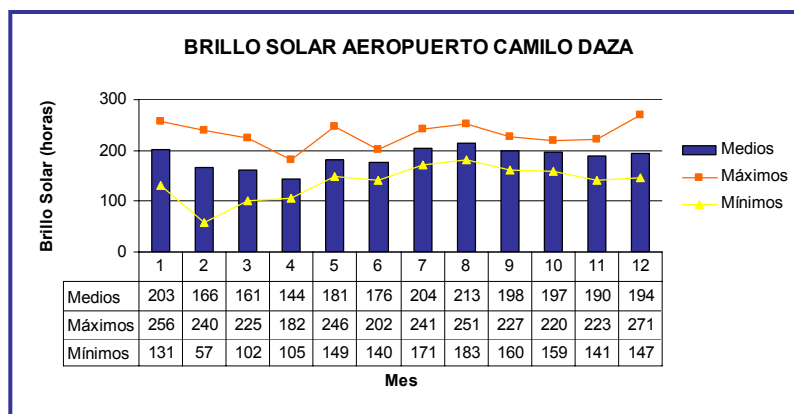
Tabla 20. Valores medios mensuales de nubosidad (2002-2004).

Valores Medios Mensuales de Nubosidad (octas)												
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Medios	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Máximos	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Mínimos	2	2	2	6	6	6	2	6	6	6	2	2

Fuente: Autores

6.1.6 Brillo solar. Los mayores valores de insolación se registraron en los meses de enero, julio, agosto y septiembre con valores medios mensuales entre 198 y 213 horas de insolación (gráfica 6).

Gráfica 6. Brillo solar estación Apto. Camilo Daza (2002-2004).



Fuente: Autores.

6.1.7 Radiación solar. En condiciones de intensa radiación solar la turbulencia térmica es máxima ayudando a la dispersión de los contaminantes. Ya que en el área de estudio no existe un equipo que realice la medición directa de la radiación solar, fue necesario estimar este valor mediante algoritmos que la relacionan con el brillo solar.

6.1.7.1 *Estimación de la radiación solar*¹⁰. Los valores de radiación solar en el área de estudio, debieron estimarse de manera indirecta a través de fórmulas empíricas que resultan ser aproximaciones útiles. A continuación se explica el procedimiento de cálculo de la radiación solar:

$$(RG/RT) = (a+b) (n/N)$$

Donde:

RG : Radiación global incidente sobre una superficie horizontal.

RT : Radiación solar que llega al límite de la atmósfera sobre una superficie horizontal.

n : Duración de la insolación real o brillo solar diario.

N : Duración astronómica del día.

a y b : coeficientes empíricos, para la región tienen un valor de 0.24 y 0.55 respectivamente¹¹.

Tanto RG como n, se miden de manera directa en las estaciones, mientras que los datos de RT y N se determinan en función de la latitud del lugar (θ), ángulo de declinación del sol (δ) para cada día y el ángulo horario (AH) también por cada día.

$$H_0 (n) = (24/\pi) * I_0 (R_0/R)^2 (\cos \theta \cos \delta \sin w + ((2\pi * w)/360) \sin \delta \sin \theta)$$

Donde:

I_0 : Constante solar 1367 W/m², 1.96 Cal/cm² min.

$(R_0/R)^2$: Expresión radiométrica donde se relaciona R distancia tierra – sol y R_0 distancia promedio tierra – sol (1 UA).

θ : Latitud.

δ : Angulo de declinación del sol.

W : Angulo horario formado en el polo por la intersección entre el meridiano del punto del observador y el meridiano del sol.

De las anteriores expresiones no se conoce R_0/R , δ y W; estos se calculan de la siguiente manera:

$$\alpha = 2\pi (nd - 1) / 365$$

Donde:

α : Posición angular de la tierra.

Nd : Número del día del año.

¹⁰ Roberto Sozzi. La turbulencia de la atmósfera y la dispersión de los contaminantes. Micrometeorología y turbulencia de la atmósfera.

¹¹ Humberto Rodríguez. Manual de radiación en Colombia. Radiación sobre superficies horizontales.

$$(R_0/R)^2 = 1.00011 + 0.034221 \cos \alpha + 0.00128 \sin \alpha + 0.000719 \cos \alpha + 0.000077 \sin 2\alpha$$

$$\delta = (0.006918 - 0.0399912 \cos \alpha + 0.07027 \sin \alpha - 0.006758 \cos 2\alpha + 0.000907 \sin 2\alpha - 0.002697 \cos 3\alpha + 0.00148 \sin 3\alpha) (180/\pi)$$

Donde:

n : Número de día del año.

La duración astronómica del día:

$$N = (2/18) * \text{Arccos} (-\tan \Theta * \tan \delta)$$

Como:

$$N = (2/15) * W$$

Entonces:

$$W = \text{Arccos} (-\tan \Theta * \tan \delta)$$

A continuación se presenta un ejemplo del cálculo de la radiación solar para la zona de estudio:

Día: marzo 16 de 2002, día del año No. 75

Brillo solar: 2.2 horas

Latitud (Θ): 7° 56' Norte

Inicialmente se determina la posición angular de la tierra:

$$\alpha = 2\pi (75 - 1) / 365$$

$$\alpha = 1.274^\circ \quad \alpha = 0.022 \text{ Radianes}$$

Con este valor se puede determinar el ángulo de declinación del sol:

$$\delta = (0.006918 - 0.0399912 \cos (0.022) + 0.07027 \sin (0.022) - 0.006758 \cos 2(0.022) + 0.000907 \sin 2(0.022) - 0.002697 \cos 3(0.022) + 0.00148 \sin 3(0.022)) (180/\pi)$$

$$\delta = -22.95^\circ \quad \delta = -0.401 \text{ Radianes}$$

El cálculo de la expresión radiométrica $(R_0/R)^2$, se realiza de la siguiente manera:

$$(R_0/R)^2 = 1.00011 + 0.034221 \cos (0.022) + 0.00128 \sin (0.022) + 0.000719 \cos (0.022) + 0.000077 \sin 2(0.022)$$

$$(R_0/R)^2 = 1.035$$

Ahora, el valor del ángulo horario (W) sería:

$$W = \text{Arccos}(-\tan 0.14 * \tan -0.401)$$

$$W = 1.51 \text{ Radianes} \quad W = 86.62^\circ$$

$$N = (2/15) * 86.62^\circ$$

$$N = 11.55$$

Luego se estima el valor de H_0 :

$$H_0(n) = (24/\pi) * 1367 * 1.035 (\cos(0.14) \cos(-0.401) \sin(1.51) + ((2\pi * 86.62)/360) \sin(-0.401) \sin(0.14))$$

$$H_0(n) = 8961.81 \text{ Watt} - \text{h/m}^2$$

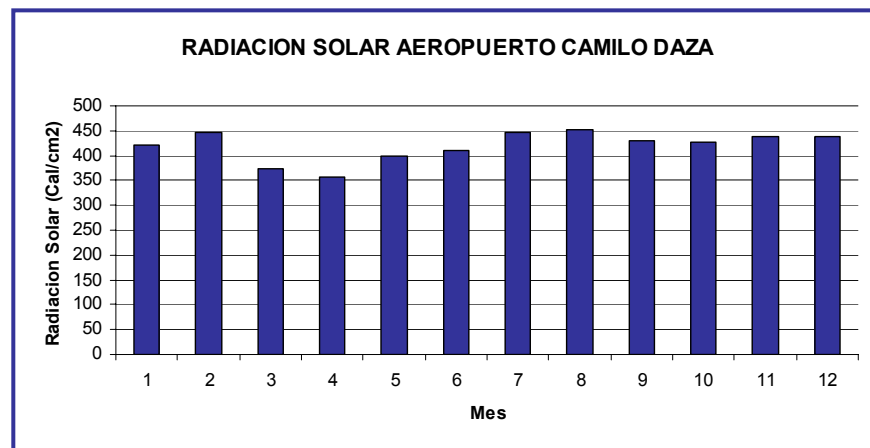
El valor de radiación solar para este día será:

$$\text{Radiación} = (0.24 + 0.55) * (2.2/11.55) * 8961.81$$

$$\text{Radiación} = 3089.77 \text{ Watt} - \text{h/m}^2 \quad \text{Radiación} = 265.67 \text{ Cal/cm}^2$$

Así se concluye que para un día con un brillo solar igual a 2.2 horas, la cantidad de radiación solar en este lugar será de 265.67 Cal/cm^2 . La gráfica 7 muestra el comportamiento de la radiación solar en San José de Cúcuta.

Gráfica 7. Radiación global mensual en San José de Cúcuta (2002-2004).



Fuente: Autores.

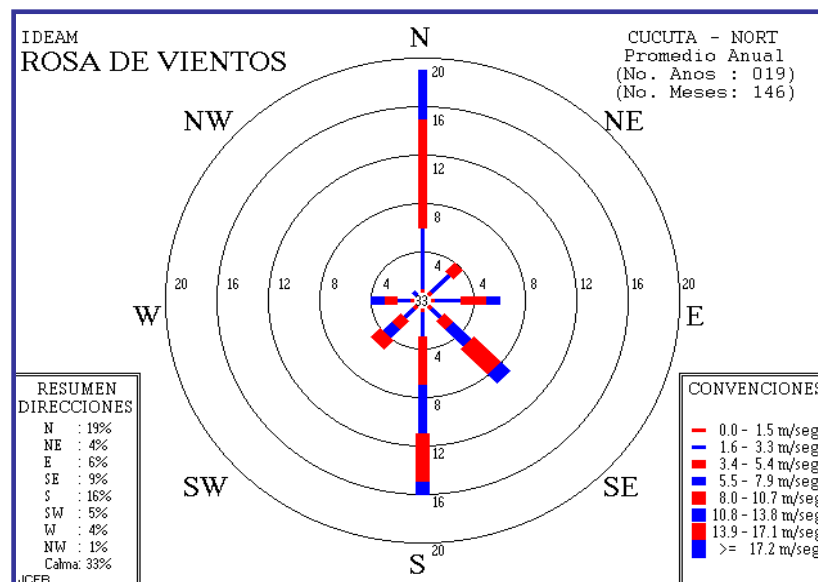
Se puede observar una tendencia bimodal en el comportamiento de la radiación en San José de Cúcuta con máximos bien marcados en los meses de enero, febrero, julio y agosto; y mínimos en los meses de marzo, abril y mayo.

6.1.8 Régimen de vientos. La velocidad del viento varía con la altura sobre el suelo, lo cual depende de la rugosidad del terreno, así como el grado de turbulencia de la atmósfera. La dirección del viento siempre es definida como la dirección desde la cual sopla, esta dirección indica la dirección en la cual los contaminantes serán transportados más frecuentemente. Para determinar el comportamiento de los vientos en el área de estudio, se analizó la rosa de vientos (figura 8) elaborada por el IDEAM de una serie histórica de 19 años de los datos correspondientes a la estación del Aeropuerto Camilo Daza; Mientras que para la estimación de la estabilidad se utilizó la información diaria correspondiente al período (2002 – 2004) con el fin de caracterizar lo mejor posible las condiciones de estabilidad atmosféricas de la zona de estudio.

6.1.8.1 Elaboración de rosas de vientos. La rosa de vientos es un método gráfico que permite representar el conjunto de distribuciones de frecuencia de la fuerza (velocidad numérica del viento) y la dirección en un mismo diagrama. Este diagrama se conforma básicamente de las siguientes partes:

- Un círculo dentro del cual se indica la frecuencia de las calmas observadas.
- Líneas rectas que parten del centro de este círculo y que representan las diferentes clases de dirección del viento (cada recta indica la dirección de procedencia del viento). El color de cada línea y su grosor indicarán el rango de velocidad que representa.
- Una serie de círculos concéntricos con el primero, que indican la frecuencia de las observaciones.
- Una leyenda que indica las convenciones utilizadas.

Figura 8. Rosa de vientos Apto. Camilo Daza serie histórica (19 años).



Fuente: Autores.

6.1.8.2 *Estimación de la estabilidad diaria.* En el presente estudio se hace necesario conocer el grado de estabilidad que presenta la atmósfera, y establecer la capacidad de esta para dispersar los contaminantes.

a. Situaciones Diurnas

Durante el día el sol es la principal fuente de energía en la atmósfera, parte de esa energía es absorbida por gases, otra porción es reflejada por las nubes, otra parte es reflejada por las partículas suspendidas en el aire y otra es reflejada por el suelo.

Finalmente la cantidad de radiación que cae sobre la superficie de la tierra se conoce como *radiación directa*; este tipo de radiación sumada a la *radiación difusa*, determina la radiación global que es toda la radiación que llega a la tierra. La relación entre la radiación reflejada por los componentes que se mencionan anteriormente y la radiación entrante se conoce como *albedo*, el cual se expresa como porcentaje y será mayor en superficies lisas y claras; cuando el valor del albedo es alto, los fenómenos de turbulencia convectiva son más frecuentes favoreciendo la dispersión de los contaminantes ya que la altura de la capa de mezcla se hace mayor.

Para determinar la estabilidad en situaciones diurnas se requiere conocer:

- Promedios diarios de velocidad del viento (m/s).
- Promedios diarios de dirección del viento (8 direcciones).
- Promedios diarios de radiación solar global (Cal/cm²).

Tabla 21. Determinación de estabilidad en situaciones diurnas.

SITUACIONES DIURNAS						
Vel. viento (m/s)	RADIACIÓN SOLAR GLOBAL (Cal/cm ²)					
	>679	679 - 524	524 - 388	388 - 262	262 - 136	<136
0.1 - 2	A	A	B	B	C	D
2.1 - 3	A	B	B	B	C	D
3.1 - 4	B	B	B	C	C	D
4.1 - 5	B	B	C	C	D	D
5.1 - 6	C	C	C	C	D	D
> 6	C	C	D	D	D	D

Fuente: Roberto Sozzi, La Turbulencia y La Atmósfera.

b. Situaciones nocturnas

Como en la noche no hay presencia de energía solar, la única energía presente es la que el suelo ha absorbido durante el día y ahora la está irradiando, así el flujo de energía disponible (radiación neta) se hace negativo; de esta manera la turbulencia de origen térmico es mínima, presentándose en mayor medida la

turbulencia mecánica, en el caso de presentarse. En la noche la altura de mezcla decae rápidamente cuando se interrumpe la transferencia de energía solar a la puesta del sol, por lo tanto la atmósfera tendría una capacidad inferior para dispersar los contaminantes.

Para determinar la estabilidad nocturna en la zona se requiere de la siguiente información:

- Promedios diarios de velocidad del viento (m/s).
- Promedios diarios de dirección del viento (8 direcciones).
- Promedios diarios radiación solar global (Cal/cm²).
- Promedios mensuales de nubosidad (octas).
- Temperaturas mínimas mensuales (°C).

Calculo de la Radiación Neta

Debido a que no se cuenta con un radiómetro neto, la radiación neta debe ser calculada mediante la siguiente ecuación establecida por Roberto Sozzi:

$$R_n = [(1 - r) R_g + C_1 T^6 + C_2 N - \sigma T^4] / (1 + C_3)$$

Donde:

- R_n : Radiación neta (Watt/m²)
R_g : Radiación global nocturna (Watt/m²)
r : Coeficiente de albedo (valor típico 0.2)
C₁ : 5.31 * 10⁻¹⁵
C₂ : 60 (Watt/m²)
C₃ : 0.12
T : Temperatura (K) del aire cerca del suelo.
N : Fracción del cielo cubierto por las nubes.
σ : Constante de Steffan Boltzman 5.67 * 10⁻⁸

Para la aplicación de esta ecuación fue necesario asumir algunos datos como la radiación global nocturna (0 Watt/m² para todos los casos) y la temperatura utilizada fue la mínima registrada por la estación (asumiendo que esta se presenta en horas de la noche); esto hace que los datos obtenidos de la ecuación pierdan exactitud. A continuación se muestra un ejemplo del cálculo de la radiación neta en la zona de estudio para un día del año:

Día: 28 de marzo de 2002

Temperatura (mínima registrada): 23.20 °C = 296.20 K

Nubosidad: 6

Radiación global nocturna (asumida): 0 Watt/m²

$$R_n = [(1 - r) R_g + C_1 T^6 + C_2 N - \sigma T^4] / (1 + C_3)$$

$$R_n = [(1 - 0.2) 0 \text{ Watt/m}^2 + 5.31 * 10^{-15} 296.20^6 + 60 \text{ Watt/m}^2 6 - 5.67 * 10^{-8} 296.20^4] / (1 + 0.12)$$

$$R_n = -65.05 \text{ Watt/m}^2$$

Basados en la radiación neta calculada para cada día y la velocidad del viento, se puede establecer la estabilidad nocturna mediante la tabla 22, propuesta por Roberto Sozzi.

Tabla 22. Determinación de estabilidad en situaciones nocturnas.

SITUACIONES NOCTURNAS			
Vel. Viento (m/s)	RADIACIÓN NETA (W/m ²)		
	> - 20	-20, -40	< - 40
0.1 - 2	Dn	F	F
2.1 - 3	Dn	E	F
3.1 - 5	Dn	Dn	E
5.1 - 6	Dn	Dn	Dn
>6	Dn	Dn	Dn

Fuente: Roberto Sozzi, La Turbulencia y La Atmósfera. Dn = D nocturna.

Los datos estimados de estabilidad atmosférica se utilizan como herramienta para el desarrollo de la matriz de estabilidad en el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos.

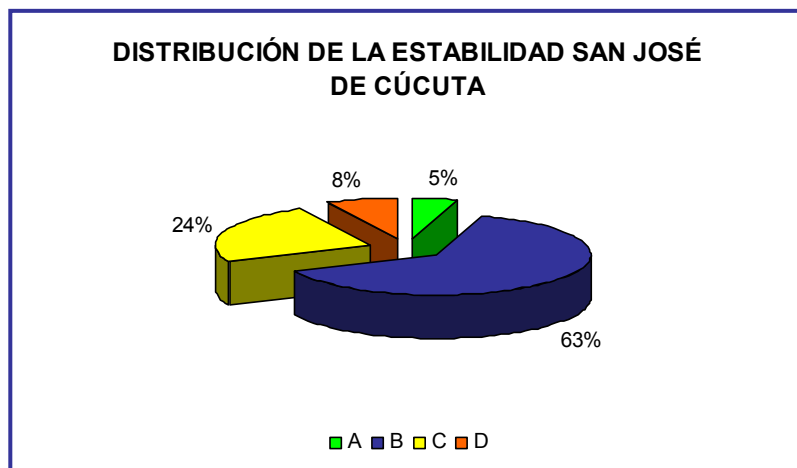
6.1.9 Estabilidad atmosférica. Como ya se ha mencionado antes, este parámetro determina la capacidad que tiene la atmósfera de dispersar los contaminantes. El grado de estabilidad se evalúa de la letra A a la F cada una con una descripción de las condiciones de estabilidad:

- A: Atmósfera muy inestable.
- B: Atmósfera inestable.
- C: Atmósfera débilmente inestable.
- D: Atmósfera neutra.
- E: Atmósfera estable.
- F: Atmósfera fuertemente estable.

Para poder determinar el tipo de estabilidad que presenta la atmósfera en la región es necesario conocer la radiación solar, ya que en la zona no se cuenta con el instrumento de medición directa de este parámetro, se tuvo que determinar a partir de el brillo solar mediante ecuaciones empíricas que ofrecen una aproximación del valor real. Con los valores de radiación solar global (situaciones diurnas) y neta (situaciones nocturnas) fue posible determinar la estabilidad con ayuda de las tablas elaboradas por Roberto Sozzi que relacionan la estabilidad con la radiación solar y la velocidad del viento. Las gráficas 8 y 9 muestran la distribución

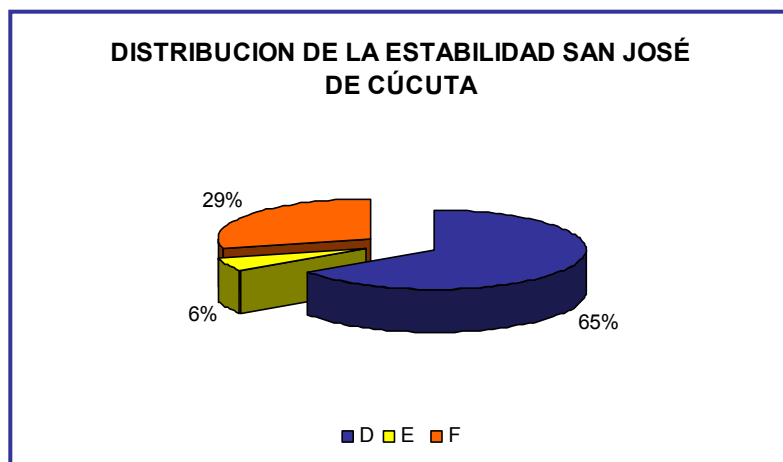
porcentual de los tipos de estabilidad para las situaciones diurnas y nocturnas respectivamente.

Gráfica 8. Distribución de tipos de estabilidad para situaciones diurnas.



Fuente: Autores.

Gráfica 9. Distribución de tipos de estabilidad para situaciones nocturnas.



Fuente: Autores.

Los gráficos anteriores muestran una predominancia de estabilidad tipo B para situaciones diurnas con un 63% presentando así la mayor parte del tiempo una atmósfera inestable, la cual permite considerablemente la dispersión y dilución de los contaminantes en el aire. Mientras tanto el tipo de estabilidad D (atmósfera neutra) es la predominante en las noches con un 65%, mostrando que la situación de dispersión de contaminantes es la mejor que pueda presentarse durante las horas de la noche.

7. INVENTARIO DE EMISORES Y EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

7.1 INVENTARIO FUENTES FIJAS PUNTUALES

La actividad industrial del área de influencia está muy bien definida, mostrando como actividad principal la industria mecanizada de la arcilla, siendo esta una de las principales generadoras de impactos a la atmósfera a través de hornos colmena y hoffman que funcionan a base de carbón; en segunda instancia se encuentran las calderas también a base de carbón y algunas que funcionan con ACPM, GLP o gas natural.

El objeto del inventario de emisiones es la recopilación de información referente a la fuente; ubicación en coordenadas planas, diámetro de la chimenea (m), velocidad (m/s), temperatura de salida de los gases (K), y emisiones (g/s). Esta información se pudo encontrar en los archivos de la corporación en cada uno de los muestreos de los gases de chimenea realizados a las industrias; algunas de las actividades no se les ha realizado muestreo, por lo tanto se optará por calcular una emisión aproximada mediante los factores de emisión establecidos por la Environmental Protection Agency (EPA).

A continuación en la Tabla 23 se presenta el consolidado de las industrias generadoras de emisiones a la atmósfera, su ubicación geográfica, actividad, producción, equipo de combustión y combustible.

La existencia de depósitos para la extracción de arcilla de alta capacidad en el Área Metropolitana de Cúcuta, constituye a la industria ya sea mecanizada o artesanal de arcilla en la actividad más importante de la zona, como se muestra en la gráfica 10 con un 41%, seguida por la industria Textil con el 29%, lavanderías y Tintorerías ubicadas en el eje industrial de la ciudad, utilizando como equipo de combustión calderas y carbón mineral como combustible.

La Industria alimenticia con el 12%, donde se encuentra la molienda y tostión del café, la Molienda de Arroz, la embotelladora de gaseosas y la pasteurizadora, industrias que usan el ACPM como combustible.

Tabla 23. Fuentes fijas puntuales relacionadas en el Área Metropolitana de Cúcuta.

No.	EMPRESA	CIU	MUNICIPIO	COORDENADAS ORIGEN ESTE		ELEVACIÓN Z	EQUIPO DE COMBUSTIÓN	TIPO COMBUSTIBLE
				X	Y			
1	Bloques y Ladrillos	D2693	San José de Cúcuta	851136	1376429	300	Horno Colmena	Carbón Mineral
2	Cerámica Tamesis	D2693	San José de Cúcuta	841080	1355100	430	Horno Colmena	Carbón Mineral
3	Tejar Santa Rosa	D2693	San José de Cúcuta	835950	1367500	230	Horno Colmena	Carbón Mineral
4	Tejar San Gerardo	D2693	San José de Cúcuta	844567	1370791	280	Horno Colmena	Carbón Mineral
5	Cerámica Santa Ana	D2693	San José de Cúcuta	845576	1363421	410	Horno Colmena	Carbón Mineral
6	Arcillas del Oriente	D2693	San José de Cúcuta	844825	1371175	280	Horno Colmena	Carbón Mineral
7	Ladrillos Cortés	D2693	San José de Cúcuta	840950	1362100	350	Horno Colmena	Carbón Mineral
8	Ladrillera Leyva	D2693	San José de Cúcuta	841620	1362920	340	Horno Colmena	Carbón Mineral
9	Tejar de Pescadero	D2693	San José de Cúcuta	842483	1365456	310	Horno Colmena	Carbón Mineral
10	Tejar Casa Blanca	D2693	San José de Cúcuta	835659	1367892	230	Horno Colmena	Carbón Mineral
11	Tejar Santa Teresa	D2693	San José de Cúcuta	835820	1367680	260	Horno Colmena	Carbón Mineral
12	Chircal Arcigres	D2693	San José de Cúcuta	834800	1369000	210	Horno Colmena	Carbón Mineral
13	Planta de Asfalto V & C	D2322	San José de Cúcuta	846957	1366608	315	Horno Colmena	Carbón Mineral
14	Cerámica Italia	D2693	San José de Cúcuta	844000	1368000	280	Atomizadores	Full oil
15	Incolmine	D2310	San José de Cúcuta	851300	1380500	330	Horno Colmena	Carbón Mineral
16	Café Galaviz	D1563	San José de Cúcuta	842675	1366264	275	Caldera	Carbón Mineral
17	Café Frontera	D1563	San José de Cúcuta	841978	1364083	315	Caldera	ACPM
18	Bascula El Brillante	D1541	San José de Cúcuta	843034	1368360	280	Quemadores	ACPM
19	La Motilona Aseo Total	O9000	San José de Cúcuta	837281	1366556	265	Horno Incinerador	GLP
20	Guayabal Aseo Urbano	O9000	San José de Cúcuta	841532	1377880	220	Horno Incinerador	GLP
21	Gaseosas La Frontera	D1594	San José de Cúcuta	846865	1366697	240	Caldera	Full oil
22	Pasteurizadota La Mejor	D1530	San José de Cúcuta	842472	1365051	305	Caldera	Full oil
23	Lav y Tint Lavarapid	D1810	San José de Cúcuta	843512	1367003	280	Caldera	Carbón Mineral
24	Lav y Tint Tintex	D1810	San José de Cúcuta	843511	1367134	285	Caldera	Carbón Mineral

No.	EMPRESA	CIU	MUNICIPIO	COORDENADAS ORIGEN ESTE		ELEVACIÓN Z	EQUIPO DE COMBUSTIÓN	TIPO COMBUSTIBLE
				X	Y			
25	Lav y Tint Jucky Sport	D1810	San José de Cúcuta	843490	1367115	285	Caldera	Carbón Mineral
26	Lav y Tint Nuevo Milenio	D1810	San José de Cúcuta	842857	136619	280	Caldera	Carbón Mineral
27	Lav y Tint Jair Protex	D1810	San José de Cúcuta	843400	1367106	280	Caldera	Carbón Mineral
28	Lav y Tint Impacto Tropical	D1810	San José de Cúcuta	843422	1367078	285	Caldera	Carbón Mineral
29	Lav y Tint American Texas	D1810	San José de Cúcuta	843439	1367078	285	Caldera	Carbón Mineral
30	Lav y Tint Richard Jeans	D1810	San José de Cúcuta	843494	1367047	280	Caldera	Carbón Mineral
31	Lav y Tint Imperio	D1810	San José de Cúcuta	842482	1365061	305	Caldera	Carbón Mineral
32	Lav y Tint Americana	D1810	San José de Cúcuta	842482	1365081	305	Caldera	Carbón Mineral
33	Lav y Tint Simey	D1810	San José de Cúcuta	842478	1365081	305	Caldera	Carbón Mineral
34	Lav y Tint Panter Sport	D1810	San José de Cúcuta	842481	1365057	305	Caldera	Carbón Mineral
35	Lav y Tint Yureimar	D1810	San José de Cúcuta	839586	1366253	300	Caldera	ACPM
36	Lav y Tint San Carlos	D1810	San José de Cúcuta	843152	1367421	280	Caldera	Carbón Mineral
37	Tejar Margres	D2693	Villa del Rosario	845880	1356660	480	Horno Colmena	Carbón Mineral
38	Tejar Babilonia	D2693	Villa del Rosario	846100	1356700	450	Horno Colmena	Carbón Mineral
39	Ladrillera Cúcuta	D2693	Villa del Rosario	845600	1358300	430	Horno Colmena	Carbón Mineral
40	Café Crisol	D1563	Villa del Rosario	846573	1358373	400	Caldera	ACPM
41	Aluminios Onava	D2899	Villa del Rosario	846447	1359777	370	Caldera	Gas Natural
42	Laminados Cúcuta	D3710	Villa del Rosario	845398	1361343	380	Caldera	ACPM
43	Tubos La Fama	D2693	Los Patios	842400	1356810	430	Horno Colmena	Carbón Mineral
44	Ladrillera Sigma	D2693	Los Patios	841600	1354400	480	Horno Colmena	Carbón Mineral
45	Tejar Los Vados	D2693	Los Patios	841500	1352250	465	Horno Colmena	Carbón Mineral
46	Cementos Diamante	D2694	Los Patios	842760	1357300	425	Horno Klinker	Carbón Mineral
47	Pavimentos y Construcciones	D2322	Los Patios	839320	1349390	510	Horno Rotatorio Caldera	ACPM - Full oil
48	Velaciones San José	O9303	Los Patios	843440	1359860	410	Horno Crematorio	GLP
49	Cerámica Andina	D2693	San Cayetano	827700	1366100	370	Horno Túnel Rodillos	Crudo de Castilla - GLP
50	Termotasajero	E4010	San Cayetano	826804	1360305	400	Caldera Acuatubular	Carbón Mineral

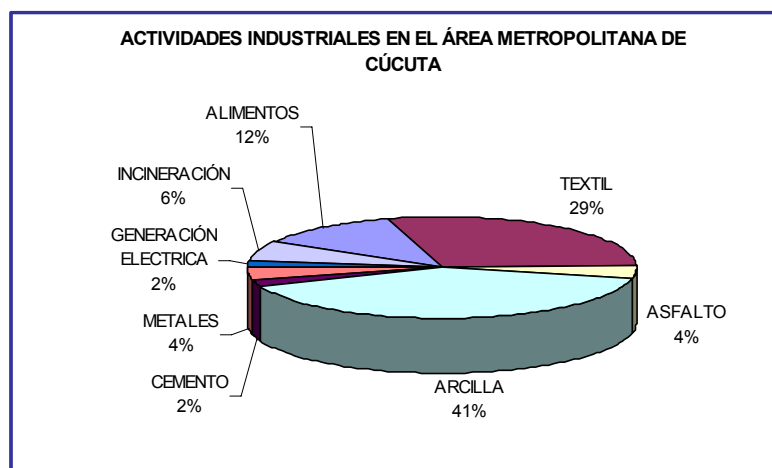
Fuente: Autores

De la industria de la arcilla existentes en la zona de estudio, dos de ellas cuentan en sus procesos con tecnología de punta, en sus líneas de producción con hornos de rodillos y túnel operados con gas natural y/o fuel oil (Cerámica Italia y Cerámica Andina). Las demás empresas medianas cuentan con procesos de producción tecnificados utilizando para sus quemas hornos de tipo Hoffman y Colmena a base de Carbón Mineral. El Área Metropolitana cuenta con otras grandes industrias como son Termotasajero, mayor consumidor de carbón mineral del Departamento y Cementos Diamante (Cemex) ubicado en el municipio de Los Patios.

El Área Metropolitana cuenta con focos de contaminación, uno de ellos en las comunas 1 y 5 donde se halla localizado el eje industrial, allí se encuentran instaladas principalmente lavanderías y tintorerías, industrias molineras de arroz, tostadoras de café, pasteurizadora y Cerámica Italia. Otro foco se presenta en la periferia de la ciudad ubicada en la vía al Zulia donde se encuentran algunas de las industrias medianas de la arcilla y otro foco está ubicado en la zona de San Faustino, donde se realiza la coquización en hornos colmenas.

7.1.1 Tipos y Características de los Combustibles¹². En la Tabla 24 se hace una descripción de las características de los combustibles utilizados por las fuentes fijas puntuales del área de estudio, entre ellos están el Carbón Mineral, ACPM, fuel oil, Gas Natural y Crudo de Castilla. Estas características son tenidas en cuenta para el calculo de la emisiones por medio de factores de emisión de Material particulado y óxidos de azufre.

Gráfica 10. Tipo de actividades generadoras de emisiones a la atmósfera en el Área Metropolitana de Cúcuta.



¹² ECOPETROL Catalogo de Productos. Fichas de seguridad
www.ecopetrol.com.co/especiales/catálogo.htm

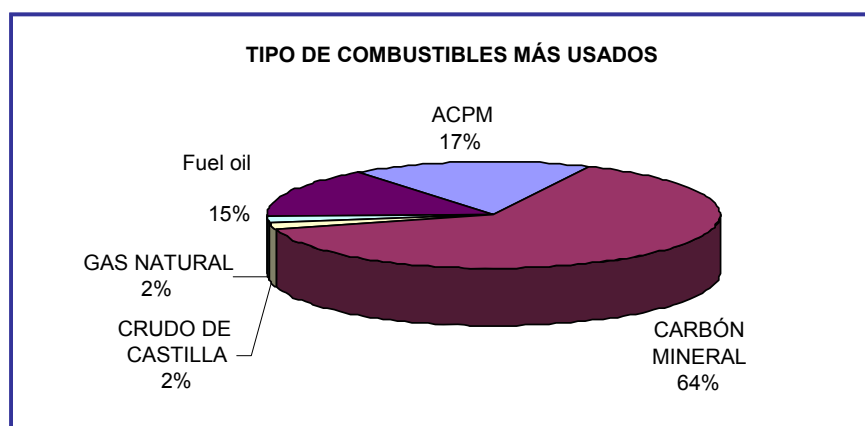
Fuente: Autores.

Tabla 24. Características de los combustibles usados por fuentes fijas puntuales.

COMBUSTIBLE	AZUFRE (%)	CENIZAS (%)	OBSERVACIÓN
Carbón Mineral	0.69	11.05	Combustible sólido de origen vegetal. Los tipos de carbón se clasifican por su contenido de carbono, además contiene hidrocarburos volátiles, azufre, nitrógeno y diferentes minerales.
ACPM	0.45	0.01	Mezcla de hidrocarburos, con cantidades pequeñas de aditivos de color ámbar.
Fuel oil o Combustóleo	4	0.1	Fuel oil NO. 6 elaborado a partir de productos residuales que se obtienen de la refinación de petróleo.
Crudo de Castilla	1.93	0.8	Mezcla de crudo de castilla con otros crudos pesados.
GLP	140 mg/kg	---	Mezcla liviana de hidrocarburos livianos, compuestos por propano, butano y compuestos derivados de estos.
COMBUSTIBLE	METANO (%)	ETANO (%)	OBSERVACIÓN
Gas Natural	82.29	12.44	Mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso, en su mayor parte constituida por metano y etano, en menores proporciones propano, butano y pentano e hidrocarburos mas pesados.

Fuente: ECOPEL

Gráfica 11. Tipo de combustibles utilizados por las fuentes fijas puntuales en el Área Metropolitana de Cúcuta.

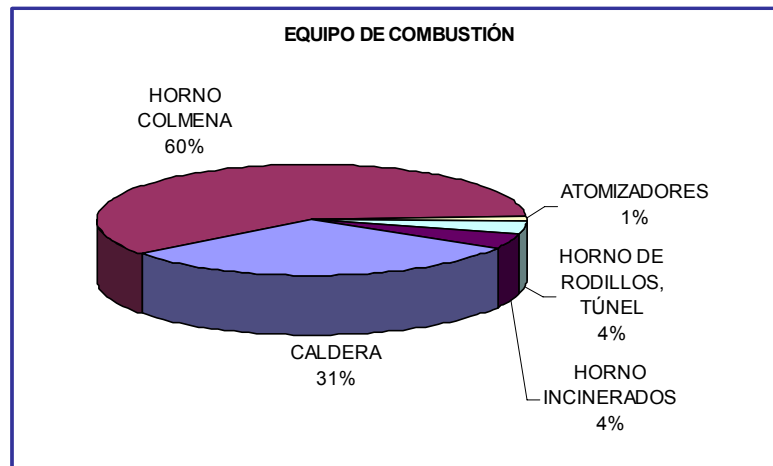


Fuente: Autores.

7.1.2 Equipos de Combustión generadores de emisiones. A continuación se muestra en la gráfica 12 la distribución porcentual de los equipos de combustión encontrados en el área metropolitana. Debido a que la industria de la arcilla es una de las más representativas en la zona, el equipo de combustión con mayor

distribución porcentual es el Horno colmena con un 60%, seguido por calderas con un 31%. Otro de los equipos de combustión presentes son los Hornos túnel, Rodillos, Hoffman y Atomizadores utilizados para la producción de material cerámico y en menor proporción hornos incineradores.

Gráfica 12. Tipos de equipos de combustión en el Área Metropolitana.



Fuente: Autores.

7.1.3 Estimación de Emisiones. Para la estimación de emisiones generadas por fuentes fijas puntuales se tomó información de los muestreos isocinéticos realizados a cada una de las fuentes y se aplicaron factores de emisión de la EPA a fuentes que no han sido muestreadas.

La expresión utilizada para el cálculo de emisiones por factores fue la siguiente:

$$E = FE * A (1 - ER / 100)^{13}$$

Donde:

E : Emisión en g/s

FE : Factor de emisión en g/ material – actividad u otra unidad característica de la producción.

A : Nivel de actividad o cantidad de materia prima o combustible, cuantificable por la fuente .

ER : Eficiencia del equipo de control, si lo tiene.

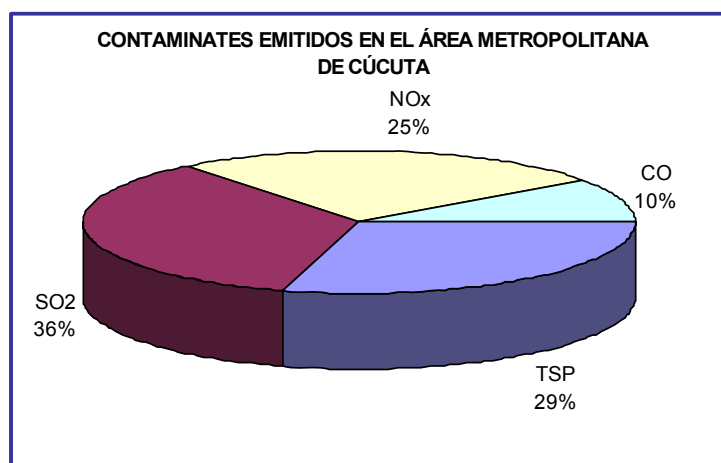
Los factores de emisión utilizados fueron tomados del AP 42 de la EPA, los capítulos:

¹³ Environmental Protection Agency (EPA).

- Emission Factor For Bituminous and Sub-bituminous Coal Combustion: se tomaron factores de emisión para Unidades Manuales de Carbón y Calderas a Carbón.
- Section 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion.
- Section 1.3 Fuel Oil Combustion.
- Section 1.4 Emission Factor Documentation Natural Gas Combustion.
- Section 2.6 Emission Factor Documentation for Medical Waste Incineration.

7.1.3.1 Cargas contaminantes emitidas en el Área Metropolitana de Cúcuta por fuentes fijas puntuales. Como se muestra en la Gráfica 13 en el área metropolitana de Cúcuta las mayores cargas contaminantes son las de dióxido de azufre; hallándose en la zona urbana en las comunas 1 y 5 donde se encuentran ubicado el eje industrial de la Ciudad de Cúcuta y parte del municipio de San Cayetano donde se ve afectada por la termoeléctrica. Las industrias que aportan la mayor cantidad de dióxido de azufre en la zona de estudio son las que utilizan como combustible fuel oil, debido a su porcentaje de azufre (4%) que hace que se genere esté tipo de contaminante en la combustión.

Gráfica 13. Distribución porcentual de contaminantes emitidos por fuentes fijas puntuales en el área de estudio.



Fuente: Autores.

En la comuna 1 se encuentran industrias como Pasteurizadota la Mejor, Café Galaviz, Café Frontera y la Lavandería y Tintorería Americana; en la comuna 5 se encuentra una de las industrias más grandes de la zona, Cerámica Italia y otras como las catorce Lavanderías y Tintorerías ubicadas en la ciudadela del calzado.

Tabla 25. Emisiones de TSP, SO₂, NO_x Y CO, generadas por fuentes fijas puntuales en el área de estudio.

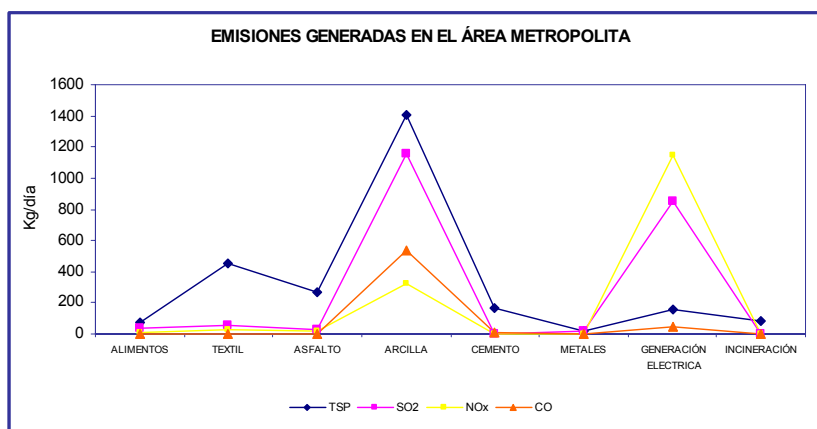
TIPO DE INDUSTRIA	CARGA CONTAMINANTE (Kg./DIA)			
	TSP	SO ₂	NO _x	CO
TEXTIL	449.58	56.08	28.72	1.54
ALIMENTOS	73.26	33.92	10.02	2.38
ARCILLA	1408.23	1159.43	326.44	536.67
INCINERACIÓN	81.46	4.15	1.49	2.00
METALES	18.19	17.28	3.92	1.23
ASFALTO	269.06	31.06	16.42	3.16
CEMENTO	169.08	2.60	0.16	4.90
GENERACIÓN ELÉCTRICA	156.16	853.36	1147.10	45.72
TOTAL	1719.11	2050.86	1485.05	586.77

Fuente: Autores

En la tabla 25 y Gráfica 14 se puede observar que de acuerdo con el tipo de industrias encontradas en el área metropolitana las mayores emisiones de TSP, SO₂, NO_x y CO son producidas por la industria mecanizada de la Arcilla, ya que esta es la principal actividad económica en la zona; seguida por la industria generadora de energía Termotasajero y la industria textil.

De cada uno de los parámetros estudiados, las emisiones de TSP son las más altas presentándose en el sector de la arcilla y la industria textil; la mayoría de estas industrias utilizan Carbón Mineral como combustible (un porcentaje de cenizas de 11.05%) lo cual genera material particulado. Las concentraciones de NO_x se presentan en mayor proporción en la industria generadora de energía y en la industria de la arcilla. Al igual que NO_x, las más altas emisiones de SO₂ se presentan en el sector de arcilla y en la generación de energía.

Gráfica 14. Emisiones generadas de TSP, SO₂, NO_x y CO por tipo de industria.



Fuente: Autores.

7.2 INVENTARIO DE FUENTES FIJAS DIFUSAS

Las fuentes inventariadas como fuentes fijas difusas pertenecen a tres sectores: Chircales de Subsistencia, patios de acopio y molinos de arroz.

Los chircales de subsistencia presentes en la zona utilizan hornos pampas para su producción, equipos de combustión que no poseen ducto de emisión, y manejando como combustible carbón mineral, trozos de madera y en ocasiones llantas. Las emisiones presentadas en la tabla 26 fueron calculadas por factores de emisión de la EPA el AP-42 Section Emission Factor For Bituminous and Sub-bituminous Coal Combustión.

En el área metropolitana se presentan patios de acopio de carbón debido a la presencia de grandes yacimientos de carbón mineral y carbón coquizable. En la tabla 26 se observa el área promedio del frente de trabajo de los patios de acopio.

Tabla 26. Consolidado de emisiones en el Área Metropolitana debidas a los chircales de subsistencia.

FUENTE	COORDENADAS		LADO M ²	ÁREA M ²	EMISIÓN (g/s-m ²)			
	X	Y			TSP	SO ₂	NO _x	CO
Chircal de Subsistencia	845199	1357380	15.8	250	4.8E-05	6.9E-05	2.9E-05	8.8E-04
Chircal de Subsistencia	845103	1357227	17.3	300	3.6E-05	5.2E-05	2.2E-05	6.7E-04
Chircal de Subsistencia	845679	1357526	10	100	1.7E-04	2.5E-04	1.07E-04	3.2E-03
Chircal de Subsistencia	845453	1357695	15.8	250	4.9E-05	7.0E-05	2.9E-05	9.0E-04
Chircal de Subsistencia	845336	1358008	17.5	380	4.0E-05	5.8E-05	2.4E-05	7.5E-04
La Peñita	831293	1370994	14.8	220	5.9E-05	8.5E-05	3.6E-05	1.1E-03
Manuel Meco	832069	1370552	7.1	50	1.5E-04	2.2E-04	9.5E-05	2.9E-03
Marco Chávez	832098	1367423	7.1	50	2.6E-04	3.7E-04	1.5E-04	4.9E-03
El Saman	831332	1360738	10	100	1.0E-04	1.5E-04	6.3E-05	1.9E-03
Florencia I	831023	1371296	16.7	280	4.6E-04	6.6E-04	2.8E-04	8.6E-03
Florencia II	833970	1369509	15.8	250	4.2E-04	5.9E-04	2.5E-04	7.7E-03
Vista Hermosa	831520	1371522	12.2	150	8.7E-05	1.2E-04	5.3E-05	1.6E-03
Pisos del Norte	831565	1372792	12.2	150	1.0E-04	1.5E-04	6.4E-05	1.9E-03
Pisos y Enchapes	829725	1370215	17.3	300	7.8E-05	1.1E-04	4.8E-05	1.4E-03
San Carlos	831439	1372103	18.2	330	7.9E-05	1.1E-04	4.8E-05	1.5E-03

TOTAL	3160	2.2E-03	3.1E-03	1.3E-03	4.0E-02
--------------	------	---------	---------	---------	---------

Fuente: Autores.

Para el cálculo de las emisiones generadas por los patios de acopio se utilizó los factores de la EPA, AP-42 Emission Factor Western Surface Coal Mines. La EPA (1990, p 8.24-4) propuso la siguiente ecuación para estimar la emisión de material particulado generado por una pila activa de carbón:

$$E = k * 1.8 U_c \text{ (Kg. /Ha - hr)}$$

Donde:

E : Emisión en g/s

K : Factor de control para manejo especial.

1 = con buldózer y camiones

0.8 = con apiladores, reclamadores y bandas

FE : Factor de emisión (1.8U_e)

U_c : Velocidad del viento a la altura de superficie considerada (m/s)

$$U_e = U_{10} \frac{\ln(h_c / h_o)}{\ln(10 / h_o)}$$

Donde:

U_c : Velocidad del viento a la emisión

U₁₀ : Velocidad del viento a 10m de altura

h_c : Altura de emisión del área considerada

h_o : Altura de rugosidad, para pilas de carbón se recomienda 0.003m

Tabla 27. Patios de acopio en el Área Metropolitana y promedio del frente de trabajo.

PATIO DE ACOPIO	MUNICIPIO	AREA (m ²)
Inversiones Reingeniería y Transporte	San José de Cúcuta	6000
La Viagualla	San José de Cúcuta	2733
CONMINAS Maporal	San José de Cúcuta	36000
Prominorte	San José de Cúcuta	2800
Carbones La Aurora	San José de Cúcuta	8000
Carbotex	Los Patios	4200
Colcarbex	El Zulia	14550
La Carrizala	El Zulia	10910
TOTAL		85193
Promedio de Área		10649

Fuente: Autores

Se encontraron cinco molinos de arroz ubicados en nuestra zona de interés, a continuación se relaciona cada una de ellas con la emisión de TSP producida, la cual fue calculada con factores de emisión de la EPA del AP-42 Section Emission Factor For Grain Processing Facilities (Mill House).

Tabla 28. Emisión de TSP de molinos de arroz.

MOLINO DE ARROZ	COORDENADAS		ÁREA M ²	EMISIÓN TSP (g/s-m ²)
	X	Y		
COAGRONORTE	843355	1369054	280	1.84E-03
ARROZ ORO	830619	1369006	250	1.88E-03
ARROCERA SAN VALENTIN	842824	1366228	200	2.27E-03
ARROCERA GELVEZ	842541	1366440	230	1.83E-03
ARROCERA LA PALESTINA	842964	1366396	250	2.00E-03
TOTAL			1210	9.82E-03

Fuente: Autores

7.3 INVENTARIO DE FUENTES MÓVILES

Las fuentes móviles sólo se tuvieron en cuenta para la ciudad de Cúcuta dado que esta, es centro comercial de intercambio y servicios a nivel metropolitano, regional y binacional, lo cual hace que en su malla vial se presente mayor flujo vehicular.

Para realizar el inventario de las fuentes móviles de emisión, se obtuvo información de la Secretaria de Tránsito y transporte de Cúcuta, a partir de la cual se estableció la malla vial a estimar según el volumen de tráfico.

A partir de dicha información fueron establecidas las vías en las que se llevaría a cabo conteos que reflejen el verdadero flujo hora a hora en cada una de ellas; el centro de la ciudad es el principal sector de flujo durante el día, además, como este es destino de la gran mayoría de conductores, se realizó conteo en los puentes que conectan el centro con la periferia de la ciudad sobre el río Pamplonita, así como otras vías de gran importancia por la alta afluencia de vehículos y por la vulnerabilidad de la población.

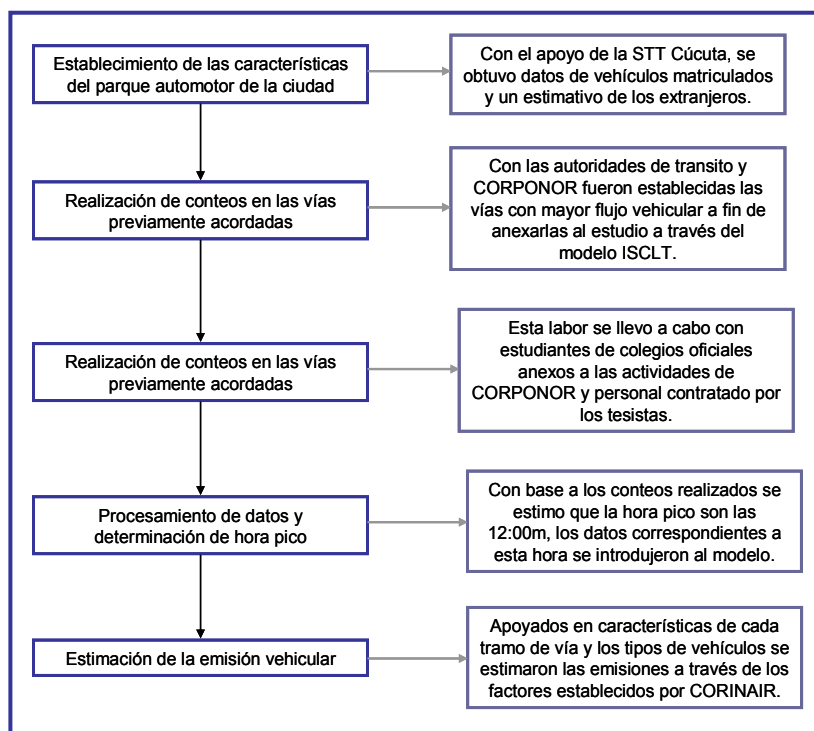
El conteo se realizó en jornadas de 11 horas, tres días a la semana durante tres semanas, a fin de obtener datos representativos, se decidió tomar dos días típicos (miércoles y jueves) y uno atípico (viernes, atendiendo a que este día presenta más movilidad de la población).

El siguiente cuadro presenta el procedimiento que se siguió para establecer el inventario de fuentes móviles para la ciudad de Cúcuta:

7.3.1 Características del Parque Automotor de Cúcuta. Como ya se menciona en el cuadro anterior, la información ha sido suministrada por la Secretaria de

Tránsito y Transporte de San José de Cúcuta, en la que se establece la cantidad de vehículos matriculados por tipo y servicio; y se da un estimativo de los vehículos extranjeros que circula normalmente.

Cuadro 6. Metodología del inventario de fuentes móviles.



Fuente: Autores

Tabla 29. Composición vehicular detallada por tipo de vehículo y servicio en San José de Cúcuta.

TIPO DE VEHICULO	No. VEHICULOS POR TIPO DE SERVICIO ^{a)}			TOTAL
	OFICIAL	PÚBLICO	PARTICULAR	
AUTOMOVIL	5	4421	1433	5859
BUS	2	26	8	36
BUSETA	---	115	10	125
CAMIÓN	17	86	152	255
CAMIONETA	29	115	763	907
CAMPERO	14	6	258	278
MICROBUS	5	1816	18	1839
TRACTOMULA	---	27	7	34
VOLQUETA	6	55	77	138
MOTOCICLETAS	139	---	8633	8772
TRACTOCAMIÓN	---	8	3	11
VAN	2	2	3	7
OTRO	---	---	4	4
TOTAL	219	6677	15386	18265

a) Información suministrada por el Departamento Administrativo de Tránsito y Transporte de San José de Cúcuta.

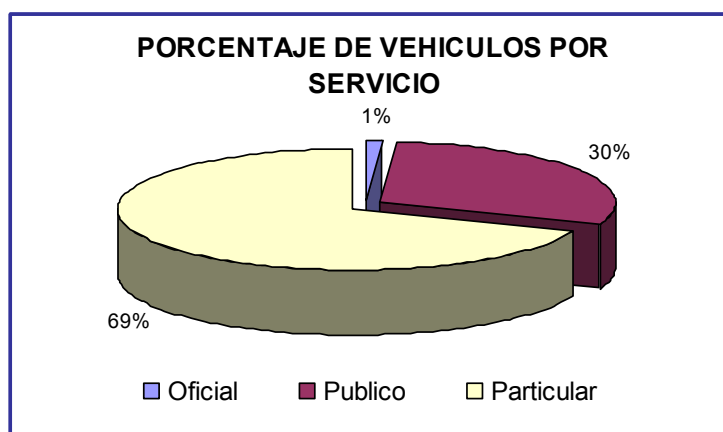
Fuente: Autores

Tabla 30. Composición vehicular del parque automotor venezolano que transita en la ciudad de Cúcuta.

TIPO DE VEHICULO ^{a)}	INTERNADOS	DE PASO	TOTAL
AUTOMOVIL	10318	2460	12778
CAMPERO	7738	1845	9583
CAMIONETA	2915	695	3610
TOTAL	20971	5000	25971

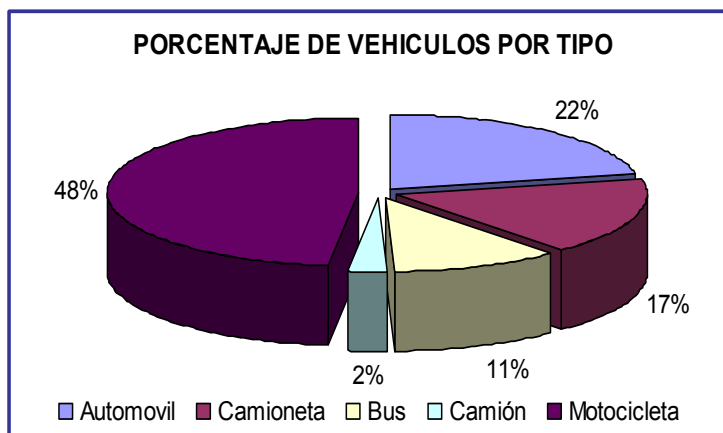
a) Información suministrada por El Banco de la República de la Ciudad de San José de Cúcuta.
Fuente: Autores

Gráfica 15. Vehículos de placas colombianas detallados por servicio.



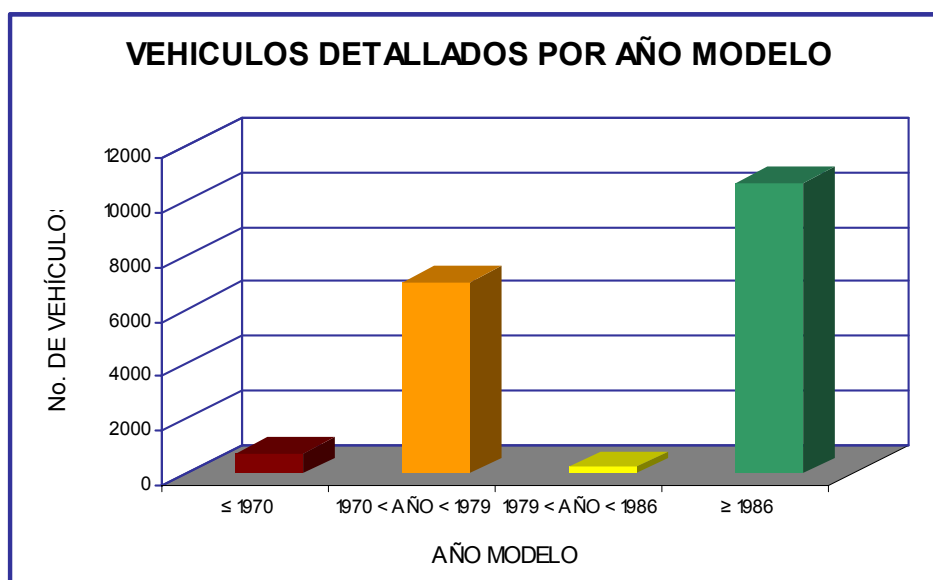
Fuente: Autores.

Gráfica 16. Vehículos placas colombianas detallados por tipo.



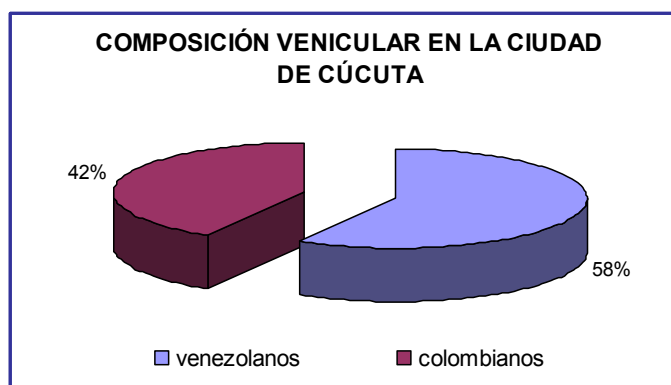
Fuente: Autores.

Gráfica 17. Composición de vehículos matriculados en la ciudad de Cúcuta según año modelo.



Fuente: Autores.

Gráfica 18. Clasificación de vehículos en la ciudad de Cúcuta por tipo de matrícula.



Fuente: Autores.

En cuanto a las matriculas venezolanas, se tiene una cifra de 20971 vehículos internados; sin embargo se tiene un estimativo de cerca de 26000 vehículos venezolanos que circulan en la ciudad de manera permanente.

7.3.2 Tipo y características de los combustibles¹⁴. A continuación en la tabla 31 se hace una descripción de las características de los combustibles usados por fuentes móviles correspondientes al área de estudio como son la Gasolina y ACPM. Cabe anotar que la gran parte de la gasolina consumida en el área metropolitana de Cúcuta es de origen venezolano, la cual posee contenido de plomo.

Tabla 31. Características de los combustibles Utilizados por fuentes móviles.

Tipo	Parámetro	Unidades	Valor
Gasolina corriente	Octanaje	Octano	89
	Presión de vapor	Psi	8.2
	Azufre	% masa	0.137
	Plomo	mg/l	87.02
Gasolina extra	Octanaje	Octano	81
	Presión de vapor	Kpa	58
	Azufre	% masa	0.013
	Plomo	g/l	
Gasolina ecológica	Octanaje	Octano	91
	Presión de vapor	psi	9
	Azufre	% masa	0.1
Diesel	Punto de fluidez	°C	0
	Punto de inflamación	°C	65
	Azufre	% masa	0.45
	Cenizas	% masa	0.001

Fuente: ECOPETROL

Como se observa en la gráfica 19 los combustibles más usados por los automotores en el Área Metropolitana de Cúcuta son la Gasolina Corriente y el ACPM con un 53% y 30% respectivamente.

7.3.3 Establecimiento de la malla vial. Para llevar a cabo los conteos, inicialmente se seleccionaron las vías de mayor importancia en cuanto al volumen vehicular allí presente, tomando como punto de referencia el centro de la ciudad y sectores con mayor afluencia de población, en los anexos se presenta la cartografía concerniente a las fuentes móviles y malla vial.

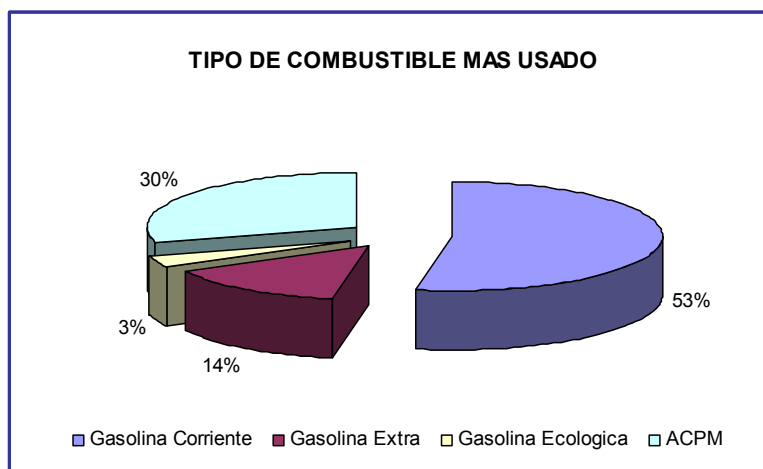
Los conteos fueron realizados en las intersecciones; con el fin de aplicar los factores de emisión de CORINAIR, se clasificaron los vehículos que transitan en: automóviles entre 1.4 y 2 Litros, automóviles mayores a 2 Litros, buses, camiones y motocicletas.

Según los conteos realizados, las horas de mayor flujo vehicular son las comprendidas entre las 8:00 a.m. y las 9:00 a.m., las 12:00 p.m. y la 1:00 p.m. y las 6:00 p.m. y las 7:00 p.m.; los valores de la mañana y la noche no se presentan

¹⁴ ECOPETROL Catalogo de Productos. Fichas de seguridad
www.ecopetrol.com.co/especiales/catálogo.htm

tan generalizados como los de medio día, razón por la cual se tomaron los conteos de las 12:00 p.m. para la aplicación del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. La tabla 32 presenta un consolidado de la malla vial establecida con los valores equivalentes de vehículos en las horas pico; en los anexos se puede observar con más detalle los conteos, factores de emisión utilizados y emisiones estimadas.

Gráfica 19. Tipos de combustibles utilizados por fuentes móviles en el Área Metropolitana de Cúcuta.



Fuente: Autores.

7.3.4 Estimación de la emisión vehicular. Para calcular dichas emisiones, se utilizaron los factores de emisión¹⁵ para fuentes móviles de CORINAIR, mediante los cuales, y contando con información específica como el tipo de vehículo, cilindraje, año modelo; y aspectos de la vía como su longitud, velocidad promedio del tránsito y lógicamente la cantidad de vehículos que transitan allí en una hora, las emisiones se hallaron mediante el siguiente algoritmo:

$$\text{Emisión (g/h)} = (\text{FE} \cdot \text{L} \cdot \text{No. Veh./h})$$

Donde:

FE : Factor de emisión en (g/Km.).

L : longitud del tramo de vía en (Km.)

No.veh/h : numero de vehículos que transitan por el tramo en una hora.

Para la introducción de las emisiones en el modelo de dispersión de contaminantes, dado que estas son tomadas como fuentes de área, se debe realizar la siguiente conversión:

¹⁵ Universidad Pontificia Bolivariana Medellín – Colombia. Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión CORINAIR. 1999.

$$\text{Emisión (g/s-m}^2\text{)} = \text{Emisión (g/h)/A/3600}$$

Donde:

A : área del tramo de vía, producto de la longitud por el ancho (m²).

3600 : conversión de horas a segundos.

Tabla 32. Flujo vehicular para la malla vial establecida del área de estudio en horas pico.

VÍA O TRAMO	HORA PICO	No. Vehículos Equivalentes
Av. 0 Desde Calle 8 a Calle 13	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	2863
Av. 1 Desde Calle 8 a Calle 13	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1514
Av. 2 Desde Calle 8 a Calle 12	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1474
Av. 3 Desde Calle 8 a Calle 12	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1089
Av. 5 Desde Calle 8 a Calle 13	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1421
Av. 6 Desde Calle 8 a Calle 13	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1337
Av. 7 Desde Calle 8 a Calle 13	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1439
Av. 8 Desde Calle 8 a Calle 13	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1515
Calle 10 Desde Av. 1 a Av 8	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	2220
Calle 11 Desde Av 1 a Av 8	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	2484
Puente Francisco Andrade Puente Elías Mauricio Soto Puente Jorge Gaitán Durán Puente San Rafael	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1039 4598 2327 1563
Avenida Libertadores Desde Redoma el Salado a El Canal Bogotá	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	1086
Av Guimaral Desde CII 2 a CII 8N	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	506
Diag Santander Desde CORPONOR a Av Gran Colombia	8:00 – 9:00 12:00 – 1:00 18:00 – 19:00	481

Fuente: Autores.

7.3.5 Emisiones obtenidas para fuentes móviles en la ciudad de San José de Cúcuta. En la tabla 33 se muestran los resultados de emisiones por tipo de vehículo y por tipo de contaminante.

Tabla 33. Emisión diaria de contaminantes por fuentes móviles.

TIPO DE VEHICULO	CARGA CONTAMINANTE (Kg/DIA)				TOTAL
	CO	NOX	TSP	SO2	
AUTOMOVIL 1.4-2L	155.86	54.75	1.36	0.24	212.21
AUTOMOVIL > 2L	122.46	53.26	1.43	0.15	177.3
BUS	20.45	72.73	5.35	9.95	108.48
MOTO	189.02	0.44	0.48	0.06	190
CAMION	4.57	15.31	1.85	3.4	25.13
TOTAL	492.36	196.49	10.47	13.8	713.12

Fuente: Autores

Como se puede observar en la tabla, el monóxido de carbono es el contaminante más generado, siendo los automóviles y las motocicletas las principales fuentes de este aportando el 56.5% y el 38.4% respectivamente; en cuanto a las emisiones de óxidos de nitrógeno, los buses son los mayores aportantes con un 37%. Cabe anotar que los valores diarios relacionados en la tabla 33 corresponden a los resultados de los conteos que se realizaron durante 11 horas (de 7:00 a.m. a 6:00 p.m.), durante las cuales se presenta mayor flujo vehicular.

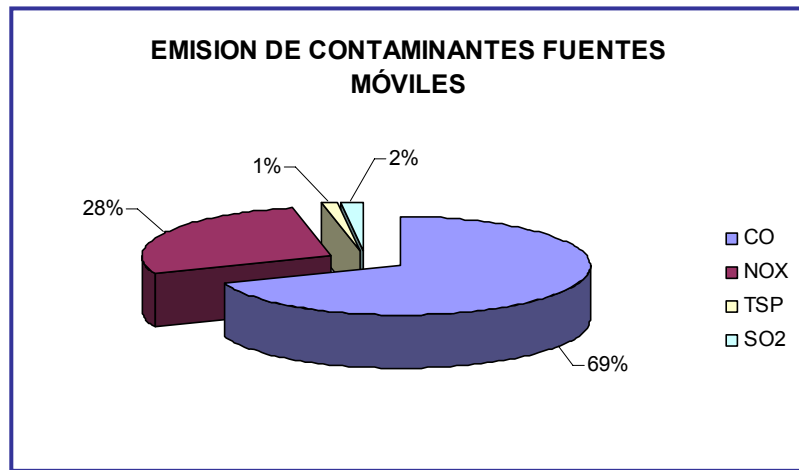
Por otro lado, el material particulado y el dióxido de azufre se presentan en menores cantidades con respecto a los demás contaminantes (ver gráfica 20).

Como el combustible utilizado por los buses es el ACPM, es de esperarse que estos sean los mayores aportantes de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno (ver gráfica 21). De igual manera se evidencia la combustión incompleta tanto en automóviles como en motocicletas por sus altos índices de generación de monóxido de carbono.

En la gráfica 22 se observa que la Diagonal Santander, el puente Jorge Gaitán, el puente Elías Soto y la Avenida Libertadores son las vías con mayor emisión de contaminantes y por lo tanto sus zonas aledañas tendrán prioridad en la fase de planeación del programa de vigilancia.

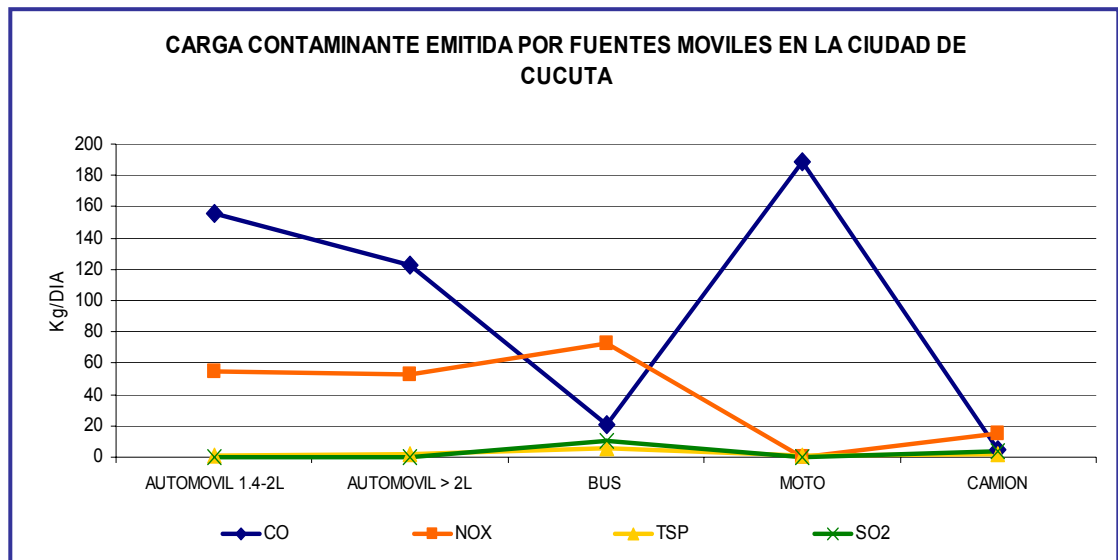
Con el fin de modelar el peor de los casos, se tomó como hora pico las 12:00 p.m., durante la cual se presenta mayor flujo vehicular y en consecuencia mayor emisión de contaminantes (ver Gráfica 23). En los anexos se presentan los factores de emisión utilizados en la estimación de emisiones por fuentes móviles en la ciudad de San José de Cúcuta.

Gráfica 20. Aporte de contaminantes por fuentes móviles en San José de Cúcuta.



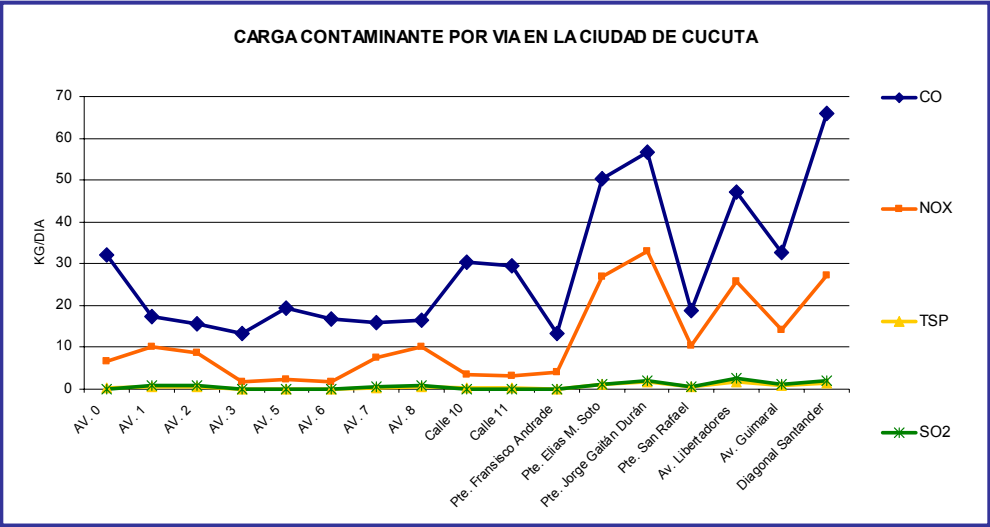
Fuente: Autores.

Gráfica 21. Emisión diaria de contaminantes por tipo de vehículo en San José de Cúcuta.



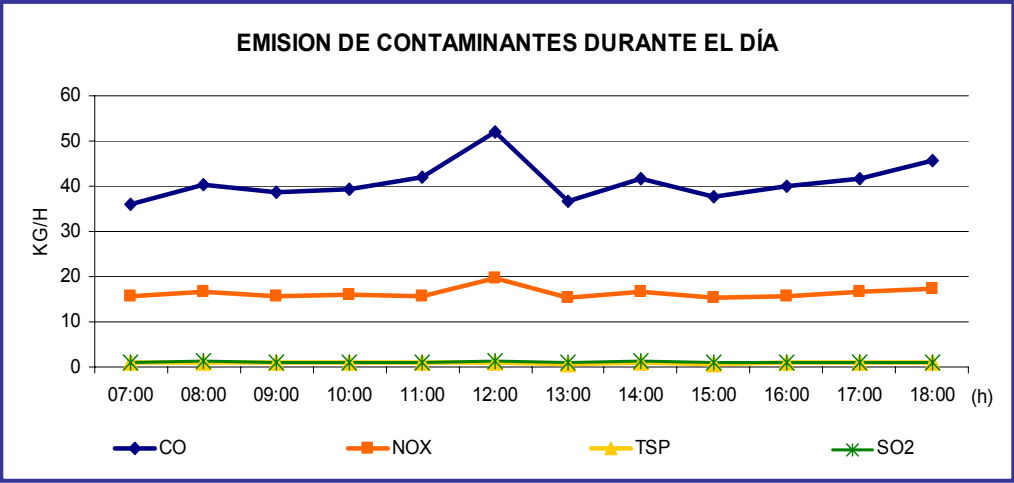
Fuente: Autores.

Gráfica 22. Emisión de contaminantes por fuentes móviles en las principales vías de San José de Cúcuta.



Fuente: Autores.

Gráfica 23. Emisión de contaminantes durante el día en San José de Cúcuta.



Fuente: Autores.

8. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

La corporación autónoma regional de la frontera nororiental, máxima autoridad ambiental en el Norte de Santander, tiene dentro de su misión lograr el desarrollo sostenible del departamento, administrando los recursos naturales renovables, orientando, controlando y regulando su uso y las actividades que puedan afectar al medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los nortesantandereanos. En este sentido cuenta con la Subdirección de Control de Calidad Ambiental que busca, entre otras actividades, ejercer control y vigilancia en el sector minero, agrícola, industrial y doméstico, determinando niveles de contaminación visual, auditiva y atmosférica.

Para cumplir con sus funciones, en diciembre de 1999, CORPONOR realizó el documento “Diseño de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en la Zona Industrial de Cúcuta” que agrupó en dos los diferentes objetivos a tener en cuenta para la instalación y operación de la red. Este documento determinó el área de influencia de la red en la Zona Industrial de San José de Cúcuta y determinó que la red de calidad del aire para esta área fuese establecida para determinar el grado de contaminación del aire, observar su tendencia e iniciar el análisis de las relaciones entre la contaminación y la salud humana, y evaluar las políticas de control sobre las fuentes emisoras de contaminantes. Esta red funcionó sin interrupciones desde noviembre de 1999 hasta mayo de 2003, emitiendo informes anuales del funcionamiento de la misma que incluyen información relacionada con los procedimientos de toma de muestras y cálculo de los promedios diarios, así como información estadística básica.

Con relación a la contaminación atmosférica, las emisiones industriales y de vehículos especialmente, en el área urbana, alcanzan niveles preocupantes. Las emisiones provenientes de Ureña, especialmente del Central Azucarero llegan a Cúcuta según la dirección del viento. En todos los municipios del Área Metropolitana, el problema es causado por las ladrilleras y las fabricas de productos de arcilla, la mayoría de ellas artesanales, pequeñas y medianas empresas, casi imposibles de regularizar. Sin embargo a través del tiempo, la corporación ha logrado erradicar gran número de estas actividades artesanales que no cuentan con el mínimo de control como lo son las chimeneas.

En 1997 fue creada la Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Afines con el fin de consolidar y desarrollar ideas en bien de los procesadores de arcilla, a la cual se unieron los principales industriales de arcilla del Área Metropolitana de Cúcuta.

En el año 2005 se logró establecer un convenio de Producción Más Limpia entre CORPONOR y el sector industrial de procesamiento de arcilla, con miras a proteger la calidad del aire mediante el desarrollo de buenas prácticas por parte de los industriales, con la colaboración de la Universidad Francisco de Paula Santander y su Centro de Investigación de Materiales de Arcilla y Cerámico CIMAC que cuenta con un laboratorio de materiales el cual se encuentra en proceso de acreditación. Además con el apoyo de COLCIENCIAS se propuso llevar a cabo unas pruebas piloto en algunas industrias para evaluar la calidad y efectividad de un combustible alternativo (CCTA Carbón – Combustóleo – Tensoactivo – Agua) como respuesta a las necesidades industriales y la protección del medio ambiente.

La contaminación de fuentes móviles, en especial de vehículos de carga se agrava debido a los congestionamientos y bajas velocidades en los puentes internacionales principalmente. Ello con una tendencia creciente, ya que el transporte de carga ha venido incrementado notoriamente. En este ámbito, la corporación reinició en 2005 los operativos de control a fuentes móviles con el fin de incentivar a la población a realizar la revisión técnico mecánica de manera periódica y tener en regla el certificado de emisiones, paralelamente se realiza seguimiento y control mediante dos visitas anuales y solicitud de informes mensuales a los cinco centros de diagnóstico autorizados para expedir dichos certificados, a los que se evalúa además de el estado de equipos, la idoneidad del operario.

Uno de los principales inconvenientes en el tema de fuentes móviles es que no se conoce a ciencia cierta la cantidad de vehículos que componen el parque automotor de la ciudad debido a la gran cantidad de vehículos con placa venezolana que obviamente no deben ser matriculados en Secretaría de Tránsito.

Los combustibles de mayor uso en la actividad industrial son el carbón mineral, seguido por el ACPM, GLP y gas natural. El control a estas industrias se lleva a cabo mediante visitas a la actividad y solicitud de muestreo de gases en chimenea cuyo procedimiento es auditado por un funcionario de la corporación.

La actual red de calidad del aire está conformada por cuatro estaciones semiautomáticas y una automática que en el momento se encuentran fuera de operación. Las estaciones semiautomáticas cuentan con equipos para medir Partículas Suspendidas Totales (PST) y la estación automática cuenta con equipos para medición de contaminantes criterio (PM₁₀, PST, SO₂, NO_x y CO). Los equipos de medición de material particulado (PST y PM₁₀) permiten obtener promedios diarios y los de gases promedios horarios.

8.1 DIAGNOSTICO DE LOS SITIOS DE MEDICIÓN RVCA SAN JOSÉ DE CÚCUTA (PERÍODO DE OPERACIÓN 1999 – 2003)

La Red de Vigilancia de la Calidad del Aire se conformó por cuatro estaciones semiautomáticas y una automática, actualmente las cinco estaciones se encuentran fuera de operación y los equipos automáticos en mal estado. Las estaciones semiautomáticas cuentan con equipos para la medición de Partículas Totales Suspendidas (PST) y la estación automática ubicada en las instalaciones de CORPONOR cuenta con equipos de medición de gases (NO_x, SO₂, CO) y con equipos semiautomáticos para la medición de PST y PM10.

La Red ubicada en la zona industrial de Cúcuta inició su funcionamiento en noviembre de 1999 hasta mayo de 2003 operando intermitentemente. La operación y mantenimiento de los equipos siempre estuvo a cargo de personal externo contratado por la Corporación, sin embargo, no se cuenta con procedimientos de validación de la información reportada por las estaciones.

Con este diagnostico se quiso evaluar los ítems de importancia de la red, como la apropiada ubicación de cada una de las estaciones, el estado de los equipos de medición, la idoneidad del personal profesional y técnico a cargo de la red y las instalaciones del laboratorio. La importancia de este análisis es determinar los puntos a tener en cuenta en el rediseño de la red.

Tabla 34. Contenido de las fichas de diagnostico para las estaciones de vigilancia de calidad del aire.

DIAGNOSTICO RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL EJE INDUSTRIAL DE CÚCUTA		
Nombre de La Estación		
UBICACIÓN: referencia las coordenadas planas donde se encuentra ubicada la estación.	MUESTREO: Nombra el tipo de contaminante muestreado o monitoreado en la estación.	ALTURA AL NIVEL DEL SUELO: altura a la que se encuentra el toma muestras de la estación.
DESCRIPCIÓN: Detalla el lugar en el que se encuentra la estación.	IMÁGENES DE LA ESTACIÓN Y LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN	ÁREA DE EXPOSICIÓN: representa el área que está siendo evaluada, residencial, industrial, institucional, comercial, o mixta, etc.
EMISIONES DE INTERFERENCIA: nos indica la existencia de emisiones locales que ocasionen interferencia para cumplir con el objetivo de la estación.		VÍA DE ACCESO: Evalúa el grado de dificultad de acceso de equipos y recolección de muestras:
ENERGÍA ELÉCTRICA: la estación cuenta con el servicio o no de energía eléctrica para la operación de los equipos.		SEGURIDAD: nos indica si los equipos se encuentran aislados de vandalismo o por si lo contrario el equipo en esta zona corre riesgo de robo o daño alguno.
DISTANCIA DE CAMINOS O VÍAS: Distancia existente entre la estación y el camino o vía.		INTERFERENCIAS: descripción de tipos de interferencias a las que esta expuesta para la correcta medición de contaminante a monitorear (árboles, edificios, muros o fuentes de emisión cercanas.)
OBSERVACIONES: se describen otro tipo de observaciones que no han sido mencionadas anteriormente.		

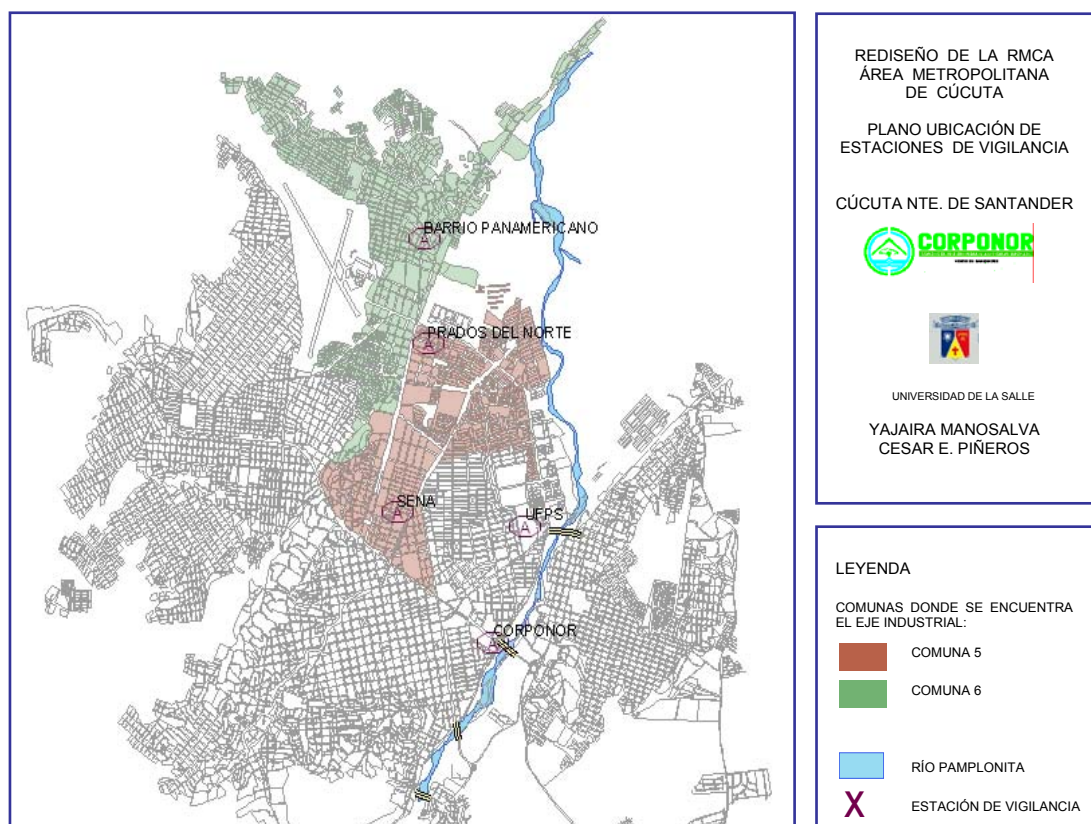
Fuente: Autores.

8.1.1 Evaluación a la ubicación de las actuales estaciones de la red de vigilancia de la calidad del aire. Las estaciones de vigilancia de la calidad del aire como se observa en la figura 9 se encuentran localizadas alrededor del eje industrial de Cúcuta, comunas 5 y 6, tal como se planteó en el diseño de la red.

Con el fin de verificar la correcta ubicación de las estaciones se realizaron visitas de campo a cada una de ellas, desarrollando listas de chequeo con base en parámetros de ubicación de equipos de medición establecidos por la EPA, el CETESB, la OMS y la OPS. Realizada la lista de chequeo se consolidó la información en fichas de diagnóstico, una por estación. En el tabla 34 se presenta la información incluida en cada una de las fichas, condensadas en el Anexo F.

Las estaciones se encuentran ubicadas en predios públicos, una de ellas en predio privado, se encuentran entre 3 y 13 metros de altura sobre el nivel del suelo; algunos sobre andamios o terrazas y caseta al nivel del piso.

Figura 9. Localización de las estaciones de la RVCA eje industrial.



Fuente: Autores.

8.1.2 Resultados del diagnóstico de las estaciones de vigilancia de Calidad del aire. A continuación se presentan los resultados de cada una de las estaciones, con la información que fue consignada en las fichas de diagnóstico.

- Estación Barrio Panamericano: Ubicada a siete (7) metros del suelo, a 8 metros de la vía panamericana, donde se presenta alto flujo vehicular ya que conduce a San Faustino y Puerto Santander; el equipo se encuentra montado sobre un andamio que requiere mantenimiento y aseguramiento. El lugar donde esta emplazado el equipo es un predio privado donde opera un montallantas y venta de gasolina; alrededor del lugar se encuentran áreas destapadas, viéndose esta estación afectada por emisiones locales.
Se hace necesaria la reubicación de esta estación asegurando que se encuentre retirada de interferencias, vías principales y emisiones locales.
- Estación Colegio Prados del Norte: Ubicada a cinco (5) metros del nivel del suelo, existe presencia de árboles al lado del equipo de medición que interfieren con la mediciones. Se encuentra separadas de vías principales y fuentes de emisión, esta montada sobre andamios inseguros debido a la cercanía de zonas de juego y niños.
Es aconsejable la reubicación de esta estación ya que el equipo de muestreo ubicado en el SENA es el mejor ubicado para cumplir con el objetivo de evaluar las emisiones generadas por el eje industrial.
- Estación SENA: Ubicada en la azotea del edificio del SENA a diez metros del nivel del suelo, sobre una andamio de dos cuerpos y vías de bajo flujo vehicular, se encuentra separada de interferencias, vías principales y fuentes de emisión, cuenta con seguridad en el entorno. Estación ubicada en un lugar donde se permite evaluar la contaminación proveniente del eje industrial de la ciudad.
- Estación Universidad Francisco de Paula Santander: Este equipo se encuentra en el último piso del edificio fundadores a quince metros del nivel del suelo aproximadamente, al lado de una estructura metálica que sirve de cubierta del edificio, se presenta alrededor árboles y construcciones que interfieren con las mediciones.
La permanencia de esta estación no cumple con los objetivos de la red de vigilancia de la calidad del aire debido a las interferencias que se presentan.
- Estación CORPONOR: única estación que cuenta con equipos automáticos para la medición de gases, ubicada en la zona verde de la entidad a dos metros del nivel del suelo, rodeada por árboles que interfieren las mediciones, el parqueadero de la Corporación y a menos de diez metros la Avenida Libertadores de alto flujo vehicular, provocando datos erróneos debido a emisiones locales.

Cabe resaltar que en la gestión de calidad del aire, no se ha dado a la red la importancia que merece que no cuenta con un presupuesto destinado a garantizar su operación continua, lo cual hace que no se presente una calidad en los datos obtenidos empezando por que no existe representatividad de estos.

8.2 ESTADO DE EQUIPOS, SUMINISTROS E INSTALACIONES DE LABORATORIO Y RECURSOS HUMANOS

Con el fin de conocer el estado de los equipos, la existencia de suministros y la verificación del laboratorio con el que cuenta la corporación y el grupo humano de trabajo, se realizaron las siguientes listas de chequeo:

- Lista de verificación del estado de los equipos de muestreo.
- Materiales y suministros con los que cuenta la red, para reparar, calibrar y realizar las mediciones meteorológicas.
- Instalaciones del laboratorio, si cuenta con los equipos necesarios, el espacio e iluminación adecuada y reactivos necesarios.
- Lista de verificación para recursos humanos.

Tabla 35. Descripción de las estaciones de la red de vigilancia de la calidad del aire en el eje industrial de Cúcuta.

PARÁMETRO	ESTACIÓN				
	1. Barrio Panamericano	2. C. Prados Norte	3. SENA	4. UFPS	5. CORPONOR
Contaminante monitoreado	PST	PST	PST	PST	PST, PM10, CO, NOx, SO ₂
Emissiones Locales	Zonas destapadas, Vía de alto flujo vehicular	---	---	---	Vía de alto flujo vehicular, Parqueadero
Interferencias	Árboles	Árboles	---	Árboles, Estructura Metálica	Árboles
Vías de acceso	Adecuada	Adecuada	Adecuada	Adecuada	Adecuada
Estructura	Montada sobre andamio de tres cuerpos	Montada sobre andamio de dos cuerpos	Montada sobre andamio de dos cuerpos	---	Equipos de medición de gases en caseta y material particulado en el techo de la caseta
Seguridad	Si	Si	Si	Si	Si
Energía Eléctrica	Si	Si	Si	Si	Si
Iluminación Interna	No	No	No	No	No

Fuente: Autores

Tabla 36. Listas de verificación para la RVCA.

LISTA DE VERIFICACIÓN No. 1 RECURSOS DE HUMANOS			
ITEM	SI	NO	OBSEVACIÓN
¿Se encuentra disponible un organigrama sobre las relaciones de mando entre el personal?		X	
¿Existe personal encargado de la Red?	X		Actualmente la red está a cargo de un Ing. Ambiental y un Técnico, sin tener definidas responsabilidades.
¿El personal disponible para operar y darle servicio a las estaciones de vigilancia está proporcionando soporte y analizando datos?		X	Durante su funcionamiento se generaron datos sin ser analizados.
¿Qué porcentaje de sus horas normales de trabajo esta disponible para		X	La red no se encuentra en

darle soporte al proyecto de la Red?			funcionamiento.
¿Tiene el personal disponible capacitación y/o experiencia en las siguientes áreas?			
Vigilancia de calidad del aire		X	
Operación de estación meteorológica		X	
Análisis de laboratorio o químico		X	
Análisis de datos y operación de computador personal		X	

LISTA DE VERIFICACIÓN No. 2 ESTADO DE EQUIPOS										
ESTACIÓN	1		2		3		4		5	
ITEM	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
¿Se dispone de inventario de equipos?		X		X		X		X		X
¿Los instrumentos o equipos funcionan?	X		X		X		X		X	X ^a
¿La infraestructura en la que se encuentran los equipos está en buen estado?		X		X		X		X	X	
¿Cuentan con instrucciones de operación y procedimientos de calibración?		X		X		X		X		X
LISTA DE VERIFICACIÓN No. 3 MATERIALES Y SUMINISTROS										
¿Se dispone de suministros de operación y mantenimiento (filtros, fusibles, escobillas, etc.)?	X ^b		X ^b		X ^b		X ^b		X ^b	
¿Cuentan con estándares de calibración y equipos (gases de calibración...)?		X		X		X		X		X
¿Equipo de mediciones meteorológicas?		X		X		X		X		X
¿Se integra información meteorológica a la operación de la red?		X		X		X		X		X
LISTA DE VERIFICACIÓN No. 4 INSTALACIONES DEL LABORATORIO										
ITEM	SI	NO	BUENA		REGULAR		MALA			
Espacio de trabajo bien ventilado o aire acondicionado.	X		X							
Suministro eléctrico e iluminación.	X		X							
Áreas en mesas para procesar información.	X				X					
Espacio para almacenar reactivos, artículos de vidrio.		X	-----		-----		-----		-----	
Fregadero con agua corriente.	X		X							
Sala de acondicionamiento.	X				X					
Extractor de gases.	X		X							
Balanza analítica.	X		X							
Caja o mesa de luz.		X	-----		-----		-----		-----	
Espectrofotómetro.	X		X							
Fuente de agua destilada.	X		X							
Horno de secado y refrigerador.	X		X							
Equipo de comunicación en campo.		X	-----		-----		-----		-----	
Libros de referencia sobre química e ingeniería.	X		X							
Aparatos de seguridad, extinguidores.	X		X							

X^a los equipos de medición de gases (CO, NOX, SO₂) se encuentran dañados

X^b Cuentan con suministros y materiales para un corto tiempo de operación de equipos, los cuales pueden usarse en la futura red.

Fuente: Autores

En cuanto al personal responsable del proyecto de vigilancia de calidad del aire, la corporación no cuenta con la cantidad de personas suficientes para la operación ni con responsabilidades definidas, hecho que ha influido en la falta de operación durante los últimos años; de igual manera se evidencia la necesidad de brindar capacitación al personal actual acerca de temas relacionados con la vigilancia y control de la calidad del aire.

En la lista de verificación No. 2 sobre el estado de equipos se puede observar que ninguna de las estaciones cuenta con un inventario de los equipos e instrumentos, los equipos semiautomáticos (para la medición de PST Y PM10), se encuentran funcionando, les falta mantenimiento para un mejor funcionamiento. Los equipos automáticos para medir CO, NOx Y SO₂ se encuentran en mal estado y no funcionan. Las estaciones no cuentan con instrucciones de operación ni procedimientos de calibración de los equipos.

En la lista No. 3 se muestra la falta de los materiales y suministros necesarios para la operación correcta de cada uno de los equipos de la red de vigilancia de la calidad del aire. Para la operación de los HI-VOL y PM10 la red posee filtros en fibra de vidrio, fibra de cuarzo, plumillas, escobillas y los motores, solo para un corto tiempo de operación ya que los suministros en bodega son escasos.

En materia de instalaciones de laboratorio, se pudo observar que posee buena iluminación, ventilación y energía eléctrica continua. El laboratorio cuenta con fregadero con agua corriente, campana o extractor de gases, balanza analítica, fuente de agua destilada, espectrofotómetro horno y refrigerador. No cuentan con caja o mesa de luz y equipos de comunicación para desarrollar trabajo en campo.

Debido al espacio reducido en el que se encuentra el laboratorio se presentan áreas muy pequeñas para el procesamiento de las muestras y la sala de acondicionamiento de filtros, no existe espacio para el almacenamiento de reactivos, artículos de vidrio y suministros.

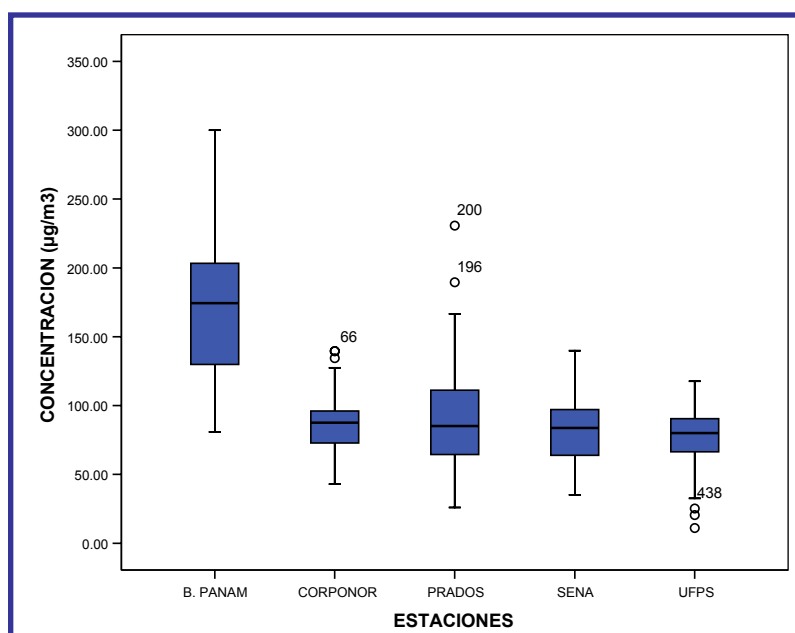
8.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE DE LA RED ACTUAL DE VIGILANCIA

Durante el tiempo en que opero la Red, la información era recogida y procesada por el ingeniero encargado. El reporte de la operación de la misma fue desde noviembre de 1999 hasta mayo de 2003; estos reportes fueron arrojados por las cuatro estaciones semiautomáticas, ya que la estación automática instalada en la zona verde de la corporación operó durante tres meses, y no se presentaron reportes de la información generada.

Los reportes presentan información relacionada con el procedimiento de toma de muestra, cálculo de promedios diarios y estadísticas de promedios y máximos. En el análisis de esta información se observó que las mediciones tomadas por los equipos fueron convertidas a condiciones de referencia y comparadas con la norma a condiciones locales, por lo que se encuentran inconsistencias en la comparación de las mediciones con la norma de calidad de aire.

8.3.1 Análisis de Partículas Suspendidas Totales (PST) de Enero de 2000 a Diciembre de 2002. Con el fin de analizar la información suministrada sobre calidad del aire, se procedió a realizar un análisis estadístico de los datos. En la Gráfica 24 se presentan los resultados obtenidos donde se puede observar el comportamiento de Partículas Suspendidas Totales en cada una de las estaciones para el último año de operación de la red de vigilancia. Además se muestra que ninguno de los datos supero la norma diaria Local de PST decreto 02 del 1982 ($399\mu\text{g}/\text{m}^3$) y se observa además que la estación del Barrio Panamericano presenta mayor dispersión de los datos, probablemente se deba a la cercanía de vías principales o de alto flujo vehicular.

Gráfica 24. Concentración diaria de PST en el eje industrial de la ciudad de Cúcuta, para el último año de operación (2002).



Fuente: Autores.

El análisis estadístico se realizó mediante diagramas de cajas. Este tipo de gráfico refleja la representación de una distribución de tal forma que en el interior de la caja encierra el 50% central de los casos y sus límites son el 25% inferior y

superior. Así el límite inferior de la caja representa el percentil 25% y el límite superior es el percentil 75%, la longitud de la caja es el rango intercuartil ($IQR = P75 - P25$). La barra dentro de la caja representa la mediana, percentil 50%. Los casos entre 1.5 y 3 veces el rango intercuartil se denomina outliers values (valores fuera del rango) y se representan con una o. Además aparecen representados los valores mínimo y máximo que no están fuera de rango, unidos con una línea a los límites de la caja.

- Estación Barrio Panamericano: Durante el período de operación de esta estación, se presentó una concentración de Partículas Suspendidas Totales en el año 2002 de $162.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, superando la norma local de calidad de aire en un 69.7%; en el año 2001 se superó la norma local diaria en un 22.43% ya que el promedio geométrico para este período fue de $116,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el 2000 la norma local anual se superó en un 2.33%.
- Estación Colegio Oriental Prados Norte: La concentración de Partículas Suspendidas Totales para el año 2002 fue de $83.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el 2001 de $79.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $72.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2000, en ninguno de estos años se superó la norma local anual de calidad de aire para PST ($95.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Estación Servicio de Enseñanza Nacional (SENA): Las concentraciones de PST resultado de las mediciones durante los años 2000 a 2002 se encuentran entre 70 a $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Estación Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR): Los promedios geométricos de los años 2000 a 2002 no superan la norma local anual de partículas. Presentan valores de 52.79, 63.36 y $72.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.
- Estación Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS): Con una concentración promedio de $72.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2002, $63.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2001 y $52,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2000.

Los anteriores resultados de los años 2000 a 2002 se resumen en los gráficos 25, 25 y 27, donde los datos diarios de cada año y de cada estación fueron promediados para obtener un promedio anual.

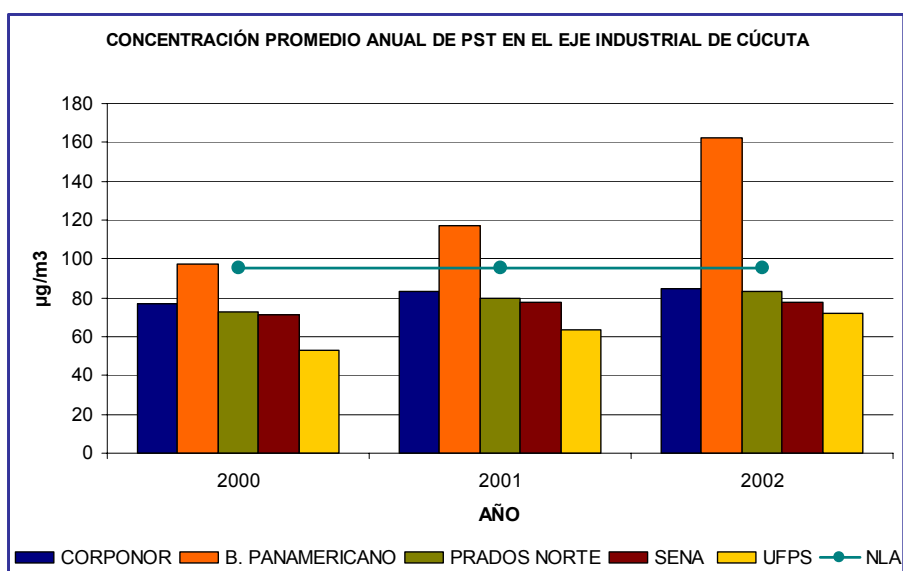
Como se observa en la gráfica 25, la estación barrio Panamericano es la única que excede la norma local anual durante los tres años de operación de la red, además presenta un incremento año a año mostrando un sobrepaso inicial relativamente bajo de $2.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2000 hasta $66.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2002 correspondiendo a un exceso de 69.8% con respecto a la norma local, lo cual evidencia que las interferencias de tipo local en el sitio de ubicación de la estación como su cercanía a una vía de alto flujo vehicular y tráfico pesado, áreas destapadas presenten dicho incremento en la norma.

Tabla 37. Datos de partículas suspendidas totales para el eje industrial de Cúcuta.

ESTACIÓN	EQUIPO	Total de Muestras	AÑO	Promedio Geométrico	Máximo diario
				(µg/m³)	
Barrio Panamericano	HI-VOL	250	2000	97.70	261.32
			2001	116.90	301.44
			2002	162.03	300.04
Colegio Prados Norte	HI-VOL	263	2000	72.43	186.44
			2001	79.79	230.48
			2002	83.52	230.72
SENA	HI-VOL	264	2000	71.49	180.72
			2001	77.76	140.90
			2002	77.76	139.94
UFPS	HI-VOL	245	2000	52.79	147.67
			2001	63.36	135.92
			2002	72.32	117.62
CORPONOR	HI-VOL	273	2000	76.87	180.16
			2001	83.20	178.48
			2002	84.63	139.62
Norma Local Anual (NLA)			95.48 µg/m³		
Norma Local Diaria (NLD)			286.8 µg/m³		
Período Toma de Muestras			Cada tres días		

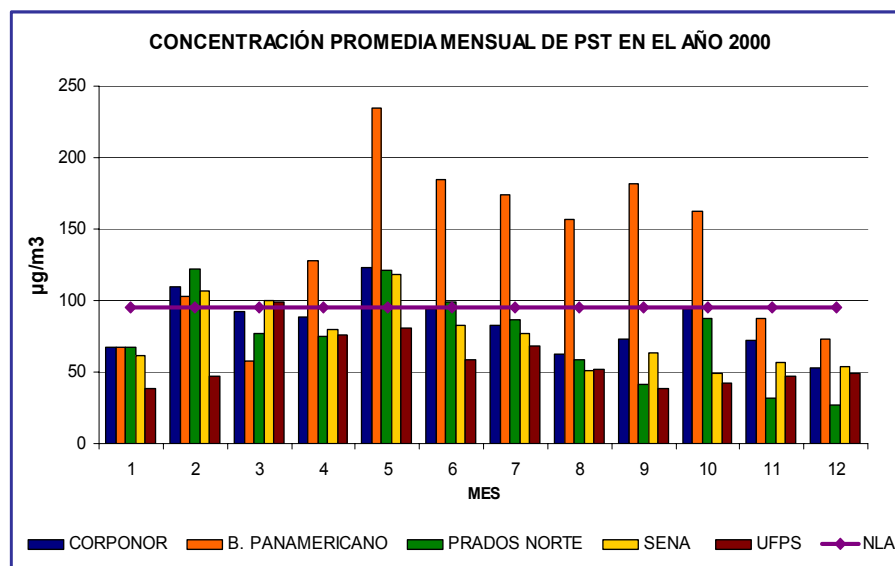
Fuente: Autores

Gráfica 25. Concentración promedio anual para partículas suspendidas totales en el eje industrial de Cúcuta.



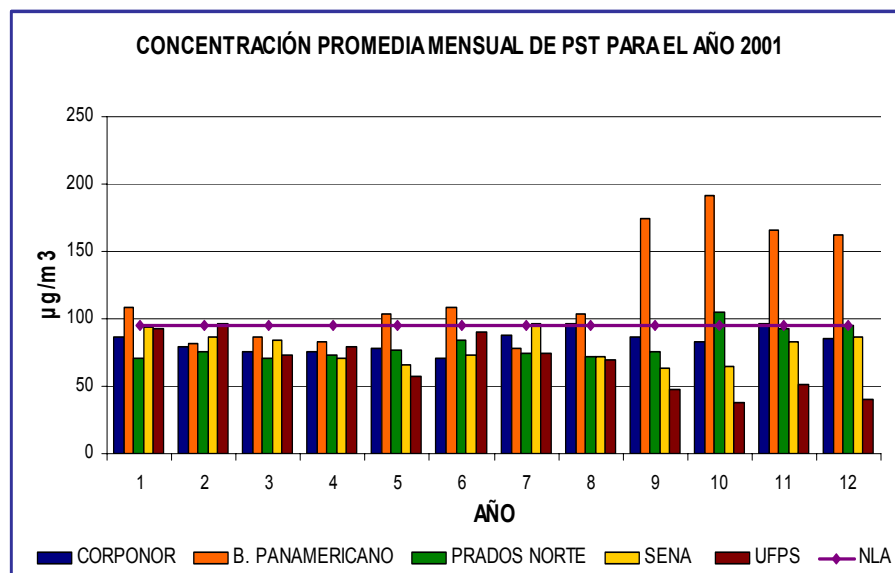
Fuente: Autores.

Gráfica 26. Concentración media mensual de PST Año 2000.



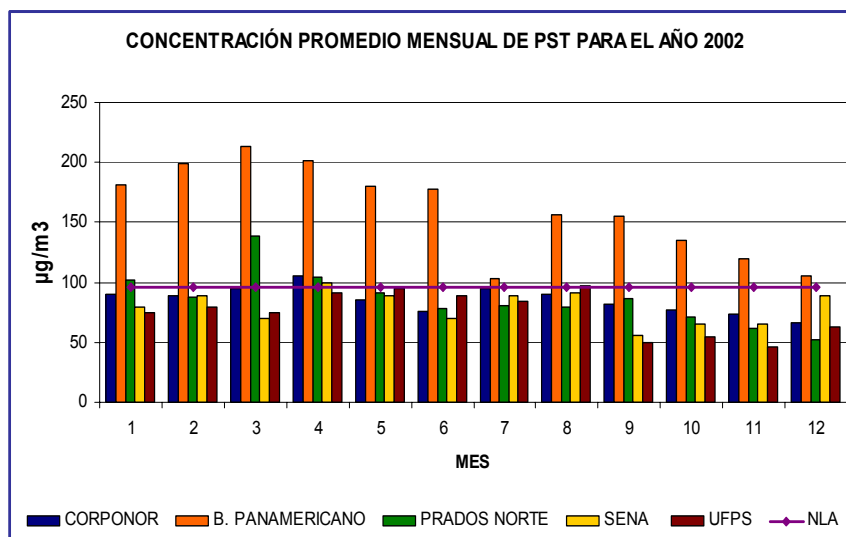
Fuente: Autores.

Gráfica 27. Concentración media mensual de PST Año 2001.



Fuente: Autores.

Gráfica 28. Concentración media mensual de PST Año 2002.



Fuente: Autores.

Las gráficas 26 a 28 muestran que el año 2001 fue el que mejor calidad de aire presentó en la zona de influencia del eje industrial de San José de Cúcuta, superando la norma notoriamente en los últimos cuatro meses del año. Nótese que la estación del barrio panamericano es una constante durante los tres años de funcionamiento de la red, presentando en el último año su comportamiento más frecuente y en altos niveles de concentración.

En cuanto a las demás estaciones, Prados del Norte y Sena, superan la norma en varias ocasiones lo cual evidencia la alta carga contaminante generada en las lavanderías y tintorerías aledañas a su ubicación. Los datos correspondientes a CORPONOR y la Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS) no son tan confiables por sus especificaciones de ubicación mencionadas en las fichas técnicas.

En la tabla 37 se encuentran las Normas Locales de calidad de aire para Partículas Suspendidas Totales (NLA y NLD), para su cálculo se aplicó la siguiente formula¹⁶:

$$NL = NCR * \left[\frac{(pb \text{ local})}{760} \right] * \left[\frac{(298^{\circ}K)}{273 + ^{\circ}C} \right]$$

¹⁶ Resolución 601 de 2006.

Donde:

NL: Norma local ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

NCR: Norma de Calidad de aire en condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

pb local: Presión Barométrica Local (mmHg)

T: Temperatura Promedio Ambiente Local (°C)

Para facilitar el manejo y análisis de los datos obtenidos en cada una de las estaciones, es necesario determinar una sola norma local anual y diaria, tomando el valor promedio de la presión y de la temperatura ambiente local.

Con base en los promedios anuales, se realizaron isolíneas de concentración para TSP (único contaminante medido de forma continua); no se puede asegurar que el comportamiento de las partículas menores a 10 micras haya podido ser similar puesto que en los dos casos estamos tratando con tamaños y pesos diferentes.

Las mayores concentraciones de TSP se dirigen hacia el barrio panamericano ($126.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y las menores concentraciones se encuentran ubicadas en el sector de la Universidad Francisco de Paula Santander ($72.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$); esta situación no debe tomarse como absolutamente cierta por los aspectos técnicos y de ubicación de estas estaciones que ya se han mencionado.

Por otro lado, como el establecimiento de la actual red se realizó solamente para la zona de influencia del eje industrial (comunas 5 y 6), puede esperarse que existan otros centros de alta concentración debidos a diferentes actividades industriales que en su momento no fueron estimadas.

En cuanto a la zona correspondiente al Área metropolitana fuera de su centro regional, no es posible conocer el estado de la calidad de aire, ya que hasta el momento no se cuenta con estaciones en esos lugares, sin embargo y como lo muestran los mapas anexos la influencia industrial es alta y se podría predecir impactos considerables en dichas zonas.

De acuerdo al diagnóstico realizado a la RVCA de la zona de influencia del eje industrial, se concluyó que su infraestructura y recursos humanos tanto en cantidad como en competencia no son suficientes para atender la gestión de la calidad del aire en la ciudad San José de Cúcuta y su Área Metropolitana; por lo tanto, en el siguiente capítulo dedicado a la propuesta de rediseño de la red se presentarán soluciones para las falencias encontrados en la aplicación de las listas de verificación. Además se incluyen los costos de implementación y operación de la nueva red.

9. PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA RVCA PARA EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA

Una vez identificada la zona de estudio y sus características relevantes como topografía, climatología, emisores y emisiones de contaminantes atmosféricos, se tuvieron en cuenta las siguientes herramientas para el rediseño de la red:

- La aplicación del modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos ISCLT.
- Mediante criterios establecidos por entes regulatorios, se determinaron parámetros a muestrear, número de estaciones, microlocalización de estaciones y demás aspectos correspondientes a la infraestructura de la red.
- Establecimiento del manejo de la red desde organigramas hasta Protocolos Estándar de Operación (SOP).

9.1 MODELACIÓN DE CONTAMINANTES TSP, SO₂ y NO_x

Los modelos de dispersión son un conjunto de ecuaciones matemáticas que relacionan la emisión de un contaminante y las correspondientes concentraciones en el ambiente. El uso de los modelos de dispersión de contaminantes se debe entender como herramienta analítica para evaluar la calidad del aire.

9.1.1 Descripción del modelo de dispersión ISCLT. El programa ISCLT (Industrial Source Complex long Term) está diseñado para calcular promedios de concentraciones o valores de sedimentación total producidos por múltiples fuentes de emisión, ya sean fuentes fijas puntuales, de área o volumen. Los valores de concentración pueden ser calculados de forma estación mensual, anual o ambas para un número ilimitado de fuentes. Este programa es capaz de producir resultados para cada fuente individual, para varios grupos de fuentes seleccionados por el usuario o para todas las fuentes combinadas. Los cálculos son desarrollados mediante el ingreso de una coordenada fija del receptor definiendo un sistema en malla fijo y/o puntos receptores discretos ubicados arbitrariamente, el sistema en malla puede definirse en coordenadas cartesianas creciendo hacia la derecha (primer cuadrante) o en coordenadas polares.

Los datos de entrada introducidos en el programa se dividen en cinco grupos, los cuales pueden estar formados por un vector, un grupo de vectores, una matriz o grupo de matrices. A continuación se relacionan los grupos de datos necesarios para correr el modelo:

- Registro del título
- Opciones del programa y control de registros
- Información de los receptores
- Datos meteorológicos
- Información de las diferentes tipos de fuentes.

9.1.1.1 Opciones del Programa. Los parámetros de entrada introducidos al modelo ISCLT, están relacionados a las características del lugar, topografía, meteorología e información de cada una de las fuentes a estudiar. A continuación se nombran los parámetros que maneja el modelo:

- ***Parámetros de control.***
 - Cálculo de la concentración o deposición.
 - Uso de coordenadas polares o cartesianas.
 - Ubicación de receptores discretos.
 - Selección de tipo de topografía (plana o compleja).
 - Opciones para imprimir los datos de entrada.
 - Ambiente rural o urbano.
 - Emisiones constantes o variables.
 - Valores predefinidos o no.
 - Impresión de resultados de concentraciones parciales o totales, anuales o estacionales.
 - Impresión de las diez mayores concentraciones.
- ***Datos de entrada.***
 - Información de los receptores.
 - Matriz de estabilidad atmosférica.
 - Temperatura ambiente.
 - Altura máxima de mezcla.
 - Altura del anemómetro.
 - Rangos de velocidad determinados para el modelo.
 - Exponente P (power – Law).
 - Fuentes de emisión.
- ***Datos de salida.***
 - Impresión de los parámetros de entrada.
 - Impresión de los datos de las fuentes de emisión.
 - Cálculo e impresión de las concentraciones anuales o estacionales.
 - Cálculo e impresión de las concentraciones para los diez máximos y/o de todos los receptores.
 - Impresión en cinta magnética para los archivos de salida.

En cuadro 7 se listan los parámetros introducidos para la modelación del presente estudio.

9.1.1.2 Datos de entrada utilizados.

▪ Información de receptores.

La identificación de los receptores puede realizarse de manera arbitraria ubicando algunos puntos como receptores discretos, o bien puede construirse un sistema en malla, en el que cada intersección constituye un receptor. En el presente estudio, dada la gran extensión que conforma el Área Metropolitana de San José de Cúcuta, y la necesidad de conocer los valores de concentración de manera minuciosa, el sector de estudio se dividió en ocho mallas donde los receptores distan unos de otros 80m definiendo así cerca de 18000 receptores por cada malla y 144000 receptores en el Área Metropolitana.

▪ Parámetros meteorológicos

Para la modelación de la calidad del aire en el Área Metropolitana de San José de Cúcuta, se utilizó una matriz de estabilidad atmosférica, en la que se muestra la frecuencia de ocurrencia de cada rango de velocidad en cada una de las 8 direcciones del viento y para cada uno de los 6 tipos de estabilidad atmosférica; la tabla 38 muestra los valores de la matriz de estabilidad introducida al modelo de dispersión de contaminantes. Unido a esto se introdujo la temperatura ambiente, resultante del promedio de los valores de la serie multianual con que se contó: Temperatura ambiente: 27.6 °C.

Tabla 38. Matriz de estabilidad atmosférica para el Área Metropolitana.

DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS							
ESTABILIDAD	DIR.	VELOCIDAD (m/s)					
		0,1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	>6
A	N	0.008950	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	NE	0.002983	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	E	0.001790	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	SE	0.003580	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	S	0.005370	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	SW	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	W	0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	NW	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
B	N	0.075776	0.088305	0.005370	0.000000	0.000000	0.000000
	NE	0.032816	0.006563	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000
	E	0.010143	0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	SE	0.021480	0.007757	0.001790	0.000597	0.000000	0.000000
	S	0.014320	0.015513	0.020883	0.004177	0.000000	0.000000
	SW	0.003580	0.002387	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	W	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	NW	0.002983	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
C	N	0.020286	0.004773	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000
	NE	0.007757	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	E	0.001790	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	SE	0.002387	0.000597	0.001193	0.001193	0.002387	0.001193
	S	0.005370	0.001790	0.008950	0.017303	0.031623	0.005370
	SW	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	W	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	NW	0.004773	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

ESTABILIDAD	DIR.	VELOCIDAD (m/s)					
		0,1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	>6
D	N	0.067422	0.049523	0.004177	0.000000	0.000000	0.000000
	NE	0.028043	0.004773	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000
	E	0.008353	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	SE	0.018496	0.005370	0.002387	0.001193	0.002387	0.001193
	S	0.010143	0.009547	0.013723	0.020286	0.039976	0.066229
	SW	0.002983	0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	W	0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	NW	0.005370	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
E	N	0.000000	0.000597	0.001790	0.000000	0.000000	0.000000
	NE	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	E	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	SE	0.000000	0.000000	0.000597	0.000597	0.000000	0.000000
	S	0.000000	0.000597	0.017303	0.007160	0.000000	0.000000
	SW	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	W	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	NW	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
F	N	0.037589	0.042959	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	NE	0.015513	0.001790	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	E	0.005370	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	SE	0.008950	0.002983	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	S	0.014916	0.007160	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	SW	0.001193	0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	W	0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
	NW	0.002387	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Fuente: Autores

Ya que no se tienen datos de la altura de mezcla en el aeropuerto Camilo Daza, se procedió a estimarlas para cada tipo de estabilidad atmosférica de acuerdo al procedimiento establecido en el documento (USA EPA, Screening procedures for estimating the air quality impact of stationary sources). La tabla 39 muestra el valor estimado de altura de mezcla para cada estabilidad.

$$AM = 320 * V_p$$

Donde:

AM = Altura de Mezcla (m)

V_p = Velocidades promedio del viento en cada una de las estabildades (m/s)

Otros aspectos a tener en cuenta dentro de los datos introducidos al modelo son:

- Altura del anemómetro, es la altura a la cual se mide la velocidad del viento (10m).
- Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).
- Valor medio para cada uno de los rangos de velocidad (1.0; 2.5; 3.5; 4.5; 5.5; 7.0).
- Ángulos correspondientes a la dirección de vientos (N 0°, NE 45°, E 90°, SE 135°, S 180°, SO 225°, O 270°, NO 315°).

- Exponente P (power – Law) Tabla 40.

Tabla 39. Alturas de mezcla utilizadas en el modelo de dispersión de contaminantes.

ESTABILIDAD	VEL. PROM (m/s)	HM (m)
A	1.34	429
B	2.02	646
C	3.61	1155
D	3.39	1085
E	3.78	1210
F	1.76	563

Fuente: Autores.

Tabla 40. Exponente Power – Law.

ESTABILIDAD	EXPONENTE URBANO	EXPONENTE RURAL
A	0.15	0.07
B	0.15	0.07
C	0.2	0.1
D	0.25	0.15
E	0.30	0.35
F	0.30	0.55

Fuente: Manual ISCLT.

- Información de fuentes de emisión: Para cada fuente de emisión se introdujo los datos necesarios para caracterizarla dependiendo del tipo de fuente al que corresponda (fuentes fijas y de área dentro de las cuales se incluyeron las fuentes móviles), el cuadro 7 enumera los datos necesarios en cada caso.

9.1.1.3 Datos de salida generados por el modelo. El programa genera cinco categorías de salida, cada una de ellas es opcional para el usuario; así como se puede controlar el tipo de salida y las señales de alerta para mensajes de errores en la corrida del modelo. Así pues se obtienen las siguientes categorías de salida:

- Impresión de los datos o parámetros de control.
- Impresión de los datos de las fuentes de emisión.
- Impresión de las concentraciones anuales.
- Impresión de las 10 máximas concentraciones de cada uno y/o todos los receptores.
- Impresión en cinta magnética para los archivos de salida.

Para facilitar la evaluación de las concentraciones calculadas por el modelo y con el fin de posicionarlas geográficamente, se realizaron mapas de isolíneas de concentración en el área de estudio mediante el programa cartográfico Arc View, de esa manera se pueden identificar los sectores más afectados por las diferentes actividades industriales relacionadas en el inventario de emisiones.

Cuadro 7. Parámetros de entrada programa ISCLT.

PARÁMETROS DE ENTRADA DEL PROGRAMA ISCLT	
OPCIONES DEL PROGRAMA Y CONTROL DE REGISTRO	
Cálculo de la concentración. Utilización de coordenadas cartesianas. Receptores discretos ubicados en malla. Impresión de todos los datos de entrada. Cálculo e impresión de datos anuales. Cálculo de concentraciones de fuentes individuales y combinadas. Ambiente urbano tres. Impresión de los 10 máximos de concentración.	Impresión en la unidad FORTAN. 6. Datos de entrada son leídos la unidad FORTAN.2. Los datos de salida son escritos en la unidad FORTAN. Minimizar el número de páginas de salida. Impresión de 57 líneas por página. La pluma es independiente de la velocidad del viento. El modelo asume otros contaminantes además de SO ₂ El programa no lee la altura de los receptores
INFORMACIÓN DE LOS RECEPTORES	
Número de fuentes de emisión (fuentes fijas y de área). Número de receptores en el eje x del sistema polar. Número de receptores en el eje y del sistema polar. Número de estaciones de los datos meteorológicos de entrada. Número de categorías de velocidades del viento (6). Número de categorías de estabilidad pasquill (6). Número de dirección del viento (8).	
DATOS METEOROLOGICOS	
Frecuencia acumulada de ocurrencia. Temperatura promedio del aire. Alturas de mezcla. Gradiente de temperatura potencial. Velocidad del viento. Dirección del viento. Ley de exponentes de la potencia de la velocidad del viento.	
INFORMACIÓN FUENTES DE EMISION	
Número de identificación de la fuente. Tipo de fuente. (0) fuente fija o de chimenea, (2) fuente de área. Coordenada x de la fuente. Coordenada y de la fuente. Altura de emisión. Elevación de la fuente. Emisión de la fuente. Parámetros para fuentes fijas (temperatura y velocidad de los gases, diámetro chimenea). Parámetros para fuentes área (ancho de la fuente).	

Fuente: Autores

9.1.1.4 Resultados de la modelación para el Área Metropolitana de San José de Cúcuta.

- *Total de Partículas en Suspensión.* Para este contaminante se obtuvo valores de concentración que superan los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$; a nivel metropolitano, se observa altas concentraciones en áreas rurales correspondientes a la zona sur del municipio de Los Patios y sectores norte y occidente de Cúcuta la gran mayoría de estas concentraciones generadas por la presencia de la industria de procesamiento de la arcilla y de acopio y coquización de carbón; mientras que en El Zulia y Vila del Rosario se presentan altas concentraciones dentro del perímetro urbano generadas en su totalidad por el proceso artesanal de arcilla representado por los chircales de subsistencia.

Por otra parte el área correspondiente al perímetro urbano de San José de Cúcuta, se presentan las altas concentraciones hacia el sector industrial conformado por las comunas 1, 2 y 5; se presentan otros focos aislados pero no menos importantes tanto en la comuna 4 como en la comuna 8. Dichos sectores son de especial interés dado su alta densidad poblacional.

- *Dióxido de Azufre.* En cuanto al SO_2 se evidencia que las mayores concentraciones se presentan principalmente en las zonas rurales en el sector de San Faustino (Municipio de Cúcuta), la salida de Cúcuta hacia El Zulia y San Cayetano con valores que superan los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En Villa del Rosario se presentan altas concentraciones dentro de la zona urbana en el sector sur occidental.

En el perímetro urbano del núcleo metropolitano solo se presenta un sector con concentraciones mayores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en un área de aproximadamente 8 manzanas ubicada entre las comunas 1 y 5 (parte del sector industrial); el resto del área correspondiente al eje industrial presenta concentraciones entre los 30 y los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, además de presentar concentraciones considerables cercanas a la empresa Cerámica Italia, ubicada también en la comuna 5 pero alejada del eje industrial.

- *Óxidos de Nitrógeno.* Las concentraciones de mayor importancia de este contaminante, se presentan en el perímetro urbano de la ciudad de Cúcuta con valores entre los 60 y $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, generados por las vías estimadas como las principales fuentes móviles, como el sector del centro de la ciudad y las principales avenidas; cabe resaltar que entre las comunas 7 y 8 (sector de Atalaya) existe una avenida de alto tráfico vehicular pero que por razones de logística, no fue posible realizar conteos en esta, sin embargo es de esperarse que a lo largo de ella se presente un comportamiento similar al de las demás avenidas y dada la sensibilidad de población del sector resulta ser de interés en el diseño de la red.

En el Anexo K se presentan los planos correspondientes a la distribución espacial de la concentración de los contaminantes (TSP, SO₂ y NO_x) que arrojó el modelo de dispersión.

9.2 INFRAESTRUCTURA DE LA RED

La propuesta de la nueva red, se basó en el análisis de la información obtenida en el área de estudio (población, usos del suelo, inventario de fuentes de emisión, climatología y datos de la actual red) y la obtenida por el modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos, dando prioridad a los sectores que según los mapas generados con los resultados del modelo presentan mayores concentraciones de contaminantes, zonas en las que la población se vea amenazada por fuentes de emisión y zonas que representen una medición background para estimar la real incidencia sobre el medio, procurando que la red tenga la cobertura suficiente para el Área Metropolitana.

9.2.1 Determinación de Parámetros a Muestrear.

- *Calidad del Aire:* Se decidió medir los contaminantes que con mayor frecuencia se encuentran presentes en el aire: material particulado, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. La cantidad de contaminantes a medir podrá incrementarse durante la operación de la red de acuerdo con las necesidades de la corporación derivadas de su gestión conforme a lineamientos políticos y normatividad vigente.
- *Meteorológicas:* La ciudad de San José de Cúcuta actualmente cuenta con dos estaciones meteorológicas, se propone la adquisición de dos estaciones para su instalación en los municipios de Los Patios y Villa del Rosario; los parámetros básicos que intervienen en la dispersión de contaminantes son: velocidad y dirección del viento, humedad relativa, presión barométrica, precipitación, radiación solar, brillo solar y temperatura.

9.2.2 Determinación del número de estaciones.

- *Calidad del Aire:* Para este efecto se consultaron fuentes como la Environmental Protection Agency (EPA), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Compañía Estatal de Tecnología en Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB), que sugieren una cantidad determinada de estaciones en función de la población del área de estudio y de las concentraciones presentes de contaminantes, la tabla 41 extraída del manual de diseño de redes de muestreo de calidad del aire de la CETESB, muestra los criterios que se aplicaron en la determinación del número de estaciones en función de las condiciones ambientales y la densidad

poblacional del área de estudio, mientras que la tabla 42 muestra la determinación del número de estaciones aplicada para el rediseño de la red.

- **Meteorológicas:** Dadas las condiciones topográficas de los municipios de Villa del Rosario y Los Patios, las cuales influyen en el comportamiento meteorológico de la zona, la estación Camilo Daza no es representativa del total del Área Metropolitana por su ubicación al norte de la Ciudad, es necesaria la instalación de estaciones meteorológicas en dichos municipios para que los datos obtenidos tengan una mayor representatividad del área de operación de la nueva red y estos puedan ser integrados al proceso de vigilancia y control de la calidad del aire.

Tabla 41. Determinación del número de estaciones mínimas.

CONTAMINANTE	CONDICIONES AMBIENTALES	MÉTODO DE MUESTREO	POBLACIÓN (Habitantes)	NÚMERO MÍNIMO DE ESTACIONES
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES	Xa: >95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Xm: >325 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Hi-vol 1 cada 6 días	<10 ⁵	4
			10 ⁵ - 10 ⁶	4 + 0.6w
			10 ⁶ - 5x10 ⁶	7.5 + 0.2w
			>5x10 ⁶	1.5 + 0.16w
	Xa: 60-95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Xm: 150-325 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cinta cada 2 días	-	1 para cada 250.000 hab.
			-	3
DIÓXIDO DE AZUFRE	Xa > 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Xm > 455 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Burbujeador 24 horas cada 6 días.	<10 ⁵	3
			10 ⁵ - 10 ⁶	2.5 + 0.5w
			10 ⁶ - 5x10 ⁶	6 + 0.15w
			>5x10 ⁶	11 + 0.005w
	Xa: 60-95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Xm: 260-450 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	continuo	<10 ⁵	-
			10 ⁵ - 5x10 ⁶	1 + 0.15w
ÓXIDO DE NITRÓGENO	Xa > 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Burbujeador	<10 ⁵	3
			10 ⁵ - 5x10 ⁶	4 + 0.6w
			>5x10 ⁶	10
			-	No es necesario
	Xa < 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	continuo	-	No es necesario
			-	No es necesario
MONOXIDO DE CARBONO	Xmh > a 21 mg/m^3 Xm 8h > a 14 mg/m^3	Infrarrojo no dispersivo	<10 ⁵	1
			10 ⁵ - 5x10 ⁶	1 + 0.15w
			>5x10 ⁶	6 + 0.05w
	Xmh < a 21 mg/m^3 Xm 8h < a 14 mg/m^3	Infrarrojo no dispersivo	-	No es necesario

Xa: Media aritmética anual.

Xm: Concentración máxima (24 horas) ocurrida en un año.

Xmh: Concentración máxima horaria ocurrida en un año.

Xm8: Concentración máxima presentada intervalo de 8 horas, para un periodo de un año.

Fuente: CETESB, Manual de Diseño de Redes de Muestreo de Calidad del Aire. Sao Paulo, 1987.

Tabla 42. Determinación del número de estaciones mínimas.

INDICADOR	CONDICIONES AMBIENTALES	MÉTODO DE MUESTREO	POBLACIÓN	No. Min DE ESTACIONES
TSP	$X_a > 95 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Hi-vol (24 h) 1 cada 6 días	$10^5 - 10^6$ 900799 hab.	$4 + 0.6 W = 5$
SO₂	$X_a = 60-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Burbujeador (24 h) cada 6 días	$10^5 - 10^6$ 900799 hab.	$2.5 + 0.5 W = 3$
NOX	$X_a > 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Burbujeador	$10^5 - 10^6$ 900799 hab.	$4 + 0.6 W = 5$

Fuente: Autores.

9.2.3 Microlocalización de las nuevas estaciones. De la actual red solo se propone mantener la estación del SENA, ya que su ubicación favorece la medición del impacto generado por el eje industrial. En la tabla 43 se presentan los sitios propuestos para las estaciones que conformarán la red; en el Anexo G se encuentran las fotografías de los sitios y las especificaciones técnicas de dichas estaciones.

Tabla 43. Sitios propuestos para las estaciones de la RVCA.

MUNICIPIO	SECTOR	SITIO
San José de Cúcuta	Comuna 1	SENA
	Comuna 2	Biblioteca Pública
	Comuna 5	Colegio Hermógenes Maza
	Comuna 3	Colegio San Luís
	Comuna 7,8	Imsalud Atalaya
Vila del Rosario	Centro	Colegio Manuel Antonio Rueda
Los Patios	Sur	Colegio Técnico Municipal Los Patios

Fuente: Autores.

9.2.4 Determinación de Equipos.

- *Calidad de Aire:* La actual red cuenta con 5 equipos para la medición de PST y 1 para PM10. Para la medición de gases (NO_x, SO₂, y CO), se proponen medidores semiautomáticos de tres gases (NO_x y SO₂) y analizador automático para medir CO.
- *Equipos Meteorológicos:* Para la medición de parámetros meteorológicos se necesita: anemógrafo (viento), termómetros (temperaturas máximas, media y mínimas), pluviógrafo (precipitación), sicrómetro (humedad relativa, tensión de vapor y punto de rocío) y actinógrafo (radiación solar global).

9.2.5 Duración del programa de vigilancia. Depende del objetivo del programa, como este está ligado al cumplimiento de la legislación vigente, la duración del programa es indefinida.

9.2.6 Frecuencia de muestreo. Dado que los equipos utilizados son semiautomáticos, la toma de muestras se realizará cada dos días logrando de 12 a 13 muestras mensuales para un total aproximado de 144 muestras anuales.

La presente propuesta plantea el desarrollo de la red en dos fases, a saber:

- **Primera Fase:** Inicialmente se propone la instalación de equipos para la medición de partículas totales suspendidas (Los patios, Villa del Rosario y comunas 1, 2 y 5 en Cúcuta) y menores a 10 micras (comunas 1, 2 y 5 en Cúcuta) conforme a la normatividad (Res 601 04/04/06), de los cuales solo es necesario adquirir los PM10; instalación de analizadores de tres gases (SO₂, NO_x) para las comunas 1, 2 y 5 de Cúcuta; instalación de un analizador de CO para la estación ubicada en la comuna 2 de Cúcuta. La compra de equipos (PST, PM10, Tres gases, CO) para campañas de vigilancia, que ayudaran a tomar decisiones acerca de la implementación de la segunda fase de instalación de la red.
- **Segunda Fase:** En esta fase se propone la adquisición de dos PM10 para su instalación en Los Patios y Villa del Rosario respectivamente. La instalación de dos estaciones más en Cúcuta (Atalaya comunas 7 y 8, y San Luis comuna 3) con medición de material particulado y CO; la instalación de analizadores de CO en las estaciones de las comunas 1 y 5 de Cúcuta; la instalación de estos equipos dependerá de los resultados arrojados de los equipos de campaña en la primera fase. Se propone en esta fase la instalación de una estación meteorológica tanto en Los Patios como en Villa del Rosario, con el fin de caracterizar el comportamiento meteorológico de la zona.

Tabla 44. Información de estaciones propuestas Red de Vigilancia de Calidad del Aire Área Metropolitana San José de Cúcuta.

FASE DE DISEÑO	MUNICIPIO	SECTOR	SITIO	PARAMETROS A MEDIR	EQUIPO	MÉTODO DE MEDICIÓN	Observaciones
I	San José de Cúcuta	Comuna 1	SENA	PST PM10	HI – VOL	Alto volumen	Impacto generado por el eje industrial, Fuentes móviles
				SO ₂	Muestreador de tres gases	Pararrosanilina	
				NO _x		Jacobs - Hochheiser	
		Comuna 2	Biblioteca Pública	PST PM10	HI – VOL	Alto volumen	Vigilancia Fuentes Móviles
				SO ₂	Muestreador de tres gases	Pararrosanilina	
				NO _x		Jacobs - Hochheiser	
				CO	Analizador automático API 300	Infrarrojo dispersivo	
		Comuna 5	Colegio Hermógenes Maza	PST PM10	HI – VOL	Alto volumen	Impacto por fuentes fijas
				SO ₂	Muestreador de tres gases	Pararrosanilina	
				NO _x		Jacobs - Hochheiser	

I	Los Patios		Colegio Técnico Municipal de Los Patios	PST	HI – VOL	Alto volumen	Zona de influencia Cementos Diamante
	Villa del Rosario	Centro	Colegio Manuel Antonio Rueda	PST	HI – VOL	Alto volumen	Emisiones generadas por industria de transformación la arcilla
	Villa del Rosario, Los Patios, El Zulia	Campañas		PST PM10	HI – VOL	Alto volumen	Zonas de alto impacto por industria de la arcilla
				SO2	Muestreador de tres gases	Pararosanilina	
				NOx		Jacobs - Hochheiser	
				CO	Analizador automático API 300	Infrarrojo dispersivo	
II	San José de Cúcuta	Comuna 1	SENA	CO*	Analizador automático API 300	Infrarrojo dispersivo	Vigilancia Fuentes Móviles
		Comuna 5	Colegio Hermógenes Maza	CO*	Analizador automático API 300	Infrarrojo dispersivo	Vigilancia Fuentes Móviles
		Comuna 3	Colegio San Luis	PST PM10	HI – VOL	Alto volumen	Alta densidad poblacional
				CO*	Analizador automático API 300	Infrarrojo dispersivo	
		Comuna 7, 8	Imsalud Atalaya	PST PM10	HI – VOL	Alto volumen	Alta densidad poblacional
				CO*	Analizador automático API 300	Infrarrojo dispersivo	
	Los Patios		Colegio Técnico Municipal de Los Patios	PM10	HI – VOL	Alto volumen	Zona de influencia Cementos Diamante
	Villa del Rosario	Centro	Colegio Manuel Antonio Rueda	PM10	HI – VOL	Alto volumen	Emisiones generadas por industria de transformación la arcilla

La instalación de estos equipos dependerá de los resultados obtenidos en campañas iniciadas en la primera fase
Fuente: Autores

9.3 MANEJO DE LA RED DE VIGILANCIA DE CALIDAD DEL AIRE

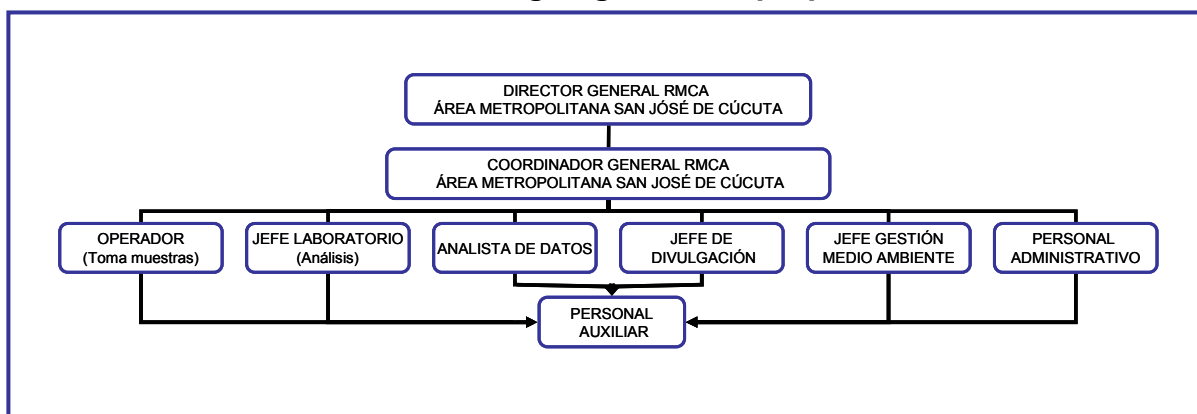
9.3.1 Objetivos de la red.

- Verificar el cumplimiento de las normas locales establecidas para concentraciones de contaminantes criterio en el Área Metropolitana de Cúcuta.
- Evaluar el impacto ambiental generado por las industrias y fuentes móviles sobre zonas vulnerables por alta densidad poblacional y zonas periféricas de expansión a mediano y corto plazo.
- Identificar zonas críticas de concentración de contaminantes.
- Validar modelos de dispersión mediante bases datos.

- Recolectar información suficiente para su uso en la planeación del uso del suelo y calidad de los combustibles.
- Brindar las herramientas y bases científicas soporte para la toma de decisiones en casos de alerta y emergencia que afecten notablemente la salud de la población o el estado del medio ambiente.
- Determinar concentraciones de fondo (Background) en el área de estudio.

9.3.2 Organigrama de la red. El organigrama representa las bases del buen funcionamiento de la red, mediante este se definirán las responsabilidades de cada integrante facilitando así la detección de aciertos y/o errores, el cuadro 8 muestra el organigrama de la red propuesta.

Cuadro 8. Organigrama red propuesta.



Fuente: Autores

FUNCIONES¹⁷:

- **Director General:** Debe ser especialista en calidad del aire, ingeniero ambiental y/o sanitario o con especialización en gestión ambiental. Se encarga:
 - Coordinar la definición de los objetivos de vigilancia y control teniendo en cuenta las políticas trazadas, estrategias, normatividad vigente, proyectos y programas específicos.
 - Elaborar el programa de vigilancia y control de calidad del aire con base en los objetivos propuestos.
 - Desarrollar el plan de acción de planificación acordado con el equipo.
 - Elegir su equipo de trabajo.
 - Coordinar la ejecución del programa por el equipo de trabajo.
 - Vigilar el cumplimiento de los protocolos para cada una de las actividades desarrolladas por la red, así como el procesamiento y presentación de los datos a la población.

¹⁷ Propuesta metodológica para el manejo y diseño de redes de monitoreo de calidad del aire. Yesid Cortés. Universidad de La Salle. 2001

- Hacer un recorrido por todas las estaciones para evaluar su funcionamiento.
- Presidir las actividades encaminadas al cambio y mejoramiento de la red.
- Velar por el sostenimiento de la red.
- **Coordinador General:** Será el director del aseguramiento y control de la calidad, ingeniero especializado en calidad del aire, ingeniero ambiental y/o sanitario o especialista en medio ambiente, conocedor de la gestión de la calidad del aire.
Se encarga de:
 - Dirigir y aplicar con el grupo de trabajo el aseguramiento y control de la calidad.
 - Estructurar el plan de acción.
 - Hacer un cronograma de actividades con el equipo de trabajo.
 - Vigilar el cumplimiento del plan de acción y del cronograma.
 - Programar reuniones de trabajo para la coordinación del plan de acción.
 - Llevar control de materiales, repuestos e insumos químicos con los que cuenta la red para la toma y análisis de muestras y para el mantenimiento y calibración de los equipos.
 - Estar al frente de las labores de logística y ubicación de las estaciones.
 - Insertar los valores obtenidos por los equipos en la base de datos.
 - Elaborar los reportes con el equipo e informar al director de la gestión del programa de vigilancia.
 - Identificar problemas técnicos, operativos, administrativos y financieros para su corrección.
- **Operador de Toma de Muestras:** Técnico en el tema ambiental y conocedor del manejo de los equipos. Se encarga de:
 - Estar presente en todos los eventos que deben realizarse por el grupo de trabajo.
 - Programar mensualmente el muestreo junto con el coordinador general.
 - Preparar el material de operación establecido.
 - Desarrollar el muestreo, con base en las metodologías de medición y análisis determinados.
 - Hacer el mantenimiento y calibración de los equipos de muestreo y de la estación.
 - Informar algún evento anormal en cuanto a la operación de los equipos, toma de muestras, estado de la estación, entre otras.
- **Jefe de Laboratorio:** Con formación en el análisis de muestras en laboratorio y debe estar en capacidad de determinar la calidad de una muestra.
Se encarga de:
 - Estar presente en las actividades que desarrolle el grupo de trabajo.
 - Desarrollar cuidadosamente los procedimientos para el análisis de cada muestra, llevando el control de la calidad.
- **Analista de Datos:** Encargado de procesar toda la información en el laboratorio y en campo de las muestras.

- **Jefe de Divulgación:** Encargado de la modelación pronóstico y divulgación de los datos a la población interesada.
- **Jefe de Gestión del Medio Ambiente:** Encargado de manejar todo lo referente al cumplimiento de las normas atmosféricas, llevar el control del inventario de las fuentes y sugerir las medidas que deben ser tomadas para la mitigación de los impactos generados por las diferentes fuentes.
- **Personal Administrativo:** Debe tener conocimientos básicos acerca de vigilancia y control de la calidad del aire, seguimiento ambiental, contaduría o administración de empresas (administración ambiental). Se encarga de:
 - Estar presente en las reuniones del grupo de trabajo para mencionar los cambios o necesidades administrativas.
 - Contratar el personal con base en su perfil profesional.
 - Revisar el cumplimiento de las disposiciones administrativas.
 - Responsabilizarse de la adquisición de materiales, equipos, repuestos y reactivos.

9.3.2 Aseguramiento y Control de la Calidad. El control de calidad (CC) se considera como el uso cotidiano de procedimientos diseñados para obtener y mantener niveles específicos de calidad en un sistema de medición. El aseguramiento de la calidad (AC) es un grupo de acciones coordinadas, como planes, especificaciones y políticas usadas para asegurar que el programa de mediciones sea cuantificable y tenga una calidad conocida. La tabla 45 resume los aspectos principales que debe contemplar el plan de aseguramiento y control de la calidad y el cuadro 9 muestra los componentes del programa de aseguramiento y control de la calidad.

Objetivos de la Calidad de Datos:

- Obtener datos representativos de las concentraciones ambientales.
- Lograr mediciones con precisión, exactitud y calidad a fin de cumplir los objetivos de vigilancia.
- Garantizar que los datos sean reproducibles y puedan ser comparados con estándares nacionales e internacionales.
- Obtener mínimo el 80% de las muestras totales en el año, procurar que el 20% restante se encuentre distribuido de forma uniforme durante los 12 meses.

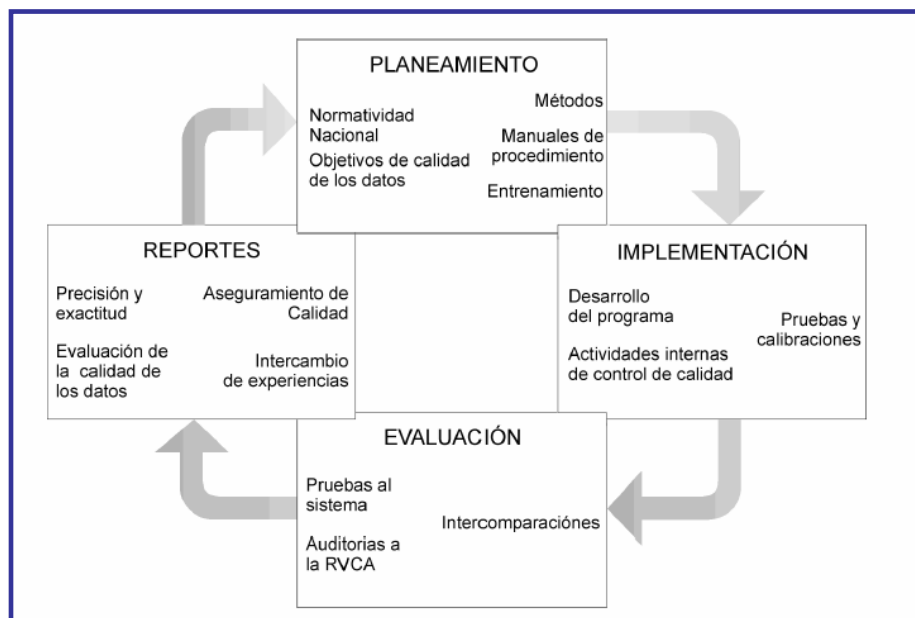
9.3.2.1 Aseguramiento de la Calidad. Como se observa en la tabla 45 el Aseguramiento de la Calidad se aplica al diseño de la red, selección del sitio, evaluación y elección del equipo, diseño del sistema de muestreo y determinación de tiempos de muestreo, se debe tener en cuenta ciertos parámetros en estas etapas, a saber:

Tabla 45. Desarrollo de un programa de aseguramiento de la calidad.

Definición de los objetivos de vigilancia	Objetivos de calidad de datos (exactitud, precisión, integridad, representación, compatibilidad)
Aseguramiento de la Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la red. • Selección del sitio. • Selección del equipo. • Diseño del sistema de muestreo.
Control de Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de programas de entrenamiento. • Elaborar protocolos (procedimientos y estándares de operación, archivos) para la operación y mantenimiento del equipo. • Elaborar protocolos de calibración y certificación del equipo. • Preparar programas para las visitas de los sitios de muestreo.
Estimación de la Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar protocolos para el acopio, la inspección, revisión y validación de los datos. • Programas para reportes y auditorias.

Fuente: Protocolo Para la Vigilancia y Seguimiento del Módulo Aire del Sistema de Información Ambiental.

Cuadro 9. Ciclo de Programas de AC para la Vigilancia de Calidad del Aire.



Fuente: IDEAM. Protocolo Para la Vigilancia y Seguimiento del Módulo Aire del Sistema de Información Ambiental.

- Localizar los sitios de medición en lugares representativos con la clasificación del medio ambiente urbano: industrial, residencial, comercial, centro, etc.
- Tener en cuenta la ubicación del viento arriba de la ciudad para estimar fuentes dentro de la ciudad.
- Ubicación de estaciones específicas para estimar impactos de fuentes locales.
- Seleccionar los métodos que más se ajusten a las necesidades y objetivos propuestos.

De igual manera existen ciertas operaciones de rutina que se realizarán con una frecuencia determinada:

- Revisión de todos los datos obtenidos en el formato de recolección de datos desde la última visita.
- Verificar el correcto funcionamiento del equipo de acuerdo con los procedimientos operacionales estándar (SOP).
- Llevar a cabo la calibración de los instrumentos y los chequeos de diagnóstico.
- Identificar y etiquetar correctamente todas las muestras de campo.
- Realizar chequeos de las condiciones externas del sitio de muestreo para asegurar que se conserven los criterios iniciales de ubicación.

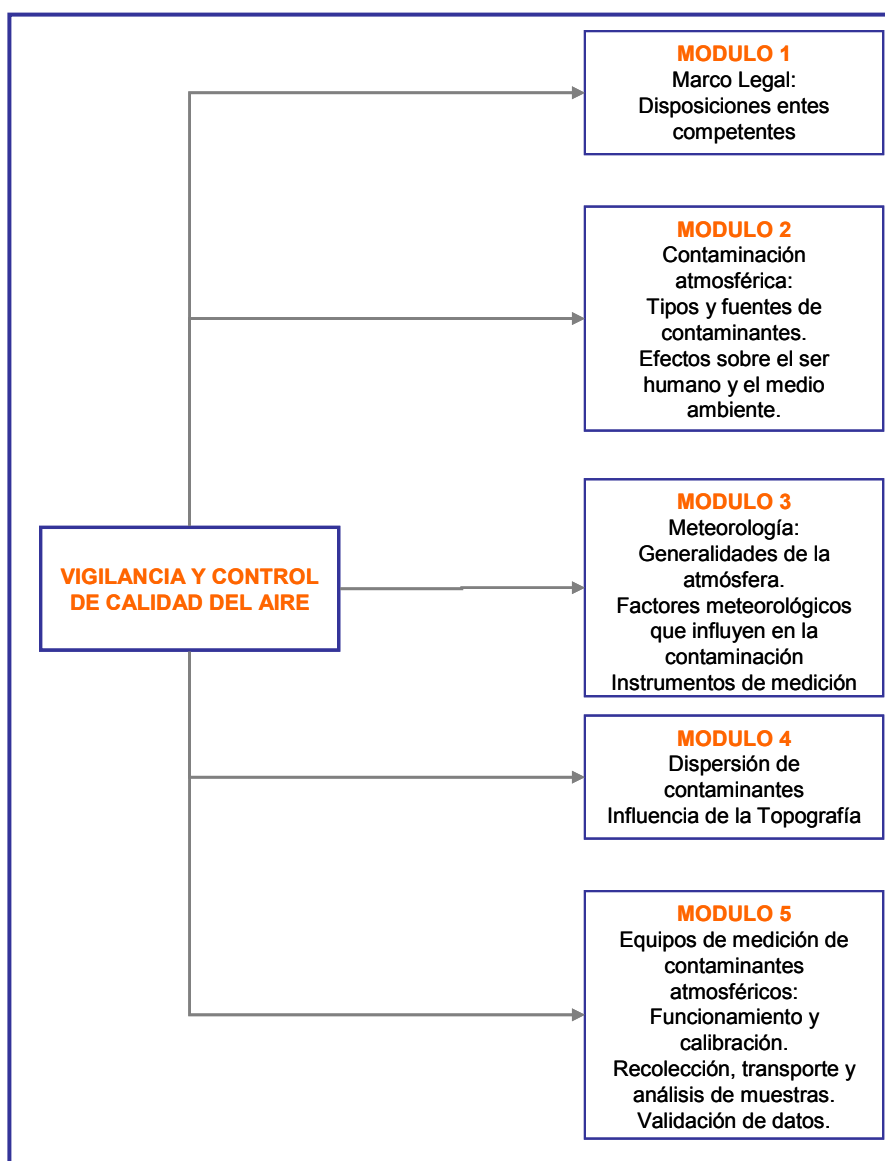
Una de las principales actividades que se debe ejecutar para el Aseguramiento de la Calidad es el mantenimiento y calibración de los equipos, lo cual incrementará la resistencia de los mismos y la consecuente minimización de costos; lo más importante en el mantenimiento y calibración de los equipos es el firme cumplimiento de las fechas establecidas para dichas operaciones.

El Aseguramiento de la Calidad aplicado al recurso humano se traduce en la capacitación para el personal de la red, el cuadro 10 expone los temas que se han de tratar en seminarios para el grupo de trabajo de la red.

9.3.2.2 Control de la Calidad. El Control de Calidad (CC) está dirigido a los procedimientos operacionales estándar (SOP):

- Protocolos de operación, mantenimiento, limpieza y calibración de los equipos determinados para la medición de contaminantes atmosféricos.
- Protocolos de recolección y análisis de muestras.
- Determinación de los equipos de laboratorio necesarios.
- Validación, análisis y representación de datos.
- Reportes.

Cuadro 10. Programa básico de capacitación para los integrantes de la RVCA – Área Metropolitana San José de Cúcuta.



Fuente: Autores

Protocolo de Operación.

Estos protocolos describen los pasos para la operación del método por el cual se está midiendo el contaminante. Estos protocolos incluyen:

1. Aplicación del método.
2. Interferencias.
3. Precisión y exactitud del método.
4. Medidas de seguridad.
5. Principio del método.

6. Materiales y equipos.
7. Reactivos.

Protocolo de Mantenimiento.

Son necesarios para asegurar la calidad de los datos, en estos protocolos se determina:

1. Frecuencia de mantenimiento.
2. Partes del equipo susceptibles.
3. Pasos de mantenimiento.
 - Inspección visual.
 - Limpieza.
 - Control.
4. Cambio y mantenimiento.
5. Test posterior de funcionamiento.

Protocolo de Calibración.

Son establecidos para cada uno de los equipos utilizados en cada una de las mediciones de los contaminantes de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes.

Protocolo de Toma de Muestras,

1. Descripción en la instalación.
2. Procedimiento de utilización.
3. Procedimiento de muestreo.
 - Medición.
 - Manejo y almacenamiento de muestras.

Protocolo el Análisis de Muestras.

1. Equipo para el análisis de muestras.
2. Preparación y análisis de la muestra.

Presentación y Análisis de Datos¹⁸.

1. Presentación de los datos.
 - Datos crudos: Son los que no han sufrido ninguna crítica y sólo se presentan en tablas y gráficos.
 - Resúmenes estadísticos: Caracterizar un conjunto de datos utilizando medidas de tendencia central, las medidas de dispersión y los percentiles (histogramas de frecuencia, diagramas de caja).
 - Resúmenes geográficos: Elaboración de mapas de isopletras de diferentes tipos de contaminantes.
2. Análisis de los datos.
 - Distribución logarítmica normal: Corregir el sesgo positivo de los datos mediante ajuste con una distribución logarítmica normal; sus utilidades son la

¹⁸ Molina Francisco José. Presentación y análisis de datos de calidad del aire.

descripción correcta de la distribución de los datos y visualización de la distribución de los datos.

- Series cronológicas: Permiten la identificación de ciclos y tendencias en la calidad del aire, logrando relacionar calidad del aire, factores meteorológicos y emisión de contaminantes.

Reportes.

Se debe hacer un plan de reportes antes, durante y después de la ejecución del proyecto de calidad del aire; estos reportes deben contener:

1. Descripción de la ubicación de las estaciones mediante un plano del municipio y una tabla que mencione el nombre del lugar donde está ubicada, las coordenadas x – y – z, el tipo de zona que se está vigilando (industrial, residencial, comercial, etc.), los contaminantes y/o variables meteorológicas medidas, frecuencia de muestreo y tipo de estación (semiautomática o automática).
2. Descripción del tipo de topografía y comportamiento meteorológico de cada estación.
3. Tabla consolidada de las normas locales anuales y diarias.
4. Un plano de isoplefas para cada contaminante.
5. Análisis de los resultados obtenidos e informar acerca de la ocurrencia de concentraciones inusuales y su posible causa.

9.3.2.3 Estimación de la Calidad. Principalmente comprende la aplicación de auditorías con el objeto de llevar un control durante el desarrollo de todas las operaciones de la red y así aplicar las medidas correctivas para el mejoramiento continuo. Las auditorías para el sistema de vigilancia de calidad del aire deben estar dirigidas a:

- Cumplimiento de las funciones del personal.
- Cumplimiento en los procedimientos.
- Equipos.
- Recolección e interpretación de los datos.
- Documentación de todos los procedimientos y resultados.

La auditoría externa debe realizarse anualmente de acuerdo con el presupuesto disponible de la entidad encargada de la red. La tabla 46 menciona las auditorías requeridas en la red.

Actividades de la Pre – Auditoría.

Se determinarán los objetivos y la programación de la auditoría

Responsabilidades del Director y Coordinador General.

- Establecer el objetivo, meta, costos, tiempo y frecuencia de las auditorías.
- Operaciones a auditar.
- Cronograma de la auditoría.

- Acciones de auditores frente a situaciones fuera de control en campo, laboratorio o en operaciones de datos.
- Selección de auditores.

Tabla 46. Auditorías requeridas en la RVCA del Área Metropolitana de San José de Cúcuta.

AUDITORIA	FRECUENCIA
Al Sistema Técnico de la Red Sistema de evaluación cualitativa desarrollada en el sitio donde son observados: <ul style="list-style-type: none"> • Equipos utilizados. • Sistemas. • Mantenimiento de registros. • Validación de datos. • Procedimientos de operación, calibración y mantenimiento. • Procedimientos en la toma y análisis de muestras. • Procedimientos en el control de calidad. • Reportes. 	Realizar antes de instalar el sistema de vigilancia o inmediatamente después. Debe mantenerse un programa de auditorías durante el desarrollo del proyecto. Frecuencia: Cada dos meses.
Evaluación de Desempeño Evaluación cuantitativa de una parte o partes del sistema de medida.	Mantener un programa de auditorías durante el desarrollo del proyecto. Frecuencia: Cada dos meses.
Calidad de Datos Evalúa los métodos usados para la recolección, interpretación y reporte de los datos. <ul style="list-style-type: none"> • Reporte y transferencia de datos crudos. • Cálculos y ecuaciones usadas en la presentación de los datos. • Documentación de procedimientos para la manipulación de datos. • Selección de indicadores de calidad de datos incluyendo precisión, exactitud, representatividad, comparabilidad y cobertura. 	Mantener un programa de auditorías durante el desarrollo del proyecto. Frecuencia: Cada dos meses.
A los Sistemas de Manejo Examina la estructura y procedimiento usado por la administración para alcanzar la calidad de datos deseada. El personal de campo y de laboratorio generalmente no participa en estas auditorías.	Mantener un programa de auditorías durante el desarrollo del proyecto. Frecuencia: Cada seis meses.

Fuente: USEPA. Quality Assurance Handbook of Air Pollution Measurement Systems, Vol 1

Responsabilidades del Auditado.

- Brindar detalles de la operación de la red de vigilancia al auditor (SOP, localización de estaciones de vigilancia, plan de control de calidad de datos, programación de muestreos, etc.)
- Recomendar personas que puedan dar información adicional acerca de la red de vigilancia.

Responsabilidades del Auditor.

- Explicar al auditado los pasos a seguir en la auditoría.
- Señalar las operaciones a ser auditadas.
- Calificar las auditorías.
- Nombres de personas que puedan brindar información adicional.
- Recomendar acciones correctivas en caso de encontrar deficiencias.

Actividades Post – Auditoría.

La actividad posterior a la auditoría es la corrección de los problemas hallados, estos planes de acción se aplican en los chequeos de control de calidad, donde el

personal de campo y laboratorio son quienes deben estar en capacidad de tomar las medidas correctivas necesarias.

10. COSTOS

En el análisis de costos, se pretende determinar los recursos necesarios para el montaje y funcionamiento de la Red de Vigilancia y Control de Calidad del Aire, teniendo en cuenta tres aspectos:

1. *Instalación de la RVCA*, comprende la adquisición de equipos de estaciones, laboratorio, calibración, computadores, etc.
2. *Operación de la RVCA*, costos de operación y mantenimiento.
3. *Costos administrativos*, hace referencia al pago de salarios del grupo de trabajo (profesionales, técnicos, personal administrativos, etc.).

La tabla 47 presenta la inversión tanto de implementación como de operación (un año) en la primera etapa de la red; mientras que la tabla 48 muestra la inversión de implementación de la segunda etapa, este valor puede disminuir dependiendo de las decisiones que se tomen a partir de los resultados de campañas, por lo tanto no se incluyen costos de operación en segunda fase. Dichos costos fueron estimados con un factor de conversión para el dólar de \$2800.

Tabla 47. Inversión I etapa de la RVCA Área Metropolitana de Cúcuta.

ITEM	EQUIPO/PRODUCTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Pesos Colombianos)	VALOR TOTAL (Pesos Colombianos)
MONTAJE				
1	Muestreador de Partículas Totales HI-VOL TSP	1	22 089 648	22 089 648
2	Muestreador de Partículas PM10	3	32 278 624	96 835 872
3	Kit de Calibración Muestreadores de Partículas	1	10 393 600	10 393 600
4	Muestreador de Tres Gases	4	31 180 800	124 723 200
5	Bomba de Vacío	4	3 043 478	12 173 913
6	Burbujeadores	16	48 696	779 130
7	Orificios	4	121 739	486 957
8	Analizador Automático de CO	2	43 198 400	86 396 800
9	Calibrador por Dilución	1	67 512 928	67 512 928

10	Computador Portátil	1	3 000 000	3 000 000
11	Obra Civil	5	5 000 000	25 000 000
12	Balanza Analítica	1	1 607 500	1 607 500
SUBTOTAL				450 999 548
OPERACIÓN				
14	Papel Filtro para Muestreador TSP (Caja x 100 unidades)	7	554 400	3 880 800
15	Papel Filtro en Fibra de Cuarzo para Muestreador PM10 (Caja x 25 unidades)	17	1 075 200	18 278 400
16	Motor Eléctrico Universal	10	364 000	3 640 000
17	Escobillas para Motor Másico	30	56 000	1 680 000
18	Vehículo Chevrolet (Super Carry Pick up)	1	27 790 000	27 790 000
19	Mantenimiento Vehículo	1	1 000 000	1 000 000
20	Gasolina (mensual)	12	250 000	3 000 000
SUBTOTAL				59 268 400
INVERSIÓN ADMINISTRATIVA				
21	Director General	1	2 400 000	28 800 000
22	Coordinador General	1	2 000 000	24 000 000
23	Operador de Toma de Muestras en Campo	1	1 000 000	12 000 000
24	Jefe de Laboratorio	1	1 400 000	16 800 000
25	Ingeniero Ambiental	1	1 600 000	19 200 000
26	Técnico de Equipos	1	1 200 000	14 400 000
SUBTOTAL				115 200 000
ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD				
27	Auditorias			10 000 000
28	Capacitaciones			8 000 000
SUBTOTAL				18 000 000
TOTAL				643 467 948

Fuente: Autores

Tabla 48. Inversión II etapa de la RVCA Área Metropolitana de Cúcuta.

ITEM	EQUIPO/PRODUCTO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (Pesos Colombianos)	VALOR TOTAL (Pesos Colombianos)
1	Muestreador de Partículas Totales HI-VOL TSP	2	22 089 648	44 179 296
2	Muestreador de Partículas PM10	4	32 278 624	129 114 496
3	Analizador Automático de CO	4	43 198 400	172 793 600
4	Obra Civil	2	5 000 000	10 000 000
5	Estación Meteorológica	2	42 224 000	84 480 000
TOTAL				440 567 392

Fuente: Autores

11. CONCLUSIONES

- Del diagnóstico efectuado a la actual Red de Vigilancia de Calidad del Aire (RVCA) del área de influencia de la zona industrial en San José de Cúcuta, se determinó:

En cuanto a su diseño:

- Al atender únicamente impactos generados por el eje industrial de Cúcuta su cubrimiento es parcial, dejando de vigilar sitios tanto en la jurisdicción de Cúcuta (vía a San Faustino, vía El Zulia) como jurisdicción de Villa del Rosario y Los Patios, zonas de interés para evaluar la calidad del aire.
- De igual manera la evaluación de los contaminantes atmosféricos es parcial ya que solamente se cuenta en operación con equipos para la medición de PST.
- La RVCA posee una estación automática que se encuentra descompuesta y por consiguiente fuera de operación, cuya ubicación no permite su aprovechamiento total.
- No se está realizando análisis de información meteorológica para integrarla al proceso de vigilancia de calidad del aire.

En cuanto al recurso humano:

- Solo existen dos personas a su cargo (Ingeniero Ambiental y Técnico), quienes no poseen la capacitación necesaria para el manejo de la red; además, no se cuenta con organigrama que determine funciones para cada integrante.
- No existe un programa de aseguramiento y control de la calidad para los resultados obtenidos, por lo tanto no se cuenta con programa de capacitaciones ni con protocolos de procedimientos en manejo y calibración de equipos, recolección y transporte de muestras establecidos.

Laboratorio:

- El actual laboratorio no posee un área física suficiente para el manejo de muestras de contaminantes atmosféricos.
- El personal en laboratorio no posee la capacitación en análisis de muestras de calidad del aire.
- No cuenta con protocolos de procedimiento para el análisis de muestras y reportes.
- La corporación no está destinando suficiente presupuesto para inversión en la RVCA que garantice una continua operación.

- De acuerdo con el inventario de emisores y emisiones atmosféricas, realizado para el rediseño de la Red de Vigilancia y Control de Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Cúcuta, se concluye que la localización de las fuentes fijas puntuales y difusas se concentra especialmente en el eje industrial de Cúcuta y el corredor vial que conduce al municipio de El Zulia; mientras que la mayor presencia de fuentes móviles se da en la zona central de Cúcuta y vías arteria como Av. Libertadores, Diag. Santander y Avenida Guaimaral.
- En el Área Metropolitana de Cúcuta, los combustibles de mayor uso en las fuentes fijas de emisión son el carbón mineral, ACPM y fuel oil con 64%, 17% y 15% respectivamente, en menor proporción se utiliza gas natural y crudo de castilla con un 4%. Los combustibles usados para fuentes móviles son gasolina corriente con un 53%, diesel con un 30%, gasolina ecológica 14% y en un 3% se utiliza gasolina extra.
- Del total de las fuentes fijas, la actividad más representativa en el Área Metropolitana de Cúcuta corresponde a la industria de procesamiento de la arcilla con un 41%, seguida de la industria textil con un 29%, en tercer lugar la industria de alimentos con un 12% y el 18% restante esta representado por la industria del cemento, generación eléctrica, asfalto y fabricación de metales.
- De la evaluación de emisiones en la zona de estudio se pudo establecer que de los contaminantes emitidos por fuentes fijas, el dióxido de azufre se presenta en mayor cantidad con un 36%, seguido por el material particulado con 29%, el óxido de nitrógeno en tercer lugar con 25% y finalmente el monóxido de carbono con 10%.
- Del parque automotor que transita en la ciudad de Cúcuta el 58% corresponde a vehículos venezolanos y el 42% a vehículos colombianos; de los automotores venezolanos, se presenta un 49% de automóviles, 37% camperos y 14% camionetas; en cuanto a los vehículos colombianos que transitan en la ciudad, el 48% corresponde a motocicletas, le siguen los automóviles con un 22%, con 17% las camionetas y un 13 % entre buses y camiones.
- En la malla vial establecida por este proyecto, el monóxido de carbono es el que se presenta en mayor cantidad con un 69% seguido por los óxidos de nitrógeno con 28% y el 3% restante de material particulado y dióxido de azufre. De acuerdo a los conteos vehiculares realizados en las vías arteria mencionadas anteriormente, el mayor volumen de tráfico vehicular se registra a las 8 am, 12m y 6pm, horas durante las cuales se moviliza gran parte de la población.
- Para el rediseño de la red se llevó a cabo una predicción del comportamiento de los contaminantes emitidos (PST, NOX, SO2) por todas las fuentes de la zona de estudio mediante La aplicación del modelo de dispersión ISCLT, cuyos

resultados muestran que el mayor impacto se genera en el centro y eje industrial a nivel urbano de Cúcuta, mientras que a nivel metropolitano hacia el Noreste (vía San Faustino), Oeste (Vía El Zulia) y jurisdicción de los municipios Villa del Rosario y los Patios. Además se ratifica la necesidad de aumentar los contaminantes medidos, incluyendo dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono en las zonas con mayores concentraciones como lo revela la cartografía realizada.

- Ante los hallazgos que surgieron en el diagnóstico de la actual RVCA de Cúcuta, se propone a CORPONOR el rediseño de la misma, partiendo de la información correspondiente a la zona de estudio como (emisores y emisiones, topografía, meteorología y población).
- Este rediseño se realizó siguiendo los criterios establecidos por la Environmental Protection Agency (USEPA), la Compañía Estatal de Tecnología en Saneamiento Ambiental de Brasil (CETESB) y el Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental del IDEAM.
- De acuerdo a la información obtenida del modelo de dispersión y la aplicación de criterios de los entes regulatorios, se propuso el rediseño de la RVCA de la siguiente manera:
 - Se amplía el cubrimiento al Área Metropolitana de Cúcuta de tal manera que se vigile la calidad del aire en los municipios que la integran dando prioridad a los sectores que mayor concentración de contaminantes atmosféricos presentan.
 - Se aumenta la cantidad de contaminantes a medir incluyendo PM₁₀, SO₂, NO_x y CO.
 - Para ampliar el cubrimiento meteorológico se concluye la instalación de estaciones meteorológicas en los municipios de Los Patios y Villa del Rosario, así se contará con información acerca de las condiciones meteorológicas que influirán en la dinámica de los contaminantes.
 - Como herramienta en la gestión del programa de vigilancia de la calidad del aire se establece un organigrama que explica la cantidad de personal necesaria, el perfil de conocimiento de cada uno y sus funciones.
 - Se proponen protocolos de procedimiento para manejo y calibración de equipos, recolección y análisis de muestras de cada uno de los contaminantes a medir.
 - Se presenta un programa de capacitación por módulos que contiene desde temas básicos de calidad del aire hasta manejo de equipos de medición y análisis de muestras, el conocimiento y aplicación de la normatividad vigente en el tema atmosférico.

- Como parte del aseguramiento y control de la calidad se propone la realización de auditorías tanto internas como externas que permitan hallar las fallas y dar soluciones a tiempo.
 - En cuanto al laboratorio es necesaria la inclusión del personal de laboratorio en la capacitación dando énfasis en análisis de muestras.
 - Es necesario destinar un área física dentro del laboratorio para el manejo de las muestras correspondientes a la evaluación de la calidad del aire.
 - Como soporte de operación de la futura red, con este rediseño se entregan los protocolos de procedimiento para funcionamiento y mantenimiento de equipos, recolección, transporte y análisis de muestras y entrega de reportes, los cuales deben estar disponibles para todos los integrantes del grupo de trabajo.
- La implementación del rediseño de la RVCA en el Área Metropolitana de Cúcuta, se propone para realizarse en dos etapas con el fin de balancear la inversión y garantizar el presupuesto para su correcta operación, en una primera fase instalando las estaciones prioritarias que corresponden al centro de la ciudad de Cúcuta, dos comunas afectadas por la actividad industrial y los municipios vecinos de Los Patios y Villa del Rosario así como la adquisición de equipos para llevar a cabo campañas que serán base en la toma de decisiones en la segunda fase; la segunda fase consiste en la instalación de equipos de medición de gases según los resultados de las campañas previas, se hace énfasis en la medición de PM10 (material particulado menor a 10 micras) para dar cumplimiento a la normatividad vigente; también se propone la instalación de estación meteorológica tanto en el municipio de Los Patios y como en el municipio de Villa del Rosario dichas fases de implementación son flexibles de acuerdo a los requerimientos de CORPONOR y demás entidades tanto del estado o privadas que se quieran hacer partícipes de la realización de la red.

12. RECOMENDACIONES

Como recomendación general, todo programa de vigilancia de calidad del aire, requiere ser dinámico en su evolución y desarrollo en función del comportamiento de la zona de estudio teniendo en cuenta todos y cada uno de sus componentes (topografía, industria, población, meteorología, etc.)

De acuerdo a lo establecido en el rediseño de la RVCA para el Área Metropolitana de San José de Cúcuta se recomienda:

- Implementar el Rediseño de la Red de Vigilancia y Control de Calidad del Aire propuesta para el Área Metropolitana de Cúcuta.
- Destinar las partidas presupuestales necesarias para la obtención de equipos y operación de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire para el Área Metropolitana de Cúcuta.
- Contar con un reporte anual de las fuentes de emisión en el que se informe acerca de los cambios en los procesos de producción en cada una de las industrias, de tal manera que se facilite la continua alimentación al inventario de emisiones que posee la corporación.
- CORPONOR debe adelantar junto a la secretaria de tránsito programas de control encaminados a la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos en fuentes móviles, e impulsar conteos vehiculares con el fin de contar con una caracterización representativa del parque automotor que transita en el Área Metropolitana teniendo en cuenta su situación fronteriza.
- Promover el intercambio de información con las Secretarías de Salud de los municipios del Área Metropolitana para que de manera conjunta se logre establecer indicadores como el aumento o reducción en morbilidad y mortalidad por enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica.
- Designar el personal necesario para la operación de la red dando vital importancia a su capacitación sobre manejo, mantenimiento y calibración de equipos así como recolección, transporte y análisis de muestras en un programa de vigilancia de calidad del aire y así garantizar la calidad de los datos obtenidos.
- Velar por la operación continua de la red y el correcto manejo de los datos obtenidos aplicando los SOP a cabalidad para que así puedan ser utilizados

para futuras decisiones de control y vigilancia, ya sea a nivel normativo o de infraestructura de la red (ampliación).

- En el marco del programa de aseguramiento y control de la calidad, para garantizar un mejoramiento continuo, se recomienda a CORPONOR, la futura implementación de la medición de material particulado PM 2.5 en el caso que las concentraciones de PST y PM 10 generen considerables afecciones a la salud de la población, con el fin de tener una evolución dinámica del proceso de vigilancia de calidad del aire acorde a la legislación ambiental vigente.
- Velar por la integración de las instituciones y entidades, públicas y privadas y población de los diferentes municipios que se encuentran directa o indirectamente implicada en el mejoramiento de la calidad del aire de la región para garantizar el éxito en los objetivos y actividades propuestos por la red de vigilancia.
- Para el laboratorio se recomienda llevar a cabo buenas prácticas de ingeniería con el manejo de los residuos generados en el proceso de análisis de muestras de contaminantes gaseosos especialmente dióxido de azufre.

13. BIBLIOGRAFÍA

- ALLEY, R. Manual de control de la calidad del aire. Editorial Mc Graw – Hill. México D.F. 2001.
- ARÁNGUEZ, Emiliano y ORDOÑEZ, José. Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. Revista Salud Pública. 1999; 73: 123 -132. No 2 Marzo. Madrid. 1999. 13 p.
- AYLLÓN, Teresa. Elementos de Meteorología y climatología. Ed. Trillas. México D.F. 2003. 211 p.
- BEDOYA, Julián. La gestión de la calidad de aire urbano. Los inventarios.
- CORTÉS, Yesid. Diagnóstico y propuesta metodológica para el diseño y manejo de redes de monitoreo de calidad del aire. Bogotá. 2001. Trabajo de grado (Ing. ambiental y sanitario). Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería ambiental y sanitaria.
- Departamento Administrativo de Planeación San José de Cúcuta. Plan de ordenamiento territorial municipio de Cúcuta. San José de Cúcuta. 2001.
- DIGESA, Dirección General de Salud Ambiental y Gestión de los Datos. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Perú. 2005. 71 p.
- ECOCARBÓN. Hornos ladrilleros a carbón. Medellín. Editorial Universidad Pontificia Bolivariana. 1998. 133 p.
- GALLARDO, Laura. Modelación atmosférica con orientación a dispersión de contaminantes. CONAMA. Santiago de Chile. 1997.
- HERRERA, Gabriel. Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental. IDEAM. Bogotá. 2005. 118p.
- HIMAT. Manual del observador meteorológico.
- IDEAM. Subdirección de estudios ambientales. Documento soporte norma de calidad del aire. Bogotá. 2005.

- Korc, M. Programa Regional de Evaluación de los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire en América Latina y El Caribe. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente División de Salud y Ambiente. Lima, Perú. 2001. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/E/fulltext/qaqc/qaqc.html>
- Municipio de El Zulia. Esquema de ordenamiento territorial. El Zulia. 2001.
- Municipio de Los Patios. Plan básico de ordenamiento territorial municipio de Los Patios. Los Patios. 2001.
- Municipio de San Cayetano. Esquema de ordenamiento territorial. San Cayetano. 2001.
- Municipio de Villa del Rosario. Plan básico de ordenamiento territorial municipio de Villa del Rosario. Villa del Rosario. 2001.
- PNUMA/OMS, Manuales de Metodología de GEMS/Aire. Volumen 1. Aseguramiento de la calidad en el monitoreo de la calidad del aire urbano Traducción del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS). 2002.
- RODRIGUEZ, Humberto y GONZALES, Fabio. Manual de radiación solar en Colombia. Departamento de física Universidad Nacional de Colombia.
- RUIZ, José. Simulación de la contaminación atmosférica generada por fuentes móviles en Bogotá. Bogotá. 2002. Trabajo de grado (Magíster en ciencias meteorológicas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Guía metodológica de muestreo, monitoreo y análisis de contaminación del aire por fuentes normales y por ruido. Tomo IX. México. 30 p.
- SEOÁNEZ, Mariano. Tratado de climatología aplicada a la ingeniería medioambiental. Ed. Mundi – Prensa. Madrid. 2002. 733 p.
- SOZZI, Roberto. La turbulencia de la atmósfera y la dispersión de los contaminantes.
- SWISSCONTACT. Manual de laboratorio. Monitoreo del aire. Programa aire puro. 2001. 102 p.

- -----, Procedimientos de determinación de los sitios de muestreo. Monitores del aire en Centro América. Programa aire puro. 2001.
- Universidad de Boyacá. Seminario redes de calidad del aire. 1998.
- USEPA. Compilation of air pollutant emission factors AP 42.
- -----, Meteorological monitoring guidance for regulatory modeling applications.
- -----, Screening produces for estimating the air quality impact for stationary sources.
- WARK, K y WARNER, C. Contaminación del aire Origen y control. Editorial Limusa. México D.F. 1998.

ANEXOS

ANEXO A

DESCRIPCIÓN DE COMUNAS DE CADA UNO DE LOS MUNICIPIOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA

CARACTERIZACIÓN GENERAL DE COMUNAS CORRESPONDIENTES A LA CIUDAD DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA

COMUNA	DESCRIPCIÓN	POBLACIÓN
1 Ocho Barrios	<p>En esta comuna reúne los barrios El Centro, La Playa, El Contento, Latino, Páramo, Llano, Callejón y La Sexta. Agrupa por lo menos el 80% de la actividad comercial y de servicios públicos de la ciudad y de las empresas manufactureras en especial las del ramo del calzado.</p> <p>Funcionan 16 planteles educativos de enseñanza primaria y secundaria públicos y 40 instituciones del sector privado, incluyendo centros de educación formal y no formal.</p>	30 000 habitantes residentes más la población flotante que se desplaza diariamente.
2 Cuarenta y seis Barrios	<p>Conformada por los barrios La Rinconada, Club Tennis, Condominio El Lago, Mirador Campestre, The Rivers Country, Condominio Comercial Bolivar, Centro Comercial Bolivar, El Rosal, Barrio Blanco, Caobos, Quinta Vélez, Libertadores, Urbanización Sayago, La Riviera, Colsag, Popular, La Ceiba, Quinta Oriental, Quinta Bosch, La Castellana, La Capillana, Urbanización Ceiba II, Los Pinos, Santa Lucía, Los Acacios, Govika, Urbanización Prados Club, Prados I y II, Brisas del Pamplonita, Rincón de los Prados, Valparaiso Suite, Las Almeidas, La Primavera, Manolo Lemus, Condado de Castilla, CASD, Cooperativa de Vivienda La Esperanza, Los Próceres, Hurapanes, Galicia, Universidad Francisco de Paula Santander, Villa María, Urb. Hacaritama, Parques Residenciales Los Libertadores I, II y III, Parque Real.</p> <p>Sector residencial con alta concertación de centros educativos, de salud, recreativos, comerciales, transporte.</p>	Población aproximada de 47.284 habitantes.
3 Quince Barrios	<p>Agrupar los barrios y asentamientos Morelli, Boconó, Santa Ana, La Unión, Valle Esther, Policarpa, Urbanización las Margaritas, Urbanización Santa Ana, Aguas Calientes, La Libertad, San Mateo, Bogotá, Bellavista y La Carolina, Luís Pérez Hernández. Esta comuna conforma la parte Sur Oriental de la ciudad, zona donde su uso residencial con establecimientos comerciales a lo largo de los ejes viales principales, además se encuentran la Estación de Policía San Mateo, Subestación de San Mateo de Centrales Eléctricas, La Monitora y el Seminario Mayor.</p> <p>Los asentamientos en su mayoría surgieron de procesos ilegales y ocupación de la tierra. Las actividades de industria, comercio y servicios se limitan a industria artesanal procesadora de arcilla y negocios comerciales con destino a suplir necesidades barriales.</p>	Población aproximada de 50.000 habitantes.

COMUNA	DESCRIPCIÓN	POBLACIÓN
4 Veintiocho Barrios	barrios y asentamientos: La Quinta, Viejo Escobal, Nuevo Escobal, Portal del Escobal, La Isla de la Fantasía, Urbanización la Alameda, Sector el Higuérón, Urbanización San Martín I, Urbanización San Martín II, Alto Pamplonita, Bajo Pamplonita, Sector Chiverco, San Luís, Urbanización Torcoroma, Urbanización San José, Urbanización Aniversario I, Urbanización Aniversario II, Nueva Santa Clara, Santa Teresita y Villas de San Diego, 13 de Marzo, Caña Fístolo, Prados del Este, Terranova, La Florida, Villa Camila, Santillana, Heliopolis.	Población aproximada de 86.856 habitantes.
5 Veintiocho Barrios	Conformado por los barrios Lleras Restrepo, La Merced, Colpet, Pescadero, Zona Industrial, Urbanización Tasajero, Urbanización Niza, Zona Franca, Urbanización Santa Helena, Prados del Norte I, II y III Etapa, Portachuelo, El Bosque, Paraíso, Urbanización La Ceiba, Zulima I, II, III y IV, Gratamira, La Mar, Ciudad Jardín, Guaimaral, San Eduardo, Gualanday, Sevilla y Urbanización La María. Presenta variedad de usos, residenciales, comerciales e industriales, sobre los principales ejes viales. Una de las áreas representativas de la comuna es la Zona Industrial. Esta reúne algunas de las edificaciones de uso industrial de la ciudad, confluyendo allí el tráfico pesado del Municipio y de la zona de frontera.	Con población una de 54.521 habitantes.
6 Cuarenta y Nueve Barrios	Reúne los barrios y asentamientos: Virgilio Barco, El Porvenir, Aeropuerto, Panamericano, El Salado, La Insula, Colinas de la Victoria, Cerro Norte, Cerro de la Cruz, Urbanización Las Américas, San Gerardo, Colinas del Salado, Trigal del Norte, Molinos del Norte, La Concordia, Simón Bolívar I, Cumbres del Norte, Caño Limón, Toledo Plata, María Auxiliadora, Urbanización Brisas del Norte, Villas de las Américas, Los Laureles, Carlos Pizarro, María Paz, La Isla, Carlos García Lozada, Divino Niño, Rafael Nuñez, Alonsito, Las Vegas, Nueva Colombia, 8 de Diciembre, Olga Teresa, Cecilia Castro, Villa Nueva, Brisas del Aeropuerto, 20 de Diciembre, Brisas del Paraíso, 6 de Mayo, Esperanza Martínez, Urbanización Panamericana, Urbanización García Herreros, Urbanización Luís David Flores, Villas del Tejar, Brisas del Porvenir, El Cerrito, Urbanización Villa Juliana, Urbanización Limonar del Norte. Además de ser zona residencial, cuenta con servicios metropolitanos y Zona Industrial (curtiembres y chircales) en San Gerardo, vía a San Faustino.	Con población una de 47.284 habitantes.

COMUNA	DESCRIPCIÓN	POBLACIÓN
7 Diecisiete Barrios	Comuna ubicada al Nor-occidente de la ciudad agrupa los barrios El Rosal del Norte, Chapinero, Claret, Comuneros, Tucunaré, Motilones, Las Américas, La Florida, La Primavera, Ospina Pérez, Buenos Aires, La Hermita, Paraíso, Camilo Daza, La Laguna, Colombia I Y II. Carece de actividades comerciales, industriales, institucionales y de servicios, constituyéndose en barrios dormitorios.	Población aproximada de 66.583 habitantes.
8 Veintitrés Barrios	Ubicada al Sur-occidente, conformada por los asentamientos: El Progreso, Antonia Santos, Cerro Pico, Palmeras, Belisario, Atalaya I, II y III Etapa, Cúcuta 75, Los Almendros, Niña Ceci, Carlos Ramírez París, Doña Nidia, La Victoria, El Rodeo, Valles del Rodeo, La Carolina, El Minuto de Dios, Nuevo Horizonte, Los Olivos, El Desierto, 7 de Agosto, Juana Rangel. Vivienda legal e ilegal y viviendas ubicadas en las zonas de alto riesgo.	Cuenta con una población de aproximada de 75.000 habitantes.
9 Quince Barrios	Agrupada por los barrios La Divina Pastora, Belén, Barrio Nuevo, Aislandia, Rudesindo Soto, Barrios Nuevo, La Aurora, Las Colinas, Cundinamarca, San Miguel, Loma de Bolívar, Los Alpes, Carora, Pueblo Nuevo y 28 de Febrero. Reúne aproximadamente el 20% de la actividad industrial de Cúcuta.	Población de 70.000 habitantes.
10 Quince Barrios	Conformada por los asentamientos: San Rafael, Santo Domingo, Cuberos Niño, Alfonso López, Galán, Santander, Gaitán, Urbanización La Aurora, San José, Circunvalación, Camilo Torres, La Cabrera, Puente Barco, los Sectores de las Malvinas y Magdalena. Cuenta con servicios metropolitanos como el DAS, el Grupo Mecanizado Maza, La Curia, El Cementerio Central y La Embotelladora de Santander.	Población aproximada de 44.871 habitantes.

CARACTERIZACIÓN GENERAL DE SECTORES CORRESPONDIENTES AL MUNICIPIO DE VILLA DEL ROSARIO

SECTOR	DESCRIPCION	POBLACION
1	Corresponde a los asentamientos de invasión de los barrios Navarro Wolf, La Esperanza, 20 de julio y Montevideo. También corresponde el sector de Lomitas, que hasta el año 1973 era considerado zona rural. El uso del suelo es mixto, pues allí se encuentran pequeñas industrias, comercios y zona residencial.	9.711 habitantes.

2	Zona central del perímetro urbano, el sector de La Parada y la parte alta del municipio donde predominan algunos asentamientos subnormales. Este sector se encuentra en buena parte saturado urbanísticamente.	48.932 habitantes.
3	Se encuentran las urbanizaciones de Campo Verde y Trapiches, que cuentan con sus propios servicios de acueducto y alcantarillado. Además se presentan terrenos de gran potencial urbanístico, pero que no cuentan con servicios de acueducto. En esta zona se han desarrollado algunas urbanizaciones con servicio de acueducto y alcantarillado propio.	18.399 habitantes.
4	Corresponde en su mayoría a zona de futuro desarrollo. Son terrenos aledaños a la autopista internacional y se encuentra allí el sector hotelero y el sector de Villa Antigua donde se han desarrollado algunas urbanizaciones de estratos medios.	14.381 habitantes.

CARACTERIZACIÓN GENERAL DE SECTORES CORRESPONDIENTES AL MUNICIPIO DE LOS PATIOS

SECTOR	DESCRIPCION
1	Conformado por los Barrios Bellavista, Villa Camila, Pinar del Río, Cataluña, La Floresta, Buganviles, Terrazas de la Floresta y Colinas del Nogal. Caracterizado por una malla irregular, que, generada por las condiciones topográficas del lugar, y en la mayoría de los casos por el índice de ocupación del suelo, donde predomina el área libre sobre el área construida.
2	Agrupar los barrios Santa Clara, Juana Paula, La Arboleda, Bosques del Nogal, El limonar, San Carlos, La Sabana, 12 de Octubre, Barrio Juana Paula, La Cordialidad, Patios Centro, Los Colorados, Patio Antiguo, Chaparral, Videlso, 11 de Noviembre, Tasajero y San Francisco.
3	Reúne los barrios Miradores del Pamplonita, Kilómetro 8, Minuto de Dios, Daniel Jordán, Las Cumbres, El Sol, San Remo, Altamira, San Fernando, Torcoroma, Tierra linda, Villa Celina, Pensilvania, La Esperanza, Kilómetro 9, Montebello I, Pisarreal, El Mirador, Montebello II, Ciudadela Betania, Llanitos, Villa Esperanza, Llano Grande, Brisas del Llano y Valles del Mirador.

ANEXO B

FACTORES DE EMISIÓN

FACTORES DE EMISIÓN USADOS PARA LA MODELACIÓN DE FUENTES FIJAS PUNTUALES Y DIFUSAS.

TIPO DE FUENTE	FACTORES DE EMISION			
	TSP	SO2	NOX	CO
Unidades manuales de carbón (lb/ton)*	15	31S	9.5	11
Calderas de GLP (lb/1000gal)	0.6	0.1S	19	3.2
Calderas de Fuel oil (lb/1000gal)**	10	157S	55	5
Calderas a gas Natural (Kg/1Exp6m³)	100	2.258	9.7	565
Calderas de Carbón piso seco (lb/ton)	10	38S	22	0.5
Patios de acopio***	1.8u	xx	xx	xx
Arroceras (Kg/ton)	0.135	xx	xx	xx
Coquización (g/ton coque)	275	2500	1350	1500
Incineración de hospitalarios(Kg/ton)	2.33	1.09	1.78	1.48

* Factor de emisión usado para hornos de Industria procesadora de la arcilla.

** Usado para calderas tanto de fuel oil como de ACPM.

*** Factor usado para el acopio de pilas activas de carbón. $u = u_{10} \{ [\ln (h_e / h_o)] / [(\ln (10 / h_o))]\}$

Donde:

u_{10} = velocidad del viento a 10 m de altura (estación meteorológica),

h_e = altura de emisión del área considerada,

h_o = altura de rugosidad (0.003m).

FACTOR DE EMISIÓN VEHICULAR EN CALIENTE. CORINAIR

TIPO DE VÍA	MODELO VEHICULO	CATEGORÍA VEHICULO	FACTOR DE EMISION VEHICULAR EN CALIENTE (g/km recorrido)									
			CO	NOx	VOC's	TSP	SO2	MET	NMET	ALQ	ARO	ALD
1. (30 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4l.	32.97	1.72	2.87	0.06	0.015	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		1,4l. <Autos< 2,0l.	32.97	1.98	2.87	0.08	0.018	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		Autos > 2,0l.	32.97	2.49	2.87	0.10	0.022	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.259	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4l.	23.60	1.72	2.28	0.06	0.013	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		1,4l. <Autos< 2,0l.	23.60	1.98	2.28	0.08	0.016	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		Autos > 2,0l.	23.60	2.49	2.28	0.10	0.017	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.259	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	1979 ≤ Año < 1986	Autos < 1,4l.	20.91	1.59	2.27	0.06	0.012	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		1,4l. <Autos< 2,0l.	20.91	1.74	2.27	0.08	0.014	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		Autos > 2,0l.	20.91	2.71	2.27	0.10	0.018	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.259	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4l.	11.81	1.61	1.81	0.06	0.010	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		1,4l. <Autos< 2,0l.	11.81	1.94	1.81	0.08	0.013	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		Autos > 2,0l.	11.81	2.25	1.81	0.10	0.015	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.259	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
2. (45 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4l.	25.54	1.90	2.17	0.04	0.011	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		1,4l. <Autos< 2,0l.	25.54	2.26	2.17	0.06	0.013	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		Autos > 2,0l.	25.54	3.05	2.17	0.08	0.016	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4l.	17.34	1.90	1.71	0.04	0.009	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		1,4l. <Autos< 2,0l.	17.34	2.26	1.71	0.06	0.010	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		Autos > 2,0l.	17.34	3.05	1.71	0.08	0.014	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	1979 ≤ Año < 1986	Autos < 1,4l.	14.95	1.74	1.70	0.04	0.009	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		1,4l. <Autos< 2,0l.	14.95	2.01	1.70	0.06	0.010	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		Autos > 2,0l.	14.95	2.88	1.70	0.08	0.013	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4l.	8.16	1.76	1.36	0.04	0.008	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		1,4l. <Autos< 2,0l.	8.16	2.22	1.36	0.06	0.010	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		Autos > 2,0l.	8.16	2.34	1.36	0.08	0.007	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		Buses	3.47	2.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
3. (60 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4l.	21.30	2.02	1.78	0.04	0.013	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		1,4l. <Autos< 2,0l.	21.30	2.52	1.78	0.06	0.016	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		Autos > 2,0l.	21.30	3.66	1.78	0.08	0.018	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4l.	14.38	2.02	1.32	0.04	0.009	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		1,4l. <Autos< 2,0l.	14.38	2.52	1.32	0.06	0.010	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		Autos > 2,0l.	14.38	3.66	1.32	0.08	0.014	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	1979 ≤ Año < 1986	Autos < 1,4l.	10.69	2.01	1.13	0.04	0.009	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		1,4l. <Autos< 2,0l.	10.69	2.34	1.13	0.06	0.010	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		Autos > 2,0l.	10.69	3.17	1.13	0.08	0.013	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4l.	5.64	1.96	1.03	0.04	0.008	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		1,4l. <Autos< 2,0l.	5.64	2.53	1.03	0.06	0.010	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		Autos > 2,0l.	5.64	2.54	1.03	0.08	0.007	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181

ANEXO C

INVENTARIO DE EMISIÓN DE FUENTES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS DIFUSAS

FUENTE		COORDENADAS ORIGEN ESTE		Z	A m2	M	EC	COMBUSTIBLE		QM	EMISION (g/s-m²)			
								TIPO	CONSUMO		TSP	SO2	NOx	CO
		Kg/h												
CHIRCALES DE SUBSISTENCIA	Chircal de Subsistencia	845199	1357380	480	250	Villa del Rosario	Horno Pampa	Carbón mineral	6.4	2	0.000048	0.000069	0.000029	0.000888
	Chircal de Subsistencia	845103	1357227	480	300	Villa del Rosario	Horno Pampa	Carbón mineral	5.8	3	0.000037	0.000052	0.000022	0.000670
	Chircal de Subsistencia	845679	1357526	460	100	Villa del Rosario	Horno Pampa	Carbón mineral	9.3	1	0.000176	0.000251	0.000107	0.003225
	Chircal de Subsistencia	845453	1357695	465	250	Villa del Rosario	Horno Pampa	Carbón mineral	6.5	2	0.000049	0.000070	0.000030	0.000902
	Chircal de Subsistencia	845336	1358008	475	380	Villa del Rosario	Horno Pampa	Carbón mineral	8.2	1	0.000041	0.000058	0.000025	0.000748
	LA PEÑITA	831293	1370994	220	220	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	6.94	2	0.000060	0.000085	0.000036	0.001094
	MANUEL MECO	832069	1370552	200	50	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	4.17	2	0.000158	0.000225	0.000096	0.002892
	MARCO CHAVEZ	832098	1367423	205	50	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	6.94	2	0.000263	0.000374	0.000159	0.004814
	EL SAMAN	831332	1360738	240	100	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	5.55	2	0.000105	0.000150	0.000064	0.001925
	FLORENCIA I	831023	1371296	220	280	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	69.44	7	0.000469	0.000669	0.000285	0.008601
	FLORENCIA II	833970	1369509	200	250	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	55.55	5	0.000420	0.000599	0.000255	0.007706
	VISTA HERMOSA	831520	1371522	200	150	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	6.94	1	0.000088	0.000125	0.000053	0.001605
	PISOS DEL NORTE	831565	1372792	200	150	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	8.33	1	0.000105	0.000150	0.000064	0.001926
	PISOS Y ENCHAPES	829725	1370215	210	300	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	12.5	3	0.000079	0.000112	0.000048	0.001445
	SAN CARLOS	831439	1372103	200	330	El Zulia	Horno Pampa	Carbón mineral	13.88	3	0.000080	0.000113	0.000048	0.001459

Z Elevación en metros
 A Área en metros
 M Municipio
 EC Equipo de combustión
 QM Quemadas en el mes

FUENTE		MUNICIPIO	COORDENADAS ORIGEN ESTE		ELEVACION (m)	ÁREA DEL PATIO	AREA (m ²)	Altura de emisión (m)	Velocidad promedio del viento (m/s)	EMISION TSP (g/s·m ²)
			X	Y						
PATIO DE ACOPIO DE CARBÓN	Inversiones Reingeniería y Transporte	Cúcuta	836545	1367325	240	área acopio	5100	13	2.91	0.00014550
						área pasillos	900	0.5	1.78	0.00008900
						Total	6000			0.00023450
	La Viaguala	Cúcuta	840839	1358930	275	área acopio	2459.7	8	2.74	0.00013700
						área pasillos	273.3	0.5	1.78	0.00008900
						Total	2733			0.00022600
	CONMINAS MAPORAL	Cúcuta	835600	1368200	235	área acopio	31500	15	2.96	0.00014800
						área pasillos	4500	0.5	1.78	0.00008900
						Total	36000			0.00023700
	PROMINORTE	Cúcuta	840034	1351180	480	Área acopio	2520	10	2.82	0.00014100
						Área pasillos	280	0.5	1.78	0.00008900
						Total	2800			0.00023000
	Carbones la Aurora	Cúcuta	837834	1367450	270	Área acopio	6800	12	2.88	0.00014400
						Área pasillos	1200	0.5	1.78	0.00008900
						Total	8000			0.00023300
	CARBOTEX	Los Patios	840768	1352848	465	Área acopio	3675	8	2.74	0.00013700
						Área pasillos	525	0.5	1.78	0.00008900
						Total	4200			0.00022600
	Colcarbex	El Zulia	832455	1381116	180	Área acopio	12675.5	13	2.91	0.00014550
						Área pasillos	2182.5	0.5	1.78	0.00008900
						Total	14550			0.00023450
	La Carrizala	El Zulia	831353	1380070	200	Área acopio	9273.5	14	2.94	0.00014700
						Área pasillos	1636.5	0.5	1.78	0.00008900
						Total	10910			0.00023600

FUENTE		COORDENADAS ORIGEN ESTE		ELEVACIÓN (m)	AREA (m ²)	MUNICIPIO	PRODUCCIÓN (ton/mes)	TSP (g/s-m ²)
		X	Y					
ARROCERAS	COAGRONORTE	843355	1369054	280	280	Cúcuta	3300	0.001842
	ARROZ ORO S.A.	830619	1369006	275	250	Cúcuta	3000	0.001875
	ARROCERA SAN VALENTIN	842824	1366228	275	200	Cúcuta	2900	0.002266
	ARROCERA GELVEZ	842541	1366440	310	230	Cúcuta	2700	0.001834
	ARROCERA LA PALESTINA	842964	1366396	260	250	Cúcuta	3200	0.002000

INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES FIJAS PUNTUALES

Información adicional de las fuentes fijas puntuales del Área Metropolitana de Cúcuta.

No	EMPRESA	MUNICIPIO	PRODUCCION Producto/mes	ELEVACION	ORIGEN ESTE COORDENADA		EQUIPO DE COMBUSTION	COMBUSTIBLE		
					X	Y		TIPO	CONSUMO	
								(Kg/h)	(gal/h)	
1	Tejar Margres	Villa del Rosario	60540 Tejas, 5210 Bloques	480	845895	1356680	Horno Colmena	carbón mineral	237.00	
					845880	1356660	Horno Colmena	carbón mineral	237.00	
					845870	1356645	Horno Colmena	carbón mineral	250.27	
2	Bloques y Ladrillos	San José de Cúcuta	25910 Tejas, 6500 Bloques, 8200 Ladrillos	300	851136	1376429	Horno Colmena	carbón mineral	83.20	
3	Tubos la Fama	Los Patios	6800 Tubos, 9640 Ladrillos	430	842100	1356810	Horno Colmena	carbón mineral	131.25	
4	Cerámica Tamesis	San José de Cúcuta	xxx	430	841080	1355100	Horno Colmena	carbón mineral	428.57	
5	Tejar Sta Rosa	San José de Cúcuta	35.25 Ton	230	835970	1367515	Horno Colmena	carbón mineral	235.29	
					835950	1367500	Horno Colmena	carbón mineral	280.00	
					835940	1367485	Horno Colmena	carbón mineral	280.00	
6	Tejar San Gerardo	San José de Cúcuta	17240 Tejas, 4310 Bloques, 3700 Ladrillos	280	844567	1370791	Horno Colmena	carbón mineral	190.48	
7	Tejar Babilonia	Villa del Rosario	69560 Tejas, 7460 Bloques, 84310 Tabletas	450	846115	1356710	Horno Colmena	carbón mineral	109.17	
					846100	1356700	Horno Colmena	carbón mineral	225.00	
					846090	1356685	Horno Colmena	carbón mineral	278.00	
8	Ladrillera Sigma	Los Patios	25140 Tejas, 7285 Bloques	480	841590	1354380	Horno Colmena	carbón mineral	166.67	
					841600	1354400	Horno Colmena	carbón mineral	328.10	
					841615	1354420	Horno Colmena	carbón mineral	338.71	
9	Cerámica Andina	San Cayetano	15490 Bloques, 83660 Tabletas	370	827700	1366100	Horno Túnel	Crudo castilla		18.00
					827715	1366085	Horno Rodillos	GLP		20.83
10	Cerámica Sta Ana	San José de Cúcuta	19720 Tejas, 4930 Bloques, 26620 Tabletas	410	845576	1363421	Horno Colmena	carbón mineral	347.20	

No	EMPRESA	MUNICIPIO	PRODUCCION Producto/mes	ELEVACION	ORIGEN ESTE COORDENADA		EQUIPO DE COMBUSTION	COMBUSTIBLE		
								TIPO	CONSUMO	
					X	Y			(Kg/h)	(gal/h)
11	Arcillas del Oriente	San José de Cúcuta	18930 Tejas, 4600 Ladrillos	280	844825	1371175	Horno Hoffman	carbón mineral	320.00	
12	Tejar los Vados	Los Patios	137250 Tejas, 220000 Tabletas	465	841510	1352265	Horno Colmena	carbón mineral	208.33	
					841500	1352250	Horno Colmena	carbón mineral	187.50	
					841490	1352230	Horno Colmena	carbón mineral	208.33	
					841485	1352275	Horno Colmena	carbón mineral	187.50	
13	Ladrillos Cortes	San José de Cúcuta	40000 Tejas, 10000 Bloques	350	840950	1362100	Horno Colmena	carbón mineral	180.00	
14	Ladrillera Cúcuta	Villa del Rosario	31640 Tabletas, 8100 Ladrillos	430	845650	1358315	Horno Colmena	carbón mineral	312.50	
					845635	1358305	Horno Colmena	carbón mineral	312.50	
					845620	1358310	Horno Colmena	carbón mineral	277.80	
					845600	1358300	Horno Colmena	carbón mineral	277.80	
					845615	1358280	Horno Colmena	carbón mineral	222.20	
					845605	1358275	Horno Colmena	carbón mineral	277.80	
					845630	1358270	Horno Colmena	carbón mineral	277.77	
15	Ladrillera Leyva	San José de Cúcuta	28780 Tejas, 7200 Bloques, 38860 Tabletas	340	841620	1362920	Horno Hoffman	carbón mineral	45.00	
16	Cementos Diamante	Los Patios	14640 Ton	425	842760	1357300	Horno Klinker	carbón mineral	4.45	
			13160 Ton		842780	1357310	Molino de Cemento	carbón mineral	4.61	
17	Tejar Pescadero	San José de Cúcuta	24780 Tejas, 6200 Bloques, 8320 Ladrillos	310	842460	1365440	Horno Colmena	carbón mineral	315.78	
					842483	1365456	Horno Colmena	carbón mineral	315.78	
					842495	1365464	Horno Colmena	carbón mineral	268.00	
					842470	1365472	Horno Colmena	carbón mineral	183.33	
18	Tejar Casa Blanca	San José de Cúcuta	54170 Tejas, 73130 Tabletas, 38230 Ladrillos	230	835659	1367892	Horno Colmena	carbón mineral	285.71	
19	Pavimentos y Construcciones	Los Patios	6400 Ton	510	839320	1349319	Horno Rotatorio	ACPM		80
					839310	1349375	Caldera	ACPM		5

No	EMPRESA	MUNICIPIO	PRODUCCION Producto/mes	ELEVACION	ORIGEN ESTE COORDENADA		EQUIPO DE COMBUSTION	COMBUSTIBLE		
								TIPO	CONSUMO	
					X	Y			(Kg/h)	(gal/h)
20	Tejar Santa Teresa	San José de Cúcuta	38.72 Ton	260	835803	1367693	Horno Colmena	carbón mineral	367.00	
					835818	1367693	Horno Colmena	carbón mineral	367.00	
					835832	1367695	Horno Colmena	carbón mineral	277.77	
					835835	1367377	Horno Colmena	carbón mineral	277.77	
					835820	1367680	Horno Colmena	carbón mineral	375.00	
					835800	1367680	Horno Colmena	carbón mineral	333.00	
					835805	1367665	Horno Colmena	carbón mineral	278.00	
					835818	1367662	Horno Colmena	carbón mineral	333.33	
					835833	1367665	Horno Colmena	carbón mineral	291.67	
21	Chircal Arcigres	San José de Cúcuta	8600 Bloques, 46740 Tabletas, 11400 Ladrillos	210	834800	1369000	Horno Colmena	carbón mineral	221.00	
					834812	1369005	Horno Colmena	carbón mineral	187.50	
22	Planta de Asfalto Vergel y Castellanos	San José de Cúcuta	150 M3 de mezcla asfáltica	315	846957	1366608	Horno Rotatorio, caldera	ACPM		73.00
23	Cerámica Italia	San José de Cúcuta	28400 Tabletas	280	844000	1368000	Horno Atomizador	fuel oil		62.40
					844015	1368010	Horno Atomizador	fuel oil		87.00
24	Termotasajero	San Cayetano	Carga mínima de 68 megavatios	400	826804	1360305	Caldera	carbón mineral	22861.19	
25	Café Galavíz	San José de Cúcuta	1440000 kg/mes	275	842675	1366264	Caldera	ACPM		6.00
26	Café Crisol	Villa del Rosario	xxx	400	846573	1358373	Caldera	ACPM		1.30
27	Café Frontera	San José de Cúcuta	600 arroba	345	841978	1364083	Caldera	ACPM		3.60
28	Bascula el Brillante	San José de Cúcuta	633.6 Ton	280	843034	1368360	Trilladora (Emisión)	ACPM		1.15
29	Velaciones San José	Los Patios	8 Cadáver	410	843440	1359860	Horno Crematorio	GLP		1450.0 0
30	La Motilona Aseo Total	San José de Cúcuta	90 Kg/h de Residuos Peligrosos	265	837281	1366556	Horno Incinerador	GLP		26417. 80

No	EMPRESA	MUNICIPIO	PRODUCCION Producto/mes	ELEVACION	ORIGEN ESTE COORDENADA		EQUIPO DE COMBUSTION	COMBUSTIBLE		
								TIPO	CONSUMO	
					X	Y			(Kg/h)	(gal/h)
31	Guayabal Aseo Urbano	San José de Cúcuta	75 Kg/h de residuos peligrosos	220	841532	1377880	Horno Incinerador	GLP		6076.09
32	Gaseosas La Frontera	San José de Cúcuta	11550 Kg/h B. Gaseosa 1928Kg/h Agua Bolsa 2830Kg/h Agua Botellón	240	846865	1366697	Caldera	fuel oil		51.00
33	Pasteurizadora La Mejor	San José de Cúcuta	xxx	305	842472	1365051	Caldera	fuel oil		55.80
34	Aluminios Onava	Villa del Rosario	Líneas de utensilios de cocina como: ollas a vapor, baterías de cocina plateros.	370	846447	1359777	Caldera	Gas Natural		22.00
35	Laminados Cúcuta	Villa del Rosario	12000 varillas	380	845398	1361343	Caldera	ACPM		12.50
36	Lav. Y Tint. Lavarapid	San José de Cúcuta	38000 prendas	280	843512	1367003	Caldera	carbón mineral	55.00	
37	Lav. Y Tint. Tintex	San José de Cúcuta	20000 prendas	285	843511	1367134	Caldera	carbón mineral	50.00	
38	Lav y Tint. Jucky Sport	San José de Cúcuta	22000 prendas	285	843490	1367115	Caldera	carbón mineral	52.00	
39	Lav y Tint. Nuevo Milenio	San José de Cúcuta	12000 prendas	280	842857	1366619	Caldera	carbón mineral	66.00	
40	Lav y Tint. Jair Protex	San José de Cúcuta	38000 prendas	280	843400	1367106	Caldera	carbón mineral	25.00	
41	Lav y Tint. Impacto Tropical	San José de Cúcuta	15 prendas	285	843422	1367078	Caldera	carbón mineral	45.00	
42	Lav y Tint. American Texas	San José de Cúcuta	15000 prendas	285	843439	1367078	Caldera	carbón mineral	50.00	
43	Lav y Tint. Richard Jeans	San José de Cúcuta	xxx	280	843494	1367047	Caldera	carbón mineral	80.00	

No	EMPRESA	MUNICIPIO	PRODUCCION Producto/mes	ELEVACION	ORIGEN ESTE		EQUIPO DE COMBUSTION	COMBUSTIBLE		
					COORDENADA			TIPO	CONSUMO	
					X	Y			(Kg/h)	(gal/h)
44	Lav y Tint. Imperio	San José de Cúcuta	22000 prendas	305	842482	1365061	Caldera	carbón mineral	50.00	
45	Lav y Tint. Americana	San José de Cúcuta	23000 prendas	305	842482	1365081	Caldera	carbón mineral	35.00	
46	Lav y Tint. Simey	San José de Cúcuta	xxx	305	842478	1365081	Caldera	carbón mineral	100.00	
47	Lav y Tint. Panter Sport	San José de Cúcuta	40000 prendas	305	842481	1365057	Caldera	carbón mineral	76.00	
48	Lav y Tint Yureimar	San José de Cúcuta	12000 prendas	300	839586	1366253	Caldera	ACPM		4.17
49	Lav y Tint. San Carlos	San José de Cúcuta	23000 prendas	280	843152	1367421	Caldera	carbón mineral	42.00	

Emisiones generadas por fuentes fijas puntuales del Área Metropolitana de Cúcuta.

No	EMPRESA	H (m)	D (m)	V (m/s)	Q (m3/s)	T (K)	EMISION (Kg/h)				EMISION (g/s)			
							TSP	SO ₂	NO _x	CO	TSP	SO ₂	NO _x	CO
1	Tejar Margres	15.00	1.100	6.181	0.01	438.00	2.440	3.920	0.039	32.588	0.67777778	1.08888889	0.01075000	9.05208333
		15.00	0.984	11.662	0.04	572.06	2.324	2.535	1.078	32.588	0.64555556	0.70408750	0.29954167	9.05208333
		15.00	0.809	2.118	2.58	465.04	2.122	2.677	1.139	34.412	0.58944444	0.74351046	0.31631347	9.55892361
2	Bloques y Ladrillos	15.00	1.000	4.650	xxx	465.500	4.365	0.890	0.379	11.440	1.21250000	0.24717333	0.10515556	3.17777778
3	Tubos la Fama	16.00	1.150	629.107	0.01	568.00	1.783	2.050	0.022	18.047	0.49527778	0.56944444	0.00619444	5.01302083
4	Cerámica Tamesis	16.00	1.200	580.644	8,36	439.40	4.424	6.570	0.063	58.929	1.22888889	1.82500000	0.01741667	16.36903125
5	Tejar Sta Rosa	15.00	1.477	67.330	12.60	473.00	4.213	1.303	1.071	32.352	1.17027778	0.36194444	0.29738042	8.98677083
		14.60	1.600	3.140	378.00	578.00	4.123	6.470	1.274	38.500	1.14527778	1.79722222	0.35388889	10.69444444
		13.95	1.200	4.670	317.00	538.30	3.874	6.470	1.274	38.500	1.07611111	1.79722222	0.35388889	10.69444444
6	Tejar San Gerardo	16.00	1.772	2.228	6.00	479.51	4.204	2.037	0.867	26.190	1.16777778	0.56587245	0.24074050	7.27512500
7	Tejar Babilonia	15.00	1.100	5.907	7.57	436.53	2.763	2.980	0.021	15.011	0.76750000	0.82777778	0.00591667	4.16968750
		15.00	0.984	12.856	40.41	588.94	2.188	2.406	1.024	30.938	0.60777778	0.66843750	0.28437500	8.59375000
		16.00	1.374	2.807	5.91	506.79	3.558	2.973	1.265	38.225	0.98833333	0.82589167	0.35136111	10.61805556
8	Ladrillera Sigma	15.00	1.000	3.158	3159.00	370.67	2.971	1.003	0.090	22.917	0.82527778	0.27861111	0.02500000	6.36586806
		15.00	0.984	7.907	1391.40	537.00	2.461	1.510	1.493	45.114	0.68355556	0.41944444	0.41468194	12.53159722
		15.00	0.906	5.974	299.96	533.79	2.540	3.623	1.541	46.573	0.70563889	1.00625096	0.42809181	12.93684028
9	Cerámica Andina	15.00	0.510	9.555	1.72	455.72	1.789	0.050	0.165	0.025	0.49694444	0.01388889	0.04583333	0.00694444
		17.00	0.800	13.899	6.99	667.72	1.463	0.043	0.198	0.033	0.40638889	0.01186153	0.05496806	0.00925778
10	Cerámica Santa Ana	15.00	1.477	7.855	14.70	504.67	4.007	0.955	1.580	47.740	1.11305556	0.26527778	0.43882222	13.26111111
11	Arcillas del Oriente	15.00	0.50	23.94	4,69	388.61	4.327	2.884	0.110	44.000	1.201944	0.801111	0.030556	12.222222

No	EMPRESA	H (m)	D (m)	V (m/s)	Q (m3/s)	T (K)	EMISION (Kg/h)				EMISION (g/s)			
							TSP	SO2	NOx	CO	TSP	SO2	NOx	CO
12	Tejar los Vados	15.00	1.28	7.98	11.21	554.67	3.770	3.320	0.037	28.645	1.047222	0.922222	0.010250	7.957049
		15.00	1.28	8.08	11.36	559.83	3.660	3.300	0.038	25.781	1.016667	0.916667	0.010639	7.161458
		15.00	1.20	9.58	10,3	498.00	4.169	3.470	0.036	28.645	1.158056	0.963889	0.009944	7.957049
		15.00	1.20	7.72	8,3	468,5	3.883	3.170	0.031	25.781	1.078600	0.880556	0.008694	7.161458
13	Ladrillos Cortes	15.40	0.92	2.74	2.32	412.00	4.894	1.925	0.819	24.750	1.359444	0.534750	0.227500	6.875000
14	Ladrillera Cúcuta	15.00	0.98	8.82	27.72	660.22	2.640	0.810	1.422	42.969	0.733333	0.225000	0.394965	11.935764
		15.00	0.98	8.31	26.13	620.83	2.534	0.650	1.422	42.969	0.703889	0.180556	0.394965	11.935764
		15.00	1.00	6.13	9.35	682.00	2.548	2.030	0.023	38.198	0.707778	0.563889	0.006417	10.610417
		15.00	1.00	6.82	7.21	717.61	2.945	2.190	0.029	38.198	0.818056	0.608333	0.007917	10.610417
		15.00	1.20	5.10	7.78	661.44	2.578	2.250	0.023	30.553	0.716139	0.625000	0.006278	8.486806
		15.00	1.00	5.00	5.30	573.11	3.346	2.900	0.026	38.198	0.929444	0.805556	0.007278	10.610417
		15.00	1.73	3.15	10.73	517.20	3.020	2.971	1.264	38.193	0.838889	0.825208	0.351070	10.609271
15	Ladrillera Leyva	15.00	0.30	17.93	1.34	452.11	3.874	0.230	0.004	6.188	1.076111	0.063889	0.000972	1.718750
16	Cementos Diamante	40.00	2.00	14.45	0.01	397.34	21.135	0.325	0.020	0.612	5.870833	0.090278	0.005624	0.169965
		40.00	2.00	17.88	0.01	397.34	29.190	0.372	0.021	0.634	8.108333	0.103333	0.005827	0.176076
17	Tejar Pescadero	22.00	1.18	7.75	24.35	491.17	3.541	1.283	1.437	43.420	0.983611	0.356389	0.399111	12.061042
		22.90	1.18	9.67	30.39	533.17	4.612	1.164	1.437	43.420	1.281111	0.323333	0.399111	12.061042
		22.80	1.35	4.60	8.38	491.00	4.001	4.490	1.219	36.850	1.111389	1.247222	0.338722	10.236111
		15.00	1.18	4.90	7.47	532.44	3.612	1.961	0.834	25.208	1.003333	0.544643	0.231709	7.002188
18	Tejar Casa Blanca	16.00	0.89	5.56	3.75	518.56	3.256	3.056	1.300	39.285	0.904444	0.848797	0.361106	10.912535
19	Pavimentos y Construcciones	17.50	0.39	17.52	2.91	316.30	12.840	2.920	0.041	0.200	3.566667	0.811111	0.011389	0.055556
		7.00	0.30	0.96	38.01	539.00	1.892	0.132	0.004	0.013	0.525556	0.036667	0.001056	0.003472
20	Tejar Santa Teresa	17.50	1.18	7.16	8.58	535.56	5.78	3.59	0.04	50.46	1.604167	0.997222	0.009750	14.017361
		17.50	1.18	7.28	8.75	565.72	3.72	2.34	0.03	50.46	1.032778	0.650000	0.007167	14.017361
		15.00	1.48	9.80	18.34	769.28	3.82	2.35	1.26	38.19	1.061389	0.652222	0.351070	10.609271
		15.00	1.48	10.07	18.85	763.17	2.29	1.95	1.26	38.19	0.635278	0.540556	0.351070	10.609271
		17.50	1.48	8.50	15.92	741.72	3.71	2.61	1.71	51.56	1.029444	0.724722	0.473958	14.322917
		15.90	1.59	2.67	5.30	502.90	4.29	3.61	1.52	45.79	1.191389	1.002778	0.420875	12.718750
		17.50	1.57	3.14	6.07	636.40	3.76	5.35	1.26	38.23	1.043333	1.486111	0.351361	10.618056
		15.00	1.46	3.45	6.28	503.72	3.40	3.56	1.52	45.83	0.943889	0.990277	0.421296	12.731469
		15.00	1.46	3.33	6.08	512.97	4.87	3.12	1.33	40.10	1.353889	0.866491	0.368633	11.140021
21	Chircal Arcigres	15.00	0.98	7.60	6.33	492.61	3.02	2.36	1.01	30.39	0.839167	0.656554	0.279319	8.440972
		15.00	0.98	9.67	8.05	617.39	2.79	3.67	0.04	25.78	0.775278	1.019722	0.011111	7.161458

No	EMPRESA	H (m)	D (m)	V (m/s)	Q (m3/s)	T (K)	EMISION (Kg/h)				EMISION (g/s)			
							TSP	SO2	NOx	CO	TSP	SO2	NOx	CO
22	Planta de Asfalto Vergel y Castellanos	17.00	0.84	6.60	4.73	404.67	18.90	0.83	2.01	0.18	5.250000	0.230833	0.557639	0.050694
23	Cerámica Italia	22.00	1.08	11.77	11.85	466.72	4.67	6.70	1.77	0.16	1.297222	1.861111	0.491667	0.043333
		10.80	1.08	13.15	13.24	460.78	5.10	9.20	1.98	0.22	1.416667	2.555556	0.550000	0.060417
24	Termotasajero	90.00	3.24	9.00	296.56	398.40	19.52	106.67	143.39	5.72	5.422222	29.630556	39.830000	1.587582
25	Café Galavíz	15.00	0.50	6.00	xxx	335.00	1.13	0.44	0.17	0.02	0.312500	0.122983	0.045833	0.004167
26	Café Crisol	17.00	0.30	5.20	xxx	356.60	1.09	0.10	0.04	0.00	0.302500	0.026646	0.009931	0.000903
27	Café Frontera	16.50	0.50	4.50	xxx	320.00	1.15	0.27	0.10	0.01	0.318611	0.073790	0.027500	0.002500
28	Bascula el Brillante	15.00	0.44	5.52	0.93	346.44	2.25	0.08	0.03	0.00	0.624444	0.023486	0.008753	0.000796
29	Velaciones San José	6.50	0.50	5.47	1.07	948.00	0.44	0.00	0.00	0.00	0.120833	0.000458	0.000750	0.000625
30	La Motilona Aseo Total	15.00	0.30	16.30	xxx	915.60	7.93	0.10	0.16	0.14	2.201472	0.027500	0.045000	0.037500
31	Guayabal Aseo Urbano	18.33	0.45	16.04	2.50	927.10	1.82	0.42	0.02	0.11	0.506333	0.116111	0.005972	0.031250
32	Gaseosas La Frontera	18.50	0.58	7.56	119.83	515.06	1.68	1.18	0.92	0.13	0.466111	0.328056	0.255278	0.035417
33	Pasteurizadora La Mejor	18.00	0.37	5.85	0.70	462.33	1.87	2.17	0.00	0.14	0.519722	0.602778	0.000583	0.038750
34	Aluminios Onava	15.00	0.78	9.23	2.19	677.40	1.39	1.24	0.15	0.12	0.387000	0.343611	0.040578	0.034122
35	Laminados Cúcuta	15.00	0.50	5.56	xxx	355.20	0.88	0.92	0.34	0.03	0.244722	0.256215	0.095486	0.008681
36	Lav. Y Tint. Lavarapid	21.20	0.47	7.45	1.27	441.00	4.27	0.18	0.61	0.01	1.184722	0.050000	0.168056	0.003819

No	EMPRESA	H (m)	D (m)	V (m/s)	Q (m³/s)	T (K)	EMISION (Kg/h)				EMISION (g/s)			
							TSP	SO2	NOx	CO	TSP	SO2	NOx	CO
37	Lav. Y Tint. Tintex	19.00	0.50	4.74	xxx	355.32	3.90	0.66	0.55	0.01	1.082500	0.182083	0.152778	0.003472
38	Lav y Tint. Jucky Sport	23.00	0.50	4.61	0.90	358.00	3.57	0.44	0.17	0.01	0.991389	0.122222	0.047778	0.003611
39	Lav y Tint. Nuevo Milenio	15.00	0.49	6.69	0.01	434.61	4.22	0.74	0.01	0.02	1.171389	0.205000	0.002083	0.004583
40	Lav y Tint. Jair Protex	20.00	0.50	6.13	24.70	424.66	4.00	0.38	0.00	0.01	1.111389	0.106389	0.001000	0.001736
41	Lav y Tint. Impacto Tropical	19.00	0.52	7.02	1.52	437.11	4.68	0.32	0.00	0.01	1.299444	0.088333	0.000861	0.003125
42	Lav y Tint. American Texas	21.50	0.55	6.08	1.59	417.44	4.14	0.39	0.55	0.01	1.148611	0.108333	0.152778	0.003472
43	Lav y Tint. Richard Jeans	20.00	0.61	6.65	2.13	474.06	4.67	0.41	0.01	0.02	1.297500	0.113056	0.002500	0.005556
44	Lav y Tint. Imperio	35.00	0.75	7.25	3.48	414.83	3.94	0.36	0.00	0.01	1.094722	0.099722	0.001028	0.003472
45	Lav y Tint. Americana	17.00	0.61	6.62	2.12	451.94	3.68	0.24	0.00	0.01	1.021667	0.067222	0.000750	0.002431
46	Lav y Tint. Simey	15.00	0.53	9.22	2.24	433.67	4.03	1.31	1.10	0.03	1.118333	0.364167	0.305556	0.006944
47	Lav y Tint. Panter Sport	27.00	0.48	5.75	1.20	439.39	4.37	0.73	0.01	0.02	1.215000	0.202222	0.001972	0.005278
48	Lav y Tint Yureimar	15.00	0.50	5.67	xxx	352.30	3.46	0.31	0.11	0.01	0.960278	0.085473	0.031854	0.002896
49	Lav y Tint. San Carlos	15.00	0.63	2.28	0.70	477.70	3.29	0.55	0.46	0.01	0.913611	0.152950	0.128333	0.002917

Emisión calculada con factores de emisión

INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES MÓVILES

Información adicional de tramos y número de vehículos equivalentes en una hora.

TRAMO		Long (Km)	W (m)	A (m²)	COORDENADAS		No. EQUIVALENTE DE VEHICULOS/h					
					X	Y	auto 1.4 - 2L	auto >2L	bus	moto	camión	Total
Av. 0	CII 13 - 11	0.221	13.176	2911.874	843340	1363946	88	69	0	88	1	246
	CII 12 - 13	0.106	12.122	1284.964	843327	1363944	100	78	2	81	2	263
	CII 11 - 12	0.116	16.708	1938.082	843308	1364047	125	98	3	93	2	321
	CII 12 - 11	0.116	15.585	1807.872	843325	1364050	91	72	3	48	4	217
	CII 10 - 11	0.115	8.276	951.706	843300	1364164	152	119	3	102	5	381
	CII 11 - 10	0.115	7.829	900.301	843308	1364166	87	68	0	73	3	231
	CII 9 - 10	0.119	10.406	1238.314	843279	1364278	169	133	5	92	4	402
	CII 10 - 9	0.119	10.184	1211.860	843289	1364280	63	49	2	50	0	164
	CII 8 - 9	0.112	8.985	1006.286	843261	1364395	121	95	4	90	2	312
	CII 9 - 8	0.112	8.985	1006.286	843269	1364397	85	66	27	64	4	245
Av. 1	CII 8 - 9	0.112	15.280	1711.326	843109	1364366	68	53	65	60	1	247
	CII 9 - 10	0.118	15.137	1780.135	843132	1364255	78	61	83	38	2	262
	CII 10 - 11	0.116	11.215	1295.367	843152	1364138	62	48	95	59	1	265
	CII 11 - 12	0.117	14.713	1714.076	843172	1364023	101	79	77	80	4	341
	CII 12 - 13	0.107	12.553	1338.128	843192	1363918	59	47	89	67	3	265
Av. 2	CII 8 - 9	0.112	12.295	1381.992	842998	1364345	66	51	82	49	0	248
	CII 9 - 10	0.116	13.633	1585.495	843019	1364230	67	53	95	63	2	280
	CII 10 - 11	0.115	11.473	1319.407	843040	1364118	136	106	142	104	0	488
	CII 11 - 12	0.117	12.248	1426.845	843059	1364003	83	65	98	71	3	320
Av. 3	CII 8 - 9	0.113	16.308	1841.162	842884	1364323	99	78	3	84	9	272
	CII 9 - 10	0.115	13.327	1533.880	842908	1364210	89	70	3	70	5	237
	CII 10 - 11	0.115	13.429	1544.381	842928	1364098	118	92	3	86	3	302
	CII 11 - 12	0.117	12.295	1437.321	842948	1363983	78	61	1	57	3	199
Av. 5	CII 8 - 9	0.113	16.857	1911.527	842659	1364280	106	83	0	52	0	241
	CII 9 - 10	0.113	20.229	2281.820	842678	1364169	108	84	0	76	0	268
	CII 10 - 11	0.114	15.099	1727.280	842702	1364057	115	90	1	107	6	319
	CII 11 - 12	0.117	18.421	2146.081	842721	1363942	92	72	0	70	2	236
	CII 12 - 13	0.113	18.476	2080.443	842740	1363831	69	54	0	33	2	158

TRAMO		Long (Km)	W (m)	A (m²)	COORDENADAS		No. EQUIVALENTE DE VEHICULOS/h					
					X	Y	auto 1.4 - 2L	auto >2L	bus	moto	camión	Total
Av. 6	CII 8 - 9	0.116	16.614	1920.544	842540	1364257	83	65	5	88	4	245
	CII 9 - 10	0.111	18.714	2082.857	842558	1364147	88	70	2	79	0	239
	CII 10 - 11	0.114	13.347	1521.592	842584	1364036	76	60	0	55	0	191
	CII 11 - 12	0.117	16.670	1948.665	842605	1363921	54	42	0	38	0	134
	CII 12 - 13	0.114	18.476	2113.700	842624	1363808	97	76	6	92	2	273
Av. 7	CII 8 - 9	0.117	16.796	1960.105	842423	1364235	59	47	61	26	6	199
	CII 9 - 10	0.112	14.222	1585.753	842443	1364126	91	71	67	61	2	292
	CII 10 - 11	0.114	13.566	1543.856	842464	1364015	78	62	45	36	3	224
	CII 11 - 12	0.117	15.400	1803.387	842483	1363899	62	49	40	20	0	171
	CII 12 - 13	0.116	18.114	2099.366	842503	1363785	106	84	48	43	0	281
Av. 8	CII 8 - 9	0.118	16.537	1946.452	842304	1364213	74	58	2	56	0	190
	CII 9 - 10	0.111	14.304	1580.548	842329	1364106	67	53	79	2	0	201
	CII 10 - 11	0.114	13.166	1495.703	842350	1363994	52	40	82	64	1	239
	CII 11 - 12	0.118	10.673	1254.066	842372	1363879	86	68	133	36	0	323
	CII 12 - 13	0.118	15.921	1870.753	842394	1363764	80	63	77	54	2	276
CII 10	Av 2 - 1	0.113	11.810	1333.360	843029	1364226	81	63	0	56	2	202
	Av 3 - 2	0.116	12.510	1449.863	842915	1364203	106	84	2	95	7	294
	Av 4 - 3	0.115	11.372	1304.414	842803	1364183	111	87	1	89	0	288
	Av 5 - 4	0.116	14.347	1661.383	842689	1364163	68	54	0	80	2	204
	Av 6 - 5	0.120	13.386	1599.579	842572	1364140	68	54	2	75	6	205
	Av 7 - 6	0.123	13.566	1668.667	842450	1364119	48	38	3	85	0	174
	Av 8 - 7	0.112	15.222	1704.830	842340	1364099	66	52	2	67	3	190
CII 11	Av 1 - 2	0.113	8.801	994.468	843048	1364117	225	177	2	174	0	578
	Av 2 - 3	0.114	9.057	1032.475	842936	1364094	163	128	3	141	5	440
	Av 3 - 4	0.115	11.111	1277.811	842824	1364071	132	104	0	112	0	348
	Av 4 - 5	0.116	13.166	1527.302	842710	1364050	64	51	0	41	0	156
	Av 5 - 6	0.119	11.810	1405.402	842593	1364028	62	48	0	38	1	149
	Av 6 - 7	0.124	12.992	1610.946	842471	1364005	91	71	1	73	0	236
	Av 7 - 8	0.112	14.444	1617.706	842361	1363988	124	98	2	105	0	329

TRAMO	Long (Km)	W (m)	A (m²)	COORDENADAS		No. EQUIVALENTE DE VEHICULOS/h					
				X	Y	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total
Pte. Francisco Andrade. Entrada	0.221	10.007	2211.547	843528	1362795	140	110	2	61	2	315
Pte. Francisco Andrade. Salida	0.221	10.000	2210.000	843519	1362793	338	266	1	56	4	665
Pte. Elías M. Soto. Entrada	0.304	6.158	1872.032	844318	1363856	517	407	34	51	27	1960
Pte. Elías M. Soto. Salida	0.304	6.158	1872.032	844313	1363848	1142	898	60	54	26	2180
Pte. Jorge Gaitán Durán. Entrada	0.425	11.480	4879.000	845094	1365397	601	473	39	35	71	1219
Pte. Jorge Gaitán Durán. Salida	0.425	11.480	4879.000	845092	1365385	440	345	45	48	74	952
Pte. San Rafael. Entrada	0.209	10.750	2246.750	843147	1362063	302	238	29	40	35	644
Pte. San Rafael. Salida	0.210	10.750	2257.500	843144	1362053	413	325	34	42	35	849
Av. Libertadores. Entre R. el Salado - B. Tasajero	0.891	15.970	14229.270	843781	1367630	70	55	48	38	18	229
Av. Libertadores Entre Av. C. Bogotá - B. Tasajero	0.287	15.970	4583.390	844027	1367483	94	74	66	42	14	290
Av. Libertadores. Entre Av. B. Tasajero - C. Bogotá	0.287	15.970	4583.390	844016	1367475	92	73	65	45	16	291
Av. Libertadores. Entre B. Tasajero - R. el Salado	0.891	15.970	14229.270	843790	1367645	90	70	61	44	11	276
Av. Guaimaral C 2 - C 8N	0.752	13.150	9888.800	844086	1365682	74	58	48	52	9	241
Av. Guaimaral C 8N - C 2	0.752	13.150	9888.800	844100	1365685	90	70	46	49	10	265
Dg. S/der Av. Entre G. Colombia-R. el Terminal	1.500	14.000	21000.000	843477	1364419	81	64	30	45	12	232
Dg. S/der R. Entre Terminal - Av. G. Colombia	1.500	14.000	21000.000	843472	1364412	87	69	46	39	8	249

Emisión de CO y NO_x (g/s-m²) generada por fuentes móviles en los diferentes tramos.

Tramo		EMISION CO (g/s-m ²)						EMISION NOX (g/s-m ²)					
		Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total
Av. 0	CII 13 - 11	0.0000105	0.0000082	0.0000000	0.0000448	0.0000000	0.0000635	0.0000047	0.0000046	0.0000000	0.0000001	0.0000002	0.0000096
	CII 12 - 13	0.0000129	0.0000101	0.0000001	0.0000448	0.0000001	0.0000680	0.0000058	0.0000057	0.0000005	0.0000001	0.0000003	0.0000124
	CII 11 - 12	0.0000117	0.0000092	0.0000001	0.0000373	0.0000001	0.0000584	0.0000053	0.0000052	0.0000005	0.0000001	0.0000002	0.0000112
	CII 12 - 11	0.0000092	0.0000072	0.0000001	0.0000204	0.0000002	0.0000371	0.0000041	0.0000041	0.0000005	0.0000001	0.0000005	0.0000092
	CII 10 - 11	0.0000287	0.0000226	0.0000003	0.0000826	0.0000004	0.0001346	0.0000129	0.0000127	0.0000011	0.0000002	0.0000012	0.0000281
	CII 11 - 10	0.0000174	0.0000137	0.0000000	0.0000621	0.0000002	0.0000934	0.0000078	0.0000077	0.0000000	0.0000002	0.0000008	0.0000165
	CII 9 - 10	0.0000255	0.0000200	0.0000003	0.0000593	0.0000002	0.0001053	0.0000114	0.0000112	0.0000013	0.0000002	0.0000007	0.0000248
	CII 10 - 9	0.0000096	0.0000076	0.0000002	0.0000329	0.0000000	0.0000503	0.0000043	0.0000043	0.0000006	0.0000001	0.0000000	0.0000093
	CII 8 - 9	0.0000210	0.0000165	0.0000003	0.0000672	0.0000001	0.0001052	0.0000094	0.0000093	0.0000013	0.0000002	0.0000005	0.0000207
	CII 9 - 8	0.0000147	0.0000116	0.0000023	0.0000474	0.0000003	0.0000763	0.0000066	0.0000065	0.0000087	0.0000001	0.0000009	0.0000229
Av. 1	CII 8 - 9	0.0000145	0.0000114	0.0000055	0.0000244	0.0000001	0.0000560	0.0000024	0.0000022	0.0000181	0.0000000	0.0000002	0.0000229
	CII 9 - 10	0.0000169	0.0000133	0.0000071	0.0000156	0.0000001	0.0000530	0.0000028	0.0000025	0.0000233	0.0000000	0.0000004	0.0000290
	CII 10 - 11	0.0000180	0.0000142	0.0000110	0.0000327	0.0000001	0.0000760	0.0000030	0.0000027	0.0000360	0.0000000	0.0000003	0.0000420
	CII 11 - 12	0.0000225	0.0000177	0.0000068	0.0000338	0.0000003	0.0000810	0.0000037	0.0000034	0.0000222	0.0000000	0.0000008	0.0000302
	CII 12 - 13	0.0000155	0.0000122	0.0000092	0.0000332	0.0000002	0.0000703	0.0000025	0.0000023	0.0000301	0.0000000	0.0000007	0.0000358
Av. 2	CII 8 - 9	0.0000175	0.0000137	0.0000087	0.0000248	0.0000000	0.0000647	0.0000029	0.0000026	0.0000283	0.0000000	0.0000000	0.0000338
	CII 9 - 10	0.0000161	0.0000127	0.0000091	0.0000287	0.0000001	0.0000667	0.0000026	0.0000024	0.0000296	0.0000000	0.0000005	0.0000351
	CII 10 - 11	0.0000387	0.0000304	0.0000161	0.0000563	0.0000000	0.0001416	0.0000064	0.0000058	0.0000526	0.0000001	0.0000000	0.0000648
	CII 11 - 12	0.0000222	0.0000174	0.0000104	0.0000360	0.0000002	0.0000863	0.0000036	0.0000033	0.0000340	0.0000000	0.0000008	0.0000418
Av. 3	CII 8 - 9	0.0000199	0.0000157	0.0000002	0.0000318	0.0000005	0.0000681	0.0000033	0.0000030	0.0000007	0.0000000	0.0000016	0.0000086
	CII 9 - 10	0.0000219	0.0000172	0.0000003	0.0000326	0.0000004	0.0000724	0.0000036	0.0000033	0.0000010	0.0000000	0.0000012	0.0000090
	CII 10 - 11	0.0000287	0.0000226	0.0000003	0.0000398	0.0000002	0.0000916	0.0000047	0.0000043	0.0000009	0.0000001	0.0000007	0.0000107
	CII 11 - 12	0.0000207	0.0000163	0.0000001	0.0000285	0.0000002	0.0000658	0.0000034	0.0000031	0.0000003	0.0000000	0.0000006	0.0000075
Av. 5	CII 8 - 9	0.0000206	0.0000162	0.0000000	0.0000192	0.0000000	0.0000559	0.0000034	0.0000031	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000065
	CII 9 - 10	0.0000174	0.0000137	0.0000000	0.0000233	0.0000000	0.0000545	0.0000029	0.0000026	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000055
	CII 10 - 11	0.0000249	0.0000196	0.0000001	0.0000440	0.0000004	0.0000890	0.0000041	0.0000037	0.0000003	0.0000001	0.0000012	0.0000094
	CII 11 - 12	0.0000164	0.0000129	0.0000000	0.0000236	0.0000001	0.0000529	0.0000027	0.0000024	0.0000000	0.0000000	0.0000003	0.0000055
	CII 12 - 13	0.0000122	0.0000096	0.0000000	0.0000111	0.0000001	0.0000330	0.0000020	0.0000018	0.0000000	0.0000000	0.0000003	0.0000042

Tramo		EMISION CO (g/s-m²)						EMISION NOX (g/s-m²)					
		Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total
Av. 6	CII 8 – 9	0.0000164	0.0000129	0.0000004	0.0000329	0.0000002	0.0000628	0.0000027	0.0000024	0.0000013	0.0000000	0.0000007	0.0000072
	CII 9 - 10	0.0000155	0.0000122	0.0000001	0.0000262	0.0000000	0.0000541	0.0000025	0.0000023	0.0000005	0.0000000	0.0000000	0.0000054
	CII 10 - 11	0.0000187	0.0000147	0.0000000	0.0000256	0.0000000	0.0000590	0.0000031	0.0000028	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000059
	CII 11 - 12	0.0000106	0.0000083	0.0000000	0.0000142	0.0000000	0.0000331	0.0000017	0.0000016	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000033
	CII 12 - 13	0.0000172	0.0000135	0.0000004	0.0000309	0.0000001	0.0000622	0.0000028	0.0000026	0.0000014	0.0000000	0.0000003	0.0000072
Av. 7	CII 8 - 9	0.0000116	0.0000091	0.0000047	0.0000096	0.0000003	0.0000354	0.0000019	0.0000017	0.0000154	0.0000000	0.0000011	0.0000202
	CII 9 - 10	0.0000209	0.0000164	0.0000061	0.0000266	0.0000001	0.0000703	0.0000034	0.0000031	0.0000200	0.0000000	0.0000004	0.0000271
	CII 10 - 11	0.0000190	0.0000149	0.0000043	0.0000165	0.0000002	0.0000549	0.0000031	0.0000028	0.0000141	0.0000000	0.0000007	0.0000208
	CII 11 - 12	0.0000132	0.0000104	0.0000034	0.0000081	0.0000000	0.0000351	0.0000022	0.0000020	0.0000110	0.0000000	0.0000000	0.0000152
	CII 12 - 13	0.0000193	0.0000151	0.0000035	0.0000147	0.0000000	0.0000526	0.0000032	0.0000029	0.0000113	0.0000000	0.0000000	0.0000173
Av. 8	CII 8 - 9	0.0000147	0.0000115	0.0000002	0.0000210	0.0000000	0.0000474	0.0000024	0.0000022	0.0000005	0.0000000	0.0000000	0.0000051
	CII 9 - 10	0.0000154	0.0000121	0.0000072	0.0000009	0.0000000	0.0000356	0.0000025	0.0000023	0.0000235	0.0000000	0.0000000	0.0000283
	CII 10 - 11	0.0000128	0.0000101	0.0000081	0.0000302	0.0000001	0.0000613	0.0000021	0.0000019	0.0000265	0.0000000	0.0000002	0.0000308
	CII 11 - 12	0.0000265	0.0000208	0.0000162	0.0000210	0.0000000	0.0000845	0.0000044	0.0000040	0.0000529	0.0000000	0.0000000	0.0000613
	CII 12 - 13	0.0000165	0.0000130	0.0000063	0.0000211	0.0000001	0.0000570	0.0000027	0.0000025	0.0000205	0.0000000	0.0000004	0.0000261
CII 10	Av 2 - 1	0.0000224	0.0000176	0.0000000	0.0000295	0.0000002	0.0000696	0.0000037	0.0000034	0.0000000	0.0000000	0.0000005	0.0000076
	Av 3 - 2	0.0000279	0.0000219	0.0000002	0.0000472	0.0000005	0.0000977	0.0000046	0.0000042	0.0000007	0.0000001	0.0000017	0.0000112
	Av 4 - 3	0.0000320	0.0000251	0.0000001	0.0000486	0.0000000	0.0001058	0.0000053	0.0000048	0.0000004	0.0000001	0.0000000	0.0000105
	Av 5 - 4	0.0000156	0.0000123	0.0000000	0.0000346	0.0000001	0.0000627	0.0000026	0.0000023	0.0000000	0.0000000	0.0000004	0.0000054
	Av 6 - 5	0.0000167	0.0000132	0.0000002	0.0000348	0.0000004	0.0000653	0.0000028	0.0000025	0.0000006	0.0000000	0.0000014	0.0000073
	Av 7 - 6	0.0000116	0.0000092	0.0000003	0.0000389	0.0000000	0.0000600	0.0000019	0.0000017	0.0000009	0.0000001	0.0000000	0.0000046
	Av 8 - 7	0.0000142	0.0000112	0.0000002	0.0000273	0.0000002	0.0000531	0.0000023	0.0000021	0.0000006	0.0000000	0.0000006	0.0000057
CII 11	Av 1 - 2	0.0000839	0.0000659	0.0000003	0.0001228	0.0000000	0.0002729	0.0000138	0.0000126	0.0000010	0.0000002	0.0000000	0.0000275
	Av 2 - 3	0.0000590	0.0000464	0.0000004	0.0000967	0.0000005	0.0002031	0.0000097	0.0000088	0.0000014	0.0000001	0.0000017	0.0000218
	Av 3 - 4	0.0000390	0.0000307	0.0000000	0.0000626	0.0000000	0.0001323	0.0000064	0.0000058	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000123
	Av 4 - 5	0.0000160	0.0000126	0.0000000	0.0000193	0.0000000	0.0000480	0.0000026	0.0000024	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000051
	Av 5 - 6	0.0000171	0.0000134	0.0000000	0.0000200	0.0000001	0.0000506	0.0000028	0.0000026	0.0000000	0.0000000	0.0000003	0.0000057
	Av 6 - 7	0.0000229	0.0000180	0.0000001	0.0000349	0.0000000	0.0000759	0.0000038	0.0000034	0.0000003	0.0000000	0.0000000	0.0000076
	Av 7 - 8	0.0000282	0.0000222	0.0000002	0.0000452	0.0000000	0.0000958	0.0000046	0.0000042	0.0000006	0.0000001	0.0000000	0.0000095

Tramo	EMISION CO (g/s-m ²)						EMISION NOX (g/s-m ²)					
	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total
Pte. Francisco Andrade. Entrada	0.0000219	0.0000172	0.0000002	0.0000409	0.0000001	0.0000803	0.0000098	0.0000097	0.0000006	0.0000001	0.0000004	0.0000206
Pte. Francisco Andrade. Salida	0.0000530	0.0000416	0.0000001	0.0000376	0.0000002	0.0001325	0.0000238	0.0000234	0.0000003	0.0000001	0.0000008	0.0000484
Pte. Elías M. Soto. Entrada	0.0001316	0.0001034	0.0000043	0.0000555	0.0000026	0.0002975	0.0000591	0.0000581	0.0000164	0.0000002	0.0000089	0.0001426
Pte. Elías M. Soto. Salida	0.0002906	0.0002284	0.0000076	0.0000588	0.0000025	0.0005879	0.0001304	0.0001284	0.0000289	0.0000002	0.0000086	0.0002963
Pte. Jorge Gaitán D. Entrada	0.0000821	0.0000645	0.0000026	0.0000204	0.0000037	0.0001734	0.0000368	0.0000362	0.0000101	0.0000001	0.0000125	0.0000957
Pte. Jorge Gaitán D. Salida	0.0000600	0.0000471	0.0000030	0.0000280	0.0000039	0.0001421	0.0000269	0.0000265	0.0000116	0.0000001	0.0000131	0.0000782
Pte. San Rafael. Entrada	0.0000441	0.0000346	0.0000021	0.0000250	0.0000020	0.0001077	0.0000198	0.0000195	0.0000080	0.0000001	0.0000066	0.0000539
Pte. San Rafael. Salida	0.0000602	0.0000473	0.0000025	0.0000262	0.0000020	0.0001382	0.0000270	0.0000266	0.0000094	0.0000001	0.0000066	0.0000697
Av. Libertadores. Entre R el Salado Barrio Tasajero	0.0000069	0.0000054	0.0000023	0.0000160	0.0000007	0.0000312	0.0000031	0.0000030	0.0000089	0.0000000	0.0000023	0.0000174
Av. Libertadores Entre Av. C. Bogotá a B. Tasajero	0.0000092	0.0000073	0.0000032	0.0000176	0.0000005	0.0000379	0.0000041	0.0000041	0.0000122	0.0000001	0.0000018	0.0000223
Av. Libertadores. Entre Av. B. Tasajero a Canal Bogotá	0.0000091	0.0000071	0.0000032	0.0000189	0.0000006	0.0000389	0.0000041	0.0000040	0.0000121	0.0000001	0.0000020	0.0000222
Av. Libertadores. Entre B. Tasajero Redoma el Salado	0.0000088	0.0000069	0.0000030	0.0000185	0.0000004	0.0000376	0.0000039	0.0000039	0.0000113	0.0000001	0.0000014	0.0000206
Av. Guaimaral C 2 - C 8N	0.0000088	0.0000069	0.0000028	0.0000265	0.0000004	0.0000455	0.0000040	0.0000039	0.0000108	0.0000001	0.0000014	0.0000201
Av. Guaimaral C 8N - C 2	0.0000107	0.0000084	0.0000027	0.0000250	0.0000005	0.0000472	0.0000048	0.0000047	0.0000104	0.0000001	0.0000015	0.0000215
Dg. S/der Av. Entre G. Colombia a R. el Terminal	0.0000091	0.0000071	0.0000017	0.0000216	0.0000005	0.0000400	0.0000041	0.0000040	0.0000064	0.0000001	0.0000017	0.0000162
Dg. S/der R. Entre Terminal a Av. G. Colombia	0.0000098	0.0000077	0.0000026	0.0000187	0.0000003	0.0000390	0.0000044	0.0000043	0.0000097	0.0000001	0.0000012	0.0000197

Emisión de TSP y SO₂ (g/s-m²) generada por fuentes móviles en los diferentes tramos.

Tramo		EMISION TSP (g/s-m ²)						EMISION SO ₂ (g/s-m ²)					
		Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total
Av. 0	CII 13 - 11	1.1658192	1.2213344	0.0000000	1.1668800	0.1989000	3.7529336	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	CII 12 - 13	0.6339648	0.6641536	0.1908000	0.5151600	0.1908000	2.1948784	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000001	0.0000002
	CII 11 - 12	0.8691648	0.9105536	0.3132000	0.6472800	0.1566000	2.8967984	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000002
	CII 12 - 11	0.6353088	0.6655616	0.2610000	0.3306000	0.4176000	2.3100704	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000001	0.0000002
	CII 10 - 11	1.0471440	1.0970080	0.3105000	0.7038000	0.5175000	3.6759520	0.0000001	0.0000000	0.0000002	0.0000000	0.0000003	0.0000005
	CII 11 - 10	0.6008520	0.6294640	0.0000000	0.5002500	0.3105000	2.0410660	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000002	0.0000002
	CII 9 - 10	1.2075168	1.2650176	0.4819500	0.6568800	0.3748500	3.9862144	0.0000000	0.0000000	0.0000002	0.0000000	0.0000002	0.0000004
	CII 10 - 9	0.4478208	0.4691456	0.2142000	0.3570000	0.0000000	1.4881664	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	CII 8 - 9	0.8109696	0.8495872	0.4032000	0.6048000	0.2016000	2.8701568	0.0000000	0.0000000	0.0000002	0.0000000	0.0000001	0.0000004
	CII 9 - 8	0.5682432	0.5953024	2.6712000	0.4267200	0.4032000	4.6646656	0.0000000	0.0000000	0.0000014	0.0000000	0.0000002	0.0000016
Av. 1	CII 8 - 9	0.4553472	0.4770304	6.5520000	0.4032000	0.1008000	7.9883776	0.0000000	0.0000000	0.0000020	0.0000000	0.0000000	0.0000021
	CII 9 - 10	0.5492390	0.5753933	8.7847200	0.2681280	0.2116800	10.3891603	0.0000000	0.0000000	0.0000026	0.0000000	0.0000001	0.0000027
	CII 10 - 11	0.4268880	0.4472160	9.8752500	0.4088700	0.1039500	11.2621740	0.0000000	0.0000000	0.0000040	0.0000000	0.0000000	0.0000041
	CII 11 - 12	0.7045920	0.7381440	8.0734500	0.5592000	0.4194000	10.4947860	0.0000000	0.0000000	0.0000025	0.0000000	0.0000001	0.0000027
	CII 12 - 13	0.3796666	0.3977459	8.5386600	0.4285320	0.2878200	10.0324245	0.0000000	0.0000000	0.0000034	0.0000000	0.0000001	0.0000035
Av. 2	CII 8 - 9	0.4418669	0.4629082	8.2951200	0.3304560	0.0000000	9.5303510	0.0000000	0.0000000	0.0000032	0.0000000	0.0000000	0.0000032
	CII 9 - 10	0.4669678	0.4892043	9.9436500	0.4396140	0.2093400	11.5487761	0.0000000	0.0000000	0.0000033	0.0000000	0.0000001	0.0000034
	CII 10 - 11	0.9350880	0.9796160	14.6970000	0.7176000	0.0000000	17.3293040	0.0000000	0.0000000	0.0000059	0.0000000	0.0000000	0.0000060
	CII 11 - 12	0.5793312	0.6069184	10.2753000	0.4962900	0.3145500	12.2723896	0.0000000	0.0000000	0.0000038	0.0000000	0.0000001	0.0000040
Av. 3	CII 8 - 9	0.6714389	0.7034122	0.2540250	0.5656290	0.8636850	3.0581900	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000002	0.0000004
	CII 9 - 10	0.6149102	0.6441917	0.3107700	0.4834200	0.5179500	2.5712419	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000002	0.0000003
	CII 10 - 11	0.8114400	0.8500800	0.3105000	0.5934000	0.3105000	2.8759200	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000001	0.0000003
	CII 11 - 12	0.5440058	0.5699109	0.1052100	0.3962910	0.2630250	1.8784427	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000002
Av. 5	CII 8 - 9	0.7201354	0.7544275	0.0000000	0.3538080	0.0000000	1.8283709	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	CII 9 - 10	0.7276954	0.7623475	0.0000000	0.5143680	0.0000000	2.0044109	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
	CII 10 - 11	0.7879872	0.8255104	0.1029600	0.7344480	0.6177600	3.0686656	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000002	0.0000003
	CII 11 - 12	0.6419616	0.6725312	0.0000000	0.4893000	0.2097000	2.0134928	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000001
	CII 12 - 13	0.4653533	0.4875130	0.0000000	0.2229480	0.2026800	1.3784942	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000001

Tramo		EMISION TSP (g/s-m²)						EMISION SO2 (g/s-m²)					
		Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total
Av. 6	CII 8 - 9	0.5748557	0.6022298	0.5202000	0.6103680	0.4161600	2.7238134	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000001	0.0000003
	CII 9 - 10	0.5908694	0.6190061	0.2003400	0.5275620	0.0000000	1.9377775	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	CII 10 - 11	0.5209344	0.5457408	0.0000000	0.3762000	0.0000000	1.4428752	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
	CII 11 - 12	0.3770726	0.3950285	0.0000000	0.2665320	0.0000000	1.0386331	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
	CII 12 - 13	0.6649843	0.6966502	0.6177600	0.6314880	0.2059200	2.8168026	0.0000000	0.0000000	0.0000002	0.0000000	0.0000001	0.0000003
Av. 7	CII 8 - 9	0.4156387	0.4354310	6.4068300	0.1820520	0.6301800	8.0701318	0.0000000	0.0000000	0.0000017	0.0000000	0.0000002	0.0000019
	CII 9 - 10	0.6069168	0.6358176	6.7234500	0.4080900	0.2007000	8.5749744	0.0000000	0.0000000	0.0000023	0.0000000	0.0000001	0.0000024
	CII 10 - 11	0.5353152	0.5608064	4.6089000	0.2458080	0.3072600	6.2580896	0.0000000	0.0000000	0.0000016	0.0000000	0.0000001	0.0000017
	CII 11 - 12	0.4367362	0.4575331	4.2156000	0.1405200	0.0000000	5.2503893	0.0000000	0.0000000	0.0000012	0.0000000	0.0000000	0.0000013
	CII 12 - 13	0.7399056	0.7751392	5.0068800	0.2990220	0.0000000	6.8209468	0.0000000	0.0000000	0.0000013	0.0000000	0.0000000	0.0000013
Av. 8	CII 8 - 9	0.5220230	0.5468813	0.2118600	0.3954720	0.0000000	1.6762363	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	CII 9 - 10	0.4455360	0.4667520	7.8565500	0.0132600	0.0000000	8.7820980	0.0000000	0.0000000	0.0000026	0.0000000	0.0000000	0.0000027
	CII 10 - 11	0.3511603	0.3678822	8.3836800	0.4362240	0.1022400	9.6411866	0.0000000	0.0000000	0.0000030	0.0000000	0.0000000	0.0000030
	CII 11 - 12	0.6079920	0.6369440	14.0647500	0.2538000	0.0000000	15.5634860	0.0000000	0.0000000	0.0000060	0.0000000	0.0000000	0.0000060
	CII 12 - 13	0.5645640	0.5914480	8.1427500	0.3807000	0.2115000	9.8909620	0.0000000	0.0000000	0.0000023	0.0000000	0.0000001	0.0000024
CII 10	Av 2 - 1	0.5462554	0.5722675	0.0000000	0.3793440	0.2032200	1.7010869	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000001
	Av 3 - 2	0.7399056	0.7751392	0.2086200	0.6606300	0.7301700	3.1144648	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000003	0.0000004
	Av 4 - 3	0.7630762	0.7994131	0.1032300	0.6124980	0.0000000	2.2782173	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	Av. 5 - 4	0.4746874	0.4972915	0.0000000	0.5558400	0.2084400	1.7362589	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000001
	Av 6 - 5	0.4898544	0.5131808	0.2151000	0.5377500	0.6453000	2.4011852	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000002	0.0000003
	Av 7 - 6	0.3554208	0.3723456	0.3321000	0.6273000	0.0000000	1.6871664	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	Av 8 - 7	0.4440576	0.4652032	0.2016000	0.4502400	0.3024000	1.8635008	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000001	0.0000002
CII 11	Av 1 - 2	1.5263136	1.5989952	0.2034000	1.1797200	0.0000000	4.5084288	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000003
	Av 2 - 3	1.1146464	1.1677248	0.3078000	0.9644400	0.5130000	4.0676112	0.0000001	0.0000001	0.0000002	0.0000000	0.0000003	0.0000006
	Av 3 - 4	0.9119040	0.9553280	0.0000000	0.7728000	0.0000000	2.6400320	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	Av 4 - 5	0.4482240	0.4695680	0.0000000	0.2853600	0.0000000	1.2031520	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
	Av 5 - 6	0.4398240	0.4607680	0.0000000	0.2713200	0.1071000	1.2790120	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	Av 6 - 7	0.6749568	0.7070976	0.1116000	0.5431200	0.0000000	2.0367744	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000001
	Av 7 - 8	0.8354304	0.8752128	0.2016000	0.7056000	0.0000000	2.6178432	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000001

Tramo	EMISION TSP (g/s-m²)						EMISION SO2 (g/s-m²)					
	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total	Auto 1.4 - 2L	Auto >2L	bus	moto	camión	Total
Pte. Francisco Andrade. Entrada	1.8564000	1.9448000	0.3978000	0.8088600	0.3978000	5.4056600	0.0000000	0.0000000	0.0000001	0.0000000	0.0000001	0.0000003
Pte. Francisco Andrade. Salida	4.4850624	4.6986368	0.1989000	0.7425600	0.7956000	10.9207592	0.0000001	0.0000001	0.0000000	0.0000000	0.0000002	0.0000004
Pte. Elías M. Soto. Entrada	9.4381056	9.8875392	9.3024000	0.9302400	7.3872000	36.9454848	0.0000002	0.0000001	0.0000025	0.0000000	0.0000020	0.0000049
Pte. Elías M. Soto. Salida	20.8373760	21.8296320	16.4160000	0.9849600	7.1136000	67.1815680	0.0000005	0.0000003	0.0000045	0.0000000	0.0000019	0.0000072
Pte. Jorge Gaitán D. Entrada	15.3367200	16.0670400	14.9175000	0.8925000	27.1575000	74.3712600	0.0000001	0.0000001	0.0000016	0.0000000	0.0000028	0.0000046
Pte. Jorge Gaitán D. Salida	11.2098000	11.7436000	17.2125000	1.2240000	28.3050000	69.6949000	0.0000001	0.0000001	0.0000018	0.0000000	0.0000030	0.0000049
Pte. San Rafael. Entrada	3.7920960	3.9726720	5.4549000	0.5016000	6.5835000	20.3047680	0.0000001	0.0000000	0.0000012	0.0000000	0.0000015	0.0000029
Pte. San Rafael. Salida	5.2073280	5.4552960	6.4260000	0.5292000	6.6150000	24.2328240	0.0000001	0.0000001	0.0000014	0.0000000	0.0000015	0.0000031
Av. Libertadores. Entre R el Salado Barrio Tasajero	3.7422000	3.9204000	38.4912000	2.0314800	14.4342000	62.6194800	0.0000000	0.0000000	0.0000014	0.0000000	0.0000005	0.0000019
Av. Libertadores Entre Av. C. Bogotá a B. Tasajero	1.6200576	1.6972032	17.0478000	0.7232400	3.6162000	24.7045008	0.0000000	0.0000000	0.0000019	0.0000000	0.0000004	0.0000023
Av. Libertadores. Entre Av. B. Tasajero a Canal Bogotá	1.5911280	1.6668960	16.7895000	0.7749000	4.1328000	24.9552240	0.0000000	0.0000000	0.0000019	0.0000000	0.0000005	0.0000024
Av. Libertadores. Entre B. Tasajero Redoma el Salado	4.7900160	5.0181120	48.9159000	2.3522400	8.8209000	69.8971680	0.0000000	0.0000000	0.0000018	0.0000000	0.0000003	0.0000021
Av. Guaimaral C 2 - C 8N	3.3352704	3.4940928	32.4864000	2.3462400	6.0912000	47.7532032	0.0000000	0.0000000	0.0000017	0.0000000	0.0000003	0.0000020
Av. Guaimaral C 8N - C 2	4.0427520	4.2352640	31.1328000	2.2108800	6.7680000	48.3896960	0.0000000	0.0000000	0.0000016	0.0000000	0.0000003	0.0000020
Dg. S/der Av. Entre G. Colombia a R. el Terminal	7.3080000	7.6560000	40.5000000	4.0500000	16.2000000	75.7140000	0.0000000	0.0000000	0.0000010	0.0000000	0.0000004	0.0000014
Dg. S/der R. Entre Terminal a Av. G. Colombia	7.8624000	8.2368000	62.1000000	3.5100000	10.8000000	92.5092000	0.0000000	0.0000000	0.0000015	0.0000000	0.0000003	0.0000018

ANEXO D

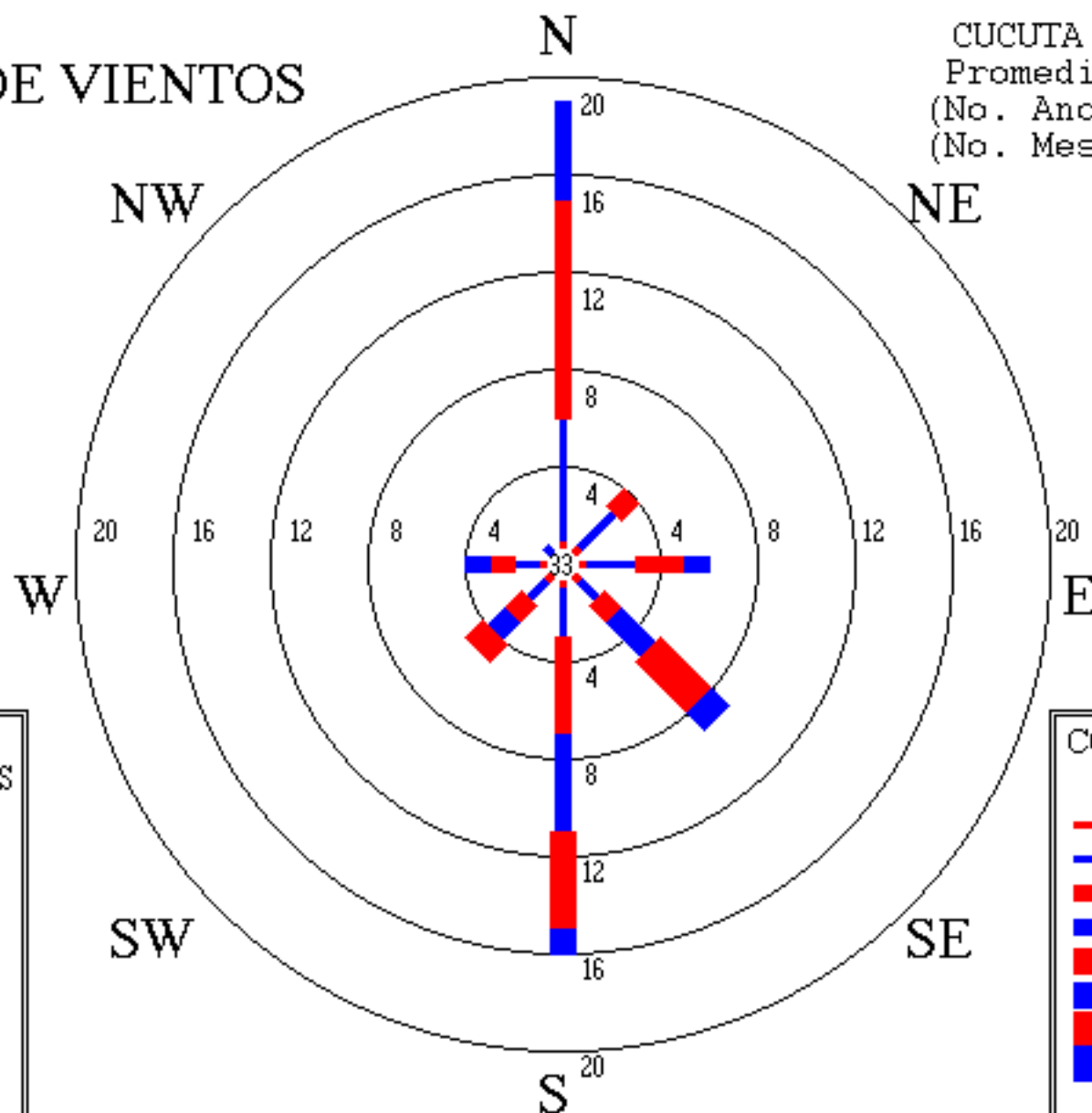
INFORMACIÓN METEOROLOGICA

[Rosa de Vientos Serie Multianual \(2002-2004\)](#)

[Rosa de Vientos Serie Histórica \(19 años\)](#)

IDEAM
ROSA DE VIENTOS

CUCUTA - NORT
Promedio Anual
(No. Años : 019)
(No. Meses: 146)



RESUMEN
DIRECCIONES

N : 19%
NE : 4%
E : 6%
SE : 9%
S : 16%
SW : 5%
W : 4%
NW : 1%
Calma: 33%

CONVENCIONES

— 0.0 - 1.5 m/seg
— 1.6 - 3.3 m/seg
— 3.4 - 5.4 m/seg
— 5.5 - 7.9 m/seg
— 8.0 - 10.7 m/seg
— 10.8 - 13.8 m/seg
— 13.9 - 17.1 m/seg
— >= 17.2 m/seg

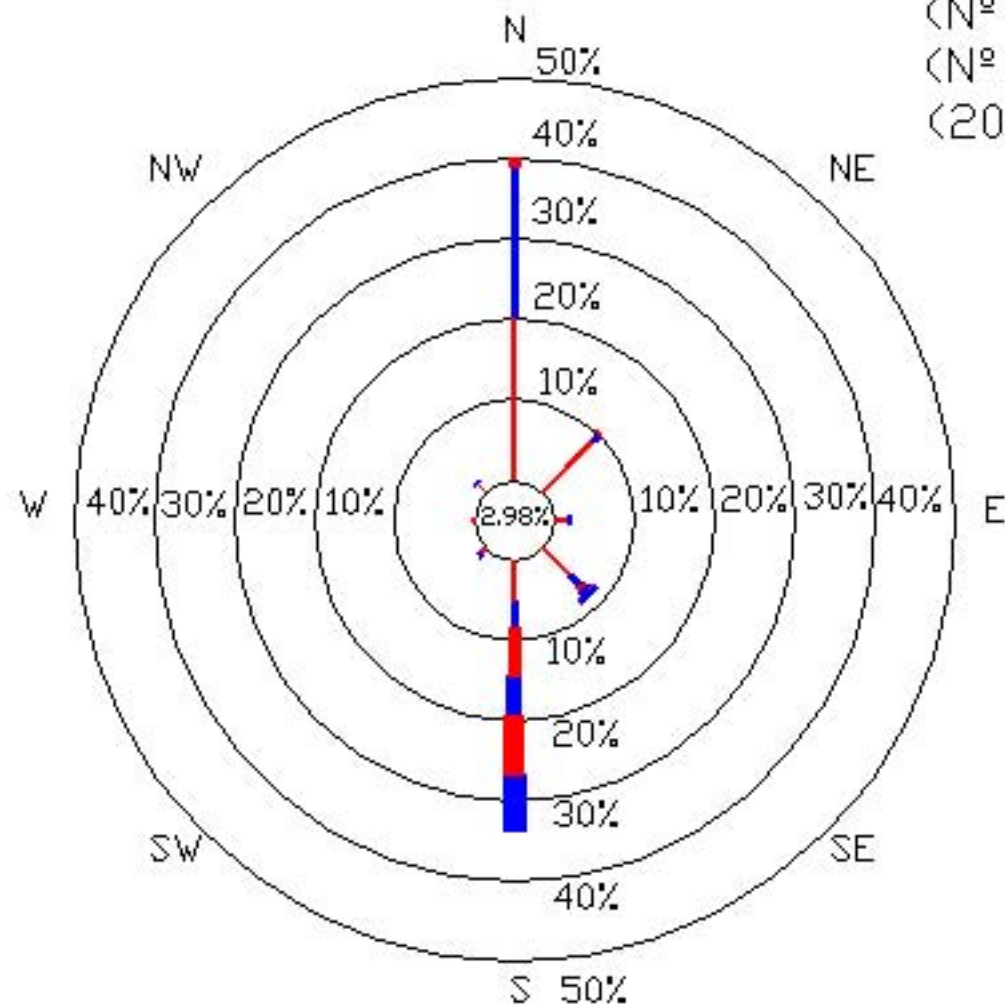
ROSA DE VIENTOS

CUCUTA NORTE DE SANTANDER

(Nº AÑOS 3)

(Nº MESES 34)

(2002 - 2004)



CONVENCIONES

—	0.6 - 2.0 m/s
—	2.0 - 3.0 m/s
—	3.0 - 4.0 m/s
—	4.0 - 5.0 m/s
—	5.0 - 6.0 m/s
—	> 6.0 m/s

ANEXO E

DATOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL MODELO ISCLT

DATOS DE ENTRADA

CALIDAD DE AIRE CUCUTA TSP COORDENADAS ORIGEN ESTE

1 1 1 0 0 3 2 3 4 2 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0	PARAMETROS DE CONTROL
184 0 166 106 0 1 6 6 8	

MICROGRAMS PER CUBIC METER	GRAMS PER SECOND
826197. 80.	
1373496. 80.	MALLA

0.008950	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	a
0.002983	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.001790	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.003580	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.005370	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.075776	0.088305	0.005370	0.000000	0.000000	0.000000	b
0.032816	0.016563	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	
0.010143	0.031193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.021480	0.007757	0.001790	0.000597	0.000000	0.000000	
0.014320	0.015513	0.020883	0.004177	0.000000	0.000000	
0.003580	0.012387	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.002983	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.020286	0.004773	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	c
0.007757	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.001790	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.002387	0.000597	0.001193	0.001193	0.002387	0.001193	
0.005370	0.001790	0.008950	0.017303	0.031623	0.005370	
0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.004773	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.067422	0.049523	0.004177	0.000000	0.000000	0.000000	d
0.028043	0.004773	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	
0.008353	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.018496	0.005370	0.002387	0.001193	0.002387	0.001193	
0.010143	0.009547	0.013723	0.020286	0.039976	0.066229	
0.002983	0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.005370	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000597	0.001790	0.000000	0.000000	0.000000	e
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000000	0.000597	0.000597	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000597	0.017303	0.007160	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.037589	0.042959	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	f
0.015513	0.001790	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.005370	0.000597	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.008950	0.002983	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.014916	0.007160	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.001193	0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.001193	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
0.001387	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	

MATRIZ DE ESTABILIDAD

300.5 300.5 300.5 300.5 300.5 300.5	TEMPERATURA (K)
429. 646. 1155. 1085. 1210. 563.	ALTURAS DE MEZCLAS PARA CATEGORIAS DE ESTABILIDAD

0.0	10.	0.	VELOCIDADES MEDIAS			
1.0	2.5	3.5	4.5	5.5	7.0	

0.0	45.0	90.0	135.0	180.0	225.0	270.0	315.0	ANGULOS
.15	.15	.15	.15	.15	.15			
.15	.15	.15	.15	.15	.15			
.20	.20	.20	.20	.20	.20			
.25	.25	.25	.25	.25	.25			COEFICIENTE POWER LAW
.30	.30	.30	.30	.30	.30			
.30	.30	.30	.30	.30	.30			

1.000	851136.0	1376429.0	15.0	300.0	465.5	4.6	1.0	0.	0.	
1.21250000										
2.000	841080.0	1355100.0	16.0	430.0	439.4	580.6	1.2	0.	0.	
1.22900000										
3.000	835970.0	1367515.0	15.0	230.0	473.0	67.3	1.5	0.	0.	
1.17027778										
4.000	835950.0	1367500.0	14.6	230.0	578.0	3.1	1.6	0.	0.	
1.14527778										
5.000	835940.0	1367485.0	13.9	230.0	538.3	4.7	1.2	0.	0.	
1.07611111										
6.000	844567.0	1370791.0	16.0	280.0	479.5	2.2	1.8	0.	0.	
1.16777778										
7.000	845576.0	1363421.0	15.0	410.0	504.7	7.8	1.5	0.	0.	
1.11305556										
8.000	844825.0	1371175.0	15.0	280.0	388.6	23.9	0.5	0.	0.	
1.20194444										
9.000	840950.0	1362100.0	15.4	350.0	412.0	2.7	0.9	0.	0.	
1.35944444										
10.000	841620.0	1362920.0	15.0	340.0	452.1	17.9	0.3	0.	0.	
1.07611111										
11.000	842460.0	1365440.0	22.0	310.0	491.1	7.7	1.2	0.	0.	
0.98361111										
12.000	842483.0	1365456.0	22.9	310.0	533.1	9.7	1.2	0.	0.	
1.28111111										
13.000	842495.0	1365464.0	22.8	310.0	491.0	4.6	1.3	0.	0.	FUENTES FIJAS PUNTUALES
1.11138889										
14.000	842470.0	1365472.0	15.0	310.0	532.4	4.9	1.2	0.	0.	
1.00333333										
15.000	835659.0	1367892.0	16.0	230.0	518.6	5.6	0.9	0.	0.	
0.90444444										
16.000	835803.0	1367693.0	17.5	260.0	535.6	7.2	1.2	0.	0.	
1.60416667										
17.000	835818.0	1367693.0	17.5	260.0	565.7	7.3	1.2	0.	0.	
1.03277778										
18.000	835832.0	1367695.0	15.0	260.0	769.3	9.8	1.5	0.	0.	
1.06138889										
19.000	835835.0	1367377.0	15.0	260.0	763.2	10.1	1.5	0.	0.	
0.63527778										
20.000	835820.0	1367680.0	17.5	260.0	741.7	8.5	1.5	0.	0.	
1.02944444										
21.000	835800.0	1367680.0	15.9	260.0	502.9	2.7	1.6	0.	0.	
1.19138889										
22.000	835805.0	1367665.0	17.5	260.0	636.4	3.1	1.6	0.	0.	
1.04333333										
23.000	835818.0	1367662.0	15.0	260.0	503.7	3.4	1.4	0.	0.	
0.94388889										
24.000	835833.0	1367665.0	15.0	260.0	513.0	3.3	1.4	0.	0.	
0.60763889										
25.000	834800.0	1369000.0	15.0	210.0	492.6	7.6	1.0	0.	0.	
0.83916667										
26.000	834812.0	1369005.0	15.0	210.0	617.4	9.7	1.0	0.	0.	
0.77527778										
27.000	846957.0	1366608.0	17.0	315.0	404.7	6.6	0.8	0.	0.	
5.25000000										

28000	844000.0	1368000.0	22.0	280.0	466.7	11.8	1.1	0.	0.	
1.2972222										
29000	844015.0	1368010.0	10.8	280.0	460.8	13.1	1.1	0.	0.	
1.4166667										
30000	842675.0	1366264.0	15.0	275.0	335.0	6.0	0.5	0.	0.	
0.31250000										
31000	846573.0	1358373.0	17.0	400.0	356.6	5.2	0.3	0.	0.	
0.30250000										
32000	841978.0	1364083.0	16.5	345.0	320.0	4.5	0.5	0.	0.	
0.31861111										
33000	843034.0	1368360.0	15.0	280.0	346.4	5.5	0.4	0.	0.	
0.62444444										
34000	837281.0	1366556.0	15.0	265.0	915.6	16.3	0.3	0.	0.	
2.20147222										
35000	841532.0	1377880.0	18.3	220.0	927.1	16.0	0.4	0.	0.	
0.50633333										
36000	846865.0	1366697.0	18.5	240.0	515.1	7.6	0.6	0.	0.	
0.46611111										
37000	842472.0	1365051.0	18.0	305.0	462.3	5.8	0.4	0.	0.	
0.51972222										
38000	843512.0	1367003.0	21.2	280.0	441.0	7.4	0.5	0.	0.	
1.18472222										
39000	843511.0	1367134.0	19.0	285.0	355.3	4.7	0.5	0.	0.	
1.08250000										
40000	843490.0	1367115.0	23.0	285.0	358.0	4.6	0.5	0.	0.	
0.99138889										
41000	842857.0	1366619.0	15.0	280.0	434.6	6.6	0.5	0.	0.	
1.17138889										
42000	843400.0	1367106.0	20.0	280.0	424.7	6.1	0.5	0.	0.	
1.11138889										
43000	843422.0	1367078.0	19.0	285.0	437.1	7.0	0.5	0.	0.	
1.29944444										
44000	843439.0	1367078.0	21.5	285.0	417.4	6.1	0.5	0.	0.	
1.14861111										
45000	834494.0	1367047.0	20.0	280.0	474.1	6.6	0.6	0.	0.	FUENTES FIJAS PUNTUALES
1.29750000										
46000	842482.0	1365061.0	35.0	305.0	414.8	7.2	0.7	0.	0.	
1.09472222										
47000	842482.0	1365081.0	17.0	305.0	451.9	6.6	0.6	0.	0.	
1.02166667										
48000	842478.0	1365081.0	15.0	305.0	433.7	9.2	0.5	0.	0.	
1.11833333										
49000	842481.0	1365057.0	27.0	305.0	439.4	5.7	0.5	0.	0.	
1.21500000										
50000	839586.0	1366253.0	15.0	300.0	352.3	5.7	0.5	0.	0.	
0.96027778										
51000	843152.0	1367421.0	15.0	280.0	477.7	2.3	0.6	0.	0.	
0.91361111										
52000	845895.0	1356680.0	15.0	480.0	438.0	6.2	1.1	0.	0.	
0.67777778										
53000	845880.0	1356660.0	15.0	480.0	572.1	11.7	0.98	0.	0.	
0.64555556										
54000	845870.0	1356645.0	15.0	480.0	465.0	2.1	0.81	0.	0.	
0.58944444										
55000	846115.0	1356710.0	15.0	450.0	436.5	5.9	1.1	0.	0.	
0.76750000										
56000	846100.0	1356700.0	15.0	450.0	588.9	12.8	1.0	0.	0.	
0.60777778										
57000	846090.0	1356685.0	16.0	450.0	506.8	2.8	1.4	0.	0.	
0.98833333										
58000	845650.0	1358315.0	15.0	430.0	660.2	8.8	1.0	0.	0.	
0.73333333										
59000	845635.0	1358305.0	15.0	430.0	620.8	8.3	1.0	0.	0.	
0.70388889										
60000	845620.0	1358310.0	15.0	430.0	682.0	6.1	1.0	0.	0.	
0.70777778										

93020 842964.0 1366396.0 5.5 260.0 15.8	0.	0.
0.00200000		
94020 843340.0 1363946.0 1.0 320.0 54.0	0.	0.
0.00000036		
95020 843327.0 1363944.0 1.0 320.0 35.8	0.	0.
0.00000047		
96020 843308.0 1364074.0 1.0 320.0 44.0	0.	0.
0.00000042		
97020 843325.0 1364050.0 1.0 320.0 42.5	0.	0.
0.00000035		
98020 843300.0 1364164.0 1.0 320.0 30.8	0.	0.
0.00000107		
99020 843308.0 1364166.0 1.0 320.0 30.0	0.	0.
0.00000063		
100020 843279.0 1364278.0 1.0 320.0 35.2	0.	0.
0.00000089		
101020 843289.0 1364280.0 1.0 320.0 34.8	0.	0.
0.00000034		
102020 843261.0 1364395.0 1.0 320.0 31.7	0.	0.
0.00000079		
103020 843269.0 1364397.0 1.0 320.0 31.7	0.	0.
0.00000129		
104020 843109.0 1364366.0 1.0 320.0 41.4	0.	0.
0.00000155		
105020 843132.0 1364255.0 1.0 320.0 42.2	0.	0.
0.00000180		
106020 843152.0 1364138.0 1.0 320.0 36.0	0.	0.
0.00000275		
107020 843172.0 1364023.0 1.0 320.0 41.4	0.	0.
0.00000206		
108020 843192.0 1363918.0 1.0 320.0 36.6	0.	0.
0.00000241		
109020 842998.0 1364345.0 1.0 320.0 37.2	0.	0.
0.00000218		
110020 843019.0 1364230.0 1.0 320.0 39.8	0.	0.
0.00000232		
111020 843040.0 1364118.0 1.0 320.0 36.3	0.	0.
0.00000424		
112020 843059.0 1364003.0 1.0 320.0 37.8	0.	0.
0.00000276		
113020 842884.0 1364323.0 1.0 320.0 42.9	0.	0.
0.00000079		
114020 842908.0 1364210.0 1.0 320.0 39.2	0.	0.
0.00000081		
115020 842928.0 1364098.0 1.0 320.0 39.3	0.	0.
0.00000094		
116020 842948.0 1363983.0 1.0 320.0 37.9	0.	0.
0.00000067		
117020 842659.0 1364280.0 1.0 320.0 43.7	0.	0.
0.00000049		
118020 842678.0 1364169.0 1.0 320.0 47.8	0.	0.
0.00000050		
119020 842702.0 1364057.0 1.0 320.0 41.6	0.	0.
0.00000094		
120020 842721.0 1363942.0 1.0 320.0 46.0	0.	0.
0.00000051		
121020 842740.0 1363831.0 1.0 320.0 45.6	0.	0.
0.00000032		
122020 842540.0 1364257.0 1.0 320.0 43.8	0.	0.
0.00000072		
123020 842558.0 1364147.0 1.0 320.0 45.6	0.	0.
0.00000053		
124020 842584.0 1364036.0 1.0 320.0 39.0	0.	0.
0.00000054		
125020 842605.0 1363921.0 1.0 320.0 44.1	0.	0.
0.00000030		

FUENTES DE ÁREA

126020	842624.0	1363808.0	1.0	320.0	46.0	0.	0.
0.00000068							
127020	842423.0	1364235.0	1.0	320.0	44.3	0.	0.
0.00000126							
128020	842443.0	1364126.0	1.0	320.0	39.8	0.	0.
0.00000179							
129020	842464.0	1364015.0	1.0	320.0	39.3	0.	0.
0.00000132							
130020	843483.0	1363899.0	1.0	320.0	42.5	0.	0.
0.00000092							
131020	842503.0	1363785.0	1.0	320.0	45.8	0.	0.
0.00000109							
132020	842304.0	1364213.0	1.0	320.0	44.1	0.	0.
0.00000046							
133020	842329.0	1364106.0	1.0	320.0	39.8	0.	0.
0.00000160							
134020	842350.0	1363994.0	1.0	320.0	38.7	0.	0.
0.00000209							
135020	842372.0	1363879.0	1.0	320.0	35.4	0.	0.
0.00000371							
136020	842394.0	1363764.0	1.0	320.0	43.3	0.	0.
0.00000170							
137020	843029.0	1364226.0	1.0	320.0	36.5	0.	0.
0.00000067							
138020	842915.0	1364203.0	1.0	320.0	38.1	0.	0.
0.00000108							
139020	842803.0	1364183.0	1.0	320.0	36.1	0.	0.
0.00000099							
140020	842689.0	1364163.0	1.0	320.0	40.8	0.	0.
0.00000063							
141020	842572.0	1364140.0	1.0	320.0	40.0	0.	0.
0.00000076							
142020	842450.0	1364119.0	1.0	320.0	40.8	0.	0.
0.00000065							
143020	842340.0	1364099.0	1.0	320.0	41.3	0.	0.
0.00000058							
144020	843048.0	1364117.0	1.0	320.0	31.5	0.	0.
0.00000256							
145020	842936.0	1364094.0	1.0	320.0	32.1	0.	0.
0.00000209							
146020	842824.0	1364071.0	1.0	320.0	35.7	0.	0.
0.00000122							
147020	842710.0	1364050.0	1.0	320.0	39.1	0.	0.
0.00000043							
148020	842593.0	1364028.0	1.0	320.0	37.5	0.	0.
0.00000047							
149020	842471.0	1364005.0	1.0	320.0	40.1	0.	0.
0.00000072							
150020	842361.0	1363988.0	1.0	320.0	40.2	0.	0.
0.00000092							
151020	843528.0	1362795.0	1.0	327.0	47.0	0.	0.
0.00000068							
152020	843519.0	1362793.0	1.0	327.0	47.0	0.	0.
0.00000137							
153020	844318.0	1363856.0	1.0	327.0	43.3	0.	0.
0.00000548							
154020	844313.0	1363848.0	1.0	327.0	43.3	0.	0.
0.00000997							
155020	845094.0	1365397.0	1.0	323.0	69.8	0.	0.
0.00000423							
156020	845092.0	1365385.0	1.0	323.0	69.8	0.	0.
0.00000397							
157020	843147.0	1362063.0	1.0	318.0	47.4	0.	0.
0.00000251							
158020	843144.0	1362053.0	1.0	318.0	47.5	0.	0.
0.00000298							

FUENTES DE ÁREA

159020	843781.0	1367630.0	1.0	323.0	119.3	0.	0.
0.00000122							
160020	844027.0	1367483.0	1.0	323.0	67.7	0.	0.
0.00000150							
161020	844016.0	1367475.0	1.0	323.0	67.7	0.	0.
0.00000151							
162020	843790.0	1367645.0	1.0	323.0	119.3	0.	0.
0.00000136							
163020	844086.0	1365682.0	1.0	321.0	99.4	0.	0.
0.00000134							
164020	844100.0	1365685.0	1.0	321.0	99.4	0.	0.
0.00000136							
165020	843477.0	1364419.0	1.0	320.0	144.9	0.	0.
0.00000100							
166020	843472.0	1364412.0	1.0	320.0	144.9	0.	0.
0.00000122							
167020	845199.0	1357380.0	4.5	480.0	15.8	0.	0.
0.00004843							
168020	845103.0	1357227.0	5.0	480.0	17.3	0.	0.
0.00003657							
169020	845679.0	1357526.0	5.0	460.0	10.0	0.	0.
0.00017593							
170020	845453.0	1357695.0	4.0	465.0	15.8	0.	0.
0.00004918							
171020	845336.0	1358008.0	4.5	475.0	19.5	0.	0.
0.00004082							
172020	840768.0	1352848.0	3.0	465.0	64.8	0.	0.
0.00022600							
173020	831293.0	1370994.0	5.0	220.0	14.83	0.	0.
0.00005967							
174020	832069.0	1370552.0	5.0	200.0	7.07	0.	0.
0.00015777							
175020	832098.0	1367423.0	5.0	205.0	7.07	0.	0.
0.00026256							
176020	831332.0	1360738.0	4.5	240.0	10.0	0.	0.
0.00010499							
177020	831023.0	1371296.0	5.5	220.0	16.73	0.	0.
0.00046913							
178020	833970.0	1369509.0	6.0	200.0	15.81	0.	0.
0.00042033							
179020	831520.0	1371522.0	5.0	200.0	12.25	0.	0.
0.00008752							
180020	831565.0	1372792.0	4.5	200.0	12.25	0.	0.
0.00010505							
181020	829725.0	1370215.0	5.0	210.0	17.32	0.	0.
0.00007882							
182020	831439.0	1372103.0	5.0	200.0	18.17	0.	0.
0.00007956							
183020	832455.0	1381116.0	3.0	200.0	104.45	0.	0.
0.00023450							
184020	831353.0	1380070.0	3.0	180.0	120.62	0.	0.
0.00023600							

FUENTES DE ÁREA

DATOS DE SALIDA

1 ISCLT - VERSION DATED 90008

IBM-PC VERSION (2.00)
(C) COPYRIGHT 1988, TRINITY CONSULTANTS, INC.
SERIAL NUMBER 5989 SOLD TO TRC ENVIRONMENTAL CONSULTANTS
RUN BEGAN ON 04-01-06 AT 11:36:21

** ANNUAL GROUND LEVEL CONCENTRATION (MICROGRAMS PER CUBIC METER) FROM ALL SOURCES COMBINED **
- GRID SYSTEM RECEPTORS -
- X AXIS (DISTANCE, METERS) -

Y AXIS (DISTANCE , METERS)	826197	826277	826357	826437	826517	826597	826677	826757	826837
	- CONCENTRATION -								
1381896.000	.756966	.762753	.768654	.774674	.780819	.787094	.793504	.800057	.806685
1381816.000	.757539	.763345	.769267	.775308	.781475	.787772	.794208	.800787	.807442
1381736.000	.758055	.763872	.769811	.775871	.782057	.788375	.794831	.801435	.808112
1381656.000	.758526	.764336	.770286	.776361	.782563	.788898	.795373	.801995	.808692
1381576.000	.758938	.764755	.770695	.776777	.782992	.789340	.795829	.802464	.809179
1381496.000	.759285	.765110	.771052	.777123	.783341	.789699	.796198	.802844	.809571
1381416.000	.759562	.765393	.771341	.777411	.783616	.789974	.796479	.803132	.809864
1381336.000	.759778	.765605	.771555	.777627	.783827	.790168	.796669	.803324	.810058
1381256.000	.760243	.766051	.772001	.778081	.784290	.790632	.797123	.803782	.810526
1381176.000	.762137	.767993	.773971	.780098	.786366	.792771	.799320	.806020	.812825
1381096.000	.762810	.768682	.774674	.780789	.787063	.793483	.800045	.806760	.813561
1381016.000	.764061	.769964	.775988	.782136	.788415	.794863	.801463	.808216	.815050
1380936.000	.765661	.771606	.777672	.783864	.790188	.796654	.803294	.810098	.816980
1380856.000	.767180	.773162	.779267	.785498	.791863	.798369	.805022	.811861	.818789
1380776.000	.768616	.774632	.780770	.787037	.793437	.799980	.806670	.813517	.820479
1380696.000	.769968	.776013	.782181	.788478	.794909	.801484	.808206	.815085	.822043
1380616.000	.771261	.777332	.783527	.789849	.796306	.802907	.809656	.816562	.823548
1380536.000	.772525	.778620	.784836	.791178	.797660	.804281	.811049	.817977	.824985
1380456.000	.773637	.779747	.785980	.792341	.798837	.805473	.812258	.819198	.826217
1380376.000	.774725	.780849	.787094	.793468	.799975	.806621	.813416	.820366	.827390
1380296.000	.775726	.781859	.788114	.794494	.801006	.807658	.814456	.821408	.828432
1380216.000	.778083	.784277	.790594	.797038	.803617	.810337	.817206	.824230	.831328
1380136.000	.782664	.789009	.795473	.802071	.808816	.815704	.822753	.829972	.837266
1380056.000	.784735	.791126	.797647	.804304	.811104	.818053	.825159	.832432	.839790
1379976.000	.787706	.794182	.800792	.807540	.814435	.821483	.828692	.836069	.843536
1379896.000	.791915	.798522	.805266	.812158	.819203	.826406	.833777	.841324	.848967
1379816.000	.796014	.802746	.809622	.816649	.823835	.831187	.838714	.846424	.854236
1379736.000	.800004	.806856	.813856	.821014	.828335	.835828	.843502	.851364	.859335
1379656.000	.803883	.810850	.817970	.825250	.832699	.840326	.848139	.856149	.864270

Y AXIS (DISTANCE	826197 , METERS)	826277	826357	826437	826517	826597	826677	826757	826837
			-	CONCENTRATION	-				
1379576.000	.807660	.814727	.821962	.829360	.836930	.844685	.852628	.860774	.869038
1379496.000	.811328	.818498	.825832	.833341	.841028	.848900	.856970	.865244	.873640
1379416.000	.814884	.822155	.829588	.837195	.844992	.852977	.861162	.869557	.878076
1379336.000	.818327	.825694	.833226	.840930	.848821	.856914	.865208	.873715	.882349
1379256.000	.821680	.829116	.836740	.844541	.852526	.860710	.869106	.877719	.886462
1379176.000	.824942	.832443	.840133	.848024	.856102	.864376	.872860	.881570	.890411
1379096.000	.827968	.835674	.843427	.851379	.859543	.867905	.876475	.885267	.894200
1379016.000	.830942	.838664	.846620	.854631	.862853	.871297	.879951	.888825	.897832
1378936.000	.833869	.841598	.849566	.857779	.866054	.874552	.883282	.892235	.901316
1378856.000	.836686	.844482	.852453	.860673	.869147	.877695	.886472	.895497	.904650
1378776.000	.839394	.847253	.855287	.863505	.871981	.880724	.889546	.898609	.907829
1378696.000	.841996	.849911	.858004	.866281	.874750	.883488	.892496	.901604	.910857
1378616.000	.844491	.852460	.860606	.868937	.877460	.886185	.895187	.904472	.913759
1378536.000	.846880	.854900	.863095	.871475	.880047	.888820	.897803	.907075	.916539
1378456.000	.849163	.857230	.865471	.873896	.882513	.891330	.900356	.909600	.919035
1378376.000	.851343	.859452	.867736	.876202	.884859	.893715	.902779	.912061	.921460
1378296.000	.853426	.861568	.869891	.878395	.887088	.895979	.905076	.914390	.923815
1378216.000	.855411	.863584	.871937	.880475	.889201	.898123	.907249	.916587	.926040
1378136.000	.857295	.865502	.873882	.882445	.891200	.900150	.909301	.918663	.928133
1378056.000	.859083	.867318	.875725	.884312	.893086	.902059	.911233	.920615	.930101
1377976.000	.861045	.869034	.877466	.886075	.894869	.903857	.913048	.922446	.931943
1377896.000	.862934	.870929	.879106	.887735	.896547	.905548	.914748	.924158	.933664
1377816.000	.864778	.872776	.880957	.889321	.898148	.907164	.916373	.925787	.935298
1377736.000	.865928	.874563	.882738	.891102	.899655	.908681	.917898	.927315	.936823
1377656.000	.866637	.875630	.884453	.892809	.901354	.910095	.919318	.928737	.938239
1377576.000	.867422	.876252	.885430	.894445	.902976	.911707	.920634	.930052	.939554
1377496.000	.868608	.876949	.885962	.895333	.904533	.913242	.922154	.931267	.940760
1377416.000	.870189	.878060	.886571	.895768	.905325	.914704	.923600	.932691	.941864
1377336.000	.871700	.879575	.887601	.896279	.905658	.915407	.924972	.934039	.943187
1377256.000	.873317	.881020	.889046	.897227	.906073	.915631	.925568	.935319	.944436
1377176.000	.875066	.882574	.890422	.898599	.906932	.915946	.925684	.935809	.945613
1377096.000	.876771	.884264	.891909	.899902	.908228	.916714	.925893	.935806	.945991
1377016.000	.878419	.885913	.893541	.901321	.909453	.917931	.926565	.935906	.945871
1376936.000	.880034	.887508	.895131	.902891	.910803	.919080	.927701	.936484	.945854
1376856.000	.881597	.889066	.896668	.904420	.912309	.920353	.928767	.937536	.946331
1376776.000	.883121	.890575	.898170	.905896	.913777	.921796	.929969	.938522	.947295
1376696.000	.884599	.892047	.899624	.907341	.915190	.923198	.931344	.939650	.948197
1376616.000	.886030	.893474	.901041	.908738	.916578	.924549	.932681	.940951	.949247
1376536.000	.887424	.894854	.902416	.910102	.917914	.925876	.933971	.942221	.950475
1376456.000	.888776	.896199	.903745	.911423	.919225	.927157	.935234	.943447	.951678
1376376.000	.890104	.897523	.905059	.912719	.920511	.928428	.936476	.944669	.952856
1376296.000	.891406	.898815	.906344	.913993	.921765	.929669	.937699	.945860	.954026
1376216.000	.892674	.900074	.907589	.915229	.922988	.930870	.938886	.947027	.955158
1376136.000	.893905	.901296	.908803	.916428	.924176	.932043	.940035	.948160	.956268

	826197	826277	826357	826437	826517	826597	826677	826757	826837
Y AXIS (DISTANCE , METERS)	- CONCENTRATION -								
1376056.000	.895107	.902485	.909982	.917596	.925326	.933182	.941157	.949258	.957343
1375976.000	.896292	.903646	.911130	.918730	.926450	.934287	.942247	.950329	.958386
1375896.000	.897444	.904793	.912250	.919837	.927541	.935364	.943306	.951371	.959405
1375816.000	.898563	.905908	.913359	.920916	.928606	.936413	.944339	.952381	.960399
1375736.000	.899650	.906992	.914437	.921988	.929645	.937435	.945344	.953372	.961365
1375656.000	.900707	.908046	.915485	.923030	.930679	.938436	.946326	.954335	.962292
1375576.000	.901735	.909069	.916505	.924043	.931686	.939435	.947289	.959094	.973930
1375496.000	.902732	.910065	.917497	.925030	.932666	.940407	.951916	.966482	.979706
1375416.000	.903703	.911033	.918462	.925991	.933621	.944870	.959073	.972106	.983266
1375336.000	.904653	.911974	.919401	.926925	.937931	.951778	.964514	.975586	.987162
1375256.000	.905621	.912894	.920313	.931085	.944603	.957049	.967888	.979369	.991279
1375176.000	.906566	.913838	.924335	.937529	.949700	.960321	.971555	.983362	.995208
1375096.000	.907488	.917771	.930616	.942474	.952872	.963872	.975427	.987179	.998960
1375016.000	.911288	.923846	.935450	.945598	.956322	.967627	.979132	.990825	1.002546
1374936.000	.917160	.928529	.938485	.948992	.960018	.971229	.982672	.994311	1.005972
1374856.000	.921696	.931467	.941773	.952580	.963562	.974723	.986068	.997645	1.009244
1374776.000	.924542	.934654	.945251	.956020	.966960	.978075	.989366	1.000839	1.012373
1374696.000	.927628	.938026	.948588	.959317	.970216	.981286	.992530	1.003950	1.015368
1374616.000	.930894	.941260	.951787	.962479	.973336	.984364	.995560	1.006929	1.018294
1374536.000	.934028	.944362	.954856	.965511	.976329	.987313	.998464	1.009785	1.021096
1374456.000	.937035	.947338	.957799	.968417	.979197	.990139	1.001246	1.012520	1.023779
1374376.000	.939920	.950192	.960619	.971203	.981946	.992848	1.003913	1.015143	1.026348
1374296.000	.942686	.952929	.963324	.973873	.984580	.995443	1.006467	1.017652	1.028811
1374216.000	.945338	.955552	.965917	.976433	.987103	.997930	1.008913	1.020057	1.031167
1374136.000	.947881	.958067	.968401	.978885	.989521	1.000312	1.011257	1.022359	1.033424
1374056.000	.950318	.960475	.970781	.981234	.991838	1.002593	1.013500	1.024565	1.035585
1373976.000	.952650	.962783	.973060	.983483	.994055	1.004776	1.015649	1.026675	1.037656
1373896.000	.954888	.964990	.975241	.985636	.996176	1.006867	1.017705	1.028695	1.039637
1373816.000	.957082	.967093	.977327	.987693	.998206	1.008865	1.019671	1.030627	1.041530
1373736.000	.959199	.969183	.979325	.989661	1.000146	1.010775	1.021551	1.032476	1.043340
1373656.000	.961244	.971187	.981287	.991544	1.001999	1.012600	1.023346	1.034239	1.045071
1373576.000	.963191	.973123	.983181	.993396	1.003770	1.014342	1.025059	1.035925	1.046721
1373496.000	.965060	.974964	.985010	.995181	1.005514	1.016004	1.026690	1.037530	1.048294

- GRID SYSTEM RECEPTORS -

- X AXIS (DISTANCE, METERS) -

	826917	826997	827077	827157	827237	827317	827397	827477	827557
Y AXIS (DISTANCE , METERS)	- CONCENTRATION -								
1381896.000	.813363	.820205	.827221	.834432	.841838	.849445	.857264	.865311	.873593
1381816.000	.814149	.821021	.828070	.835303	.842743	.850393	.858257	.866348	.874683
1381736.000	.814843	.821742	.828819	.836082	.843542	.851223	.859127	.867262	.875642
1381656.000	.815443	.822364	.829464	.836753	.844240	.851937	.859871	.868043	.876463
1381576.000	.815945	.822884	.830002	.837311	.844820	.852541	.860488	.868685	.877139

Y AXIS (DISTANCE	826917	826997	827077	827157	827237	827317	827397	827477	827557
, METERS)	- CONCENTRATION -								
1381496.000	.816348	.823299	.830430	.837753	.845278	.853017	.860982	.869189	.877662
1381416.000	.816648	.823605	.830744	.838076	.845611	.853360	.861338	.869558	.878035
1381336.000	.816843	.823802	.830942	.838276	.845814	.853567	.861549	.869775	.878259
1381256.000	.817318	.824285	.831436	.838781	.846331	.854098	.862095	.870336	.878838
1381176.000	.819690	.826729	.833962	.841391	.849025	.856881	.864977	.873324	.881938
1381096.000	.820435	.827495	.834742	.842189	.849846	.857727	.865845	.874216	.882856
1381016.000	.821939	.829036	.836327	.843819	.851525	.859456	.867629	.876057	.884758
1380936.000	.823920	.831048	.838390	.845942	.853711	.861709	.869951	.878454	.887233
1380856.000	.825776	.832944	.840315	.847912	.855735	.863789	.872091	.880656	.889500
1380776.000	.827501	.834710	.842115	.849734	.857594	.865694	.874044	.882659	.891557
1380696.000	.829095	.836336	.843774	.851419	.859292	.867422	.875809	.884462	.893398
1380616.000	.830591	.837849	.845312	.852982	.860873	.869006	.877412	.886090	.895052
1380536.000	.832041	.839290	.846760	.854445	.862352	.870494	.878889	.887575	.896549
1380456.000	.833287	.840541	.847989	.855674	.863586	.871730	.880120	.888781	.897745
1380376.000	.834463	.841718	.849164	.856816	.864715	.872851	.881232	.889872	.898796
1380296.000	.835501	.842749	.850187	.857825	.865677	.873788	.882146	.890758	.899645
1380216.000	.838472	.845799	.853319	.861041	.868978	.877148	.885591	.894302	.903290
1380136.000	.844618	.852159	.859904	.867865	.876060	.884499	.893188	.902199	.911506
1380056.000	.847202	.854810	.862623	.870654	.878916	.887422	.896190	.905235	.914614
1379976.000	.851062	.858788	.866723	.874882	.883277	.891923	.900837	.910035	.919540
1379896.000	.856678	.864596	.872735	.881107	.889727	.898609	.907773	.917235	.927016
1379816.000	.862117	.870219	.878550	.887123	.895954	.905059	.914456	.924164	.934205
1379736.000	.867383	.875656	.884167	.892930	.901959	.911271	.920887	.930824	.941105
1379656.000	.872474	.880909	.889589	.898528	.907742	.917248	.927066	.937215	.947719
1379576.000	.877388	.885976	.894814	.903917	.913303	.922989	.932994	.943338	.954047
1379496.000	.882128	.890858	.899843	.909100	.918644	.928495	.938672	.949196	.960091
1379416.000	.886693	.895555	.904678	.914076	.923767	.933768	.944103	.954790	.965853
1379336.000	.891084	.900069	.909318	.918846	.928672	.938812	.949289	.960124	.971338
1379256.000	.895303	.904401	.913767	.923415	.933362	.943629	.954233	.965199	.976549
1379176.000	.899354	.908554	.918024	.927781	.937840	.948219	.958940	.970022	.981491
1379096.000	.903236	.912529	.922095	.931949	.942107	.952588	.963411	.974597	.986169
1379016.000	.906952	.916329	.925981	.935922	.946168	.956739	.967651	.978926	.990587
1378936.000	.910502	.919957	.929686	.939704	.950028	.960675	.971664	.983016	.994752
1378856.000	.913901	.923415	.933212	.943298	.953688	.964402	.975456	.986872	.998670
1378776.000	.917142	.926714	.936561	.946707	.957155	.967923	.979032	.990499	1.002347
1378696.000	.920225	.929852	.939749	.949934	.960432	.971247	.982398	.993906	1.005789
1378616.000	.923152	.932827	.942770	.952995	.963522	.974375	.985560	.997097	1.009005
1378536.000	.925953	.935642	.945624	.955887	.966442	.977314	.988523	1.000080	1.012002
1378456.000	.928626	.938328	.948316	.958608	.969190	.980078	.991293	1.002861	1.014788
1378376.000	.931012	.940884	.950876	.961163	.971764	.982668	.993887	1.005446	1.017370
1378296.000	.933322	.943149	.953304	.963584	.974170	.985081	.996304	1.007854	1.019755
1378216.000	.935566	.945337	.955435	.965872	.976641	.987325	.998544	1.010084	1.021961
1378136.000	.937676	.947458	.957490	.967861	.978571	.989433	1.000613	1.012136	1.023990
1378056.000	.939654	.949443	.959478	.969771	.980412	.991409	1.002548	1.014020	1.025842
1377976.000	.941503	.951294	.961330	.971618	.982170	.993078	1.004349	1.015768	1.027526

	826917	826997	827077	827157	827237	827317	827397	827477	827557
Y AXIS (DISTANCE	, METERS)		- CONCENTRATION -						
1377896.000	.943227	.953018	.963047	.973327	.983865	.994673	1.005844	1.017378	1.029077
1377816.000	.944860	.954647	.964669	.974935	.985455	.996240	1.007299	1.018729	1.030535
1377736.000	.946382	.956163	.966173	.976423	.986921	.997679	1.008706	1.020011	1.031693
1377656.000	.947788	.957559	.967556	.977788	.988261	.998988	1.009978	1.021241	1.032786
1377576.000	.949088	.958841	.968822	.979031	.989479	1.000172	1.011122	1.022339	1.033831
1377496.000	.950284	.960017	.969972	.980159	.990578	1.001236	1.012145	1.023312	1.034748
1377416.000	.951373	.961091	.971020	.981174	.991562	1.002184	1.013050	1.024166	1.035543
1377336.000	.952363	.962059	.971966	.982088	.992436	1.003020	1.013841	1.024906	1.036226
1377256.000	.953576	.962927	.972808	.982901	.993210	1.003748	1.014524	1.025538	1.036797
1377176.000	.954718	.964030	.973553	.983613	.993887	1.004380	1.015103	1.026064	1.037263
1377096.000	.955796	.965062	.974539	.984230	.994465	1.004918	1.015588	1.026488	1.037628
1377016.000	.956052	.966032	.975457	.985098	.994951	1.005359	1.015983	1.026825	1.037898
1376936.000	.955807	.966164	.976315	.985900	.995699	1.005711	1.016284	1.027074	1.038082
1376856.000	.955672	.965793	.976331	.986652	.996385	1.006333	1.016500	1.027233	1.038184
1376776.000	.956044	.965538	.975826	.986532	.997022	1.006901	1.016998	1.027314	1.038201
1376696.000	.956918	.965802	.975446	.985896	.996774	1.007419	1.017444	1.027685	1.038141
1376616.000	.957729	.966583	.975600	.985392	.996003	1.007048	1.017842	1.028011	1.038388
1376536.000	.958695	.967307	.976288	.985436	.995367	1.006138	1.017341	1.028293	1.038589
1376456.000	.959853	.968189	.976917	.986028	.995302	1.005371	1.016297	1.027662	1.038754
1376376.000	.961004	.969291	.977736	.986589	.995822	1.005216	1.015424	1.026500	1.044066
1376296.000	.962124	.970381	.978780	.987338	.996302	1.005652	1.015166	1.031256	1.052671
1376216.000	.963227	.971435	.979798	.988303	.996970	1.006044	1.020983	1.040324	1.058564
1376136.000	.964297	.972473	.980784	.989252	.997860	1.011839	1.030301	1.047299	1.061936
1376056.000	.965345	.973480	.981757	.990171	1.003717	1.021297	1.037248	1.051201	1.066377
1375976.000	.966363	.974467	.982703	.995831	1.012824	1.028279	1.041532	1.055730	1.071069
1375896.000	.967352	.975430	.988172	1.004628	1.019602	1.032454	1.046218	1.060799	1.075701
1375816.000	.968321	.980704	.996665	1.011194	1.023677	1.037024	1.051157	1.065603	1.080343
1375736.000	.973419	.988903	1.003013	1.015166	1.028128	1.041845	1.055851	1.070137	1.084736
1375656.000	.981324	.995055	1.006881	1.019488	1.032826	1.046425	1.060292	1.074451	1.088883
1375576.000	.987287	.998810	1.011086	1.024058	1.037282	1.050771	1.064518	1.078530	1.092823
1375496.000	.990939	1.002898	1.015526	1.028401	1.041522	1.054891	1.068522	1.082405	1.096548
1375416.000	.994914	1.007217	1.019754	1.032528	1.045549	1.058808	1.072315	1.086077	1.100087
1375336.000	.999124	1.011335	1.023780	1.036460	1.049374	1.062529	1.075921	1.089555	1.103439
1375256.000	1.003165	1.015267	1.027618	1.040201	1.053016	1.066061	1.079345	1.092860	1.106612
1375176.000	1.007022	1.019047	1.031282	1.043766	1.056480	1.069423	1.082593	1.095996	1.109627
1375096.000	1.010704	1.022653	1.034808	1.047171	1.059781	1.072620	1.085684	1.098971	1.112487
1375016.000	1.014219	1.026094	1.038169	1.050448	1.062934	1.075665	1.088622	1.101800	1.115199
1374936.000	1.017577	1.029378	1.041377	1.053574	1.065973	1.078574	1.091421	1.104489	1.117778
1374856.000	1.020784	1.032514	1.044437	1.056555	1.068870	1.081382	1.094095	1.107050	1.120227
1374776.000	1.023847	1.035509	1.047359	1.059399	1.071632	1.084059	1.096681	1.109500	1.122560
1374696.000	1.026774	1.038369	1.050148	1.062114	1.074267	1.086611	1.099146	1.111873	1.124792
1374616.000	1.029574	1.041100	1.052810	1.064704	1.076782	1.089046	1.101496	1.114134	1.126962
1374536.000	1.032319	1.043716	1.055354	1.067178	1.079183	1.091369	1.103739	1.116293	1.129033
1374456.000	1.034943	1.046279	1.057787	1.069539	1.081473	1.093585	1.105878	1.118351	1.131006
1374376.000	1.037457	1.048734	1.060181	1.071799	1.083659	1.095700	1.107918	1.120314	1.132888

	826917	826997	827077	827157	827237	827317	827397	827477	827557
Y AXIS (DISTANCE	, METERS)		- CONCENTRATION -						
1374296.000	1.039863	1.051083	1.062470	1.074026	1.085752	1.097718	1.109865	1.122187	1.134684
1374216.000	1.042168	1.053332	1.064661	1.076157	1.087820	1.099649	1.111723	1.123974	1.136398
1374136.000	1.044374	1.055485	1.066759	1.078197	1.089799	1.101567	1.113503	1.125680	1.138034
1374056.000	1.046487	1.057546	1.068767	1.080149	1.091693	1.103402	1.115276	1.127313	1.139595
1373976.000	1.048509	1.059520	1.070688	1.082017	1.093507	1.105158	1.116972	1.128950	1.141090
1373896.000	1.050444	1.061407	1.072527	1.083805	1.095241	1.106838	1.118596	1.130516	1.142599
1373816.000	1.052294	1.063213	1.074286	1.085515	1.096901	1.108447	1.120151	1.132016	1.144042
1373736.000	1.054063	1.064938	1.075967	1.087150	1.098489	1.109985	1.121639	1.133453	1.145426
1373656.000	1.055753	1.066586	1.077572	1.088712	1.100006	1.111456	1.123062	1.134827	1.146750
1373576.000	1.057366	1.068160	1.079105	1.090203	1.101454	1.112860	1.124422	1.136141	1.148018
1373496.000	1.058903	1.069660	1.080567	1.091625	1.102836	1.114201	1.125721	1.137397	1.149230

0 - PROGRAM DETERMINED MAXIMUM 10 VALUES -

X	Y	CONCENTRATION
COORDINATE	COORDINATE	
(METERS)	(METERS)	

831397.00	1380056.00	190.864200
832517.00	1381096.00	163.378500
831477.00	1380056.00	129.291900
832437.00	1381176.00	122.959900
831317.00	1380056.00	119.383500
832437.00	1381096.00	118.175600
831317.00	1380136.00	103.398300
831397.00	1379976.00	95.903040
831397.00	1380216.00	91.670880
831477.00	1380136.00	81.597760

1


***** END OF ISCLT PROGRAM, 184 SOURCES PROCESSED *****

RUN ENDED ON 04-01-06 AT 11:45:47

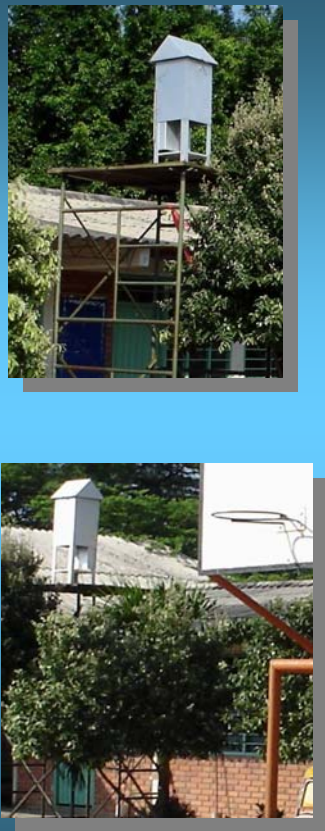
ANEXO F

FICHAS DE DIAGNÓSTICO DE LA RED DE
MONITOREO DE LA CALIDAD DE AIRE PARA EL
EJE INDUSTRIAL DE SAN JOSÉ DE CÚCUTA


DIAGNÓSTICO
RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No 1 Barrio Panamericano

Ubicación: 1°369.121 N 1°173.900 E	Monitoreo: TSP	Altura al nivel del suelo: 5 metros
Descripción: Ubicado sobre un andamio de 5 metros de altura, sobre vía de alto flujo vehicular y transporte pesado. Zona destapadas, presentándose emisiones de polvo fugitivo. Existe flujo libre del viento facilitando el transporte de contaminantes.		Área de Exposición: Combinada •Industria: Tintorerías, Molinerías de arroz. •Residencial. •Comercial.
Emisiones de Interferencia: Polvos Fugitivos, Vía Panamericana, emisiones locales debido al montaje llantas.		Vía de acceso Adecuada: Si
Energía Eléctrica: Si		Seguridad: Si
Distancia de Caminos o Vías: 8 metros		Interferencias: Ninguna
Observaciones: Los reportes de esta estación sufren una distorsión de impacto local, por su ubicación cercana a la vía y dentro de un establecimiento de expendio de gasolina y montaje llantas.		
Recomendaciones: Cambio de ubicación		

DIAGNÓSTICO
RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No 2 Colegio Prados del Norte

Ubicación: 1°369.121 N 1°174.076 E	Monitoreo: TSP	Altura al nivel del suelo: 5 metros
Descripción: Ubicado sobre un andamio de 5 metros sobre superficie en baldosa, a 3 metros del equipo se encuentra una edificación que no supera la altura de este. La estabilidad del andamio no garantiza la seguridad de la población estudiantil.		Área de Exposición: Combinada •Industria: Tintorerías, •Residencial. •Institucional.
Emisiones de Interferencia: Ninguna		Vía de acceso Adecuada: Si
Energía Eléctrica: Si		Seguridad: Si
Distancia de Caminos o Vías: 50 metros		Interferencias: Existe presencia arbórea que obstaculizan la toma de la muestra.
Observaciones:		
Recomendaciones: Reubicar la estación ya que la estación ubicada en el SENA está mejor ubicada permitiendo evaluar la contaminación proveniente de la zona industrial. Es recomendable instalar esta estación al occidente de la ciudad donde se encuentra concentrada parte de la población.		

DIAGNÓSTICO
RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No 3 Servicio de Enseñanza Nacional
(SENA)

Ubicación: 1°365.701 N 1°173.563 E	Monitoreo: TSP	Altura al nivel del suelo: 13 metros
Descripción: El equipo se encuentra ubicado en un tercer piso sobre un andamio de dos cuerpos, la ubicación de esta estación favorece el monitoreo de la calidad de aire en la zona industrial.		Área de Exposición: Combinada •Residencial. •Institucional.
Emisiones de Interferencia: Ninguna.		Vía de acceso Adecuada: Si
Energía Eléctrica: Si		Seguridad: Si
Distancia de Caminos o Vías: 30 metros		Interferencias: Ninguna
Observaciones: La estación se encuentra bien ubicada, representa el impacto generado por el sector industrial, de la ciudad de Cúcuta.		
Recomendaciones:		

DIAGNÓSTICO
RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No 4 Universidad Francisco de Paula Santander (UFPS)

Ubicación: 1°365.542 N 1°175.294 E	Monitoreo: TSP	Altura al nivel del suelo: 15 metros
Descripción: Ubicado sobre una terraza, en un cuarto piso, actualmente se llevó a cabo la construcción de una infraestructura (cubierta) sobre el equipo que no permite el monitoreo. Alrededor de la edificación se observa una densa población arbórea que no permite el flujo libre del viento.	 	Área de Exposición: Combinada •Residencial. •Comercial.
Emisiones de Interferencia: Ninguna		Vía de acceso Adecuada: Si
Energía Eléctrica: Si		Seguridad: Si
Distancia de Caminos o Vías: Más de 70 metros		Interferencias: Población arbórea densa
Observaciones:		
Recomendaciones: Es necesano reubicar esta estación.		

DIAGNÓSTICO
RED DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No. 5 Corporación Autónoma Regional de la Frontera Noroccidental
(CORPONOR)

Ubicación: 1°364.086 N 1°174.863 E	Monitoreo: TSP, PM10 Gases: CO, NO _x , SO ₂ .	Altura al nivel del suelo: se encuentran a nivel del suelo a
Descripción: Actualmente, el equipo medidor de gases se encuentra en reparaciones, el punto de ubicación de la estación no es el ideal para estimar la calidad de aire. Es necesano reubicar los equipos.		Área de Exposición: Combinada •Industria: Tintorerías, Molinerías de arroz. •Residencial. •Institucional
Emisiones de Interferencia: Ninguna		Vía de acceso Adecuada: Si
Energía Eléctrica: Si		Seguridad: Si
Distancia de Caminos o Vías: 10 metros		Interferencia s: Ninguna
Observaciones: La ubicación actual no genera ningún dato representativo del impacto generado por las emisiones atmosféricas del sector industrial. Esta ubicación, solamente monitorea calidad de aire a nivel local.		
Recomendaciones: Reubicación de estación.		

ANEXO G

FICHAS DE IDENTIFICACIÓN DE RED ESTACIONES DE MUESTREO PROPUESTAS

SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No. 1 SENA (Comuna 1)

Ubicación Geográfica:
1.365.642 N
842.705 E

Altura al nivel del suelo:
15 metros

Tipo de estación:
Manual

Descripción del sitio: Ubicada en el techo de la edificación sobre plataforma metálica de tal manera sobrepase el obstáculo cercano al punto de ubicación. Su localización al Sur del eje industrial permite la medición del impacto generado por este debido a la predominancia en la dirección del viento.



Requerimientos de infraestructura:
Cuenta con seguridad, energía eléctrica y vías de acceso adecuadas.

Contaminantes a monitorear:

Primera Fase: PST, PM10, SO₂, NO_x

Segunda Fase: CO, teniendo en cuenta resultados de campañas

Área de Exposición:

- Residencial
- Institucional
- Industrial

Distancia a Vías:
30 metros

SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No. 2 Biblioteca Pública (Comuna 2)

Ubicación Geográfica:
1.363.987 N
843.147 E

Altura al nivel del suelo:
7 metros

Tipo de estación:
Manual

Descripción del sitio: Ubicada en estructura en medio de dos edificios frente a la entrada principal. Corresponde a la zona céntrica de la ciudad con el fin de medir el impacto generado sobre la población principalmente por fuentes móviles.



Requerimientos de infraestructura:
Cuenta con seguridad, energía eléctrica y vías de acceso adecuadas.

Contaminantes a monitorear:

Primera Fase: PST, PM10, SO₂, NO_x, CO

Área de Exposición:

- Residencial
- Institucional
- Comercial

Distancia a Vías:
60 metros

SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No. 3 Instituto Técnico Guimaral (Comuna 5)

Ubicación Geográfica:
1.366.710 N
843.571 E

Altura al nivel del suelo:
5 metros

Tipo de estación:
Manual

Descripción del sitio: Ubicado en la placa de concreto del corredor principal de la institución; es necesario montar el equipo en una estructura con el fin de superar el obstáculo presente. Localizado en zona de alta densidad poblacional, afectada por el sector norte del eje industrial.



Requerimientos de infraestructura:
Cuenta con seguridad, energía eléctrica y vías de acceso adecuadas.

Contaminantes a monitorear:

Primera Fase: PST, PM10, SO₂, NO_x

Segunda Fase: CO, teniendo en cuenta resultados de campañas

Área de Exposición:

- Residencial
 - Institucional
- Distancia a Vías:
50 metros

SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No. 4 Colegio Marco Fidel Suárez (Comuna 3)

Ubicación Geográfica:
1.365.096 N
844994 E

Altura al nivel del suelo:
12 metros

Tipo de estación:
Manual

Descripción del sitio: Ubicado cerca de la zona de juego, requiere de obra civil. Zona de exposición de alta densidad poblacional influenciada por emisiones de fuentes móviles.



Requerimientos de infraestructura:
Cuenta con seguridad, energía eléctrica y vías de acceso adecuadas.

Contaminantes a monitorear:

Primera Fase: PST, PM10

Segunda Fase: CO Teniendo en cuenta resultados de campañas

Área de Exposición:

- Residencial
 - Institucional
 - comercial
- Distancia a Vías:
80 metros

SAN JOSÉ DE CÚCUTA
Estación No. 5 IMSALUD ATALAYA (Comunas 7 y 8)

Ubicación Geográfica:
1.366.334 N
840.757 E

Altura al nivel del suelo:
9 metros

Tipo de estación:
Manual

Descripción del sitio: Ubicado en el techo de la edificación. Zona de alta densidad poblacional.



Requerimientos de infraestructura:
Cuenta con seguridad, energía eléctrica y vías de acceso adecuadas.

Contaminantes a monitorear:
Primera Fase: PST, PM10
Segunda Fase: CO Teniendo en cuenta resultados de campañas

Área de Exposición:
• Residencial
• Institucional
Distancia a Vías:
70 metros

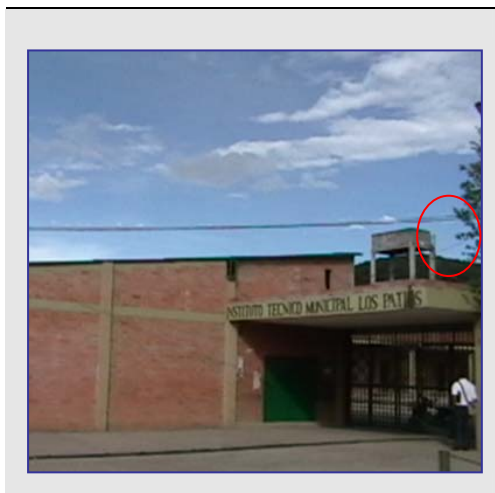
LOS PATIOS
Estación No. 4 Instituto Técnico Municipal de los Patios

Ubicación Geográfica:
1.356.836 N
841.589 E

Altura al nivel del suelo:
6 metros

Tipo de estación:
Manual

Descripción del sitio: Ubicado en el techo de la edificación. El objeto de esta estación es la medición del impacto generado a la población del municipio por industrias como Cemex y ladrillera Sigma.



Requerimientos de infraestructura:
Cuenta con seguridad, energía eléctrica y vías de acceso adecuadas.

Contaminantes a monitorear:
Primera Fase: PST
Segunda Fase: PM10

Área de Exposición:
• Residencial
• Institucional
Distancia a Vías:
60 metros

VILLA DEL ROSARIO
Estación No. 5 Colegio Manuel Antonio Rueda Jara

Ubicación Geográfica:
1.358.452 N
846.300 E

Altura al nivel del suelo:
10 metros

Tipo de estación:
Manual

Descripción del sitio: Ubicado en el techo de la edificación. El fin de esta estación es determinar la calidad del aire en el municipio, viéndose afectada por industria como Ladrillera Cúcuta, Aluminios Onava, Tejar Margres y los chircales de Subsistencia presentes en el casco urbano.



Requerimientos de infraestructura:
Cuenta con seguridad, energía eléctrica y vías de acceso adecuadas.

Contaminantes a monitorear:
Primera Fase: PST
Segunda Fase: PM10

Área de Exposición:
• Residencial
• Institucional
Distancia a Vías:
50 metros

ANEXO H

LISTAS DE VERIFICACIÓN PARA AUDITORIAS INTERNAS Y EXTERNAS DE LA RVCA

LISTAS DE VERIFICACIONES ASOCIADAS A LA AUDITORÍA DE CALIDAD DEL SISTEMA DE MONITOREO.

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA AUDITORIAS INTERNAS

1. Lista de verificación. Ubicación de estaciones de calidad de aire y meteorológicas

- a. ¿Cuál es el nombre e identificación de la estación?
- b. ¿Quién es el responsable de la estación?
- c. ¿Cuáles son las características generales del sitio (fotografías si es posible)?
- d. ¿Hay planos de ubicación de la estación? En caso negativo hacer un plano preliminar.
- e. ¿Qué contaminantes y variables meteorológicas se miden?
- f. Descripción del lugar (p. ej.: terrenos aledaños, obstrucciones cercanas, vías de acceso y cualquier característica poco común).
- g. ¿Es la ubicación general representativa de un escenario uniforme? Por ejemplo: áreas residenciales, áreas comerciales o industriales, etc.
- h. ¿Se encuentra el sitio suficientemente lejos de fuentes que puedan tener influencias o causar interferencia en las mediciones? Por ejemplo: Aeropuertos, paradero de buses, etc., siempre que el objetivo no sea precisamente conocer las concentraciones de contaminantes en dichas áreas especiales.
- i. ¿Hay alguna razón para creer que condiciones micro meteorológicas poco comunes puedan influir en los resultados?
- j. ¿Es adecuada la vía de acceso?
- k. ¿Hay disponibilidad de energía eléctrica y líneas de transmisión de datos?
- l. ¿Puede asegurarse el lugar contra el vandalismo?
- m. ¿Hay edificios cercanos, árboles, características del terreno u otras obstrucciones que podrían alterar los patrones de circulación?
- n. ¿Pueden colocarse los sensores y toma muestras en las alturas específicas, pero lo suficientemente altas como para disminuir la posibilidad de vandalismo?
- o. ¿Se satisfacen los criterios de distancia mínima entre las vías y la ubicación de la estación?
- p. Verificar la información de la localización del sitio y ubicación toma muestras y sensores.
- q. Observaciones
- r. Recomendaciones

2. Lista de verificación. Control de instrumentos, sensores y/o equipos

- a. ¿Qué contaminantes y parámetros meteorológicos se miden?
- b. ¿Qué métodos de medición se utilizan?

- c. Verificar si hay un inventario de instrumentos, sensores y/o equipos meteorológicos.
- d. ¿Qué instrumentos, sensores y/o equipos meteorológicos funcionan?
- e. ¿Qué instrumentos no funcionan? ¿Por qué?
- f. ¿Se dispone de las instrucciones de operación de cada instrumento, sensores y/o equipos? ¿Cuales?
- g. ¿Se dispone de los materiales, suministros y/o equipos relacionados con la transmisión de datos? ¿Cuales?
- h. ¿Se dispone de suministro eléctrico adecuado? ¿Que sistema alterno usa y cuál es el tiempo de autonomía?
- i. ¿Se dispone de una bitácora o libro de observaciones o de los instrumentos, sensores y/o equipos? Indicar alteraciones como irregularidades en el funcionamiento, cambios de instrumental, sensores y/o equipos, notificación y corrección de fallas, hora y fecha de las alteraciones.
- j. ¿Se disponen de aparatos de seguridad, como extinguidores de incendio?
- k. ¿Los instrumentos, sensores y/o equipos se encuentran ordenados y bien mantenidos?
- l. ¿Los instrumentos, sensores y/o equipos cumplen con las especificaciones establecidas en los requerimientos de calidad de los datos, como exactitud, precisión, representatividad y completitud que se señalan en los objetivos de la calidad de los datos del monitoreo?
- m. Observaciones
- n. Recomendaciones

3. Lista de verificación. Documentos para evaluación de operación interna

- a. ¿Se dispone de un inventario del instrumental, sensores y equipos?
- b. ¿Se dispone de procedimientos de operación y mantenimiento?
- c. ¿Se dispone de procedimientos de calibración de cada instrumento?
- d. ¿Se dispone de los procedimientos para la transmisión de datos?
- e. ¿Se dispone de bitácora de campo?
- f. ¿Se dispone de manuales de los equipos?
- g. ¿Se disponen de normas para verificación, mantenimiento y corrección del sistema para garantizar el cumplimiento de los objetivos del monitoreo?
- h. ¿Se han efectuados cambios tecnológicos, de metodologías de medición o de estructura interna del sistema que puedan afectar el resultado de las mediciones o de los objetivos de la calidad de los datos requerida? Si la respuesta es afirmativa, ¿se han establecido nuevos procedimientos al respecto?

4. Lista de verificación enfocada a las mediciones

- a. Horario y frecuencia de las mediciones.
- b. ¿Cuáles son los procedimientos para datos incompletos y no registrados?

- c. ¿Cómo se verifica y corrige la red para garantizar que cumpla con los objetivos de monitoreo?
- d. ¿Existe un sistema de almacenamiento de archivos de datos?
- e. ¿El sistema tiene posibilidad de ejecución de cálculos predefinidos o programables?
- f. ¿El sistema tiene capacidad de enlace con impresora, a fin de obtener en forma continua una copia impresa de los archivos de datos?
- g. ¿El sistema de telemetría es realizado a través de módem telefónico?
- h. ¿El sistema tiene capacidad para llamar la atención a datos dudosos o sospechosos?
- i. ¿El sistema consta de un servicio de autodiagnóstico?
- j. ¿El sistema dispone de un reloj accionado por pilas para mantener la hora correcta durante apagones y recarga automática del programa.
- k. ¿El sistema calcula parámetros derivados?
- l. ¿El sistema dispone de un registrador gráfico en banda de papel continuo?
- m. ¿El voltaje de cada sensor es el adecuado para generar un dato confiable?
- n. ¿Con cuantos minutos de observación se produce la información horaria? Si la información es de otro periodo diferente indicar la cantidad mínima.

5. Lista de verificación de mantenimiento y calibración

- a. ¿Cuál es la frecuencia de mantenimiento y calibración?
- b. ¿Se dispone de los procedimientos de calibración de cada instrumento o sensor?
- c. ¿Qué métodos de calibración se usan? ¿Qué estándares se usan?
- d. ¿Los instrumentos están calibrados adecuadamente?
- e. ¿Se dispone de todos los materiales, elementos y equipos para el mantenimiento y calibración?

6. Lista de verificación de recursos de personal

- a. ¿Cuáles son los nombres y las ubicaciones en las oficinas centrales del personal disponible para operar y darle servicio a las estaciones de calidad de aire y meteorología?
- b. ¿El personal disponible tiene capacitación y/o experiencia necesarias en las siguientes áreas?
 - Operación de estaciones de calidad de aire y meteorología
 - Mantenimiento y calibración de estaciones de calidad de aire y meteorología y su equipamiento asociado
 - Análisis de datos y operación de computadora personal
- c. ¿Quién efectúa la reparación de la estación y del instrumental, sensores y equipos? ¿Tiene la experiencia y calificación necesaria?
- d. ¿Quién controla suministros de insumos y repuestos de las estaciones?
- e. ¿Quién controla el presupuesto para operar y darle servicio a las estaciones?
- f. ¿Quién atiende las fallas en la operación de estaciones? ¿Responde inmediatamente con medidas efectivas?

LISTA DE VERIFICACIÓN PARA LA EVALUACIÓN CON PERSONAL EXTERNO

1. Antecedentes generales

- a. ¿Cuál es la situación general de la contaminación del aire en la ciudad?
- b. ¿Hay datos disponibles de emisión y fuentes principales de contaminación del aire?
- c. ¿Cuál es la información disponible sobre la meteorología y topografía local?
- d. ¿Existen medidas disponibles de control de la contaminación del aire?
- e. ¿Por qué se monitorea la calidad del aire en este sitio?
- f. ¿Cuáles fueron los objetivos de calidad?
- g. ¿Qué se revisó?
- h. ¿Dónde se realizó la evaluación?
- i. ¿Cuándo se realizó la evaluación y qué programa se siguió?
- j. ¿Quién formó parte del equipo de evaluación? ¿Cuáles fueron sus calificaciones y experiencia?
- k. ¿Quién fue el intermediario entre el equipo y el colaborador local? ¿Cuál fue su posición y responsabilidad dentro de la estructura de la institución?
- l. ¿Cómo se monitorea la calidad del aire?
- m. ¿Dónde se monitorea?
- n. ¿Cuándo se monitorea?
- o. ¿Quién realiza el monitoreo? ¿Cuál es su posición dentro de la estructura de la institución? ¿Cómo se capacita al personal?
- p. ¿Cómo se verifica y corrige la red para garantizar que cumpla con los objetivos de monitoreo?
- q. ¿Qué mejoras y observaciones se sugieren?

2. Evaluación del sitio de muestreo

- a. ¿Cuál es el nombre e identificación de la estación?
- b. ¿Cuál es la institución o individuos responsables del sitio.
- c. ¿Cuáles son las características generales del sitio (incluidas fotografías)?
- d. ¿Cuáles son los métodos de monitoreo y análisis?
- e. ¿Qué instrumentos se usan?
- f. ¿La calibración es adecuada?

- g. ¿Cuál es la frecuencia del monitoreo?
- h. ¿La ubicación de los toma muestras y/o sensores cumple con lo requerido?
- i. ¿EL diseño del toma muestras es apropiado?
- j. ¿El tipo de filtro y el soporte son adecuados?
- k. ¿Se controlan los filtros antes de la exposición?
- l. ¿Se hace el acondicionamiento de los filtros?
- m. ¿El tipo, tamaño, limpieza y reemplazo de tubos son adecuados?
- n. ¿Se controla el flujo y se mide la velocidad del flujo?
- o. ¿El procedimiento para el cambio de los filtros de muestras es apropiado?
- p. ¿El almacenamiento de filtros es adecuado?
- q. ¿El transporte de muestras es adecuado?
- r. ¿Existen fuentes de contaminación e interferencias?
- s. ¿Qué mejoras y observaciones se sugieren?

3. Evaluación del laboratorio

- a. Aspectos generales
 - ¿Cuál es el nombre del laboratorio?
 - ¿Cuál es el nombre de la institución?
 - ¿Quién el jefe del laboratorio?
 - ¿Quiénes son los responsables de los análisis de laboratorio?
- b. Análisis químicos
 - ¿Qué métodos se usan?
 - ¿Qué instrumentos se usan?
 - ¿Cuál es la calidad del reactivo (grado analítico, general)?
 - ¿Hay retraso entre el monitoreo y el análisis?
 - ¿Cuáles son las condiciones de almacenamiento de la muestra?
 - Oros comentarios
- c. Control y aseguramiento de la calidad
 - ¿Se cuenta con un plan de aseguramiento de la calidad? ¿Se implementa?
 - ¿Qué métodos de calibración se usan? ¿Qué estándares se usan? ¿Con qué frecuencia?
 - ¿Cuál es la exactitud y reproducibilidad de las técnicas usadas?
 - ¿Qué comparaciones entre muestras se usan?

- ¿Qué mejoras y observaciones se sugieren?

4. Evaluación del procesamiento y reporte de datos

- a. ¿Cuál es el nombre de la institución?
- b. ¿Quiénes son los responsables del análisis de datos?
- c. ¿Quiénes son los responsables del reporte de datos?
- d. ¿Cómo es el proceso de verificación y reporte de datos?
- e. ¿Cómo se procesan los datos incompletos y no registrados?
- f. ¿Cómo se procesan los resultados por debajo del límite de detección?
- g. ¿Cómo se procesan los datos no procesados para producir el reporte final requerido para la gestión?
- h. ¿Qué controles y auditorías se realizan?
- i. Señalar qué mejoras y observaciones se sugieren
- j. ¿Los datos generados por la red de monitoreo se aplican a los objetivos de monitoreo?

ANEXO I

COTIZACIÓN EQUIPOS PARA LA RVCA

Bogotá 28 de agosto de 2006

INGENIERO CESAR PIÑEROS
CORPONOR
Tel: (7) 5 730073
Cúcuta – Norte de santander
dragolack_82@yahoo.com

Ingeniero Piñeros,

Le ruego aclararnos mediante que procedimiento se adquirirían estos equipos, esto ya que si es compra directa podemos ofrecer un descuento. Abajo encontrara algunos precios, a todos ellos se debe agregar el IVA. Por favor no dude en consultarnos si tiene alguna pregunta.

1. MUESTREADOR DE PARTÍCULAS TOTALES HIVOL – TSP ECOTECH
HIVOL 3000 USD 6.801
2. MUESTREADOR DE PARTÍCULAS PM10. PM10 ECOTECH HIVOL 3000
USD 9.938
3. KIT DE CALIBRACIÓN PARA MUESTREADORES DE PARTICULAS (TSP,
PM10) USD 3.200)
4. MOTOR ELECTRICO UNIVERSAL (Para equipo HI VOL con sistema de flujo
másico) USD\$ 112
5. ESCOBILLAS (Para motor másico) USD\$ 17 (par)
6. MUESTREADOR DE TRES GASES USD\$ 9.600
7. ANALIZADOR AUTOMATICO DE CO CO US\$ 13.300 ECOTECH
8. CALIBRADOR POR DILUCIÓN US\$ 20786
9. GENERADOR AIRE CERO. Generador de Aire Cero US\$ 11.000 ECOTECH
10. CALIBRADOR MULTIGAS. Calibrador MultiGases US\$ 17.325 ECOTECH

11.KIT DE SENSORES METEOROLOGICOS PORTATIL: Dirección y Velocidad del Viento, Temperatura y Humedad Relativa, Radiación Solar, Presión Barométrica, Precipitación. US\$ 13.000

12.CAPACITACION PERSONAL. INCLUIDA CON LOS EQUIPOS

Quedamos a la espera de su respuesta.

Cordial saludo,

Ingeniero
Pedro Sarmiento
Gerente

APCYTEL LTDA
CRA 29A # 70A - 87
TELS: (1) 311 7848 / 64
BOGOTA, COLOMBIA
apcytel@elsitio.net.co

ANEXO J

PROTOCOLOS ESTÁNDAR DE OPERACIÓN

DETERMINACIÓN DE PARTICULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN (PST)

PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE OPERACIÓN EQUIPO HI-VOL

1. METODO DE REFERENCIA

El método de referencia para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, es el de muestreo de alto volumen.

2. PRINCIPIO Y DESCRIPCIÓN

El método de referencia, permite medir la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente, por medio de un muestreador adecuadamente localizado, que succiona a través de un filtro una cantidad determinada de aire ambiente hacia el interior de una caseta o coraza de protección, durante un período de muestreo de 24 hrs. Para conocer el volumen de aire aspirado, se requiere de un controlador de tiempo, el cual permite fijar el período de muestreo y garantizar su funcionamiento automático.

La velocidad de flujo del aire ambiente ($1.13 - 1.7 \text{ m}^3/\text{min}$; $40 - 60 \text{ pies}^3/\text{min}$) y la geometría del muestreador son tales que favorecen la recolección de partículas hasta de 50 micrómetros (μm) de diámetro aerodinámico, dependiendo de la velocidad del viento y su dirección. Los filtros usados deben tener una eficiencia de recolección mínima del 99 % para partículas de $0.3 \mu\text{m}$.

En este método, el filtro se pesa en el laboratorio bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, antes y después de su uso, para determinar su ganancia neta de peso (masa). El volumen total de aire muestreado, corregido a las condiciones de referencia, se determina a partir del flujo de aire ambiente medido y del tiempo de muestreo.

La concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico patrón ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{ptn}$), corregidos a las condiciones de referencia.

En muestras tomadas a temperaturas y presiones barométricas que difieren significativamente de las condiciones de referencia, las concentraciones corregidas pueden variar de las concentraciones reales ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ real}$), sobre todo a elevadas altitudes. Las concentraciones reales de partículas pueden ser

calculadas a partir de las concentraciones corregidas, utilizando las temperaturas y presiones que se hayan presentado durante el período de muestreo.

3. RANGO Y SENSIBILIDAD

- El rango de las concentraciones para aplicar este método es de 2 a 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{ptn.}$
- El límite superior está determinado por el punto en el cual el muestreador no puede mantener la velocidad de flujo especificado, debido al incremento en la caída de presión del filtro cargado. Este punto es alterado, entre otros factores, por la distribución del tamaño de partículas, el contenido de humedad de las partículas colectadas y la variabilidad de un filtro a otro. El límite inferior es determinado por la sensibilidad de la balanza y por fuentes inherentes de error.
- A velocidades de viento que oscilan entre 1.3 y 4.5 m/s se ha encontrado que el muestreador de alto volumen colecta partículas de 25 a 50 μm , dependiendo de la dirección del viento.
- En atmósferas con concentraciones tan bajas como $1\mu\text{g}/\text{m}^3$, se pueden obtener muestras aceptables cuando el muestreador opera 24 horas a una tasa de $1.7\text{ m}^3/\text{min}$ ($60\text{ pies}^3/\text{min.}$)
- Los pesos son determinados al miligramo más cercano, el tiempo a los dos minutos más cercanos, y las concentraciones en masa se reportan al microgramo por metro cúbico más cercano

4. PRECISIÓN Y EXACTITUD

La desviación típica relativa de una serie de valores obtenidos por una misma persona – repetitibilidad del método - no deberá ser superior al 3%. La desviación típica relativa para la variación en distintos laboratorios -reproducibilidad del método – no deberá ser superior al 4%.

La exactitud con la cual el mide la concentración promedio verdadera es función de la tasa de flujo de aire mantenida en el muestreador

5. INTERFERENCIAS

- Variación en el flujo de aire. El peso del material colectado en el filtro, representa la sumatoria del producto del gasto volumétrico instantáneo por la concentración instantánea durante el período de muestreo. Por lo tanto, dividiendo el peso entre la velocidad de flujo promedio por el tiempo de muestreo se obtiene la concentración real de partículas, solamente cuando la velocidad de flujo es constante. El error resultante de una velocidad a flujo

variable depende de la magnitud de los cambios instantáneos en el mismo y en la concentración de las partículas.

Normalmente estos errores no son grandes, pero pueden reducirse significativamente mediante un mecanismo automático para control de flujo, que mantiene el flujo constante durante el período de muestreo, por lo que se recomienda su uso. Sin embargo, a elevadas altitudes disminuye su efectividad debido a una reducción en el flujo máximo del muestreador.

- Medición del volumen de aire. Si la velocidad de flujo se altera sustancialmente o de manera no uniforme durante el período de muestreo, puede ocurrir un error muy importante al utilizar el promedio de las velocidades de flujo inicial y final. Se puede lograr una mayor confiabilidad en la medición del volumen del aire de la siguiente manera:
 - ◇ Equipando el muestreador con un mecanismo de control de flujo que mantenga un flujo de aire constante durante el período de muestreo.
 - ◇ Utilizando un mecanismo de registro de flujo continuo, calibrado durante el período de muestreo e integrando matemáticamente la velocidad de flujo durante dicho período.
 - ◇ Utilizando cualquier otro procedimiento que registre fielmente el volumen de aire total muestreado durante el período de muestreo. Se podrá utilizar un registrador continuo de flujo, en caso de no disponer de un controlador de flujo constante.
- Pérdida de partículas volátiles. Las partículas volátiles recogidas en el filtro pueden perderse durante el muestreo subsiguiente o durante el envío posterior, durante el almacenamiento del filtro antes de pesarse o después del muestreo. Aunque tales pérdidas son en gran medida inevitables, para reducir el error, el filtro se debe pesar tan pronto como sea posible después del muestreo.
- Partículas artificiales. Se pueden llegar a formar partículas a partir de los gases ácidos de la muestra de aire y el material alcalino del filtro, lo cual incrementaría la concentración real de partículas suspendidas totales. Generalmente se presenta al inicio del período de muestreo y es una función del pH del filtro y la presencia de los gases ácidos. Este efecto cobra importancia cuando se presentan partículas de peso relativamente pequeño.
- Las partículas aceitosas tales como el SMOG fotoquímico o humo pueden bloquear el filtro y causar una caída rápida en el flujo produciendo tasas de succión no uniformes. El humo denso o la alta humedad pueden humedecer el filtro y reducir severamente el flujo de aire a través de este.
- Humedad. Los filtros de fibra de vidrio son relativamente estables ante los cambios de la humedad relativa, pero las partículas colectadas pueden ser

higroscópicas. El procedimiento de acondicionamiento de humedad puede minimizar, pero no eliminar completamente el error debido a ésta.

- Manejo del filtro. El manejo cuidadoso del filtro entre el peso anterior y posterior al muestreo es necesario para evitar errores debido a la pérdida de fibras o partículas del filtro. Un cartucho o envase de protección del filtro puede reducir los errores por transportación.
- Partículas no muestreadas. Es posible que el viento deposite partículas en el filtro durante el período en que no se muestrea. Para minimizar esta fuente de error, se debe usar un dispositivo mecánico automático que mantenga el filtro cubierto mientras no se muestrea o mediante una instalación y retiro programado de los filtros, para reducir los períodos no muestreados antes y después de la operación. Errores por el tiempo de muestreo. Los muestreadores generalmente se controlan mediante relojes que activan el muestreador a la media noche. Los errores en el período nominal de muestreo de 1,440 minutos pueden deberse a interrupciones en la energía o a discrepancias en el tiempo de inicio y terminación del muestreo. Estas discrepancias pueden ser originadas por:
 - ◇ Baja resolución de los puntos de inicio.
 - ◇ Error por fallas en la energía eléctrica.
 - ◇ Manejo incorrecto del dispositivo de control de tiempo.
 - ◇ Mal funcionamiento del dispositivo de control de tiempo.
 - ◇ Dispositivos de control de tiempo. Tienen mejor resolución los dispositivos de control de tiempo digitales que los mecánicos, pero requieren un sistema de baterías, como apoyo en caso de falla de energía eléctrica. Se recomienda el uso de un registrador continuo o un medidor de tiempo transcurrido, esto proporciona una indicación del funcionamiento del muestreador, así como de cualquier interrupción de la energía eléctrica durante el período de muestreo.
- Recirculación del aire muestreado. Cuando existen condiciones de estabilidad atmosférica, es posible que parte del mismo aire sea remuestreado. Parece que este efecto no altera considerablemente la medición de partículas, aunque puede producir un incremento en la recolección de carbón y cobre. Este problema puede evitarse canalizando el aire muestreado viento abajo y lejos del muestreador.

6. SEGURIDAD

- Gafas
- Casco
- Guantes
- Cuerdas para sostenerse.

7. EQUIPO DE MEDICION

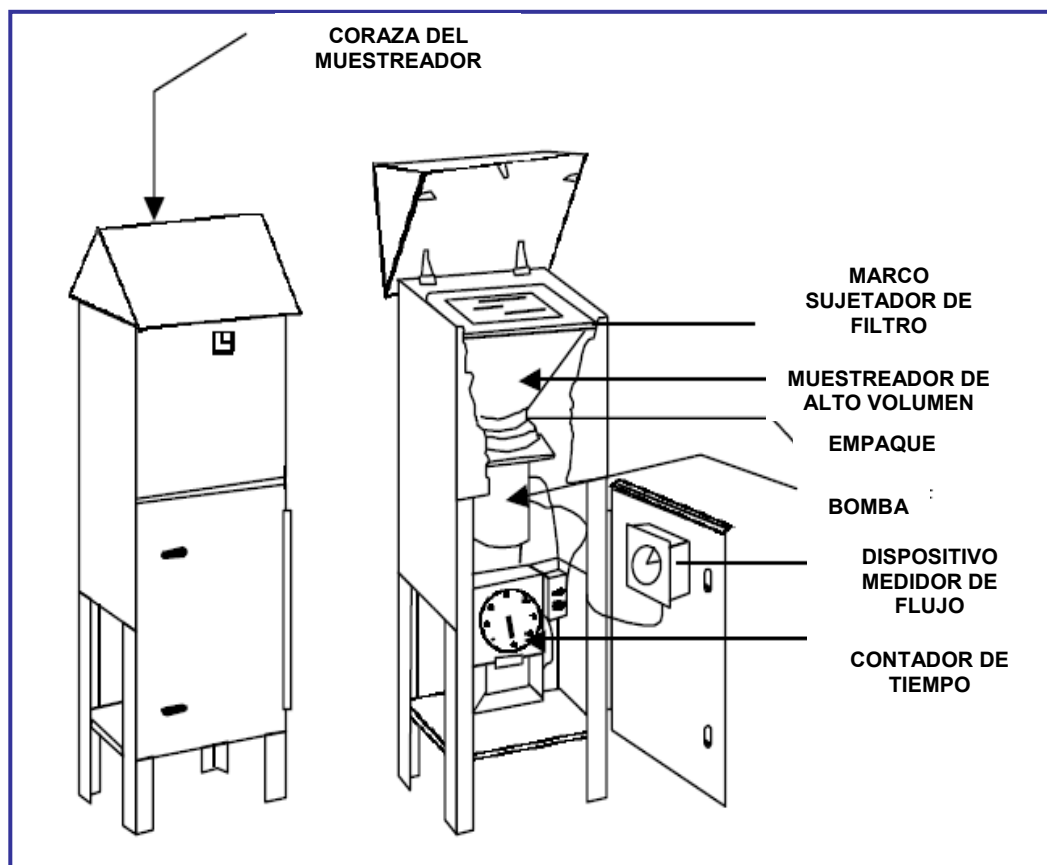
Para la aplicación del método de referencia se requiere de un muestreador de alto volumen, Figura 1, con el siguiente equipo:

- Filtro. Con las siguientes especificaciones:
 - ◇ Tamaño. $20.3 \pm 0.2 \times 25.4 \pm 0.2$ cm.
 - ◇ Área expuesta. 406.5 cm^2
 - ◇ Material. Fibra de vidrio u otro material inerte no higroscópico.
 - ◇ Eficiencia de colección. 99% mínimo para partículas de 0.3 mm de diámetro.
 - ◇ Rango de la caída de presión. 5.6 a 7.2 kPa (42 a 54 mm Hg), a un flujo de $1.5 \text{ m}^3 \text{ ptn} / \text{min}$ a través del área expuesta.
 - ◇ Potencial de hidrógeno. Con un rango de 6 a 10
 - ◇ Pérdida máxima de material del filtro. $2.4 \text{ } \mu\text{g}$
 - ◇ Perforaciones. No debe presentar ninguna
 - ◇ Resistencia a la tensión. 500 g para una tira de 2 cm de ancho
- Muestreador. El muestreador deberá disponer de medios para:
 - ◇ Fijar y sellar el filtro dentro de la coraza del muestreador.
 - ◇ Permitir el adecuado cambio del filtro.
 - ◇ Evitar fugas que puedan producir errores en la medición del aire filtrado.
 - ◇ Permitir el ajuste manual del flujo para compensar las variaciones en la caída de presión del filtro por fallas en la línea de voltaje y la altitud del sitio. Dicho ajuste puede efectuarse mediante un controlador de flujo manual o automático. Cualquier dispositivo de ajuste manual deberá estar diseñado de tal manera que evite cambios accidentales de las características operacionales.
 - ◇ El mínimo de la velocidad de flujo en un filtro colmatado es de $1.1 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - ◇ El máximo de la velocidad de flujo en un filtro limpio es de $1.7 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - ◇ El motor de succión debe ser capaz de funcionar por 24 horas continuas.
- La coraza del muestreador. La coraza del muestreador deberá contar con los siguientes requisitos:
 - ◇ Mantener el filtro en una posición horizontal por lo menos un metro por arriba de la superficie de apoyo del muestreador, de modo que la muestra de aire sea drenada a través del filtro y hacia abajo.
 - ◇ Debe ser rectangular con una cubierta como la que se muestra La Figura 1
 - ◇ Cubrir y proteger adecuadamente el filtro y al muestreador de la lluvia y otros elementos del clima.
 - ◇ Desalojar el aire filtrado por lo menos a una distancia de 40 cm de la entrada al ducto.

- ◇ Estar diseñado de modo que minimice la recolección de polvo de la superficie del apoyo, adaptando una protección entre el ducto de salida del aire y la superficie de apoyo.
 - ◇ La cubierta del muestreador debe exceder la careta según se muestra la Figura 1 y estar montada de modo que se forme un conducto para la entrada del aire entre la cubierta y las paredes de la careta.
 - ◇ Este ducto de entrada debe ser uniforme en todos sus lados y con suficiente área para permitir una captura efectiva de partículas, a una velocidad del aire entre 20 y 35 centímetros por segundo o sea la velocidad de flujo recomendada.
 - ◇ La velocidad de captura corresponde a la velocidad de flujo de la muestra de aire dividida entre el área del ducto de entrada, medida en un plano horizontal en el borde inferior de la cubierta.
 - ◇ Se debe seleccionar un área del ducto y una velocidad de flujo operacional que permita una velocidad del aire de captura de 25 ± 2 cm/s.
- Dispositivo para la medición de flujo
 - ◇ El muestreador debe disponer de un medidor de flujo capaz de indicar su velocidad de flujo total. Dos tipos comunes de indicadores de flujo incluidos en el procedimiento de calibración son: 1) el flujómetro másico electrónico. 2) un orificio u orificios, colocados en el trayecto de la corriente del aire junto con un medidor de presión (Figura 2).
 - ◇ El medidor de flujo puede ser calibrado y leído en las unidades de velocidad de flujo con una aproximación de $0.02 \text{ m}^3\text{ptn}/\text{min}$, dentro de un rango de 1.0 a $1.8 \text{ m}^3\text{ptn}/\text{min}$.
 - Termómetro. Instrumento para indicar la temperatura aproximada del aire en el orificio de medición de la velocidad de flujo, cuando se requiera hacer correcciones por temperatura. Con un rango de -40 a 50 °C y una resolución de 2 °C.
 - Barómetro. Instrumento para indicar la presión barométrica en el orificio de medición de la velocidad de flujo, cuando se requiera hacer correcciones por presión. Con un rango de 66 a 106 kPa (500 a 800 mm de Hg), con una resolución de ± 0.6 kPa (5 mm de Hg).
 - Dispositivo de control de tiempo. Este debe ser capaz de iniciar y detener el muestreo, con el fin de obtener un tiempo de operación de 24 ± 1 h ($1,440 \pm 60$ min) y una confiabilidad de ± 15 min.
 - Patrón de transferencia de velocidad de flujo calibrado con un patrón primario.
 - ◇ Dispositivo que debe tener un rango de velocidad de flujo aproximado de 1.0 a $1.8 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - ◇ Una resolución de $0.02 \text{ m}^3/\text{min}$.

- ◇ Reproducibilidad de $\pm 2 \%$ sobre los rangos normales de temperatura y presión ambiente, para el rango de la velocidad de flujo establecido.
- ◇ La máxima caída de presión a $1.7 \text{ m}^3/\text{min}$ será de 5 kPa (50 cm de agua).
- ◇ El patrón de transferencia de la velocidad de flujo, debe conectarse sin fugas al ducto de entrada del muestreador y medir la velocidad de flujo de la muestra total de aire ambiente.
- ◇ El patrón de transferencia de la velocidad de flujo, debe incluir los mecanismos para variar la velocidad de flujo del muestreador dentro de los rangos de 1.0 a $1.8 \text{ m}^3/\text{min}$, mediante la introducción de diferentes niveles de resistencia del flujo, entre el muestreador y el ducto del patrón de transferencia.
- ◇ El tipo convencional de un patrón de transferencia de velocidad de flujo, consiste de lo siguiente: una unidad de orificio con adaptador que se acople a la entrada del muestreador; un manómetro u otro dispositivo que mida la caída de presión en el orificio; un dispositivo que permita variar los flujos a través de la unidad de muestreo; un termómetro para medir la temperatura ambiente; y un barómetro para medir la presión ambiente (Figura 2).

Figura 1. Equipo para El Muestreo de Partículas Suspendidas



8. MANTENIMIENTO

- a. Frecuencia de mantenimiento: está determinada por cada una de las tareas a realizar.
- b. Partes del equipo susceptibles:
 - Colector para muestras de aire
 - ◇ Placa frontal
 - ◇ Bastidor
 - ◇ Perno
 - ◇ Anillo d retención
 - ◇ Arandelas
 - ◇ Placa de montaje de la fijación
 - ◇ Motor
 - ◇ Escobillas
 - ◇ Anillos
 - ◇ Condensador y abrazadera
 - ◇ Tambor
 - ◇ Placa de fondo
 - ◇ Válvula
 - ◇ Cordón de tres alambres
 - ◇ Chapa posterior
 - ◇ Rotámetro
 - ◇ Tubería
 - Caseta de aluminio
 - ◇ Soporte del filtro
 - ◇ Colector de las muestras
 - ◇ Medidor del tiempo de funcionamiento
 - ◇ Regulador de flujo (facultativo)
 - ◇ Registrador de flujo
 - ◇ Termómetro
 - ◇ Barómetro
- c. Pasos del mantenimiento
 - Inspección visual: Revisión visual del estado del equipo y sus partes, lo cual indica si están operando normalmente o si existe alguna alteración en su funcionamiento.
 - ◇ Caseta:
 - ◇ Medidor de tiempo
 - ◇ Programador
 - ◇ Soporte de filtro
 - ◇ Colector de muestras
 - ◇ Regulador de flujo

- ◇ Registrador de flujo
- d. Limpieza: Hacer un aseo previo de los muestreadores y sus instalaciones.
- e. Control:
 - Verificación del funcionamiento adecuado del equipo y sus partes:
 - ◇ Coraza. Verificar que: Mantenga el filtro en una posición horizontal por lo menos un metro por arriba de la superficie de apoyo del muestreador, de modo que la muestra de aire sea drenada a través del filtro y hacia abajo. Debe ser rectangular con una cubierta como la que se muestra la Figura 1. Además de que cubra y proteja adecuadamente el filtro y al muestreador de la lluvia y otros elementos del clima.
 - ◇ Muestreador. Verificar que: Fije y selle el filtro dentro de la coraza del muestreador, evite fugas que puedan producir errores en la medición del aire filtrado y mantenga las siguientes velocidades:
 - Velocidad mínima de flujo del filtro colmatado es de $1.1 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - Velocidad máxima de flujo del filtro limpio es de $1.7 \text{ m}^3/\text{min}$.
 - Observación de datos arrojados por el equipo:
 - ◇ Caudal de flujo.
 - ◇ Caída de presión.
 - ◇ Voltaje.
- f. Cambio y mantenimiento:
 - Lubricación de motor
 - Cambio de escobillas
 - Cambio de motor
 - Cambio de manómetros
 - Limpieza de manómetros
 - Cambio de orificios críticos
- g. Test posterior de funcionamiento. Se prueba que los equipos cumplan con las condiciones de funcionamiento específicas, verificando el ajuste de piezas cambiadas, junto con los parámetros de caudal de flujo, caída de presión y voltaje; y que estas no sufran variaciones después del mantenimiento.

9. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Los procedimientos para la calibración del muestreador de alto volumen son:

- a. Calibración en laboratorio. La calibración del equipo muestreador en el laboratorio, se realiza con base en un patrón de transferencia de velocidad de flujo a la entrada del medidor del volumen patrón y utiliza una bomba de aire de

alto volumen, en la cual se detecta cualquier cambio en las lecturas del medidor del volumen patrón, para llevar a cabo la corrección por filtración o por fuga de aire.

- b. Calibración en campo. Los muestreadores equipados con un dispositivo de control de flujo, deben eliminar temporalmente el controlador para permitir los cambios de flujo durante la calibración del indicador de flujo. Los muestreadores con indicador de flujo tipo orificio, no deben alterar la velocidad de flujo por ajuste del voltaje o energía que se suministra al muestreador.
- c. Calibración de muestreadores con flujo controlado. Un muestreador de flujo controlado no debe ser calibrado si sus antecedentes demuestran que la velocidad de flujo es estable y confiable. En este caso el indicador de flujo se mantiene descalibrado, pero debe utilizarse para indicar cualquier cambio relativo entre el flujo inicial y final, el muestreador debe recalibrarse más a menudo para reducir pérdidas potenciales de muestras debido a fallas del controlador.
- Calibración de los indicadores de flujo o dispositivos de control de los muestreadores de alto volumen. Es necesario para establecer la tendencia de medición en el campo de un patrón primario mediante un patrón de transferencia. En la Figura 2a. ilustra el certificado del patrón de transferencia, el Figura 2b. ilustra su uso en la calibración de un indicador de flujo del muestreador.
- Certificación del patrón de transferencia para la velocidad de flujo:
 - ◇ Componentes y características del equipo necesario. Los principales componentes del equipo de calibración a que se refiere el punto anterior, se muestran en la Figura 3 y deben reunir las siguientes características:
 - Medidor de volumen patrón de desplazamiento positivo: El dispositivo que permite por comparación establecer el volumen desplazado por un fluido, hasta ocupar el mismo espacio y que sirve de base para calibrar los patrones de transferencia.
 - Cronómetro: El instrumento para medir el tiempo en términos de minutos, segundos, décimas y centésimas de segundo.
 - Barómetro: El instrumento para medir la presión barométrica ± 1 mm Hg.
 - Termómetro: El instrumento para medir la temperatura $\pm 1^{\circ}\text{C}$.
 - Manómetro: El instrumento para medir la caída de presión.
 - ◇ Conectar:
 - El patrón de transferencia de velocidad de flujo a la entrada del medidor del volumen patrón.
 - El manómetro para medir la presión a la entrada del medidor del volumen patrón.

- El orificio del manómetro a la tapa en el patrón de transferencia.
 - Una bomba de aire de alto volumen en el puerto de salida del medidor del volumen patrón, como se muestra en la Figura 2a.
- ◇ Verificar que no haya fugas, apretando con pinzas temporalmente ambas líneas del manómetro (para evitar pérdidas de fluido) y bloqueando el orificio con una tapa de hule de diámetro grande, con una cinta ancha de celofán o por otro medio disponible. Poner a funcionar la bomba de aire de alto volumen y observar cualquier cambio en las lecturas del medidor del volumen patrón. Las lecturas deben permanecer constantes, si la lectura se altera, detectar cualquier fuga mediante el silbido del aire y/o volver a apretar todas las conexiones, asegurándose de que todas las uniones estén adecuadamente instaladas.
- ◇ Después de corregir satisfactoriamente cualquier fuga se regula la velocidad de flujo apropiado, por medio de una resistencia de flujo variable en el patrón de transferencia o cambiando el voltaje a la bomba de aire. No se recomienda el uso de placas de resistencia, según se muestra en la Figura 4, porque la revisión de flujo debe repetirse cada vez que se instala una nueva placa de resistencia. Se requiere por lo menos de cinco velocidades de flujo diferentes, pero constantes, distribuidos de manera uniforme, de los cuales por lo menos tres deben caer dentro del rango especificado para la velocidad de flujo (1.1 a $1.7 \text{ m}^3/\text{min}$).
- ◇ Medir y registrar los datos de calibración en una forma similar a la que se ilustra en el Cuadro 3 según los siguientes pasos:
- Medir la presión barométrica y registrarla como P_1 en (8) del Cuadro 3.
 - Medir la temperatura ambiente junto al medidor del volumen patrón y registrarla como T_1 en (9) del Cuadro 3.
 - Hacer funcionar el motor de la bomba, ajustar el flujo y dejar que el sistema funcione por lo menos durante un minuto hasta alcanzar una velocidad constante.
 - Vigilar la lectura del medidor de volumen patrón y simultáneamente activar el cronómetro. Registrar la lectura inicial del medidor (V_1) en la columna 1 del Cuadro 3.
 - Mantener la velocidad de flujo constante hasta que hayan pasado por lo menos 3 metros cúbicos (m^3) de aire, a través del medidor del volumen patrón. Registrar la lectura de la presión en la entrada del manómetro del medidor del volumen patrón como ΔP (columna 5 Cuadro 3 y la lectura del manómetro del orificio como ΔH (columna 7 del Cuadro 3). Tener cuidado de indicar correctamente las unidades de medición.
 - Observar la lectura del medidor del volumen patrón deteniendo simultáneamente el cronómetro, después de que hayan pasado por lo menos 3 m^3 de aire a través del sistema. Registrar la lectura final del

medidor (V_2) en la columna 2 del Cuadro 3 y el tiempo transcurrido (t) en la columna 3 del Cuadro 3.

- Calcular el volumen medido por el medidor del volumen patrón a las condiciones de temperatura y presión del medidor como $V_m = V_2 - V_1$. Hacer el registro correspondiente en la columna 4 del Cuadro 3.
- Corregir el volumen a un volumen patrón o de referencia de la siguiente manera:

$$V_{ptn} = V_m * \frac{P_1 - \Delta P}{P_{ptn}} * \frac{T_{ptn}}{T_1} \quad (1)$$

- Calcular la velocidad de flujo patrón (m^3ptn/min) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q_{ptn} = \frac{V_{ptn}}{t} \quad (2)$$

- Registrar Q_{ptn} al 0.01 m^3ptn/min más próximo, en la columna 6 del Cuadro 3.
- ◇ Repetir los cinco pasos anteriores por lo menos con cuatro velocidades de flujo diferentes, espaciados uniformemente dentro de un rango aproximado de 1.0 a 1.8 m^3ptn/min .
- ◇ Después de determinar la velocidad de flujo volumétrico patrón (Q_{ptn}), cada volumen de flujo se calcula con la siguiente fórmula:(columna 7a del Cuadro 3.)

$$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{P_{ptn}} \right) \left(\frac{T_{ptn}}{T_1} \right)} \quad (3)$$

Graficar este valor contra su velocidad de flujo patrón asociado (Q_{ptn}), según se muestra en la Figura 2a. Estos puntos de la gráfica dan como resultado una curva de calibración del patrón de transferencia, que se determina al trazar la línea que más se ajusta a los puntos graficados o al calcular la pendiente (m) y la intersección, (b) para lo cual se debe utilizar el método de regresión lineal por mínimos cuadrados conforme a la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_1}{P_{ptn}} \right) \left(\frac{T_{ptn}}{T_1} \right)} = m(Q_{ptn}) + b \quad (4)$$

La curva debe ser legible hasta $0.02 \text{ m}^3\text{ptn/min}$, ver Figura 2 y Figura 5.

- ◇ Recalibrar anualmente el patrón de transferencia o según se requiera conforme a los procedimientos de control de calidad aplicables.

Cuadro 1. Símbolos

SÍMBOLO	CONCEPTO
Gf	Peso final del filtro expuesto en g.
Gi	Peso inicial del filtro limpio en g.
DH	Lectura del manómetro del orificio.
P _{ptn}	Presión patrón 101 kPa ó 760 mm Hg.
P ₁	Presión barométrica durante la calibración en kPa o mm Hg.
P ₃	Presión barométrica promedio durante el período de muestreo en kPa o mm Hg.
PST	Concentración de la masa de partículas suspendidas totales en (mg).
(PST) _a	Concentración actual en condiciones de campo en microgramos por metro cúbico (mg/m ³).
DP	Caída de presión a la entrada del medidor de volumen en kPa o mm Hg.
Q _{pt}	Velocidad de flujo volumétrico patrón en m ³ ptn/min.
T	Tiempo transcurrido en min.
T _{ptn}	Temperatura patrón 298 K (25°C).
T ₁	Temperatura ambiente durante la calibración en K.
T ₃	Temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo en K.
V	Volumen de aire muestreado, convertido a condiciones patrón o de referencia en m ³ ptn.
V _m	Volumen real medido por el medidor de volumen patrón en m ³ .
V _{ptn}	Volumen patrón en m ³ ptn.
V ₁	Lectura inicial del medidor.
V ₂	Lectura final del medidor.
10 ⁶	Conversión de g a mg.

- Procedimiento de calibración del indicador de flujo del muestreador de alto volumen en campo
 - ◇ Conectar: El patrón de transferencia a la entrada del muestreador y el manómetro del patrón de transferencia a la tapa de presión del orificio, según se muestra en la Figura 2b y asegurarse de que no haya fugas entre la unidad de orificio y el muestreador.
 - ◇ Poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min para establecer equilibrio térmico antes de la calibración.
 - ◇ Medir y registrar la temperatura ambiental (T₂) y la presión barométrica (P₂) durante la calibración.

- ◇ Ajustar la resistencia variable o en su caso insertar la placa de resistencia correspondiente, ver la Figura 4, para lograr la velocidad de flujo deseada.
- ◇ Dejar al muestreador funcionar por lo menos durante 2 min para restablecer las condiciones de temperatura de funcionamiento. Ver y registrar la caída de presión a través del orificio (ΔH) y la indicación (I) de la velocidad de flujo del muestreador en las columnas correspondientes de la Figura 6.
- ◇ Calcular

$$\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{P_{ptn}} \right) \left(\frac{T_{ptn}}{T_2} \right)} \quad (5)$$

y determinar la velocidad de flujo a condiciones patrón (Q_{ptn}) ya sea gráficamente a partir de una curva de calibración o calculando Q_{ptn} a partir de la pendiente y la intersección de la curva de calibración sobrepuesta al patrón de transferencia:

$$Q_{ptn} = \frac{1}{m} \sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{P_{ptn}} \right) \left(\frac{T_{ptn}}{T_2} \right)} - b \quad (6)$$

Registrar el valor de Q_{ptn} el Cuadro 3

- ◇ Repetir los tres pasos anteriores para varias velocidades de flujo diferentes, distribuidas dentro de un rango de 1.1 a 1.7 m³ptn/min.
- ◇ Trazar la curva de calibración graficando los volúmenes calculados con la ecuación más apropiada de las mostradas en el cuadro 5, tomando los valores de la columna 1 del Cuadro 3 contra Q_{ptn} . La elección de las fórmulas del cuadro 5 está en función del tipo de dispositivo de medición de la velocidad de flujo y también de que la curva de calibración incluya los promedios geométricos de presión barométrica (P_a) y temperaturas ambientales promedio (T_a). En donde P_a y T_a pueden ser calculadas para un sitio durante un período estacional, de modo que los cambios en temperatura y presión barométrica locales no varíen más de ± 8 kPa (60 mm Hg) en la P_a , ó $\pm 15^\circ\text{C}$, en relación a T_a respectivamente, entonces la utilización de P_a y T_a evita la necesidad de calcular posteriormente estas dos variables. El promedio geográfico de la presión barométrica (P_a) puede estimarse a partir de una tabla de presión-altitud o haciendo una corrección estimativa de la elevación de -3.46 kPa (-26 mm Hg) por cada 305 metros (m) sobre el nivel del mar (101 kPa ó 760 mm Hg). El promedio de la temperatura estacional (T_a) puede estimarse a partir de los registros de una estación meteorológica.
- ◇ Trazar la curva de calibración del muestreador, o calcular la pendiente (m), la intersección (b) y el coeficiente de correlación (r) de la curva de

calibración por medio del método de regresión lineal por mínimos cuadrados, (ecuaciones del cuadro 1) = $mQ_{ptn} + b$ (la Figura 2 y el Cuadro 3. Las curvas de calibración deben ser legibles hasta $0.02 \text{ m}^3 \text{ptn}/\text{min}$.

- ◇ Restablecer el mecanismo de control y fijarlo a un flujo cercano al mínimo para permitir un mejor control, en un muestreador equipado con un controlador de flujo. La velocidad de flujo de la muestra debe ser verificada en esta etapa con un filtro nuevo. Añadir dos o más filtros para examinar si el controlador mantiene un flujo constante; esto es de particular importancia a elevadas altitudes en donde puede reducirse el rango de eficiencia del controlador de flujo.
- Procedimiento alternativo de calibración de muestreador con flujo controlado El flujo controlado de un muestreador no debe ser calibrado, sólo si su tasa de flujo demuestra que es estable y confiable. En este caso el controlador de flujo puede estar sin calibración, pero puede ser usado para indicar cualquier cambio entre el flujo final e inicial, y el muestreador puede ser recalibrado más seguido para minimizar la pérdida potencial de muestra por el mal funcionamiento del controlador.
 - ◇ Poner el controlador a una velocidad de flujo cercano al límite inferior del rango de flujo, para permitir su máximo control.
 - ◇ Colocar un filtro nuevo en el muestreador y llevar a cabo los pasos 1, 2, 3, 4, 5, 6.
 - ◇ Después de la calibración, añadir uno o dos filtros nuevos adicionales al muestreador, reconectar el patrón de transferencia y operar el muestreador para verificar que el controlador mantenga la misma velocidad de flujo calibrada; esto es de particular importancia a elevadas altitudes en donde se restringe el rango del control de la velocidad de flujo.

Figura 2. Patrón de Transferencia de Flujo

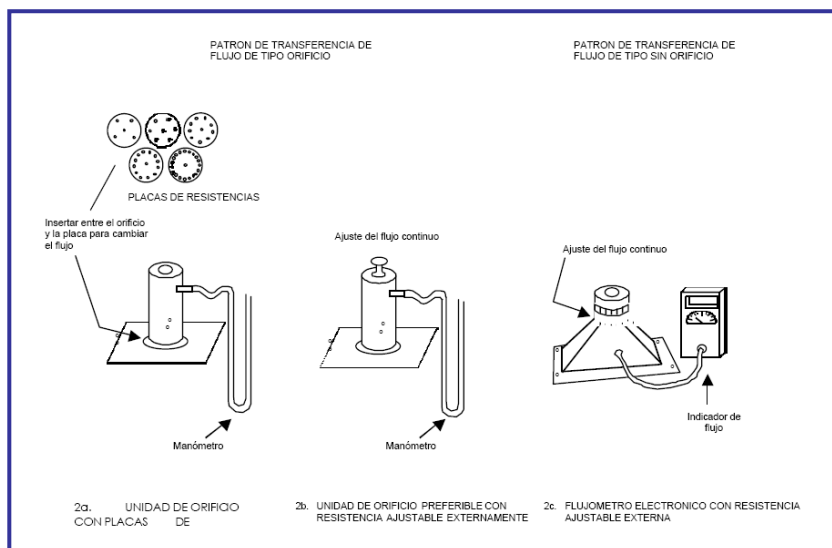
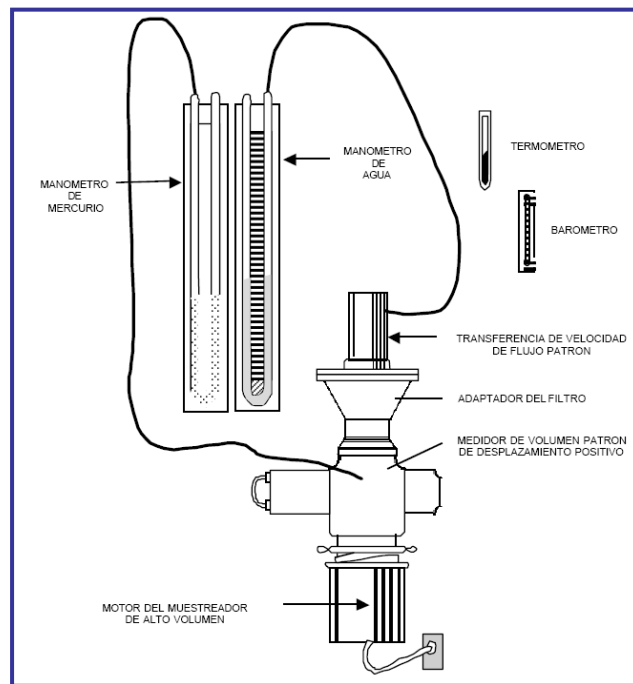


Figura 3. Principales Componentes del Equipo de Calibración



▪ **Cálculos de cuadrados mínimos**

Para la ecuación ($y = mx + b$) por regresión lineal suponiendo que:

$$y = \sqrt{\Delta H (P_1 / P_{ptn}) (298/T_1)}; \quad y$$

$X = Q_{ptn}$ para la unidad de calibración de orificio se tiene:

$$\sqrt{\Delta H (P_1 / P_{ptn}) (298/T_1)} = m * Q_{ptn} + b$$

Pendiente	(m)	= _____
Intersección	(b)	= _____
Coeficiente de correlación	(r)	= _____

ECUACIONES

$$(1) \quad V_m = V_f - V_i$$

$$(2) \quad V_{ptn} = V_m \frac{(P_1 - \Delta P)}{P_{pnt}} \frac{(T_{pnt})}{T_1}$$

$$(3) \quad Q_{\text{pnt}} = \frac{V_{\text{pnt}}}{t}$$

Para usarse en posteriores calibraciones

$$x = \frac{1}{m} (y - b)$$

$$Q_{\text{ptn}} = \frac{1}{m} \left(\sqrt{\Delta H \left(\frac{P_2}{P_{\text{ptn}}} \right) \left(\frac{298}{T_2} \right)} - b \right)$$

10. TOMA DE MUESTRAS

a. Acondicionamiento ambiental del filtro.

- Revisión visual del filtro:
 - ◇ Unidad luminosa de inspección. La fuente de luz debe ser similar a la de un visor de películas de rayos X para la inspección de los filtros, con el fin de comprobar que no estén agujereados o sucios, que contengan partículas extrañas u otros defectos.
 - ◇ Deben descartarse los filtros con imperfecciones visibles; los que presenten suciedades o partículas extrañas deben limpiarse con un pincel pequeño.
- Colocación de la numeración consecutiva
 - ◇ Numerar cada filtro en dos orillas opuestas de la cara que no va a ser expuesta, si no está numerado previamente por el fabricante, utilizando un marcador o sello húmedo sin doblar o plegar el filtro. Durante este proceso se requiere que la persona encargada de esta labor use guantes de látex o material similar, para que las grasas o partículas extrañas no queden impregnadas en el filtro. Identificar y consignar el filtro en el formato.
 - ◇ Se debe disponer de un foliador para numerar los filtros antes de que se coloquen en la cámara de acondicionamiento ambiental, en caso de no estar numeradas por el fabricante.
- Prepesada del filtro. El filtro al ser fabricado en fibra de vidrio no es higroscópico (no absorbe humedad del ambiente) por lo tanto no se requiere que en este proceso de pesada inicial sea introducido en un horno con control de temperatura. Se requiere el uso de guantes para este manejo por parte de los asistentes del laboratorio.
 - ◇ Colocar el filtro en un desecador con sal sílica como agente secante o retenedor de humedad. Si la sílica no tiene indicador, debe ser secada periódicamente (cada semana) en un horno a 103 °C.

- ◇ Pasadas 24 horas se pesa el filtro, registrar el valor obtenida en el formato con una aproximación a la décima de miligramo (0.1mg).
- ◇ Colocar otra vez dentro del desecador y pasada una hora volver a pesar, consignándola en el formato.
- ◇ Calcular la diferencia entre los dos pesos que no debe superar el 1.5 por mil de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 1000$$

Donde:

E : Error relativo de una serie de valores obtenidos por una misma persona (repetitividad), no debe ser mayor de 1.5.

P₁ : El mayor valor obtenido entre las dos pesadas sucesivas.

P₂ : El menor valor obtenido entre las dos pesadas sucesivas.

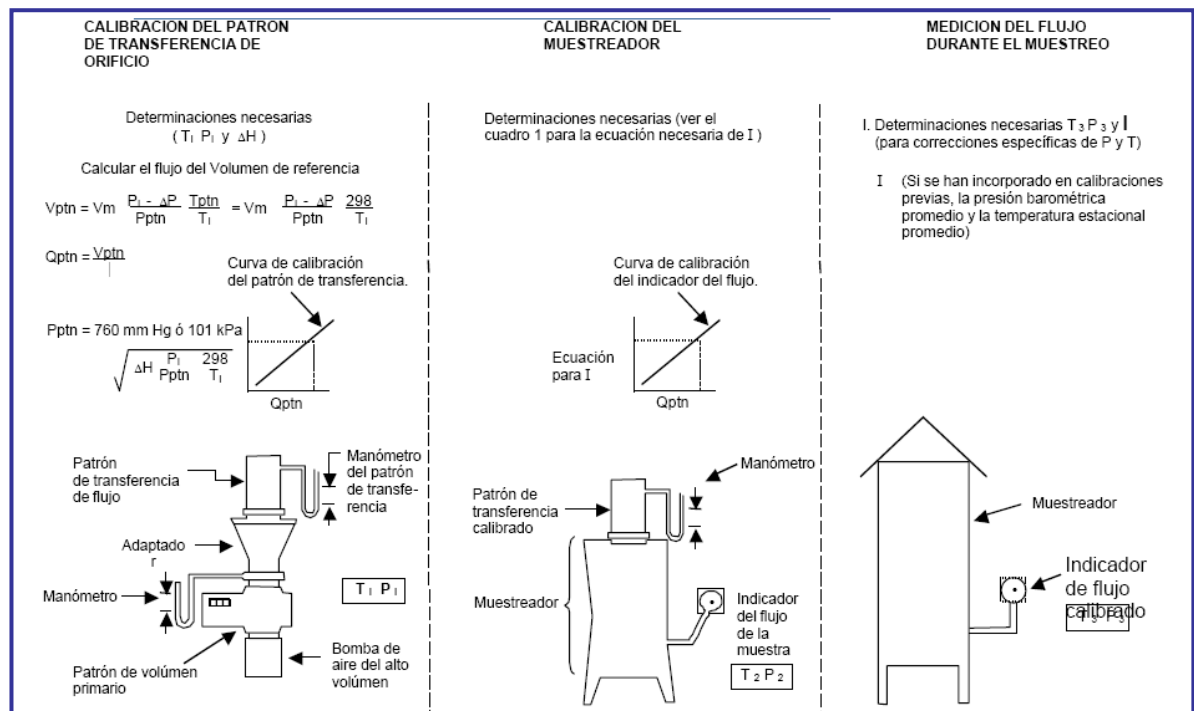
NOTA: si el valor de E es > 1.5 se coloca el filtro nuevamente en el desecador y pasada una hora se pesa por tercera vez y se realiza otra vez el cálculo entre las dos últimas pesadas. El peso que se toma para el cálculo de la concentración es el menor que se obtenga en las prepesadas que se realicen.

- ◇ El formato debe ser archivado para verificar la información entregando copia al analista.
 - ◇ La temperatura controlada debe ser entre 15 y 30°C con un máximo de ± 3°C de variación durante el período de equilibrio.
 - ◇ La humedad debe controlarse en un nivel menor del 50% de humedad relativa constante dentro de ± 5%.
 - ◇ Balanza analítica. La sensibilidad de la balanza analítica debe ser de 0.01 mg. La cámara de pesado debe estar diseñada para que pueda ser introducido un filtro sin doblar.
- Instalación del filtro en el monitor. Después de tener los pesos iniciales de los filtros, estos serán almacenados en sus respectivas cajas donde vienen embalados.
 - ◇ Colocar el filtro en los portafiltros asignados a cada muestreador.
 - ◇ Durante el proceso utilizar guantes de látex.
 - ◇ No doblar o maltratar el filtro antes de coleccionar la muestra.
 - ◇ Levantar la cubierta e instalar el filtro preparado y numerado en el muestreador siguiendo las especificaciones del fabricante. Cuando las condiciones climáticas sean adversas, deben tomarse precauciones adicionales al cambiar los filtros para evitar dañar los limpios y la pérdida de

muestra del filtro cargado. Los envases de filtros pueden minimizar estos problemas.

- ◇ Cerrar la tapa y poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min, a fin de lograr la temperatura de operación.

Figura g. Ilustración de los 3 pasos en el proceso de la medición del flujo



b. Procedimiento de muestreo del método de referencia. Pasos a seguir:

- Registrar la lectura del indicador de flujo y en caso necesario, la presión barométrica (P_3) y la temperatura ambiente (T_3). Detener el muestreador y determinar la velocidad de flujo del muestreador; si está fuera del rango aceptable (1.1 a $1.7 \text{ m}^3/\text{min}$) utilizar otro filtro o ajustar la velocidad de flujo del muestreador. Ajustes sustanciales pueden afectar la calibración.
- Registrar la información que identifique el muestreador (número de filtro, sitio, fecha del muestreo y hora de inicio).
- Poner el dispositivo de control de tiempo para activar y detener el muestreador, de modo que funcione 24 horas, tomando como base la media noche.
- Poner a funcionar el muestreador por lo menos durante 5 min, para establecer nuevamente la temperatura de operación, tan pronto como sea posible después del período de muestreo y sin retirar la muestra.

- Registrar la lectura del indicador de flujo y en caso necesario, la presión barométrica (P_3) y la temperatura ambiental (T_3).
- Detener el muestreador y quitar cuidadosamente el filtro. Tocar únicamente los bordes del filtro. Retiro de filtros:
 - ◊ Revisar con ayuda de una fuente de luz el filtro, para determinar que no sufrió ningún daño durante el muestreo.
 - ◊ Si el filtro presenta partículas extrañas tales como patas de insecto, residuos vegetales u otros, estos se deben retirar con ayuda de pinzas.
 - ◊ Doblar el filtro a lo largo, de modo que solamente se toquen entre sí las superficies con partículas colectadas y colocarlo dentro de un sobre de papel manila.
 - ◊ Guardarlo dentro del sobre donde se identificará el filtro (ver formato de identificación de filtros)
- Anotar la hora de término y el tiempo transcurrido en la hoja de registro del filtro. El período de muestreo debe ser de $1,440 \pm 60$ min para que la muestra sea válida.
- Anotar en la hoja de registro del filtro todos los factores de interés, como las condiciones meteorológicas, actividades de construcción, tormentas de arena, entre otras, que pudieran afectar la medición. En caso de que la muestra sea defectuosa desecharla.
- Post pesada del filtro (peso de recibo):
 - ◊ Introducir el filtro en un horno de laboratorio con control de temperatura a 103 ± 2 °C (este procedimiento se aplica debido a que el material que recolecta el filtro puede ser higroscópico y se requiere eliminar esta humedad la cual es considerada como una interferencia).
 - ◊ · Pasada una hora se retira el filtro del horno e inmediatamente se coloca dentro del desecador durante 24 horas, para que durante su enfriamiento no absorba humedad del ambiente y alcance el equilibrio a condiciones ambientales.
 - ◊ · Inmediatamente después del acondicionamiento, pese el filtro llevando la fracción al miligramo más cercano y registrar el peso neto del filtro junto con el número del filtro.
 - ◊ · Teniendo el valor de esta pesada se realiza el mismo cálculo de la prepesada del filtro, hasta obtener un $E < 1.5$ por mil. El peso que se reporta para el cálculo de la concentración es el menor que se obtenga.

11. ANÁLISIS DE LA MUESTRA

- a. El cálculo de la concentración de partículas suspendidas totales, se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Determinar el promedio de la velocidad de flujo del muestreador durante el período de muestreo, por cualquiera de las siguientes formas:
 - ◊ Para un muestreador sin registrador de flujo continuo, determinar la ecuación que corresponda al cuadro 3 del Cuadro 5 y registrar el resultado en el Cuadro 5b Utilizando la ecuación apropiada, determinar (Qptn) para la velocidad de flujo inicial, a partir de la curva de calibración del muestreador, ya sea gráficamente o bien a partir de la ecuación de la regresión sobrepuesta:

$$(Q_{ptn}) = 1/m \text{ ([ecuación que corresponde del cuadro 5])} - b$$

- De manera similar, determinar (Qptn) a partir de la lectura del flujo final y calcular el promedio de flujo (Qptn) como la mitad de la suma de las velocidades de flujo inicial y final.
- Determinar la velocidad de flujo para el período de muestreo promedio (lectura 1), con un muestreador con registro continuo.
- Utilizar la ecuación apropiada del cuadro 5b que corresponda a la utilizada en el cuadro 5a para determinar la curva de calibración.
- Utilizando la ecuación y la lectura del promedio de la velocidad de flujo, determinar (Qptn) a partir de la curva de calibración del muestreador o sobreponiendo la regresión lineal siguiente:

$$(Q_{ptn}) = 1/m \text{ [(ecuación apropiada del cuadro 5b) - b]}$$

- Si la línea del trazo muestra variaciones considerables del flujo durante el período de muestreo, puede lograrse mayor precisión dividiendo el período de muestreo en rangos y calculando una lectura promedio antes de determinar el (Qptn).

- Calcular el volumen total del aire muestreado con la siguiente ecuación:

$$V = Q_{ptn} \times t \quad (7)$$

- Calcular y reportar la concentración de partículas con la siguiente ecuación:

$$PST = \frac{(G_f - G_i) \times 10^6}{V} \quad (8)$$

- Si se desea la concentración actual de PST se puede calcular de la siguiente manera:

$$(PST)_a = PST \frac{P_3}{P_{ptn}} \frac{T_{ptn}}{T_3} \quad (9)$$

b. Si se desea el cálculo de la tasa de muestreo se puede realizar de la siguiente manera:

a. Promedie la lectura inicial de (P_i) y la final (P_f) y con este promedio halle el valor de la tasa de muestreo (Q) en metros cúbicos por minutos (m^3/min) interpolando en la curva de calibración del equipo aplicando la siguiente formula:

$$Q = \frac{\frac{P_i + P_f + a}{2}}{b}$$

b. calculo del volumen de aire muestreado:

$$V = Q * T$$

c. Concentración de la masa de partículas en suspensión:

$$C = \frac{(W_i - W_f) * 10^6}{V}$$

Donde:

- Q : Tasa de muestreo ($m^3/min.$)
- V : Volumen muestreado (m^3)
- P_i : Lectura inicial del medidor de flujo.
- P_f : Lectura final del medidor de flujo.
- a : Intercepto del eje Y.
- b : Pendiente.
- C : Concentración de la masa de partículas en $\mu g / m^3$
- W_i : Peso inicial del filtro (prepesada) limpio en gr con aprox. a 0.1mg.
- W_f : Peso final del filtro.(post pesada) en gr con aprox. a 0.1 mg
- 10^6 : Factor de conversión de gramos a microgramos.

c. Para un muestreador sin controlador de flujo el caudal Q se calcula como el promedio entre el caudal inicial y final, los cuales se obtienen a partir de la carta que registra estos flujos.

$$Q_{std} = \frac{Q_i + Q_f}{2} \times \frac{P_{std}}{P} \times \frac{T}{T_{std}}$$

Donde:

Q_i : Caudal inicial en m^3/min

Q_f : Caudal final en m³/min
 P_{std} : Presión barométrica de referencia 1 atmósfera.
 T_{std} : Temperatura de referencia 298.15 K.
 P : Presión barométrica del sitio.
 T : Temperatura ambiental del sitio promedio K.

Para un muestreador con controlador de flujo el valor de Q_{std} es el valor del caudal para el cual se calibro dicho equipo y que va a ser constante, independiente de cualquier cambio climático.

12. REPORTES

- La medición se hace en períodos de 24 horas con una frecuencia de una cada seis días o de una cada tres días, mediante el uso de procesos manuales.
- Para reportar los valores al público, se calculan las concentraciones en mg/m³ del período de muestreo.

Cuadro 2. Hoja de Trabajo para Calibración del Muestreador de Aire de Alto Volumen

$P_{ptn} = 760 \text{ mm de Hg (101 kPa)}$ Opcional: Presión barométrica promedio: $P_a = \underline{\hspace{2cm}}$ Temperatura estacional promedio: $T_a = \underline{\hspace{2cm}}$					PARA CORRECCIONES ESPECÍFICAS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA (ver cuadro 3)	PARA INCORPORACIÓN DE PRESIÓN PROMEDIO Y TEMPERATURA ESTACIONAL PROMEDIO (ver cuadro 3)
No.	ΔH Caída de presión en el orificio (pulg o cm)	$\sqrt{H \left(\frac{P_2}{P_{ptn}} \right) \left(\frac{T_{ptn}}{P_2} \right)}$	Q_{ptn} (de la certificación del orificio) m ³ ptn/min	I Velocidad de flujo	$\frac{I}{\sqrt{\frac{P_2}{P_{ptn}} \frac{T_{ptn}}{P_2}}}$ O $\frac{I}{\sqrt{\frac{P_2}{P_{ptn}} \frac{T_{ptn}}{P_2}}}$	$\frac{I}{\sqrt{\frac{P_2}{P_a} \frac{T_a}{T_2}}}$ O $\frac{I}{\sqrt{\frac{P_2}{P_a} \frac{T_a}{T_2}}}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

FUENTE: Norma Mexicana NOM-035-ECOL-1993 del Instituto Nacional de Ecología (INE)

Cuadro 3. Formato para la certificación del patrón de transferencia de orificio.

Fecha: _____
 Calibración efectuada por : _____

DATOS DE CALIBRACION
 Medida de volumen patrón No. _____
 Tipo de Patrón de Transferencia: _____ orificio _____ otros
 Modelo No. _____ No. de serie _____
 (8) P1 : _____ (10) Pptn : 760 mm de Hg (101 kPa)
 (9) T1 : _____ (11) Tptn : 298 K

Prueba No	1	2	3	4	5	6	7	7a
	LECTURA INICIAL DEL MEDIDOR Vi (m³)	LECTURA FINAL DEL MEDIDOR Vf (m³)	TIEMPO DE MUESTREO T (min)	VOLUMEN MEDIDO Vm (m³)	PRESIÓN DIFERENCIAL A LA ENTRADA DEL MEDIDOR DEL VOLUMEN P (mm de Hg o Pa)	VELOCIDAD DE FLUJO Q _{ptn} m³ PTN/min	CAÍDA DE PRESIÓN EN EL ORIFICIO DE AGUA Δ H (plq) o (cm)	(Y) $\sqrt{H \left(\frac{P1}{P_{ptn}} \right) \left(\frac{298}{T1} \right)}$
1								
2								
3								
4								
5								
6								

FUENTE: Norma Mexicana NOM-035-ECOL-1993 del Instituto Nacional de Ecología (INE)

Cuadro 4. Ficha de Toma de Muestras

RMCA	ESTACION				No	EQUIPO			SERIAL	CONTAMINANTE	
FECHA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA	DD/MM/AA
PARAMETRO											
FILTRO SIN USO N.											
ESTADO FILTRO PREVIAMENTE DESECADO											
PESO FILTRO SIN USAR											
ESTADO PORTAFILTROS											
HORA INICIAL											
HORA FINAL											
FILTRO USADO No											
FLUJO INICIAL											
FLUJO FINAL											
VELOCIDAD											
TEMPERATURA											
PRESION											
CONDICIONES METEOROLOGICAS											
INTERFERENCIAS											
PESO FILTRO USADO											
PROMEDIO											

Fuente: Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

Cuadro 5. Cálculos Para Graficar La Curva De Calibración Del Muestreador (a-b)

TIPO DE DISPOSITIVO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE FLUJO DEL MUESTREADOR	ECUACIONES	
	PARA CORRECCIONES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN REALES	Para incorporar la presión atmosférica promedio y temperatura estacional promedio
Flujómetro de masa	I	I
Orificio e Indicador de Presión	$I \sqrt{\frac{P_2}{P_{ptn}} \frac{298}{T_2}}$	$I \sqrt{\frac{P_2}{P_a} \frac{T_a}{T_2}}$
Rotámetro o registrador de presión y orificio con escala de raíz cuadrada *	$I \sqrt{\frac{P_2}{P_{ptn}} \frac{298}{T_2}}$	$I \sqrt{\frac{P_2}{P_a} \frac{T_a}{T_2}}$

TIPO DE DISPOSITIVO PARA MEDIR LA VELOCIDAD DE FLUJO DEL MUESTREADOR	ECUACIONES	
	PARA CORRECCIONES DE TEMPERATURA Y PRESIÓN REALES	Para incorporar la presión atmosférica promedio y temperatura estacional promedio
Flujómetro de masa	I	I
Orificio e Indicador de Presión	$I \sqrt{\frac{P_3}{P_{ptn}} \frac{298}{T_3}}$	\sqrt{I}
Rotámetro o registrador de presión y orificio con escala de raíz cuadrada *	$I \sqrt{\frac{P_3}{P_{ptn}} \frac{298}{T_3}}$	I

* Esta escala se identifica por sus divisiones desiguales y es la más común para los muestreadores de alto volumen.

FUENTE: Norma Mexicana NOM-035-ECOL-1993 del Instituto Nacional de Ecología (INE)

DETERMINACIÓN DE PARTÍCULA MENORES A 10 MICRAS (PM10)

PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE OPERACIÓN EQUIPO HI-VOL

1. Equipos y Materiales

- Equipo Mini Vol:
 - ◊ Bomba THOMAS 607CA32C
 - ◊ Orificio crítico (4 litros/min)
 - ◊ Unidad de impacción Air Diagnostics
- Filtros de teflon, Ø 37 mm TefSep Z99WP03750
- Cajas petri
- Estufa
- Microbalanza analítica
- Flujómetro

2. Preparación del filtro

- Utilizando un numerador continuo, codifique el filtro, teniendo mucho cuidado de que este no se contamine o se rompa. ¡No tocar o manipular directamente los filtros! Se recomienda confeccionar un portafiltros para cada filtro.
- Después de haber permanecido 24 horas en una estufa a 28 – 30 °C, el filtro se pesa y luego se almacena nuevamente durante un mínimo de 24 horas a la temperatura antes indicada, para eliminar la humedad adquirida por efectos del ambiente.
- Se pesa nuevamente el filtro patrón o de referencia. El objetivo es balancear la ganancia o pérdida de humedad ambiental durante el período de muestreo.
- Después de haber llenado la hoja de muestreo correspondiente, se utiliza la caja petri para transportar el filtro debidamente montado en el portafiltros al sitio de muestreo. El filtro patrón se deja en el laboratorio bajo condiciones ambientales.

3. Exposición del filtro

- Se coloca el filtro con su portafiltros en la unidad de impacción, siguiendo la dirección del macho en la parte superior, sobre el soporte (también conocido como PADS de Millipore, tipo AP10).
- El equipo MiniVol debe estar colocado en una superficie plana y estable.
- Se acciona el equipo dejándolo funcionar por 24 horas, anotando el tiempo inicial.

4. Recolección del filtro y análisis

- Se anota el tiempo final de la medición de 24 horas.
- El filtro expuesto se retira del portafiltros con una pinza, se coloca dentro de una caja petri y se etiqueta.
- La caja petri con el filtro se coloca en una estufa a 28 – 30 °C o más por 24 horas, para eliminar la humedad ambiental, después se coloca en un desecador durante 30 minutos.
- El filtro se pesa tres veces, del valor promedio se resta luego el peso del filtro de referencia.

5. Calibración del equipo

El flujo Q_{real} (m^3/min) de cada orificio crítico se controla mensualmente. Para efectuar este chequeo, el flujómetro se conecta al equipo, dejándolo encendido durante por lo menos 5 minutos.

6. Cálculo

Las partículas PM10 en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se calculan de la siguiente manera:

$$\text{PM}_{10} [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{(P_{\text{final}} - P_{\text{inicio}})}{Q_{\text{real}} \cdot t_{\text{muestreo}}}$$

Los parámetros requeridos son el peso inicial (P_{inicio}) y final (P_{final}) del filtro en microgramos (μg), el flujo real (Q_{real}) y el tiempo de muestreo t_{muestreo} en minutos.

El filtro expuesto luego se coloca en un sobre de papel pergamino, se etiqueta y se coloca en la estufa adecuada para eliminar humedad. Así quedan los filtros almacenados para cualquier análisis posterior.

7. Medidas de mantenimiento

- El impactador debe estar bien limpio. Con un gotero depositar aceite mineral liviano en la superficie de la placa céntrica del impactador, luego utilizar toallas de papel fino para limpiar el exceso del aceite mineral.
- Asegurarse que el flujo sea constante, dar limpieza al equipo y procurar que cuando los filtros son pesados (antes y después del muestreo), en la balanza esté el eliminador de estática.
- Dar una vez al mes tratamiento especial a la unidad de impacción. Sumergir los impactadores en una solución de detergente suave que tenga una temperatura entre 40 y 50 °C.

DETERMINACIÓN DE PLOMO EN PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRAS (Pb)

PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE OPERACIÓN MÉTODO DE ESPECTOFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

1. Equipos y Materiales

- Acido nítrico ultra puro
- Acido clorhídrico ultra puro
- Agua bidestilada libre de metales pesados
- Solución de referencia del elemento a cuantificar
- Modificador de matriz (fosfato diácido de amonio)
- Balanza analítica
- Pipetas de diferentes volúmenes
- Beakers
- Tubos de centrifuga de polietileno de 50 ml
- Pinzas plásticas
- Estufa de ventilación forzada
- Desecador
- Ultrasonido
- Balones volumétricos de diferente capacidad
- Pipetas Eppendorf de volumen variable
- Puntas para pipetas
- Centrifuga
- Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito
- Lámpara del elemento a cuantificar
- Copas para automuestreador

2. Digestión de los filtros

Una vez determinado el peso de las partículas PM10, los filtros de teflon son tratados para calcular la concentración de plomo en el aire. Para solubilizar el plomo recogido en los filtros se sigue el procedimiento que se describe a continuación:

- Transferir el filtro conteniendo las partículas a un tubo de centrifuga de polipropileno de 50 ml de capacidad.

- Se adicionan 12 ml de solución de ácido nítrico (1.03M) y ácido clorhídrico (2.23M) o hasta cubrir completamente el filtro. Tapar los tubos.
- Colocar los tubos en baño a temperatura de 60 – 100 °C, usando el ultrasonido durante 2 – 4 horas.

3. Curva de calibración

Preparar la curva de calibración o seguir las recomendaciones del programa dado en el equipo para cada uno de los elementos a cuantificar.

4. Cálculo

Con el siguiente cálculo se obtienen los microgramos de plomo por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), tomando en consideración el volumen de aire V (m^3) que pasó por el filtro durante el muestreo.

$$\text{Plomo } [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{C_M \cdot 40}{V}$$

C_M en este caso representa la concentración del elemento en $\mu\text{g}/\text{ml}$ obtenido por lectura del equipo.

5. Medidas de mantenimiento

Mantenimiento al espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito según el manual del equipo y las recomendaciones del proveedor.

DETERMINACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE OPERACIÓN MÉTODO ANALIZADOR CON FILTRO DE GAS CONTROLADOR

1. APLICACIÓN

El analizador automático API 300 es un analizador infrarrojo, controlado por un microprocesador que utiliza la correlación de filtro de gases para calcular la concentración de CO. Este equipo utiliza la Ley de Beer - Lambert a partir de la cantidad de energía infrarroja absorbida

Método: Analizador automático API Modelo 300 con filtro de gas controlado

2. EQUIPOS Y MATERIALES:

- Analizador automático API Modelo 300
- Computadora portátil (con programa APICOM instalado)
- Manguera de teflón
- Cilindros de gas de calibración: 10 ppm y 40 ppm de CO en Nitrógeno respectivamente
- Trampa de agua
- Bolsa de teflon (Volumen mínimo: 25 litros)
- Cable RS-232

3. INSTALACIÓN DEL EQUIPO:

Para la instalación del equipo se debe considerar las siguientes condiciones ambientales:

- La operación del equipo es permitida dentro del rango de temperatura de +5 hasta +40 °C.
- Al operar, el analizador necesita estar protegido muy bien contra lluvia y humedad. Es indispensable colocar una trampa de agua entre la toma de aire y el analizador, para evitar problemas por condensación de vapor de agua a raíz de grandes diferencias de temperatura entre el aire exterior y el aire interior (aire acondicionado).

- La toma de aire debe estar hecha con un material inerte como vidrio o teflon.
 - ◊ El analizador forma parte de una estación automática: un “manifold” de vidrio o teflon provee todos los analizadores colocados dentro de la caseta con aire exterior.
 - ◊ La medición con un solo analizador: el analizador jala el aire a través de una manguera de teflón.
- Atención: el detector del analizador API 300 es sensible a radiación electrónica (celulares, computadoras portátiles).

4. OPERACIÓN

Además de la instalación del analizador dentro de una edificación o una caseta de medición con el fin de protegerlo de la humedad y la lluvia como descrito en el apartado anterior, es también posible tomar muestras de aire con bolsas de teflón y llevarlas para el posterior análisis al laboratorio.

Esta técnica requiere de una simple bomba que jala la muestra de aire hacia la bolsa de teflón con un volumen de por lo menos 25 litros. En el laboratorio, se conecta la bolsa a la entrada de muestra del analizador. Para garantizar un flujo regular hacia el equipo, se recomienda apretar la bolsa suavemente (atención: demasiada presión daña el equipo)

5. MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los equipos se realice en dos niveles:

- Nivel 1: Mantenimiento preventivo: se efectúa de acuerdo a los manuales de operación y mantenimiento, proporcionados por la casa proveedora de los equipos.
- Nivel 2: Mantenimiento correctivo. se realiza debido a los daños de los equipos que pueden ser imprevistos o debido al manejo inadecuado de equipos por falta de conocimiento sobre el funcionamiento de equipos por del personal que está a cargo de la operación de los mismos.
- Frecuencia de Mantenimiento: está determinada por cada una de las tareas a realizar (VER HOJA DE MANTENIMIENTO)

Pasos de mantenimiento

1. Inspección visual: Revisión visual del estado del equipo y sus partes, lo cual indica si están operando normalmente o si existe alguna alteración en su funcionamiento.

2. Limpieza: Hacer un aseo previo de los muestreadores y sus instalaciones, Líneas de muestreo y bombas de vacío de aire.
3. Control: Verificación del funcionamiento adecuado del equipo y sus partes.
4. Cambio y mantenimiento:
 - ◇ La parte del analizador que se debe de cambiar con más frecuencia es el filtro de partículas. Dependiendo del uso de equipo, este cambio puede ser necesario hasta cada dos semanas.
 - ◇ Cada año hay que cambiar las diafragmas de la bomba interna del analizador. Para prevenir daños mayores, es necesario calibrar al equipo con frecuencia (véase apartado posterior).
 - ◇ En caso de daños mayores puede ser necesaria una revisión completa del analizador en la fábrica de API en San Diego, California.
5. Test posterior de funcionamiento. Se prueba que los equipos cumplan con las condiciones de funcionamiento específicas, verificando el ajuste de piezas cambiadas, junto con los parámetros de caudal de flujo, caída de presión y voltaje; y que estas no sufran variaciones después del mantenimiento.

Cuadro 1. Formato de Mantenimiento Para Analizador de CO

FORMATO DE MANTENIMIENTO				
Estación:		Equipo:	Serial:	Contaminante:
Lista de Tareas	Fecha (DD/MM/AA)			
Inspección Visual: <ul style="list-style-type: none">▪ Caja metálica▪ Botones de control				
Limpieza de equipos				
Limpieza de instalaciones				
Control: <ul style="list-style-type: none">▪ Flujo o caudal▪ Datos de concentraciones				
Cambio y mantenimiento: <ul style="list-style-type: none">▪ Filtros de fibra de vidrio▪ Bomba de muestreo				
Observaciones				
Nombre del operador				

Fuente: Autor. Adaptado Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

6. CALIBRACIÓN

Frecuencia: Se recomienda efectuar mensualmente una calibración dinámica del analizador.

Calibración cero - span

La calibración se realiza usualmente utilizando un procedimiento automatizado de dos puntos construido dentro del software del analizador. Consiste en inyectar el gas cero (gas limpio) desde el generador o el cilindro. Después que se estabiliza la respuesta del analizador, se activa para la forma cero y se corrige la respuesta del analizador para exposición cero.

La calibración del punto superior se ajusta regresando el analizador a la forma de muestra y se suministra el gas Span (muestra de gas con concentración conocida). Se termina la calibración entrando a la forma del rango de calibración y ajustando la respuesta del analizador para exposición de la concentración del gas de calibración. Luego este procedimiento se debe repetir en el número de puntos que determina el método con los cuales se obtendrá la curva de calibración, teniendo presente que después de suministrar el gas Span, se debe volver a determinar el punto cero con gas Cero. Después de la calibración se asegura que el analizador regrese a la forma de muestreo normal y se conecta al múltiple de muestreo.

NOTA: el gas de calibración debe ser de una norma de protocolo rastreable de la EPA. El gas contaminante está contenido en un gas portador diluyente y que no interfiere; y su concentración debe corresponder al 80% del rango de la escala del analizador y el aire Cero debe estar formado por los mismos componentes del gas transportador de calibración.

- Para evitar tener varias concentraciones de gases diferentes se puede utilizar un divisor de gas con una sola concentración de gas elevada, la cual es diluida con gas Cero.
- Considerando que el rango completo de medición del equipo es 50 ppm, es factible calibrar a 20% y a 80% de esta concentración, o sea con dos cilindros de gas de calibración de 10 ppm y de 40 ppm CO en nitrógeno respectivamente.
- En ambos casos, se conecta el cilindro de gas de calibración a la entrada de muestra del analizador. Es importante esperar durante un período de estabilización de 20 minutos o hasta que el parámetro de estabilidad en la pantalla esté debajo de 1.00

- Luego hay que apretar CAL_CONC, ingresar por medio del teclado 10 y apretar ENTER. El paso de calibración finaliza apretando CAL_SPAN y ENTER, luego se repite el procedimiento con el cilindro de 40 ppm. Después de estos dos pasos, el analizador está calibrado.
- ◊ Realizar el análisis de los datos emitidos del equipo por medio de curvas de calibración, comparando los resultados con los de la calibración de fábrica o primaria.
- ◊ Corregir la respuesta del equipo en caso que se determine que no está reportando la información exacta y precisa.

Comprobaciones en cero y en todo el intervalo

Se realizan para comprobar la tendencia o cambio de la respuesta de los analizadores automáticos al pasar el tiempo.

- Las comprobaciones en cero se hacen suministrando al analizador con un aire de la fuente, desprovisto del contaminante de interés y entonces se registra la respuesta del analizador.

Cuadro 2. Calibración Multipunto Para Muestradores de CO

FORMATO DE CALIBRACIÓN MULTIPUNTO							
Estación:		Equipo:		Serial:		Contaminante:	
Muestra	Fecha		Tiempo muestreo (min)	Flujo (L/min)	Volumen Muestra (ml)	Volumen Aire colectado (m ³)	Concentración (NO ₂ Ug/ m ³)
	Última calibración	Actual calibración					
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

OBSERVACIONES: _____

OPERADOR: _____

FUENTE: Autor. Adaptado Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

Cuadro 3. Ficha de Calibración Cero/Span

FORMATO DE CALIBRACIÓN CERO/SPAN				
Estación:		Equipo:	Serial:	Contaminante:
Fecha		Fecha última calibración	Instrumento Cero	Aumento del instrumento:
CALIBRACIÓN DE PUNTOS				
Tiempo inicial	Tiempo final	Concentración Estándar	Concentración generada	Respuesta del equipo
		Aire Cero		
		80% del rango		
AJUSTE DE LA CALIBRACIÓN			Instrumento cero	Aumento del instrumento
CALIBRACIÓN EN PUNTOS MÚLTIPLES				
Tiempo final	Tiempo inicial	Concentración Estándar	Concentración generada	Respuesta del equipo
		Aire Cero		
		10% del rango		
		20% del rango		
		40% del rango		
		60% del rango		
		80% del rango		
AJUSTE DE LA CALIBRACIÓN			Instrumento cero	Aumento del instrumento
Observaciones:				
Operador:				

FUENTE: Autor. Adaptado Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

Cuadro 4. Formato para la Comprobación de Precisión en Todo el Intervalo

COMPROBACIÓN DE PRECISIÓN EN TODO EL INTERVALO				
Estación:		Equipo:	Serial:	Contaminante:
Tiempo inicial		Tiempo final		Fecha:
COMPROBACIÓN DE PRECISIÓN EN UN PUNTO				
Concentración estándar		Concentración generada	Respuesta del equipo	Diferencia porcentual
0.008 < CONC < 0.100 ppm				
CO 8 < CONC < 0.10 ppm				
COMPROBACIÓN DE PRECISIÓN EN TODO EL INTERVALO				
Concentración estándar	Concentración generada	Respuesta del equipo	Comprobación cero diferencial porcentual	Comprobación en todo el intervalo diferencia porcentual
Aire cero				
Todo el intervalo 80% de la escala				
Observaciones:				
Operador:				

FUENTE: Autor. Adaptado Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

7. TRANSFERENCIA DE DATOS

La información almacenada se puede bajar del analizador por medio del software APICOM, siempre y cuando el equipo esté equipado con la tarjeta AMX. Detalles están descritos en el manual de APICOM [11].

La instalación de APICOM en cualquier computadora portátil (o de escritorio) es fácil. Para la comunicación con el analizador se necesita el cable RS-232, y una vez conectado exitosamente la computadora con el analizador, la vista frontal del analizador aparece en la pantalla de la computadora. El software APICOM hace posible la manipulación del analizador desde la computadora y facilita la transferencia de datos del equipo al programa Excel en la computadora.

8. REPORTES

1. La medición se hace en períodos de 24 horas con una frecuencia de una muestra cada seis días o de una muestra cada tres días, mediante el uso de procesos manuales.
2. Para reportar los valores al público, se calculan las concentraciones en mg/m³ del período de muestreo.

DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE NITROGENO (NO₂)

PROCEDIMIENTOS ESTÁNDAR DE OPERACIÓN MÉTODO DE JACOBS-HOCHHEISER

1. APLICACIÓN

El rango de la concentración en el aire para lo cual este método puede ser usado con confianza está entre 10 a 1000 mg/m³ (0.005 – 0.50 ppm), tomando como base un período de muestreo de 24 horas.

El comportamiento del método para niveles de NO₂, por encima de 1000 mg/m³ (0.50ppm) no ha sido establecido todavía. La sensibilidad del método depende del reactivo de GRIESS SALTZMAN. Para la celda de trayectoria óptica, de un centímetro y 0.1 unidades de absorbancia, es equivalente a 0.15 mg/ml, de NO₂ en la solución de absorción.

Método manual: Jacobs - Hochheiser

2. INTERFERENCIAS

- El SO₂, en concentraciones hasta de 2000 mg/m³ (0.7ppm) no interfieren si el peróxido de hidrógeno es añadido después del muestreo y antes del desarrollo del color.
- El ozono no causa interferencias en los rangos de concentración atmosféricas hasta 1000mg /m³.
- El óxido nítrico en concentraciones hasta de 800 mg/m³ (0.6ppm), como promedio de 24 horas no causan interferencia.
- Los nitritos orgánicos y nitratos de peroxiacilo (PAN) los cuales pueden estar presentes en el aire, podrían causar una interferencia positiva. No hay datos de la magnitud de la interferencia, si embargo, en vista de las concentraciones promedias de 24 horas de los nitratos orgánicos y de los nitratos de peroxiacilo que han sido reportados en la literatura, pareciera que esta interferencia podría ser despreciable.

3. PRECISIÓN Y EXACTITUD

- La precisión del método en terreno expresado como la desviación estándar fue $\pm 12 \text{ ug/m}^3$ (0.006ppm) en un muestreo de 24 horas, para una media de 81 mg/m^3 (0.043ppm), comparada con un analizador colorimétrico continuo.
- La eficiencia de la absorción es del 95 al 99%, en los burbujeadores con 50 ml de solución absorbente.

4. SEGURIDAD

- Usar gafas de seguridad
- Guantes de protección.

5. PRINCIPIO DEL MÉTODO.

El NO_2 es absorbido del aire por una solución acuosa de trietanolamida, el análisis posterior es realizado usando un reactivo que forma un compuesto OZO COLORANTE. El color producido por el reactivo es medido en espectrofotómetro a 550 nm.

6. MATERIALES Y EQUIPOS

a) Equipo muestreador de medio volumen, compuesto por:

- Caja metálica de aluminio rectangular de dos compartimientos.
- Bomba de vacío para aire, la cual debe mantener un diferencial de presión de 0.7 atm (550 mm Hg.) a través del dispositivo de control de flujo, capaz de muestrear aire a través del absorbedor a la tasa requerida por 24 horas (0.20 a 0.4 L/min).
- Soporte metálico para absorbedores.
- Dispositivo de control de flujo (orificio crítico):
 - ◇ Para muestreos por períodos cortos es suficiente un rotámetro calibrado y una válvula de aguja que sean capaces de mantener y medir el flujo de aire ambiente dentro de $\pm 2\%$.
 - ◇ Para muestreos por períodos largos es necesario utilizar un orificio crítico.
 - ◇ Para períodos de muestreo de 30 min puede utilizarse una aguja hipodérmica graduada número 22 y con una longitud de 25 mm como

orificio crítico para permitir una velocidad de flujo de aproximadamente 1 litro por minuto (L/min).

- ◇ Cuando se muestrea por una hora, una aguja graduada número 23 y con una longitud de 16 mm permitirá una velocidad de flujo aproximado de 0.5 L/min.
- ◇ El control de flujo para un período de muestreo de 24 horas puede lograrse con una aguja hipodérmica número 27 y una longitud de 9.5 mm, la velocidad de flujo debe encontrarse entre 0.18 y 0.22 L/min.
- ◇ Se pueden usar agujas hipodérmicas calibradas.

Cuadro 1. Agujas Hipodérmicas Calibradas

MUESTRA	CALIBRE	DIÁMETRO	LONGITUD (cm)	FLUJO (L/min)
30 min	22	0.394	2.5	1
1 Hora	23	0.378	1.5	0.5
24 Horas	27	0.191	0.9	0.2

FUENTE: INE Instituto Nacional de Ecología México

- Membrana porosa de 0.8 a 2 micras o filtro de fibra de vidrio. Estos filtros se pueden usar con retenedores apropiados para remover partículas de la corriente de aire que deben ser colocados antes del dispositivo de control de flujo para protegerlo de las alteraciones en el flujo.
- Muestreador. El muestreador debe ser de teflón o vidrio. El tiempo de residencia para transportar la muestra de aire ambiente hacia el equipo de muestreo debe ser menor a 20 segundos. El extremo del muestreador debe estar orientado o diseñado para evitar la entrada de la lluvia o partículas grandes. Una instalación adecuada puede ser construida con un tubo de teflón conectado a un embudo invertido. El soporte estará constituido por dos valvas metálicas o de material plástico con un conducto para la entrada del aire aspirado en medio de las cuales se coloca el filtro que después se cierra herméticamente por cualquier sistema de fijación.
- Burbujeador o frasco absorbedor para muestreos de 24 horas. Se utiliza un tubo de polipropileno de 32 mm de diámetro y 164 mm de largo. La tapa del absorbedor debe ser de polipropileno de dos entradas (no se deben usar tapas de hule para evitar que los reactivos puedan reaccionar con ella provocando lecturas erróneas de NO₂). Un burbujeador de 6 mm de diámetro y de 158 mm de largo se inserta en una de las dos entradas de la tapa. La punta del burbujeador disminuye de diámetro progresivamente hasta terminar en un orificio de diámetro pequeño (0.4 ± 0.1 mm). El espacio libre entre el fondo del

recipiente y el extremo del burbujeador debe ser marcado permanentemente a un volumen de 50 ml (Figura 1).

- Trampa de humedad. Se utiliza una trampa de humedad de vidrio como la mostrada en la Figura 2 o un tubo de polipropileno como se muestra en la Figura 1. Esta trampa se coloca entre el tubo de absorción y el dispositivo de control de flujo para evitar la entrada del líquido hacia ese dispositivo. El tubo se empaca con sílica gel o con fibra de vidrio para muestreos por períodos cortos de 1 hora o menos (Figura 2) o para muestreos por períodos largos de 24 horas (Figura 1), cuando no se observen cambios drásticos de flujo.
 - ◇ Sellos de las trampas: Las tapas del absorbedor y de la trampa de humedad deben sellarse para evitar fugas. Pueden utilizarse como sellos materiales que se encogen mediante calor Figura 1, en caso de riesgo de que las tapas se aflojen durante el muestreo, transporte o almacenamiento.
 - ◇ Dispositivo para el control de temperatura: El dispositivo para el control de temperatura debe mantener la solución absorbente durante el muestreo a $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Tan pronto como sea posible después del muestreo y hasta el momento del análisis la temperatura de la muestra debe mantenerse a $5 \pm 5^{\circ}\text{C}$. En caso de que transcurra un período prolongado antes de que la muestra colectada pueda depositarse a la temperatura de almacenamiento, debe utilizarse una temperatura de recolección cercana al límite inferior de $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$, para minimizar las pérdidas durante ese período. Enfriadores termoeléctricos específicamente diseñados para mantener esta temperatura están disponibles comercialmente y normalmente operan entre 5 y 15°C . También pueden usarse refrigeradores pequeños modificados, aislando las líneas de entrada de temperatura más bajas para evitar condensaciones cuando se muestree a bajas temperaturas ($< 7^{\circ}\text{C}$), para evitar que la solución absorbente se congele.
 - ◇ Depósito del tren de muestreo: La solución absorbente no debe entrar en contacto con la luz durante y después del muestreo. La mayoría de los trenes de muestreo comerciales disponen de una caja a prueba de luz.
 - ◇ Reloj: Se debe medir el tiempo al inicio y fin del muestreo para períodos de 24 horas.
 - ◇ Envase para transporte de la muestra: Se debe utilizar un recipiente que pueda transportar la muestra del sitio de muestreo al laboratorio de análisis, a una temperatura de $5 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Las hieleras pueden ser útiles para este propósito.
 - ◇ Dispositivo de control de flujo: Dispositivo calibrado y usado para medir la velocidad de flujo de la muestra en el sitio de monitoreo.

Figura 1. Burbujeador para Muestras de 24 hrs.

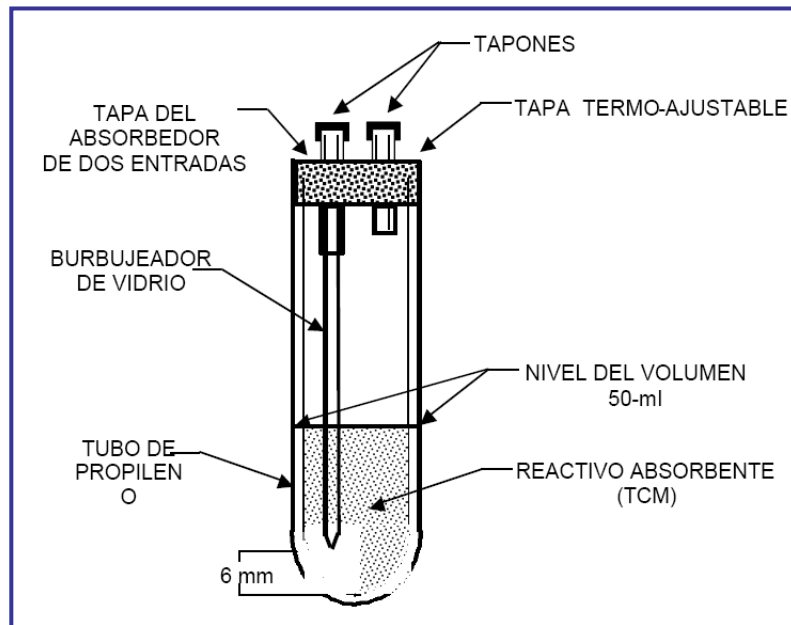
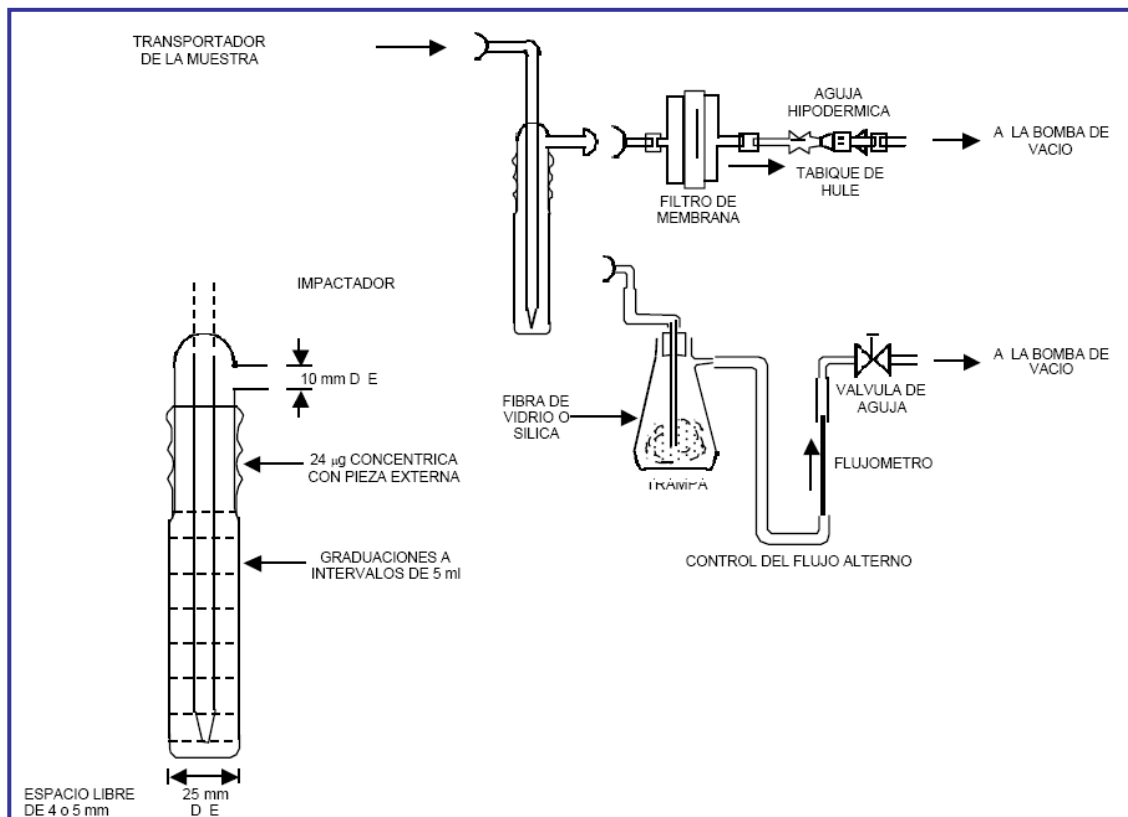


Figura 2. Trampa de Vidrio



- b) Equipo de calibración de flujo: un medidor de burbuja o un medidor de gas húmedo o seco que permite medir un flujo de aire de 0.2 – 0.4 L/min y un reloj.
- c) Espectrofotómetro.
- d) Termómetro.
- e) Pipeta graduada de 10 ml.
- f) Cilindro graduado de 50 ml.
- g) Volumétricas de 25, 50, 100 y 1000 ml.
- h) Pipetas volumétricas de 1, 2, 3, 4 y 5 ml.

7. REACTIVOS

Los reactivos usados deben ser grado analítico y el agua tipo I.

- Solución absorbente de trietanolamina: Añada 15 g de trietanolamina a 500ml de agua destilada; luego adicione 3 ml de n-butanol, mezcle bien y diluya hasta 1L. La solución es estable por 2 meses si se mantiene en una botella oscura en el refrigerador.
- Peróxido de hidrógeno: Diluya 0.2 ml al 30% de peróxido de hidrógeno hasta 250 ml con agua destilada.
- Solución de sulfanilamida: Disuelva 10 g de sulfanilamida en 400 ml de agua destilada, luego adicione 25 ml de ácido fosfórico concentrado a 85%, lleve hasta 500ml con agua destilada. Esta solución es estable hasta 1 año si se almacena en una botella oscura en el refrigerador.
- M – (1 NAPHTHYL) – etilendiamina dihidrocloruros (NEDA): Disuelva 0.100 g de NEDA, en 100ml de agua destilada volumétrica de 100ml. la solución es estable por un mes si se mantiene en una botella oscura en el refrigerador.
- Solución STOCK de nitrito: Disuelva 0.1350 g de nitrito de sodio en agua tipo 1 y llévelo a una volumétrica de 1000 ml y complete su volumen. El nitrito de sodio debe ser de pureza conocida o analizada antes del uso. La solución contiene 90 ug de NO₂ por ml, lo cual corresponde a 100 ug de NO₂ (gas) /ml. la solución debe ser preparada mensualmente.

8. MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los equipos se realice en dos niveles:

Nivel 1: Mantenimiento preventivo. Se efectúa de acuerdo a los manuales de operación y mantenimiento, proporcionados por la casa proveedora de los equipos.

Nivel 2: Mantenimiento correctivo. Se realiza debido a los daños de los equipos que pueden ser imprevistos o debido al manejo inadecuado, por falta de conocimiento sobre el funcionamiento de equipos por parte del personal que está a cargo de la operación de los mismos.

a) Frecuencia de mantenimiento: está determinada por cada una de las tareas a realizar (ver hoja de mantenimiento Cuadro 2)

b) Partes del equipo susceptibles:

- Caja metálica de aluminio rectangular de dos compartimientos.
- Bomba de vacío para aire.
- Frascos absorbedores o burbujeadores.
- Soporte metálico para absorbedores
- Dispositivo de control de flujo (orificio crítico)
- Medidor de tiempo.
- Registrador de flujo.
- Membrana porosa
- Trampa de humedad
- Muestreador
- Sellos de las trampas
- Dispositivo para el control de temperatura
- Depósito del tren de muestreo.
- Envase de transporte de la muestra.
- Dispositivo de control de flujo.

c) Pasos de mantenimiento:

- Inspección visual: Revisión visual del estado del equipo y sus partes susceptibles, lo cual indica si están operando normalmente o si existe alguna alteración en su funcionamiento.
- Limpieza: Hacer un aseo previo de los muestreadores y sus instalaciones, Líneas de muestreo y bombas de vacío de aire.
- Control:
 - Verificación del funcionamiento adecuado del equipo y sus partes:
Caja metálica: verificar que cubra y proteja adecuadamente los frascos absorbedores, al muestreador de la lluvia y otros elementos del clima.
 - Muestreador: verificar que fije los frascos absorbedores dentro de la coraza del muestreador. Evitar fugas que puedan producir errores en la medición del aire absorbido.
- Cambio y mantenimiento:
 - Líneas de muestreo
 - Absorbedores y sus tapas.
 - Trampa de humedad
 - Comprobación de fugas
 - Mantenimiento de bombas de muestreo
 - Cambio de manómetros

- Limpieza de manómetros
- Cambio de orificios críticos

d) Test posterior de funcionamiento. Se prueba que los equipos cumplan con las condiciones de funcionamiento específicas, verificando el ajuste de piezas cambiadas, junto con los parámetros de caudal de flujo, caída de presión y voltaje; y que estas no sufran variaciones después del mantenimiento.

9. CALIBRACIÓN

Para asegurarse que los instrumentos y equipos operen adecuadamente, deben al momento de comenzar su funcionamiento en la Red estar calibrados y continuarse con un programa de chequeos periódicos que aseguran la calidad de la información que se está recolectando.

Ser efectuada dentro de los tres días posteriores a la puesta en operación y estabilización de un instrumento recién instalado, antes de desplazar o reubicar un instrumento que ha estado operando de acuerdo a las especificaciones, cuando se ha efectuado una reparación mayor en el instrumento (por ejemplo, cambio de la bomba de muestreo, mantenimiento o reemplazo del tubo foto-multiplicador, limpiezas en las cámaras de reacción, etc).

Los monitores de contaminantes se calibran al iniciar su funcionamiento, con: un medidor de burbuja o un medidor de gas húmedo o seco que permita medir un flujo de aire de 0.2 a 0.4 L /min. y un reloj.

Debe realizarse mediciones de:

- Voltaje
- Diferencias de presión
- Concentraciones
- Temperatura
- Tiempo
- Caudal de aire

Con los cuales se obtiene una curva que nos indica el comportamiento de los datos emitidos por el equipo, en cada uno de los puntos de calibración tomados de acuerdo con el rango de medición del equipo.

Toda la información generada en los procesos anteriores queda también almacenada en forma magnética para su revisión inmediata o posterior. Transcurrido un mes calendario, toda la información recolectada se almacena como registro histórico en unidades de cintas magnéticas de gran capacidad de respaldo de información.

En general, los equipos se calibran (multipunto) al inicio del monitoreo, después de alguna reparación, cuando un chequeo de calibración cero/span muestra un cambio grande en el monitor con respecto a la calibración multipunto, y cada tres meses después de la última calibración.

Cuadro 2. Ficha de Mantenimiento Muestreador de Medio Volumen NO₂

FORMATO DE MANTENIMIENTO				
Estación:	Equipo:	Serial:	Contaminante:	
Lista de Tareas	Fecha (DD/MM/AA)			
Inspección Visual:				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caja metálica ▪ Bomba de vacío ▪ Frascos absorbedores ▪ Soporte metálico ▪ Dispositivo de control de flujo (orificio crítico) ▪ Medidor de tiempo ▪ Registrador de flujo ▪ Membrana porosa ▪ Trampa de humedad ▪ Muestreador ▪ Sellos de las trampa ▪ Medidor de temperatura ▪ Envase de transporte de la muestra 				
Limpieza de equipos				
Limpieza de instalaciones				
Control:				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flujo o caudal ▪ Caída de presión ▪ voltaje 				
Cambio y mantenimiento:				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filtros de fibra de vidrio ▪ Líneas de muestreo ▪ Absorbedores y sus tapas ▪ Trampa de humedad ▪ Comprobación de fugas ▪ Mantenimiento de bombas de muestreo ▪ Cambios de orificios críticos 				
Observaciones				
Nombre del operador				

FUENTE: Autor. Adaptado del Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

Cuadro 3. Calibración Multipunto Muestreador de Medio Volumen

FORMATO DE CALIBRACIÓN MULTIPUNTO								
Estación:			Equipo:			Contaminante:		
Fecha		Humedad relativa		Presión Barométrica		Temperatura ambiente		
Variable	Presión	Voltaje	Concentración	Respuesta del equipo	Temperatura	Presión barométrica	Tiempo	Caudal del aire
Punto								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Observaciones:

Operador: _____

FUENTE: Autor. Adaptado del Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

10. TOMA DE MUESTRAS

Consiste en un equipo formado por los siguientes elementos:

- Filtro para la retención de partículas
- Burbujeador para recoger la muestra de gases
- Contador de gas
- Bomba aspirante

Descripción en la instalación: Los distintos elementos del equipo deben conectarse mediante tubos de vidrio o de material plástico inerte y preferiblemente de 8 milímetros de diámetro interior en el mismo orden en que se han descrito anteriormente.

Para comunicar el conjunto con el exterior deberá conectarse un tubo de material plástico en la entrada del portafiltros. En el extremo opuesto se colocara un embudo de un diámetro comprendido entre 3 y 5 centímetros. La longitud total de este tubo no será mayor de 6 metros ni tendrá curvaturas con un radio inferior a 5

Centímetros En todo caso, la captación de aire por la toma de muestras deberá reunir las siguientes condiciones:

- El eje del embudo de toma de aire deberá ocupar posición vertical con el vástago hacia arriba.
- Desde el suelo a la entrada del aire debe haber una distancia vertical mínima de 3 metros.
- La distancia horizontal entre cualquier parámetro vertical y la entrada de aire no será menor de 0.50 metros.

Procedimientos de utilización: para cada contaminante específico se introducirá en el portafiltros la superficie filtrante que le corresponda y en el Burbujeador la solución captadora adecuada. En ese momento se anotará la lectura del contador y a continuación se pondrá en funcionamiento la bomba. Una vez transcurrido el período de toma de muestras se parará la bomba procediendo a una nueva lectura del contador. La diferencia de lecturas determinará el volumen del aire captado, el cual será reducido a condiciones normales.

11. PROCEDIMIENTO PARA EL MUESTREO

- Cada orificio crítico debe calibrarse antes de su uso.
- Los absorbedores deben estar completamente limpios e identificados.
- Transfiera al absorbedor la cantidad de solución absorbidora según el período de muestreo deseado (50 ml para 24 horas).
- Conecte el absorbedor al tren de muestreo y prenda la bomba.

12. PROCEDIMIENTO AL FINALIZAR EL MUESTREO

- Verificar la tasa de flujo y si hay desviación mayor al 10 % debe descartarse la muestra, debe mantenerse registro de mediciones de flujo.
- Las muestras recolectadas deben mantenerse a 5° C o menos antes del análisis (Puede ser almacenada en un período de 3 semanas).

Procedimiento para el Análisis de la Muestra

- Llevar la muestra a temperatura del laboratorio.
- Completar la muestra con solución absorbidora a 50 ml, si hubo pérdida.
- Pipetear 10 ml de cada muestra en frascos volumétricos de 25 ml y 10 ml de solución absorbente para el blanco.
- A cada volumétrica de 25 ml añadida en su orden lo siguiente:
 - ◊ 1 ml de solución de peróxido de hidrógeno diluido y mezcle bien.
 - ◊ 10 ml de solución de sulfanilamida

- ◊ 1ml de solución de NEDA.
- Diluir a 25ml con agua destilada, tape y agite, espere 10 minutos para que se desarrolle el color.
- Leer tan rápido como sea posible el espectrofotómetro a una longitud de onda de 540 nm.
- El laboratorio debe mantener un cuaderno de registro de recepción de muestras con información pertinente a las condiciones detalladas tanto del clima como del equipo en las que se realizó el muestreo.
- Se debe mantener un cuaderno donde se registre la calibración y mantenimiento realizados a la balanza analítica, pH-metro, equipo de muestreo y espectrofotómetro.

Control y Aseguramiento de la Calidad de NO₂

- Cada vez que lea la absorbancia de muestras prepare tres patrones y realice un control a la curva de calibración que está utilizando. Se debe obtener una diferencia no mayor del 0.3%.
- Lea la absorbancia de una muestra por triplicado y halle su desviación estándar. Esta no debe ser mayor del 10%.
- Realizar estudios colaborativos entre diferentes laboratorios o dentro del mismo laboratorio para evaluar el método, comparar resultados y valorar el desempeño del analista. Este tipo de estudios debe realizarse por lo menos una vez al año.

13. CALCULOS

El volumen de aire muestreado es corregido a 25°C y 760 mm Hg. La desviación normal de estas condiciones adiciona solamente pequeñas mediciones. La estandarización para la solución de nitrito requiere del uso de un factor empírico que relaciona los ug NO₂ (gas) con los ug Ión nitrito.

El factor de conversión en este método es 0.90, esto es, el 90% de NO₂, en la muestra de aire es eventualmente convertido a ión nitrito, el cual reacciona con el color producido por el reactivo oso colorante. Este factor ha sido incorporado en la solución STOCK de nitrito.

El cómputo de la concentración promedio de NO₂ en el aire en un período de 24 horas de muestreo puede ser efectuado como sigue:

$$\mu\text{g NO}_2 / \text{m}^3 = \frac{((A - B) + a) \times fd}{b} \times \frac{V}{10^3}$$

Donde:

A = Absorbancia de la muestra.

B = Absorbancia del blanco.

a = Intersecto. (Dato en la curva de calibración)

b = Pendiente. (Dado en la curva de calibración)

fd = Factor de dilución (50 ml / alícuota)

10^3 = Factor de conversión de litros a metros cúbicos.

V = Volumen de aire corregido para 25°C y 760 mm Hg. en Litros.

$$V = r * t * Fc$$

r = Tasa de muestreo L/min.

t = Tiempo de muestreo en minutos.

Fc = Factor de corrección del volumen a 25°C y 760 mm Hg.

14. CURVA DE CALIBRACIÓN

La relación para concentración de NO₂ versus absorbancia se obtiene con el siguiente procedimiento:

- Transfiera 1 ml de solución de nitrito 0.135 g / l a una volumétrica de 50 ml y diluya hasta la marca con solución de absorción. La solución de trabajo así obtenida contiene 1.8 ug de NO₂⁻ / (que corresponde a 2 µg NO₂ (gas)/ ml).
- Colocar con pipeta 1, 2, 3, 4 y 5 ml de ésta solución de trabajo en volumétricas de 25 ml respectivamente y agregue solución absorbadora hasta completar un volumen de 10 ml.
- Siga el procedimiento como si se tratara del análisis de muestras. Construir la curva de calibración de la absorbancia coordinada **y** vs. µg NO₂ coordinada **x**.
- Usar análisis de regresión para determinar la pendiente **a** y en intersección **b**.
- Las verificaciones deben ser hechas semanalmente para determinar si la respuesta de los reactivos ha cambiado.
- Se debe designar un cuaderno de registro de datos obtenidos para las diferentes curvas de calibración, gráficos y ecuaciones de trabajo con su respectiva validación estadística lo cual garantiza el desarrollo eficaz del método y reduce sus errores. La validación estadística debe realizarse por lo menos cada seis meses.

15. REPORTE

- La medición se hace en períodos de 24 horas con una frecuencia de una cada seis días o una cada tres días, mediante el uso de procesos manuales.

- Para reportar los valores al público, se calculan las concentraciones en mg/m³ del período de muestreo.

Cuadro 4. Calculo en el Laboratorio de NO₂

FORMATO CALCULOS DE LABORATORIO PARA NO ₂											
Estación:				Equipo:				Serial:		Contaminante:	
Muestra	Fecha	Absorba Muestra (A)	Absorba Blanco (B)	Punto a	Punto b	f d	r (L/min)	T (min)	Fc **	Volumen Aire (L) *	Concentración µg NO ₂ / m ³
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											

Observaciones: _____

Operador: _____

* Volumen de aire corregido para 25 °c y 760 mm Hg

** Factor de corrección (fc) de volumen a 25°C y 760 mm Hg

FUENTE: Autor. Adaptado del Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO₂)

PROCEDIMIENTO ESTÁNDAR DE OPERACIÓN MÉTODO DE PARARROSANILINA

1. APLICACIÓN

El rango de la concentración en el aire para lo cual este método puede ser usado con confianza está entre 30 a 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tomando como base un período de muestreo de 30 a 60 minutos.

El comportamiento del método para niveles de SO₂, en periodos de muestreo superiores a 60 minutos, se esperan mayores concentraciones (aprox. hasta 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), es necesario asegurarse de que no se sobrepasen las concentraciones de SO₂ en la solución absorbente. Esto se puede lograr mediante la reducción en la tasa de flujo volumétrico durante el muestreo. Las soluciones de muestreo obtenidas se pueden almacenar hasta por 24 horas antes de hacer las mediciones, siempre y cuando se mantengan refrigerados a 5°C.

Método manual: Pararrosanilina.

2. INTERFERENCIAS

- El NO₂ se elimina o minimiza añadiendo ácido sulfamínico, metales pesados por la adición de EDTA y ácido fosfórico y O₃ por el tiempo de desarrollo del color.
- Se pueden tolerar cantidades por encima de 60 μg de Fe(III), 22 μg de V (v), 10 μg de Cu (II), 10 μg de Mn (II), 10 μg de Cr (III) y 2.3 μg de NH₃ en 10 ml de solución absorbente.

3. PRECISIÓN Y EXACTITUD.

La precisión del método en terreno expresado como la desviación estándar fue $\pm 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.006ppm) en un muestreo de 24 horas, para una media de 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.043ppm), comparada con un analizador colorimétrico continuo. La eficiencia de la absorción es del 95 al 99%, en los burbujeadores con 50 ml. de solución absorbente.

4. SEGURIDAD

- Usar gafas de seguridad
- Guantes de protección

5. PRINCIPIO DEL MÉTODO.

Mediante un equipo de muestreo de tres gases Graseby, una cantidad de aire de la atmósfera es burbujeado a través de una solución de Tetracloromercurato de potasio (TCM). El SO_2 presente en el aire reacciona con la solución de TCM para formar un complejo estable de monoclorosulfomercurato de potasio, el cual resiste la oxidación por O_2 del aire, O_3 , y óxidos de nitrógeno. El complejo se hace reaccionar con pararrosanilina y formaldehído para formar una solución coloreada de ácido de pararrosanilina metilsulfónico. La intensidad del color es proporcional a la concentración de SO_2 colectada del aire.

La observancia de esta solución se determina espectrofotométricamente a 548 nm en el laboratorio y el cálculo de la concentración másica de SO_2 , por medio de una gráfica de calibración preparada utilizando mezcla de gases para calibración.

6. MATERIALES Y EQUIPOS

a) Equipo muestrador de medio volumen compuesto por:

- Caja metálica de aluminio rectangular de dos compartimentos.
- Bomba de vacío para aire, la cual debe mantener un diferencial de presión de 0.7atm (550 mm Hg.) a través del dispositivo de control de flujo, capaz de muestrear aire a través del absorbedor a la tasa requerida por 24 horas (0.20 a 0.4 L /min).
- Soporte metálico para soportar los absorbedores
- Dispositivo de control de flujo (orificio crítico) Para muestreos por períodos cortos es suficiente un rotámetro calibrado y una válvula de aguja que sean capaces de mantener y medir el flujo de aire ambiente dentro de un $\pm 2\%$. Para muestreos por períodos largos es necesario utilizar un orificio crítico. Para períodos de muestreo de 30 min puede utilizarse una aguja hipodérmica graduada del número 22 y con una longitud de 25 mm de largo como orificio crítico para permitir una velocidad de flujo de aproximadamente 1 litro por minuto (l/min). Cuando se muestrea por una hora, una aguja graduada del número 23 y con una longitud de 16 mm de largo permitirá una velocidad de flujo aproximado de 0.5 l/min. El control de flujo para un período de muestreo de 24 horas puede lograrse con una aguja hipodérmica del número 27 y una longitud de 9.5 mm, la velocidad de flujo debe encontrarse entre 0.18 y 0.22 l/min.

Se pueden usar agujas hipodérmicas calibradas.

Cuadro 1. Agujas Hipodérmicas Calibradas

MUESTRA	CALIBRE	DIÁMETRO	LONGITUD (cm)	FLUJO (L/min)
30 min	22	0.394	2.5	1
1 Hora	23	0.378	1.5	0.5
24 Horas	27	0.191	0.9	0.2

FUENTE: INE Instituto Nacional de Ecología México

- Membrana porosa de 0.8 a 2 micras o filtro de fibra de vidrio. Estos filtros se pueden usar con retenedores apropiados para remover partículas de la corriente de aire que deben ser colocados antes del dispositivo de control de flujo para protegerlo de las alteraciones en el flujo.
 - Muestreador. El muestreador debe ser de teflón o vidrio. El tiempo de residencia para transportar la muestra de aire ambiente hacia el equipo de muestreo debe ser menor a 20 segundos. El extremo del muestreador debe estar orientado o diseñado para evitar la entrada de la lluvia o partículas grandes. Una instalación adecuada puede ser construida con un tubo de teflón conectado a un embudo invertido. El soporte estará constituido por dos valvas metálicas o de material plástico con un conducto para la entrada del aire aspirado en medio de las cuales se coloca el filtro que después se cierra herméticamente por cualquier sistema de fijación.
 - Burbujeador o frasco absorbedor para muestreos de 24 horas. Se utiliza un tubo de polipropileno de 32 mm de diámetro y 164 mm de largo. La tapa del absorbedor debe ser de polipropileno de dos entradas (no se deben usar tapas de hule para evitar que los reactivos puedan reaccionar con ella provocando lecturas erróneas de SO₂). Un burbujeador de 6 mm de diámetro y de 158 mm de largo se inserta en una de las dos entradas de la tapa. La punta del burbujeador disminuye de diámetro progresivamente hasta terminar en un orificio de diámetro pequeño (0.4 ± 0.1 mm). El espacio libre entre el fondo del recipiente y el extremo del burbujeador debe ser marcado permanentemente a un volumen de 50 ml (Figura 1).
 - Trampa de humedad. Se utiliza una trampa de humedad de vidrio como la mostrada en la Figura 2 o un tubo de polipropileno como se muestra en la Figura 1. Esta trampa se coloca entre el tubo de absorción y el dispositivo de control de flujo para evitar la entrada del líquido hacia ese dispositivo. El tubo se empaca con sílica gel o con fibra de vidrio para muestreos por períodos cortos de 1 hora o menos (Figura 2) o para muestreos por períodos largos de 24 horas (Figura 1), cuando no se observen cambios drásticos de flujo.
- ◇ Sellos de las trampas: Las tapas del absorbedor y de la trampa de humedad deben sellarse para evitar fugas. Pueden utilizarse como sellos materiales que se encogen mediante calor Figura 1, en caso de riesgo de que las tapas se aflojen durante el muestreo, transporte o almacenamiento.

- ◇ Dispositivo para el control de temperatura: El dispositivo para el control de temperatura debe mantener la solución absorbente durante el muestreo a $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Tan pronto como sea posible después del muestreo y hasta el momento del análisis la temperatura de la muestra debe mantenerse a $5 \pm 5^{\circ}\text{C}$. En caso de que transcurra un período prolongado antes de que la muestra colectada pueda depositarse a la temperatura de almacenamiento, debe utilizarse una temperatura de recolección cercana al límite inferior de $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$, para minimizar las pérdidas durante ese período. Enfriadores termoeléctricos específicamente diseñados para mantener esta temperatura están disponibles comercialmente y normalmente operan entre 5 y 15°C . También pueden usarse refrigeradores pequeños modificados, aislando las líneas de entrada de temperatura más bajas para evitar condensaciones cuando se muestree a bajas temperaturas ($< 7^{\circ}\text{C}$), para evitar que la solución absorbente se congele.
- ◇ Depósito del tren de muestreo: La solución absorbente no debe entrar en contacto con la luz durante y después del muestreo. La mayoría de los trenes de muestreo comerciales disponen de una caja a prueba de luz.
- ◇ Reloj: Se debe medir el tiempo al inicio y fin del muestreo para períodos de 24 horas.
- ◇ Envase para transporte de la muestra: Se debe utilizar un recipiente que pueda transportar la muestra del sitio de muestreo al laboratorio de análisis, a una temperatura de $5 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Las hieleras pueden ser útiles para este propósito.
- ◇ Dispositivo de control de flujo: Dispositivo calibrado y usado para medir la velocidad de flujo de la muestra en el sitio de monitoreo.

Figura 1. Burbujeador para Muestreos de 24 hrs.

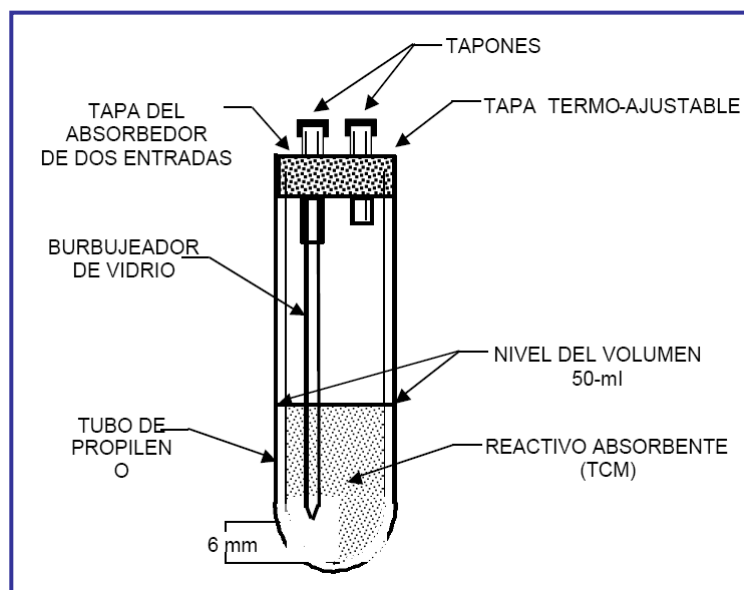
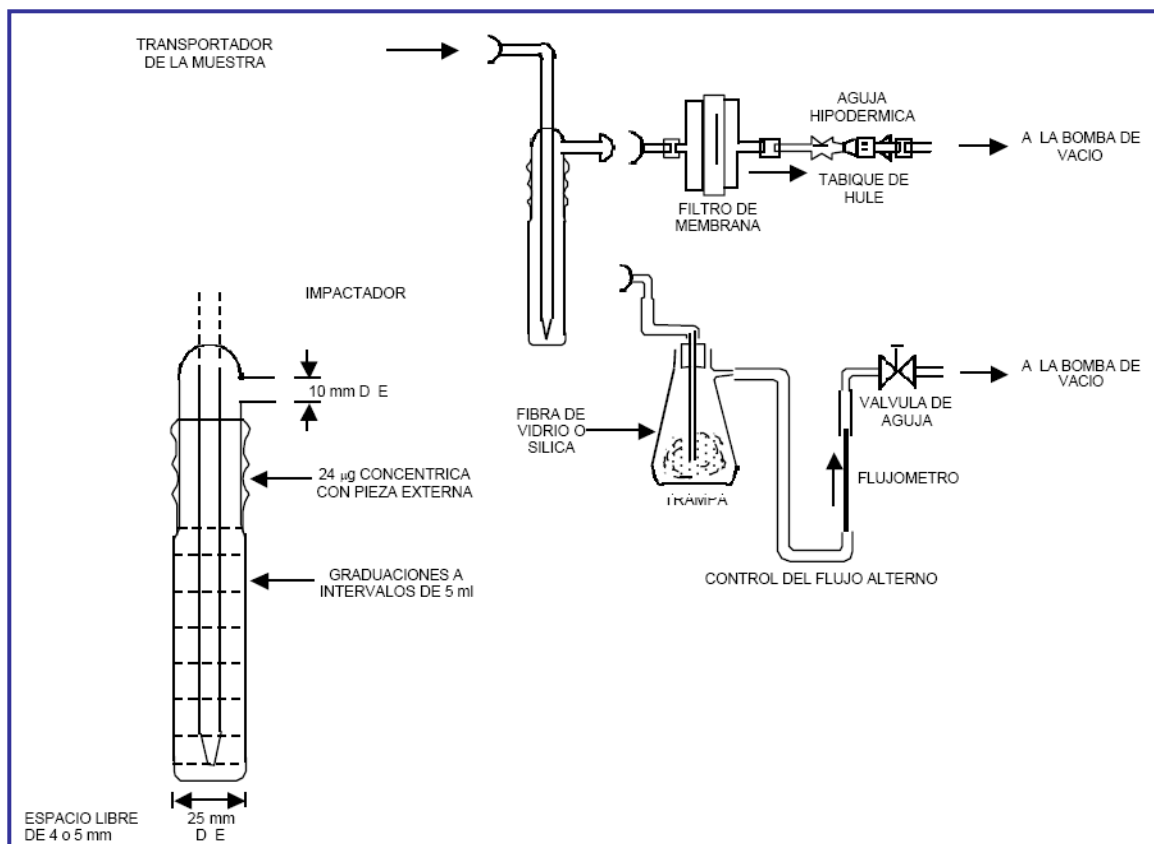


Figura 2. Trampa de Vidrio



- b) Equipo de calibración de flujo: Un medidor de burbuja o un medidor de gas húmedo o seco que permite medir un flujo de aire de 0.2 – 0.4 L/min y un reloj.
- c) Espectrofotómetro.
- d) Termómetro.
- e) Pipeta graduada de 10 ml.
- f) Cilindro graduado de 50 ml.
- g) Volumétricas de 25, 50, 100 y 1000 ml.
- h) Pipetas volumétricas de 1, 2, 3, 4 y 5 ml.

7. REACTIVOS

- Agua destilada. La pureza del agua puede verificarse según el siguiente procedimiento:
 - ◊ Mezclar 0.20 ml de una solución de permanganato de potasio (0.316 g/l), 500 ml de agua destilada y 1 ml de ácido sulfúrico concentrado en una botella de vidrio resistente químicamente, tapar la botella y dejar.

- ◇ Si el color rosa del permanganato no desaparece completamente después de una hora a temperatura ambiente, el agua puede usarse.
- ◇ Si el color del permanganato desaparece, el agua debe purificarse redestilándola con un cristal de hidróxido de bario y permanganato de potasio en un destilador de vidrio.
- Reactivo absorbente. Tetracloromercurato de potasio (TCM) 0.04 M:
 - ◇ Disolver 10.86 g de cloruro mercúrico, 0.066 g de EDTA y 6.0 g de cloruro de potasio en agua destilada. Mezclar y aforar a un litro.
 - ◇ El potencial de hidrógeno (pH) de este reactivo debe estar entre 3.0 y 5.0. Si el pH de la solución no está en este intervalo.
 - ◇ El reactivo absorbente es estable normalmente hasta por un período de 6 meses si se guarda en refrigeración. Si se nota la formación de un precipitado, dicha solución debe desecharse.
- Ácido sulfámico (0.6%). Disolver 0.06 g de ácido sulfámico en 100 ml de agua destilada. Este reactivo se debe preparar diariamente.
- Formaldehído (0.2%). Diluir 5 ml de una solución de formaldehído (36-38%) en 1000 ml con agua destilada. Preparar diariamente.
- Solución concentrada de Yodo (0.1 Normal). Pesar 12.7 g de yodo resublimado y colocarlo en un vaso de 250 ml; agregar 40 g de yoduro de potasio y 25 ml de agua destilada. Agitar hasta que se disuelva completamente, pasarlo a un matraz de 1,000 ml y aforar a ese volumen con agua destilada.
- Solución de Yodo (0.01 N). Preparar una solución de yodo 0.01 N, diluyendo 50 ml de la solución anterior (concentrada) en agua destilada, hasta un volumen de 500 ml.
- Solución indicadora de almidón. Mezclar 0.4 g de almidón soluble y 0.002 g de yoduro de mercurio (conservador) con suficiente agua destilada hasta formar una pasta. Agregarla lentamente a 200 ml de agua destilada hirviendo, continuar hirviendo hasta que la solución se aclare. Enfriar y guardar la solución en un frasco tapado.
- Ácido clorhídrico 1 N. Lentamente y mientras se agita, añadir 86 ml de ácido clorhídrico concentrado a 500 ml de agua destilada, dejar enfriar y diluir hasta 1000 ml con agua destilada.
- Solución de yodato de potasio. Pesar cuidadosamente, hasta el 0.1 mg más próximo, 1.5 g (peso registrado) de yodato de potasio de grado reactivo analítico, el cual previamente se debe secar a 180°C por lo menos durante 3

horas y enfriar en un secador. Disolver y después diluir con agua destilada en un matraz aforado de 500 ml.

- Solución concentrada de tiosulfato de sodio (0.1 N). Disolver 25 g de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) en 1000 ml de agua destilada recientemente hervida y enfriada. Agregar 0.1 g de carbonato de sodio a la solución. Dejarla reposar durante 24 horas antes de titularla.
- ◇ Para la titulación tomar con la pipeta cuidadosamente 50 ml de la solución de yodato de potasio. En un matraz de yodometría de 500 ml agregar 2 g de yoduro de potasio y 10 ml de ácido clorhídrico 1 N. Tapar el matraz y dejarlo reaccionar durante 5 minutos en la oscuridad. Titular con la solución de tiosulfato de sodio hasta un color amarillo pálido. Agregar 5 ml de la solución indicadora de almidón y continuar la titulación hasta que el color azul desaparezca. Calcular la normalidad de la solución en la forma siguiente:

$$N_s = \frac{P_i}{M} \times 2.80 \quad (1)$$

Donde:

N_s : Normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

P_i : Peso de yoduro de potasio en g.

M : Volumen de tiosulfato empleado en ml.

$$2.80 = \frac{103[\text{conversión de g a mg} \times 0.1 (\text{fracc. yodato})]}{35.67 (\text{peso equivalente del yodato de potasio})}$$

- ◇ Solución de tiosulfato de sodio (0.01 N), de trabajo. Tomar con la pipeta cuidadosamente 100 ml de solución concentrada de tiosulfato de sodio en un matraz aforado de 1000 ml, diluir a ese volumen con agua destilada recientemente hervida y enfriada.

Calcular la normalidad de la solución (N_t) como sigue:

$$N_t = N_s \times 0.100 \quad (2)$$

- ◇ Solución patrón de sulfito para la preparación de la solución TCM - sulfito. Disolver 0.30 g de metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ó 0.40 g de sulfito de sodio (Na_2SO_3) en 500 ml de agua destilada recién hervida y enfriada. La solución de sulfito es inestable, por eso es importante emplear agua de la más alta pureza para minimizar esta inestabilidad.
- ◇ Esta solución contiene el equivalente de 320-400 mg/ml de SO_2 . La concentración actual de la solución se determina agregando un exceso de iodo y titulando de nuevo con solución patrón de tiosulfato de sodio. Para esta titulación, tomar 2 muestras de 50 ml de la solución de iodo (0.01 N) con una pipeta volumétrica y colocarlos en dos matraces de yodometría de 500 ml cada uno (A y B).
- ◇ Agregar con una pipeta volumétrica 25 ml de agua destilada al matraz A (blanco) y al matraz B 25 ml de la solución de sulfito. Tapar los matraces y dejarlos reposar durante 5 minutos en la oscuridad. Preparar la solución de trabajo de sulfito – TCM inmediatamente antes de agregar la solución de iodo a los matraces. Titular con una bureta el contenido de los matraces A y B con solución de tiosulfato de sodio (0.01 N) hasta obtener una coloración amarillo pálido. Agregar 5 ml de solución indicadora de almidón y continuar la titulación hasta que desaparezca el color azul.
- ◇ Solución de trabajo de sulfito - TCM. Utilizar una pipeta volumétrica, medir exactamente 5 ml de la solución patrón de sulfito, depositarlos en un matraz aforado de 250 ml y diluir hasta la marca con la solución de TCM 0.04 M. La concentración de bióxido de azufre en esta solución se calcula en la forma siguiente:

$$\text{TCM}/\text{SO}_2 \text{ (g SO}_2 \text{ / ml)} = (\text{A} - \text{B}) (\text{Nt}) (32000) \times 20 \quad (3)$$

Donde:

A	: Volumen de tiosulfato para el blanco en ml.
B	: Volumen de tiosulfato para la muestra en ml.
Nt	: Normalidad de la solución de tiosulfato para titular a partir de la ecuación 2.
32000	: Mili equivalente en peso de SO_2 en mg.
25	: Volumen de la solución patrón de sulfito en ml.
0.02	: Factor de dilución.

Esta solución debe mantenerse estable por 30 días en refrigeración a 5°C , de lo contrario debe prepararse diariamente.

▪ Especificaciones para el indicador de pararrosanilina:

- ◇ La pararrosanilina debe tener una absorbancia máxima a una longitud de onda de 540 nm, cuando es probada en una solución amortiguadora de ácido acético acetato de sodio 0.1 M.

- ◇ La absorbancia del reactivo blanco sensible a la temperatura (0.015 unidades de absorbancia/°C) no debe exceder de 0.170 unidades de absorbancia a 22°C, con una longitud de trayecto óptico de 1 cm, cuando el blanco es preparado de acuerdo al procedimiento especificado.
 - ◇ La curva de calibración debe tener una pendiente igual a 0.030 ± 0.002 unidades de absorbancia por mg de SO₂ con una longitud de trayecto óptico de 1 cm, cuando el indicador es puro y la solución de sulfito es titulada adecuadamente.
 - ◇ Solución concentrada de pararrosanilina purificada (0.2% Nominal). Utilizar una solución de pararrosanilina altamente purificada (99-100% de pureza) que cumpla con las especificaciones mencionadas en el punto anterior, a una concentración de 0.20%. Si esto no es posible, el indicador puede ser purificado. La solución debe prepararse y después probarse según el procedimiento.
- Procedimiento de purificación de pararrosanilina(PRA):
- ◇ Colocar 100 ml de una solución de HCl 1N y 100 ml de 1-butanol en un embudo de separación de 250 ml y permitir que se equilibren. Considerar que algunos lotes de butanol contienen oxidantes que producen una demanda de SO₂. Antes de usar el 1-butanol, revisarlo, colocando 20 ml de 1-butanol y 5 ml de yoduro de potasio al 20% en un embudo de separación de 50 ml y agitarlo perfectamente. Si aparece un color amarillo en la fase del alcohol, destilar nuevamente el 1-butanol a partir del óxido de plata y coleccionar la fracción media, o bien utilizar un nuevo lote de 1-butanol.
 - ◇ Pesar 100 mg del indicador de pararrosanilina - ácido clorhídrico en un vaso pequeño de precipitados, añadir 50 ml de la fase ácida equilibrada contenida en el fondo del embudo de separación y dejarlo reposar por algunos minutos. Desechar la fase ácida restante del embudo de separación.
 - ◇ Añadir a un embudo de separación de 125 ml, 50 ml de 1-butanol equilibrado tomándolo de la porción superior del embudo de separación. Transferir la solución ácida que contiene el indicador al embudo y agitarlo cuidadosamente para su extracción. La impureza violeta será transferida a la fase orgánica.
 - ◇ Transferir la fase acuosa a otro embudo de separación, añadir 20 ml de 1-butanol equilibrado y extraer nuevamente.
 - ◇ Repetir el procedimiento de extracción con tres porciones más de 10 ml de 1-butanol equilibrado.
 - ◇ Después de la extracción final filtrar la fase ácida a través de un tapón de algodón en un matraz aforado de 50 ml y aforar con una solución de HCl 1N. Este reactivo concentrado será rojo amarillento.

- ◇ Para constatar la pureza de la PRA realizar el procedimiento de prueba y el ajuste de la concentración. Preparar un reactivo blanco, según se especifica más adelante; la absorbancia de este reactivo blanco a 540 nm debe ser menor de 0.170 a 22°C. Si la absorbancia es mayor de 0.170 bajo estas condiciones, se deben realizar extracciones adicionales.
- Procedimiento de prueba de PRA. La concentración de PRA debe ser determinada sólo una vez después de la purificación. Se recomienda que cualquier solución comercial de este indicador también sea probada. El procedimiento de prueba es el siguiente:
 - ◇ Preparar una solución amortiguadora concentrada de ácido acético-acetato de sodio 1M, con un pH de 4.79, disolver en un matraz aforado de 100 ml 13.61 g de acetato de sodio trihidratado con agua destilada, añadir 5.70 ml de ácido acético glacial y aforar con agua destilada.
 - ◇ Agregar con la pipeta, 1 ml de solución de PRA purificada o comercial en un matraz de 100 ml y aforar con agua destilada.
 - ◇ Transferir una alícuota de 5 ml de la solución diluida de PRA del paso anterior a un matraz aforado de 50 ml.
 - ◇ Agregar 5 ml de la solución amortiguadora de ácido acético-acetato de sodio 1M y diluir la mezcla aforando con agua destilada. Dejar reposar por 1 hora.
 - ◇ Medir la absorbancia de la solución del paso anterior a 540 nm con un espectrofotómetro, tomando como punto de referencia agua destilada. Calcular el por ciento de la concentración nominal de PRA de la siguiente manera:

$$\%PRA = \frac{A \times K}{P} \quad (4)$$

Donde:

A : Absorbancia de la solución final en unidades de absorbancia.

K : 21.3 para espectrofotómetro con una banda espectral menor a 15 nm y una longitud de trayecto de 1 cm.

P : Peso en gramos del indicador de PRA, usado en el procedimiento para la solución concentrada de 50 ml (0.100 g de PRA fue usado para preparar 50 ml de la solución en el proceso de purificación).

- Reactivo de pararrosanilina. En un matraz aforado de 250 ml adicionar 20 ml de solución purificada de pararrosanilina; agregar 0.2 ml adicionales por cada punto porcentual que la solución purificada haya dado abajo de 100%; agregar 25 ml de ácido fosfórico 3M, y aforar a 250 ml con agua destilada. Este reactivo es estable por un mínimo de 9 meses. La solución debe guardarse en un frasco color ámbar, lejos del calor y la luz.

8. MANTENIMIENTO

El mantenimiento de los equipos se realice en dos niveles:

Nivel 1. Mantenimiento preventivo: se efectúa de acuerdo a los manuales de operación y mantenimiento, proporcionados por la casa proveedora de los equipos.

Nivel 2. Mantenimiento correctivo. se realiza debido a los daños de los equipos que pueden ser imprevistos o debido al manejo inadecuado de equipos debido a falta de conocimiento sobre el funcionamiento de equipos por parte del personal que está a cargo de la operación de los mismos.

- a) Frecuencia de mantenimiento: está determinada por cada una de las tareas a realizar (ver hoja de mantenimiento Cuadro 2)
- b) Partes del equipo susceptibles:
 - Caja metálica de aluminio rectangular de dos compartimientos.
 - Bomba de vacío para aire.
 - Frascos absorbedores o burbujeadores.
 - Soporte metálico para absorbedores
 - Dispositivo de control de flujo (orificio crítico)
 - Medidor de tiempo.
 - Registrador de flujo.
 - Membrana porosa
 - Trampa de humedad
 - Muestreador
 - Sellos de las trampas
 - Dispositivo para el control de temperatura
 - Depósito del tren de muestreo.
 - Envase de transporte de la muestra.
 - Dispositivo de control de flujo.
- c) Pasos de mantenimiento:
 - Inspección visual: Revisión visual del estado del equipo y sus partes susceptibles, lo cual indica si están operando normalmente o si existe alguna alteración en su funcionamiento.
 - Limpieza: Hacer un aseo previo de los muestreadores y sus instalaciones, Líneas de muestreo y bombas de vacío de aire.
 - Control:
 - Verificación del funcionamiento adecuado del equipo y sus partes:
Caja metálica: verificar que cubra y proteja adecuadamente los frascos absorbedores, al muestreador de la lluvia y otros elementos del clima.
Muestreador: verificar que fije los frascos absorbedores dentro de la

coraza del muestreador. Evitar fugas que puedan producir errores en la medición del aire absorbido.

d) Cambio y mantenimiento:

- Líneas de muestreo
- Absorbedores y sus tapas.
- Trampa de humedad
- Comprobación de fugas
- Mantenimiento de bombas de muestreo
- Cambio de manómetros
- Limpieza de manómetros
- Cambio de orificios críticos

e) Test posterior de funcionamiento. Se prueba que los equipos cumplan con las condiciones de funcionamiento específicas, verificando el ajuste de piezas cambiadas, junto con los parámetros de caudal de flujo, caída de presión y voltaje; y que estas no sufran variaciones después del mantenimiento.

9. CALIBRACIÓN

Para asegurarse que los instrumentos y monitores operen adecuadamente, deben al momento de comenzar su funcionamiento en la Red estar calibrados y continuarse con un programa de chequeos periódicos que aseguran la calidad de la información que se está recolectando.

Debe ser efectuada dentro de los tres días posteriores a la puesta en operación y estabilización de un instrumento recién instalado, antes de desplazar o reubicar un instrumento que ha estado operando de acuerdo a las especificaciones cuando se ha efectuado una reparación mayor en el instrumento (por ejemplo, cambio de la bomba de muestreo, mantenimiento o reemplazo del tubo foto-multiplicador, limpiezas en las cámaras de reacción, etc).

Los monitores de contaminantes se calibran al iniciar su funcionamiento, con: un medidor de burbuja o un medidor de gas húmedo o seco que permita medir un flujo de aire de 0.2 a 0.4 L /min. y un reloj. Debe realizarse mediciones de:

- Voltaje
- Diferencias de presión
- Concentraciones
- Temperatura
- Tiempo
- Caudal de aire

Cuadro 2. Ficha de Mantenimiento Muestreador de Medio Volumen SO₂

FORMATO DE MANTENIMIENTO				
Estación:	Equipo:	Serial:	Contaminante:	
Lista de Tareas	Fecha (DD/MM/AA)			
Inspección Visual:				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caja metálica ▪ Bomba de vacío ▪ Frascos absorbedores ▪ Soporte metálico ▪ Dispositivo de control de flujo (orificio crítico) ▪ Medidor de tiempo ▪ Registrador de flujo ▪ Membrana porosa ▪ Trampa de humedad ▪ Muestreador ▪ Sellos de las trampa ▪ Medidor de temperatura ▪ Envase de transporte de la muestra 				
Limpieza de equipos				
Limpieza de instalaciones				
Control:				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flujo o caudal ▪ Caída de presión ▪ voltaje 				
Cambio y mantenimiento:				
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Filtros de fibra de vidrio ▪ Líneas de muestreo ▪ Absorbedores y sus tapas ▪ Trampa de humedad ▪ Comprobación de fugas ▪ Mantenimiento de bombas de muestreo ▪ Cambios de orificios críticos 				
Observaciones				
Nombre del operador				

FUENTE: Autor. Adaptado del Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

Con los cuales se obtiene una curva que nos indica el comportamiento de los datos emitidos por el equipo, en cada uno de los puntos de calibración tomados de acuerdo con el rango de medición del equipo.

Toda la información generada en los procesos anteriores queda también almacenada en forma magnética para su revisión inmediata o posterior. Transcurrido un mes calendario, toda la información recolectada se almacena como registro histórico en unidades de cintas magnéticas de gran capacidad de respaldo de información.

En general, los equipos se calibran (multipunto) al inicio del monitoreo, después de alguna reparación, cuando un chequeo de calibración cero/span muestra un cambio grande en el monitor con respecto a la calibración multipunto, y cada tres meses después de la última calibración.

Cuadro 3. Calibración Multipunto Muestreador de Medio Volumen

FORMATO DE CALIBRACIÓN MULTIPUNTO								
Estación:			Equipo:			Contaminante:		
Fecha		Humedad relativa		Presión Barométrica		Temperatura ambiente		
Variable Punto	Presión	Voltaje	Concentración	Respuesta del equipo	Temperatura	Presión barométrica	Tiempo	Caudal del aire
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

Observaciones:

Operador: _____

FUENTE: Autor. Adaptado del Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

10. TOMA DE MUESTRAS

Consiste en un equipo formado por los siguientes elementos:

- Filtro para la retención de partículas
- Burbujeador para recoger la muestra de gases
- Contador de gas

- Bomba aspirante

Descripción en la instalación: Los distintos elementos del equipo deben conectarse mediante tubos de vidrio o de material plástico inerte y preferiblemente de 8 milímetros de diámetro interior en el mismo orden en que se han descrito anteriormente.

Para comunicar el conjunto con el exterior deberá conectarse un tubo de material plástico en la entrada del portafiltros. En el extremo opuesto se colocará un embudo de un diámetro comprendido entre 3 y 5 centímetros. La longitud total de este tubo no será mayor de 6 metros ni tendrá curvaturas con un radio inferior a 5 Centímetros. En todo caso, la captación de aire por la toma de muestras deberá reunir las siguientes condiciones:

- El eje del embudo de toma de aire deberá ocupar posición vertical con el vástago hacia arriba.
- Desde el suelo a la entrada del aire debe haber una distancia vertical mínima de 3 metros.
- La distancia horizontal entre cualquier parámetro vertical y la entrada de aire no será menor de 0.50 metros.

Procedimientos de utilización: para cada contaminante específico se introducirá en el portafiltros la superficie filtrante que le corresponda y en el Burbujeador la solución captadora adecuada. En ese momento se anotará la lectura del contador y a continuación se pondrá en funcionamiento la bomba. Una vez transcurrido el período de toma de muestras se parará la bomba procediendo a una nueva lectura del contador. La diferencia de lecturas determinará el volumen del aire captado, el cual será reducido a condiciones normales.

11. PROCEDIMIENTO PARA EL MUESTREO, METODO DE REFERENCIA

Los muestreos pueden efectuarse por períodos cortos (30 minutos-1 hora) y por períodos largos (24 horas). Se pueden seleccionar diferentes combinaciones del volumen de reactivo absorbente y tiempos y velocidades de muestreo para cubrir necesidades específicas. Otras condiciones que no sean las especificadas deben ajustarse de manera que se mantenga una linealidad entre la absorbancia y la concentración sobre el intervalo dinámico.

No deben utilizarse volúmenes de reactivos absorbentes menores de 10 ml. La eficiencia de captación es de 98% para las condiciones antes descritas; sin embargo, la eficiencia disminuye sustancialmente a concentraciones menores de 25 mg SO₂/m³.

- Muestreo para 30 minutos y 1 hora
 - ◇ Colocar 10 ml de reactivo absorbente TCM en un burbujeador pequeño y sellado con una película fina de grasa de silicón alrededor del punto de unión. Insertar el burbujeador sellado en el tren de muestreo según se muestra en la Figura 2 verificando que todas las conexiones entre los componentes no tengan fugas.
 - ◇ Pueden utilizarse juntas de teflón para evitar fugas en las partes del tren de muestreo que entran en contacto con la muestra del aire que contiene el SO₂.
 - ◇ Proteger el reactivo absorbente de la luz solar directa cubriendo un burbujeador con papel aluminio o resguardando el tren de muestreo en una caja a prueba de luz. Determinar la velocidad de flujo según se indica más adelante. Colectar la muestra a 1 ± 0.10 l/min para muestreos de 30 minutos ó 0.500 ± 0.5 l/min para muestreos de 1 hora. Registrar el tiempo exacto de muestreo en minutos así como la presión y temperatura atmosféricas.

- Muestreo para 24 horas
 - ◇ Colocar 50 ml de solución absorbente TCM en un absorbedor grande, cerrar la tapa y en caso necesario, sellarlo con el material que se ha indicado.
 - ◇ Insertar el absorbedor sellado y colocarlo en el tren de muestreo según se señala en la Figura 1. En ese momento verificar que la temperatura del absorbedor se encuentre entre $15 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Debe controlarse la temperatura durante el muestreo para evitar la descomposición del complejo colectado. Desde el inicio hasta su análisis, la solución absorbente debe protegerse de la luz directa del sol.
 - ◇ Determinar la velocidad de flujo de la muestra, según los procedimientos que más adelante se indican. Recolectar la muestra durante 24 horas, de media noche a media noche, a una velocidad de flujo de 0.200 ± 0.020 l/min. Es de gran ayuda un cronómetro para marcar el inicio y el fin del muestreo, así como para la medición del tiempo transcurrido.

- Medición de flujo
 - ◇ Calibración: Los dispositivos para la medición in situ, de la velocidad de flujo deben calibrarse contra un volumen o flujo patrón, como un medidor de burbujas certificado o un probador húmedo calibrado. Los rotámetros u orificios críticos utilizados en el tren de muestreo pueden ser calibrados si se desea, como una medida para el control de calidad, pero no reemplaza la calibración in situ que adelante se indica. Los rotámetros en línea se calibran in situ, con el volumen apropiado de solución en el absorbedor.
 - ◇ Determinación in situ de la velocidad de flujo: Para muestras por períodos cortos la velocidad de flujo patrón se determina al inicio y al término de la recolección de la muestra con un dispositivo calibrado de medición

conectado a la entrada del absorbedor. Para muestras de 24 horas la velocidad de flujo se determina con un dispositivo calibrado en el momento en que el absorbedor se coloca en el tren de muestreo y nuevamente cuando el absorbedor es retirado del tren para su envío al laboratorio. La determinación de la velocidad de flujo debe efectuarse con todos los componentes del sistema de muestreo en operación. A continuación se presenta la ecuación para determinar la velocidad de flujo patrón, cuando se utiliza un medidor calibrado de desplazamiento positivo como instrumento para la medición de la velocidad de flujo. Se pueden utilizar otros dispositivos calibrados para la medición de velocidad de flujo, siempre que el usuario aplique ajustes adecuados en función de la temperatura y presión.

$$Q_{ptn} = Q_{act} \times \frac{P_b - (1 - HR) P_{H_2O}}{P_{ptn}} \times \frac{298}{T_{act}} \quad (5)$$

Donde:

Q_{ptn} : Velocidad de flujo en condiciones de referencia expresado en litros patrón por minuto (l_{ptn}/min) a 298 k y 101 kPa (25°C y 760 mm Hg).

Q_{act} : Velocidad de flujo en el sitio de monitoreo en l/min.

P_b : Presión barométrica en el sitio de monitoreo kPa ó en mm Hg.

HR : Fracción de la humedad relativa del aire que está siendo medido.

P_{H_2O} : Presión de vapor del agua a la temperatura del aire en el flujo o volumen patrón en kPa ó mm Hg (para patrones de volúmenes húmedos, por ejemplo medidores de flujo de burbujas o probadores húmedos; y para patrones secos, por ejemplo probadores secos, ($P_{H_2O} = 0$)).

P_{ptn} : Presión barométrica patrón, 101 kPa ó 760 mm Hg.

T_{act} : Temperatura del aire en el flujo o volumen patrón en K (medidores de burbujas).

Si la velocidad de flujo inicial (Q_i) difiere de la velocidad de flujo del orificio crítico o de la velocidad de flujo indicado por el medidor en el tren de muestreo (Q_c) por más del 5% según se determine en la siguiente ecuación, se debe verificar la presencia de fugas y volver a determinar Q_i :

$$\% \text{ dif} = \frac{Q_i - Q_c}{Q_c} \times 100 \quad (6)$$

Si después de sellar las fugas detectadas la diferencia entre la velocidad de flujo inicial (Q_i) y la final (Q_f) calculada con la ecuación siguiente es mayor del 5%, se debe desechar la muestra.

$$\% \text{ dif} = \frac{Q_i - Q_f}{Q_f} \times 100 \quad (7)$$

- Manejo y almacenamiento de las muestras. Retirar el burbujeador o el absorbedor del tren de muestreo y tapar inmediatamente. Verificar que la temperatura del absorbedor no esté por arriba de los 25°C. Marcar el nivel de la solución con una señal provisional. Si la muestra no va a ser analizada dentro de las 12 horas siguientes del muestreo, debe refrigerarse a $5 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta el momento del análisis, el cual no se efectuará después de 30 días. Si la muestra es transportada por períodos mayores de 12 horas, debe hacerse en un sistema de refrigeración por lapsos menores de 48 horas.

12. ANÁLISIS DE LA MUESTRA

- Medir la temperatura del absorbedor cuando se reciba el envío. Desechar la muestra si la temperatura es superior a 10°C. Almacenar la muestra a $5 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta que sea analizada.
- Calibración analítica: Si las celdillas espectrofotométricas que se usan no son iguales se debe utilizar un factor de corrección.
- Procedimiento de calibración estática (opción 1).
 - ◇ Preparar una solución diluida de sulfito-TCM diluyendo 10 ml de la solución de trabajo de sulfito-TCM en 100 ml de reactivo absorbente de TCM. Tomar cuidadosamente los volúmenes de soluciones de sulfito-TCM indicados en la tabla 1, en una serie de matraces volumétricos de 25 ml.
 - ◇ Añadir reactivo absorbente de TCM según se indica, para completar un volumen de 10 ml en cada matraz.

CUADRO N. Volumen de sulfito-TCM

Solución	Volumen de la solución de sulfito-TCM	Volumen de TCM ml	Total de SO ₂ mg (aprox.)*
Sulfito-TCM	4.0	6	28.8
Sulfito-TCM	3.0	7	21.6
Sulfito-TCM	2.0	8	14.4
Sulfito-TCM diluida	10.0	0	7.2
Sulfito-TCM diluida	5.0	5	3.6
Sulfito-TCM diluida	0.0	10	0.0

FUENTE: INE (Instituto Nacional de Ecología México)

* Basado en una concentración de trabajo de sulfito-TCM de 7.3 m SO₂; los mg SO₂ totales actuales deben ser calculados usando la ecuación.

- ◇ A cada matraz volumétrico añadir 1 ml de ácido sulfámico al 0.6% por medio de pipeta 2 ml de solución de formaldehído al 0.2% y 5 ml de solución de PRA.
- ◇ Aforar todos los matraces con agua destilada recientemente hervida y enfriada, mezclando perfectamente. El color debe desarrollarse durante un período de 30 minutos a temperatura ambiente controlada en el intervalo de 20 a 30°C ± 1°C. Para mayor precisión se recomienda un baño a temperatura constante durante el desarrollo del color. Después de 30 minutos determinar la absorbancia corregida para cada patrón a 548 nm contra agua destilada como referencia. Registrar esta absorbancia como (A).
- ◇ Debe utilizarse agua destilada en la celdilla de referencia en lugar del reactivo blanco, debido a su sensibilidad a la temperatura. Calcular el total de microgramos de SO₂ en cada solución con la siguiente ecuación:

$$\text{mg SO}_2 = V_{\text{TCM/SO}_2} \times C_{\text{TCM/SO}_2} \times D \quad (8)$$

Donde:

$V_{\text{TCM/SO}_2}$: Volumen de la solución utilizada de sulfito-TCM en ml.

$C_{\text{TCM/SO}_2}$: Concentración de SO₂ en la solución de sulfito-TCM en mg SO₂/ml.

D : Factor de dilución (D= 1 para la solución de sulfito-TCM; D= 0.1 para la solución diluida de sulfito-TCM).

- ◇ La ecuación para la calibración se determina utilizando el método de mínimos cuadrados. El total de microgramos de SO₂ contenido en cada solución es la variable x. La absorbancia corregida asociada a cada solución es la variable y. Para que la calibración sea válida, la pendiente debe estar dentro de un rango de 0.030 ± 0.002 unidades de absorbancia/mg SO₂, la intercepción se determina por el método de mínimos cuadrados y debe ser igual o menor de 0.170 unidades de absorbancia cuando el color se desarrolla a 22°C (añadir 0.015 a esta especificación de 0.170 por cada °C arriba de 22°C) y el coeficiente de correlación debe ser mayor de 0.998. Si no se cumplen estos criterios puede ser resultado de una impureza o de una estandarización inadecuada de la solución de sulfito-TCM. El factor de calibración (B_s) se determina calculando el recíproco de la pendiente y se utiliza posteriormente para calcular la concentración de la muestra.
- Procedimiento de calibración dinámica (opción 2):
 - ◇ Preparar mediante dispositivos de permeación, atmósferas que contengan concentraciones conocidas de bióxido de azufre.

- ◇ En los sistemas de generación de estas atmósferas el tubo de permeación emite gas SO₂ a una velocidad constante, baja y conocida, si el tubo se mantiene a una temperatura estable ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) y ha sido calibrado para la temperatura a la cual se va a utilizar. El gas SO₂ del tubo de permeación es acarreado por un gas inerte hacia una cámara de mezclado, en donde se diluye exactamente con aire libre de SO₂ hasta la concentración deseada y después se toma la muestra. Este sistema está contenido esquemáticamente en el cuadro A. Todos los dispositivos de permeación deben ser referidos a un patrón primario certificado.
- Procedimiento alternativo de calibración (opción 2A):
 - ◇ Procedimiento mediante la generación de seis atmósferas patrón que se acepta como válido para muestras de 30 minutos y una hora, calculándose como sigue:

$$C_a = \frac{P_r \times 10^3}{(Q_d + Q_p)} \quad (9)$$

Donde:

C_a : Concentración de SO₂ a condiciones patrón en mg/m³.
 P_r : Velocidad de permeación en mg/min.
 Q_d : Velocidad de flujo del aire de dilución en l_{ptn}/min.
 Q_p : Velocidad de flujo del gas de acarreo a través del sistema de permeación, en l_{ptm}/min.

- Equipo para análisis de muestras. El equipo mínimo necesario para el análisis de las muestras es el siguiente:
 - ◇ Espectrofotómetro. Se debe utilizar un espectrofotómetro capaz de medir absorbancias a 548 nm, con un ancho de banda espectral efectiva de por lo menos 15 nm. Si el espectrofotómetro mide la transmitancia, haga la conversión de la siguiente manera:

$$A = \log (1/T) \quad (10)$$

Donde:

A : Absorbancia.
 T : Transmitancia ($0 < T < 1$).

- ◇ Filtro de longitud: Debe utilizarse un filtro de longitud de onda certificada con el fin de verificar la calibración de la misma, según el procedimiento correspondiente.
- ◇ La calibración debe verificarse al momento de la recepción y después de 160 horas de uso o cada 6 meses, lo que ocurra primero.
- ◇ Celdillas del espectrofotómetro Se utiliza un juego de celdillas de 1 cm de longitud para la región visible de la luz.
- Dispositivo de control de temperatura
 - ◇ El desarrollo del color durante el análisis debe efectuarse a un intervalo de temperatura entre 20 - 30°C controlado a $\pm 1^\circ\text{C}$.
 - ◇ La calibración y análisis de las muestras deben efectuarse en condiciones idénticas (dentro de 1°C). Una temperatura adecuada puede lograrse con baños de temperatura constante y baños de agua con control manual de temperatura o en cuartos con temperatura controlada.
- Material común de laboratorio: Debe utilizarse equipo de diversas capacidades para preparar y estandarizar reactivos y patrones, así como para uso de soluciones durante el análisis. Se incluyen pipetas, buretas y matraces.
- Receptáculo para residuos de TCM: Se requiere un receptáculo de vidrio para almacenar la solución de TCM gastada, colocado bajo una campana, tapado todo el tiempo.
- Preparación y análisis de la muestra
 - ◇ Para la preparación y análisis de la muestra se deben retirar las muestras de la caja de envío. Si el envío excede 12 horas después de terminado el muestreo, verificar que la temperatura sea menor de 10°C , si no se cumple esta condición o bien si hubo una pérdida importante (más de 10 ml) de la muestra durante el envío, desechar la muestra y hacer la anotación respectiva.
 - ◇ Preparación de la muestra. La muestra para análisis se prepara de la siguiente manera: Para muestras de 30 minutos o 1 hora, transferir cuantitativamente 10 ml de solución absorbente a un matraz de 25 ml y enjuagar con una pequeña cantidad de agua destilada (< 5 ml).

Para muestras de 24 horas, si el volumen de la muestra es menor que el volumen original de 50 ml (ver la marca permanente en el absorbedor), ajustar este volumen al original con agua destilada para compensar la pérdida de agua por evaporación durante el muestreo y el envío. Si el volumen final es mayor que el volumen original, debe medirse utilizando una probeta. Para analizar, tomar con la pipeta 10 ml de la solución y agregarla a un matraz de 25 ml.

- Análisis de la muestra.
 - a) Para cada grupo de determinaciones preparar un reactivo blanco, añadiendo 10 ml de solución absorbente TCM a un matraz de 25 ml y dos patrones de control conteniendo aproximadamente 5 y 15 mg de SO₂ respectivamente. Los patrones de control se preparan, como se indicó anteriormente. El análisis se desarrolla de la siguiente manera:
 - ◇ Dejar reposar la muestra por 20 minutos después de terminar el muestreo con el fin de permitir que se descomponga cualquier concentración remanente de ozono.
 - ◇ Añadir 1 ml de ácido sulfámico al 0.6% a cada uno de los matraces de 25 ml que contiene el reactivo blanco de la muestra o del patrón de control y dejarla reaccionar durante 10 minutos.
 - ◇ Agregar con pipeta 2 ml exactos de la solución de formaldehído al 0.2% y después 5 ml de solución de pararrosanilina a cada uno de los matraces. Poner el cronómetro por 30 minutos.
 - ◇ Aforar cada matraz con agua destilada recientemente hervida y enfriada y mezclar perfectamente.
 - ◇ Durante los 30 minutos las soluciones deben permanecer en un ambiente con temperatura controlada entre 20 y 30°C ± 1°C.
 - ◇ Esta temperatura también debe estar dentro de 1°C de diferencia de la temperatura utilizada durante la calibración.
 - ◇ Después de 30 minutos, pero antes de 60, determinar las absorbancias corregidas de cada solución a 548 nm, utilizando celdillas de 1 cm de longitud de trayecto óptico. Utilizar agua destilada como referencia.
 - ◇ Evitar que la solución coloreada permanezca en las celdillas, ya que puede formarse una película. Limpiar las celdillas con alcohol isopropílico después de usarse.
 - b) El reactivo blanco debe estar dentro de 0.003 unidades de absorbancia de la intersección de la ecuación de la calibración determinada en el procedimiento de calibración estática.
 - ◇ Si la absorbancia de la solución de la muestra se encuentra entre 1.0 y 2.0, la muestra puede diluirse 1:1 con un volumen de reactivo blanco, redeterminando la absorbancia a los 5 minutos.
 - ◇ Las soluciones con absorbancia mayores pueden diluirse hasta 6 veces con el reactivo blanco, a fin de obtener una escala de lecturas menor a 1.0 unidades de absorbancia. Sin embargo, se recomienda que una pequeña porción (menos de 10 ml) de la muestra original sea reanalizada (de ser posible), si la muestra requiere una dilución mayor de 1:1.
 - ◇ Todos los reactivos que contengan compuestos de mercurio deben ser guardados y desechados empleando uno de los procedimientos que se indican adelante. Hasta que sean desechados deben guardarse en depósitos de vidrio y permanecer en campana de extracción.

- c) Para calcular la pendiente de la calibración, intersección y coeficiente de correlación, se utiliza el método de mínimos cuadrados a través de la siguiente ecuación:

$$y = mx + b \quad (11)$$

Donde:

- y : Absorbancia corregida.
m : Pendiente en unidades de absorbancia/mg SO₂.
x : Microgramos de SO₂.
b : Intersección de y, unidad de absorbancia.

La pendiente (m), la intersección (b) y el coeficiente de correlación (r) se calculan de la siguiente manera:

$$m = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (12)$$

$$b = \frac{\sum y - m\sum x}{n} \quad (13)$$

$$r = \left(\frac{m (\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n})}{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}} \right)^{1/2} \quad (14)$$

Donde

- n : es el número de los puntos de calibración.

- ◇ El volumen total de la muestra en condiciones patrón se determina de la siguiente manera:

$$V_{ptn} = \frac{Q_i + Q_f}{2} \times t \quad (15)$$

Donde:

- V_{ptn} : Volumen muestreado en l_{ptn}.
Q_i : Velocidad de flujo patrón al inicio del muestreo en L_{ptn}/min.
Q_f : Velocidad de flujo al término del muestreo en L_{ptn}/min.
T : Tiempo total de muestreo en min.

- d). Para el cálculo de la concentración de cada muestra de bióxido de azufre se aplica la siguiente ecuación:

$$\mu\text{g SO}_2 / \text{m}^3 = \frac{(A - A_o) (B_x) (10^3)}{V_{\text{ptn}}} \times \frac{V_2}{V_a} \quad (16)$$

Donde:

A : Absorbancia corregida de la solución de la muestra.

A_o : Absorbancia corregida del reactivo blanco.

B_x : Factor de calibración igual a Bs, Bg o Bt dependiendo del procedimiento de calibración empleado, es el recíproco de la pendiente de la ecuación de calibración.

V_a : Volumen de la solución absorbente analizada en ml.

V_b : Volumen total de la solución en el absorbedor en ml.

V_{ptn} : Volumen de aire patrón muestreado en L_{ptn}.

- ◇ La concentración resultante del análisis de los patrones de control se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_q = (A - A_o) \times B_x \quad (17)$$

Donde:

C_q : mg SO₂ analizados en cada patrón de control.

A : Absorbancia corregida del patrón de control.

A_o : Absorbancia corregida del reactivo blanco.

B_x : Factor de calibración igual a Bs, Bg o Bt dependiendo del procedimiento de calibración empleado, es el recíproco de la pendiente de la ecuación de calibración.

- ◇ La diferencia entre los valores reales y los analizados de los patrones de control no deben ser mayores de 1 mg. Si la diferencia es mayor a 1 g, debe identificarse el origen de esta divergencia y corregirse.
- ◇ Conversión de mg/m³ a ppm (v/v). Si se desea la concentración de bióxido de azufre a las condiciones de referencia, puede convertirse a ppm SO₂ (v/v) de la siguiente manera:

$$\text{ppm SO}_2 = \frac{(\mu\text{g SO}_2)}{\text{m}^3} 3.82 \times 10^{-4} \quad (18)$$

- e) La solución absorbente de TCM y cualquier reactivo que contenga compuestos de mercurio debe ser sometida a tratamiento y desechado por cualquiera de los métodos que se señalan más adelante. Ambos métodos remueven más del 99.99% del mercurio.

f) . Método para la formación de una amalgama.

- ◇ Colocar la solución de desecho en un recipiente destapado dentro de una campana.
- ◇ Añadir aproximadamente 10 g de carbonato de sodio por cada litro de solución de desecho hasta que ocurra la neutralización (puede utilizarse NaOH).
- ◇ Añadir 10 g de zinc granulado o magnesio después de la neutralización.
- ◇ Agitar la solución en una campana por 24 horas. Se debe tener precaución, puesto que se emite gas de hidrógeno durante este proceso de tratamiento.
- ◇ Reposar la solución para que la amalgama de mercurio (material negro sólido) se deposite en el fondo del recipiente de desecho.
- ◇ Decantar y desechar el líquido sobrenadante.
- ◇ Transferir cuantitativamente el material sólido a otro recipiente y dejarlo secar.
- ◇ Enviar el material sólido a una planta de recuperación de mercurio, el que no debe ser desechado.

g) Método mediante tiras de papel aluminio.

- ◇ Colocar la solución de desecho en un recipiente destapado dentro de una campana.
- ◇ Añadir aproximadamente 10 g de tiras de papel aluminio por cada litro de solución de desecho. Si se consume todo el aluminio y no se emite gas, añadir otros 10 g de papel aluminio.
- ◇ Repetir hasta que no se consuma más papel aluminio y dejar que los gases emanen por 24 horas.
- ◇ Decantar el líquido sobrenadante y desecharlo.
- ◇ Transferir el mercurio elemental que se ha depositado en el fondo a un recipiente que sirva para su depósito.
- ◇ Enviar el material sólido a una planta de recuperación de mercurio, el que no debe ser desechado.

13. REPORTES

- La medición se hace en períodos de 24 horas con una frecuencia de cada seis días o de una cada tres días, mediante el uso de procesos manuales.
- Para reportar los valores al público, se calculan las concentraciones en mg/m^3 del período de muestreo, en partes por millón, en promedios por minuto y a partir de éstos, se calculan los promedios horarios, reportándose el promedio de los 24 promedios horarios del día.

Cuadro 4. Calculo de Concentración en el Laboratorio de SO₂

FORMATO CALCULOS DE LABORATORIO PARA NO ₂										
Estación:				Equipo:				Serial:		Contaminante:
Muestra	Fecha	Absorba Muestra (A)	Absorba Blanco (B)	Pendiente (B _x)	r (L/min)	T (min)	Volumen Aire (L) *	Va (ml) *	Vb (ml)	Concentración µg SO ₂ / m ³
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Observaciones: _____

Operador: _____

* Volumen de aire corregido para 25 °c y 760 mm Hg

FUENTE: Autor. Adaptado del Diseño RMCA Pasto Moncayo Garzón, Resideño RMCA Ibagué González

ANEXO K

CARTOGRAFÍA

- Uso de Suelo.
- Ubicación Fuentes Fijas de Contaminación Atmosférica.
- Ubicación de Vías de Mayor Flujo Vehicular.
- Concentración de Contaminantes Criterio (Modelación ISCLT PST).
- Concentración de Contaminantes Criterio (Modelación ISCLT SO₂).
- Concentración de Contaminantes Criterio (Modelación ISCLT NO_x).
- Ubicación Estaciones de Monitoreo de la Red para el Eje Industrial de San José de Cúcuta.
- Ubicación Estaciones de Monitoreo Propuestas para el Área Metropolitana de San José de Cúcuta.

REDISEÑO DE LA RVCA
ÁREA METROPOLITANA
DE CÚCUTA

PLANO 1. USO DEL SUELO
SAN JOSÉ CÚCUTA



YAJAIRA MANOSALVA
CESAR E. PIÑEROS

2006

Río Pamplonita

USO DE SUELO

Aeropuerto

Bodega

Comercio

Culto

Educación

Industria

Institucional

Lote

Parque

Recreacional

Salud

Servicios Funerarios

Vivienda

TIPO DE SUELO

Parque Longitudinal

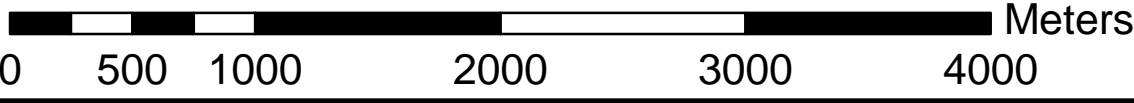
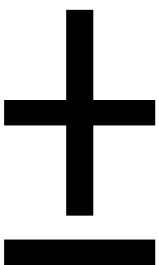
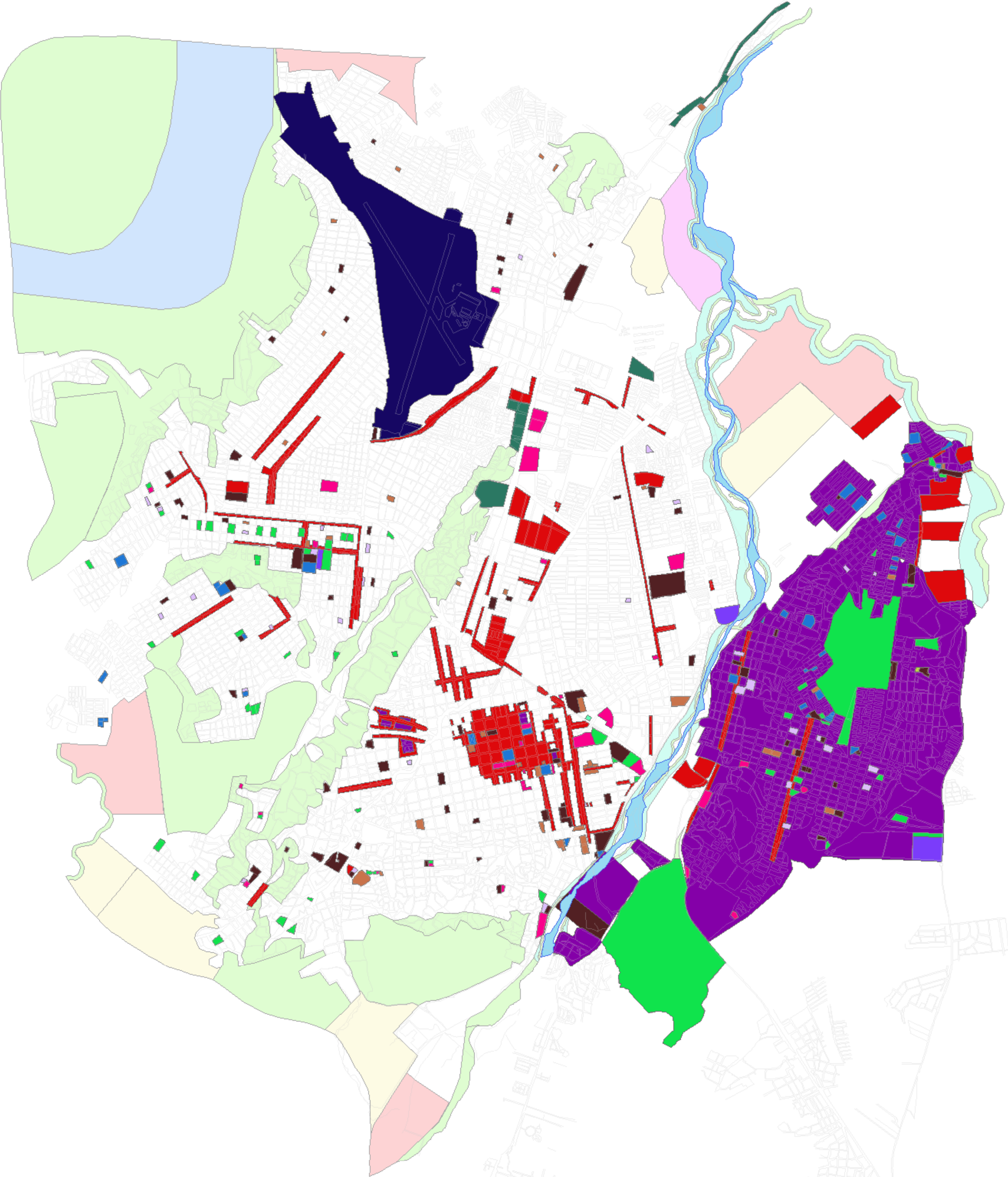
Suelo Suburbano

Suelo de Expansión a Corto Plazo

Suelo de Expansión a Largo Plazo

Suelo de Expansión a Mediano Plazo

Suelo de protección



REDISEÑO DE LA RVCA
ÁREA METROPOLITANA
DE CÚCUTA

PLANO 3. VÍAS DE MAYOR
FLUJO VEHICULAR



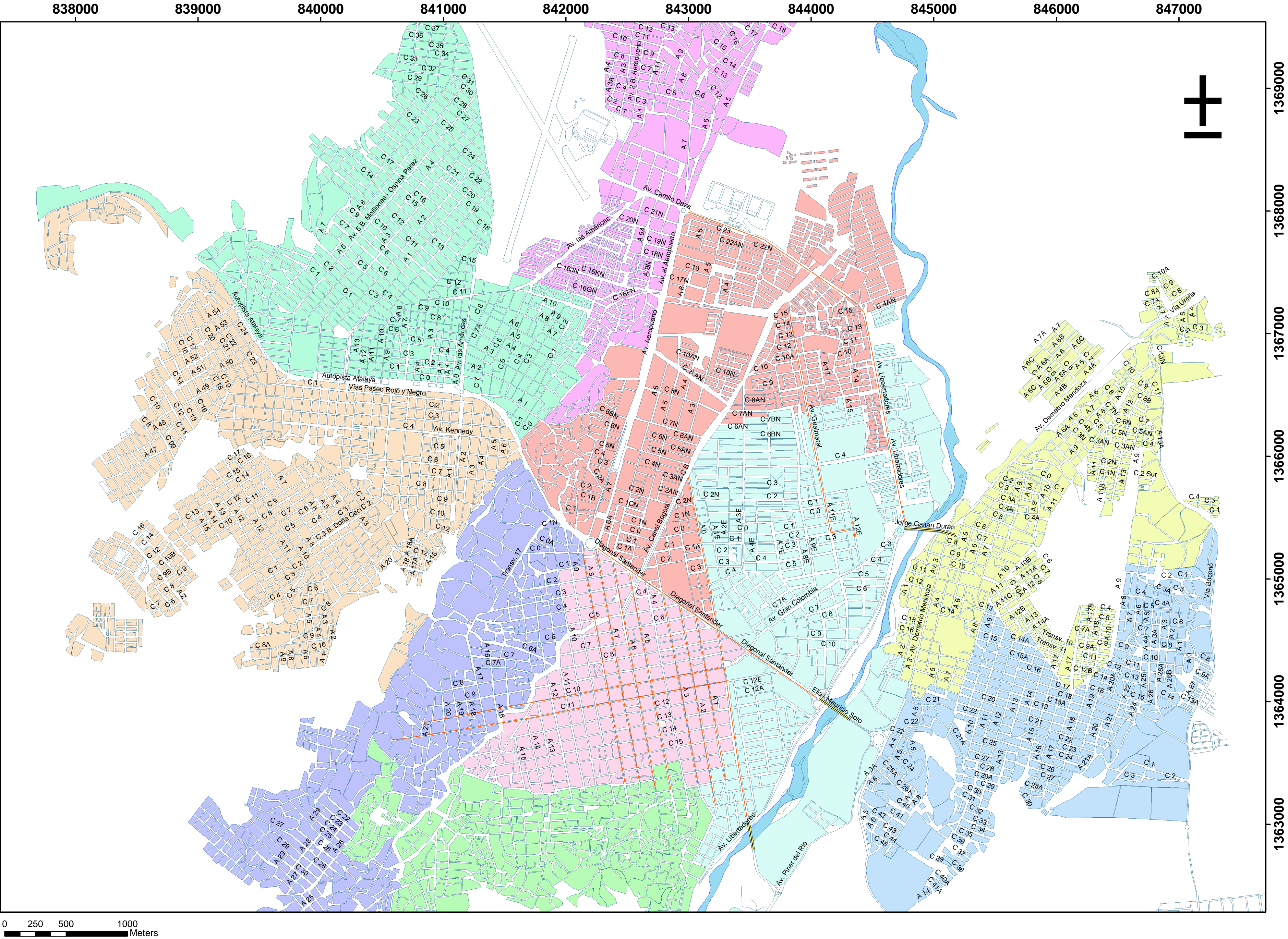
UNIVERSIDAD DE LA SALLE

YAJAIRA MANOSALVA
CESAR E. PIÑEROS

2006

- Río Pamplonita
- Puentes
- Fuentes Móviles

COMUNA



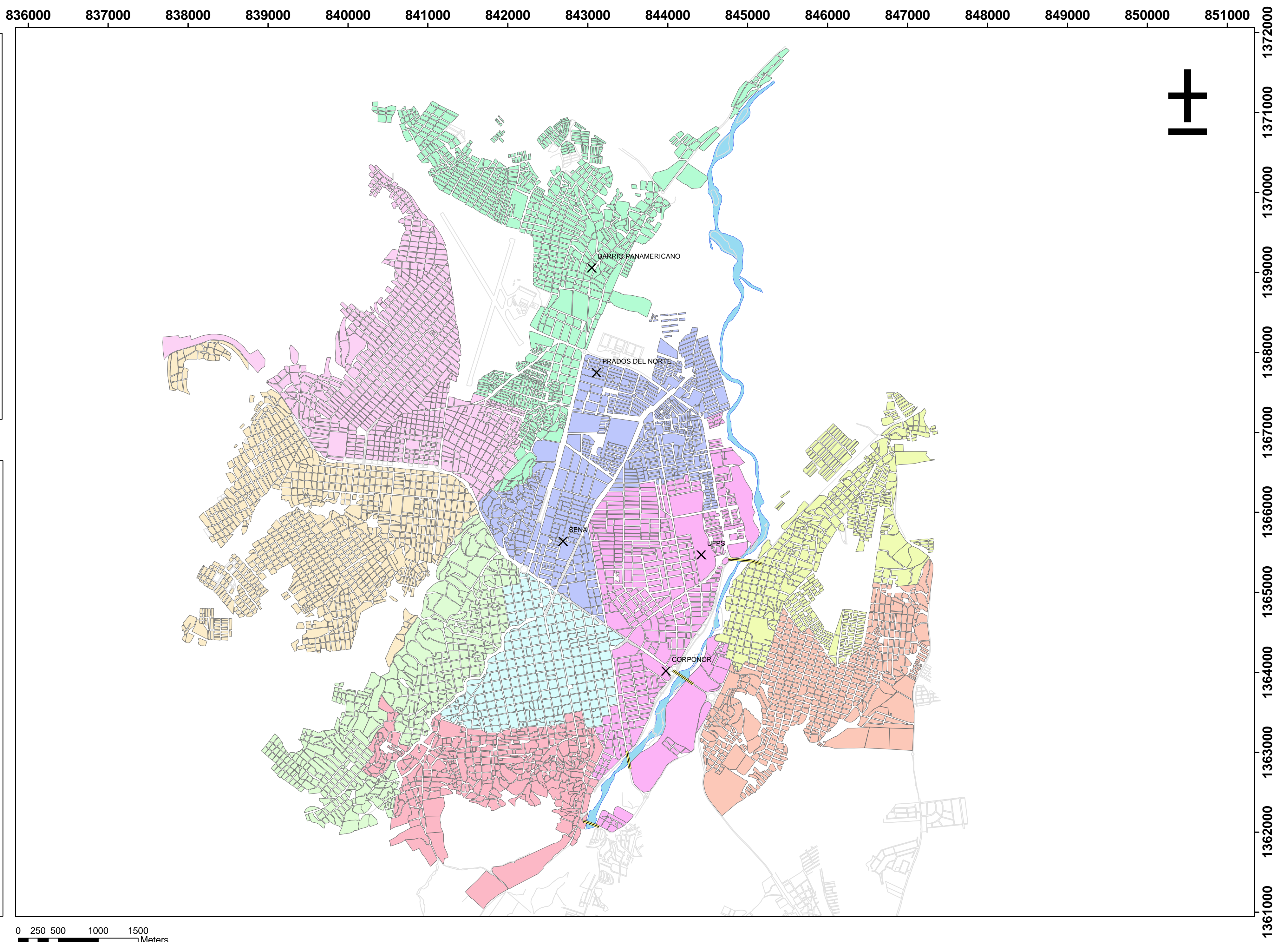
REDISEÑO DE LA RVCA
ÁREA METROPOLITANA
DE CÚCUTA

PLANO 4.
ESTACIONES DE LA RVCA
EJE INDUSTRIAL DE
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

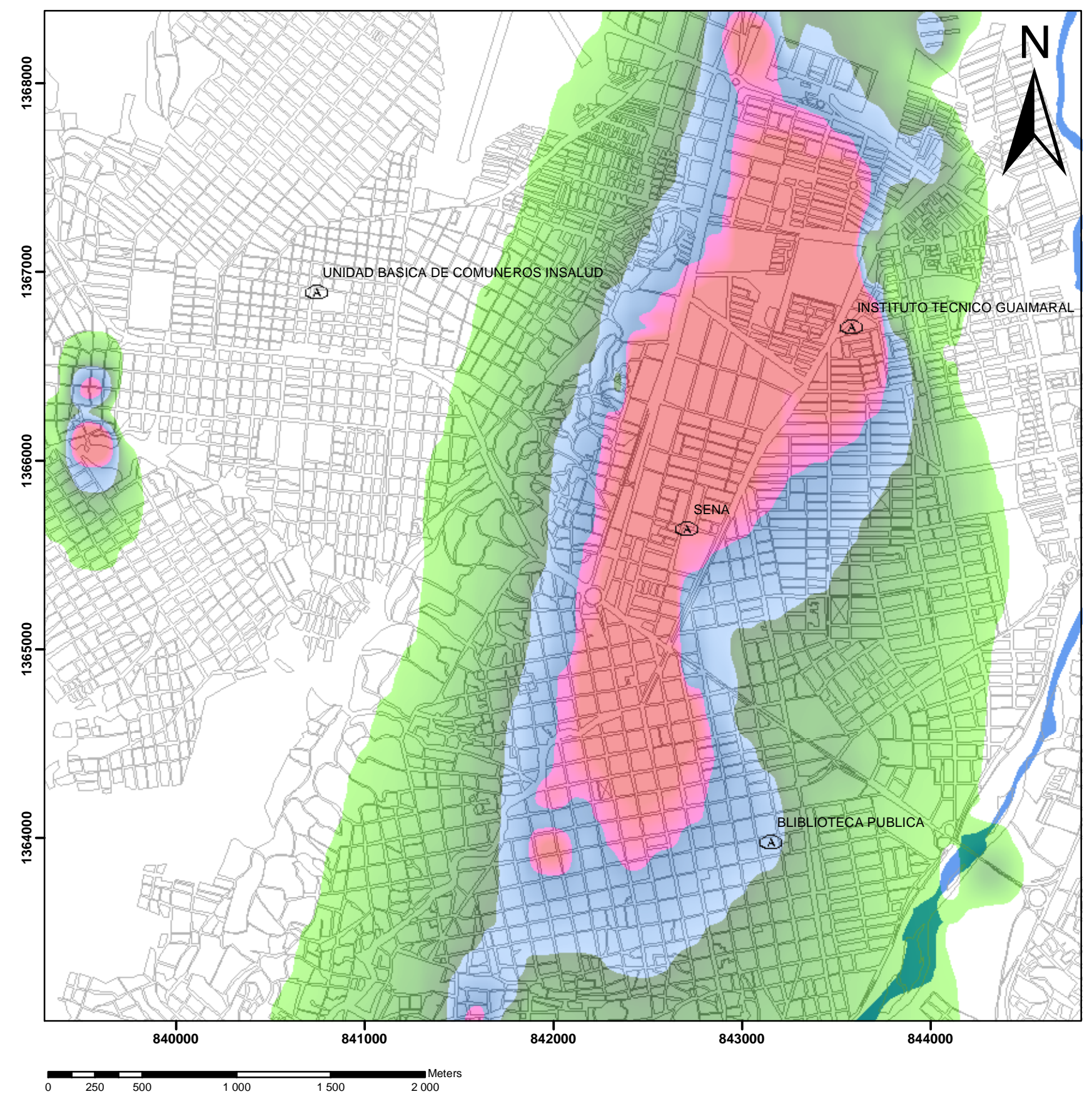


YAJAIRA MANOSALVA
CESAR E. PIÑEROS

2006



SAN JOSÉ DE CÚCUTA



REDISEÑO DE LA RVCA ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

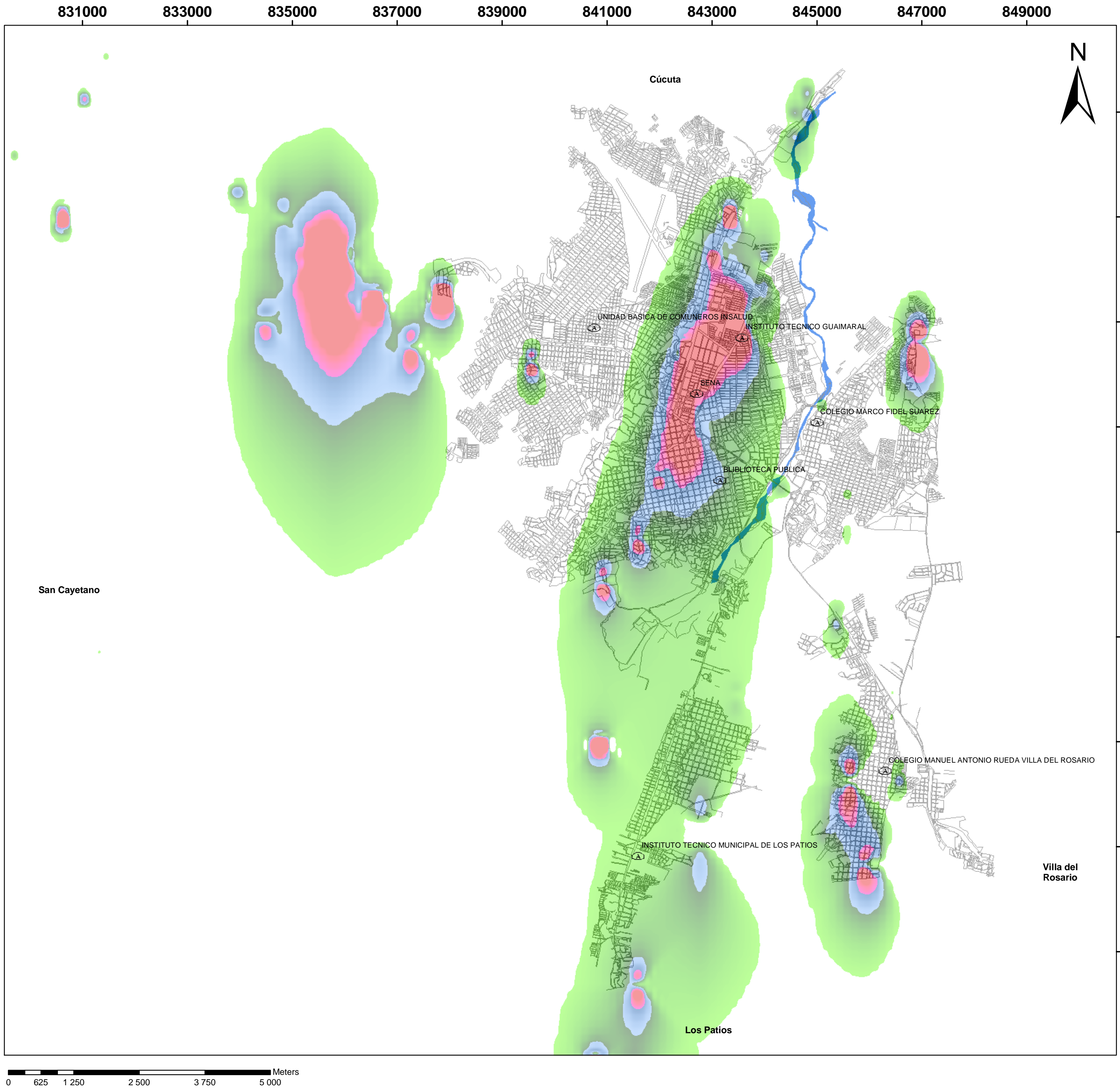
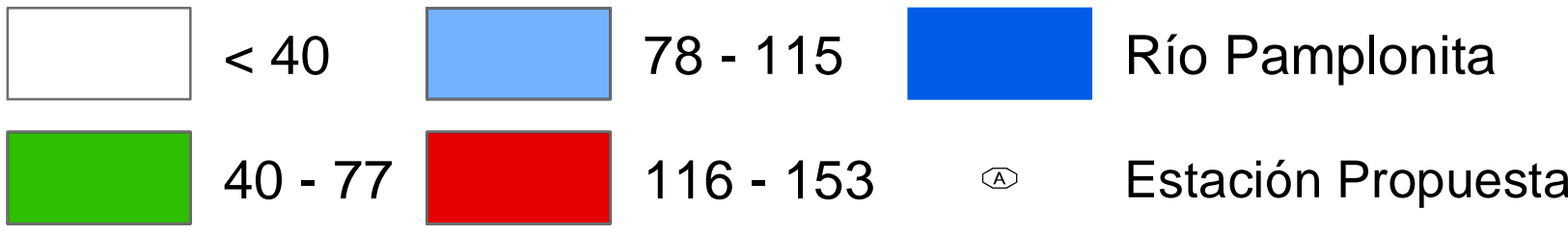
PLANO 5. CONCENTRACIÓN PST AREA METROPOLITANA
SAN JOSE DE CUCUTA

YAJAIRA MANOSALVA CESAR E. PIÑEROS

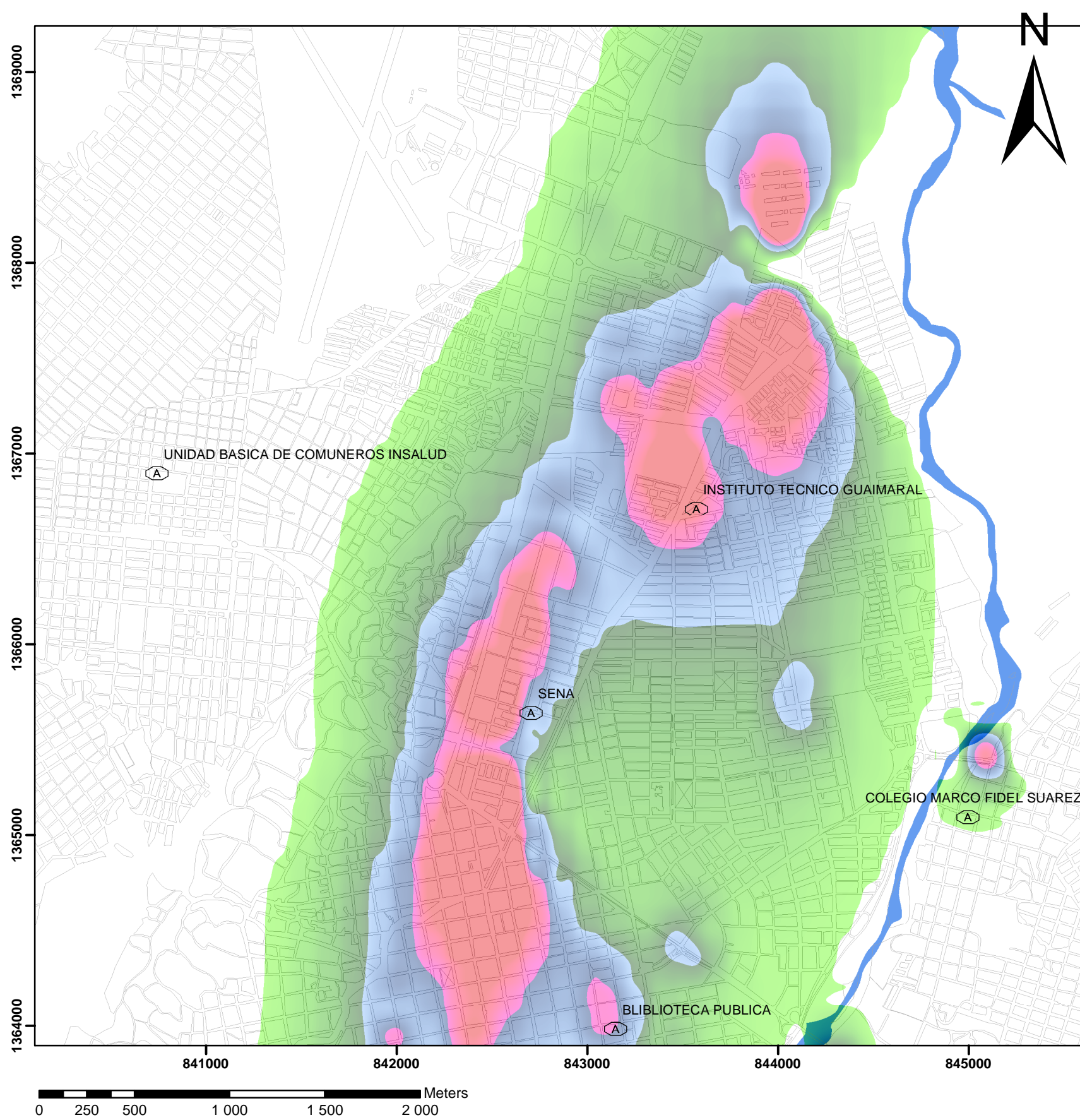
2006

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

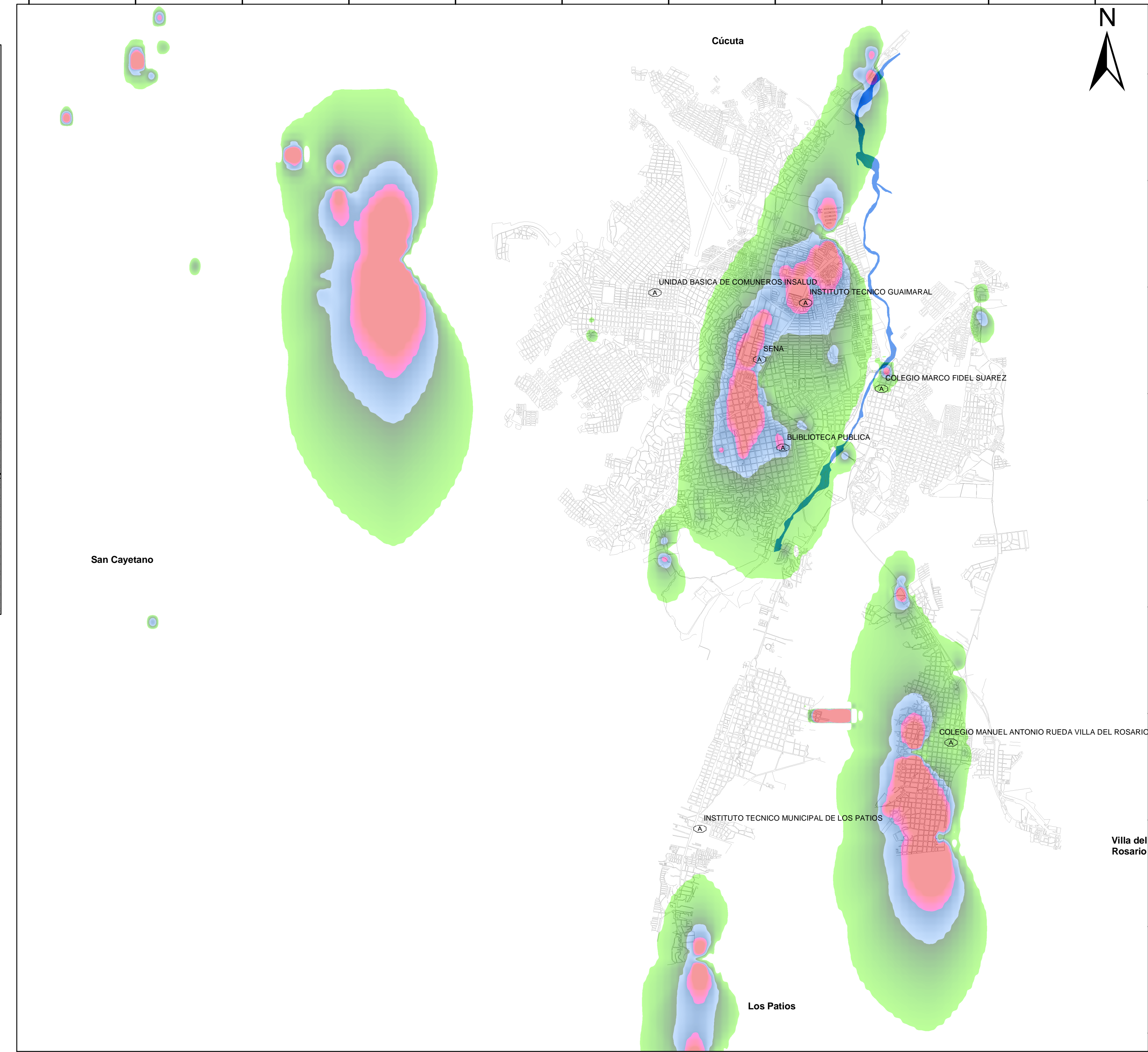
Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$



SAN JOSÉ DE CÚCUTA



829000 831000 833000 835000 837000 839000 841000 843000 845000 847000 849000



1369000 1368000 1367000 1366000 1365000 1364000 1363000 1362000 1361000 1360000 1359000 1358000 1357000 1356000 1355000 1354000 1353000

REDISEÑO DE LA RVCA ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

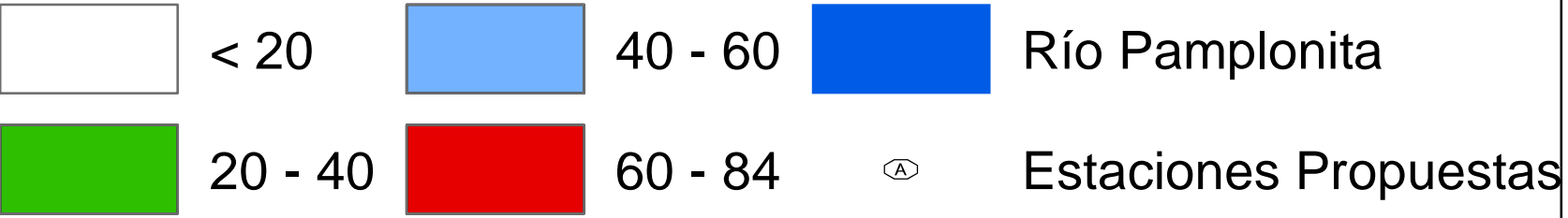
PLANO 6. CONCENTRACIÓN SO2 AREA METROPOLITANA
SAN JOSE DE CUCUTA

YAJAIRA MANOSALVA CESAR E. PIÑEROS

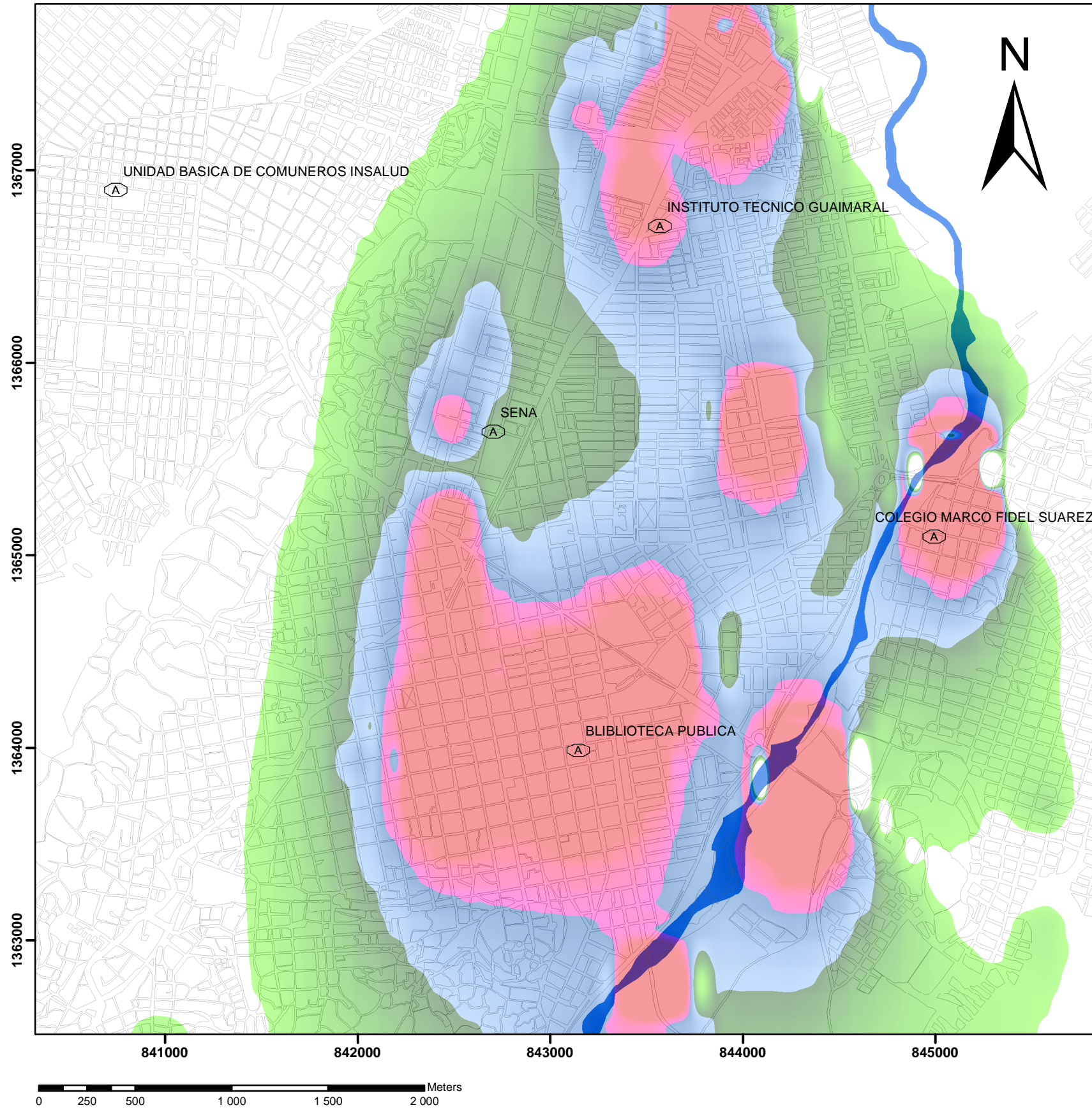
2006

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$



SAN JOSÉ DE CÚCUTA



REDISEÑO DE LA RVCA ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

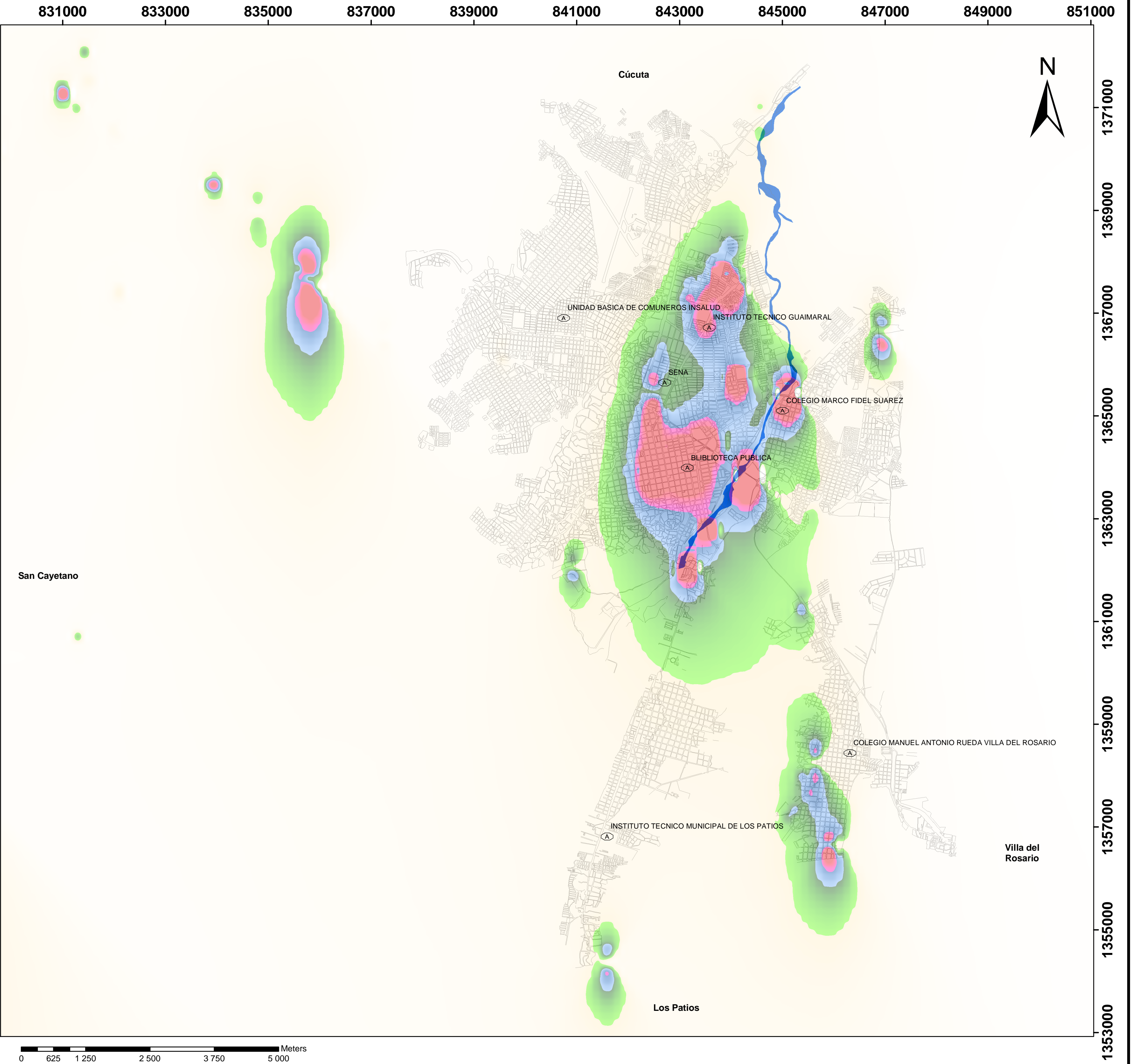
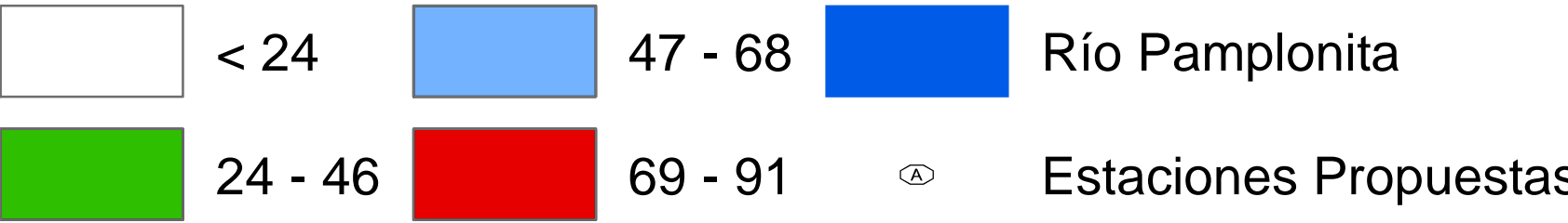
PLANO 7. CONCENTRACIÓN NOx AREA METROPOLITANA
SAN JOSE DE CUCUTA

YAJAIRA MANOSALVA CESAR E. PIÑEROS

2006

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

Concentración µg/m3



REDISEÑO DE LA RVCA
ÁREA METROPOLITANA
DE CÚCUTA

PLANO 8.
ESTACIONES
PROPUESTAS PARA LA RVCA
ÁREA METROPOLITA DE CÚCUTA



UNIVERSIDAD DE LA SALLE

YAJAIRA MANOSALVA
CESAR E. PIÑEROS

2006

Rio Pamplonita

Puente

COMUNA

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10

Estaciones Propuestas

