



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

**" APLICACIÓN DE LA INFORMACIÓN OFICIAL SOBRE EL  
ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD PARA  
IMPLANTAR EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN  
LA REGIÓN DE INTERÉS, TULA, HGO.""**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

**AMBIENTAL – AIRE**

P R E S E N T A:

**I.Q. GILBERTO FUENTES GARCÍA**

TUTOR:

Dr. Humberto Bravo Álvarez, Centro de Ciencias de la  
Atmósfera – Sección de Contaminación Ambiental

MÉXICO D.F., NOVIEMBRE 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

Presidente: M.C. FUENTES GEA VICENTE  
Secretario: DR. CESAR VALDEZ ENRIQUE  
Vocal: DR. BRAVO ÁLVAREZ HUMBERTO  
1er Suplente: DR. AGUILAR MÁRQUEZ ARMANDO  
2do Suplente: DRA. FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ GEORGINA

Lugar donde se realizó la Tesis:  
SECCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL - CENTRO DE  
CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA - UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

**TUTOR DE TESIS**  
DR. HUMBERTO BRAVO ÁLVAREZ

---

**FIRMA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Humberto Bravo Álvarez, Jefe de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera, por darme la oportunidad de colaborar en su equipo de trabajo, por la confianza, por el apoyo incondicional, por la revisión de la tesis y por transmitirme su experiencia profesional para el desarrollo de este proyecto de Maestría. Le agradezco el que halla sido mi tutor para la elaboración del proyecto.

Al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría, por el apoyo incondicional que mostró en la realización del proyecto, por las sugerencias, por la revisión y observaciones realizadas. Le agradezco el que me halla transmitido su experiencia profesional y enseñarme a trabajar siempre con responsabilidad y ética profesional.

Al Biol. Pablo Sánchez, por las sugerencias y apoyo al realizar este proyecto de Maestría.

A la Q. Ana Luisa Alarcón Jiménez, por las sugerencias, observaciones, y el tiempo dedicado para la revisión del documento. Gracias por todo el poyo incondicional.

Al Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) del Gobierno del Distrito Federal por su colaboración en el proyecto llevando a cabo el monitoreo de la calidad del aire, en especial al P. de Quím. Armando Retama Hernández, M. en I. Olivia Rivera Hernández, Ing. Juan Manuel Campos Díaz, Téc. Eloy Contreras Sánchez e Ing. Salvador Cervantes.

A la M. en I. Mónica Jaimes Palomera, por su capacitación y realización del análisis y validación de la información.

Se agradece a las autoridades de los planteles educativos por su autorización y apoyo para la instalación de las Estaciones de Monitoreo, en especial a los Directores de las Escuelas: Juan Carlos García Soto Director del CECATI 55; Prof. Leonardo Pérez Encarnación, Directora de la Escuela "Emiliano Zapata"; y al Profesor Ariosto Trejo de la Cruz, Director de la Escuela Secundaria "General Lázaro Cárdenas".

También, se agradece el apoyo y colaboración del personal de la C.T. Francisco Pérez Ríos por las facilidades para utilizar una Unidad Móvil, en especial a los Ingenieros Alfredo Trejo Porras y Rogelio Álvarez Jefe del Departamento Ambiental. Al Dr. Sergio Rosas de Alba y a la Ing. Patricia González Hernández de la Subdirección de Generación de la CFE.

Al personal de la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera, Roelof Van Der Putten Colin y Roberto Galicia Morales por su apoyo en la realización del proyecto.

Al personal de la Sección de Meteorología: Ing. Gustavo Vázquez, Violeta Piña y Abraham Onofre por su apoyo en la realización del proyecto.

## DEDICATORIAS

A Dios, por acompañarme siempre en todo momento, por permitirme terminar satisfactoriamente mis estudios y cuidar a mi familia en las horas de ausencia.

Dedicado con el corazón para toda mi familia, en especial para ti abuelita Vicky, abuelo Cuco y también para ti tío Armando, Gerardo y tía Arely.

Abuelo Cuco, aunque no estés con nosotros, quiero agradecerte por haberme enseñado a leer, a sumar, restar y multiplicar. Gracias, por haber sido mi profesor de cabecera, y más que un profesor, un papá.

A mi esposa, por apoyarme incondicionalmente en esta etapa de mi vida, por estar al pendiente del esfuerzo dedicado a este trabajo escrito, por comprender que el tiempo dedicado en este trabajo fue vital para su culminación. Te amo mi amor, y cada logro realizado será por ti, porque eres mi motor de cada día y eres el suspiro para lograr mis metas. Este trabajo escrito, es un paso más en mi vida profesional y gracias por avanzar conmigo. Te Amo!!!

A ti mamá, por todo el apoyo que me has brindado desde que tengo memoria, no tengo manera de cómo pagar y agradecerte por todo lo que has hecho por mi pero, al dedicarte esta tesis de Maestría me honra y me da gusto decir que lo he logrado gracias a ti, porque eres tú, quien me enseñó a tener seguridad y confianza. Gracias por preocuparte por mi y este detalle es para ti. Te Amo!!!

A ti papá, por enseñarme a elegir una profesión, por darme consejos para tomar mis decisiones, por fortalecer mi vida profesional. Todo lo que he logrado en mi vida ha sido por ti. Gracias, por ser un profesor excelente, mi mejor amigo y sobre todo un buen papá. Quiero que sepas, que cada avance de mi vida profesional será por ti, porque la base profesional que he formado, tu me la enseñaste, indiscutiblemente eres tu, quien me ha enseñado a trabajar con responsabilidad y ética profesional, te amo!!!

A ti hermana, por apoyarme en todo momento, por preocuparte por mi y porque sé, que en cualquier momento puedo contar contigo, este detalle es para ti. Gracias, por ser mi amiga y corregirme en las malas. Te amo!!!

A ustedes Nancy y Ara, por ser mis mejores amigas, por preocuparse por mi y sobre todo por su apoyo incondicional, gracias.

Alez, Sandy, Elena, Cherch y John, queridos amigos de la Fac, este detalle es para ustedes, gracias por ser mis fieles seguidores.

A la UNAM y en especial a la Facultad de Química por haberme otorgado la oportunidad de ejercer una profesión.

Al Centro de Ciencias de la Atmósfera, en especial a la Sección de Contaminación Ambiental por haberme permitido abrir sus puertas. Integrantes de la SCA, les dedicó este detalle y gracias a cada uno de ustedes por su apoyo incondicional. Un abrazo!!!

## **Índice**

Lista de Tablas	i
Lista de Figuras	iii
Glosario	xi
<b>Resumen Ejecutivo</b>	<b>xiii</b>
<b>1. Introducción</b>	
Justificación	02
Meta	02
Objetivos	02
<b>2. Antecedentes</b>	
2.1. Diseño del monitoreo atmosférico	
Planificación y objetivos del monitoreo	04
Objetivos de la calidad de los datos	05
Objetivos del aseguramiento y control de calidad del monitoreo atmosférico	06
Determinación de las escalas del monitoreo atmosférico	06
Selección de contaminantes atmosféricos a monitorear	08
Frecuencias de medición	09
Selección de métodos de medición	09
Normatividad Ambiental Vigente en México	09
Selección de los equipos de medición	11
Selección de los sitios de medición	12
Consideraciones para el sitio de medición	14
Clasificación de los sitios de medición	14
Infraestructura general del sitio	15

Criterios de ubicación del sitio	15
Evaluación del sitio (visita al sitio). Lista de verificación	16
Determinación de cantidad de los sitios de medición	18
Implantación de la estación de monitoreo	18
Requerimientos generales de la red y/o estaciones de monitoreo	18
Equipamiento para la medición de la calidad del aire y transmisión de datos	20
Criterios de localización de los equipos de monitoreo para la medición de la calidad del aire	20
Infraestructura general	21
Equipo para la medición de parámetros meteorológicos	21
2.2. Operación y mantenimiento de la red (previo al Control de Calidad)	
Procedimientos administrativos	22
Programa de operación y mantenimiento de la red	22
Programa de visita	22
Documentación de las visitas al sitio	23
Mantenimiento de las estaciones de monitoreo	23
2.3. Control de Calidad	
Calibración de equipos	24
Tipos de calibraciones	24
Aceptación de valores	26
Representatividad de las mediciones	26
Verificación del sitio de monitoreo	26
Verificación de las condiciones internas de la estación	27
Manejo de muestras y cadena de custodia	27
Manejo de muestras	27

Cadena de custodia	28
Mantenimiento de la trazabilidad	29
Evaluación del personal	29
2.4.    Procesamiento de la información	
Recolección de la información	29
Validación de la información	29
Niveles de validación	30
Procedimiento de validación	31
Descripción del proceso de validación	32
Implantación del proceso de validación	33
Salidas de validación	33
2.5.    Reportes de información	
Generación de formatos estándar y estadística	34
2.6.    Auditorías orientadas al manejo continuo	
Auditorías internas de operación	36
Evaluación de cumplimiento de objetivos	36
Evaluación del personal	36
Evaluación de la operación interna	36
Evaluación de desempeño	36
Mejoramiento de operación de la red	36
Auditorías externas al sistema	37
2.7.    Desmantelamiento de las estaciones de monitoreo	38
<b>3. Metodología</b>	<b>39</b>
<b>4. Aplicación de la información oficial sobre el Aseguramiento y Control de Calidad para implntar el monitoreo de la calidad del aire en la región de interés, Tula, Hgo.</b>	<b>41</b>



<b>5. Análisis de resultados</b>	80
<b>6. Resultados obtenidos</b>	129
<b>7. Conclusiones y recomendaciones</b>	131
<b>8. Bibliografía</b>	133
<b>Anexos</b>	139

## **Lista de Tablas.**

Tabla 1.1. Desarrollo de un Plan de Aseguramiento de Calidad y Control de Calidad	01
Tabla 2.1.1. Consideraciones en la planificación del monitoreo ambiental	04
Tabla 2.1.2. Ejemplo de objetivos del monitoreo de la calidad del aire.	05
Tabla 2.1.3. Requerimientos de la calidad de los datos.	05
Tabla 2.1.4. Contaminantes criterio del aire.	08
Tabla 2.1.5. Normas de calidad del aire vigente en México emitidas por la Secretaría de Salud.	10
Tabla 2.1.6. Normas de medición de concentración de contaminantes atmosféricos emitidas por la SEMARNAT.	10
Tabla 2.1.7. Métodos de medición exigidos en las normas de calidad del aire.	11
Tabla 2.1.8. Factores a considerar en la selección del equipo de medición.	12
Tabla 2.1.9. Factores de decisión para la selección del sitio de instalación.	14
Tabla 2.1.10. Clasificación de sitios de monitoreo.	14
Tabla 2.1.11. Infraestructura en los sitios de medición.	15
Tabla 2.1.12. Resumen de criterios de ubicación del sitio por contaminante y escala de medición.	15
Tabla 2.1.13. Distancia de monitores a caminos para O <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> y CO.	16
Tabla 2.1.14. Consideraciones para la ubicación de estaciones de monitoreo.	17
Tabla 2.1.15. Recomendaciones del número mínimo de sitios de medición.	18
Tabla 2.1.16. Criterios de ubicación del toma de muestra por contaminante y escala de medición.	20
Tabla 2.2.1. Resumen de actividades de visita al sitio de monitoreo.	22
Tabla 4.1. Ficha técnica del SO <sub>2</sub> .	48

Tabla 4.2. Método de medición para el muestreo de partículas.	53
Tabla 4.3. Método de análisis para determinar la concentración de partículas.	53
Tabla 5.1. Información obtenida del sistema de monitoreo de la concentración de SO <sub>2</sub> desde el 02 de julio de 2009 al 15 de febrero de 2012.	80
Tabla 5.2 Concentraciones en ppm de SO <sub>2</sub> (promedio aritmético anual).	99
Tabla 5.3. Concentración de PST (µg/m <sup>3</sup> ) a condiciones de referencia, 298K/760 mm Hg.	100
Tabla 5.1.1. Tabla de resultados de la calibración del patrón de transferencia del orificio, laboratorio de la SCA-CCA-UNAM.	118
Tabla 5.1.2. Tabla de resultados de la calibración del patrón de transferencia del orificio, sitio de muestreo CECATI 55.	119
Tabla 5.1.3. Tabla de resultados de la calibración del patrón de transferencia del orificio, sitio de muestreo Lázaro Cárdenas.	120
Tabla 5.1.4. Tabla de resultados de la calibración del patrón de transferencia del orificio, sitio de muestreo Unidad Móvil.	121
Tabla 5.1.5. Calibración multipunto realizada el 12 de mayo de 2011. Estación CECATI 55.	122
Tabla 5.1.6. Verificaciones de calibración. Datos dudosos.	123
Tabla 5.1.7. Calibración multipunto realizada el 17 de agosto de 2011. Estación Lázaro Cárdenas.	123
Tabla 5.1.8. Verificaciones de calibración. Datos dudosos.	124
Tabla 4.1.9. Calibración multipunto realizada el 05 de mayo de 2011. Estación Unidad Móvil.	124
Tabla 5.1.10. Verificaciones de calibración. Datos dudosos.	125

## Lista de Figuras.

Figura 2.1.1. Esquema de organización básica para la determinación de los objetivos del monitoreo atmosféricos.	04
Figura 2.1.2. Esquema general de la selección del sitio de monitoreo.	13
Figura 2.1.3. Distancia de equipos para partículas de PM <sub>10</sub> a caminos, de acuerdo a la escala de medición.	16
Figura 2.1.4. Distribución de equipos al interior de una estación de monitoreo.	19
Figura 2.3.1. Etiquetado de la muestra.	28
Figura 2.4.1. Factores en el proceso de validación de los datos.	30
Figura 2.4.2. Proceso de la validación de los datos.	32
Figura 3.1. Organización para el funcionamiento de la red o estación de monitoreo.	39
Figura 4.1. Fisiografía del Estado de Hidalgo.	41
Figura 4.2. Zona Critica Tula-Vito-Aspasco.	43
Figura 4.3. Emisiones por sector en la zona critica.	44
Figura 4.4. Sectores con mayor contribución de contaminantes.	44
Figura 4.5. Negociación con el Director de la Escuela Secundaria “General Lázaro Cárdenas” para la realización del proyecto, contándose con la presencia y colaboración del personal de CFE.	56
Figura 4.6. Inspección preliminar del exterior del posible sitio de monitoreo.	57
Figura 4.7. Azotea del sitio de monitoreo.	57
Figura 4.8. Escuela Secundaria “Lázaro Cárdenas”.	57
Figura 4.9. Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial. (CECATI) 55.	58
Figura 4.10. Salón de conferencias en el CECATI 55, seleccionado como sitio de monitoreo.	58
Figura 4.11. Ubicación de la esquina interior del salón de conferencias del CECATI 55 donde se instalaría la estación de monitoreo.	59

Figura 4.12. Escuela Primaria Emiliano Zapata, comunidad de Cerro Colorado.	60
Figura 4.13. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo.	61
Figura 4.14. Toma de muestra y estación meteorológica en la azotea del sitio de monitoreo del CECATI 55, Tepeji.	62
Figura 4.15. Interior del sitio de monitoreo en el CECATI 55, Tepeji.	62
Figura 4.16. Toma de muestra en la azotea de la Dirección de la Escuela Lázaro Cárdenas.	63
Figura 4.17. Estación meteorológica instalada en la azotea de la Dirección de la Escuela Lázaro Cárdenas.	63
Figura 4.18. Analizador automático de SO <sub>2</sub> en la Escuela Lázaro Cárdenas.	63
Figura 4.19. Unidad móvil de monitoreo atmosférico en la Escuela Emiliano Zapata.	64
Figura 4.20. Patio de la Escuela Emiliano Zapata en donde se encuentra la Unidad Móvil.	64
Figura 4.21. Vista interior de la unidad móvil de monitoreo atmosférico.	65
Figura 4.22. Protocolo ejemplo del muestreo, manejo y análisis de PST.	74
Figura 5.1. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (4 de julio al 30 de septiembre de 2009).	81
Figura 5.2. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de octubre al 31 de diciembre de 2009).	81
Figura 5.3. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de enero al 31 de marzo de 2010).	81
Figura 5.4. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de abril al 30 de junio de 2010).	82
Figura 5.5. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de julio al 30 septiembre de 2010).	82
Figura 5.6. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de octubre al 31 de diciembre de 2010).	82

Figura 5.7. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de enero al 31 de marzo de 2011).	83
Figura 5.8. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de abril al 30 de junio de 2011).	83
Figura 5.9. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de julio al 31 de agosto de 2011).	83
Figura 5.10. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de septiembre al 31 de octubre de 2011).	84
Figura 5.11. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de noviembre al 31 de diciembre de 2011).	84
Figura 5.12. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de enero al 15 de febrero de 2012).	84
Figura 5.13. Distribución de las concentraciones de SO <sub>2</sub> (ppm) por hora en la estación CECATI 55.	85
Figura 5.14. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (2 de julio al 30 de septiembre de 2009).	85
Figura 5.15. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de octubre al 31 de diciembre de 2009).	86
Figura 5.16. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de enero al 31 de marzo de 2010).	86
Figura 5.17. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de abril al 30 de junio de 2010).	86
Figura 5.18. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de julio al 30 de septiembre de 2010).	87
Figura 5.19. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de octubre al 31 de diciembre de 2010).	87

Figura 5.20 Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de enero al 31 de marzo de 2011).	87
Figura 5.21 Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de abril al 30 de junio de 2011).	88
Figura 5.22. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de julio al 31 de agosto de 2011).	88
Figura 5.23. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de septiembre al 31 de octubre de 2011).	88
Figura 5.24. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de noviembre al 31 de diciembre de 2011).	89
Figura 5.25. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de enero al 15 de febrero de 2012).	89
Figura 5.26. Distribución de las concentraciones de SO <sub>2</sub> (ppm) por hora en la estación Lázaro Cárdenas.	89
Figura 5.27. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (19 de agosto al 30 de septiembre de 2009).	90
Figura 5.28. Distribución de las concentraciones horarias de SO <sub>2</sub> (ppm) por día en la unidad móvil (1 de octubre al 31 de diciembre de 2009).	90
Figura 5.29. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de enero al 31 de marzo de 2010).	90
Figura 5.30. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de abril al 30 de junio de 2010).	91
Figura 5.31. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de julio al 30 de septiembre de 2010).	91
Figura 5.32. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de octubre al 31 de diciembre de 2010).	91
Figura 5.33. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de enero al 31 de marzo de 2011).	92

Figura 5.34. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de abril al 30 de junio de 2011).	92
Figura 5.35. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de julio al 31 de agosto de 2011).	92
Figura 5.36. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de septiembre al 31 de octubre de 2011).	93
Figura 5.37. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de noviembre al 31 de diciembre de 2011).	93
Figura 5.38. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de enero al 15 de febrero de 2012).	93
Figura 5.39. Distribución de las concentraciones por hora de SO <sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil.	94
Figura 5.40. Comportamiento horario de las concentraciones de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones.	94
Figura 5.41. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 2 de julio al 30 de septiembre de 2009.	95
Figura 5.42. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 de octubre al 31 de diciembre de 2009.	95
Figura 5.43. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 de enero al 31 de marzo de 2010.	96
Figura 5.44. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 de abril al 30 de junio de 2010.	96
Figura 5.45. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 julio al 30 de septiembre de 2010.	96
Figura 5.46. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 octubre al 31 de diciembre de 2010.	97



Figura 5.47. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 enero al 31 de marzo de 2011.	97
Figura 5.48. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 abril al 30 de junio de 2011.	97
Figura 5.49. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 julio al 31 de agosto de 2011.	98
Figura 5.50. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 septiembre al 31 de octubre de 2011.	98
Figura 5.51. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO <sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 noviembre de 2011 al 15 de febrero de 2012.	98
Figura 5.52. Comportamiento del promedio anual de SO <sub>2</sub> en las tres estaciones de monitoreo evaluando diferentes periodos anuales.	99
Figura 5.53. Comparación de la concentración de PST con la NOM-025-SSA1-1993.	102
Figura 5.54. Distribución de PST calculada de agosto a diciembre de 2012.	103
Figura 5.55a. Rosa de vientos para la estación Lázaro Cárdenas en Tula Hidalgo para septiembre de 2009.	104
Figura 5.55b. Rosa de vientos para la estación Lázaro Cárdenas en Tula Hidalgo para octubre de 2009.	105
Figura 5.56a. Rosa de vientos para la estación CECATI 55 en Tepeji para septiembre de 2009.	105
Figura 5.56b. Rosa de vientos para la estación CECATI 55 en Tepeji para septiembre de 2009.	106
Figura 5.57. Rosa de vientos para la Unidad Móvil en Cerro Colorado para septiembre de 2009.	107
Figura 5.58. Serie temporal de la temperatura para las estaciones de Cárdenas, CECATI y unidad móvil; 4.58a. octubre y 4.58b. noviembre de 2009.	107

Figura 5.59. Serie temporal de la humedad relativa para las estaciones de Cárdenas, CECATI y unidad móvil; 4.59a. octubre y 4.59b. noviembre de 2009.	108
Figura 5.60. Rosa de vientos para la estación Lázaro Cárdenas entre abril y octubre de 2010.	109
Figura 5.61. Rosa de vientos para la Unidad Móvil (Cerro Colorado) entre abril y agosto de 2010.	110
Figura 5.62. Rosa de vientos para CECATI 55 entre agosto y septiembre de 2010.	110
Figura 5.63. Evolución de la temperatura (horaria) en las estaciones Cárdenas, Unidad Móvil (Cerro Colorado) y CECATI 55.	111
Figura 5.64. Evolución de la humedad relativa (horaria) en las estaciones: Lázaro Cárdenas, Unidad Móvil (Cerro Colorado) y CECATI 55 en Hidalgo.	112
Figura 5.65. Rosa de vientos del mes de agosto de 2011, para las estaciones CECATI, Lázaro Cárdenas y Unidad Movil.	113
Figura 5.66. Rosa de vientos del mes de septiembre de 2011, para las estaciones CECATI, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil.	113
Figura 5.67. Rosa de vientos del mes de octubre de 2011, para las estaciones CECATI, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil.	114
Figura 5.68. Serie temporal de la temperatura (horaria) en las estaciones (a) CECATI, (b) Lázaro Cárdenas y (c) Unidad móvil.	115
Figura 5.69. Evolución de la humedad relativa (horaria) en las estaciones (a) Lázaro Cárdenas, (b) CECATI y (c) Unidad móvil.	116
Figura 5.1.1. a) Patrón de transferencia de orificio y b) kit de placas de orificio.	117
Figura 5.1.2. Gráfico correspondiente a la calibración del patrón de transferencia de orificio en laboratorio.	118
Figura 5.1.3. Calibración efectuada en campo, caso ejemplo, CECATI 55.	119
Figura 5.1.4. Gráfico correspondiente a la calibración del patrón de transferencia de orificio en CECATI 55.	120
Figura 5.1.5. Gráfico correspondiente a la calibración del patrón de transferencia de orificio en Lázaro Cárdenas.	121

Figura 5.1.6. Gráfico correspondiente a la calibración del patrón de transferencia de orificio en la Unidad Móvil.	122
Figura 5.1.7. Gráfico correspondiente a los datos de calibración multipunto (puntos verdes) y a los datos de verificación de calibración (puntos rojos).	123
Figura 5.1.8. Gráfico correspondiente a los datos de calibración multipunto (puntos verdes) y a los datos de verificación de calibración (puntos rojos).	124
Figura 5.1.9. Gráfico correspondiente a los datos de calibración multipunto (puntos verdes) y a los datos de verificación de calibración (puntos rojos).	125

## **Glosario**

AC: Aseguramiento de Calidad.

API: Instrumento de Medición de la Calidad del Aire.

CC: Control de Calidad.

CECATI: Escuela “Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial” No. 55. Estación de monitoreo atmosférico, ubicada en Tepeji del Río, Tula, Hgo.

CFE: Comisión Federal de Electricidad.

CFR: Código Federal de Regulación de los Estados Unidos.

CO: Monóxido de carbono.

GMT: Programa para generar mapas.

GPS: Programa de Posición Global.

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: Ácido sulfúrico.

Hi-Vol.: Equipo de grandes Volúmenes para el monitoreo de PST.

INE: Instituto Nacional de Ecología.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía Informática.

nm: nanómetros.

Lázaro Cárdenas: Escuela Secundaria General Lázaro Cárdenas. Estación de monitoreo atmosférico, ubicada en Tula de Allende, Hgo.

NOM: Norma Oficial Mexicana.

NO<sub>x</sub>: Óxidos de nitrógeno.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PENUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PM<sub>10</sub>: Partículas menores o iguales a 10  $\mu$ m.

PM<sub>2.5</sub>: Partículas menores o iguales a 2.5  $\mu$ m.

ppb: partes por billón.

ppm: partes por millón.

PROY-NOM: Proyecto de Norma Oficial Mexicana.

PST: Partículas Suspendidas Totales.

RAMA: Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del Distrito Federal.

REDMA: Red Manual del Gobierno del Distrito Federal.

SCA-CCA-UNAM: Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SIMAT: Sistema de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del Distrito Federal.

SO<sub>2</sub>: Bióxido de azufre.

SO<sub>3</sub>: Trióxido de azufre.

SOPs: Programas de Operación en Campo.

SSA: Secretaria de Salud.

Unidad Móvil: Estación de monitoreo atmosférico ubicada en la Escuela Primaria Emiliano Zapata en Tezontepec de Aldama, Hgo.

U.S.EPA: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

UV: Luz ultravioleta.

WRPLOT View: Software para elaborar rosas de viento con datos meteorológicos.

µm: micrómetros.

## Resumen ejecutivo

Debido al interés en proporcionar el Aseguramiento de Calidad (AC) y Control de Calidad (CC) para estaciones de monitoreo atmosférico en México, se ha aplicado la información oficial sobre el aseguramiento y control de calidad para implantar el monitoreo de la calidad del aire en la región de Tula, ya que actualmente se tiene la necesidad de que la información sea confiable sobre los datos que se generan en el sistema de monitoreo con el propósito de establecer una comparación con las Normas Oficiales Mexicanas de calidad del aire.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) ha publicado documentos con temas de la calidad del aire, en dichos documentos se encuentra la información correspondiente a la medición de la calidad del aire, las diferentes metodologías que se pueden aplicar para realizar la medición, se describe el análisis para el proceso de la validación de resultados y las auditorías que se deben de realizar en el sistema de monitoreo.

Para el establecimiento de estaciones de monitoreo atmosférico en México se encuentra el Proyecto de Norma (PROY-NOM-156-SEMARNAT-2008) en donde se describe el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

La principal actividad en el Aseguramiento de Calidad es la planificación del sistema de monitoreo. En esta etapa se definen los objetivos del monitoreo, objetivos de la calidad de los datos, la selección del sitio, evaluación de equipos de calidad del aire y capacitación a los operadores.

La actividad principal del Control de Calidad es asegurar que los equipos de calidad del aire funcionen adecuadamente respecto a su exactitud y precisión con el propósito de que los datos generados en el sistema de monitoreo sean confiables.

El uso de la información corresponde al proceso de análisis y validación de los datos generados en el sistema de monitoreo atmosférico.

Para la realización del proyecto, en la zona de estudio se instalaron tres estaciones para el monitoreo de la calidad del aire y meteorología, dos de las cuales fueron para evaluar el impacto en la calidad del aire por bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>, NOM-038-SEMARNAT-1993) y otra estación de monitoreo para evaluar su concentración de fondo.

También se estableció el monitoreo de Partículas Suspendidas Totales (PST, NOM-035-SEMARNAT-1993) en la región de Tula, utilizando para el monitoreo equipos de Altos Volúmenes, llamados Hi-Vol. que fueron instalados en las tres estaciones antes mencionadas.

El monitoreo de SO<sub>2</sub> inició en el mes de julio de 2009 y el muestreo de PST inició en agosto de 2011.

Los tres sitios de monitoreo se instalaron en Escuelas para el resguardo y protección de los equipos de la calidad del aire además de determinar el impacto en la calidad del aire en dichos sitios: Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial No. 55 (CECATI 55) en el municipio de Tepeji del Río, Escuela Secundaria “General Lázaro Cárdenas” en el municipio de Tula de Allende y la Escuela Primaria “Emiliano Zapata” (Unidad Móvil). Comunidad Cerro Colorado en Tezontepec de Aldama, Hidalgo, México.

## 1. Introducción

Previo a la ejecución de un programa de medición de contaminantes atmosféricos, es necesario diseñar un programa de monitoreo que involucre un plan de aseguramiento de calidad (AC) y control de la calidad (CC) en cada uno de los componentes, que permita obtener datos fiables.

Las actividades de aseguramiento de calidad incluyen las fases previas a las mediciones dentro del monitoreo: la determinación de los objetivos y de la calidad de los datos obtenidos en el monitoreo, la designación del sistema, la selección del sitio o red, evaluación del equipamiento y capacitación de los operadores.

Las funciones de control de calidad comprenden las actividades realizadas para obtener exactitud y precisión en el sistema de monitoreo: operación y mantenimiento de equipos, calibraciones, control de datos, auditorías, entrenamientos, etc.

La implantación de cada componente del esquema de AC/CC es necesaria para asegurar el éxito del programa completo. La *Organización Mundial de la Salud en tema de Calidad del Aire*, define AC/CC como una cadena de actividades diseñadas para obtener datos fiables del sistema de monitoreo, en que cada una de sus fases debe resguardarse y establecerse como una pieza fundamental en el logro de los objetivos, proponiendo el esquema que se presenta en la Tabla 1.1:

Tabla 1.1. Plan de Aseguramiento y Control de Calidad. Fuente: EPA, 2002.

Desarrollo de un Plan de Aseguramiento y Control de Calidad		
Aseguramiento de Calidad	Objetivos del monitoreo	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Definir los objetivos del monitoreo</li><li>✓ Definir los objetivos de la calidad de los datos</li></ul>
	Diseño del monitoreo	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Diseñar la red de monitoreo</li><li>✓ Seleccionar los sitios de medición</li><li>✓ Evaluar y seleccionar los equipos de medición</li><li>✓ Desarrollar un programa de capacitación</li></ul>
Control de Calidad	Control de Calidad	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Plan de operación y mantenimiento de la red de monitoreo</li><li>✓ Plan de calibración de los equipos de medición</li><li>✓ Cronograma de visitas al sitio</li><li>✓ Inspección, verificación y validación de los datos obtenidos en el monitoreo y muestreo</li></ul>
	Evaluación de la Calidad	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Cronograma para auditorías en la red y reportes</li></ul>

Los programas de monitoreo evolucionan a menudo con el tiempo en función de un cambio en sus objetivos, la normatividad vigente, los recursos para la operación o cambios en la problemática de la contaminación del aire.

En cualquier programa de medición, bien diseñado y operado, el funcionamiento defectuoso de un equipo, los errores humanos, los fallos en la alimentación de corriente, las interferencias y una variedad de otras perturbaciones pueden producir una colección de datos no fiables.



## **Justificación**

La ejecución de un Programa de Control de Monitoreo de Calidad de Aire Nacional, cuyo objetivo es vigilar el aseguramiento y control de la calidad de la información generada en las estaciones de monitoreo atmosférico así como vigilar la optimización de la operación de las redes de monitoreo, cobra gran relevancia.

El propósito del monitoreo de la calidad del aire es brindar los datos necesarios para que se tomen decisiones que permitan mejorar la calidad del aire en beneficio de la salud y el ambiente, por lo que esas decisiones requieren datos relevantes sobre la calidad del aire.

## **Meta**

Realizar la aplicación de la información oficial sobre el Aseguramiento y Control de Calidad implantando el monitoreo de la calidad del aire en la región de interés, Tula, Hgo.

## **Objetivos**

Aplicar la información oficial sobre el aseguramiento y control de calidad en las estaciones de monitoreo atmosférico, considerando: selección de sitios, diseño, obtención de datos y su evaluación.

Seleccionar sitios de monitoreo atmosférico representativos de la zona de estudio, considerando los vientos predominantes y las actividades industriales que se desarrollan en dicha zona.

Evaluar la calidad del aire en la zona de estudio mediante la comparación de las concentraciones obtenidas para SO<sub>2</sub> y PST con su Norma Oficial correspondiente.

## 2. Antecedentes

Existe una creciente toma de conciencia sobre la necesidad de una acción concertada y efectiva para mejorar la calidad del aire. La contaminación del aire se está convirtiendo en uno de los principales problemas a resolver para mejorar la calidad de vida de la población ya que representa un riesgo para la salud humana y para el ambiente. Para elaborar planes apropiados de gestión de la calidad del aire es necesario, en primer lugar, contar con información confiable sobre el estado actual de la calidad del aire.

Actualmente, en México existen una serie de “manuales de buenas prácticas en el monitoreo de la calidad del aire”, los cuales son el resultado de la interacción de varios participantes de Japón, Estados Unidos y México. En este proyecto, el Instituto Nacional de Ecología (INE) recibió el apoyo de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (Japan International Cooperation Association–JICA), de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (Environmental Protection Agency-US-EPA), de todas las redes de monitoreo atmosférico del país, en especial del Sistema de Monitoreo Atmosférico del Distrito Federal (SIMAT), y del Colegio de Ingenieros Ambientales de México (CINAM).

En dichos manuales se describen los principios de medición de la calidad del aire, las redes/estaciones y equipos de medición, la operación de estaciones de monitoreo, mantenimiento y calibración de sus componentes, manejo de los datos y las auditorías de sistemas de la calidad del aire.

Los manuales son descriptivos y contienen la información sobre los objetivos, estructura y dirección de la red. Es decir, presentan las etapas que conforman el diseño de una red de monitoreo, entre las cuales se encuentran:

- Objetivos del monitoreo y calidad de las mediciones.
- Escalas de medición.
- Selección de contaminantes a medir.
- Selección de los métodos de medición (Normatividad Vigente en México).
- Selección de los sitios de medición.
- Implementación de la estación.

Contienen los procedimientos de operación a usar en los diferentes componentes de la red, las operaciones en el sitio y fuera de él. En esta parte se incluye:

- Procedimientos de aceptación, traslado e instalación de equipos.
- Programa de operación y mantenimiento de la red.
- Calibración de los equipos.
- Auditorías al sitio.
- Evaluación del personal.
- Mantenimiento de la trazabilidad.

- Procesamiento de la información.
- Reportes de información.
- Auditorías interna y externas para el mejoramiento continuo.

## 2.1. Diseño del monitoreo atmosférico

### Planificación y objetivos del monitoreo

El monitoreo de la calidad del aire consiste en los procedimientos de muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos. El muestreo es el procedimiento por el cual las muestras son recolectadas, mientras que el análisis involucra los métodos para determinar las concentraciones de los contaminantes en una muestra de aire (Bravo y Sosa, 1990).

Cualquier decisión en lo que respecta a la planificación del monitoreo es determinada finalmente por los objetivos generales del monitoreo, por la disponibilidad de recursos y por el usuario final de los datos procesados.

En este contexto, las principales preguntas que se deben considerar en la planificación de un sistema de monitoreo se presentan en la Tabla 2.1.1.

Tabla 2.1.1. Consideraciones en la planificación del monitoreo ambiental. Fuente: EPA, 2002.

Preguntas a considerar antes del monitoreo	
✓	¿Cuáles son los objetivos del monitoreo?
✓	¿Qué recursos existen?
	➤ Humanos
	➤ Económicos
	➤ Tiempo
✓	¿Qué contaminantes se desea(n) monitorear?
✓	¿Qué tipo de datos se necesitan?
	➤ ¿Qué intervalo de promediación de los datos?
	➤ ¿Con qué exactitud y precisión?
✓	¿Qué método de medición y equipo se debe utilizar?
✓	¿Para quién se generan los datos y en qué formato se desean?

La respuesta a cada una de las preguntas anteriores, facilita el diseño del sistema de monitoreo y evita la generación de información innecesaria de las actividades a realizar para el logro de los objetivos.

En la Figura 2.1.1 se propone la organización básica que se debería adoptar para determinar en forma precisa los objetivos del monitoreo.



Figura 2.1.1. Esquema de organización básica para la determinación de los objetivos del monitoreo atmosférico. Fuente: EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement System. Volume II.

Una definición clara de los objetivos es esencial para permitir un desarrollo óptimo de la red de monitoreo, definir los contaminantes prioritarios y seleccionar los métodos de medición apropiados.

Debe considerarse que una red de monitoreo está diseñada para una variedad de funciones, como por ejemplo, desarrollo de estrategias de monitoreo, planificación local o nacional, mediciones comparativas con estándares internacionales, identificación y cuantificación del riesgo en la salud y conocimiento público de la realidad local, entre otras.

Obviamente, los mismos objetivos no se aplican a todos los contaminantes ni a todos los sitios de monitoreo en una misma zona y, en general, son influenciados por las prioridades de la realidad del medio en el cual se emplazan.

En la Tabla 2.1.2 se enlistan los objetivos más usuales del monitoreo atmosférico.

Tabla 2.1.2. Ejemplo de objetivos del monitoreo de la calidad del aire.  
Fuente: EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement System. Volume 1.

<b>Algunos objetivos del monitoreo</b>	
✓	Determinar la exposición de la población y evaluar la influencia de la contaminación del aire en la salud y el ambiente.
✓	Informar el estado de la calidad del aire.
✓	Determinar la conformidad con estándares nacionales e internacionales.
✓	Verificar el cumplimiento de resoluciones de medición de contaminantes impuestas por la autoridad.
✓	Proveer los datos de entrada para elaborar modelos de calidad del aire y la información necesaria a los programas de control de calidad del aire.
✓	Proveer la información para el desarrollo de herramientas de control (modelamiento, sistema de información geográfica de distribución de contaminación, exposición de personas, etc.).
✓	Determinar las necesidades del control de la contaminación en los niveles actuales o proyectados de calidad del aire.
✓	Activar las medidas de contingencia cuando se requiera.
✓	Evaluar los inventarios de emisiones y modelos de predicción de la calidad del aire.
✓	Detectar el transporte de largo alcance de los contaminantes.
✓	Monitorear las tendencias de acumulación de contaminantes en la atmósfera.

## Objetivos de la calidad de los datos

La definición de los objetivos determina los requerimientos de datos y su nivel de calidad y en la Tabla 2.1.3 se presentan los criterios de calidad para los datos generados en el monitoreo atmosférico.

Tabla 2.1.3. Requerimientos de la calidad de los datos.  
Fuente: EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement System. Volume 1.

<b>Requerimientos para la calidad de los datos</b>	
✓	Exactitud (Qué tan cerca llega el valor de medición al valor real o de referencia).
✓	Precisión (Reproducibilidad del dato).
✓	Complejidad (La cantidad de datos válidos obtenidos como fracción de lo que se tenía planeado obtener).
✓	Representatividad (Que la muestra de contaminación sea típica con respecto a las condiciones, al periodo y a la localidad para la cual se obtiene el dato).
✓	Comparabilidad (Extensión de redes, resultados comparables a otras redes).

## **Objetivos del aseguramiento de calidad y control de calidad del monitoreo atmosférico**

Cabe señalar que la función del AC/CC no es entregar datos de la más alta calidad, ya que sería un objetivo poco realista atendiendo a los recursos prácticos que se tengan, sino más bien, que se cumpla con los objetivos realistas requeridos de la calidad de los datos.

Los objetivos del aseguramiento y control de calidad se describen a continuación (EPA, 1974):

- Los datos obtenidos en el sistema de medición deben ser representativos.
- Las mediciones deben ser exactas y precisas como para alcanzar los objetivos específicos del monitoreo.
- Los resultados del monitoreo deben ser consistentes y comparables con las normas de calidad del aire.
- Los datos deben ser consistentes con el tiempo ya que se van a analizar con miras a determinar tendencias de largo plazo.
- Se requiere una recolección de datos superior al 75% para el procedimiento del análisis y validación de los datos.

El entrenamiento de los operadores en el o los procedimientos específicos en los cuales se desempeñe dentro de las etapas del monitoreo, es la clave para llevar a cabo los objetivos planteados.

### **Determinación de las escalas del monitoreo atmosférico**

La selección de la ubicación de las estaciones requiere hacer compatible el objetivo general del monitoreo con la determinación de un área de escala apropiada de representación espacial, y luego con la selección de un lugar de monitoreo que sea característico de dicha escala.

El concepto de escala espacial de una estación de monitoreo se define, entonces, para clarificar la naturaleza de la relación entre objetivos de monitoreo y la localización física de una estación de monitoreo.

Así, la escala espacial está descrita en términos de las dimensiones físicas de la cantidad de aire cercana a la estación de monitoreo para la cual las concentraciones de contaminantes son razonablemente similares (EPA, 1974).

Usualmente, se aplican seis escalas espaciales para la ubicación de sistemas de monitoreo de contaminación atmosférica, las cuales se describen a continuación (EPA, 2008):

**Microescala.** A esta escala se asocian volúmenes de aire que tienen dimensiones que van desde varios metros hasta aproximadamente 100 metros y corresponde a estaciones ubicadas muy cerca de la(s) fuente(s), (por ejemplo: O<sub>3</sub>, CO y NO). Esta escala se usa para evaluar la distribución del gas en el sitio de interés.

En el monitoreo de partículas suspendidas totales (PST) esta escala se usa para caracterizar las emisiones procedentes de las inmediaciones de fuentes puntuales. Este tipo de escala, también se puede usar para definir los efectos sobre la salud de ciertos individuos que permanecen cerca de una ubicación fija por largos períodos.

**Escala media.** Esta escala representa dimensiones que van de 100 metros a 0.5 kilómetros y caracteriza la calidad del aire en áreas de un tamaño equivalente a varias manzanas o cuadras dentro de una ciudad. Corresponde a estaciones ubicadas a distancias considerables de las fuentes pero bajo su influencia. Algunos de los usos de los datos asociados con las mediciones de escala media, tanto de gases como de PST, incluyen la evaluación de los efectos de las estrategias de control para reducir las concentraciones urbanas.

**Escala local.** Las mediciones de la escala local caracterizan las condiciones sobre áreas con dimensiones que van desde 0.5 hasta 4 km. Supone condiciones de homogeneidad en la parcela de aire correspondiente, por lo que no debe haber influencia significativa de alguna fuente en particular. Esta escala se aplica en áreas donde la tasa de aumento o disminución del gradiente de concentración gaseoso y de PST es relativamente baja (por ejemplo: principalmente áreas suburbanas en las cercanías de los centros urbanos) y en grandes secciones de pueblos y ciudades pequeñas.

Las mediciones de la escala local pueden estar asociadas con concentraciones de línea de base en áreas de crecimiento proyectado y en estudios sobre respuestas de la población a la exposición a contaminantes (por ejemplo: efectos sobre la salud). Finalmente, esta escala se usa para hacer comparaciones de una ciudad a otra y satisface la mayoría de los objetivos de planificadores y de personas que participan en el proceso de toma de decisiones en el ámbito urbano y regional.

**Escala urbana.** Las mediciones a escala urbana caracterizan las condiciones sobre un área metropolitana entera. Esta escala requiere a menudo más de un sitio para la definición. Debe representar condiciones homogéneas para un radio urbano amplio. Tales mediciones son útiles para calcular las tendencias de la calidad del aire en toda una ciudad y, por ende, para la eficacia de las estrategias de control de contaminación a gran escala.

**Escala regional.** Las mediciones de la escala regional representan las condiciones sobre áreas con dimensiones de cientos de kilómetros. Estas mediciones se aplican principalmente a grandes áreas homogéneas, particularmente aquellas que están escasamente pobladas. Tales mediciones proporcionan información acerca de la calidad de fondo del aire y del transporte de contaminación entre regiones.

**Escala nacional o global.** Esta escala de medición representa concentraciones que caracterizan a la nación o al mundo como un todo. Tales datos son útiles en la determinación de las tendencias contaminantes, el estudio de los procesos de transporte internacional y global y la evaluación de los efectos de las políticas de control a escala global.

Cada escala espacial se diseña para satisfacer los objetivos específicos del monitoreo.

Los objetivos específicos de la mayoría de los diseños de redes de monitoreo se pueden resumir en:

- Determinar las concentraciones máximas que se espera que ocurran en el área cubierta por la red.
- Determinar las concentraciones representativas en áreas de alta densidad de población.
- Determinar el impacto de fuentes significativas en los niveles de contaminación ambiental.
- Determinar el fondo general o línea base de los niveles de concentración.

### **Selección de contaminantes atmosféricos a monitorear**

Los contaminantes atmosféricos son producidos por diversas fuentes, las cuales no sólo pueden generar un problema en su área vecina inmediata, sino también pueden viajar a grandes distancias, como también reaccionar químicamente en la atmósfera produciéndose contaminantes secundarios como lluvia ácida u ozono.

Las limitaciones técnicas y presupuestarias imposibilitan monitorear todos los contaminantes presentes en el aire, es por ello, que los programas de monitoreo usualmente miden sólo un pequeño grupo de contaminantes que actúan como indicadores de la calidad del aire. Estos contaminantes específicos son seleccionados porque:

- Pueden causar efectos adversos significativos en la salud y el ambiente.
- Son descargados a la atmósfera por fuentes conocidas o sospechosas.
- Proporcionan buenos indicadores de la calidad del aire.

En la tabla 2.1.4 se enlistan los contaminantes criterio que se encuentran en la Normatividad Ambiental Vigente en México.

Tabla 2.1.4 Contaminantes criterio del aire.  
Fuente: SEMARNAT.

<b>Contaminantes criterio del aire</b>	
Monóxido de carbono	CO
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>
Ozono	O <sub>3</sub>
Plomo	Pb
Partículas suspendidas totales	PST
Partículas menores a 10 µm	PM <sub>10</sub>
Partículas menores a 2.5 µm	PM <sub>2.5</sub>

## **Frecuencias de medición**

Para el monitoreo no continuo de PST, en general, se efectúan mediciones de 24 horas a intervalos de 3 días, 6 días o según como lo requiera los objetivos del programa. El muestreo puede iniciarse y finalizar a la medianoche o fijar cualquier otra hora (40-CFR parte 50).

Para muestreos de gases mediante técnicas pasivas se usan frecuencias semanales o mensuales, sin embargo, estas mediciones no permiten resoluciones horarias de información si se pretende comparar con normas horarias.

En el caso de las mediciones con monitores continuos, las resoluciones de tiempo incluso pueden llegar a valores cada 1 minuto, los cuales posteriormente se promedian para generar valores horarios, diarios, semanales mensuales, anuales. En general, un mínimo del 75% de observaciones totales deben registrarse para el procesamiento de la información en cada una de las resoluciones de tiempo.

## **Selección de métodos de medición**

Se encuentra disponible una variedad muy amplia de métodos para medir los contaminantes atmosféricos, en el mercado y en competencia, los cuales varían tanto en precio como en precisión de las mediciones.

Además, se deben considerar otros aspectos como las limitaciones económicas particulares y la disponibilidad de personal calificado que participe en el programa de monitoreo. Factores como el costo de los instrumentos, así como la complejidad, la confiabilidad y el rendimiento de ellos juegan un papel importante en la selección.

## **Normatividad Ambiental Vigente en México**

Las normas ambientales son disposiciones legales que establecen, por acuerdo entre los distintos sectores de la sociedad, cuáles serán los niveles de contaminantes que serán considerados aceptables y seguros para la salud del ser humano y del ambiente. Las normas son herramientas que establecen los límites a aquellos elementos que presentan algún grado de peligro para las personas o el ambiente y señalan metodologías de medición para el contaminante. La Tabla 2.1.5 presenta las normas vigentes en México de calidad del aire para los contaminantes criterio y la Tabla 2.1.6 presenta las normas vigentes en México de la medición de concentración de contaminantes atmosféricos.



Tabla 2.1.5. Normas de calidad del aire vigente en México emitidas por la Secretaría de Salud.  
Fuente: Secretaría de Salud.

Norma Oficial Mexicana	Especificación
NOM-020-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterio para evaluar el valor límite permisible para la concentración de ozono (O <sub>3</sub> ) de la calidad del aire ambiente. Criterio para evaluar la calidad del aire.	0.11 ppm promedio horario para no ser rebasado una vez al año.  0.08 ppm promedio de 8 horas para no ser rebasado una vez al año.
NOM-021-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.	11 ppm promedio de 8 horas móvil para no ser rebasado una vez al año.
NOM-022-SSA1-2010. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.	0.11 ppm promedio de 24 horas para no ser rebasado una vez al año.  0.025 ppm promedio anual.  0.200 ppm promedio horario para no ser rebasado dos veces al año.
NOM-023-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ). Valor normado para la concentración de bióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población.	0.21 ppm promedio de 1 hora para no ser rebasado una vez al año.
NOM-025-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM <sub>10</sub> y partículas menores de 2.5 micrómetros PM <sub>2.5</sub> de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire.	PST: 210 µg/m <sup>3</sup> promedio 24 horas.  PM <sub>10</sub> : 120 µg/m <sup>3</sup> promedio 24 horas y 50 µg/m <sup>3</sup> promedio anual.  PM <sub>2.5</sub> : 65 µg/m <sup>3</sup> promedio 24 horas y 15 µg/m <sup>3</sup> promedio anual.
NOM-026-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el ambiente como medida de protección a la salud de la población.	1.5 µg/m <sup>3</sup> promedio de 3 meses.

Tabla 2.1.6. Normas de medición de concentración de contaminantes atmosféricos. Fuente: SEMARNAT.

Norma Oficial Mexicana
NOM-034-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. [Recurso electrónico]
NOM-035-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición. [Recurso electrónico]
NOM-036-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición [Recurso electrónico]
NOM-037-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. [Recurso electrónico]
NOM-038-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. [Recurso electrónico]

También, se encuentra el proyecto de Norma, PROY-NOM-156-SEMARNAT-2008, que describe el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

En la Tabla 2.1.7 se presentan los métodos exigidos por las normas de calidad de aire para la medición de los contaminantes normados.

Tabla 2.1.7. Métodos de medición exigidos en las normas de calidad del aire.  
Fuente: SEMARNAT.

Contaminante	Método de medición
Partículas menores a 10 $\mu\text{m}$ , PM <sub>10</sub>	- Método gravimétrico de muestreador de alto volumen equipado con cabezal PM-10. - Método gravimétrico de muestreador de bajo volumen equipado con cabezal PM-10
	- Principio de atenuación beta. - Método de transducción gravimétrica de oscilaciones inducidas. - Microbalanza de oscilación.
Partículas suspendidas totales, PST	- Método gravimétrico de muestreador de alto volumen, Hi-Vol.
Ozono, O <sub>3</sub>	- Quimiluminiscencia con etileno. - Fotometría de absorción ultravioleta. - Cromatografía líquida gas/sólido. - Espectrometría de absorción óptica diferencial con calibración in-situ.
Bióxido de azufre, SO <sub>2</sub>	- Fluorescencia ultravioleta. - Método de pararrosanilina.
Bióxido de nitrógeno, NO <sub>2</sub>	- Quimiluminiscencia.
Monóxido de carbono, CO	- Fotometría infraroja no dispersiva.

El monitoreo de calidad de aire se debe realizar con equipos que cumplan con los métodos de medición señalados en la Tabla 2.1.9 y que hayan sido reconocidos, aprobados o certificados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.

Estos equipos de medición se encuentran clasificados en: muestreadores pasivos, activos, analizadores automáticos y sensores remotos. Existe una quinta categoría, bioindicadores, los cuales son usados principalmente para fines de investigación (EPA, 2008).

Debido a que los costos de inversión y los costos operativos de las técnicas disponibles varían ampliamente, se recomienda elegir la tecnología más sencilla y económica pero considerando siempre que la elección sea acorde con el cumplimiento de los objetivos de monitoreo establecidos.

### Selección de los equipos de medición

Los parámetros instrumentales incluyen especificaciones tales como exactitud y precisión, ruido e intervalo de detección. Un resumen con los aspectos más importantes que se deben considerar en la selección del método, y por lo tanto del equipo de medición, se muestra en la Tabla 2.1.8.

Tabla 2.1.8. Factores a considerar en la selección del equipo de medición.  
Fuente: EPA Requirements for Quality Management Plans.

<b>Factores a considerar en la elección del equipo de medición</b>	
➤	Parámetros técnicos: <ul style="list-style-type: none"><li>✓ <u>Selectividad</u>: indica el grado de independencia de interferencias del método.</li><li>✓ <u>Especificidad</u>: indica el grado de interferencias en la determinación.</li><li>✓ <u>Límite de detección</u>.</li><li>✓ <u>Sensibilidad</u>: amplitud del cambio de la lectura del instrumento con respecto a los cambios de los valores característicos de la calidad del aire.</li><li>✓ <u>Exactitud</u>: grado de acuerdo o semejanza entre el valor real o verdadero y el valor medido.</li><li>✓ <u>Precisión o reproducibilidad de las medidas</u>: grado de acuerdo o semejanza entre los resultados de una serie de mediciones aplicando un método bajo condiciones predescritas y el valor medio de las observaciones.</li><li>✓ <u>Facilidad de calibración del instrumento</u>: está asociada a la disponibilidad de gases de calibración (estándares primarios) y su aplicación en el sistema de monitoreo.</li><li>✓ <u>Disponibilidad de gases de calibración</u>: gases comprimidos o secundarios.</li><li>✓ <u>Tiempo de respuesta del instrumento</u>: tiempo necesario para que el monitor responda a una señal dada; es decir, el período transcurrido desde la entrada del contaminante al instrumento de medición hasta la emisión del valor de la medición.</li></ul>
➤	Parámetros operacionales: <ul style="list-style-type: none"><li>• Disponibilidad de los sensores.</li><li>• Resolución tiempo real.</li><li>• Mantenimiento.</li><li>• Equipamiento adicional necesario.</li><li>• Mano de obra especializada requerida para el mantenimiento.</li><li>• Simplicidad de aplicación.</li><li>• Facilidad de uso.</li><li>• Fiabilidad y compatibilidad.</li><li>• Costo de adquisición, operación y mantenimiento.</li><li>• Soporte técnico.</li></ul>

## **Selección de los sitios de medición**

Es una de las tareas más importantes en el diseño de una red de monitoreo, ya que debe ser la ubicación más representativa para monitorear las condiciones de la calidad del aire.

En la Figura 2.1.2, se presenta un esquema general de las etapas de selección de sitios de monitoreo.

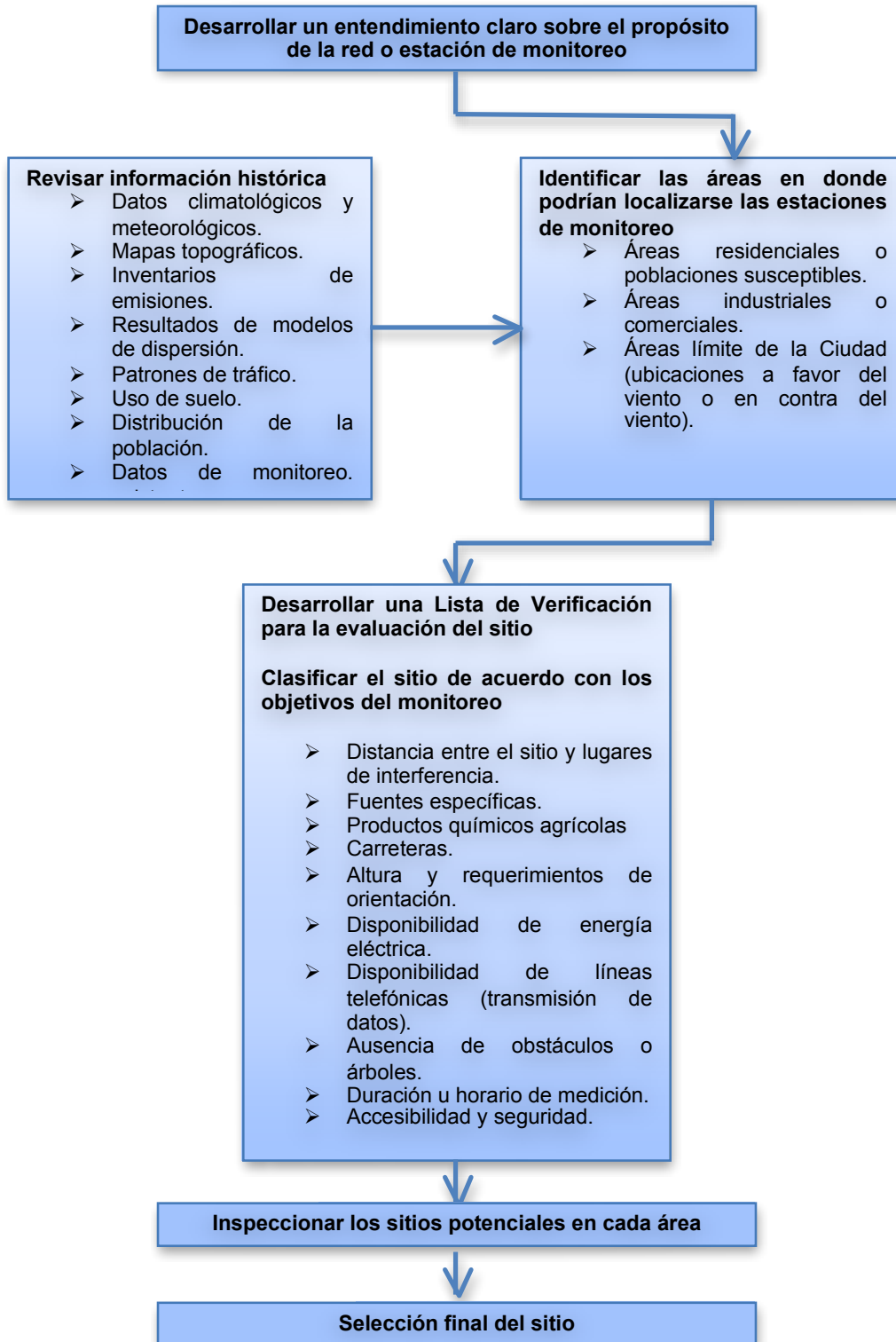


Figura 2.1.2. Esquema general de la selección del sitio de monitoreo. Fuente: EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement System. Volume II.

## Consideraciones para el sitio de medición

Para seleccionar las localizaciones más apropiadas en concordancia con los objetivos propuestos del monitoreo, es necesario manejar una serie de información que incluya, entre otros factores, información relativa a la ubicación de fuentes de emisiones, a la variabilidad geográfica o distribución espacial de las concentraciones del contaminante, condiciones meteorológicas y densidad de la población. En la Tabla 2.1.9 se presentan los factores para la selección del sitio de medición (EPA, 1974).

Tabla 2.1.9. Factores de decisión para la selección del sitio de instalación.

Fuente: EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement System. Volume 1.

Factores de decisión para la instalación de estaciones de monitoreo	
✓	Objetivos del monitoreo.
✓	Seguridad del sitio para la instalación.
✓	Inventario de emisiones.
✓	Resultados de la simulación de modelos.
✓	Consideraciones atmosféricas.
✓	Topografía.
✓	Otros factores: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de los datos requeridos.</li> <li>• Área a abarcar.</li> <li>• Variabilidad espacial de los contaminantes.</li> <li>• Disponibilidad de recursos.</li> <li>• Transporte de los equipos de calidad del aire al sitio.</li> </ul>

## Clasificación de los sitios de medición

Para permitir una evaluación más significativa y comparable de los datos obtenidos de las mediciones, los sitios de monitoreo pueden ser clasificados según el tipo de ambiente en que ellos se localizan. La descripción del sitio reflejará la influencia de una fuente contaminante en particular. Una categorización típica de los sitios de medición se señala en la Tabla 2.1.10.

Tabla 2.1.10. Clasificación de sitios de monitoreo.

Fuente: EPA Air Quality Monitoring Site description Guideline, 1974.

Clasificación del sitio	Descripción
Centro urbano	Representa una localización urbana de típica población expuesta en ciudades céntricas.
Urbano/aledañas o de fondo	Localización urbana distanciada de fuentes y por consiguiente ampliamente representativa de las ciudades alejadas del núcleo central.
Suburbano	Tipo de localidad situada en un área residencial en las afueras de un pueblo o ciudad.
Sitio de borde o cuneta	Sitio de monitoreo ubicado a un metro de camino transitado.
Industrial	Área donde las fuentes industriales desarrollan una importante contribución de contaminación.
Rural	Localidad de campo abierta, en un área de baja densidad de población, distanciada hasta donde sea posible, de caminos, poblados y áreas industriales.
Otros	Localidad relacionada a fuentes de emisión específicas como estacionamientos, aeropuertos, túneles, etc. Alternativamente, sitio localizado como punto receptor (hospital, escuela, etc.).

## Infraestructura general del sitio

En la Tabla 2.1.11 se enlistan criterios generales a considerar en cuanto a la infraestructura que debe tener asociado el sitio de medición.

Tabla 2.1.11. Infraestructura en los sitios de medición.  
Fuente: EPA Guidance for Preparing Standard Operating Procedures.

Factores a considerar en la infraestructura del sitio o red de medición.	
➤	Debe tener acceso a la energía eléctrica.
➤	Posibilidad de conexión telefónica.
➤	Debe ser accesible para albergar vehículos que ingresen al lugar.
➤	Debe permitir una entrega fácil de los cilindros cerca del sitio y permitir la transferencia de ellos en el lugar sin ningún problema.
➤	Debe haber fácil acceso al sitio en todo momento.
➤	Debe estar en un área donde el riesgo de vandalismo sea mínimo.

## Criterios de ubicación del sitio

En la Tabla 2.1.12 se presenta un resumen de los criterios generales de localización del sitio de medición en cuanto a requisitos de distancia mínima a obstrucciones como edificios, a la separación del tráfico vehicular y a la presencia de árboles o vegetación abundante en altura que puedan causar algún tipo de interferencias en las mediciones de contaminantes. Esta información se encuentra detallada en 40-CFR parte 58, Anexo E.

Tabla 2.1.12. Resumen de criterios de ubicación del sitio por contaminante y escala de medición.  
Fuente: EPA Guidance for Preparing Standard Operating Procedures.

Contaminante	Escala	Distancia vertical y horizontal de las estructuras <sup>A</sup> , (m)	Distancia a árboles, (m)	Distancia a calles, (m)
SO <sub>2</sub> <sup>B,C,D,E</sup>	Media Local Urbana Regional	>1	>10	NA
CO <sup>C,D,F</sup>	Microescala	>1	>10	2-10
	Media Local			Tabla 2.18
O <sub>3</sub> <sup>B,C,D</sup>	Media Local Urbana Regional	>1	>10	Tabla 2.18
NO <sub>2</sub> <sup>B,C,D</sup>	Media Local Urbana	>1	>10	Tabla 2.18
PM <sub>10</sub> <sup>B,C,D,E,G</sup>	Microescala	>2, sólo horizontal	>10	2-10
	Local			Figura 2.3
	Urbana Regional			

N/A: No aplicable

**A.** Cuando el sensor se localiza en un tejado, esta distancia de separación hace referencia a las paredes, a los parapetos o a los áticos situados en la azotea.

**B.** Debe ser > 20 metros de la línea de goteo del árbol y debe estar a 10 metros de la línea de goteo cuando el árbol actúa como obstrucción.

**C.** La distancia entre los obstáculos (árboles y edificios) y el muestreador debe ser mayor que dos veces la altura del obstáculo sobre el nivel de las entradas del muestreador.

**D.** Deben tener circulación de aire sin restricción de 270 grados alrededor del sensor o muestreador; 180 grados si el sensor está en el lado de un edificio.

**E.** El sensor o muestreador debe estar ubicado en ausencia de fuentes menores, tales como horno o tubos de la incineración. La distancia de separación es dependiente de la altura de la emisión de la fuente de menor importancia (como un tubo de emisión), del tipo de combustible o de basura quemada, y de la calidad del combustible (sulfuro, ceniza, o contenido en plomo). Este criterio se diseña para evitar influencias indebidas de fuentes menores.

**F.** Para microescalas de sitios de monitoreo de CO, el sensor debe estar > 10 metros de una intersección de calle y preferiblemente a mitad de cuadra.

**G.** Para monitores de PM<sub>10</sub> una distancia de separación de 2 a 4 m entre los monitores colocados.

N/A: No aplicable

A. Cuando el sensor se localiza en un tejado, esta distancia de separación hace referencia a las paredes, a los parapetos, o a los áticos situados en la azotea.

B. Debe ser > 20 metros de la línea de goteo del árbol y debe estar a 10 metros de la línea de goteo cuando el árbol actúa como obstrucción.

C. La distancia entre los obstáculos (árboles y edificios) y el muestreador debe ser mayor que dos veces la altura del obstáculo sobre el nivel de las entradas del muestreador.

D. La Tabla 2.1.9 se presenta la información correspondiente a la distancia de monitores a caminos.

E. El sensor o muestreador debe estar ubicado en ausencia de fuentes menores, tales como horno o tubos de la incineración. La distancia de separación es dependiente de la altura de la emisión de la fuente de menor importancia (como un tubo de emisión), del tipo de combustible o de basura quemada, y de la calidad del combustible (sulfuro, ceniza, o contenido en plomo). Este criterio se aplica para la ubicación de monitores en caminos.

Tabla 2.1.10 Distancia de monitores a caminos para O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> y CO

Fuente: EPA Guidance for Preparing Standard Operating Procedures, 19 metros de una intersección de calle y preferiblemente a mitad de cuadra.

G. Para monitores de PM<sub>10</sub> una distancia de separación de 2 a 4 m entre los monitores colocados

Promedio diario de tráfico vehicular (vehículos/día)	Distancia mínima para monitores de CO. Escala Media y Local (m)	Distancia mínima para monitores de O <sub>3</sub> y NO <sub>x</sub> para todas las escalas (m)
10.000	10	10
15.000	15	15
20.000	25	20
30.000	45	30
40.000	80	-
50.000	115	50
60.000	135	20
70.000	150	30
80.000	150	-
110.000	115	50
110.000	135	100
60.000	150	250
70.000	100	100
110.000	100	250

En la Figura 2.1.3 se presenta la distancia de muestreadores de PM<sub>10</sub> a caminos.

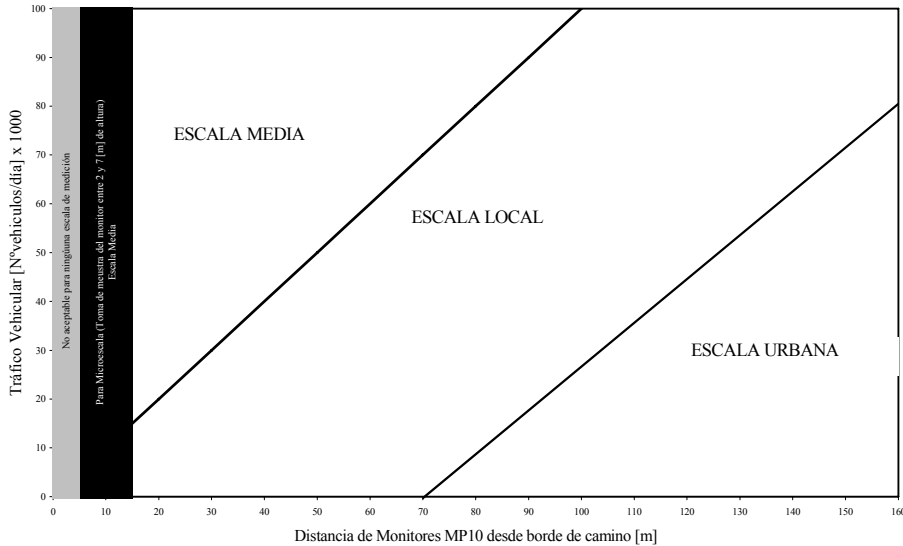


Figura 2.1.3. Distancia de muestreadores de PM<sub>10</sub> a caminos, de acuerdo a la escala de medición. Fuente: EPA Guidance for Preparing Standard Operating Procedures.

Figura 2-3. Distancia de monitores MP10 a caminos, de acuerdo a escala de medición

### Evaluación del sitio (visita al sitio). Lista de verificación

Los criterios de localización del sitio<sup>25</sup> de medición deben ser evaluados en campo, primero para seleccionar los sitios potenciales y, posteriormente, para definir las localizaciones definitivas que tendrán los sitios en los que se instalarán las estaciones de monitoreo. Se evalúa la información relativa a factores tales como clima, topografía y distribución de la población (EPA, 1974). Se trata de saber:

- ❖ Si la ubicación permitirá obtener una muestra representativa, incluyendo concentraciones promedio o concentraciones típicas en las áreas de interés.
- ❖ Si el lugar está sujeto a posibles interferencias de monitoreo o condiciones meteorológicas poco comunes.

- ❖ Si hay un camino de acceso adecuado, energía eléctrica y accesibilidad a los monitores.
- ❖ Si el lugar puede asegurarse contra el vandalismo.

Las consideraciones para elaborar una lista de verificación se presentan en la Tabla 2.1.14.

Tabla 2.1.14. Consideraciones para la ubicación de estaciones de monitoreo.  
Fuente: EPA Air Quality Monitoring Site description Guideline.

<b>Consideraciones para la selección del sitio de monitoreo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediciones que se deben de realizar en el sitio (NOx, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO, PST, meteorología).</li> <li>• Descripción del lugar (material de la superficie, terrenos aledaños, obstrucciones cercanas, vías de acceso, etc.).</li> <li>• ¿La ubicación del sitio es representativa de un escenario de exposición? <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Áreas residenciales, escuelas, poblaciones de alta densidad.</li> <li>✓ Áreas comerciales o industriales.</li> <li>✓ Dirección de vientos dominantes.</li> <li>✓ Medición de la concentración de fondo.</li> </ul> </li> <li>• ¿El sitio está lo suficientemente lejos de las fuentes de emisión que puedan tener influencias o causar interferencias? <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fuentes puntuales: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalaciones industriales.</li> <li>- Refinerías.</li> <li>- Centrales Termoeléctricas.</li> <li>- Otros.</li> </ul> </li> <li>✓ Fuentes de área: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Caminos.</li> <li>- Aplicación de productos agrícolas.</li> <li>- Planta de tratamiento de aguas.</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>• ¿Hay alguna razón para creer que las condiciones meteorológicas puedan influir en los resultados? (especialmente para partículas).</li> <li>• ¿El lugar es apropiado para determinar los niveles de concentración promedio o típicos durante el período requerido para el cálculo del promedio? <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Gases.</li> <li>✓ Partículas.</li> </ul> </li> <li>• ¿Es adecuada la vía de acceso?</li> <li>• ¿Hay disponibilidad de energía eléctrica y líneas de transmisión de datos?</li> <li>• ¿Puede asegurarse el sitio contra el vandalismo?</li> <li>• ¿Hay edificios cercanos, árboles u otras obstrucciones que podrían alterar los patrones de circulación o servir como superficies reactivas? <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ¿Puede separarse la entradas del tomamuestra y los obstáculos cercanos una distancia equivalente de 2 ó 3 veces la altura que tiene el obstáculo?</li> <li>✓ ¿Puede proporcionarse una corriente de aire ilimitada (por lo menos 270°) alrededor de la entrada de muestra?</li> <li>✓ Para la medición de partículas ¿Está el lugar por lo menos 20 metros de la línea de goteo de los árboles?</li> </ul> </li> <li>• ¿Pueden colocarse las entradas de aire de 3 a 15 metros por encima del nivel del terreno, para disminuir la posibilidad del vandalismo? Para el equipo de partículas se recomienda instalarlo de 2 a 15 metros sobre el nivel del terreno.</li> <li>• ¿Pueden colocarse las entradas de aire de 1 ó 2 metros por encima de la caseta de monitoreo.</li> </ul>



## Determinación de la cantidad de los sitios de medición

El número y distribución de estaciones de monitoreo depende del área a ser cubierta, de la variabilidad espacial de los contaminantes y del uso final de los datos requeridos, de la disponibilidad de recursos y de la factibilidad del transporte de instrumentos.

En función de la población, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un criterio para establecer un número promedio de estaciones de muestreo de calidad de aire que dependen del parámetro que se pretenda medir. Estos criterios se resumen en la Tabla 2.1.16.

Tabla 2.1.16. Recomendaciones del número mínimo de sitios de medición.  
Fuente: OMS, 2002.

Población (millones)	Parámetros de monitoreo					
	Partículas	SO <sub>2</sub>	NOx	Oxidantes	CO	Meteorológicos*
Menos de 1	2	4	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

\* Velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad.

Los valores señalados anteriormente pueden ser modificados si se consideran los siguientes aspectos:

- En ciudades con alta densidad industrial deben instalarse más estaciones de medición de partículas y dióxido de azufre.
- En zonas en donde se utilicen combustibles pesados se debe incrementar el número de estaciones de dióxido de azufre.
- En zonas con tráfico intenso se deben duplicar las estaciones de monóxido de carbono y óxido de nitrógeno.
- En ciudades con poblaciones mayores a 4 millones de habitantes, con tráfico ligero, se pueden reducir las estaciones de monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.
- En regiones con terreno accidentado, puede ser necesario incrementar el número de estaciones.

## Implantación de la estación de monitoreo

### Requerimientos generales de la red y/o estaciones de monitoreo

Requerimientos generales para establecer una estación de monitoreo:

- ✓ La estación debe tener los resguardos suficientes (contra vandalismo) y acceso limitado (cerraduras y mallas de seguridad).
- ✓ Su estructura debe ser amigable y de fácil acceso a los procesos de operación y mantenimiento de los equipos de calidad del aire.

- ✓ Debe ser adecuada a las condiciones de tiempo del área local.
- ✓ La caseta debe diseñarse con materiales de aluminio y acero inoxidable, ya que estos materiales no permiten la acumulación de polvo en forma excesiva y son de fácil limpieza.
- ✓ La estación debe ser diseñada para controlar las vibraciones y la luminosidad excesivas sobre los instrumentos.
- ✓ El diseño de la estación debe asegurar suministro eléctrico.

En la Figura 2.1.4 se presenta un ejemplo de la distribución de los equipos instalados en el interior de una caseta de monitoreo atmosférico.

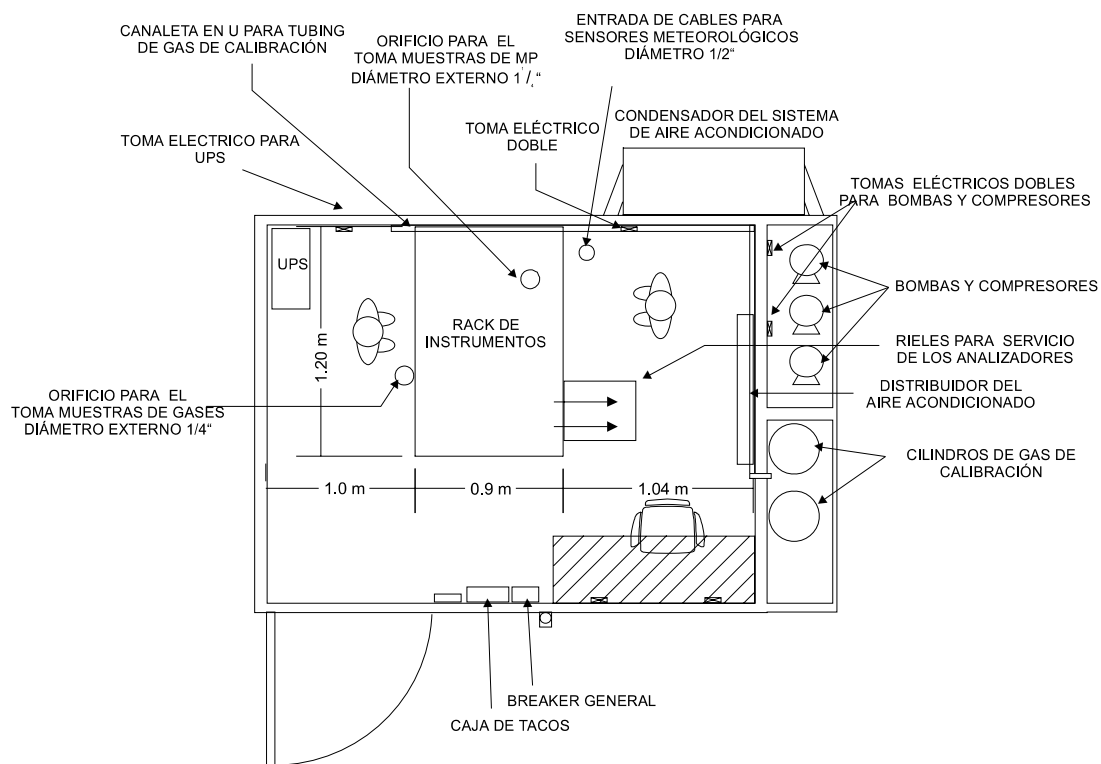


Figura 2.1.4. Distribución de equipos al interior de una estación de monitoreo. Fuente: EPA Requirements for Quality Assurance Project Plans.

Los equipos de monitoreo requieren temperaturas estables en el rango de 20 a 25°C, por lo cual se requiere un sistema de aire acondicionado. También, se debe asegurar que los circuitos eléctricos puedan llevar la carga necesaria. Los equipos de medición deben localizarse en un rack, en el cual sus partes delanteras y traseras deben quedar al descubierto para facilitar las futuras operaciones de mantenimiento y operación.

La construcción de la caseta debe tener un tamaño adecuado, (3.0 m x 2.0 m x 2.5 m alto) para acomodar la instrumentación especificada.

## Equipamiento para la medición de la calidad del aire y transmisión de datos

La estación debe equiparse con los siguientes sistemas:

- ✓ Equipos de medición de partículas y/o de gases según corresponda y su equipamiento asociado.
- ✓ Sistemas de recolección de datos.
- ✓ Sistemas de transmisión de datos (algunos sitios, que requieran transmitir datos en tiempo real).
- ✓ Sistemas de respaldo eléctrico ante cortes de energía.

## Criterios de localización de los equipos de monitoreo para la medición de la calidad del aire

Los equipos para el muestreo de PST, como el de alto volumen, se localizan al aire libre sobre la caseta, mientras que los monitores automáticos de partículas y gases son ubicados dentro de la estación (en racks) recibiendo la muestra de aire del exterior a través de mangueras de material inerte (recomendable teflón).

Con el objeto de obtener datos de calidad de aire comparables provenientes de las distintas estaciones de monitoreo, existen algunas condiciones de localización de toma de muestra para cada equipo de monitoreo.

La Tabla 2.1.16 muestra un resumen de criterios de ubicación del toma muestra por contaminante y escala de medición. Esta información puede también encontrarse en 40 CFR Part 58, Anexo E de la EPA.

Tabla 2.1.16. Criterios de ubicación del toma de muestra por contaminante y escala de medición.  
Fuente: EPA 40CFR parte 50 anexo E.

Contaminante	Escala	Altura del toma de muestra <sup>A</sup> , (m)	Distancia vertical y horizontal de las estructuras soportantes, (m)
SO <sub>2</sub> <sup>C,D,E,F</sup>	Media Local Urbana Regional	3 – 15	>1
CO <sup>D,E,G</sup>	Microescala	3±0.5	>1
	Media Local		
O <sub>3</sub> <sup>C,D,E</sup>	Media Local Urbana Regional	3 – 15	>1
NO <sub>2</sub> <sup>C,D,E</sup>	Media Local Urbana	3 – 15	>1
PM <sub>10</sub> <sup>C,D,E,F,H</sup>	Microescala	2 – 7	>2, sólo horizontal
	Local Urbana Regional	2 – 15	

**A.** Aplicable solo a escala de monitoreo de CO local y todas las escalas aplicables para monitoreos de SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, precursores O<sub>3</sub>, y NO<sub>2</sub>.

**B.** Cuando el sensor se localiza en un tejado, esta distancia de separación hace referencia a las paredes, a los parapetos, o a los áticos situados en la azotea.

**C.** Debe ser > 20 metros de la línea de goteo del árbol y debe estar a 10 metros de la línea de goteo cuando el árbol actúa como obstrucción.

- D. La distancia entre los obstáculos (árboles y edificios) y el muestreador debe ser mayor que dos veces la altura del obstáculo sobre el nivel de las entradas del muestreador.
- E. Debe existir circulación de aire sin restricción de 270 grados alrededor del sensor o muestreador; 180 grados si el sensor está en el lado de un edificio.
- F. El sensor o muestreador debe estar situado en ausencia de fuentes menores, tales como horno o tubos de la incineración. La distancia de separación es dependiente de la altura de la emisión de la fuente de menor importancia (como un tubo de emisión), del tipo de combustible o de basura quemada, y de la calidad del combustible (sulfuro, ceniza, o contenido en plomo). Este criterio se diseña para evitar influencias indebidas de fuentes menores.
- G. Para microescalas de sitios de monitoreo de CO, el sensor debe estar > 10 metros de una intersección de calle.
- H. Para monitores de PM<sub>10</sub> una distancia de separación de 2 a 4 m entre los monitores colocados.

## **Infraestructura general**

Se requiere que la caseta cuente como mínimo con lo siguiente:

- Instalación eléctrica interior.
- Aire acondicionado.
- Almacenaje de cilindros de gases.
- Estantería adecuada.
- Infraestructura para el operador.

## **Equipo para la medición de parámetros meteorológicos**

Para apoyar las mediciones de calidad de aire es recomendable incluir una estación meteorológica simple para ayudar en la interpretación y predicción de la dispersión de contaminantes.

La estación meteorológica, debería contar con sensores de:

- ❖ Velocidad y dirección del viento.
- ❖ Humedad relativa.
- ❖ Temperatura.

Si se cuentan con recursos suficientes se puede incluir sensores de:

- ❖ Radiación solar.
- ❖ Presión barométrica.
- ❖ Radiación ultravioleta.

Los sensores pueden ser instalados a un mástil o torre de 10 m de altura (para las mediciones de velocidad y dirección del viento) el que puede estar o no adosado a la caseta de instalación. Las señales de medición de los parámetros meteorológicos pueden estar centralizadas en el sistema de adquisición de la estación o bien almacenadas en forma autónoma en otro dispositivo.

### **2.2. Operación y mantenimiento de la red (previo al Control de Calidad)**

Las acciones de aseguramiento de la calidad de las mediciones se efectúan también en la recepción y aceptación de los equipos y suministros que serán utilizados en la operación de monitoreo y en las medidas que aseguren un traslado y una instalación adecuada de los equipos.

Luego que los equipos son aceptados, trasladados e instalados en el sitio de monitoreo, comienza la ejecución del programa de visita y mantenimiento de las estaciones de monitoreo.

### **Procedimientos administrativos**

El control de suministros y de materiales consumibles que serán utilizados es importante para el éxito del programa de aseguramiento de calidad.

Es recomendable que los requisitos de aceptación de estos suministros se encuentren especificados para cada artículo, equipo o parte componente, y se encuentren disponibles durante el proceso de adquisición y recepción para ser verificados por el operador correspondiente.

### **Programa de operación y mantenimiento de la red**

#### **Programa de visita**

Las visitas al sitio también constituyen un componente esencial de todo esquema de AC/CC. Los programas de operación y de mantenimiento de la red incluyen visitas al sitio por parte del operador, verificaciones de cero y span, mantenimiento, calibraciones, cambio de filtro para el muestreo de partículas y documentación a una frecuencia regular y preestablecida (EPA, 2000).

En la Tabla 2.2.1 se resume la información de las actividades que debe incluir un programa de visita a cada estación de monitoreo.

Tabla 2.2.1. Resumen de actividades de visita al sitio de monitoreo.  
Fuente: EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II.

<b>Acciones de operación en la red</b>	<b>Actividad desarrollada por (o personal encargado)</b>	<b>Frecuencia de ejecución</b>
Visita regular al sitio	Operador del sitio	Semanalmente
Verificación cero y span	Técnico de calibración u operador del sitio	Semanalmente
Calibración de equipos	Técnico de calibración	Semestralmente. Después de reparaciones. Al instalar el equipo en la estación
Cambio de filtro para el muestreo de partículas	Operador del sitio o personal encargado a realizar la actividad	Depende del objetivo del sistema de muestreo (cada 3 ó 6 días)
Auditoría interna	Empresa auditora u otro técnico distinto al operador rutinario	Anualmente
Auditoría externa	Empresa auditora externa	Cada dos años

Aunque los sistemas de adquisición de datos por medio de telemetría u otro medio de transferencia automática están teniendo un uso extensivo en las redes de monitoreo, las visitas regulares al sitio por parte del operador de la estación siguen siendo esenciales para asegurar la operación apropiada de los instrumentos y maximizar la obtención de datos íntegros de las muestras de aire.

Cada visita del operador, y las actividades efectuadas, deben ser documentadas en la bitácora de campo.

La siguiente lista señala las actividades que son efectuadas por el operador:

- ✓ Examinar las condiciones externas del sitio.
- ✓ Revisar el sistema registrador de flujos y el sistema de adquisición de datos para los equipos de medición automática y registrar cualquier cambio inusual ocurrido desde la última visita.
- ✓ Asegurar que el o los equipos estén funcionando correctamente de acuerdo con los procedimientos normalizados de operación.
- ✓ Verificar que la entrada de toma muestra no esté bloqueada o dañada.
- ✓ Examinar los filtros de entrada y cambiarlos cuando sea necesario.
- ✓ Registrar las situaciones encontradas que deban corregirse por personal entrenado para esos fines.
- ✓ Efectuar verificaciones de cero y span a los equipos que corresponda y verificar la cantidad restante de presión de gas en los cilindros.
- ✓ Calibrar los instrumentos y realizar verificaciones, según corresponda.
- ✓ Minimizar toda inoperatividad de los instrumentos hasta donde sea posible, mediante la previsión de problemas antes de que se manifiesten alterando la exactitud de las mediciones.
- ✓ Ejecutar funciones de rutina esenciales, tales como cambio de filtros para partículas y limpieza del tubo colector.
- ✓ Instalar un equipo nuevo o reemplazar las unidades cuando sea necesario.

### **Documentación de las visitas al sitio**

Para realizar estas funciones de manera eficiente y sistemática, se debe crear un calendario de visitas regulares a todos los sitios de monitoreo. Las actividades efectuadas en estas visitas, chequeos de funcionamiento, calibraciones y mantenimiento preventivo y correctivo deben quedar registrados en la bitácora respectiva.

En la visita al sitio, el operador puede encontrar problemas con el funcionamiento de los equipos, averías en el sistema neumático, problemas eléctricos, fallas en los sistemas de transmisión de datos, entre otros.

### **Mantenimiento de las estaciones de monitoreo**

El propósito principal del mantenimiento es verificar y mantener el funcionamiento normal de los dispositivos automáticos y no automáticos de medición y garantizar la apropiada salida de los datos de monitoreo.

La importancia de los procedimientos de mantenimiento para los equipos de monitoreo de la calidad del aire no siempre es suficientemente reconocida. Sin embargo, esta etapa es fundamental dentro del programa de AC/CC para asegurar mediciones exactas y fidedignas que cumplan con los objetivos planteados al inicio del programa de monitoreo/muestreo. Solo a través del tratamiento adecuado de los instrumentos, los sistemas de monitoreo podrán operar satisfactoriamente y durante periodos prolongados en el sitio.

### **2.3. Control de Calidad**

El control de calidad tiene un rol importante en el proceso de medición, sobre todo si la información generada servirá como base para la toma de decisiones a un problema ambiental particular.

Así, el propósito principal del control de calidad es asegurar que las mediciones operen con un cierto nivel de desempeño que maximice la exactitud de las mediciones. Además, permite identificar donde se producen los errores, cuál es la magnitud del error y sus consecuencias en la toma de decisiones (EPA, 2000).

#### **Calibración de equipos**

La mayoría de los equipos para el monitoreo de calidad de aire y meteorología (incluyendo adquirentes de datos) deben ser calibrados cada cierto intervalo de tiempo para corregir sesgos y corrimientos instrumentales.

Se define Calibración como: conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición o por un sistema de medición, o los valores representados por una medida física o un material de referencia y los valores correspondientes de una magnitud realizados por un patrón de referencia (EPA, 2008).

#### **Tipos de calibraciones**

Las calibraciones en monitores continuos de gases y partículas, al menos deben considerar:

- Calibración de flujos.
- Calibración de señales analógicas.
- Calibración de concentraciones.

#### *Calibración de flujos.*

La concentración de gases medida en los monitores continuos considera que el flujo de muestra de gas aspirado por el monitor y procesado en la cámara de reacción se mantiene constante en el valor de operación fijado. Luego, la calibración de flujos consiste en verificar que el flujo de aire aspirado por el monitor (en general entre 0.5 y 1.0 L/min en monitores de gases) se encuentre en los rangos de operación recomendados por el fabricante (EPA, 2002).

### *Calibración de señales analógicas.*

Las concentraciones obtenidas en los monitores son expresadas en las salidas analógicas de éstos en rangos de voltaje, por ejemplo, el intervalo de 0 y 1 V puede ser equivalente a un intervalo de 0 a 1000 ppb (o  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en concentraciones, variando linealmente.

### *Calibración de concentraciones.*

Este proceso consiste en verificar la exactitud de un monitor utilizando para ello una muestra de aire con contaminante de concentración conocida por un período determinado de tiempo.

La concentración conocida puede ser obtenida de diversas formas. En el caso de monitores de gases, se pueden utilizar cilindros de gases con concentración conocida (debidamente certificada), la cual puede ser introducida en la toma de muestra del monitor directamente (sin diluir) o previamente en otro equipo denominado dilutor, disminuir la concentración a un valor deseado mezclándola con aire limpio para luego ingresarla al monitor.

Otra opción es la utilización de tubos de permeación, los cuales son instalados en el interior de los monitores, para que a una determinada temperatura permita la liberación de una concentración conocida del gas.

En el caso de los monitores continuos de partículas, los métodos son diferentes. Para monitores TEOM, se utilizan filtros de masa conocida para estimar la concentración en forma indirecta verificando la frecuencia de oscilación en la unidad sensora de masa. En los monitores BETA, el método también es indirecto verificando la atenuación de rayos beta mediante el uso de cintas con opacidad conocida. Esta calibración se realiza al menos cada 3 meses o luego de una reparación de los equipos (EPA, 20002).

Para el caso del muestreo de partículas suspendidas totales (PST) se utiliza el equipo de grandes volúmenes, Hi-Vol., y el procedimiento de calibración se encuentra en la NOM-035-SEMARNAT-1993.

Durante la operación de las estaciones de monitoreo, existen diferentes tipos de calibración de las concentraciones de los monitores de gases:

#### a) Calibración cero y span.

Consiste en verificar el cero del equipo (línea base), es decir, la respuesta ante una muestra de aire limpio (aire cero) y la respuesta ante una concentración conocida o "span", la cual normalmente es del orden del 80% del intervalo de medición del equipo.

El tiempo de verificación es del orden de 10 a 15 min por cada punto de medición. Una vez verificado el equipo éste se ajusta, es decir, se interviene de manera tal que responde con valores muy cercanos ante una fase de cero o span.



#### b) Verificación cero y span.

Esta operación es similar a la calibración cero y span, pero no se ajusta el equipo. Es decir, solo verifica que el equipo se mantiene en los intervalos normales de operación. Sin embargo, si existen desviaciones considerables (criterios de aceptación de valores) en la respuesta del monitor respecto a los valores cero o span se debe realizar un ajuste.

#### c) Calibración multipunto.

Este proceso además de la verificación del cero, considera la verificación de al menos tres puntos adicionales, los cuales generalmente corresponden a los valores equivalentes al 20%, 40% y 60% de la escala. Esta operación también incluye ajustar el equipo.

En general, se recomienda realizar como mínimo, calibraciones multipunto:

- A intervalos de 6 meses para todos los analizadores de la estación.
- Antes de comenzar a reportar datos (o luego de instalarlo en el sitio de medición).
- Previo al retiro o traslado de un equipo.
- Luego de una reparación.
- Mensualmente o cada 3 meses en analizadores nuevos para establecer la estabilidad de las mediciones.

### **Aceptación de valores**

En general, se acepta hasta un 15% de desviación de los valores medidos (flujos y/o concentraciones) respecto al esperado durante una etapa de verificación o calibración.

La EPA propone como valores límites de desviación 15 ppb para el cero (1.5 ppm para monitores de gases) y 15% para span (con un span cercano al 80% de la escala de medición), en caso de superar estos valores se debe ajustar el equipo, realizar una calibración multipunto e invalidar las mediciones desde la última verificación válida.

### **Representatividad de las mediciones**

#### **Verificación del sitio de monitoreo**

El registro de la estación es una cronología de los acontecimientos que ocurren en la estación de monitoreo, en el cual deben estar señalados tanto los registros de mantenimiento efectuados en ella como los problemas generados y la solución adoptada para dichos problemas.

La verificación del sitio de monitoreo incluye una revisión de las condiciones generales del sitio, la calidad de la información en la bitácora de campo y el ambiente alrededor del sitio comparado con los criterios originales de ubicación.

La exposición de las entradas de aire, toma muestras y sensores constituye un factor significativo en los resultados de las mediciones de calidad de aire y meteorología, por consiguiente, a fin de que las observaciones puedan ser comparables, las exposiciones deben ser similares.

Los sensores y toma muestras deben quedar fuera de la influencia inmediata de obstáculos, como edificios y/o árboles; esta distancia depende de la variable a medir, así como el tipo de obstrucción.

### **Verificación de las condiciones internas de las estaciones**

Dentro de las acciones de verificación de la estación, se debe verificar o comprobar que la estación ha sido verificada en forma periódica como parte del programa de mantenimiento preventivo. Entre las acciones que deben estar registradas y verificadas como parte del control de calidad se tiene las siguientes:

- Limpieza del piso.
- Inspección de la seguridad de la caseta.
- Mantenimiento y reparación del sistema de aire acondicionado.
- Registro de temperaturas.
- Mantenimiento y reparación del techo de la caseta.
- Limpieza general.

### **Manejo de muestras y cadena de custodia**

Una actividad dentro de cualquier fase de recolección de datos es el proceso de manejo de muestras en campo, a través de las fases del transporte, almacenamiento y fases analíticas. Asegurar y documentar este manejo apropiado de las muestras forma parte de lo que se denomina el registro de custodia.

### **Manejo de muestras**

Un adecuado manejo de las muestras obtenidas en campo es crucial para todo programa de muestreo. Sólo con un detallado tratamiento de ellas es posible asegurar que las muestras recolectadas no sufran modificaciones, pérdidas ni alteraciones en la información final obtenida. El manejo de muestras incluye las siguientes etapas (EPA, 2002):

- Etiquetado (antes y después del muestreo).
- Recolección de muestras.
- Transporte de las muestras.

#### *Identificación y etiquetado de las muestras.*

Todas las muestras deben ser etiquetadas para asegurar una identificación apropiada a lo largo de todo el proceso de muestreo en campo, transporte y análisis de laboratorio.

Cada contenedor de muestras (sobre con los filtros en el caso de muestreadores de alto volumen o bolsas con las cápsulas de petri para muestreadores dicotómicos, etc.) debe tener una única identificación (ID) irrepetible en el transcurso del programa de muestreo con el fin de evitar la posibilidad de intercambio entre muestras, en la figura 2.3.1 se presenta un ejemplo de identificación estandarizada.

Nombre de la Institución a cargo del muestreo	
Nº ID de la muestra	
Tipo de muestra	
Fecha de remoción	
Nombre del sitio	
Dirección del sitio	
Muestreador	

Figura 2.3.1. Etiquetado de la muestra. Fuente: SCA-CCA-UNAM.

### *Recolección de las muestras.*

Para reducir la posibilidad de invalidar los resultados, las muestras deben removerse cuidadosamente del dispositivo de muestreo y sellarse en un contenedor adecuado.

Luego de recolectada la muestra de campo y etiquetada con la debida identificación, las muestras deben entregarse al laboratorio para el análisis correspondiente.

### *Transporte de las muestras.*

En el transporte de muestras es importante tomar precauciones para eliminar la posibilidad de destrucción accidental y/o acción física y química sobre la muestra. Situaciones que pueden afectar la integridad de las muestras incluyen temperaturas extremas, presión atmosférica (en transporte aéreo) y el manejo físico de muestras por personas ajenas al programa que carecen de las nociones de cuidado que se le debe dar.

### **Cadena de custodia**

Dada la importancia de los resultados del programa de muestreo, un registro escrito de custodia de los datos debe mantenerse en todo momento. Sin este registro de cadena de custodia el personal no puede estar seguro que los datos del muestreo sean los mismos que los datos reportados en un momento particular o que los filtros enviados a terreno sean los mismos entregados para análisis de laboratorio (EPA, 2002).

Se recomienda confeccionar un formulario de cadena de custodia que acompañe a las muestras en todo momento, del campo al laboratorio. Todas las personas que reciban o entreguen en algún momento las muestras deben firmar el formulario.

## **Mantenimiento de la trazabilidad**

La trazabilidad es la propiedad de un instrumento de medida que permite referirlo a patrones de medida internacionales o nacionales, a través de una cadena de comparaciones. Todos los patrones que se utilicen en la calibración de instrumentos han de tener trazabilidad con patrones de orden superior (patrones primarios) pertenecientes a un laboratorio acreditado, es decir, que a su vez hayan sido calibrados con un patrón de mayor precisión por un organismo oficial. Estos patrones primarios deben ir acompañados de su certificado de calibración, en donde se indique la fuente de procedencia, la fecha de calibración, la incertidumbre y las condiciones bajo las cuáles se obtuvieron los resultados (EPA, 2000).

La norma ISO-9001:2000 de sistemas de calidad, se especifica que cuando sea necesario, los equipos de medición deben calibrarse o verificarse a intervalos especificados, garantizando siempre que sea posible, la cadena de trazabilidad de las medidas obtenidas hasta patrones nacionales o internacionales.

## **Evaluación del personal**

Como una medida de control de calidad la organización a cargo del monitoreo debe evaluar al personal encargado de las distintas etapas del monitoreo, verificando las capacidades que tengan estos para ejercer sus funciones, con base en el reconocimiento de estudios previos efectuados por el personal en el área específica de trabajo y su experiencia.

### **2.4. Procesamiento de la información**

#### **Recolección de la información**

La transferencia de información desde las estaciones al sistema central de adquisición y procesamiento de datos, se puede realizar mediante comunicación telefónica (red fija o móvil), comunicación radial (UHF, VHF, etc.), satelital, cable u otro sistema de transmisión de datos.

#### **Validación de la información**

Antes de que los datos sean aceptados en la base de datos final, los datos erróneos deben ser filtrados o extraídos. Este proceso de validación es vital para maximizar la integridad de los datos.

Tendencia de cero y span, resultados de calibraciones y ajustes efectuados en los parámetros de operación, desarrollo e historia de los servicios realizados a los equipos, cambio en las condiciones estacionales, cambio climático inusual, y los niveles de otros contaminantes durante el mismo período son algunos de los factores considerados en el proceso de validación.

Se recomienda llevar una inspección manual diaria de todos los datos por un analista con experiencia en análisis de datos en el área de contaminación de aire, método de medición del analizador y condiciones meteorológicas.

Se recomienda que el sistema de información incorpore el seguimiento de las variables de estado de operación de cada monitor (voltajes, temperaturas y otras), y genere reportes de advertencia cuando se detecten desviaciones significativas.

La Figura 2.4.1 muestra un esquema que resume los factores adicionales a la información generada para la realización de la validación.

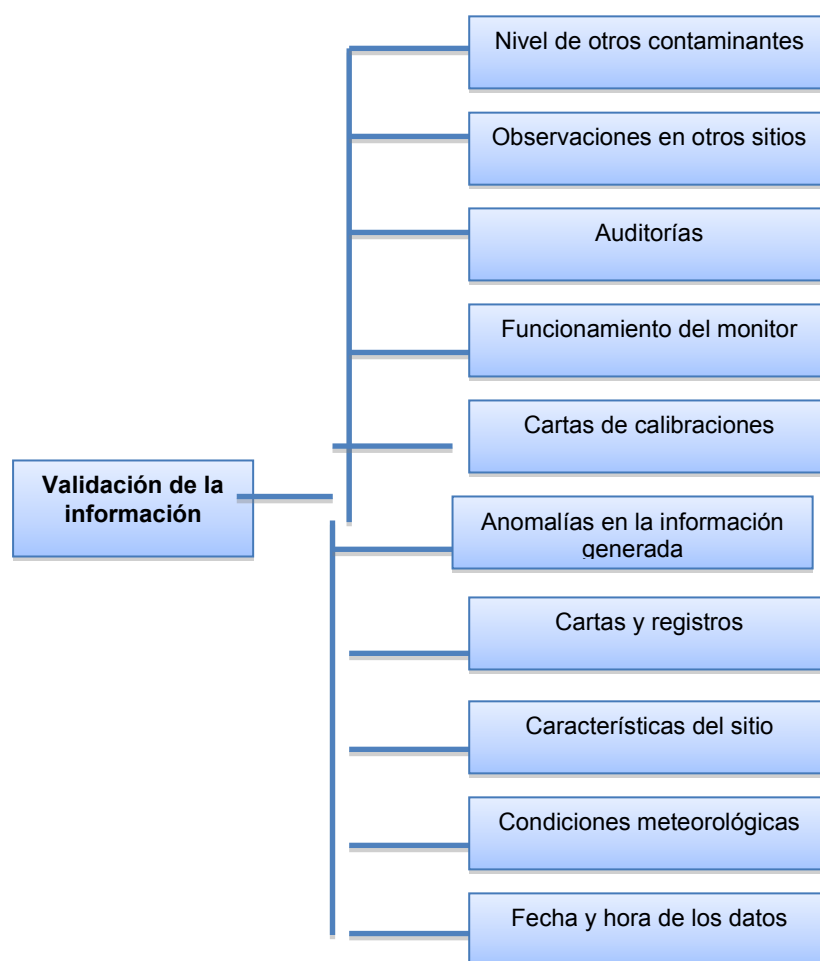


Figura 2.4.1. Factores en el proceso de validación de los datos. Fuente: EPA Guidance for the Data Quality Objectives Process.

### Niveles de validación

Los niveles de validación, cada uno por separado, entregan códigos, por ejemplo numéricos, que indican la confiabilidad de la información generada, los cuales son adicionados a la información cruda para su uso posterior.

Así, es posible definir cuatro niveles de validación (EPA, 2002):

### *Validación de nivel 0.*

La validación de nivel cero se realiza esencialmente a la información cruda proveniente de los sistemas de medición, la que puede ser revisada, pero no editada ni modificada.

### *Validación de nivel 1.*

La validación de nivel uno se realiza para la verificación cuantitativa y cualitativa de la exactitud, integridad y consistencia de la información generada, la cual se realiza en forma manual por el personal entrenado y calificado para su ejecución.

Este nivel de validación usa como parámetros para su ejecución el comportamiento de valores de variables relacionadas o dependientes, los valores conocidos de estatus de calibración y los parámetros de diseño de los equipos de medición.

Este nivel de validación permite verificar la consistencia temporal de la información, con respecto a valores esperados para época de año, valores esperados respecto al ciclo diario, etc., y verificar la consistencia espacial.

### *Validación de nivel 2.*

La validación de nivel dos se realiza para determinar el funcionamiento de equipos de medición mediante la comparación entre mediciones independientes de una misma variable. Esta comparación quita los sesgos que un monitor podría generar con motivo de su uso.

### *Validación de nivel 3.*

La validación de nivel tres permite evaluar la información generada utilizando criterios de interpretación y uso de ésta, es decir, se reporta como válida la información en nivel tres cuando la totalidad de la información tiene una interpretación física del fenómeno.

El sistema de información debe, además, generar reportes de estadísticas de captura de datos, tipos de fallas más frecuentes, y otros que apoyen la operación de la red.

El personal dedicado a la validación de la información debe tener la preparación y experiencia necesaria para realizar en forma eficiente esas labores. La infraestructura del sistema de información de adquisición y el software para captura de datos y procesamiento, deben ser adecuados para las funciones realizadas.

## **Procedimiento de validación**

Cada sistema de medición debe preparar procedimientos propios de validación, los cuales deben contemplar criterios cuantitativos y cualitativos.

Los criterios cuantitativos hacen referencia a información histórica del sitio de medición, estado operacional de los equipos, calibraciones, rango de medición, etc. (EPA, 2002).

Los criterios cualitativos incorporan información relevante respecto de condiciones de la medición, observaciones adicionales, tales como meteorología u otros contaminantes, mediciones independientes de otras estaciones u otros sistemas de medición, etc., datos que en general ayudan a la toma de decisión respecto de los datos sospechosos (EPA, 2002).

La Figura 2.4.2 muestra un esquema general de estructuración del proceso de validación, aplicado a sistemas de medición que incluye los procesos analíticos de laboratorio, los cuales podrían no estar incorporados dentro de una misma organización o institución que se dedique al monitoreo de contaminantes.

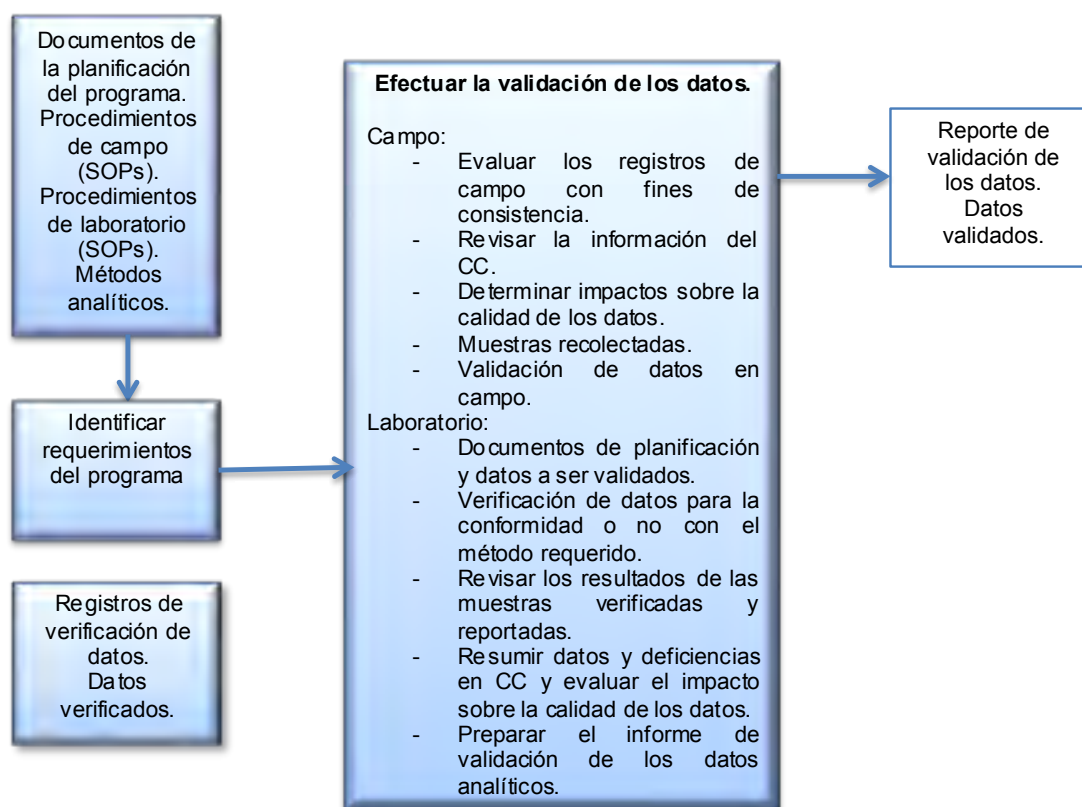


Figura 2.4.2. Proceso de la validación de los datos. Fuente: EPA Guidance for the Data Quality Objectives.

### Descripción del proceso de validación

Los documentos y registros generados en las actividades de campo, que deben ser entregados al encargado de validación son:

- Registro de calibración de los instrumentos.
- Libro de campo con el registro de las actividades diarias.
- Documentación de las muestras recolectadas.
- Documentación de la cadena de custodia.

Respecto a las entradas provenientes de las actividades analíticas de laboratorio, el encargado de validación debe conocer la documentación necesaria que se debe entregar producto de las actividades de laboratorio.

Entre las etapas de recepción, preparación, análisis y reportes de información se puede generar numerosa documentación. El encargado de validación debe supervisar que todos los archivos apropiados sean generados antes del proceso de validación.

### **Implantación del proceso de validación**

Los tres pasos básicos del proceso de validación incluyen:

El primer paso, identificar las necesidades del proyecto, empieza con una revisión de los documentos de planificación, en los cuales no sólo se debe identificar los objetivos del análisis sino también los requerimientos específicos que deben ser reunidos, y determinar cuáles son los documentos y archivos específicos a evaluar durante el proceso de validación.

En el segundo paso, se deben obtener los datos verificados y los registros de verificación de datos, incluyendo los registros de campo y análisis.

En caso de no contar con toda la información requerida, la validación de los datos estará incompleta.

A través de este proceso, el encargado de validación deberá asegurar que todas las muestras recolectadas y los datos generados para esas muestras estén basados en un completo soporte mediante documentación validada.

### **Salidas de validación**

La primera salida es un conjunto de datos que ha sido validado y aprobado por el encargado del sistema de medición o bien por el usuario de los datos.

El segundo producto generado son reportes de validación. El propósito de este reporte es proporcionar un resumen de validación de los datos al usuario. Es importante que el informe refleje todos los detalles de validación poniendo énfasis en cualquier deficiencia encontrada para poder determinar y describir el impacto de tales deficiencias en la calidad global de los datos.

El tercer producto generado en el proceso de validación es un reporte de validación focalizado de datos, el cual es aplicable sólo en algunos casos y siempre que en el programa de monitoreo se haya establecido.



## **2.5. Reportes de información**

Se deben diseñar formatos para la transferencia de información que sean apropiados tanto para las capacidades de la red como para los usuarios finales de la información. La comunicación de los datos o de la información se puede realizar mediante varios métodos de transmisión (EPA, 2002):

- ✓ Reporte escrito (en papel).
- ✓ Reportes almacenados en medios magnéticos (discos compactos, diskettes de alta densidad, cinta, etc.).
- ✓ Reportes por medios de comunicación electrónicos, por ejemplo Internet vía página web, correo electrónico, servidores FTP, etc.

### **Generación de formatos estándar y estadística**

Los resultados de los datos de monitoreo pueden ser reportados a los usuarios de la información de varias maneras (OMS/PENUMA, 2002):

- A)** Un reporte sobre el rebase de las normas de calidad de aire.

Puede ser necesario someterse a una evaluación anual respecto a las conformidades con las normas primarias de calidad de aire. El reporte puede incluir, por ejemplo, información de aquellos sectores en los cuales fueron superadas las normas de calidad de aire, su ubicación geográfica, concentraciones asociadas y los períodos en los cuales fueron excedidas dichas normas.

Reportes mensuales de medición.

Se deben reportar las condiciones de las mediciones para el mes calendario correspondiente, utilizando para ello formatos estandarizados que permitan visualizar la información recolectada, a través de tablas de datos, resúmenes estadísticos y gráficos.

Las mediciones continuas (mediciones de partículas y gases) deben reportar los siguientes aspectos de las mediciones:

- ✓ Series de tiempo, que permitan evaluar superaciones de los valores de referencia de las normas vigentes.
- ✓ Ciclo diario promedio, permite evaluar el comportamiento promedio de los contaminantes.
- ✓ Valores extremos (máximo, mínimo) y promedios diarios y mensuales.
- ✓ Porcentaje de datos recolectados, que permiten evaluar la eficiencia las mediciones.

En el caso de las mediciones discretas (partículas por método gravimétrico), se deben reportar los siguientes aspectos de las mediciones:

- ✓ Valor diario de concentraciones.
- ✓ Relación  $PM_{2.5}/PM_{10}$ , para el caso de los monitores Dicotómicos.
- ✓ Superación de normas, número de días en que se rebasó la norma y valores alcanzados.

#### **B) Reporte anual de calidad del aire.**

Con la información válida de periodos anuales, se debe generar un reporte que presente un resumen estadístico de los resultados anuales, los cuales pueden ser empleados para propósitos de investigación, especialmente para estudios de efectos en la salud o para fines de modelación de contaminantes atmosféricos. Este resumen estadístico puede contener:

- Estadísticas anuales tales como recolección de datos, media aritmética y geométrica de los valores horarios, de ocho horas y de 24 horas, según sea el contaminante que se esté analizando y la norma primaria de calidad de aire a la cual se haga referencia.
- Comparación de resultados anuales con estándares internacionales y con estándares dictados por las autoridades ambientales nacionales por medio de las Normas Primarias de Calidad de Aire.
- Estadísticas de tendencias diurnas, mensuales y de largo plazo (varios años).
- La información del sitio de monitoreo debe ser incluida en los resúmenes de reportes debido a su importancia en la interpretación de los datos resultantes.

#### **2.6. Auditorías orientadas al manejo continuo**

La auditoría del sistema de monitoreo de la calidad del aire es la evaluación realizada por un grupo de auditoría, interno o externo a la institución auditada, para determinar el desempeño de la implantación del programa de monitoreo.

El propósito es apoyar al administrador del sistema de monitoreo para que identifique los aspectos satisfactorios, aquellos que requieren atención y los mecanismos para mejorar las falencias; para determinar la conformidad o no de los elementos del sistema de calidad con respecto a los requisitos preestablecidos, y para entregar al auditado una oportunidad de mejorar su sistema de calidad.

Se recomienda que las auditorías internas sean realizadas a una frecuencia de seis meses y que las evaluaciones con personal externo se efectúen cada dos años.

## **Auditorías internas de operación**

La auditoría debe ser realizada por personal que no tenga responsabilidad directa en el área que está siendo auditada, pero preferentemente debe trabajar en colaboración con el personal de ese sector (EPA, 2008).

- Evaluación de cumplimiento de objetivos.
- Evaluación del personal.
- Evaluación de operación interna.
- Evaluaciones de desempeño.

### **Evaluación de cumplimiento de objetivos**

Este tipo de evaluación está enfocado a verificar el cumplimiento de los objetivos del monitoreo, la determinación de los datos requeridos y el nivel de calidad asociado a dichos requerimientos. En este sentido, la evaluación de cumplimiento de objetivos debe verificar la exactitud y precisión de los datos validados y reportados, la completitud, la representatividad y la comparabilidad en el contexto de extensión de redes.

### **Evaluación del personal**

La evaluación del personal consiste en evaluar los recursos humanos disponibles en la institución a cargo del programa de monitoreo para la operación, el mantenimiento y la calibración de los instrumentos, sensores y equipos utilizados.

### **Evaluación de la operación interna**

La evaluación de operación interna consiste en una evaluación de todo el sistema de medición, incluidos los sitios de monitoreo, sus alrededores, procedimientos de muestreo y análisis, de calibración y de mantenimiento del equipo, de instalaciones de laboratorio, actualización de registros, validación de datos, reportes, control de calidad, etc.

### **Evaluación de desempeño**

Luego de verificar el cumplimiento de los objetivos iniciales del programa de monitoreo y de la calidad de los datos, la evaluación del personal a cargo de las distintas operaciones de la red y la auditoría a las distintas etapas de operación interna del sistema de monitoreo, se debe realizar una evaluación final que entregue como resultado una calificación al desempeño global del programa de monitoreo en base a todas las evaluaciones antes mencionadas.

### **Mejoramiento de operación de la red**

Los resultados de la auditoría pueden ser usados por la gerencia del programa de monitoreo para mejorar el desempeño de la organización e iniciar las acciones correctivas necesarias para corregir una no conformidad o para corregir la causa de una no conformidad.

Las actividades de una auditoría no deben entenderse como actividades de supervisión o inspección efectuadas con propósitos de control o fiscalización sino como una alternativa de mejoramiento continuo.

### **Auditorías externas al sistema**

El programa de auditoría externa debe hacerse de manera independiente, con personal externo a la organización auditada. Esta auditoría externa tiene como objetivo general informar a la institución encargada del monitoreo sobre el logro de las metas y garantizar que la institución responsable del monitoreo de la calidad del aire y meteorología obtengan beneficios como los siguientes (OMS, 1999):

- ✓ Mejor calidad de la información.
- ✓ Intercambio de conocimientos y experiencia.
- ✓ Contactos personales para mayor información y asesoría.
- ✓ Capacitación informal.
- ✓ Mejor calidad en las mediciones.
- ✓ Motivación de los participantes debido al reconocimiento de su trabajo.
- ✓ Reconocimiento de la necesidad y posibilidades de apoyo.
- ✓ Acceso a literatura técnica y asesoría de expertos.
- ✓ Aprobación nacional e internacional.
- ✓ Reportes e información en general.
- ✓ Metodologías eficientes que identifiquen problemas técnicos.

### **2.7. Desmantelamiento de las estaciones de monitoreo**

El desmonte de la estaciones de monitoreo atmosférico consiste en retirar los equipos de la calidad del aire de dichas instalaciones.

Generalmente, este proceso ocurre cuando se ha culminado con el sistema de monitoreo, es una actividad importante ya que al finalizar el estudio es responsabilidad dejar el lugar tal y como se llegó a presentar previo al inicio del monitoreo.

Es difícil encontrar una amplia información acerca del desmantelamiento de las estaciones de monitoreo ya que los programas y manuales consultados no contienen la suficiente información, de lo que se tiene que hacer, después de haber culminado el monitoreo de la calidad del aire.

Previo al desmantelamiento de los equipos de calidad del aire, es necesario descargar las bases de datos de los contaminantes atmosféricos monitoreados y también se realiza la descarga de datos de la meteorología.

Se sugiere que a los equipos analizadores de gas se verifique su línea base (cero y span) o bien realizar una calibración multipunto dependiendo de la respuesta del analizador utilizado para el monitoreo de la calidad del aire, es importante realizar esta actividad para cerciorarse que el analizador funciona adecuadamente y posteriormente realizar su transporte al sitio correspondiente.

Para el equipo de partículas se sugiere medir la caída de presión del equipo, como normalmente se debe de realizar, y también cerciorarse que el equipo funciona adecuadamente, posteriormente realizar el transporte del equipo al lugar y origen.

Para el equipo del monitoreo de la meteorología no se requiere realizar algún tipo de verificación en sus componentes, después de la descarga de datos de la meteorología se puede retirar sin ningún problema, sólo que el transporte debe de ser cuidadoso ya que un movimiento brusco al equipo puede causar que alguno de los sensores no funcioné adecuadamente en otro momento.

Finalmente, se retira el sistema de aire acondicionado, bombas de aire, línea de entrada de muestra, papel aluminio, etc.

### 3. Metodología

Una vez establecidos los parámetros de diseño de la red, ésta debe tener una organización funcional que permita su continuo mejoramiento y establezca los procedimientos para que el funcionamiento sea óptimo.

El esquema de la Figura 3.1 establece la metodología de organización para la operación de la red de monitoreo.

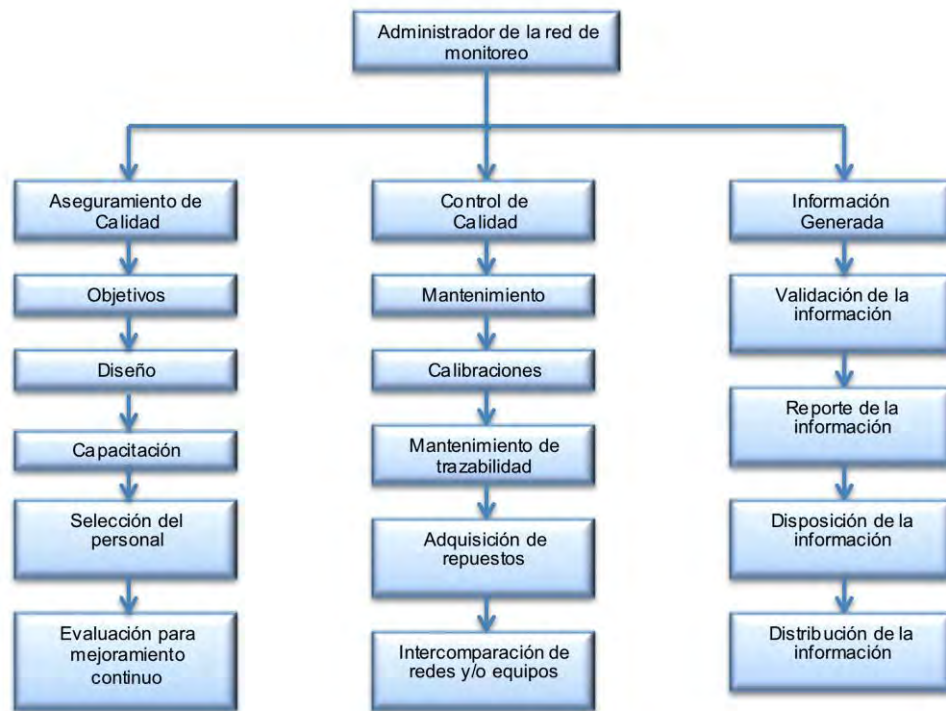


Figura 3.1. Metodología para el funcionamiento de la red o estación de monitoreo. Fuente: *Air Monitoring Quality Assurance Plan*.

#### *Administrador de la red de monitoreo.*

El administrador de la red de monitoreo es el responsable final de todas las operaciones que en ella se desarrollen, incluidas las de control y aseguramiento de la calidad. Debe planificar la ejecución de las mediciones y organizar los recursos para cumplir con los objetivos del monitoreo. Debe coordinar la transferencia de información y su distribución con los mandantes de las mediciones.

Además debe ser el soporte de las unidades de la red, en los ámbitos administrativos y técnicos.

#### *Departamento de Aseguramiento de Calidad.*

El departamento de aseguramiento de la calidad organiza los recursos asignados para proveer a la red de toda la información requerida para que el control de calidad pueda ser realizado.

Debe procurar la especificación de los objetivos del monitoreo de acuerdo a las necesidades de medición, mantener líneas de comunicación entre los usuarios finales de la información generada y los gestores de la medición, como así mismo coordinar con terceros (en general prestadores de servicios de mantenimiento de equipos y sitios) las acciones para el establecimiento del control de calidad de la información generada.

Además debe procurar la actualización de las técnicas de medición y la capacitación correspondiente del personal involucrado en la operación de la red, su selección y la evaluación de los procedimientos de operación de la red.

Las tareas específicas que debe coordinar son:

- Reportes y análisis de medición.
- Elaboración y revisión de procedimientos e instructivos de operación.
- Diseño del monitoreo.
- Auditorías y acciones correctivas.
- Mantenimiento preventivo.
- Metodologías de validación.

#### *Departamento de Control de Calidad.*

El departamento de control de calidad organiza las operaciones tendientes a la mantención operativa de los equipos de medición, para lo cual debe procurar los elementos y acciones necesarios para cumplir con los objetivos de la medición.

Debe organizar al personal para realizar las operaciones de mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, calibraciones y adquisición de información (manual o automática) desde los sitios de medición, debe gestionar la adquisición de material de referencia, repuestos y equipos de calibración requeridos para el cumplimiento de objetivos

Además, debe coordinar con otros grupos rondas de intercomparación (nacional e internacional) para conservar la trazabilidad de los equipos de medición.

#### *Reporte y uso de información.*

Este departamento es el encargado de la realización de las actividades de validación de la información generada en la red, su reporte y disposición final.

Los planes de validación de información contemplan varios niveles de validación, dependiendo del tipo de medición que se realice y de las variables medidas. En general se recomienda usar al menos los niveles de validación 0 y 1 (detallados más adelante), de manera que una vez realizado la validación de nivel 1 la información pueda quedar disponible para su uso posterior.

#### 4. Aplicación de la información oficial sobre el Aseguramiento y Control de Calidad para implantar el monitoreo de la calidad del aire en la región de interés, Tula, Hgo.

##### Información general de la zona de interés

El Estado de Hidalgo se localiza en el centro del país, entre las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental, el eje Neovolcánico Transversal de la llanura costera del Golfo de México. Su capital es Pachuca de Soto. En la Figura 4.1 se presenta la fisiografía del Estado.

El Estado de Hidalgo se localiza al norte, 21° 24'; al sur, 19° 36' de la latitud norte; al este, 97° 58'; al oeste, 99° 53' de la longitud oeste (INEGI, 2012).



Por su tamaño ocupa el lugar 26 de la República Mexicana, con una extensión territorial de 20,987 km<sup>2</sup> representando el 1.1% de la superficie del país. Cuenta con 84 municipios en todo el Estado y tiene una población de 2,665,018 habitantes. La distribución de población es: 52% urbana y 48% rural (INEGI, 2012).

Los límites del Estado de Hidalgo son: San Luis Potosí, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Estado de México y Querétaro.

El 39% del Estado presenta clima seco y semiseco, el 33% templado subhúmedo, el 16% cálido húmedo, 6% cálido subhúmedo y el restante 6%

templado húmedo, estos últimos se presentan en la zona de la huasteca. La lluvia se presentan en verano, en los meses de junio a septiembre, la precipitación media del estado es de 800 mm anuales (INEGI, 2012).

La mayor parte del Estado tiene un clima templado con intervalos anuales de entre 20°C y 30°C. La parte central tiene un clima seco-semiseco; en las partes altas de la sierra impera el clima templado subhúmedo, y las serranías son semifrío-húmedo. La temperatura media anual es de 32°C, como máxima, y de 8.5°C como mínima (INEGI, 2012).

Tiene un clima promedio de 24°C al año. La temperatura más alta ocurre en la Huasteca, alcanzando 40°C durante mayo y la más baja se da en la zona de la montaña con 0°C durante diciembre y enero (INEGI, 2012).



La temperatura media anual es de 16°C. La temperatura mínima del mes más frío, enero, es alrededor de 4°C y la máxima se presenta en abril y mayo que en promedio es de 27°C (INEGI, 2012).

En cuanto a generación de energía el Estado es autosuficiente ya que cuenta con plantas generadoras de electricidad en diferentes municipios. El Estado genera el 9.4% de la energía eléctrica del país ocupa el quinto lugar en términos de generación de energía con 2900 MegaWatts (MW) y cuenta con una central hidroeléctrica capaz de generar 292 megawatts de energía eléctrica. Además por el estado pasan tres oleoductos de gas importantes (Poza Rica-Venta de Caprio, Zempoala-Salamanca y Tabasco-Salamanca) (Inventario de emisiones del Estado de Hidalgo, 2002).

En cuanto a industria petrolera, se cuenta con la refinería "Miguel Hidalgo" en Tula de Allende inaugurada en 1976, en este año el volumen de producción promedio de refinados fue de 127 821 900 barriles. De estos, el 40.1 % correspondió a gasolinas; el 28.5 % a combustóleos; el 19.3 % a diésel; el 6.3 % a querosinas y el resto a gas licuado, combustible industrial y asfaltos (Inventario de emisiones del Estado de Hidalgo, 2002).

La dinámica económica del Estado, está representada por micro, pequeñas y medianas empresas que conforman más del 80% del total de la industria manufacturera estatal. Considerando el número de empresas instaladas, los sectores con mayor participación en la industria son: textil, metalmecánico, automotriz, construcción, alimentos, mueble, joyería, cuero, calzado, químico y plástico (INEGI, 2012).

Los productos que integran el sector industrial alimentario en el Estado son: café, malta, miel de abeja, mermeladas, salsas, bebidas gasificadas y carbonatadas, productos para la panificación y aditivos alimenticios, embutidos, frituras y leche y sus derivados tales como: queso, crema de leche, yogur y helado, entre otros. (Inventario de Emisiones del Estado de Hidalgo, 2002).

El Estado es sede de las Cementeras Cruz Azul y Tolteca. También de las compañías Lecheras de Alpura, Real de Tizayuca y Santa Clara y de las empresas Totis, Devlyn, las textiles Grypho, Toallas San Marcos y Cobertores San Luis (Estadística Municipal de Hidalgo, 1994).

Entre las industrias de transformación y manufactureras destacan: la siderúrgica, la fabricación de maquinaria y equipos y materiales de transporte (concentrada en Ciudad Sahagún, Tepeapulco y Tenango de Doria); la textil (en Tulancingo, Cuauhtepac de Hinojosa y Tepeji del Río) y de calzado (en Pachuca y Pisaflores); y las fábricas de cemento (Tula de Allende). Posee también industria eléctrica y electrónica, química, de curtiduría y hule, y de elaboración de aceite, jabones y sidra (INEGI, 2012).

En cuanto a la localización industrial se observa una elevada concentración en algunos municipios: Tepeapulco, municipio en el que se encuentra el complejo industrial de Ciudad Sahagún, Tepeji del Río de Ocampo, Pachuca de Soto, Tula de Allende y Tulancingo de Bravo (Inventario de emisiones del Estado de Hidalgo, 2002).

Se ha clasificado al corredor Tula-Vito-Apasco (Municipios de Tula de Allende, Tepeji del Río de Ocampo, Tlahuelilpan, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tlaxcoapan y Apasco) como zona crítica en materia de contaminación atmosférica (Norma Oficial Mexicana NOM-085-SEMARNAT-1994), lo anterior en virtud a las emisiones (aproximadamente 400,000 ton/año de contaminantes). En la Figura 4.2 se enlistan los parques y zonas industriales del Estado de Hidalgo destacando la Zona Crítica Tula-Vito-Apasco.

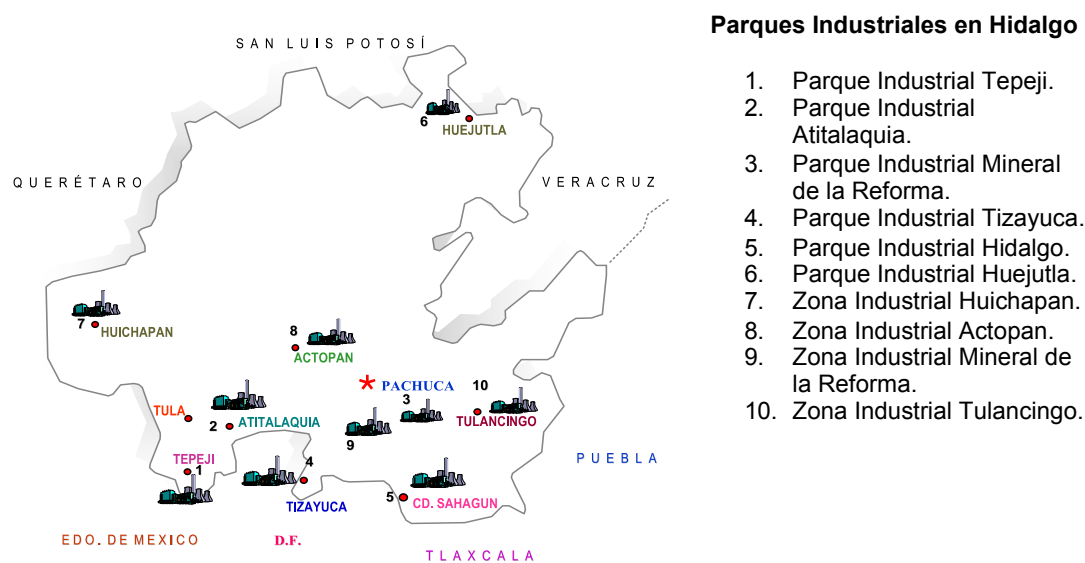


Figura 4.2. Zona Crítica Tula-Vito-Apasco. (INE, 1996).

En esta zona se asienta el mayor desarrollo industrial del estado (incluye industria petroquímica, cementera, refinera de petróleo, calderas y fundidoras, química, generación de electricidad y textil), que en conjunto representa 250 industrias, de las cuales 28 corresponden a Apasco, Estado de México. Esta alta concentración industrial y las fuentes móviles que circulan en esa zona, provoca que la calidad del aire sobrepase los valores normados para el monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas (Estadística Municipal de Hidalgo, 1994).

En la Figura 4.3 se presenta la cantidad de contaminantes vertidos a la atmósfera (ton/año) para cada sector en la zona crítica, destacando que el sector industrial emite grandes cantidades de SO<sub>2</sub> en la zona así como el sector de transporte emite grandes cantidades de CO al año.

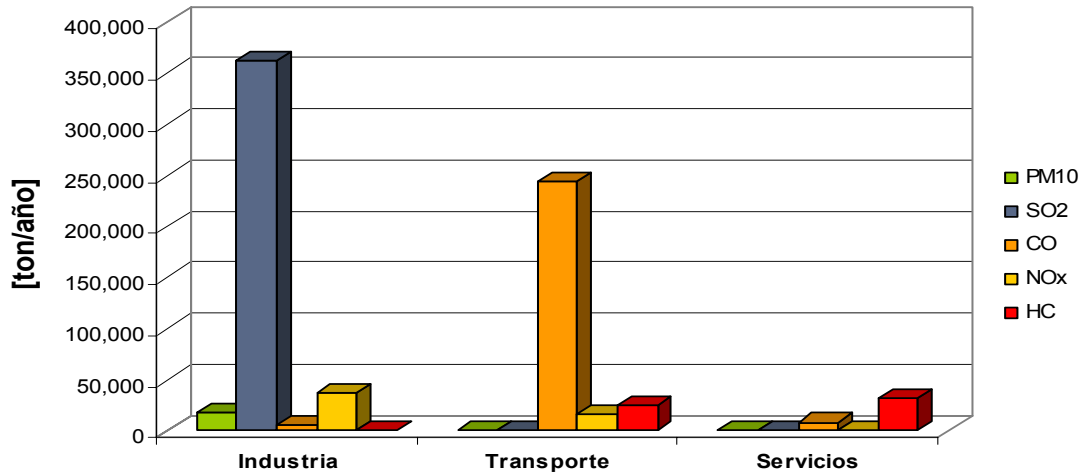


Figura 4.3. Emisiones por sector en la zona crítica. (Inventario de Emisiones Hidalgo, 2002).

### Análisis de emisiones de fuentes puntuales

#### Sectores con mayor contribución de contaminantes

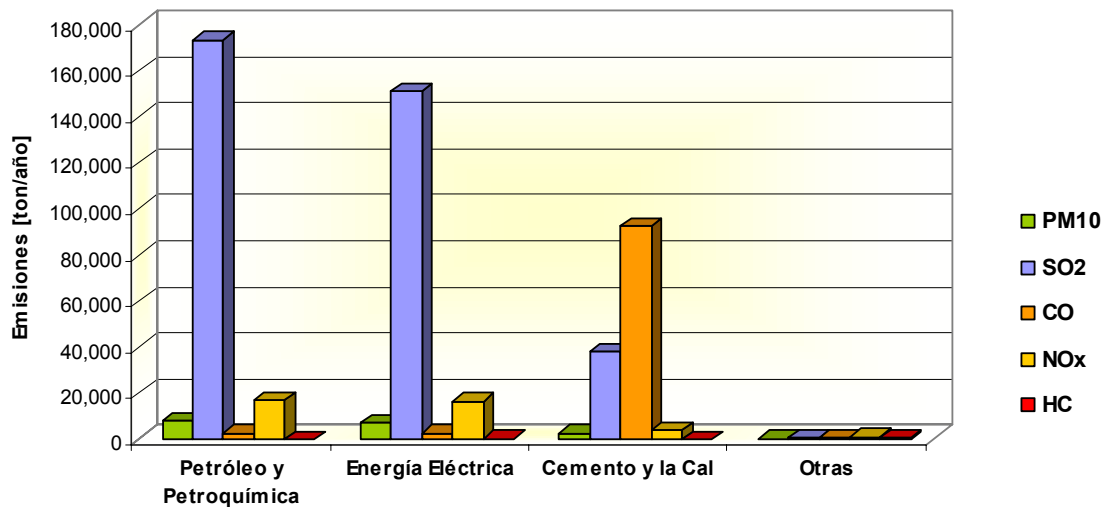


Figura 4.4. Sectores con mayor contribución de contaminantes. (Inventario de Emisiones Hidalgo 2002).

Por otra parte, la normatividad se orienta a la regulación de las fuentes generadoras (equipos industriales), dejando al margen la dimensión, regulación y administración de la cuenca atmosférica, respecto a la calidad del aire. No todas las empresas cumplen con las disposiciones establecidas en las licencias de funcionamiento o estudios de inventario y los que cumplen se suman con sus emisiones reguladas, incrementando, en conjunto, la concentración de contaminantes. (Universidad de Tula-Tepeji).

A partir de septiembre de 2003, diferentes organismos entre los que destacan el Consejo Estatal de Ecología, la Secretaría de Salud del Estado, la Universidad Tecnológica Tula-Tepeji, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, conjuntan esfuerzos y llevan a cabo reuniones periódicas y acciones que han permitido avanzar en la instalación y operación de la Red Manual de Muestreo de Partículas, conformada por 6 estaciones, ubicadas en los municipios de: Pachuca, Atotonilco de Tula, Tula de Allende, Tlaxcoapan, Tepeji del Río y Atitalaquia, las estaciones están integradas con seis muestreadores de alto volumen para PST y cuatro para PM<sub>10</sub>. Cabe destacar que la operación de la Red se inició en febrero del año 2004 (INE, 2010).

Además de la Red Manual, el Estado de Hidalgo cuenta con dos estaciones de monitoreo automáticas fijas, la primera fue instalada en las oficinas regionales de este Consejo durante 2006 y la segunda en el Hospital Regional, en 2007, ambas están ubicadas en el municipio de Tula de Allende, Hgo., también se dispone de una unidad móvil de monitoreo la cual monitorea en zonas prioritarias del Estado. (INE, 2010).

En 2009, el Estado amplió su capacidad de medición de la calidad del aire, con apoyo de la Federación, se instalaron dos estaciones automáticas de monitoreo, una en Atitalaquia y la otra en la Ciudad de Pachuca, en el interior del Parque Cubitos (INE, 2010).

Los tres componentes: Red Manual, Red Automática y Unidad Móvil, integran la Red de Monitoreo Atmosférico del Estado de Hidalgo (INE, 2010).

## **Diseño del monitoreo de la calidad del aire en la región de Tula, Hgo.**

### **Planificación del monitoreo**

La información oficial existente en México sobre el Aseguramiento y Control de Calidad se aplicó a la región de Tula que se localiza en el Estado de Hidalgo ya que en dicha zona existen diversas fuentes de contaminación atmosférica, por ejemplo: industria automotriz, cementera, textil, química, generación de energía eléctrica, refinería, entre otras.

Se ubicaron tres estaciones de monitoreo atmosférico en la zona de Tula. Dos de las cuales fueron para evaluar la calidad del aire por bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y partículas suspendidas totales (PST), y la otra estación fue para evaluar la concentración de fondo de SO<sub>2</sub> y partículas en los sitios de interés ya que dichos contaminantes atmosféricos se encuentran en grandes cantidades sobre dicha zona de acuerdo a la información obtenida en el Inventario Nacional de Emisiones del Estado de Hidalgo 2002.

Las estaciones de monitoreo atmosférico se ubicaron en escuelas para el resguardo y protección de los equipos de la calidad del aire. La ubicación de los sitios de medición se realizó contemplando estudios o investigaciones previas sobre la meteorología y topografía de la región de Tula.

La zona de estudio abarcó el municipio de Tula de Allende y Tepeji del Río donde se encuentran diversas fuentes de contaminación, y Tezontepec de Aldama donde se evaluó la concentración de fondo (alejada de la zona urbana). En el municipio de Tepeji del Río se ubicó una estación de monitoreo en la escuela CECATI 55, en el municipio de Tula de Allende se ubicó una estación de monitoreo en la escuela Secundaria General Lázaro Cárdenas y en el municipio de Tezontepec de Aldama se ubicó una Unidad Móvil en la escuela Primaria Emiliano Zapata, propiedad de Comisión Federal de Electricidad (CFE).

En estos tres sitios de interés se evaluó y/o determinó la calidad del aire por bióxido de azufre y partículas suspendidas totales.

Cabe señalar que se contó con el apoyo de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Distrito Federal (RAMA, D.F.) y también de la Comisión Federal de Electricidad, quienes mostraron interés en la realización del proyecto desde el inicio y termino del proyecto, la participación fue exitosa.

## Objetivos

Aplicar la información oficial sobre el aseguramiento y control de calidad en las estaciones de monitoreo atmosférico, considerando: selección de sitios, diseño, obtención de datos y su evaluación.

Seleccionar sitios de monitoreo atmosférico representativos de la zona de estudio, considerando los vientos predominantes y las actividades industriales que se desarrollan en dicha zona.

Evaluar la calidad del aire en la zona de estudio mediante la comparación de las concentraciones obtenidas para SO<sub>2</sub> y PST con su Norma Oficial correspondiente.

## Escala de monitoreo atmosférico utilizada en el estudio

Sitio de medición	Distancia a la zona industrial de interés, km	Escala
CECATI 55	Aprox. 15	Urbana
Lázaro Cárdenas	Aprox. 6	Urbana
Unidad Móvil	Aprox. 6	Urbana

## Selección de los contaminantes a monitorear

Durante la primera etapa del monitoreo (planificación del monitoreo) de contaminantes atmosféricos se decidió medir SO<sub>2</sub> y posteriormente PST en la zona de estudio porque estos contaminantes causan un efecto adverso a la salud de las personas además de tener como antecedente la información de que en el Inventario Nacional de Emisiones del Estado de Hidalgo, estos dos contaminantes se encuentran en cantidades importantes que repercuten sobre la calidad del aire en la zona de estudio.

Las características de los contaminantes seleccionados se describen a continuación.

- Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).

Definición.

El bióxido de azufre es un compuesto producido durante la oxidación del azufre en presencia de oxígeno. El bióxido de azufre pertenece a la familia de los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>). Estos gases tienen una gran afinidad con el agua y se disuelven fácilmente. En soluciones acuosas, el bióxido de azufre forma ácidos e interactúa con otros gases y partículas en el aire y suelen formar sulfatos y otros productos que pueden ser peligrosos para el hombre y el medio ambiente (<http://www.epa.gov>).

El azufre se encuentra disponible en materias primas como el petróleo crudo, el carbón, en las menas de algunos minerales como el aluminio, cobre, zinc, hierro y plomo.

Los compuestos de azufre se forman cuando se queman combustibles que contienen azufre, tales como carbón o aceite, durante el proceso de refinamiento del petróleo para extraer gasolina o cuando los metales son extraídos de las menas. En la Tabla 4.1 se presenta la ficha técnica de SO<sub>2</sub> (<http://www.epa.gov>).

Tabla 4.1. Ficha técnica de SO<sub>2</sub> (<http://www.epa.gov/ttn/naaqs/so2/index.html>)

Ficha Técnica	
Nombre IUPAC:	Bióxido de azufre
Nombre común:	Bióxido de azufre
Otros nombres:	Óxido de azufre (IV), anhídrido sulfuroso
Fórmula:	SO <sub>2</sub>
Masa molar:	64.054 g/mol
Apariencia:	Gas transparente

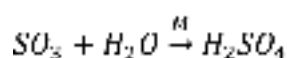
## Origen

El bióxido de azufre es emitido a la atmósfera por varias fuentes naturales. La actividad geotérmica libera cantidades de dióxido de azufre, junto con pequeñas cantidades de trióxido de azufre, azufre elemental, sulfuro de hidrógeno y sulfatos en forma de partículas. Sin embargo, la fuente natural es la oxidación del material orgánico que contiene azufre o la reducción del sulfuro de hidrógeno en condiciones anaerobias (<http://www.epa.gov>).

En ambientes urbanos el bióxido de azufre es generado por distintas fuentes antropogénicas. La principal proviene de la quema de combustibles sólidos como el carbón vegetal o combustibles derivados del petróleo. También se genera durante los procesos de refinación del petróleo, la producción de ácido sulfúrico y la fundición de minerales, particularmente de zinc, cobre y plomo lo producen (<http://www.epa.gov>).

El bióxido de azufre participa en la generación de lluvia ácida y en la formación de partículas, razón por la cual se dedican innumerables esfuerzos para reducir este contaminante del aire (<http://www.epa.gov>).

Cuando el SO<sub>2</sub> entra en la atmósfera puede oxidarse y formar trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) en presencia del radical hidroxilo OH. El SO<sub>3</sub> se disuelve en agua para formar ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) mediante la siguiente reacción:



## Efecto en la salud de las personas

En altas concentraciones el bióxido de azufre puede ocasionar dificultad para respirar, humedad excesiva en las mucosas de las conjuntivas, irritación severa en vías respiratorias y al interior de los pulmones por formación de partículas de ácido sulfúrico, ocasionando vulnerabilidad en las defensas (<http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/health.html>).

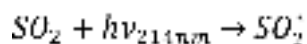
Es causante de enfermedades respiratorias como broncoconstricción, bronquitis y traqueítis, también puede causar broncoespasmos en personas sensibles como los asmáticos, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes, incluso la muerte. Si bien los efectos señalados dependen en gran medida de la sensibilidad de cada individuo, los grupos de población vulnerables al dióxido de azufre son los niños y adultos mayores, principalmente personas que padecen asma y enfermedades pulmonares (<http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/health.html>).

La combinación de óxidos de azufre y partículas suspendidas actúan sinérgicamente produciendo un efecto combinado mucho más nocivo que el efecto individual (<http://www.epa.gov/airquality/sulfurdioxide/health.html>).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 100 a 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio de 24 horas y de 40 a 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en una media aritmética anual. La Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010 de bióxido de azufre establece como límite de protección a la salud, una concentración de 0.11 ppm (ó 288  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) promedio de 24 horas, una vez al año y 0.025 ppm (65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en una media aritmética anual para proteger a la población susceptible.

## Método de medición

El principio de medición para el bióxido de azufre se basa en la propiedad que tienen las moléculas de bióxido de azufre de emitir luz (fluorescencia), cuando éstas son excitadas por luz ultravioleta con una longitud de onda en el intervalo de 190 a 230 nm. El mecanismo de reacción de la fluorescencia implica dos pasos, en el primero las moléculas de  $\text{SO}_2$  son irradiadas con fotones de 214 nm. Las moléculas absorben parte de la energía de los fotones provocando que uno de los electrones se mueva a un orbital de mayor energía de acuerdo a la reacción siguiente (40-CFR parte 50):



El número de moléculas excitadas en la cámara de reacción dependerá de la intensidad promedio de la luz UV.

El segundo paso implica la transición del estado excitado del  $\text{SO}_2$  a su estado basal de menor energía. Debido a que el sistema tiende a presentarse en su estado de menor energía, la molécula de  $\text{SO}_2^*$  regresa inmediatamente a su estado basal liberando energía en la forma de un fotón ( $h\nu$ ). La longitud de onda de este fotón es de 330 nm y se encuentra en el intervalo de luz ultravioleta sin embargo es de una energía menor (40-CFR parte 50).



En los analizadores empleados por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del D.F. (RAMA), la radiación UV es generada por una lámpara de baja presión de vapor de zinc diseñada para producir un máximo de luz UV en la longitud de onda de 214 nm, un diodo detector en el sistema proporciona constantemente información sobre la intensidad de la lámpara.

Mediante un tubo fotomultiplicador se detecta la cantidad de fotones de 330 nm emitidos por el decaimiento de las moléculas de bióxido de azufre. Con el propósito de asegurar la medición adecuada de la intensidad de luz y la producida durante el decaimiento el detector de 214 nm se encuentra perpendicular al tubo fotomultiplicador, en un arreglo óptico que emplea un conjunto de lentes y filtros. El interior de la cámara de reacción está cubierto por una película de teflón que absorbe la luz stray (RAMA).

La medición de bióxido de azufre es afectada por compuestos que fluorescencia de la misma manera. Algunos compuestos orgánicos poliaromáticos como el naftaleno y el óxido de nitrógeno tienen un intervalo espectral similar al del bióxido de azufre. Para reducir esta interferencia estos compuestos se remueven empleando una membrana de difusión (RAMA).

Los analizadores empleados en la RAMA cuentan con certificación, como método equivalente para la medición de bióxido de azufre avalado por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos EQSA-0990-077. El principio de operación cumple con los requerimientos para métodos equivalentes descrito en la sección 11 de la NOM-038-SEMARNAT-1993.

#### ➤ Partículas suspendidas totales

##### Definición y origen

Se reconoce como partícula a cualquier material sólido o líquido con un diámetro que oscila entre 0.0002 y 500 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). En conjunto se designan como partículas suspendidas totales (PST), (<http://www.epa.gov>).

Las fuentes de emisión de partículas pueden ser naturales o antropogénicas. Entre las fuentes naturales se encuentran: erosión del suelo, material biológico fraccionado, erupciones volcánicas, incendios forestales, entre otras (<http://www.epa.gov>).

Las fuentes antropogénicas más comunes son las que se producen en la combustión de productos derivados del petróleo, por la quema en campos agrícolas o en diversos procesos industriales.

## Elementos que las constituyen

Las partículas pueden tener una composición fisicoquímica homogénea o estar constituidas por diversos compuestos orgánicos e inorgánicos. Entre los componentes orgánicos se encuentran: fenoles, ácidos, alcoholes y material biológico (polen, protozoarios, bacterias, virus, hongos, esporas y algas). Entre los compuestos inorgánicos se encuentran nitratos, sulfatos, polímeros, silicatos, metales pesados (hierro, plomo, manganeso, zinc o vanadio) y elementos derivados de plaguicidas (<http://www.epa.gov>).

## Clasificación

Las partículas se clasifican de diferentes maneras: por su efecto en la salud humana, como producto derivado de un proceso natural o antropogénico y por sus características físicas (<http://www.epa.gov>).

**Partículas sedimentables (  $>10 \mu\text{m}$  ).** Son partículas que por su peso tienden a precipitarse con facilidad, razón por lo cual permanecen suspendidas en el aire en períodos cortos de tiempo. Por lo general no representan riesgos significativos a la salud humana.

**Partículas menores a 10 micrómetros  $PM_{10}$  (  $\leq 10 \mu\text{m}$  ).** Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor a  $10 \mu\text{m}$ . Se consideran perjudiciales para la salud debido a que no son retenidas por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio.

**Partículas menores a 2.5 micrómetros  $PM_{2.5}$  (  $\leq 2.5 \mu\text{m}$  ).** Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor a  $2.5 \mu\text{m}$ . Representan un mayor riesgo para la salud humana, puede ser un factor de muerte prematura en la población.

Producto derivado de un proceso natural o antropogénico (<http://www.epa.gov>).

**Polvos.** Son partículas sólidas pequeñas (de 1 a  $1,000 \mu\text{m}$ ), se forman por fragmentación en procesos de molienda, cribado, explosiones y erosión del suelo. Se mantienen en suspensión y se desplazan mediante corrientes de aire.

**Humo.** Son partículas sólidas finas que resultan de la combustión incompleta de materiales orgánicos como carbón, madera y tabaco. Su diámetro oscila en el intervalo de  $0.5$  a  $1 \mu\text{m}$ .

**Fumos.** Son partículas sólidas finas. Se forman por la condensación de los vapores originados en procesos de sublimación, destilación, calcinación y fundición. Miden entre  $0.03$  y  $0.3 \mu\text{m}$ .

**Cenizas volantes.** Son partículas finas no combustibles que provienen de la combustión del carbón. Su tamaño oscila entre 1 y  $1,000 \mu\text{m}$ . Entre sus componentes se encuentran sustancias inorgánicas de metales, óxidos de silicio, aluminio, hierro y calcio.

**Niebla.** Son gotas pequeñas que se forman por condensación de un vapor, dispersión de un líquido o como producto de reacciones químicas. Miden entre 0.0002 y 10  $\mu\text{m}$ .

**Aerosoles.** Un aerosol es una suspensión en el aire de partículas finas líquidas o sólidas. Se dividen en aerosoles primarios y secundarios. Los primarios son partículas relativamente estables que se emiten directamente a la atmósfera, mientras que los secundarios son partículas que se forman en procesos de conversión de gas a partícula.

#### Efecto en la salud de las personas

El riesgo a la salud por partículas lo constituyen su concentración en el aire y el tiempo de exposición; sin embargo, el tamaño es la característica física más importante para determinar su toxicidad y efectos en la salud humana (<http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/health.html>)

Las partículas mayores a 10 micrómetros son retenidas básicamente en las vías respiratorias superiores y eliminadas en su mayor parte por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio, por lo que no son consideradas significativamente dañinas para la salud, sin embargo, la exposición continua a altas concentraciones puede causar irritación de garganta y mucosas (<http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/health.html>)

Por su parte, las partículas menores a 10 micrómetros (fracción respirable) no son retenidas en las vías respiratorias superiores, cerca de un tercio penetra hasta los pulmones. Su efecto va a depender de su composición química, pero pueden producir irritación de las vías respiratorias, agravar el asma y favorecer las enfermedades cardiovasculares. Se relacionan con la enfermedad de los pulmones negros en mineros, silicosis y asbestosis (<http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/health.html>)

En el corto plazo la contaminación por este tipo de partículas, puede causar el deterioro de la función respiratoria. En el largo plazo se asocia con el desarrollo de enfermedades crónicas, el cáncer o la muerte prematura (<http://www.epa.gov/airquality/particlepollution/health.html>).

La Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993 de (a)PST, (b)PM<sub>10</sub> y (c)PM<sub>2.5</sub> establece como límites de protección a la salud:

**(a)** Una concentración de 210  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio de 24 horas.

**(b)** Una concentración de 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio de 24 horas y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  media aritmética anual para proteger a la población susceptible.

**(c)** Una concentración de 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio de 24 horas y 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  media aritmética anual para proteger a la población susceptible.

## Método de medición

Las técnicas para determinar la concentración de partículas son diversas y dependen de las características físicas de las mismas. Esta tarea se lleva a cabo mediante equipos automáticos, para partículas menores a 10 micrómetros por medio de muestreadores de alto volumen y para partículas menores a 2.5 micrómetros de bajo volumen. En la Tabla 4.2 se presenta la información del principio de operación para el muestreo de partículas (40-CFR parte 50):

Tabla 4.2. Método de medición para el muestreo de partículas, 40-CFR parte 50.

Equipo de monitoreo	
Contaminante	Principio de operación
Partículas Suspendidas Totales (PST)	Muestreador de Alto Volumen
Partículas Menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> )	Muestreador de Alto Volumen con cabezal de separación
Partículas Menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> )	Muestreador de Bajo Volumen

Las muestras de PST son colectadas sobre un filtro para la obtención del peso del depósito que se efectúa por el gravimetría y en su análisis se determinan componentes metálicos, sulfatos y nitratos. En la Tabla 4.3 se muestra el método de análisis (40-CFR parte 50).

Tabla 4.3. Método de análisis para determinar la concentración de partículas, 40-CFR parte 50.

Método de análisis por parámetro	
Contaminante	Método de Análisis
Partículas Suspendidas Totales (PST)	Gravimétrico
Partículas Menores a 10 micrómetros (PM <sub>10</sub> )	Gravimétrico
Partículas Menores a 2.5 micrómetros (PM <sub>2.5</sub> )	Gravimétrico
Sulfatos (SO <sub>2</sub> )	Química húmeda
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	Química húmeda
Metales pesados: Plomo (Pb); Cadmio (Cd); Cobre (Cu); Hierro (Fe); Vanadio (V); Manganeso (Mn); y Níquel (Ni).	Absorción Atómica

## **Frecuencia de medición en la zona de estudio**

El monitoreo de SO<sub>2</sub> en la zona de estudio inició en junio 2009 y terminó en febrero de 2012 con el propósito de que el monitoreo fuera representativo; es decir, que las mediciones obtenidas en el sistema de monitoreo, una vez validadas, se compararán con la NOM-022-SSA1-2010 promedio de 24 horas y anual con el objetivo de determinar la calidad del aire en los sitios de interés.

El monitoreo de PST en la zona de estudio inició en agosto de 2011 y terminó en diciembre de ese mismo año, asimismo, una vez determinada la concentración de PST, se compararon los valores con la NOM-025-SSA1-1993 promedio de 24 horas.

## **Selección del método de medición**

En el caso del monitoreo de SO<sub>2</sub> existen dos métodos de medición (referencia y equivalente), el de referencia es el que está descrito en la NOM-038-SEMARNAT-1993 y en el 40-CFR parte 50 anexo A-2 (EPA), se debe de aplicar tal y como se indica para determinar la concentración de SO<sub>2</sub>. El método de referencia se denomina pararrosanilina.

El método equivalente se utiliza para producir resultados similares a los que se obtienen con el método de referencia, generalmente en los métodos equivalentes se utilizan instrumentos automáticos. El método equivalente para SO<sub>2</sub> se encuentra en el 40-CFR parte 50 anexo A-1 (EPA) y se denomina Fluorescencia Ultravioleta.

Para el monitoreo de SO<sub>2</sub> en la zona de Tula se utilizó el método equivalente (fluorescencia ultravioleta) para la determinación de las concentraciones de SO<sub>2</sub> generadas en el sistema de monitoreo atmosférico.

Para el caso del monitoreo de PST se utilizó el método de referencia de grandes volúmenes conocido como Hi-Vol., el cual se describe en la NOM-035-SEMARNAT-1993 y en el 40-CFR parte 50 anexo B. El método de análisis fue por gravimetría.

## Normatividad vigente en materia de aire para México

### Normas de Calidad del Aire.

Norma Oficial Mexicana	Especificación
<p><b>NOM-022-SSA1-2010.</b> Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.</p>	<p>0.11 ppm promedio de 24 horas para no ser rebasado una vez al año.</p> <p>0.025 ppm promedio anual.</p> <p>0.200 ppm promedio horario para no ser rebasado dos veces al año.</p>
<p><b>NOM-025-SSA1-1993.</b> Salud Ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM<sub>10</sub> y partículas menores de 2.5 micrómetros PM<sub>2.5</sub> de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire.</p>	<p>PST: 210 µg/m<sup>3</sup> promedio 24 horas.</p> <p>PM<sub>10</sub>: 120 µg/m<sup>3</sup> promedio 24 horas y 50 µg/m<sup>3</sup> promedio anual.</p> <p>PM<sub>2.5</sub>: 65 µg/m<sup>3</sup> promedio 24 horas y 15 µg/m<sup>3</sup> promedio anual.</p>

### Normas de Medición de la Calidad del Aire:

Norma Oficial Mexicana
<p><b>NOM-035-SEMARNAT-1993</b>, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.</p>
<p><b>NOM-038-SEMARNAT-1993</b>, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.</p>

### Norma para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo atmosférico.

Norma Oficial Mexicana
<p><b>PROY-NOM-156-SEMARNAT-2008.</b> Establecimiento y operación de Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire.</p>

### Equipos utilizados para el monitoreo de SO<sub>2</sub>, muestreo de PST y meteorología en la zona de estudio

Para el monitoreo de bióxido de azufre en la zona de estudio se usaron analizadores de SO<sub>2</sub> automáticos, API (Air Pollution Instrument), modelo 100. Dichos analizadores de SO<sub>2</sub> operan mediante el principio equivalente de fluorescencia ultravioleta o fluorescencia pulsante, además están certificados por la Agencia de Protección de Los estados Unidos (U.S.EPA).

Para el monitoreo de partículas suspendidas totales se usaron equipos de grandes volúmenes, conocido como Hi-Vol, el cual es el método de medición apropiado para el muestreo de PST, también tiene certificación de la EPA.

En el caso de la determinación de parámetros meteorológicos de cada estación se utilizaron estaciones de meteorología de superficie (Davis Instruments).

### **Selección de los sitios de medición**

Previo a la selección y ubicación de las estaciones de monitoreo y muestreo se revisó la información correspondiente a la meteorología, topografía, fisiografía y actividades que se realizan en dicha zona.

Durante los primeros meses del proyecto (febrero a mayo de 2009), se avanzó en la definición y localización de los sitios de monitoreo, habiéndose seleccionado dos sitios para la instalación de estaciones de monitoreo para la evaluación de la calidad del aire por las mediciones de bióxido de azufre, por las diversas fuentes de contaminación en la región de Tula y otro sitio para la evaluación de concentraciones de fondo. A continuación se describen las actividades realizadas para la selección de sitios y equipos de monitoreo y que consistieron principalmente en visitas de campo a los diferentes sitios considerados.

### **Visita a los posibles sitios de medición de la calidad del aire**

#### *Visita a la Escuela Secundaria “General Lázaro Cárdenas”.*

Se visitó la Escuela Secundaria “General Lázaro Cárdenas” localizada en Tula de Allende en el Estado de Hidalgo. Se consideró el sitio adecuado para los objetivos del monitoreo de la calidad del aire y registro de meteorología de superficie y se platicó con el Director del plantel, Profesor Ariosto Trejo de la Cruz, manifestando su interés y buena voluntad para apoyo en el proyecto (Figura 4.5). El profesor y director de la escuela, Ariosto Trejo, acordó proporcionar todo el apoyo para realizar el monitoreo de la calidad del aire, y meteorología ofreciendo su oficina para la instalación de los equipos de monitoreo y la instalación de un equipo de aire acondicionado indispensable para su correcta operación.



Figura 4.5. Negociación con el C. Director de la Escuela Secundaria “General Lázaro Cárdenas” para la realización del proyecto, contándose con la presencia y colaboración del personal de CFE.

Posteriormente, se llevó a cabo la revisión del exterior para la posible ubicación del sitio de monitoreo, contándose en todo momento con el apoyo del Director del plantel (Figuras 4.6, 4.7, y 4.8).



Figura 4.6 Inspección preliminar del exterior del posible sitio de monitoreo.



Figura 4.7. Azotea del sitio de monitoreo.



Figura 4.8. Escuela Secundaria "Lázaro Cárdenas".

Se acordó formalmente la instalación del analizador de bióxido de azufre y una estación meteorológica de superficie en la dirección de la escuela y se iniciaron los preparativos para la adecuación del sitio como fue la instalación del sistema de aire acondicionado.



Visita al Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial No. 55 (CECATI 55) ubicado en Tepeji del Río en el Estado de Hidalgo.

En dicho plantel se realizó una entrevista con el Profesor Carlos Vinicio Medrano quien manifestó su interés y nos pidió contactar a la Directora del plantel, la Lic. Rita González López, que en ese momento no se encontraba presente. Se visitó el plantel para ubicar el posible sitio de monitoreo (Figura 4.9).



Figura 4.9. Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial. (CECATI) 55

Se llevó a cabo la visita con el propósito de que el personal de la UNAM se entrevistara con la Directora del plantel Lic. Rita González López y formalmente entregarle el oficio solicitando el apoyo para instalar y operar en ese plantel una estación de monitoreo para detectar bióxido de azufre, así como una estación meteorológica automática.

En dicha reunión la Lic. González estuvo de acuerdo en brindarnos el apoyo para las actividades mencionadas anteriormente. Se recorrió el plantel con el fin de ubicar en su interior algún sitio adecuado para localizar la estación de monitoreo de la calidad del aire. El sitio seleccionado se ubicó en el interior del salón de conferencias en la parte central del CECATI 55 (Figura 4.10).



Figura 4.10. Salón de conferencias en el CECATI 55, seleccionado como sitio de monitoreo.

En la esquina izquierda en la parte interior del salón de clase se seleccionó el sitio que ocuparía la estación de monitoreo, aproximadamente en una área de 3x3 metros, tomándose las medidas de longitud para diseñar un pequeño cuarto de tabla roca (Figura 4.11), así como la instalación de un sistema de aire acondicionado. En todo momento el personal de CFE manifestó su apoyo en lo referente a las necesidades de suministro de energía eléctrica.



Figura 4.11. Ubicación de la esquina interior del salón de conferencias de la estación de CECATI 55 donde se instalaría la estación de monitoreo.

Después de haber seleccionado el lugar donde quedaría instalada la estación de monitoreo y de meteorología se iniciaron los trabajos para la construcción de un cuarto en la esquina interior del salón de conferencias que es donde se localizaría el equipo analizador de bióxido de azufre y la consola de la estación meteorológica de superficie, así como la instalación de un sistema de aire acondicionado indispensable para mantener la temperatura del cuarto dentro del intervalo óptimo de operación del analizador (20-30 °C).

#### *Visita a la Escuela Primaria “Emiliano Zapata”.*

Una vez que conjuntamente con el Grupo de Meteorología del Centro de Ciencias de la Atmósfera se seleccionó la zona en donde era más adecuado localizar una estación de monitoreo para la determinación de concentraciones de fondo, el Pasante de Ing. Adrián Cruz Mayorga, residente en la zona y responsable por parte de la UNAM de la vigilancia y, colección de información de las estaciones de monitoreo, realizó las negociaciones en la escuela Primaria Emiliano Zapata (localizada en la Comunidad de Cerro Colorado. Figura 4.12), para la autorización por parte de las autoridades del plantel para la ubicación de una unidad móvil (propiedad de CFE) de monitoreo de SO<sub>2</sub> parámetros meteorológicos de superficie en el patio de dicha escuela. Durante esta visita el personal de la UNAM se entrevistó con la Directora del plantel Profesora Rosa María Estrada Hernández quien otorgó todas las facilidades para la instalación de la unidad móvil.



Figura 4.12. Escuela Primaria Emiliano Zapata, comunidad de Cerro Colorado.

Los tres sitios de monitoreo seleccionados para el presente proyecto fueron localizados mediante un GPS (Global Positionated System) en las siguientes coordenadas geográficas que se presentan a continuación:

1. Centro de Capacitación para el Trabajo Industrial No. 55 (CECATI 55). Tepeji del Río, Hidalgo. Lat.  $19^{\circ} 56'20''$  N. Log.  $99^{\circ} 20'25''$  W. Elevación 2139msnm.
2. Escuela Secundaria "General Lázaro Cárdenas", Tula de Allende, Hidalgo. Lat.  $20^{\circ}02'41''$  N. Long.  $99^{\circ} 20'50''$  W. Elevación 2126msnm.
3. Escuela Primaria "Emiliano Zapata". Comunidad Cerro Colorado, Tezontepec de Aldama, Hidalgo. Lat.  $20^{\circ} 07' 07''$  N. Long.  $99^{\circ} 15'45''$  W. Elevación 2084msnm.

Las estaciones localizadas en el CECATI 55 y en la Escuela "General Lázaro Cárdenas", fueron ubicadas para la evaluación de la calidad del aire por la operación de las diversas fuentes de contaminación, mientras que la estación localizada en la Escuela "Emiliano Zapata", tuvo como propósito evaluar las concentraciones de fondo. Es importante mencionar que por encontrarse la Central Termoeléctrica y la Refinería de Tula en el mismo sector, las concentraciones de  $SO_2$  que se registraron en las estaciones de monitoreo podrían tener su origen en estas dos fuentes potenciales de emisión. Dichos sitios se presentan en la Figura 4.13.





Figura 4.13. Ubicación de las Estaciones de Monitoreo.

## Implementación de la red de monitoreo

### *CECATI 55, Tepeji del Río*

Para localizar la estación de monitoreo en este sitio se construyó un cuarto en la esquina interior del salón de conferencias en donde se instaló el equipo analizador de bióxido de azufre, así como un sistema de aire acondicionado indispensable para mantener la temperatura del cuarto dentro del intervalo óptimo de operación del analizador (20 a 30 °C). La estación de monitoreo atmosférico es mostrada, tanto en su interior como en su exterior en las Figuras 4.14 y 4.15. La toma de muestra que va al analizador de bióxido de azufre, así como la estación meteorológica quedaron instaladas sobre el techo del edificio que es de una planta, evitándose de esta manera algún tipo de obstrucción.

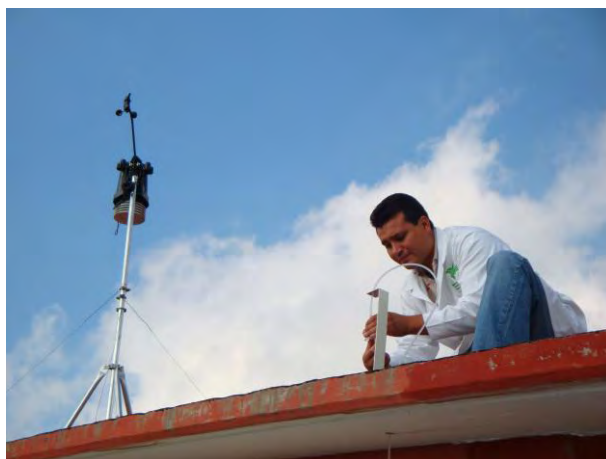


Figura 4.14. Toma de muestra y estación meteorológica en la azotea del sitio de monitoreo del CECATI 55.



Figura 4.15. Interior del sitio de monitoreo en el CECATI 55.

### ***Lázaro Cárdenas, Tula de Allende***

La instalación del analizador de bióxido de azufre, sistema de adquisición de datos, consola de la estación meteorológica y el sistema de aire acondicionado se realizó en la dirección de la Escuela. Dicha oficina, previa autorización del Director de la Escuela (Prof. Ariosto Trejo de la Cruz) fue acondicionada para cumplir adecuadamente con el monitoreo de la calidad del aire y meteorología, manteniéndose una temperatura en el interior del sitio entre 20 y 23 °C (Figuras 4.16 a la 4.18). La toma de muestra, así como la estación meteorológica quedaron instaladas sobre el techo del edificio a nivel de la Dirección, cumpliéndose con los criterios de monitoreo, tanto a nivel nacional como internacional.



Figura 4.16. Toma de muestra en la azotea de la Dirección de la Escuela Lázaro Cárdenas.



Figura 4.17. Estación meteorológica instalada en la azotea de la Dirección de la Escuela Lázaro Cárdenas.



Figura 4.18. Analizador automático de SO<sub>2</sub> en la Escuela Lázaro Cárdenas.

### ***Unidad Móvil. Escuela Primaria Emiliano Zapata, Tezontepec de Aldama***

Esta estación de monitoreo fue seleccionada para la determinación de concentraciones de fondo de SO<sub>2</sub> e información meteorológica de superficie, ubicándose una unidad móvil de monitoreo, propiedad de CFE, en el patio de dicha escuela. Para la protección de los niños de la primaria, así como de la



unidad móvil se colocó una alambrada de malla ciclónica con su respectiva señalización de peligro alrededor de la unidad.

Esta estación fue proporcionada por CFE para el desarrollo del proyecto, y fue entregada en aparente buena operación. Sin embargo, al verificar el analizador de bióxido de azufre con el que contaba inicialmente la unidad, se encontró que no funcionaba correctamente, situación que a solicitud de CFE fue corroborada por la Compañía “Representaciones Mexicanas de Maquinaria y Equipo”, observándose que tampoco el sistema de adquisición de datos operaba correctamente. Debido al retraso que se ocasionó por no estar en condiciones de operación se procedió a instalar un equipo analizador de bióxido de azufre, un sistema de adquisición de datos y una estación meteorológica automática adicional por parte de la UNAM. Figuras 4.19 a la 4.21.



Figura 4.19. Unidad móvil de monitoreo atmosférico en la Unidad Móvil.



Figura 4.20. Patio de la Escuela Emiliano Zapata en donde se encuentra la Unidad Móvil.



Figura 4.21. Vista interior de la unidad móvil de monitoreo atmosférico.

Una vez obtenida la información de calidad del aire en cada una de las estaciones de monitoreo, se procede a validarla para su posterior comparación con la norma mexicana de calidad del aire (NOM-022-SSA1-2010) para bióxido de azufre que establece que la concentración no debe rebasar 0.11 ppm en 24 horas. El análisis detallado de la información se presenta en el capítulo correspondiente.

### **Requerimiento de las estaciones de monitoreo**

Las estaciones de monitoreo atmosférico tuvieron las siguientes características generales:

- Cada estación de monitoreo atmosférico los resguardos suficientes contra vandalismo, acceso limitado, cerraduras y mallas de seguridad ya que cada estación de monitoreo se ubicó en escuelas para la protección de los equipos de la calidad del aire (analizadores de SO<sub>2</sub>, Hi-Vol, meteorología de superficie, adquisidores de datos, consolas de meteorología, bombas de vacío, sistemas de aire acondicionado, etc.).
- Las estaciones de monitoreo atmosférico se forraron con papel aluminio para impedir que la luz del sol afectará la temperatura interior de cada estación de monitoreo.
- Los equipos de la calidad del aire de cada estación de monitoreo (analizadores de SO<sub>2</sub>) se mantuvieron a una temperatura en el intervalo de 18 a 25°C.
- Para cada estación de monitoreo, el suministro eléctrico fue el óptimo para que los equipos de la calidad del aire funcionaran adecuadamente.



## **Equipos para la medición de la calidad del aire y transmisión de datos**

Los datos de SO<sub>2</sub> y meteorología se resguardaron continuamente en intervalos de cada 15 minutos en su respectivo adquisidor de datos, para las bases de datos de SO<sub>2</sub> se utilizó un adquisidor de datos marca ODESSA, el cual permite guardar datos en intervalos de 1, 5 y 15 minutos. Para las bases de datos de meteorología se utilizó un adquisidor de datos marca DAVIS (consola de meteorología) la cual permite guardar información cada minuto, 5, 10 y 15 minutos.

La memoria de cada adquisidor de datos depende del intervalo para guardar la información generada del monitoreo; es decir, si se guardan los datos cada minuto, el sistema de adquisición de datos se saturará más rápidamente que a intervalos de cada 15 minutos. Cuando el adquisidor tenga la memoria saturada de datos tanto de SO<sub>2</sub> como de meteorología, los datos comenzarán a sobrescribirse y causarían pérdidas en la información que se esté generando para un determinado periodo.

Por ello, es recomendable descargar la información de SO<sub>2</sub> y de meteorología no más de 30 días.

Para la descarga de las bases de datos de SO<sub>2</sub> y de meteorología se utilizó una computadora portátil con el sistema básico de Windows. Dicha descarga de datos se realizó semanalmente (preferentemente, cada miércoles). Para la descarga de la base de datos de SO<sub>2</sub> se usó el hyperterminal incluido en el sistema Windows, el cual permite tener comunicación con el adquisidor de datos ODESSA y de esta manera transferir la base de datos del adquisidor a la computadora sin ningún problema y respaldar la información en formato .txt.

Para la visualización de los parámetros de meteorología en tiempo real, se instaló un software, DataLink, a la computadora. La descarga de la base de datos de meteorología se realizó mediante el puerto USB de la computadora.

Para el caso de PST no hubo una transmisión de datos pero sí de conservar el filtro de fibra de vidrio que se utilizó para cada muestreo de PST, más adelante se detallará sobre ésta información.

Se contó con equipos no-breake para la variación de la corriente eléctrica de cada estación de monitoreo con el propósito de que el funcionamiento de los equipos de la calidad del aire funcionen correctamente ante cortes eléctricos ya que si algún equipo de la calidad del aire no tuviera este tipo de protección, el sistema de monitoreo atmosférico resultaría inadecuado e ineficiente.

## **Localización de los equipos de la calidad del aire**

En el interior de cada estaciones de monitoreo y muestreo atmosféricos (CECATI 55, Lázaro Cárdenas, y la Unidad Móvil) se instalaron los analizadores de SO<sub>2</sub>, sistemas de adquisición de datos para la meteorología y SO<sub>2</sub>. Cada analizador de SO<sub>2</sub> se instaló del tal manera que la parte frontal y trasera del equipo quedará al descubierto para que la manipulación del equipo sea la adecuada, sólo en la unidad móvil se utilizó un rack para la instalación del analizador de SO<sub>2</sub> y del sistema de adquisición de datos.

En el exterior de cada estación (azotea) de monitoreo quedaron instalados los equipos de grandes volúmenes, Hi-Vol, para el monitoreo de PST, y teniendo en cuenta que, durante su instalación, no hubiera obstáculos que impidieran que el aire llegará al equipo de PST, por ejemplo: árboles cercanos a cada estación.

Las estaciones de meteorología de superficie quedaron instaladas en las azoteas de la estación CECATI 55 y Lázaro Cárdenas, mientras que en la Unidad Móvil se contó con una torre de meteorología.

## **Infraestructura general de cada estación de monitoreo**

En cada estación de monitoreo se contó con los siguientes servicios:

### *Sistema eléctrico.*

El servicio de energía eléctrica para cada estación fue vital para el buen funcionamiento de los equipos de la calidad del aire, fue necesario realizar instalaciones eléctricas independientes de todo el sistema eléctrico; es decir, cada estación tuvo su propia instalación eléctrica para la conexión de los equipos de la calidad del aire (analizador SO<sub>2</sub>, sistemas de adquisición de datos, sistema de aire acondicionado, bombas de vacío y no-breack), para el caso del equipo de PST (Hi-Vol) fue necesario realizar una conexión eléctrica independiente a la estación ya que el equipo de PST presentaba variaciones de energía eléctrica en el motor y podría causar daños al equipo además de que el muestreo no sería lo suficientemente confiable ante variaciones eléctricas importantes.

### *Sistema de aire acondicionado.*

Para el funcionamiento del analizador de SO<sub>2</sub> fue necesario que la temperatura interior de cada estación se mantuviera en el intervalo de 20 a 25°C, intervalo en que el equipo de SO<sub>2</sub> trabaja eficientemente, fuera de dicho intervalo, el analizador presentaría problemas de operación.

Por ello, es importante controlar la temperatura interior de cada estación de monitoreo atmosférico para prevenir errores en las mediciones que se generen en el analizador de SO<sub>2</sub>.

Por lo general, de 3 a 4 meses se realizó la limpieza en el filtro del sistema de aire acondicionado para que el aire se filtrará antes de su emisión a la estación.

#### *Almacenamiento de cilindros.*

En la Unidad Móvil se contó con un estante para el almacenamiento de cilindros que contenían gases de calibración, dichos cilindros estaban sujetos con una cadena para evitar que alguno de los cilindros se pudiera caer. En el caso de la estación de CECATI 55 y Lázaro Cárdenas no se tenía un estante para el almacenamiento de cilindros con gases de calibración.

Generalmente, en cada periodo de calibración para el analizador de SO<sub>2</sub> (cero – span ó multipunto) se transportó un cilindro con gas de calibración para realizar dicha actividad.

#### **Infraestructura de trabajo del operador**

El trabajo realizado en cada estación de monitoreo se desarrolló sin ningún problema ya que la infraestructura interior de cada estación fue la adecuada, se contó con mesa de trabajo para el equipo de adquisición de datos y equipos de comunicaciones, se contó con mesa de trabajo para el operador de la estación y se tuvo acceso, en caso de emergencia, al regulador de voltaje para cada estación.

#### **Equipos para la medición de variables de meteorología**

Se utilizaron 2 estaciones de meteorología de superficie (CECATI 55 y Lázaro Cárdenas) y una torre de meteorología (Unidad Móvil) para medir los parámetros meteorológicos de cada estación de monitoreo con el objetivo de apoyar en el análisis de la interpretación y predicción de los datos generados por el analizador de SO<sub>2</sub>.

Cada estación de meteorología contó con sensores de velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura, radiación solar, presión barométrica y radiación ultravioleta.

Los parámetros antes mencionados fueron descargados semanalmente sin ningún problema y se respaldaron en computadora y memorias USB.

## **Operación y mantenimiento de las estaciones de monitoreo atmosférico**

Para el funcionamiento de cada estación de monitoreo, los equipos de calidad del aire (analizadores de SO<sub>2</sub>, sistemas de adquisición de datos, meteorología de superficie, bombas de vacío, sistemas de aire acondicionado y equipos de grandes volúmenes, Hi-Vol.) se trasladaron a la región de Tula con la debida precaución para que los equipos no sufrieran ningún daño en alguno de sus componentes que pudieran llegar a afectar la exactitud en las mediciones.

Es requisito, por parte de la EPA, que cada equipo de calidad aire tengan una estabilización mínimo de 24 horas en donde quedarán instalados para su funcionamiento, posteriormente, los analizadores de SO<sub>2</sub> se calibraron en forma multipunto (línea base, 400, 300, 200 y 50 ppb).

Los equipos de grandes volúmenes (Hi-Vol.) se calibraron como se menciona en la NOM-035-SEMARNAT-1993 y también como se indica en el 40-CFR parte 50 de la EPA.

Las estaciones de meteorología de superficie no fueron calibradas ya que cada sensor está listo para operar correctamente, sólo se dirige el norte en la veleta para iniciar la medición de la dirección y velocidad del viento.

### **Programa de visita**

Fue necesario realizar un programa de visita a las estaciones de monitoreo en la zona de estudio ya que al inicio del proyecto (julio de 2009) no se tenía una visita regular a los sitios de monitoreo causando pérdidas en la información de los datos de SO<sub>2</sub>.

Posteriormente, se corrigió el problema rigurosamente cuando se decidió que semanalmente se tendría la salida a inspeccionar la zona de estudio, por lo que cada semana se visitaba la red de monitoreo de SO<sub>2</sub> y muestreo de PST ó antes dependiendo de las necesidades de cada estación.

Las actividades que se desarrollaron en cada estación se presentan en el Anexo I, lista de chequeo para cada estación de monitoreo.

En el anexo II se presenta la información sobre los días calendarizados en que se visitó la red de monitoreo.

En el anexo III se presenta la información correspondiente al muestreo de PST en la zona de estudio.

## **Documentación de las visitas al sitio de medición**

La información anterior, para cada estación de monitoreo, fue documentada en su respectiva bitácora de campo por parte del operador en cada estación además de las siguientes actividades:

- Inspeccionar las condiciones externas del sitio.
- Verificar que la entrada de muestra o manifold no estuviera bloqueada o dañada.
- Asegurar que el sistema de adquisición de datos de SO<sub>2</sub> y de meteorología funcionarán correctamente; es decir, que la configuración de dichos sistemas funcione correctamente.
- Verificar que el timer para el muestreo de PST funcionará correctamente.
- Cambiar el filtro de teflón al analizador de SO<sub>2</sub> cuando sea necesario.
- Cambiar el filtro de fibra de vidrio para el muestreo de PST.
- Verificar, antes del muestreo de PST, que el filtro de fibra de vidrio esté en buenas condiciones (que no esté sucio, roto, doblado, ect.)
- Instalar un equipo nuevo cuando fuera necesario, por ejemplo: bomba de vacío, lámpara UV al analizador de SO<sub>2</sub>, motor del equipo Hi-Vol, reemplazo de carbones en el motor del Hi-Vol, etc.
- Minimizar errores de inoperatividad de los instrumentos de la calidad del aire.

## **Mantenimiento de cada estación de monitoreo**

En cada estación de monitoreo se realizó la limpieza adecuada (barrer el piso, dejar la mesa de trabajo libre de polvo, limpieza en la toma de muestra y manifold, la superficie de cada equipo de la calidad del aire se dejaba libre de polvo ya que podría interferir en el funcionamiento de dichos equipos, limpieza del filtro del sistema de aire acondicionado y verificación del voltaje en cada estación).

## **Control de Calidad**

El inicio del monitoreo de SO<sub>2</sub> fue en julio de 2009 mientras que el muestreo de PST inicio en agosto de 2011. En la planeación del proyecto no se tenía pensado el monitoreo de PST pero debido al interés en conocer la magnitud de PST en la zona de estudio se incorporó el monitoreo de partículas suspendidas totales.

A continuación se describen las actividades que se llevaron a cabo en la zona de estudio en lo referente al control de calidad:

### **Calibración de los equipos de medición**

- ✓ Analizador de SO<sub>2</sub>.

Para la calibración del equipo de SO<sub>2</sub> se utilizó un cilindro de gases estándar (mezcla de CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>), se utilizó un generador de aire cero marca Permeapur modelo ZA75012 y se utilizó un calibrador marca Environics modelo 6103. El analizador de SO<sub>2</sub> que se utilizó es marca API modelo 100.

Previo al traslado del equipo SO<sub>2</sub> a la región de Tula fue necesario verificar la línea base del equipo para asegurar que los resultados obtenidos durante la verificación tengan exactitud y precisión adecuadas para que el analizador de SO<sub>2</sub> funcionará adecuadamente en el sitio de interés.

Una vez estabilizado el equipo de SO<sub>2</sub> en la estación de monitoreo (24 horas) se realizó la calibración multipunto (línea base, 400-300-200 y 50 ppb) dejando el equipo operando correctamente y dar inicio a las primeras mediciones de SO<sub>2</sub>.

Se realizó la calibración multipunto al analizador de SO<sub>2</sub> cada tres meses y se verificó la línea base cada 15 días para asegurar que la calidad de los datos sea confiable en todo el sistema de monitoreo.

La metodología para la calibración del equipo de SO<sub>2</sub> que se utilizó fue la que describe en el 40-CFR parte 50 anexo A-1 de la EPA, en la cual se indica el procedimiento de calibración del equipo de SO<sub>2</sub> que opera por el principio de medición de Fluorescencia Ultravioleta.

- ✓ Equipo de grandes volúmenes, Hi-Vol.

Para la calibración del equipo de partículas, Hi-Vol., fue necesario realizar calibraciones en laboratorio (SCA-CCA-UNAM) y en los sitios de monitoreo (CECATI 55, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil) utilizando un kit de placas de orificio y un manómetro para medir la caída de presión en el medidor de transferencia del orificio.

El procedimiento que se utilizó para la calibración del equipo de partículas está contenido en la NOM-035-SEMARNAT-1993 y en el 40-CFR parte 50 anexo B de la EPA.

- ✓ Equipo de meteorología.

Para el equipo de meteorología no fue necesario realizar algún tipo de calibración ya que los sensores meteorológicos (dirección y velocidad de viento, humedad, temperatura, radiación UV, radiación solar) están listos para usarse, sólo fue necesario indicar el norte de la veleta de la estación de meteorología de superficie para iniciar la medición de la dirección del viento.

### **Representatividad de las mediciones**

Para la representatividad efectiva de las mediciones (bases de datos) generadas en el sistema de monitoreo de SO<sub>2</sub>, PST y de meteorología de cada estación fue necesario verificar rigurosamente la limpieza del manifold (Unidad Móvil), limpieza de la línea de la toma de muestra (CECATI 55 y Lázaro Cárdenas), funcionamiento y configuración de los sensores de las meteorologías de superficie, limpieza del piso de cada estación, funcionamiento de la bomba de aire y del sistema de aire acondicionado, registrar la temperatura interior de cada estación a la entrada y salida (requisito indispensable) y medir el voltaje de cada estación, son actividades que se tuvieron que realizar (obligatoriamente en cada visita) en cualquier sistema de monitoreo atmosférico porque un mal funcionamiento u operación de algún equipo de calidad del aire generaría datos erróneos o las bases de datos no serían confiables para la interpretación de los datos así como su comparación con las Normas de calidad del aire correspondientes.

Para el caso del equipo de partículas (Hi-Vol) fue necesario programar el timer correctamente para cada monitoreo de PST, cada 6 días se realizó el cambio de filtro de fibra de vidrio (obligatorio), se revisaron los carbones del motor cada 2 meses, ésta fue una actividad importante ya que si los carbones del motor se encontraban desgastados y no se reemplazaban, probablemente ese muestreo no cumpliría con el periodo de 24 horas debido al desgaste de los carbones y el muestreo de ese día sería invalidado.

### **Manejo de muestras. Monitoreo de PST**

Para el monitoreo de PST en la región de interés, los filtros de fibra de vidrio son previamente acondicionados a temperatura (25°C) y humedad (menor al 50%) constantes por un período de 24 horas, cumplido el tiempo se pesan en una balanza analítica previamente calibrada para ese fin, se registra el peso inicial del filtro y se coloca sobre una hoja en blanco en un sobre el cual está foliado con el número de filtro y se incorpora un registrador de papel que sirve para medir una lectura que se utiliza posteriormente para determinar la concentración de PST.

Cabe señalar, que el lugar donde se realizó la determinación del peso inicial del filtro para el monitoreo de PST fue en un cuarto acondicionado (temperatura y humedad constantes), el cual estuvo limitado a corrientes de aire ya que podría haber marcado interferencia en el peso del filtro. Fue indispensable el uso de guantes de látex para manipular los filtros ya que si no se tomaba en cuenta con ésta precaución el filtro sería contaminado por la suciedad de manos y dedos causando errores en la determinación de PST.

Concluido el monitoreo de PST (24 horas), el filtro fue acondicionado nuevamente a las mismas condiciones de temperatura y humedad por 24 horas, después se determinó el peso final, y el objetivo es determinar la cantidad (en masa) de PST que están contenidas en el filtro, posteriormente se determinó su concentración, más adelante se detalla la información.

En el 40-CFR parte 50 anexo B y en la NOM-035-SEMARNAT-1993 se describe el acondicionamiento de los filtros para el muestreo de PST.

#### *Identificación y etiquetado de las muestras.*

Todos los filtros de fibra de vidrio utilizados para cada monitoreo de PST se identificaron por su número de folio impreso (único para cada filtro), también en el sobre contenía el número de filtro correspondiente para cada muestreo y así mismo se anotó en cada sobre la estación de muestreo, fecha y hora para tener un control en cada muestreo.

En la parte trasera del registrador de papel también se encontraba el número de filtro para su identificación a fin de evitar el extravío del registrador de papel.

El registro de cada monitoreo de PST así como la actividad de cambiar el filtro para el siguiente muestreo, debe documentarse en la bitácora correspondiente.

#### *Recolección de la muestra.*

La recolección del filtro de fibra de vidrio se realizó con el uso de guantes de látex para evitar contaminar el filtro, se procuró no romper ni maltratar el filtro muestreado para evitar la invalidez de los resultados. El filtro muestreado se conservó en su respectivo folder.

#### *Transporte de las muestras.*

Los filtros muestreados contenidos en su folder respectivo se protegieron durante el trayecto al laboratorio para su análisis. Además de contar con el sobre como medida de protección para el filtro se utilizó una carpeta en donde cada folder era colocado en dicha carpeta para tener más seguridad y confianza de que los filtros muestreados estuvieran en buenas condiciones.



### Cadena de custodia.

No se utilizó un protocolo o formulario como cadena de custodia ya que cada filtro muestreado se entregó personalmente al encargado de laboratorio para el análisis de la muestra de PST, laboratorio de la RAMA (Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México). Personal responsable de dicha red contó con un formulario de cadena de custodia para el control de los muestreos realizados en la región de Tula.

En la Figura 4.22 se presenta un protocolo del muestreo, manejo y análisis de filtros de partículas suspendidas totales colectadas por el método Hi-Vol., el cual se utiliza en la SCA-CCA-UNAM.

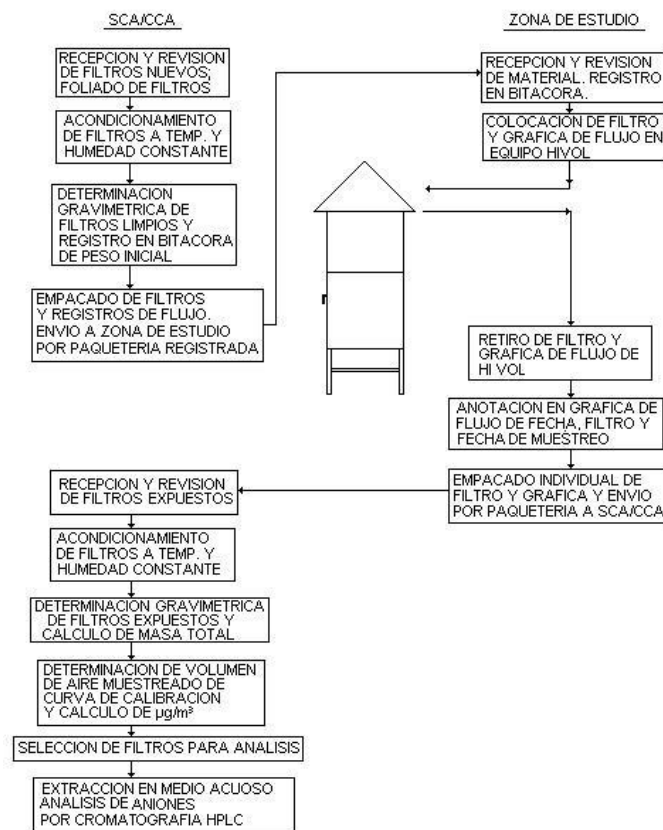


Figura 4.22. Protocolo ejemplo del muestreo, manejo y análisis de PST.

### Capacitación y evaluación del personal

Se dió la capacitación adecuada al Sr. Roberto Galicia Morales y al Téc. Roelof VanderPutten Colín sobre la metodología para realizar el cambio de filtro en el equipo de PST y la programación del siguiente muestreo.

Personal técnico de la RAMA (Ing. Juan Manuel Campos Díaz y el Ing. Eloy Contreras Sánchez) realizaron la capacitación sobre la metodología para la calibración de los equipos analizadores de SO<sub>2</sub>.

## **Procesamiento de la información**

A continuación se describen las actividades que se realizaron para el análisis y la validación de la información obtenida en el sistema de monitoreo para bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monitoreo de partículas suspendidas totales (PST) y de la meteorología en la región de Tula.

### **Información obtenida en el sistema de monitoreo para SO<sub>2</sub> en las estaciones de monitoreo atmosférico**

El monitoreo de SO<sub>2</sub> en la zona de estudio inició en julio de 2009 y terminó en febrero de 2012.

La descarga de las bases de datos de SO<sub>2</sub> se realizó mediante el uso de una computadora portátil (ACER con sistema operativo Windows 7), para dicha actividad fue necesario el uso de un cable para comunicación RS232, el cual permitió configurar la computadora y el adquisidor de datos de SO<sub>2</sub> (ODESSA) desde la aplicación Hyperterminal (sistema de comunicación) que tiene integrado el sistema operativo Windows.

Cuando se obtiene la comunicación Computadora – Adquisidor de datos (ODESSA) se inicia la configuración del adquisidor de datos que consiste en introducir una serie de códigos (letras y números) e ir avanzando en el proceso de la configuración.

Una vez configurado el sistema de adquisición de datos para SO<sub>2</sub> se realizó una prueba de comunicación (descarga de datos) dando como resultado una descarga de datos adecuada y eficiente, entonces el sistema de monitoreo inició desde ese momento.

Cada descarga de la base de datos de SO<sub>2</sub> que se realizó estuvo basada en formato de texto (.txt) ya que en el programa Hyperterminal se edita en texto. Por tal motivo, las bases de datos de SO<sub>2</sub>.txt se convirtieron a formato .xls (formato Excel u hoja de cálculo) para trabajar con las bases de datos de SO<sub>2</sub> generadas en el monitoreo. Cabe señalar que el número de datos obtenidos de SO<sub>2</sub> en cada descarga que se realizó semanalmente, aproximadamente fue de 700 datos para cada estación de monitoreo.

La validación de los datos obtenidos en el sistema de monitoreo para SO<sub>2</sub> se realizó mediante los niveles de validación que a continuación se describen:

#### *Nivel de validación 0*

En este tipo de validación, la base de datos de SO<sub>2</sub> no fue modificada ni editada para cada estación de monitoreo, ya que es considerada como una base de datos cruda, sólo fue revisada en su totalidad; es decir, se verificó que la base de datos de SO<sub>2</sub> en cada estación estuviera completa. Este nivel

de validación es aquel que se realizó cuando se dio inicio a la descarga de datos de SO<sub>2</sub>.

#### *Nivel de validación 1*

Consistió en la verificación de la completitud de las mediciones así como la integridad de la información generada. En este nivel de validación 1 se consideraron los datos negativos que se pudieron obtener en el monitoreo, se consideraron los datos de verificación de calibración (línea base, 400 y 50 ppb) y calibración multipunto (línea base, 400, 300, 200 y 50 ppb) y fueron etiquetados para diferenciar cada actividad.

En este tipo de validación se realizaron gráficos para observar el comportamiento de SO<sub>2</sub> en forma horaria.

#### *Nivel de validación 2*

Correspondió al funcionamiento del equipo del analizador de SO<sub>2</sub>; es decir, este tipo de validación actuó como un parámetro que hizo referencia a que el analizador de SO<sub>2</sub> llegará a necesitar un ajuste de línea base o calibración multipunto, cuando el corrimiento de la línea base fuera significativo (mayor a -3 ppb).

#### *Nivel de validación 3*

Para finalizar la validación de la base de datos de SO<sub>2</sub> que logró pasar en las etapas de validación anteriores y posteriormente comparar esos datos con la NOM-022-SSA1-2010, fue necesario considerar los datos de la temperatura interior de cada estación además de la temperatura interior de cada equipo analizador de SO<sub>2</sub>, los cuales estuvieron en el intervalo exigido por la EPA (20 – 25°C)

Fue necesario analizar los datos con estadística básica y realizar gráficos tanto de los datos de SO<sub>2</sub> como de la temperatura interior de cada estación de monitoreo para observar la tendencia de estos dos parámetros asumiendo que la base de datos de SO<sub>2</sub> fue válida en su totalidad y la temperatura interior de la estación y del analizador de SO<sub>2</sub> permanecieron constantes.

#### *Nivel de validación final*

Los datos de SO<sub>2</sub> se compararon con la NOM-022-SSA1-2010, la cual establece no rebasar 0.11 ppm promedio 24 horas y 0.025 ppm promedio anual.

## **Información obtenida en el sistema de monitoreo para PST en las estaciones de monitoreo atmosférico**

El monitoreo de PST en la zona de estudio inició en agosto de 2011 y terminó en diciembre de 2011.

Debido a que no se podía visitar diariamente a la región de Tula a cambiar el filtro de muestreo de PST; es decir, muestreo de PST cada 24 horas, se decidió que el muestreo fuera cada 6 días, por consecuencia, el cambio de filtro de PST se realizaba cada 6 días (obligatorio). Realizar el muestreo cada 6 días indicó recolectar PST todos los días de la semana, es decir, sí se muestreó, por ejemplo el día domingo, el siguiente muestreo sería el sábado, después sería viernes, luego jueves etc., y de esta manera se tendría el muestreo completo de una semana.

Previo a cada muestreo de PST se verificó el funcionamiento del equipo de partículas (motor, desgaste de los carbones del motor, empaques de la base donde se coloca el filtro de muestreo para evitar posibles fugas de aire y configuración del timer para el siguiente muestreo).

Para el registro de cada monitoreo de PST en las tres estaciones se utilizó el formato del Anexo III, para tener un control sobre los monitoreos realizados desde agosto a diciembre de 2011.

En dicho formato de control se registró la fecha de monitoreo, fecha del cambio y retiro del filtro monitoreado, lectura del contador (hr) al inicio y fin del monitoreo, se midió la caída de presión del equipo Hi-Vol (plgH<sub>2</sub>O) antes y después del cambio de filtro y lo más importante, el número de filtro (ID) que será muestreado.

La lectura del contador (hr) al inicio y fin de cada monitoreo es un parámetro que indicó el tiempo que duró el monitoreo; es decir, 24 horas. En caso de haber encontrado un periodo menor a 24 horas, el monitoreo se tendría que invalidar y verificar que fue lo que pasó, posiblemente, falla en la energía eléctrica ó desgaste de los carbones en el motor, principalmente.

Todo el sistema de monitoreo de PST se realizó con guantes de látex para evitar el contacto directo con el filtro muestreado y con el filtro a muestrear. La muestra de PST tuvo las precauciones adecuadas para que la muestra llegará en buenas condiciones al laboratorio en donde se analizaría posteriormente.

Considerando que el filtro muestreado presentará algún defecto (roto) y el filtro a muestrear presentará imperfecciones (roto, maltratado, manchado, etc.) se reportarían como invalidados. Para el caso de tener filtros muestreados invalidados, podría llegar a repercutir en al análisis de los datos ya que se deben de tomar en cuenta la mayoría de los datos obtenidos de cada monitoreo de PST para un mejor análisis.

Para prevenir errores futuros en el monitoreo de PST para cada estación fue necesario transportar, en cada visita, dos filtros limpios más los que se tenían destinados para el monitoreo (5 filtros), también se contempló llevar carbones para el motor del Hi-Vol. en caso de algún reemplazo.

Para determinar la concentración de PST fue necesario realizar calibraciones en el equipo de partículas (Hi-Vol.) tanto en laboratorio (SCA-CCA-UNAM) y en los sitios de muestreo (CECATI 55, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil) utilizando un kit de placas de orificio y un manómetro para medir la caída de presión en el medidor de transferencia del orificio.

Posteriormente, mediante los gráficos obtenidos en laboratorio y en campo (corregidos a temperatura y presión de referencia, 298 K y 760 mmHg) se determinó el flujo volumétrico para cada filtro muestreado en base al registro de la caída de presión y de la lectura del registrador de papel .

Conociendo previamente la masa muestreada de PST, el flujo volumétrico y el periodo de cada muestreo entonces se puede conocer la concentración de PST mediante la siguiente expresión:

$$PST, \frac{mg}{m^3} = \frac{(masa\ PST) \times 10^6}{Vol.\ muestreo}$$

Para el cálculo de la concentración de PST se usó la información de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2011) en su documento 40-CFR parte 50 anexo B y de la NOM-035-SEMARNAT-1993 en la cual se indica todo el procedimiento que se involucra para conocer la concentración de PST en el aire ambiente así como la calibración del equipo Hi-Vol.

Posteriormente, los datos obtenidos de PST se compararon con la NOM-025-SSA1-1993 que establece no rebasar 210  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  promedio 24 horas.

## **Información obtenida en el sistema de monitoreo para la meteorología en las estaciones de monitoreo**

Fue vital que en el sistema de monitoreo atmosférico en la zona de estudio se determinará la meteorología de cada estación ya que la medición de los parámetros meteorológicos (velocidad y dirección del viento, radiación UV, temperatura interior y exterior, humedad exterior e interior) describen el escenario de cada estación y de cómo las condiciones externas a cada estación favorecen o no la dispersión de contaminantes atmosféricos.

Para la medición de la meteorología de cada estación fue necesario adquirir equipos de meteorología, WEATHER STATION, e instalar un software (WEATHERLINK) en la computadora, posteriormente se configuró cada estación de monitoreo y se introdujeron los datos correspondientes a la descarga de los mismos.

El software, WEATHERLINK, permite visualizar los parámetros de meteorología en tiempo real para cada estación de monitoreo y manda un pronóstico del tiempo para los siguientes días.

La descarga de datos de meteorología se realizó mediante una consola (sistema de adquisición de datos, DAVIS Vantage pro2) destinada para ese propósito previamente configurada con el software, en la cual se puede observar la variación de la temperatura y humedad exterior e interior, radiación UV, velocidad y dirección del viento además de los eventos de lluvia. Tales datos de meteorología fueron descargados mediante la configuración del puerto USB de la computadora al sistema de adquisición de datos sin problema.

Los datos de meteorología (dirección y velocidad de viento, humedad y temperatura) se utilizaron para generar gráficos de rosas de viento, temperatura y humedad.

Para la elaboración de gráficos de rosas de viento se utilizó el software de Lakes Environmental, Wind Rose Plots for Meteorological Data (WRPLOT View, 2011).

Para la elaboración de gráficos de temperatura y humedad se utilizó el software Generic Mapping Tools (GMT).

## 5. Resultados obtenidos

### Sistema de monitoreo. Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

A continuación, en la Tabla 5.1, se presentan los resultados obtenidos en el sistema de monitoreo atmosférico para SO<sub>2</sub> en zona de estudio.

Tabla 5.1. Información obtenida del sistema de monitoreo de la concentración de SO<sub>2</sub> desde de julio de 2009 a febrero de 2012.

Fecha	Datos	Estación		Fecha	Estación
		CECATI 55*	Lázaro Cárdenas*		Unidad Móvil**
02 de julio de 2009 al 15 de febrero de 2012	Total	30648	30656	19 de agosto de 2009 al 15 de febrero de 2012	29509
	Válidos	29029 (94%)	28340 (92%)		24371 (82%)
	Perdidos	1619 (6%)	2316 (8%)		5138 (18%)

\* Las estaciones de CECATI 55 y Lázaro Cárdenas iniciaron el 02 de julio de 2009.

\*\* La Unidad Móvil inició el 19 de agosto de 2009.

En la tabla anterior se observa en (%) los datos que fueron válidos y los que se perdieron a causa de falla eléctrica, falla del analizador de SO<sub>2</sub>, etc., de cada estación de monitoreo.

El número de datos válidos para las estaciones de CECATI 55 y Lázaro Cárdenas tuvieron una suficiencia de datos del 92 y 89% respectivamente, mientras que en la estación de la Unidad Móvil se obtuvo el 82% de suficiencia de datos.

Debido a que el número de datos válidos en cada estación siempre estuvo por arriba del 75% se cumplió el objetivo referente a la suficiencia de datos para las tres estaciones de monitoreo atmosférico en la zona de estudio.

#### Estación de monitoreo: CECATI 55, Tepeji del Río, Hidalgo

Las Figuras 5.1 a la 5.12 presentan mediante diagramas de caja, la distribución horaria de concentraciones de SO<sub>2</sub> (ppm) por día para la estación CECATI 55, mientras que la Figura 5.13 muestra el comportamiento de las concentraciones promedio horarias para SO<sub>2</sub> (ppm) durante todo el periodo de estudio (02 de julio de 2009 al 15 de febrero de 2012).

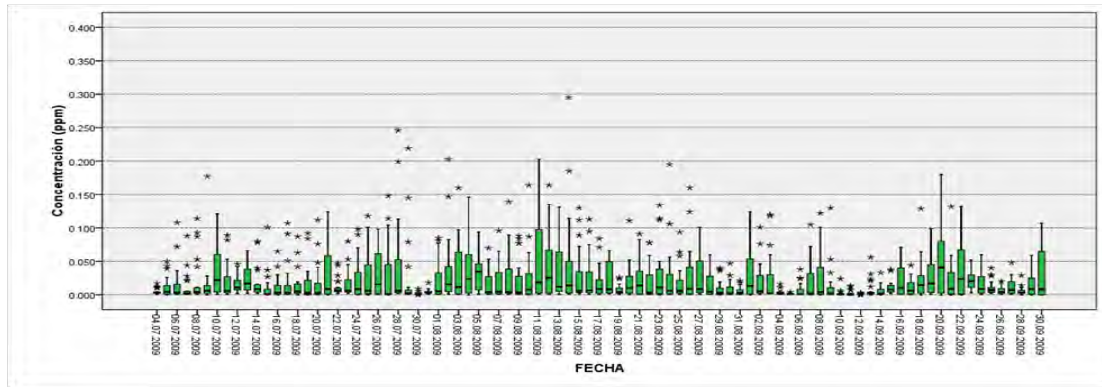


Figura 5.1. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (4 de julio al 30 de septiembre de 2009).

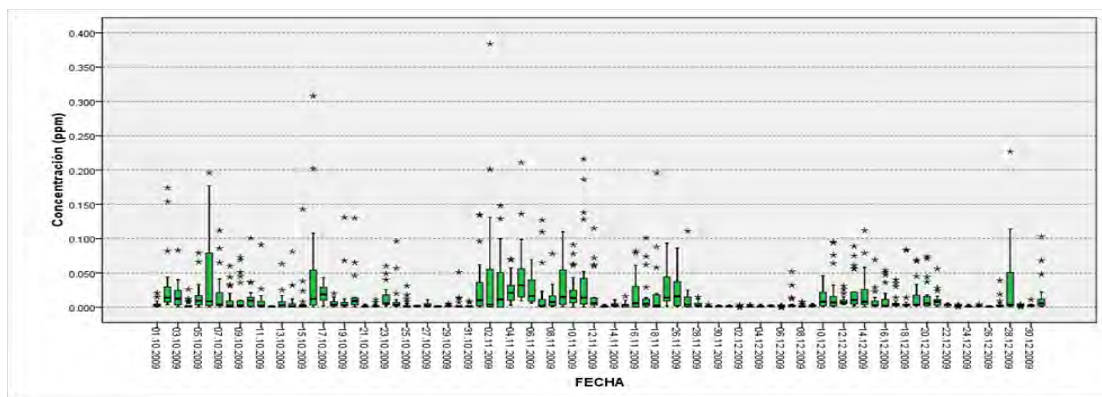


Figura 5.2. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de octubre al 31 de diciembre de 2009).

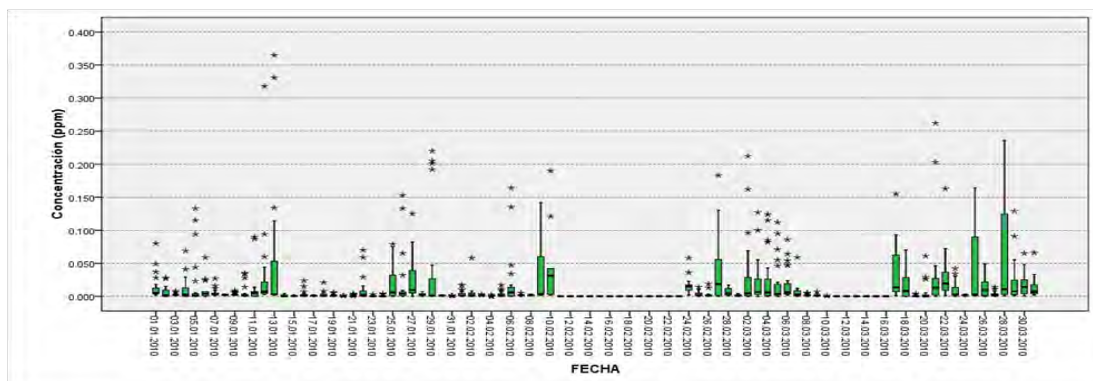


Figura 5.3. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de enero al 31 de marzo de 2010).



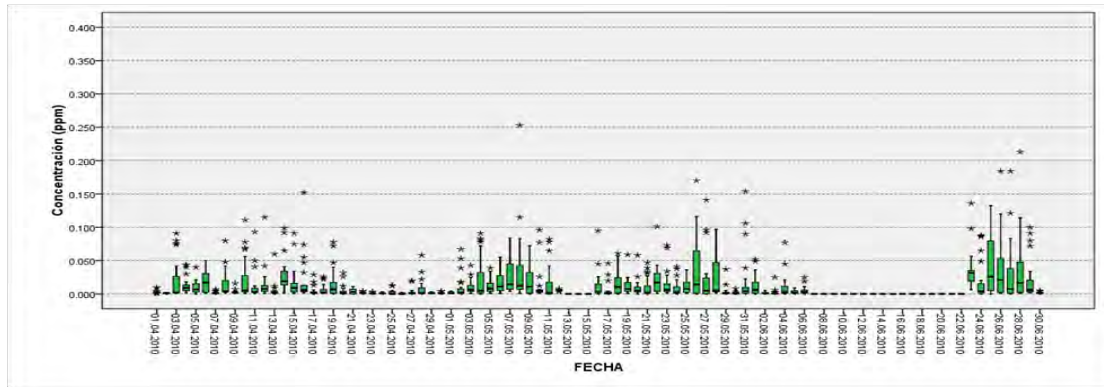


Figura 5.4. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de abril al 30 de junio de 2010).

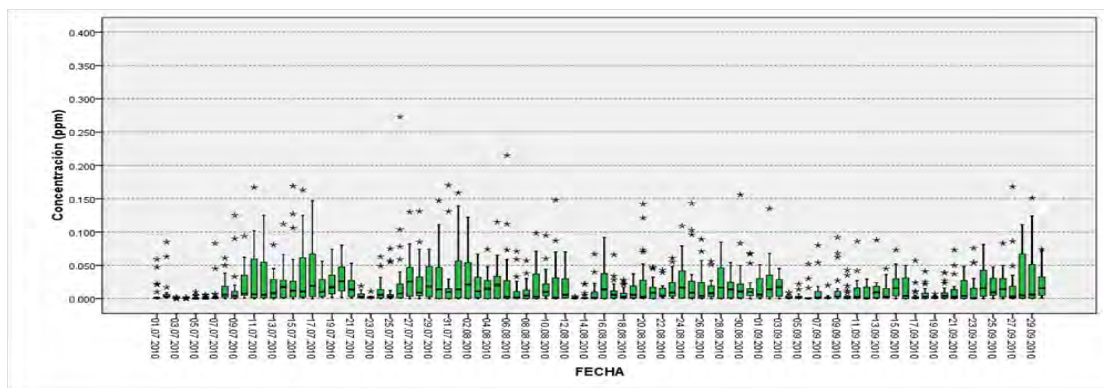


Figura 5.5. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de julio al 30 de septiembre de 2010).

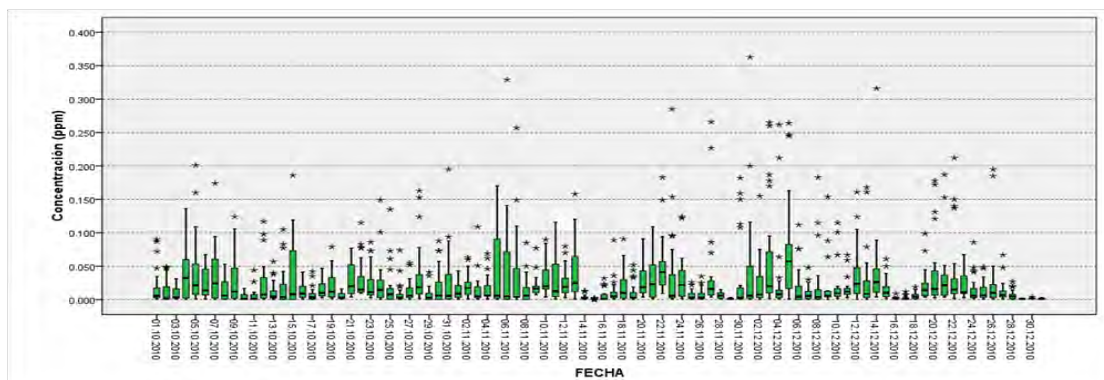


Figura 5.6. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de octubre al 31 de diciembre de 2010).

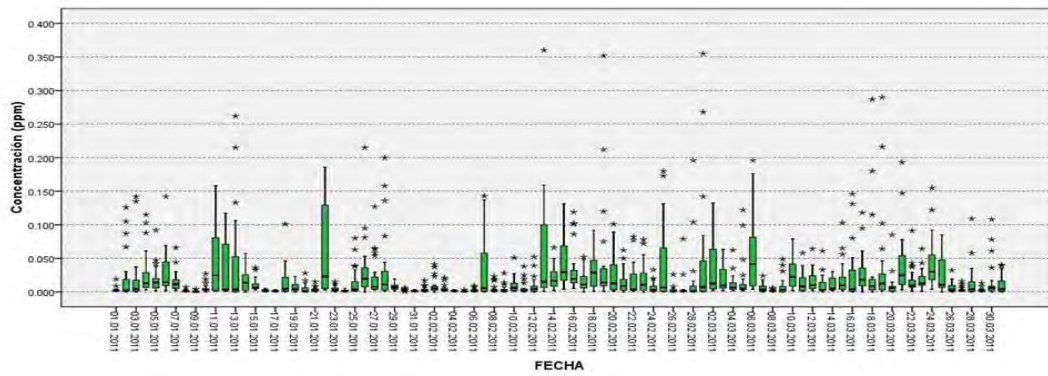


Figura 5.7. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de enero al 31 de marzo de 2011).

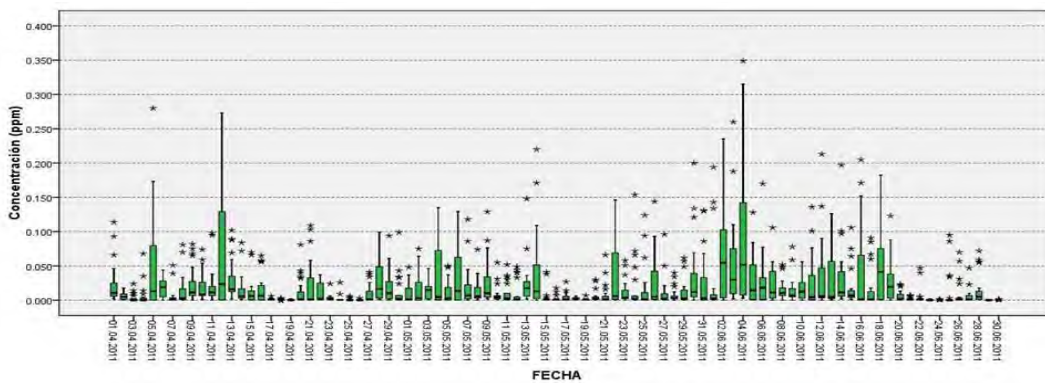


Figura 5.8. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de abril al 30 de junio de 2011).

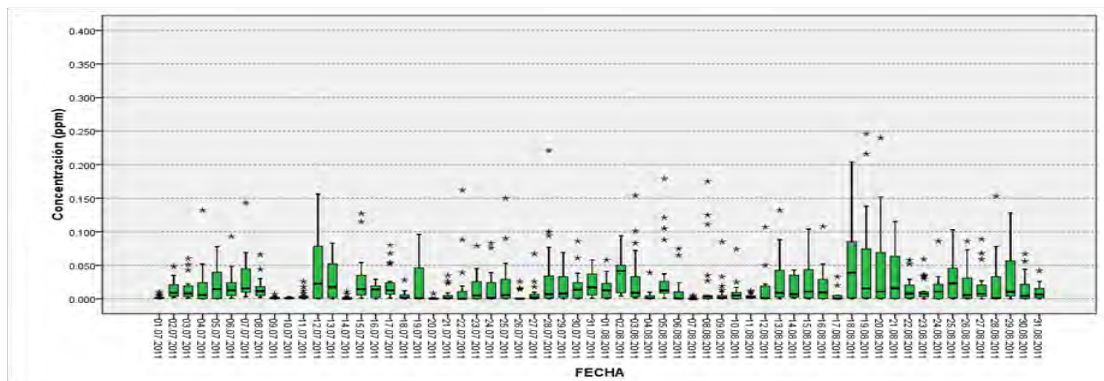


Figura 5.9. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de julio al 31 de agosto de 2011).

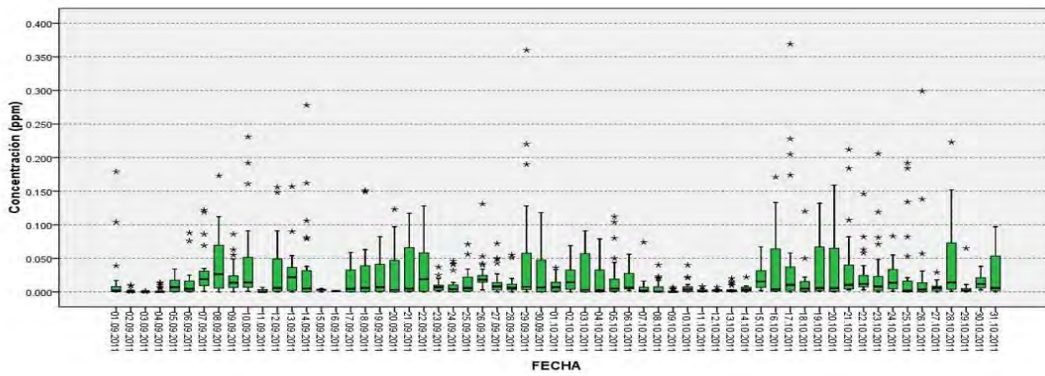


Figura 5.10. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de septiembre al 31 de octubre de 2011).

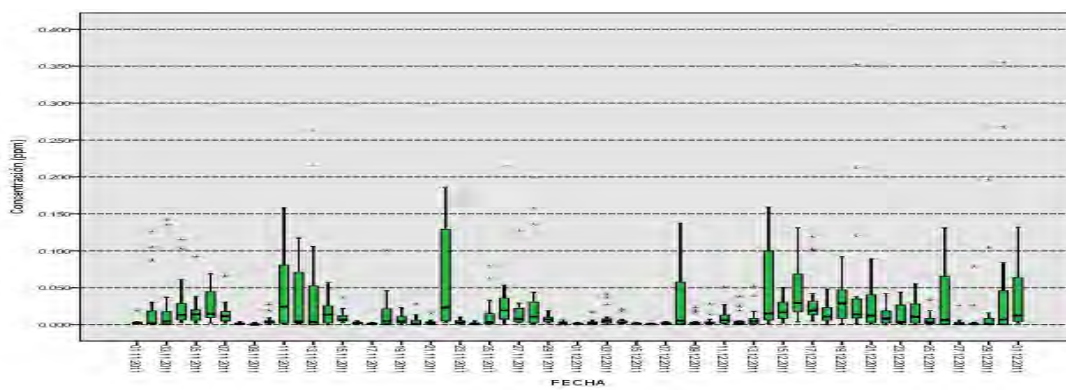


Figura 5.11. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de noviembre al 31 de diciembre de 2011).

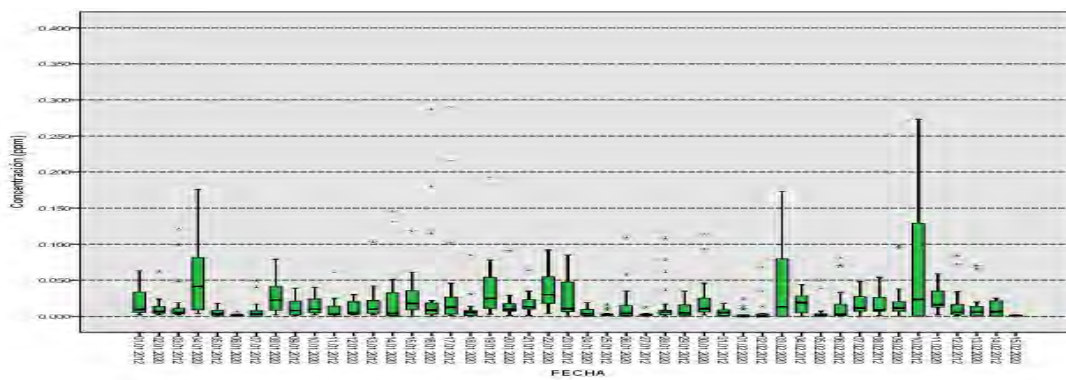


Figura 5.12. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación CECATI 55 (1 de enero al 15 de febrero de 2012).



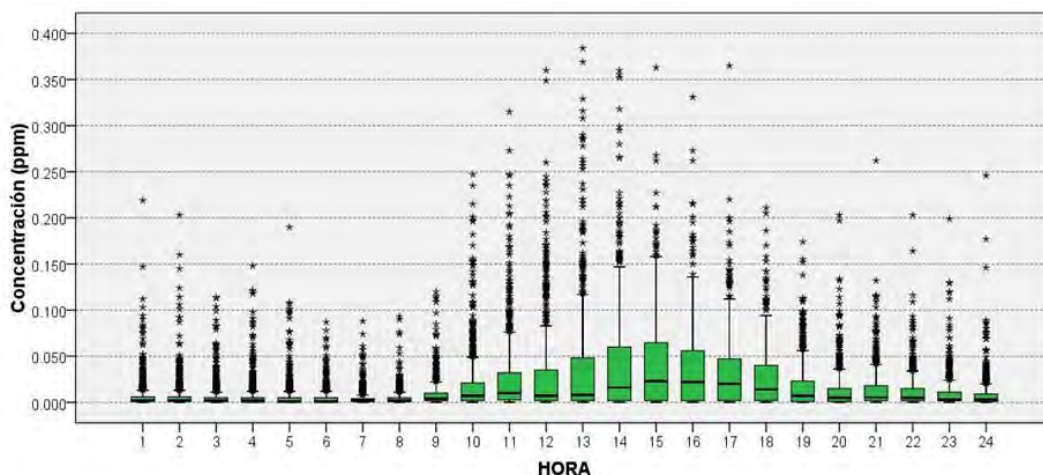


Figura 5.13. Distribución de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (ppm) por hora en la estación CECATI 55.

### Lázaro Cárdenas, Tula, Hidalgo

La distribución horaria de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (ppm) por día para la estación Lázaro Cárdenas es presentada en la Figura 5.14 para el periodo del 2 de julio al 30 de septiembre de 2009, en la Figura 5.15 del 1 de octubre al 31 de diciembre de 2009, en la Figura 5.16 del 1 de enero al 31 de marzo de 2010, en la Figura 5.17 se muestra el comportamiento del 1 de abril al 30 de junio de 2010, la Figura 5.18 del primero de julio al 30 de septiembre de 2010, la Figura 5.19 del primero de octubre al 31 de diciembre de 2010, la Figura 5.20 del primero de enero al 31 de marzo de 2011, la Figura 5.21 del primero de abril al 30 de junio de 2011, Figura 5.22 del primero de julio al 31 de agosto de 2011, Figura 5.23 del primero de septiembre al 31 de octubre de 2011, Figura 5.24 del primero de noviembre al 31 de diciembre de 2011, finalmente la Figura 5.25 del primero de enero al 15 de febrero de 2012. En la Figura 5.26 se muestra el comportamiento de las concentraciones promedio horarias de SO<sub>2</sub> (ppm) durante el periodo de estudio (del 2 de julio de 2009 al 15 de febrero de 2012).

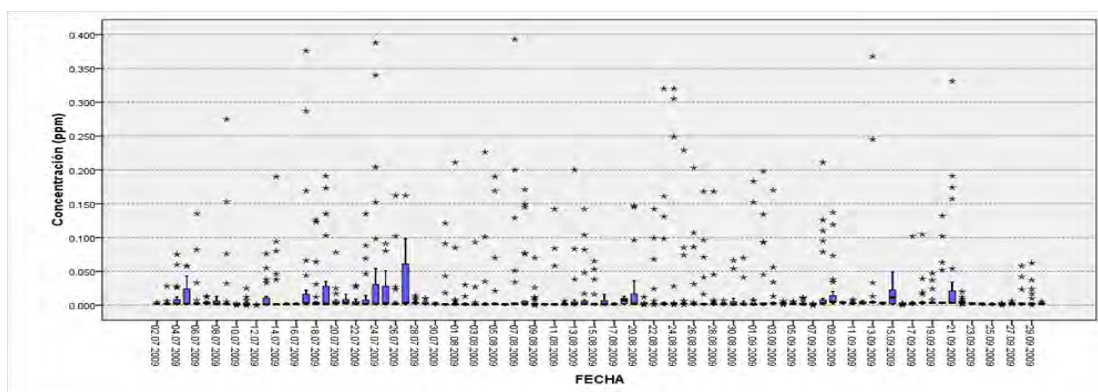


Figura 5.14. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (2 de julio al 30 de septiembre de 2009).

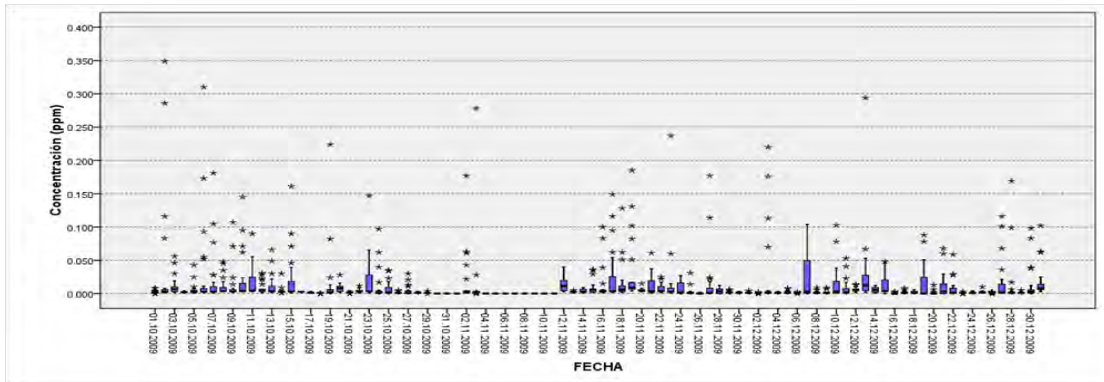


Figura 5.15 Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de octubre al 31 de diciembre de 2009).

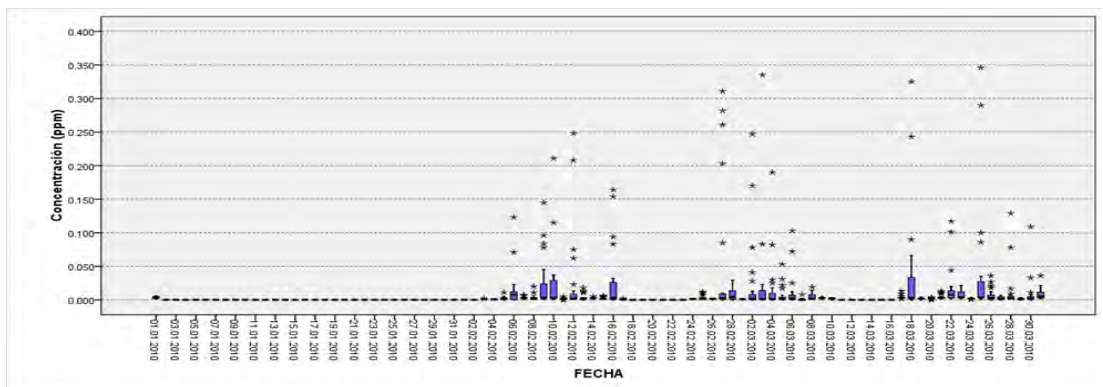


Figura 5.16. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de enero al 31 de marzo de 2010).

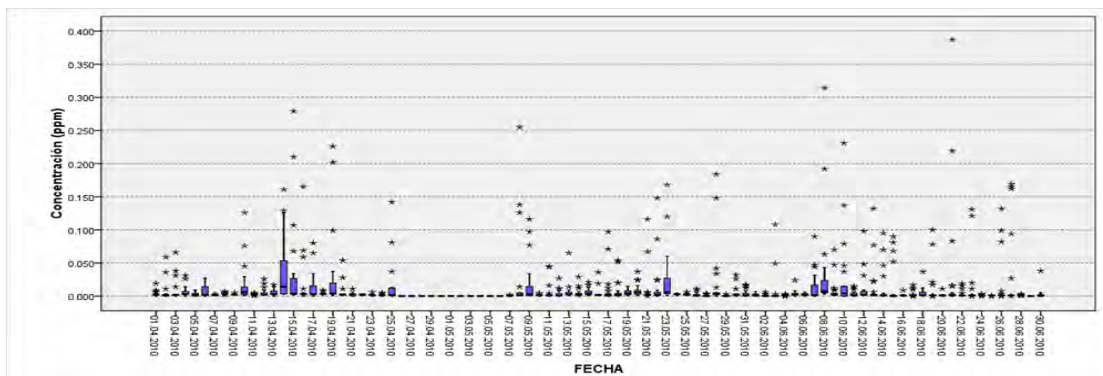


Figura 5.17. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de abril al 30 de junio de 2010).

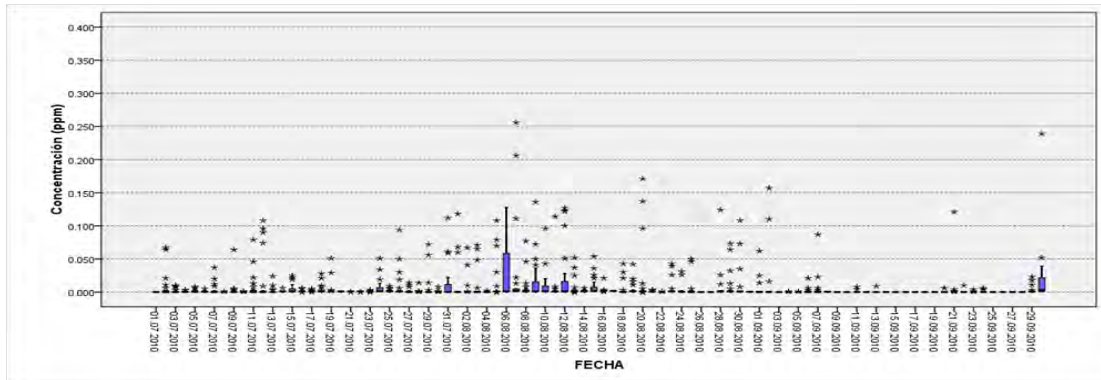


Figura 5.18. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de julio al 30 de septiembre de 2010).

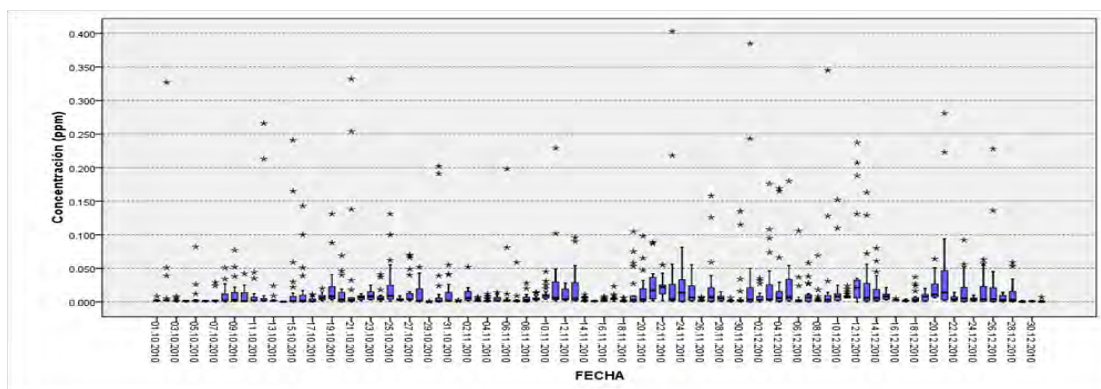


Figura 5.19. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de octubre al 31 de diciembre de 2010).

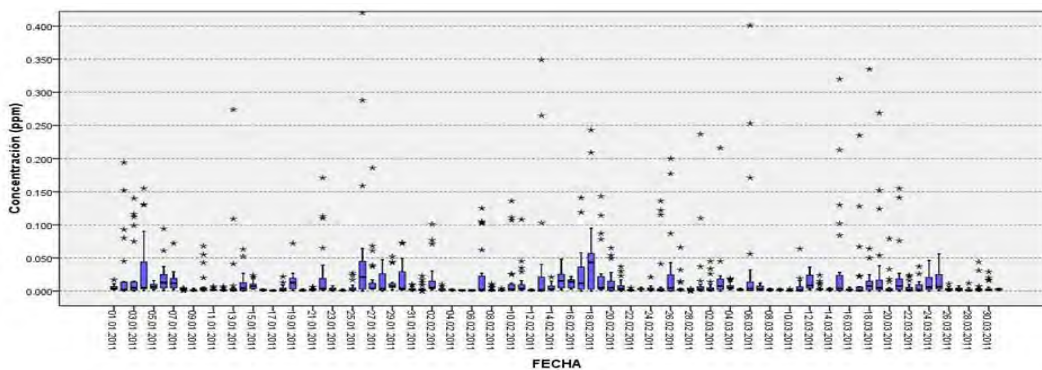


Figura 5.20 Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de enero al 31 de marzo de 2011).



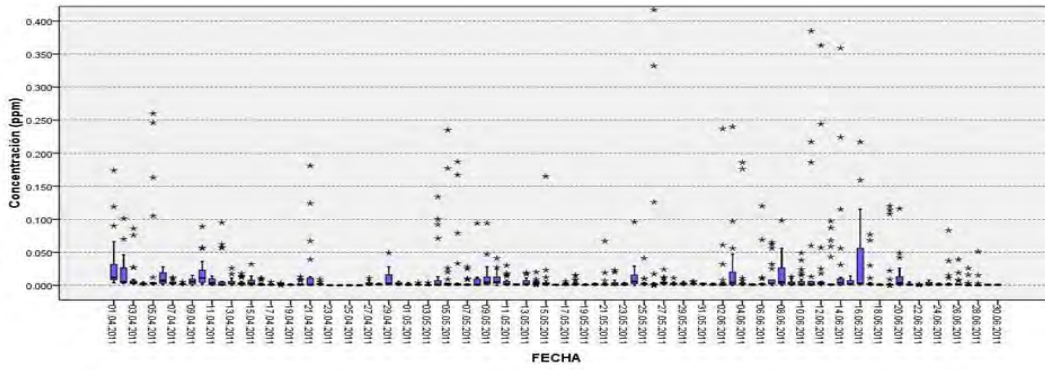


Figura 5.21 Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de abril al 30 de junio de 2011).

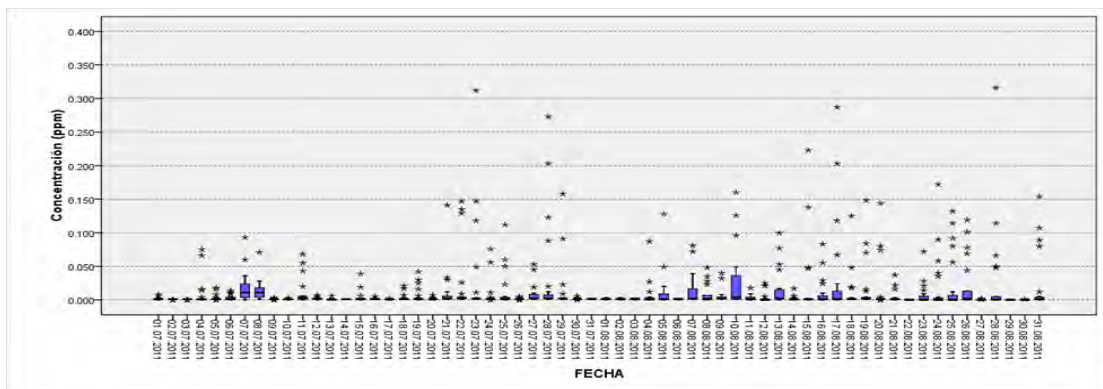


Figura 5.22. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de julio al 31 de agosto de 2011).

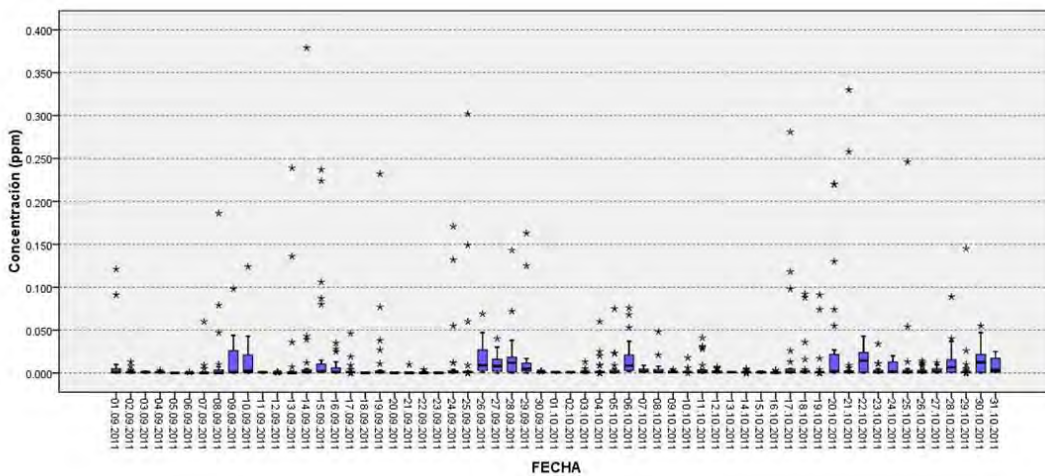


Figura 5.23. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de septiembre al 31 de octubre de 2011).

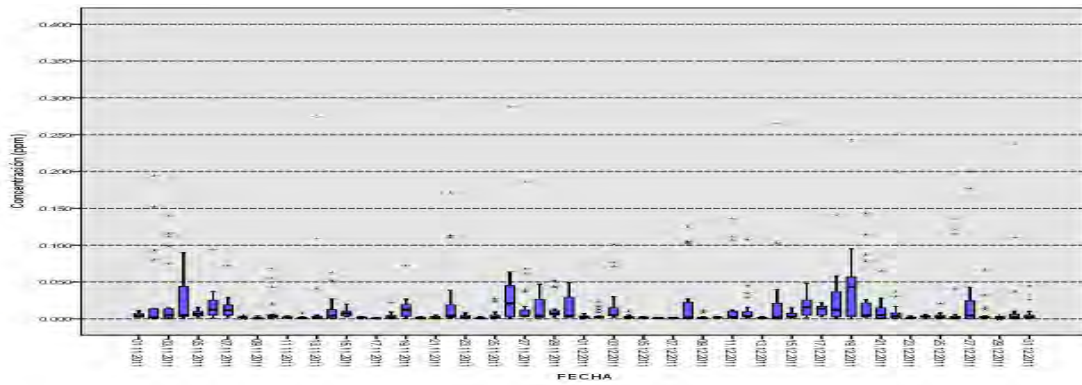


Figura 5.24. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de noviembre al 31 de diciembre de 2011).

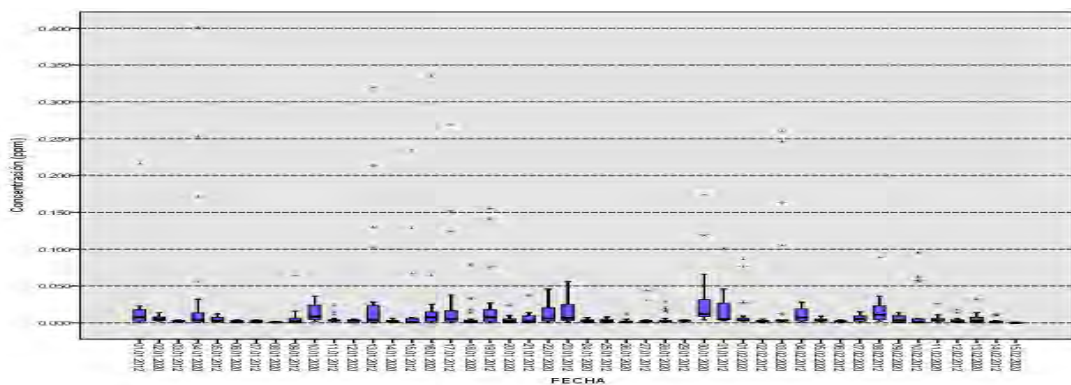


Figura 5.25. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la estación Lázaro Cárdenas (1 de enero al 15 de febrero de 2012).

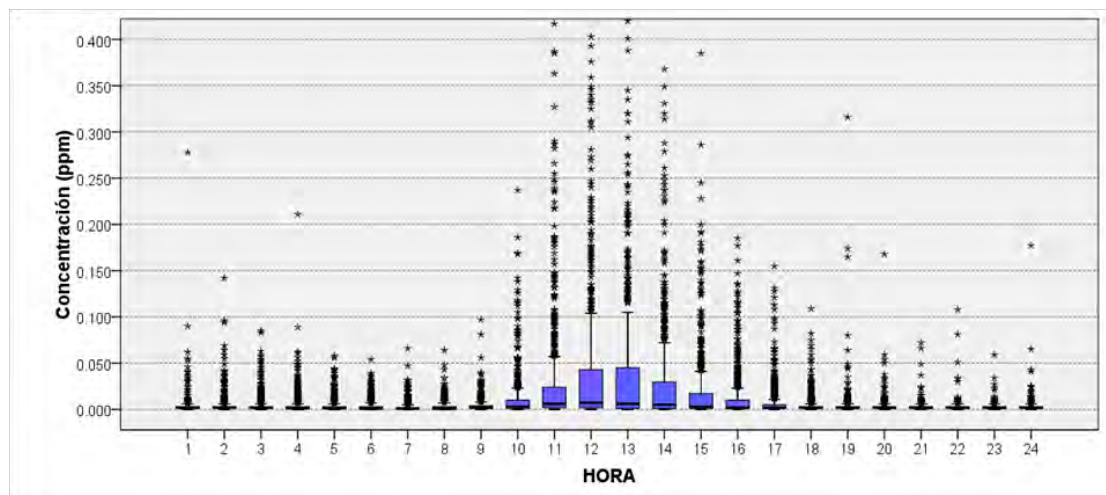


Figura 5.26. Distribución de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (ppm) por hora en la estación Lázaro Cárdenas.

### Unidad móvil. Cerro Colorado, Hidalgo, México

Las figuras 5.27 a la 5.38 (Nota. La escala de concentración es de 0.000 a 0.200 ppm) presentan la distribución horaria de concentraciones de SO<sub>2</sub> (ppm) por día para la estación Unidad Móvil, Cerro Colorado, mientras que la



Figura 5.39 muestra el comportamiento promedio horario de las concentraciones de SO<sub>2</sub> en ppm.

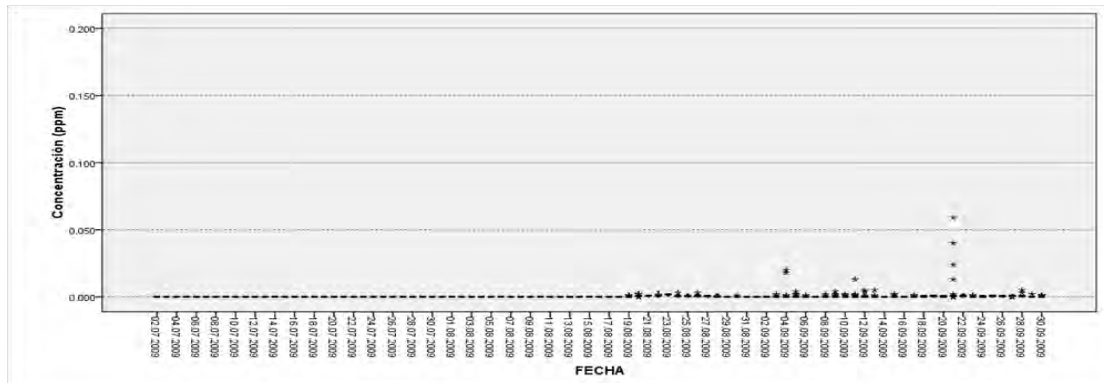


Figura 5.27. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (19 de agosto al 30 de septiembre de 2009).

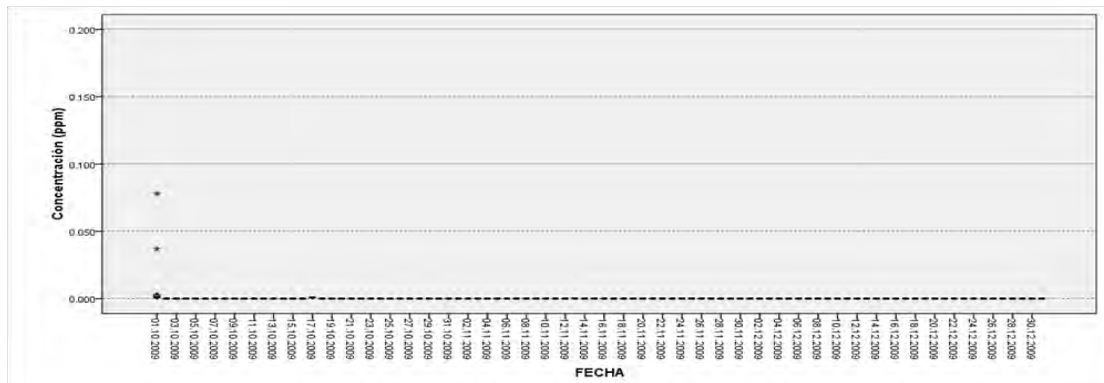


Figura 5.28. Distribución de las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub> (ppm) por día en la unidad móvil (1 de octubre al 31 de diciembre de 2009).

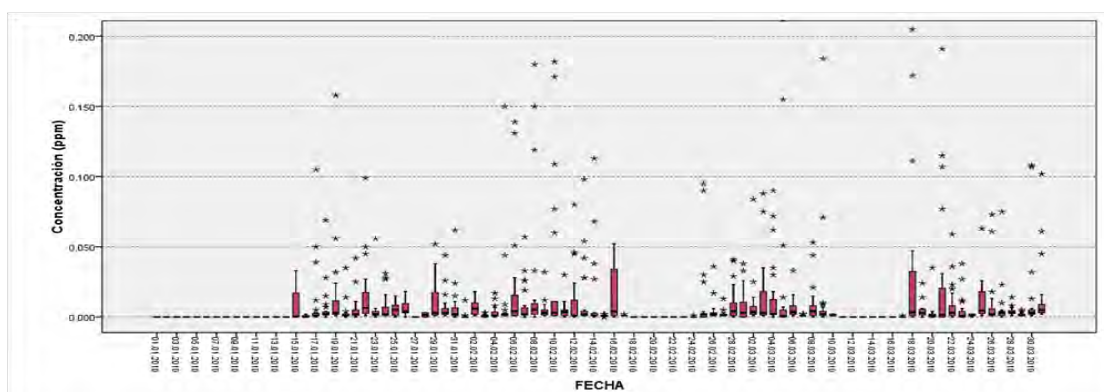


Figura 5.29. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de enero al 31 de marzo de 2010).

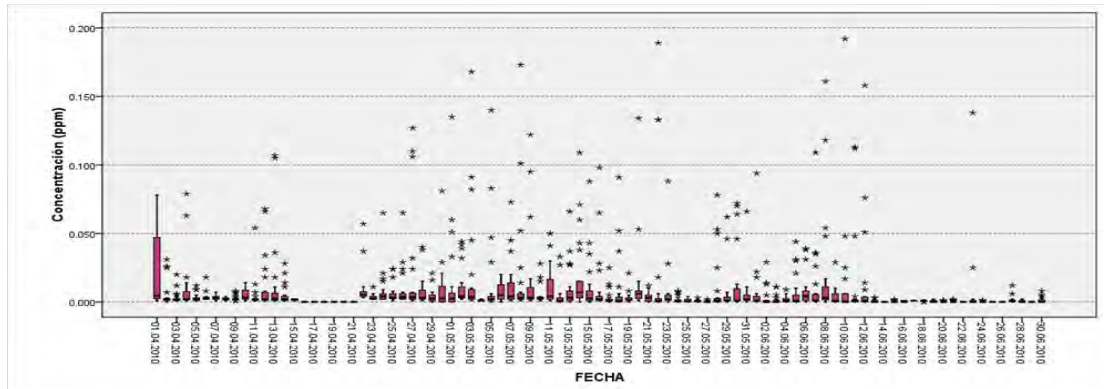


Figura 5.30. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de abril al 30 de junio de 2010).

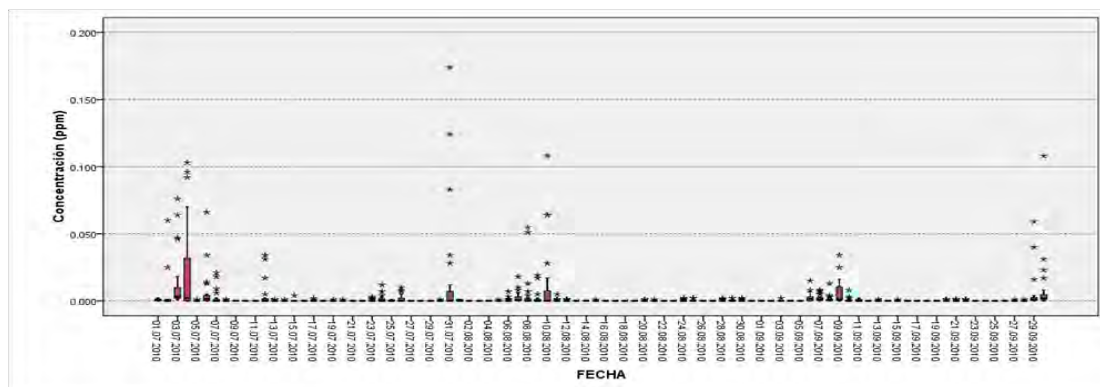


Figura 5.31. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de julio al 30 de septiembre de 2010).

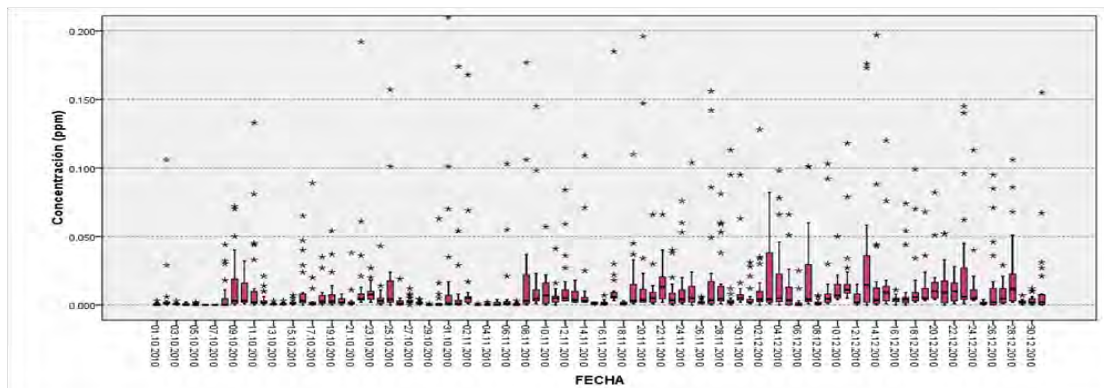


Figura 5.32. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de octubre al 31 de diciembre de 2010).

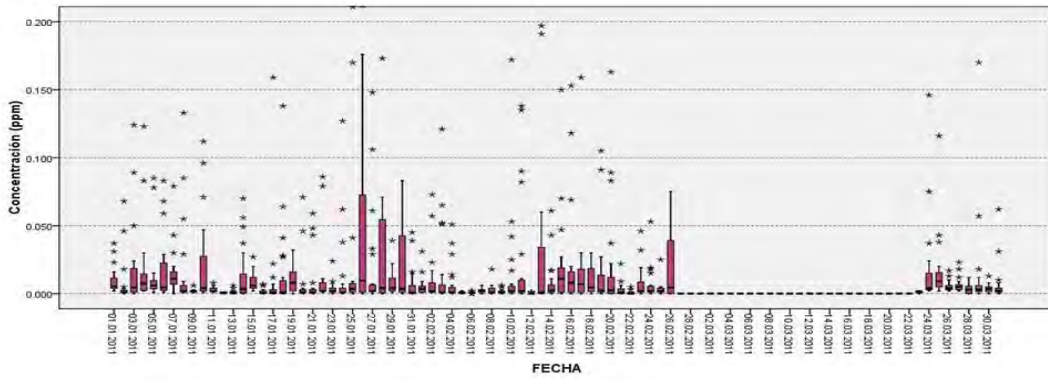


Figura 5.33. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de enero al 31 de marzo de 2011).

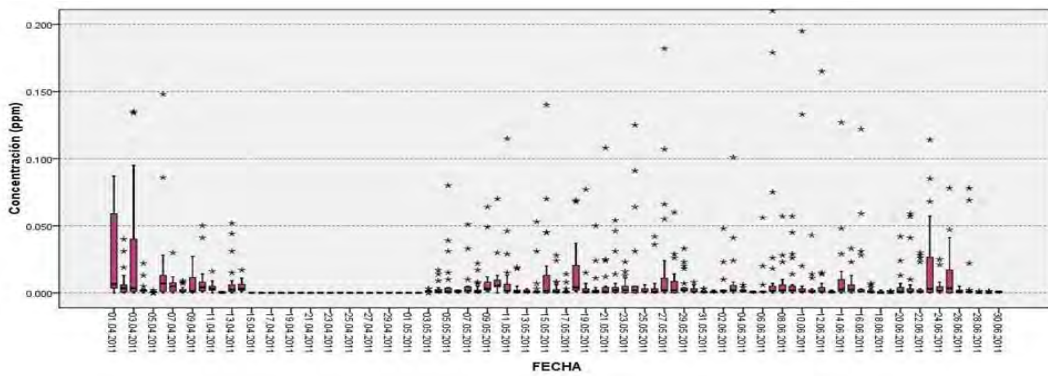


Figura 5.34. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de abril al 30 de junio de 2011).

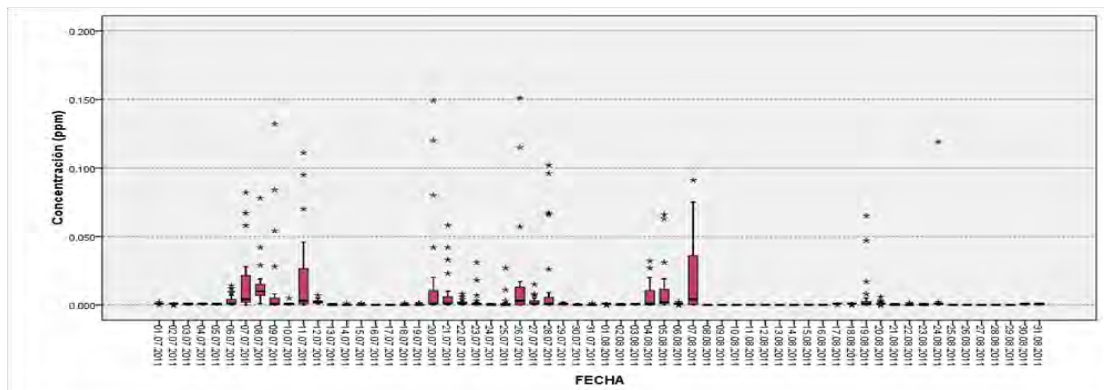


Figura 5.35. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de julio al 31 de agosto de 2011).

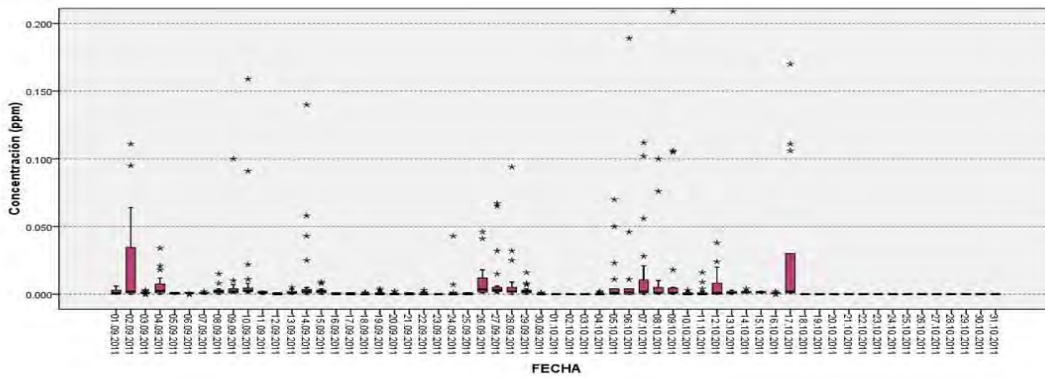


Figura 5.36. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de septiembre al 31 de octubre de 2011).

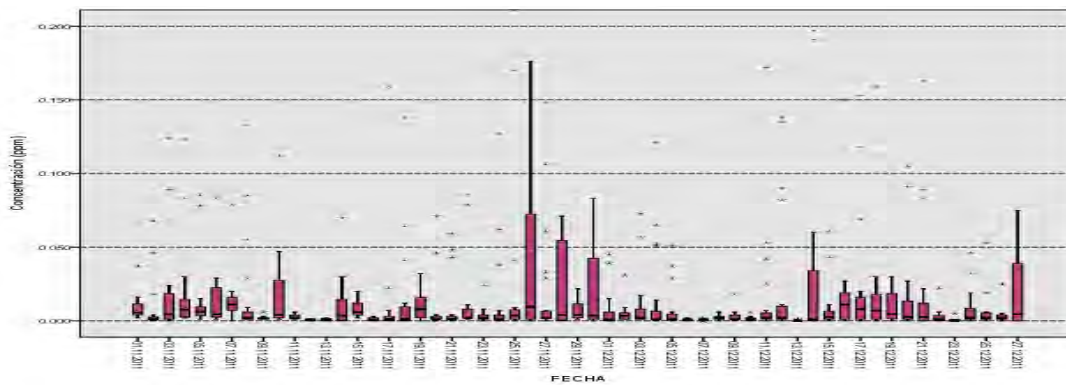


Figura 5.37. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de noviembre al 31 de diciembre de 2011).

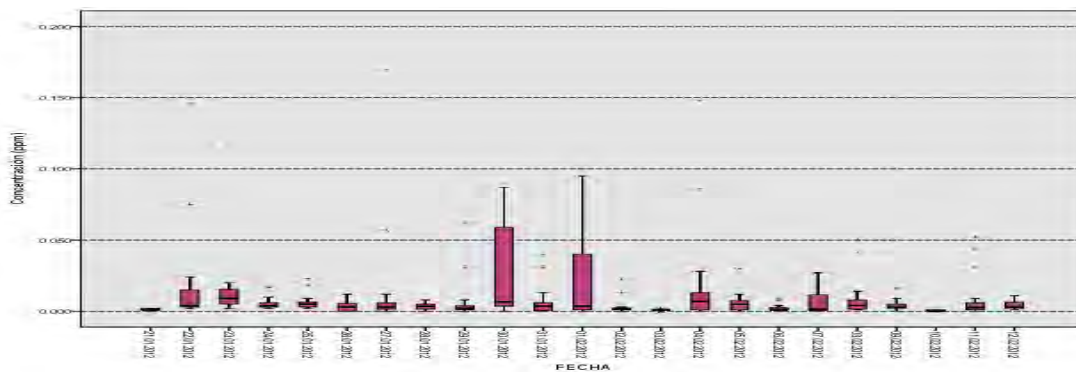


Figura 5.38. Distribución de las concentraciones horarias por día de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil (1 de enero al 15 de febrero de 2012).



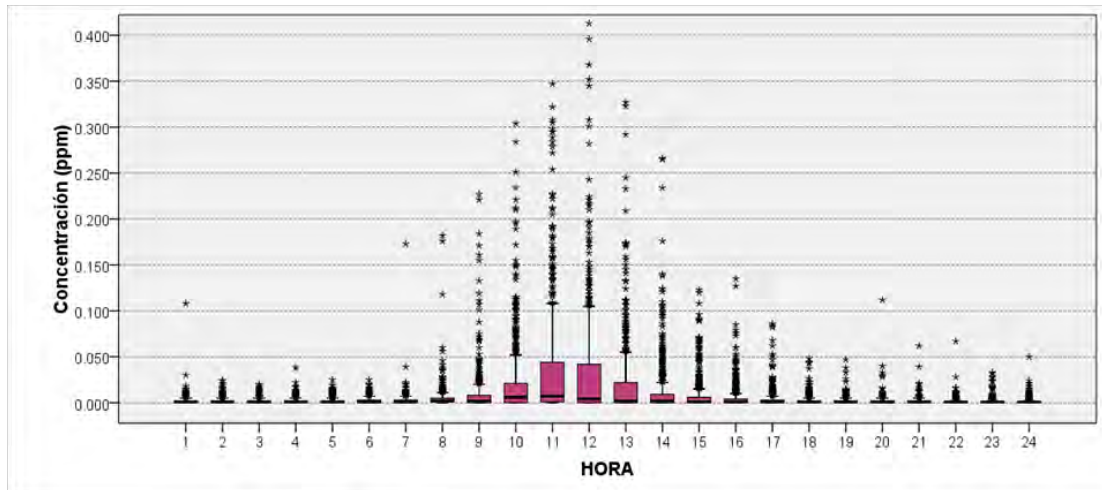


Figura 5.39. Distribución de las concentraciones por hora de SO<sub>2</sub> (ppm) en la unidad móvil.

### Observancia con la Norma de Calidad del Aire para SO<sub>2</sub> (NOM-022-SSA1-2010)

Para observar el comportamiento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> durante el día en las tres estaciones de monitoreo en la zona de estudio (CECATI 55, Tepeji; Lázaro Cárdenas, Tula y Unidad Móvil, Cerro Colorado), se determinaron las concentraciones promedio horarias durante el periodo de estudio (2 de julio de 2009 al 15 de febrero de 2012).

En la Figura 5.40, se observa para la Estación en Tepeji (**Línea Verde**) un incremento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> a partir de las 09:00 hrs., un valor máximo entre las 15:00 y 16:00 hrs., y un decremento a partir de las 18:00 hrs. Para la Estación Lázaro Cárdenas (**Línea Azul**) se tiene un incremento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> a partir de las 10:00 hrs, un valor máximo entre las 12:00 y las 13:00 hrs., y un decremento a partir de las 14:00 hrs. En el caso de la Unidad Móvil (**Línea Roja**) se presenta un incremento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> a partir de las 09:00 hrs., un valor máximo entre las 11:00 y 12:00 hrs., y un decremento a partir de las 13:00 hrs.

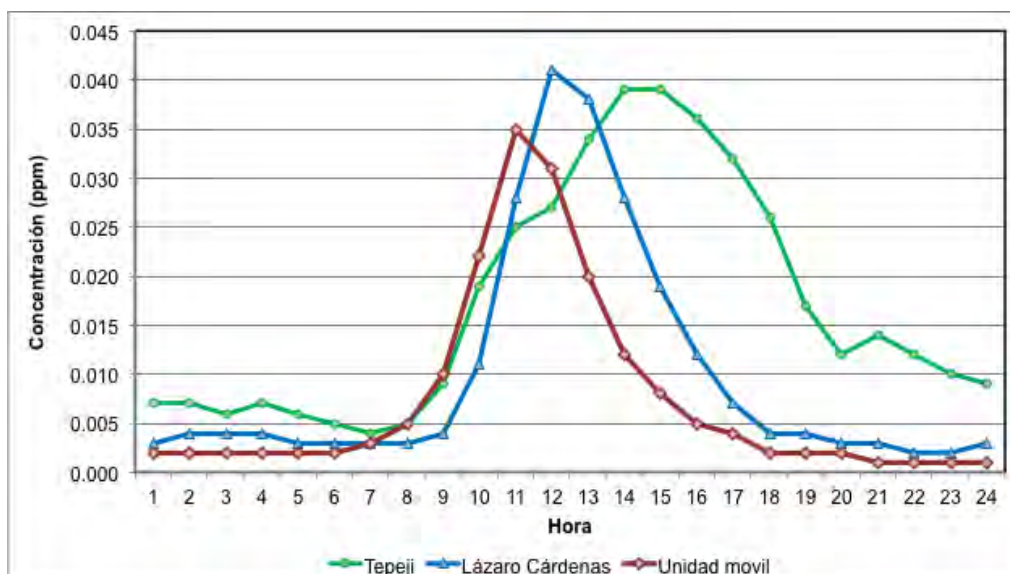


Figura 5.40. Comportamiento horario de las concentraciones de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones.

La información de calidad del aire para SO<sub>2</sub>, es analizada y comparada con la norma de calidad del aire correspondiente (NOM-022-SSA1-2010) que establece que la concentración de bióxido de azufre como contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo de 0.11 ppm o lo que es equivalente a 288 µg/m<sup>3</sup>, en 24 horas una vez al año y 0.025 ppm (65 µg/m<sup>3</sup>) como media aritmética anual, para protección a la salud de la población susceptible.

Las figuras de la 5.41 a la 5.51 presentan el comportamiento de las concentraciones promedio de SO<sub>2</sub> en 24 horas y su comparación con la norma de calidad del aire correspondiente para las tres estaciones de monitoreo durante los periodos comprendidos del 2 de julio al 30 de septiembre de 2009, del 1 de octubre al 31 de diciembre de 2009, del 1 de enero al 31 de marzo de 2010, del 1 de abril al 30 de junio de 2010, del 1 de julio al 30 de septiembre de 2010, del 1 de octubre al 31 de diciembre de 2010, del 1 de enero al 31 marzo de 2011, del 1 de abril al 30 junio de 2011, del 1 de julio al 30 de septiembre de 2011, del 1 de octubre al 31 de diciembre de 2011, y del 01 de enero al 15 de febrero de 2012 respectivamente.

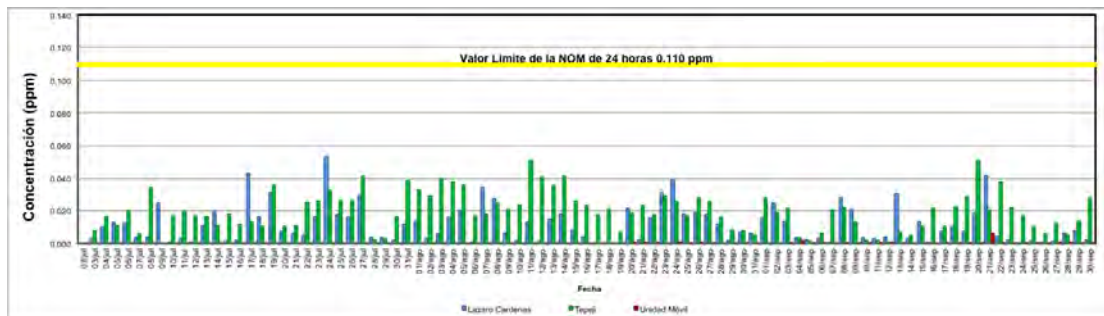


Figura 5.41. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 2 de julio al 30 de septiembre de 2009.

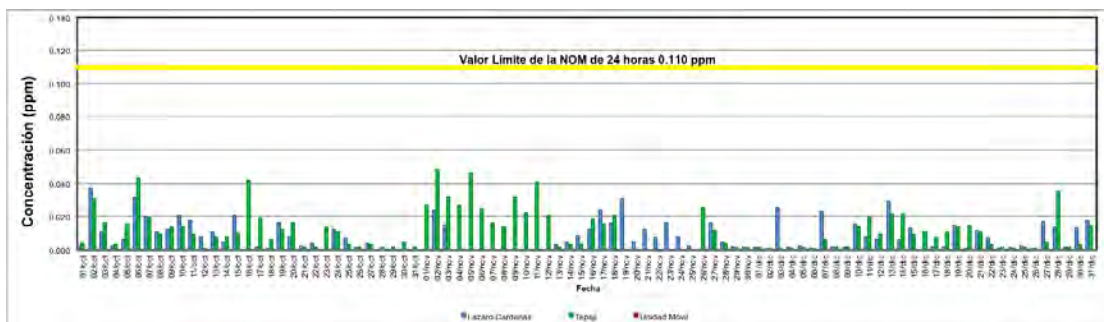


Figura 5.42. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 de octubre al 31 de diciembre de 2009.

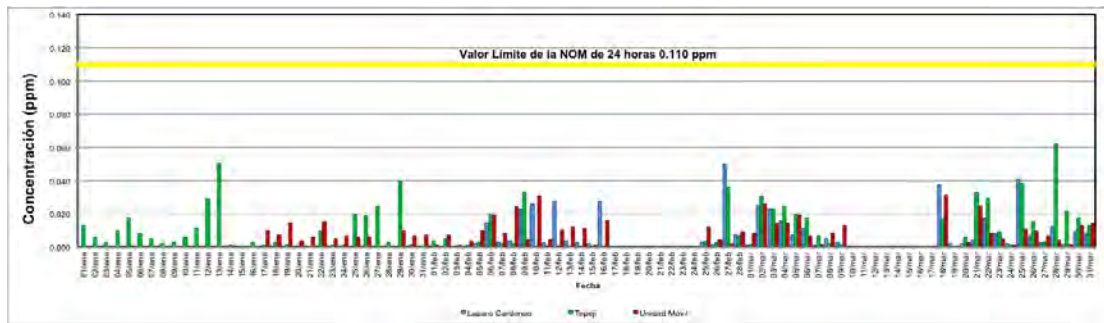


Figura 5.43. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 de enero al 31 de marzo de 2010.

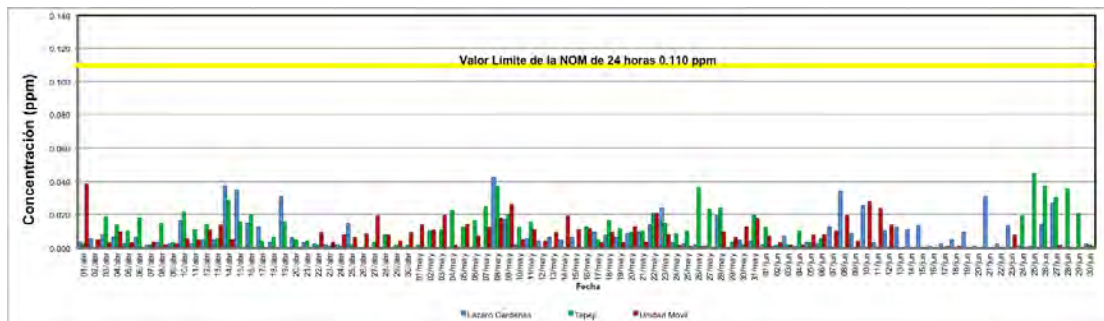


Figura 5.44. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 de abril al 30 de junio de 2010.

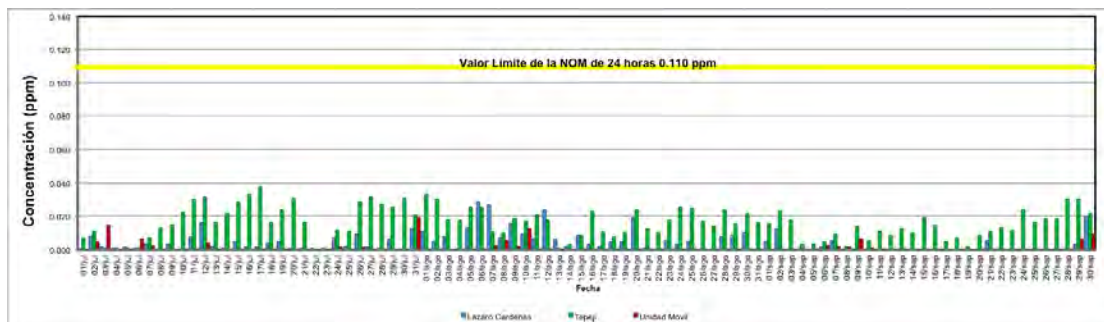


Figura 5.45. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 julio al 30 de septiembre de 2010.

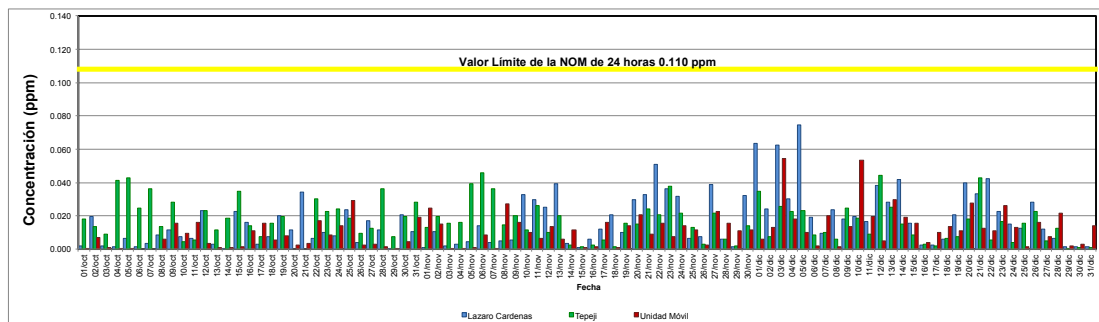


Figura 5.46. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 octubre al 31 de diciembre de 2010.

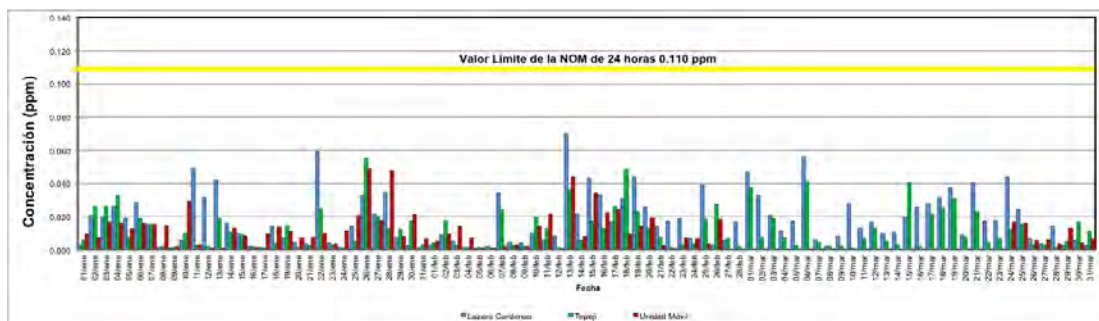


Figura 5.47. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 enero al 31 de marzo de 2011.

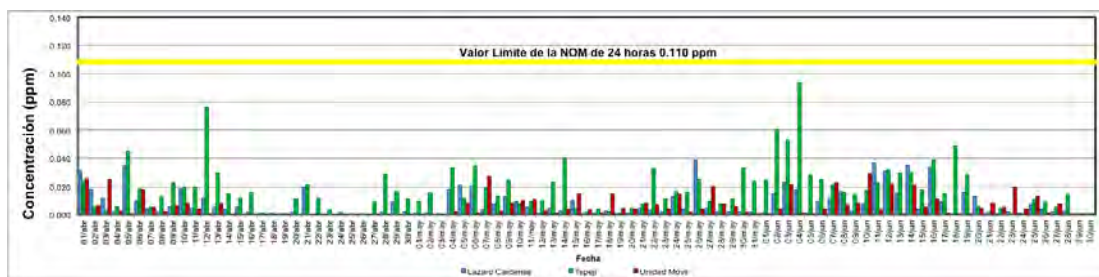


Figura 5.48. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 abril al 30 de junio de 2011.



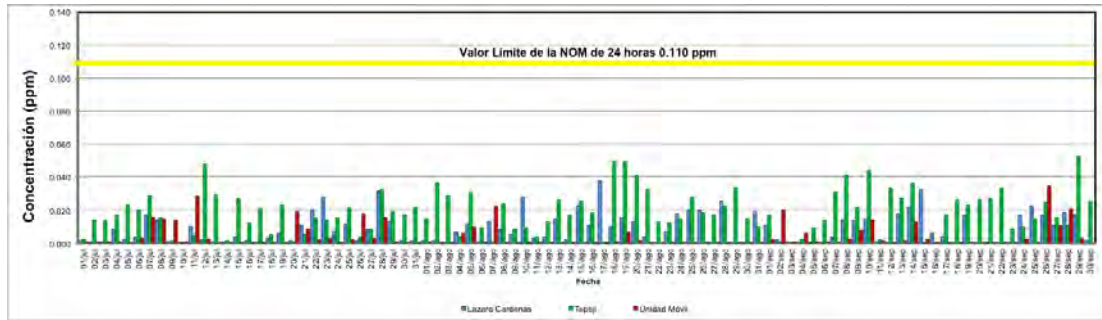


Figura 5.49. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 julio al 30 de septiembre de 2011.

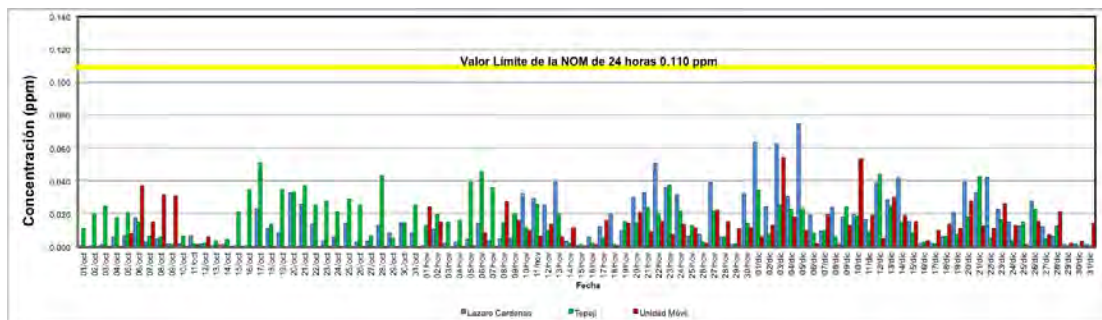


Figura 5.50. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 octubre al 31 de diciembre de 2011.

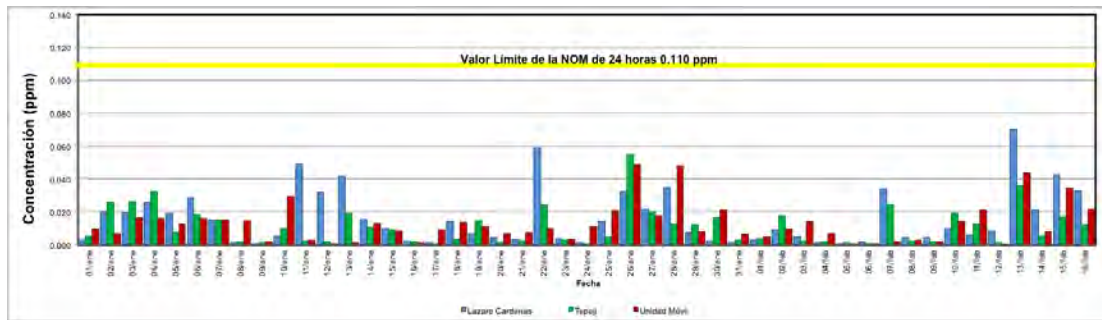


Figura 5.51. Comportamiento de las concentraciones promedio de 24 horas de SO<sub>2</sub> (ppm) en las tres estaciones de monitoreo del 1 enero al 15 de febrero de 2012.

Al comparar con las concentraciones obtenidas en las estaciones de monitoreo con la norma de calidad del aire anual para SO<sub>2</sub> de 0.025 ppm (media aritmética anual), del periodo comprendido del 01 de enero de 2010 al 31 de diciembre de 2010, se encontró que ninguna estación rebasa esta norma.

La Tabla 5.2 muestra las concentraciones en ppm de SO<sub>2</sub> (promedio aritmético anual) y la suficiencia de información en por ciento, para cada una de las estaciones en la región de estudio, para doce periodos anuales analizados.

En esta tabla se usaron los periodos de doce meses como indicativos, sin embargo el único que se compara con la Norma Anual de Calidad del Aire es el periodo anual calendario correspondiente al 01 de enero de 2010 al 31 de diciembre de 2010.

Tabla 5.2 Concentraciones en ppm de SO<sub>2</sub> (promedio aritmético anual).

Periodo	CECATI 55 (ppm)	Lázaro Cárdenas (ppm)	Unidad Móvil (ppm)
01/08/2009 a 31/07/2010	0.015	0.009	
01/09/2009 a 31/08/2010	0.014	0.009	
01/10/2009 a 30/09/2010	0.014	0.008	
01/11/2009 a 31/10/2010	0.015	0.008	
01/12/2009 a 30/11/2010	0.015	0.008	0.007
<b>01/01/2010 a 31/12/2010</b>	<b>0.016</b>	<b>0.009</b>	<b>0.007</b>
01/02/2010 a 31/01/2011	0.017	0.009	0.008
01/03/2010 a 28/02/2011	0.017	0.009	0.008
01/04/2010 a 31/03/2011	0.018	0.009	0.008
01/05/2010 a 30/04/2011	0.018	0.009	0.008
01/06/2010 a 31/05/2011	0.018	0.009	0.007
01/07/2010 a 30/06/2011	0.019	0.009	0.008
01/08/2010 a 31/07/2011	0.019	0.010	0.008
01/09/2010 a 31/08/2011	0.019	0.010	0.008
01/10/2010 a 30/09/2011	0.019	0.010	0.009
01/11/2010 a 31/10/2011	0.019	0.010	0.009
01/12/2010 a 30/11/2011	0.019	0.010	0.008
01/01/2011 a 31/12/2011	0.019	0.010	0.008
01/02/2011 a 31/01/2012	0.019	0.010	0.008
01/03/2011 a 15/02/2012	0.019	0.010	0.009

La Figura 5.52 muestra los promedios anuales a partir de las concentraciones horarias de SO<sub>2</sub>, para las tres estaciones de monitoreo y nueve periodos anuales analizados.

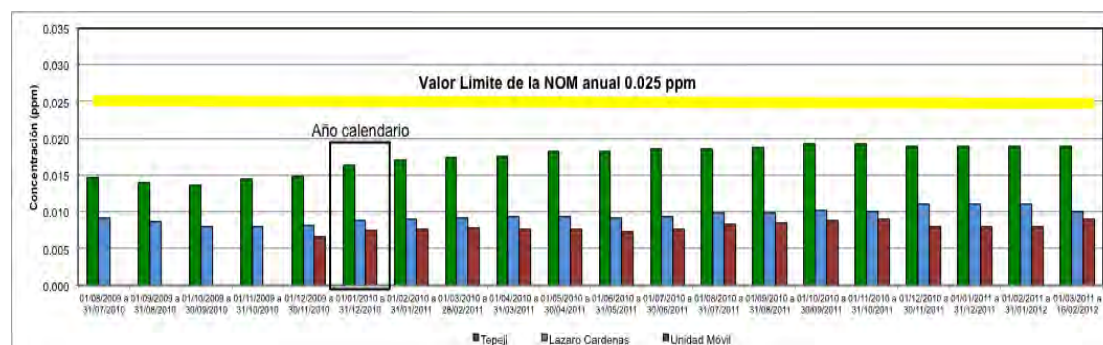


Figura 5.52. Comportamiento del promedio anual de SO<sub>2</sub> en las tres estaciones de monitoreo evaluando diferentes periodos anuales.

### Sistema de monitoreo. Partículas suspendidas totales (PST)

Se realizaron 70 muestreos de PST, de los cuales 65 fueron válidos y se trabajó con 7 blancos o estándar. La suficiencia de datos fue del 92% superior al porcentaje que indica la NOM-025-SSA1-1993.

Las causas para invalidar el filtro fueron: filtros rotos, manchas en el filtro que sugerían fuga de aire de la base o manipulación sin guantes.

En la Tabla 5.3 se presenta la información correspondiente a la concentración de PST de los muestreos que se realizaron en la zona de Tula, llevados a cabo desde el 19 de agosto al 29 de diciembre de 2011.

Tabla 5.3. Concentración de PST ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) a condiciones de referencia, 298K/760 mm Hg.

Sitio de muestreo	Fecha de muestreo	Número de filtro	PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CECATI 55	19-ago-11	7084202	80.0
Unidad Móvil	19-ago-11	7084204	77.0
Unidad Móvil	25-ago-11	7084203	35.0
CECATI 55	25-ago-11	7084205	54.0
Lázaro Cárdenas	31-ago-11	7084207	35.0
CECATI 55	31-ago-11	7084209	42.0
Unidad Móvil	31-ago-11	7084211	28.0
Unidad Móvil	06-sep-11	7084208	16.0
Lázaro Cárdenas	06-sep-11	7084212	21.0
CECATI 55	06-sep-11	7084213	38.0
CECATI 55	12-sep-11	7084214	42.0
Unidad Móvil	12-sep-11	7084215	32.0
Lázaro Cárdenas	12-sep-11	7084216	23.0
Unidad Móvil	18-sep-11	7084218	53.0
CECATI 55	18-sep-11	7084219	44.0
Lázaro Cárdenas	18-sep-11	7084220	34.0
CECATI 55	24-sep-11	7096131	50.0
Lázaro Cárdenas	24-sep-11	7096132	66.0
Unidad Móvil	24-sep-11	7096133	77.0
CECATI 55	30-sep-11	7096134	73.0
Lázaro Cárdenas	30-sep-11	7096135	59.0
Unidad Móvil	30-sep-11	7096136	99.0
CECATI 55	06-oct-11	7084217	78.0
Lázaro Cárdenas	06-oct-11	7096138	68.0
Unidad Móvil	06-oct-11	7096139	78.0
CECATI 55	12-oct-11	7096137	46.0

Lázaro Cárdenas	12-oct-11	7096140	34.0
Unidad Móvil	12-oct-11	7096141	42.0
CECATI 55	18-oct-11	7096147	70.0
Lázaro Cárdenas	18-oct-11	7096148	47.0
Unidad Móvil	18-oct-11	7096149	80.0
CECATI 55	24-oct-11	7096142	61.0
Lázaro Cárdenas	24-oct-11	7096144	61.0
Unidad Móvil	24-oct-11	7096145	101.0
CECATI 55	30-oct-11	7096155	67.0
Lázaro Cárdenas	30-oct-11	7096156	60.0
Unidad Móvil	30-oct-11	7096157	157.0
CECATI 55	05-nov-11	7096146	55.0
Lázaro Cárdenas	05-nov-11	7096152	55.0
Unidad Móvil	05-nov-11	7096153	61.0
CECATI 55	11-nov-11	7096154	68.0
Lázaro Cárdenas	11-nov-11	7096158	72.0
Unidad Móvil	11-nov-11	7096159	85.0
CECATI 55	17-nov-11	7096160	72.0
Lázaro Cárdenas	17-nov-11	7096162	79.0
CECATI 55	23-nov-11	7096166	55.0
Lázaro Cárdenas	23-nov-11	7096167	51.0
Unidad Móvil	23-nov-11	7096168	60.0
CECATI 55	29-nov-11	7096164	61.0
Lázaro Cárdenas	29-nov-11	7096165	58.0
CECATI 55	05-dic-11	7096172	105.0
Lázaro Cárdenas	05-dic-11	7096173	101.0
Unidad Móvil	05-dic-11	7096174	140.0
CECATI 55	11-dic-11	7096170	80.0
Lázaro Cárdenas	11-dic-11	7096175	71.0
Unidad Móvil	11-dic-11	7096176	84.0
CECATI 55	17-dic-11	7096177	76.0
Lázaro Cárdenas	17-dic-11	7096178	83.0
Unidad Móvil	17-dic-11	7096179	119.0
CECATI 55	23-dic-11	7096182	115.0
Lázaro Cárdenas	23-dic-11	7096183	106.0
Unidad Móvil	23-dic-11	7096184	128.0
CECATI 55	29-dic-11	7096185	113.0
Lázaro Cárdenas	29-dic-11	7096186	127.0
Unidad Móvil	29-dic-11	7096187	196.0

En la Figura 5.53 se observa la comparación de las concentraciones de PST con la Norma Oficial Mexicana de la Calidad del Aire para Partículas, NOM-025-SSA1-1993, la cual establece  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 24 horas.

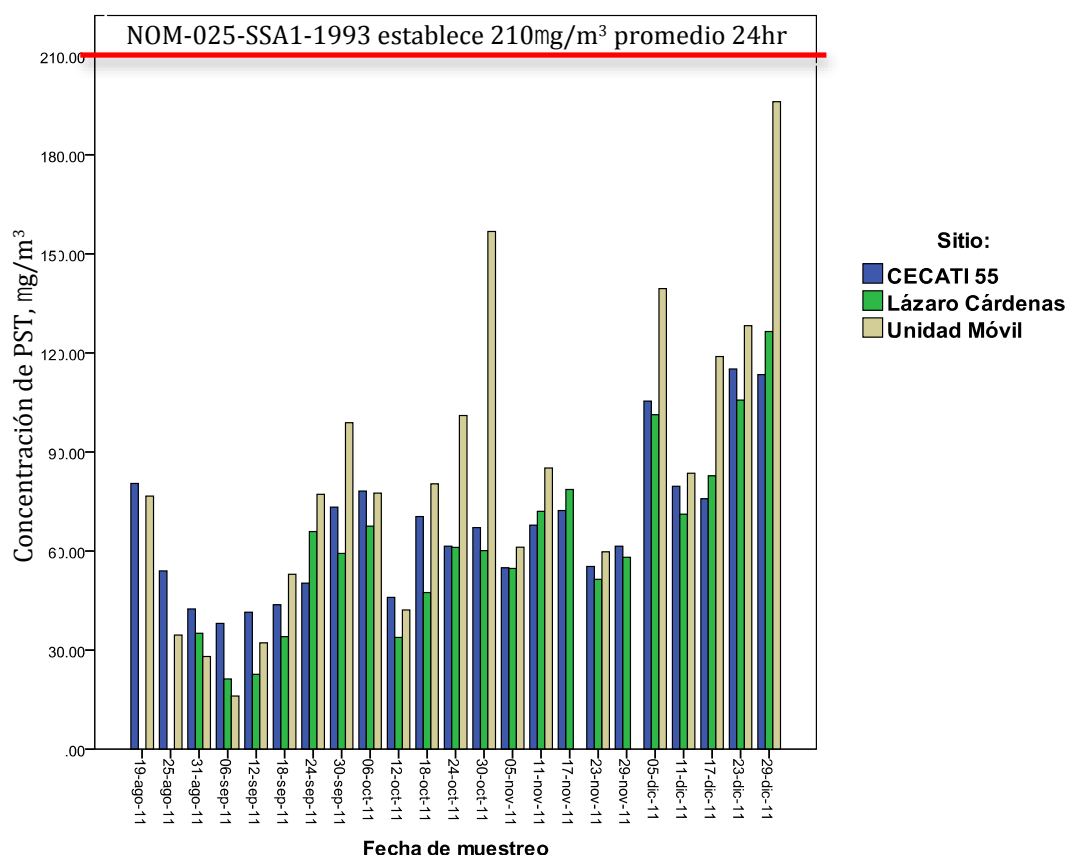


Figura 5.53. Comparación de la concentración de PST con la NOM-025-SSA1-1993.

Como se puede observar en la Figura 5.53 las concentraciones de PST no rebasan la Norma Oficial Mexicana de la Calidad del Aire para Partículas Suspendidas Totales (PST) para cada sitio de muestreo. Se observó que la concentración mínima de PST fue durante el día 6 de septiembre en las tres estaciones durante el periodo estudiado. Y la concentración máxima de PST fue registrada el 29 de diciembre del mismo periodo.

El comportamiento de las concentraciones de PST es el mismo para las tres estaciones de monitoreo estudiadas, observándose concentraciones máximas a finales de cada mes y mínimas a mediados del mismo mes.

### Determinación del cumplimiento del valor normado de 24 horas para PST

“Un sitio cumple con la norma de PST para el promedio de 24 horas cuando el valor del percentil 98, calculado como se indica a continuación, es menor o igual a  $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ”.

a. Se ordenan los valores diarios de concentración obtenidos durante un año en una serie ascendente  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  en la que cada valor es igual o mayor que el valor anterior  $(x_n \geq x_{n-1})$ .

b. Se multiplica el número total de valores,  $n$ , por 0.98. Se toma la parte entera del valor resultante,  $i$ , y el valor del percentil 98 se calcula con la ecuación:

$$P_{0.98} = x_{i+1}$$

donde:

$P_{0.98}$  = percentil 98

$i$  = la parte entera del producto de 0.98 y  $n$

$x_{i+1}$  = es el número  $(i + 1)$ -ésimo número en la serie ordenada.

c. El percentil 98,  $P_{0.98}$ , es el valor de concentración con índice  $i + 1$  en la serie ordenada de valores.

**Para este caso:  $P_{0.98} = 157 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .**

En la Figura 5.54 se muestra el comportamiento de la concentración de PST calculada para cada estación de muestreo.

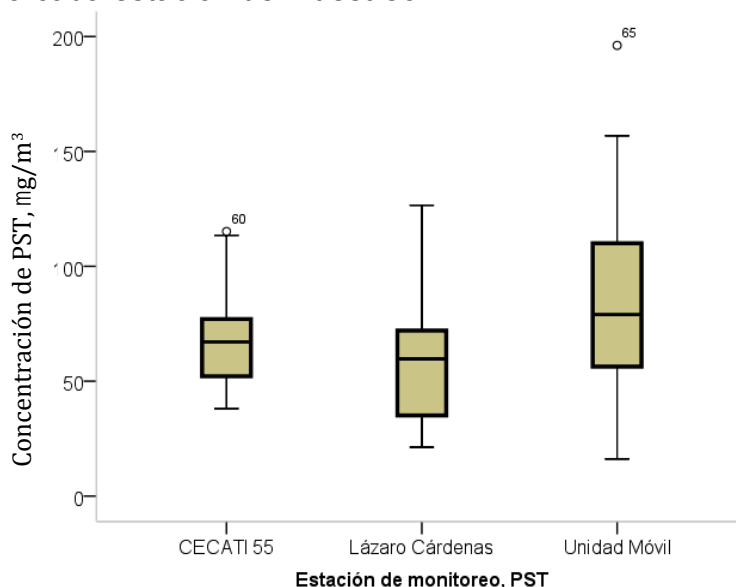


Figura 5.54. Distribución de PST calculada de agosto a diciembre de 2012.

Se observa que aunque las distribuciones para cada estación no son iguales, utilizando estadística básica (ANOVA), se determinó que no hay diferencia significativa en las medianas obtenidas para los sitios de monitoreo.

Se observa que en las estaciones de CECATI 55 y Lázaro Cárdenas la concentración de PST está por debajo de la mediana, mientras que la para la estación de la Unidad Móvil ocurre lo contrario, por lo que, dicha estación cumple con el criterio de estación de fondo para PST.

Para obtener una mayor representatividad del comportamiento de PST en la región de Tula, se recomienda que el sistema de muestreo debe ser de al menos un año, sin embargo, este muestreo sólo contempló 4 meses.

## Sistema de monitoreo de la meteorología

Cabe señalar que previo al monitoreo de meteorología en la región de Tula así como la selección y ubicación de las tres estaciones de monitoreo y (CECATI 55, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil), se investigó previamente la información referente a la meteorología (dirección de vientos predominantes), fisiografía y topografía en la zona de estudio.

Posteriormente, los tres sitios fueron ubicados de acuerdo a la información investigada sobre la dirección de los vientos predominantes en la zona de estudio y con el inicio del monitoreo de la meteorología que se realizó en este proyecto se comprobó que la selección y ubicación de los tres sitios fue la adecuada cumpliendo el objetivo referente a la selección y ubicación de las estaciones de monitoreo.

Las bases de datos de meteorología que se recolectaron en cada sitio de monitoreo (dirección y velocidad del viento, humedad y temperatura) se utilizaron para generar gráficos de rosas de viento mediante el software Wind Rose Plots for Meteorological Data (WRPLOT View), así como gráficos de temperatura y humedad, mediante el software GMT (Generic Mapping Tools).

### Rosas de viento de las estaciones Lázaro Cárdenas, CECATI y Unidad Móvil (Cerro Colorado). 2009

El análisis de rosas de viento de la estación Lázaro Cárdenas de septiembre y octubre de 2009 (Figuras 5.55a y 5.55b), proveniente de las observaciones en Tula que mantienen la dominancia de vientos de la dirección norte-noreste y noreste. La magnitud de los vientos es por lo general menor de 2 m/s.

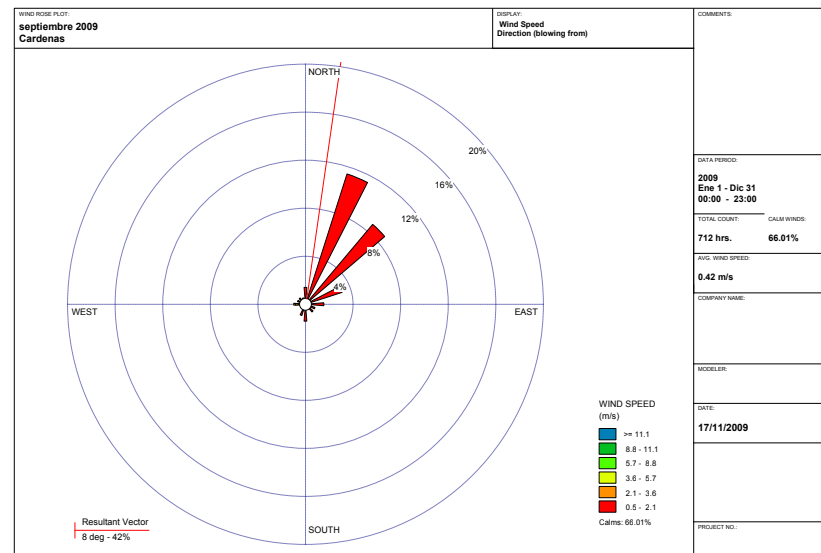


Figura 5.55a. Rosa de vientos para la estación Lázaro Cárdenas para el mes de septiembre de 2009.



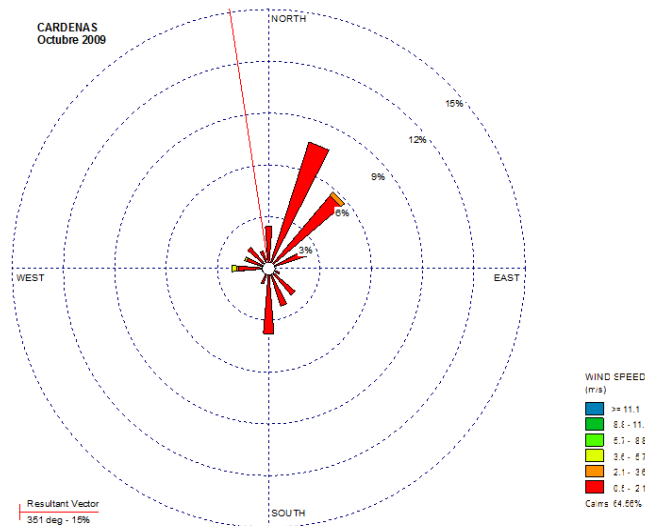


Figura 5.55b. Rosa de vientos para la estación Lázaro Cárdenas para el mes de octubre de 2009.

En la estación de CECATI en Tepeji (Figura 5.56a y 5.56b) para el mes de septiembre, la componente de viento dominante es del noroeste, y con magnitudes entre de 1 a 5 m/s con una mayor frecuencia de eventos de viento de 6 m/s. Para el mes de octubre el rango de direcciones del viento es más amplio. Esto está probablemente asociado al inicio del paso de nortes y aun de ondas tropicales del este durante este mes, además de efectos locales de la topografía pueden estar influenciando los vientos en la capa límite, principalmente para los episodios de vientos débiles. Esto muestra la importancia de realizar mediciones en un mayor número de puntos y realizar asimilación de datos para establecer en qué medida las circulaciones locales están siendo afectadas por la topografía

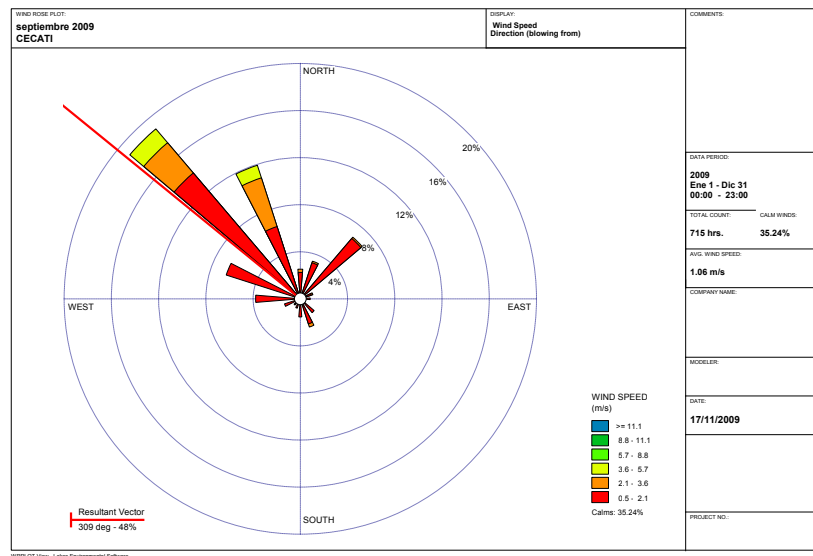


Figura 5.56a. Rosa de vientos para la estación CECATI 55 para el mes de septiembre de 2009.



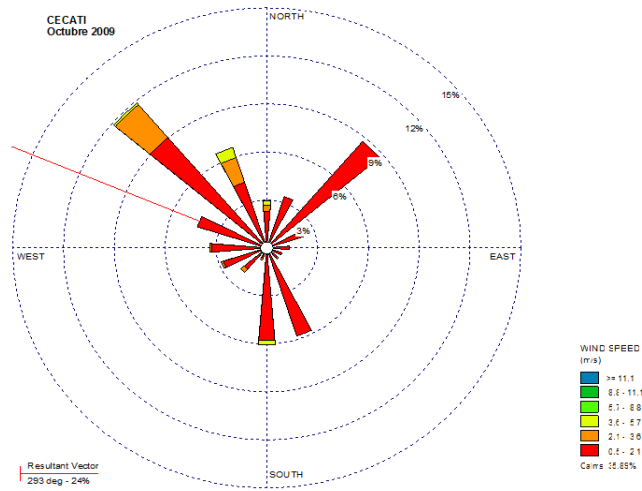


Figura 5.56b. Rosa de vientos para la estación CECATI 55 para el mes de octubre de 2009.

La unidad móvil sin embargo, presenta vientos predominantes del norte y con una intensidad que alcanza los 6 m/s. Figura 5.57.

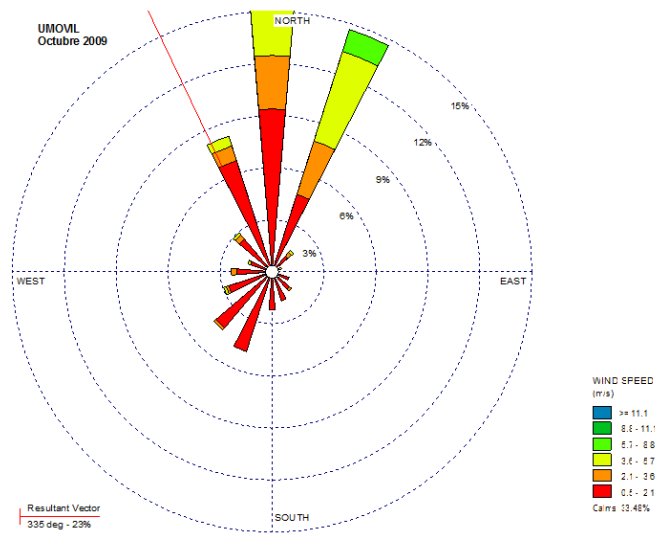


Figura 5.57. Rosa de vientos para la Unidad Móvil para el mes de septiembre de 2009.

## Otras variables meteorológicas

La variabilidad (Figura 5.58) de la temperatura en el inicio de octubre de 2009 es de 14-15 °C y decrece para un rango promedio diario de 10 °C con el descenso de la temperatura para los periodos siguientes.

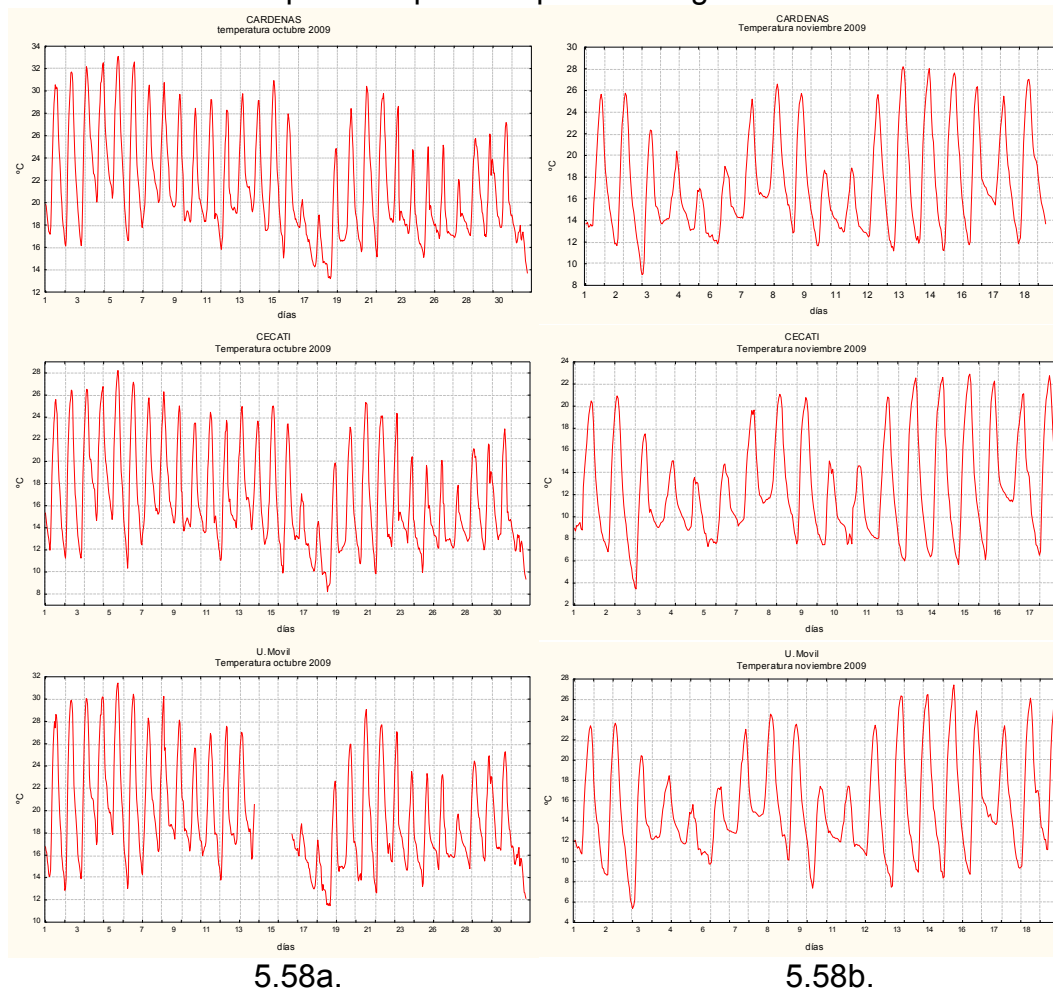
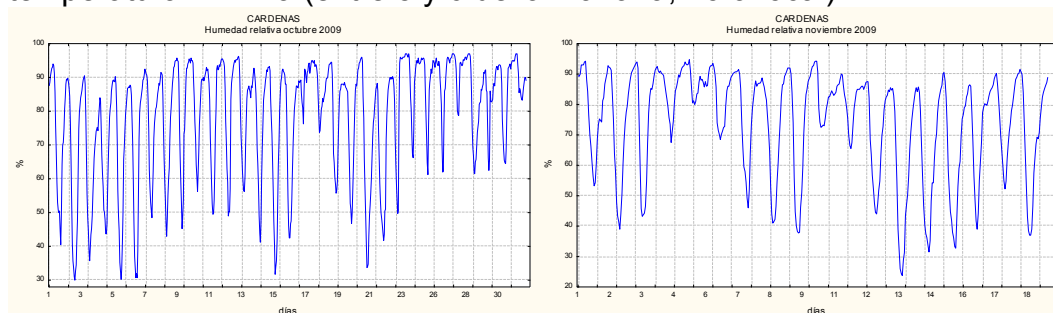
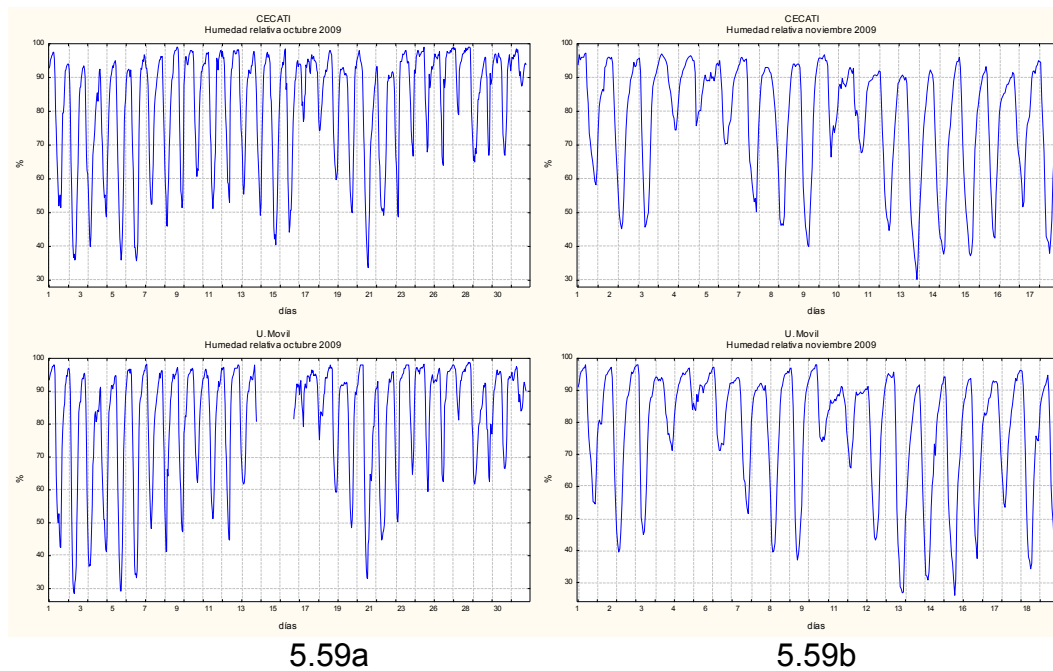


Figura 5.58. Serie temporal de la temperatura para las estaciones de Lázaro Cárdenas, CECATI y unidad móvil; 5.58a. octubre y 5.58b. noviembre de 2009.

La humedad relativa (Figura 5.59) muestra la misma variabilidad de la temperatura con rango de un mínimo de 30 % para las horas de temperaturas más elevadas diurnas y valores mayores que 80% para las horas de temperatura mínima (entre 5 y 6 de la mañana, hora local).





**Figura 5.59. Serie temporal de la humedad relativa para las estaciones de Lázaro Cárdenas, CECATI y unidad móvil; 5.59a. octubre y 5.59b. noviembre de 2009.**

Una adecuada caracterización de la meteorología de la región permite llegar a una adecuada evaluación de la capacidad de la cuenca atmosférica para dispersar contaminantes atmosféricos.

Los análisis de viento sobre la zona de Tula Hidalgo indican que las condiciones dominantes están asociadas con circulaciones de dirección predominante del noroeste y noreste.

Para el año 2010 los vientos cercanos a la superficie sobre la región de Tula pasan de dominancia de vientos de nor-nordeste invernales a vientos predominantes de este/nordeste hacia el verano.

Los meses de verano se caracterizan por una estación lluviosa y vientos provenientes del este conocidos como alisios. La entrada de humedad desde el Golfo de México se convierte en una componente importante del clima regional y lleva a condiciones que por lo general son de menor estabilidad atmosférica. Esta condición de mayor cantidad de humedad permite la formación de nubes que bloquean la radiación solar durante buena parte del día disminuyendo algunas reacciones fotoquímicas cerca de la superficie. Las condiciones meteorológicas tienden por tanto, a favorecer una mayor dispersión y mejor calidad del aire.

La estación Lázaro Cárdenas muestra la evolución hacia vientos dominantes del norte-noreste con intensidades que alcanzan los 5 m/s (Figura 5.60).

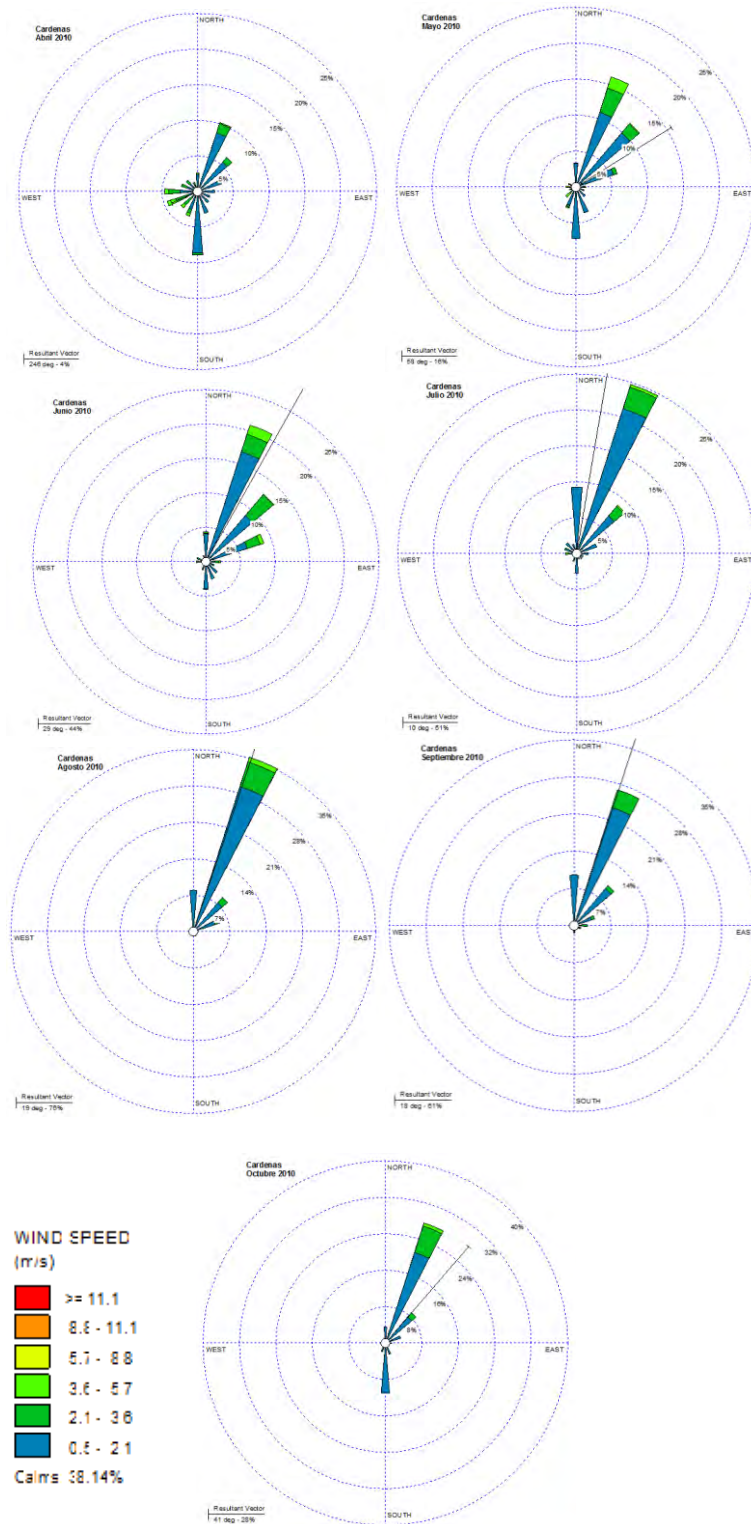


Figura 5.60. Rosa de vientos para la estación Lázaro Cárdenas entre abril y octubre de 2010.

En el caso de la Unidad Móvil se observa el mismo tipo de transición hacia vientos con una componente dominante nor-noreste pero la intensidad que alcanza con frecuencia el viento llega a ser de hasta 5 o 9 m/s (Figura 5.61), lo cual favorece la ventilación de la región y en la Figura 5.62 se muestran las rosas de viento para CECATI 55.

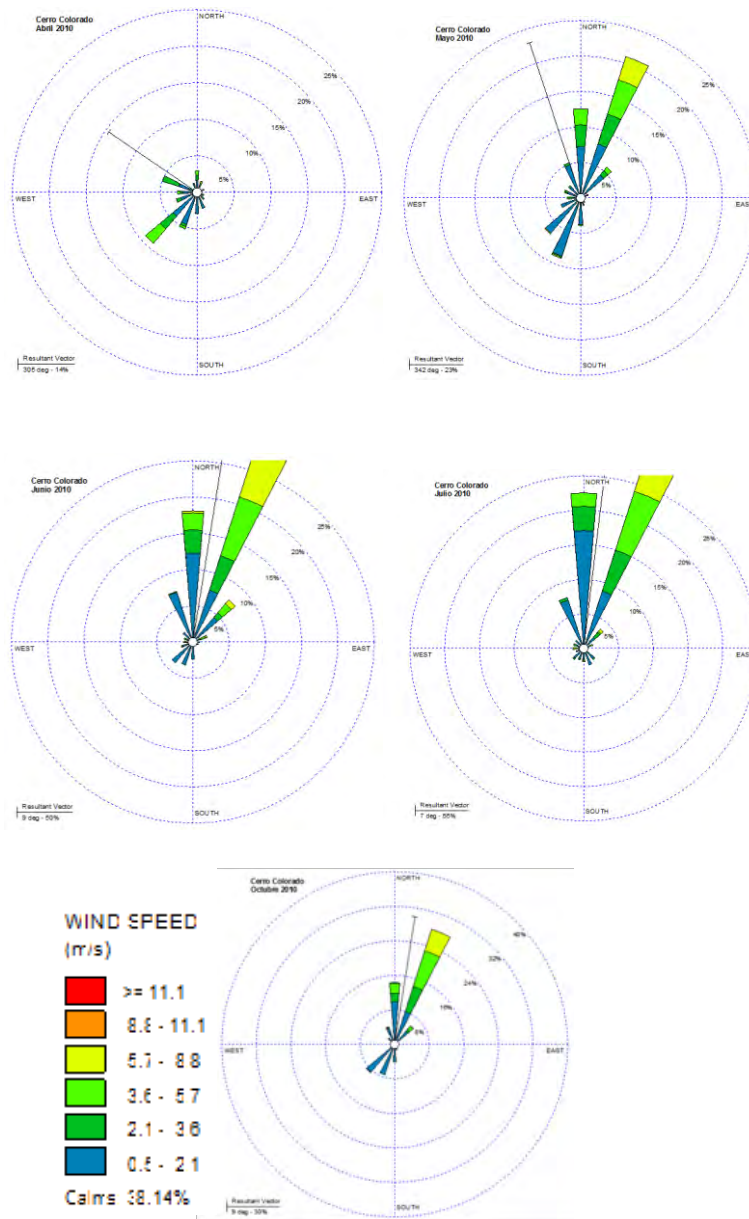


Figura 5.61. Rosa de vientos para la Unidad Móvil (Cerro Colorado) entre abril y agosto de 2010.

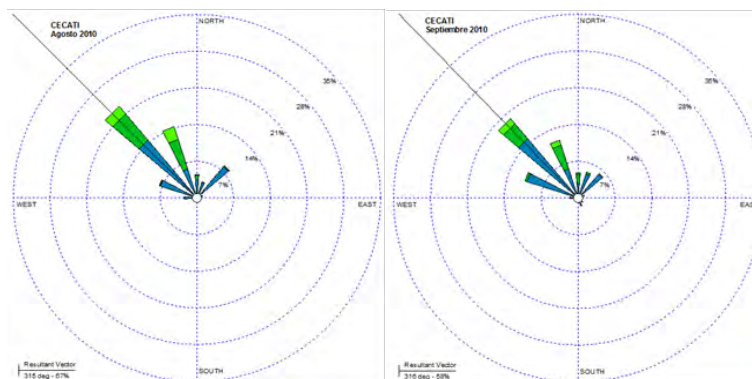
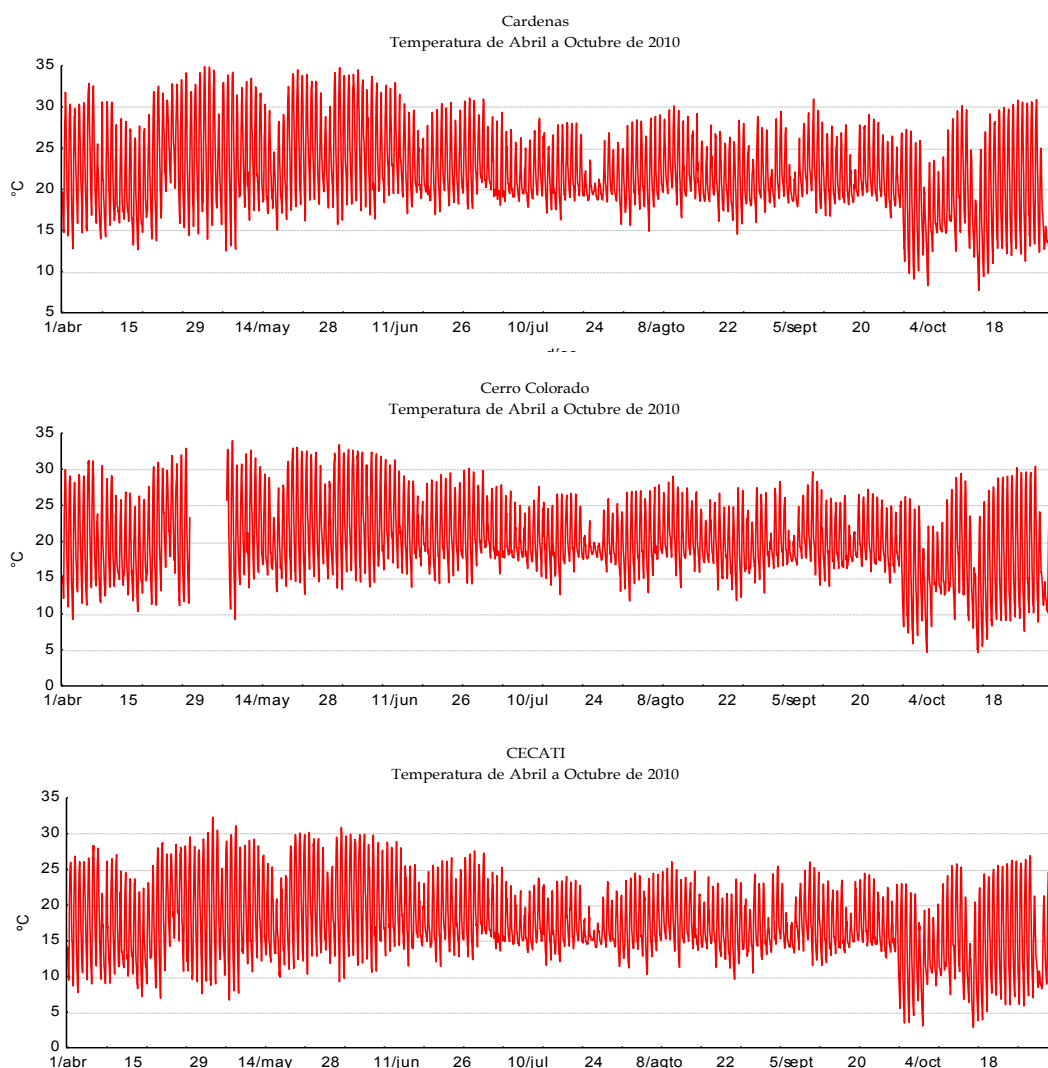


Figura 5.62. Rosa de vientos para CECATI 55 entre agosto y septiembre de 2010.

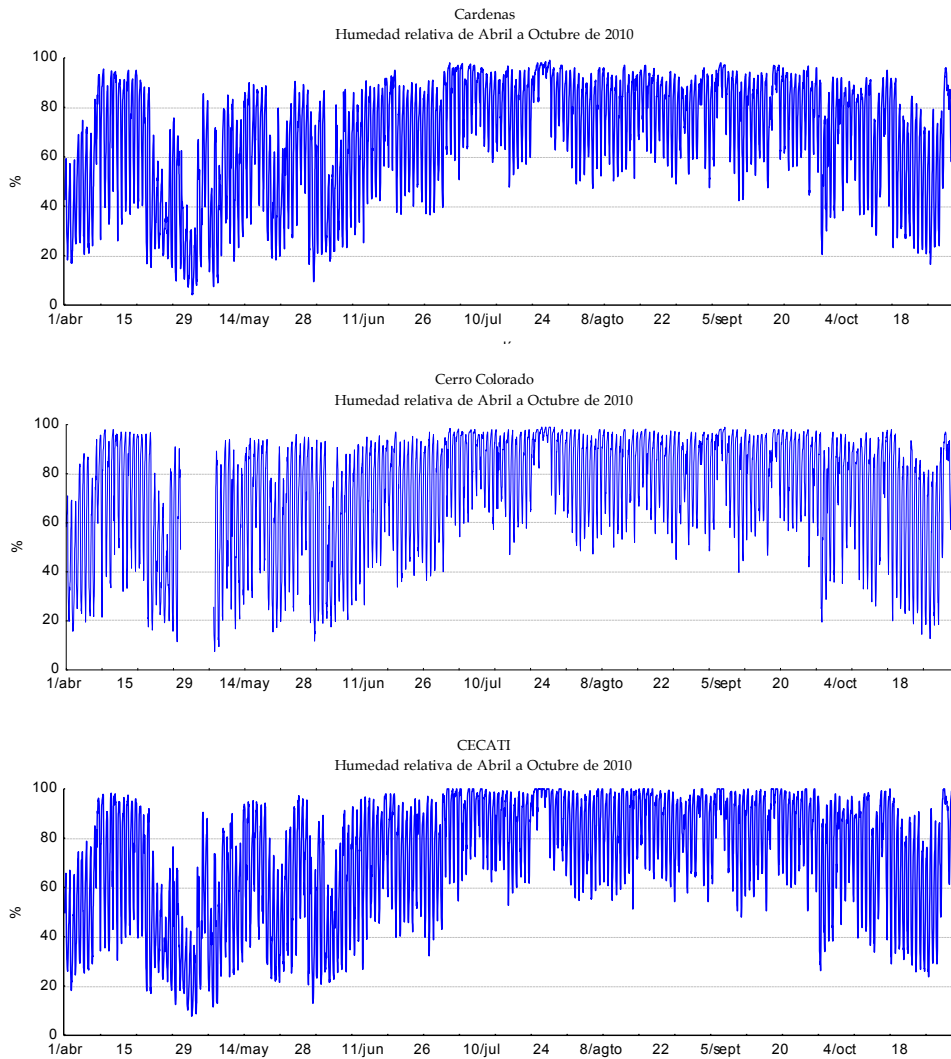


El rango de variabilidad diaria de la temperatura presenta marcadas diferencias entre el verano y primavera/otoño. En verano el rango entre temperatura máxima y mínima es alrededor de 10°C, mientras en la primavera/otoño el rango alcanza un valor de más de 15 °C. El incremento en los valores de temperaturas mínimas en conjunto con el aumento en la humedad en la superficie, tienden a crear una condición menos propicia para la ocurrencia de inversiones térmicas, principalmente hacia los meses del verano (Figura 5.63). Es por ello que es posible esperar un índice de ventilación favorable ante las emisiones, es decir, condiciones meteorológicas favorables para la dispersión.



**Figura 5.63. Evolución de la temperatura (horaria) en las estaciones de Lázaro Cárdenas, Unidad Móvil (cerro Colorado) y CECATI 55.**

El aumento en la humedad atmosférica (Figura 5.64) está en relación con el inicio de episodios de precipitación en Tula y los alrededores. No es sino hasta julio que las precipitaciones se manifiestan con toda claridad dando inicio la temporada de lluvias.



**Figura 5.64. Evolución de la humedad relativa (horaria) en las estaciones Cárdenas, Unidad Móvil (Cerro Colorado) y CECATI 55 en Hidalgo.**

La Estación Unidad Móvil registra valores altos de velocidad de viento (> 5m/s). Esta estación es la que mejor refleja la intensidad de los vientos alisios durante todo el periodo de verano. Su ubicación, no afectada por obstáculos topográficos, reproduce las características de los vientos en la zona de estudio. La Estación CECATI 55 presenta vientos débiles con dirección dominante de norte-noroeste durante casi todo el periodo analizado. Esta estación muestra claras influencias topográficas y uso de suelo que determinan la circulación local.

En las figuras 5.65, 5.66 y 5.67 se presentan las rosas de viento para las estaciones de monitoreo de los meses finales del proyecto realizado en Tula, agosto, septiembre y octubre de 2011.

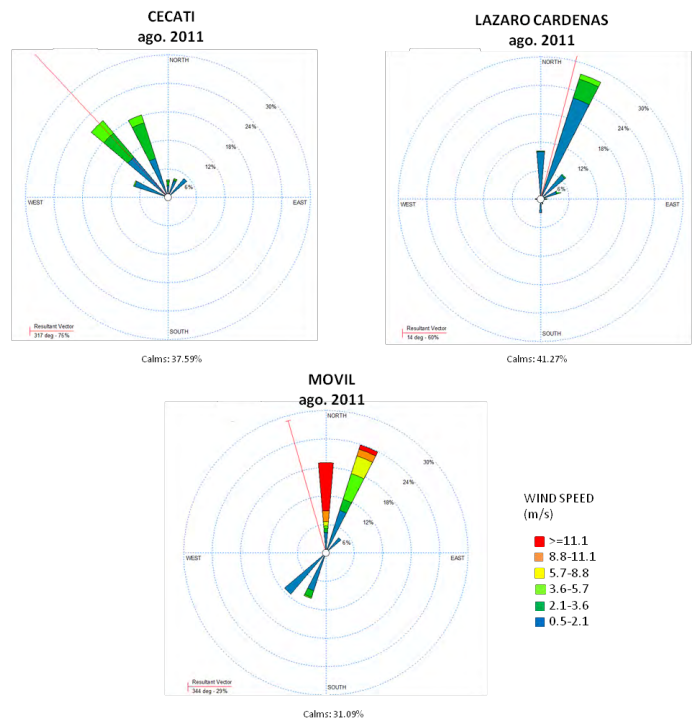


Figura 5.65. Rosa de vientos del mes de agosto de 2011, para las estaciones CECATI, Lázaro Cárdenas y Unidad Movil.

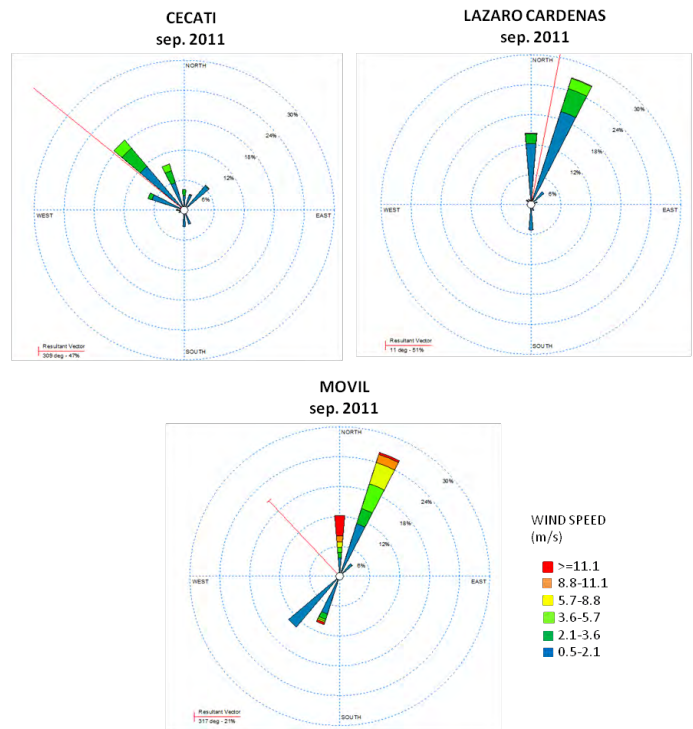


Figura 5.66. Rosa de vientos del mes de septiembre de 2011, para las estaciones CECATI, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil.



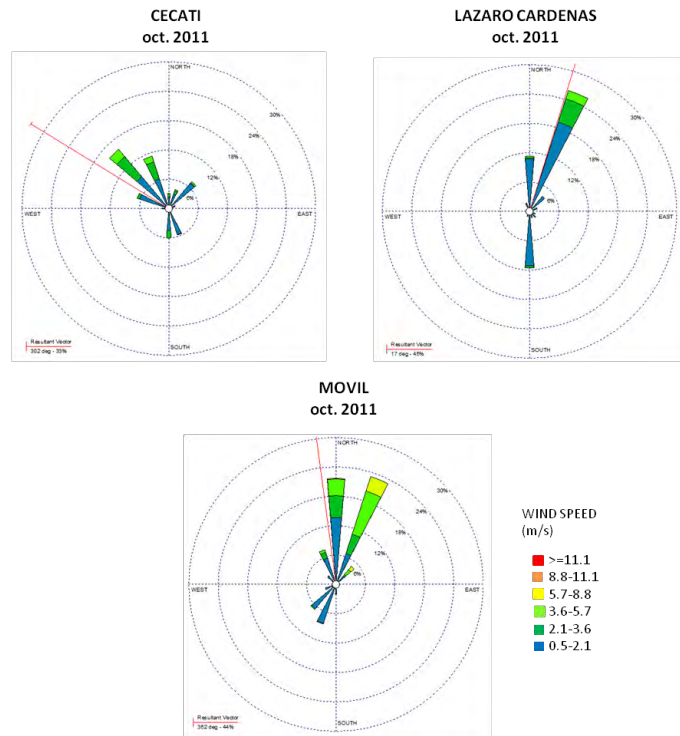


Figura 5.67. Rosa de vientos del mes de octubre de 2011, para las estaciones CECATI, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil.

Los mayores rangos de variabilidad de temperatura son encontrados durante los meses secos, donde el calentamiento y enfriamiento es debido a la radiación solar durante el día. Las temperaturas máximas ocurren durante los meses de abril y mayo.

Con el inicio de la estación de lluvias ocurre un decremento de la temperatura media. Durante el mes de julio, la temperatura media fue de 22 a 23 °C, mientras que en agosto decae a 18 °C (Figura 5.68).

La humedad relativa aumenta significativamente durante el verano (valores mayores de 80% de humedad, Figura 5.69). Los rangos de variabilidad de la temperatura y humedad relativa diurna, también van en decremento.

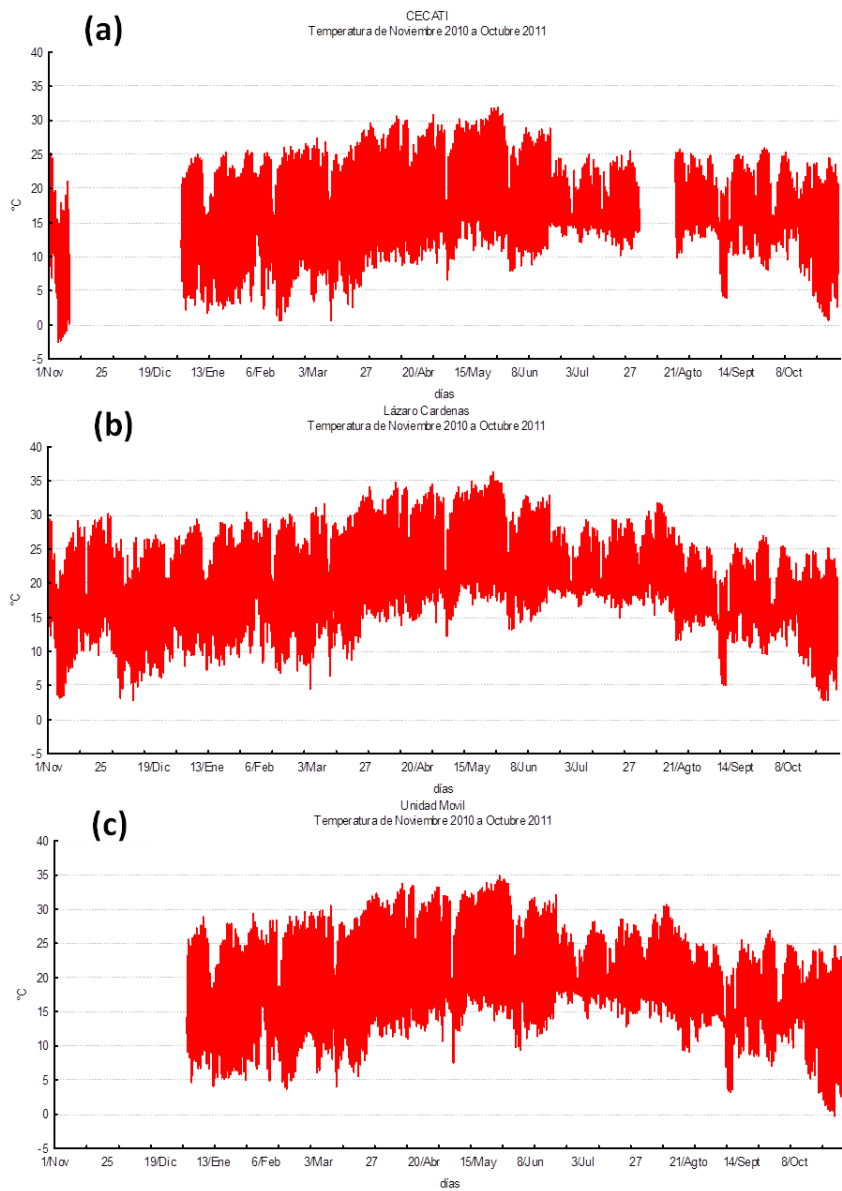
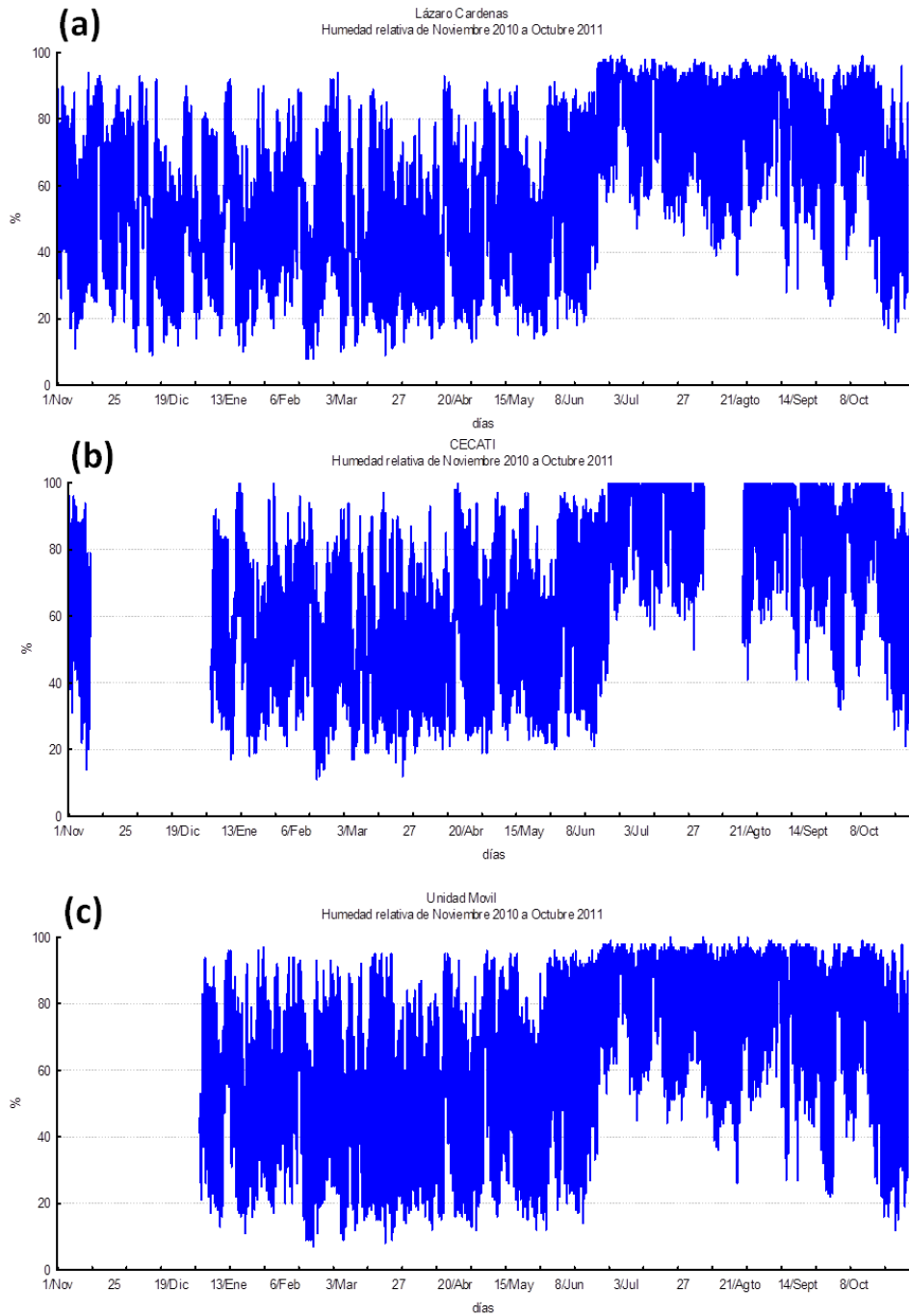


Figura 5.68. Serie temporal de la temperatura (horaria) en las estaciones (a) CECATI, (b) Lázaro Cárdenas y (c) Unidad móvil.



**Figura 5.69.** Evolución de la humedad relativa (horaria) en las estaciones (a) Lázaro Cárdenas, (b) CECATI y (c) Unidad móvil.

### 5.1. Resultados obtenidos de las calibraciones realizadas al equipo de partículas, Hi-Vol. y al analizador de SO<sub>2</sub> para cada estación

A continuación se presenta la información correspondiente a los resultados obtenidos en las calibraciones realizadas durante el inicio y termino del proyecto caso estudio en la región de Tula.

La metodología que se empleó puede consultarse en la NOM-035-SEMARNAT-1993 y en el 40-CFR parte 50 anexo B de la EPA.

#### Calibración del equipo de partículas Hi-Vol

Las actividades realizadas para la calibración del equipo de partículas se divide en dos partes, la primera consiste en que el patrón de transferencia de orificio debe ser calibrado en laboratorio utilizando un Root Test Meter (equipo de medidor de volumen de aire) y un kit de placas de orificio, en la Figura 5.1.1 se presenta el patrón de transferencia de orificio y el kit de placas de orificio, manómetro de agua y de mercurio.



Figura 5.1.1. a) Patrón de transferencia de orificio y b) kit de placas de orificio.

En la Tabla 5.1.1 se presenta el resultado de la primera parte de la calibración y en la Figura 5.1.2 se presenta el gráfico correspondiente a dicha calibración.

Tabla 5.1.1. Tabla de resultados de la calibración del patrón de transferencia del orificio, laboratorio de la SCA-CCA-UNAM.

**FORMATO PARA LA CERTIFICACIÓN DEL PATRÓN DE TRANSFERENCIA DE ORIFICIO**

Placa orificio	Lectura inicial del medidor	Lectura final del medidor	Tiempo de muestreo	Volumen medido	Presión diferencial a la entrada del medidor de volumen	Corrección del volumen medido	Flujo volumétrico a condiciones de referencia	Caída de presión en el orificio	
EQUIPO SCA-UNAM 145 MIAMI AVE Cra. Negro 544238	$V_i$ (m <sup>3</sup> )	$V_f$ (m <sup>3</sup> )	$t$ (min)	$V_m$ (m <sup>3</sup> )	$\Delta P$ mmHg	$V_{298}$ (m <sup>3</sup> )	$Q_{298}$ (m <sup>3</sup> /min)	$\Delta h$ plg A913A +	$\sqrt{\Delta h \left( \frac{P_1}{P_m} \right) \left( \frac{298}{T_1} \right)}$
sin placa	10155.00	10159.00	1.88	4.00	22.00	3.86	2.05	11.36	3.35
5	10160.00	10164.00	3.63	4.00	74.00	3.53	0.94	2.70	1.45
7	10165.00	10169.00	3.12	4.00	64.00	3.64	1.17	3.35	1.83
10	10170.00	10174.00	2.58	4.00	50.00	3.72	1.44	5.20	2.27
12	10175.00	10179.00	2.03	4.00	40.00	3.75	1.61	6.65	2.57
18	10180.00	10184.00	2.13	4.00	34.00	3.80	1.78	8.20	2.86
18	10185.00	10189.00	2.13	4.00	34.00	3.80	1.78	8.20	2.86
13	10191.00	10195.00	2.32	4.00	43.00	3.75	1.62	6.70	2.58
10	10196.00	10200.00	2.58	4.00	50.00	3.72	1.44	5.20	2.27
7	10201.00	10205.00	3.12	4.00	63.00	3.65	1.17	3.40	1.84
5	10206.00	10210.00	3.87	4.00	74.00	3.59	0.94	2.70	1.45

Datos de calibración  
Medida de volumen de flujo: 4 m<sup>3</sup> Inicio: 11:15, Fin: 12:20  
Tipo de transferencia: orificio.  
Equipo: SCA-UNAM  
Modelo: 145 S. MIAMI AVE Edificio negro 544238  
T<sub>1</sub>: 22.00°C - 298 K, T<sub>2</sub>: 298 K  
P<sub>1</sub>: 745.8 mmHg, P<sub>m</sub>: 748 mmHg  
Pendiente (m) = 1.6854  
Intersección (b) = -0.1367  
Coeficiente de correlación (r) = 0.99946

Calibración efectuada por: Responsable: I.Q. Gilberto Fuentes García  
Supervisor: Dr. Manuel Bana Ballesteros.  
Asistente: Dr. Humberto Rovin Alvarez

$$V_m = V_{298} - V_{298} \left( \frac{P_1 - \Delta P}{P_m} \right) \left( \frac{T_1}{298} \right)$$

$$Q_{298} = \frac{V_m}{t}$$

$$\sqrt{\Delta h \left( \frac{P_1}{P_m} \right) \left( \frac{298}{T_1} \right)}$$

$$\sqrt{\Delta h \left( \frac{P_1}{P_m} \right) \left( \frac{298}{T_1} \right)}$$

**Patrón de transferencia del orificio**

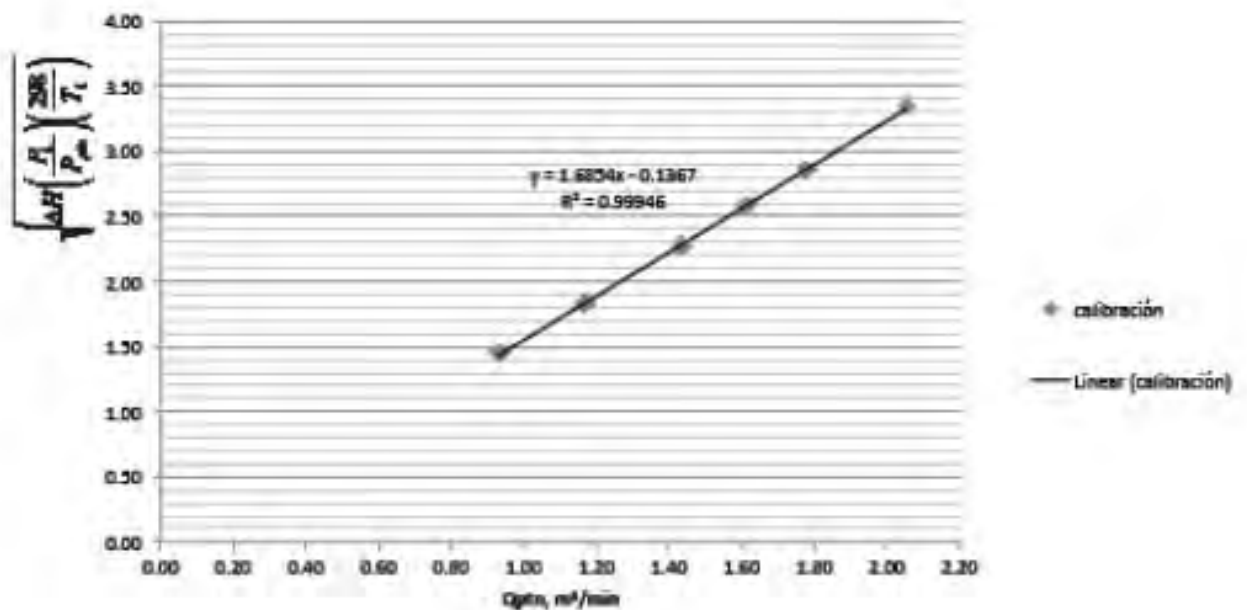


Figura 5.1.2. Gráfico correspondiente a la calibración del patrón de transferencia de orificio en laboratorio.

La segunda parte de la calibración consistió en realizar la calibración en campo (CECATI 55, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil), se utilizó el mismo kit de placas de orificio y patrón de transferencia de orificio previamente calibrado en laboratorio. En la Figura 5.1.3 se presenta el patrón de transferencia de orificio, placas de orificio, manómetro de agua y un registrador de lectura de papel. Caso ejemplo, sitio de muestreo CECATI 55.



Figura 5.1.3. Calibración efectuada en campo, caso ejemplo, CECATI 55.

En la Tabla 5.1.2 se presenta el resultado de la calibración realizada en CECATI 55 y en la Figura 5.1.4 se presenta el gráfico correspondiente a dicha calibración.

Tabla 5.1.2. Tabla de resultados de la calibración del patrón de transferencia del orificio. CECATI 55.

Datos de calibración:

Sitio: CECATI 55

Inicio: 12:05, Fin: 13:10

Tipo de transferencia: orificio.

Equipo: SCA - UNAM

Modelo: 145 S. MIAMI AVE. Estuche negro 544238

$T_2$ : 22.7°C = 295.7 K,  $T_{pm}$ : 298 K

$P_2$ : 591.42 mmHg,  $P_{pm}$ : 760 mmHg.

Pendiente (m) = 27.498

Intersección (b) = 0.0031

Coefficiente de correlación (r) = 0.99707

Calibración efectuada por: Responsable: I.Q. Gilberto Fuentes García

Supervisor: Dr. Rodolfo Sosa Echeverría.

Autorizó: Dr. Humberto Bravo Álvarez.

Placa orificios	Caída de presión en el orificio	Corrección de la caída de presión	Lectura del Disco	Corrección de la lectura del disco	Flujo volumétrico a condiciones de referencia
<b>EQUIPO</b> <b>SCA-UNAM</b> <b>145 S.MIAMI AVE</b> <b>Est. Negro</b> <b>544238</b>	$\Delta H$ pig AGUA	$\left( \frac{P_2}{760} \right) \left( \frac{298}{T_2} \right)$		$k \left( \frac{P_2}{760} \right) \left( \frac{298}{T_2} \right)$	$Q_{pm}$ (m <sup>3</sup> pm/min)
sin placa	9.80	2.77	54	47.82	1.73
18	7.40	2.41	47	41.62	1.51
13	6.10	2.19	42	37.19	1.38
10	4.80	1.94	38	33.65	1.23
7	3.10	1.56	32	28.34	1.01
5	2.10	1.28	26	23.02	0.84



## Calibración en campo

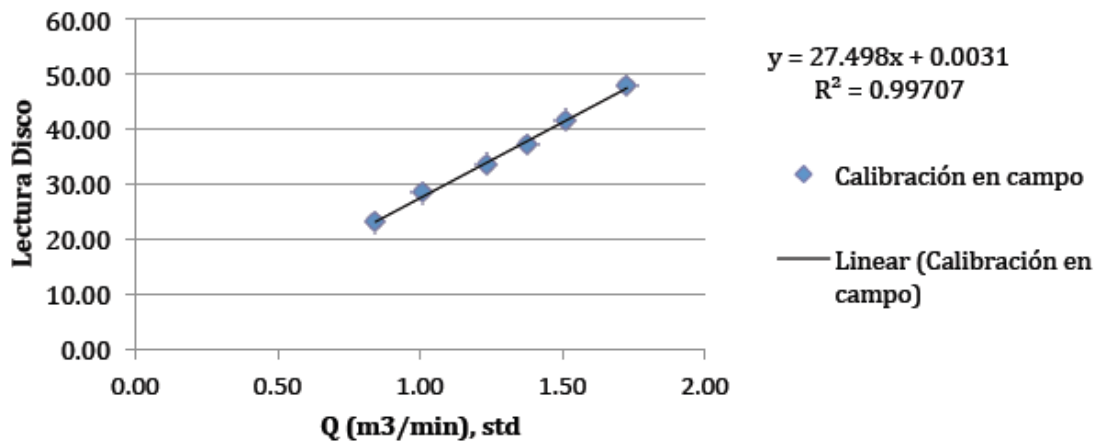


Figura 5.1.4. Gráfico correspondiente a la calibración del patrón de transferencia de orificio en CECATI 55.

En la Tabla 5.1.3 se presenta el resultado de la calibración realizada en Lázaro Cárdenas y en la Figura 5.1.5 se presenta el gráfico correspondiente a dicha calibración.

Tabla 5.1.3. Tabla de resultados de la calibración del patrón de transferencia del orificio, Lázaro Cárdenas.

**Datos de calibración:**

Sitio: Lázaro Cárdena

Inicio: 14:00, Fin: 15:45

Tipo de transferencia: orificio.

Equipo: SCA - UNAM

Modelo: 145 S. MIAMI AVE. Estuche negro 544238

$T_2$ : 26.0°C = 299 K,  $T_{ptn}$ : 298 K.

$P_2$ : 594.12 mmHg,  $P_{ptn}$ : 760 mmHg.

Pendiente (m) = 22.138

Intersección (b) = 4.99

Coefficiente de correlación (r) = 0.99534

Calibración efectuada por: Responsable: I.Q. Gilberto Fuentes García

Supervisor: Dr. Rodolfo Sosa Echeverría.

Autorizó: Dr. Humberto Bravo Álvarez.

Placa orificios	Caída de presión en el orificio	Corrección de la caída de presión	Lectura del Disco	Corrección de la lectura del disco	Flujo volumétrico a condiciones de referencia
<b>EQUIPO</b> <b>SCA-UNAM</b> <b>145 S.MIAMI AVE</b>					
Est. Negro 544238	$\Delta H$ plg AGUA	$L \left( \frac{P_2}{760} \right) \left( \frac{298}{T_2} \right)$		$L \left( \frac{P_2}{760} \right) \left( \frac{298}{T_2} \right)$	$Q_{ptn}$ (m <sup>3</sup> <sub>ptn</sub> /min)
sin placa	6.50	2.25	41	36.19	1.42
18	4.70	1.91	36	31.78	1.22
13	3.90	1.74	34	30.01	1.12
10	2.90	1.50	30	26.48	0.97
7	1.80	1.18	26	22.95	0.78
5	1.30	1.01	22	19.42	0.68

## Calibración en campo

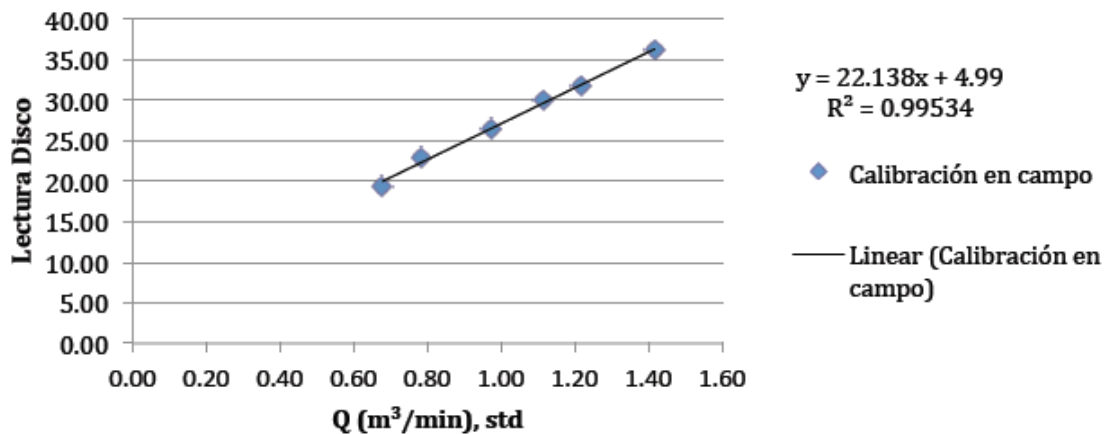


Figura 5.1.5. Gráfico correspondiente a la calibración del patrón de transferencia de orificio en Lázaro Cárdenas.

En la Tabla 5.1.4 se presenta el resultado de la calibración realizada en la Unidad Móvil y en la Figura 5.1.6 se presenta el gráfico correspondiente a dicha calibración.

Tabla 5.1.4. Tabla de resultados de la calibración del patrón de transferencia del orificio, Unidad Móvil.

Datos de calibración:

Sitio: Unidad Móvil

Inicio: 15:30, Fin: 16:30

Tipo de transferencia: orificio.

Equipo: SCA - UNAM

Modelo: 145 S. MIAMI AVE. Estuche negro 544238

$T_2$ : 25.6°C = 298.6 K,  $T_{ptn}$ : 298 K

$P_2$ : 756.28 mmHg,  $P_{ptn}$ : 760 mmHg.

Pendiente (m) = 24.118

Intersección (b) = 3.84

Coefficiente de correlación (r) = 0.99402

Calibración efectuada por: Responsable: I.Q. Gilberto Fuentes García

Supervisor: Dr. Rodolfo Sosa Echeverría.

Autorizó: Dr. Humberto Bravo Álvarez.

Placa orificios	Caída de presión en el orificio	Corrección de la caída de presión	Lectura del Disco	Corrección de la lectura del disco	Flujo volumétrico a condiciones de referencia
<b>EQUIPO</b> <b>SCA-UNAM</b> <b>145 S.MIAMI AVE</b>		$\left( \frac{P_2}{760} \right) \left( \frac{298}{T_2} \right)$		$L_2 \left( \frac{P_2}{760} \right) \left( \frac{298}{T_2} \right)$	
<b>Est. Negro</b> <b>544238</b>	$\Delta H$ plg AGUA				$Q_{ptn}$ ( $m^3_{ptn}/min$ )
sin placa	10.20	3.18	52	51.82	1.97
18	7.40	2.71	45	44.84	1.69
13	6.00	2.44	40	39.86	1.53
10	4.70	2.16	36	35.88	1.36
7	3.10	1.75	32	31.89	1.12
5	1.80	1.34	25	24.91	0.87



## Calibración en campo

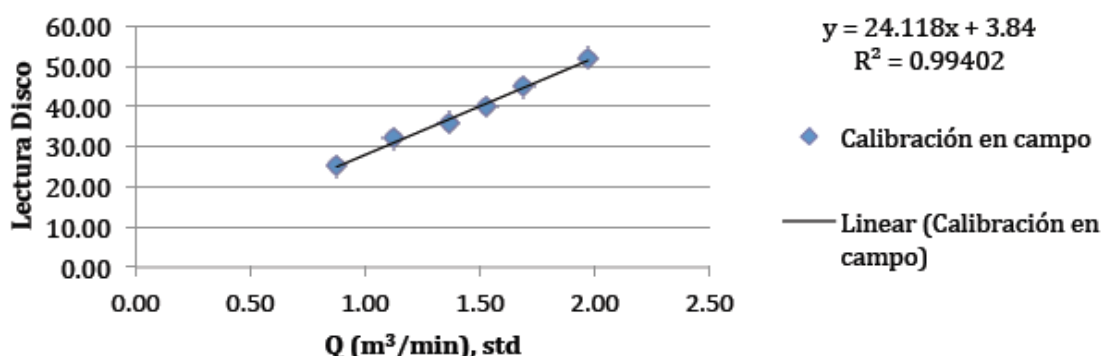


Figura 5.1.6. Gráfico correspondiente a la calibración del patrón de transferencia de orificio en la Unidad Móvil.

### Calibración del equipo analizador de SO<sub>2</sub>

A continuación, se presentan los resultados que se obtuvieron de las calibraciones multipunto realizadas en cada una de las estaciones de monitoreo atmosférico.

Después de cada calibración multipunto realizada en el periodo correspondiente (de 3 ó 4 meses) se realizaron verificaciones de la línea base al analizador (cada 15 ó 20 días) y con ello se procedió a observar el comportamiento de linealidad de la respuesta del analizador y mediante una prueba de datos aberrantes se identificó la confiabilidad de la respuesta del analizador.

En la Tabla 5.1.5 se muestra el coeficiente de correlación que se obtuvo en la calibración multipunto (0, 400, 300, 200 y 50 ppb) que se realizó el 12 de mayo de 2011, caso ejemplo CECATI 55. En la Tabla 5.1.6 se muestra la prueba de datos aberrantes; es decir, de los datos sospechosos o dudosos cuando se realizaron las verificaciones de calibración (0, 400 y 50 ppb) al analizador utilizando la linealidad de la Tabla 5.1.5 y en la Figura 5.1.7 se muestra el gráfico correspondiente. En el anexo IVA se encuentra la información correspondiente a cada calibración multipunto y sus respectivas verificaciones de calibración para el analizador de SO<sub>2</sub> de la estación CECATI 55.

Tabla 5.1.5. Calibración multipunto realizada el 12 de mayo de 2011. Estación CECATI 55.

x	y=respuesta	
C (ppb)	Areas	
0	0	riesgo= 5 %
400	398	Nº de datos= 5
300	298	ordenada= -0.7 +/- 2
200	197	pendiente= 0.995 +/- 0
50	49	coef corr= 0.999
		Riesgo de que no sea recta= 3.905E-06 %
		Límite de detección :
		CMD (estimado) = 4 ppb

Tabla 5.1.6. Verificaciones de calibración. Datos dudosos.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	HO: Y adicional = Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	predicción	¿Es parte de la recta?
0	1	-1	+/- 2	si, aceptar dato
400	398	397	+/- 2	si, aceptar dato
50	49	49	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	-1	+/- 2	si, aceptar dato
400	399	397	+/- 2	si, aceptar dato
50	50	49	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	-1	+/- 2	si, aceptar dato
400	399	397	+/- 2	si, aceptar dato
50	49	49	+/- 2	si, aceptar dato
0	0	-1	+/- 2	si, aceptar dato
400	399	397	+/- 2	si, aceptar dato
50	49	49	+/- 2	si, aceptar dato

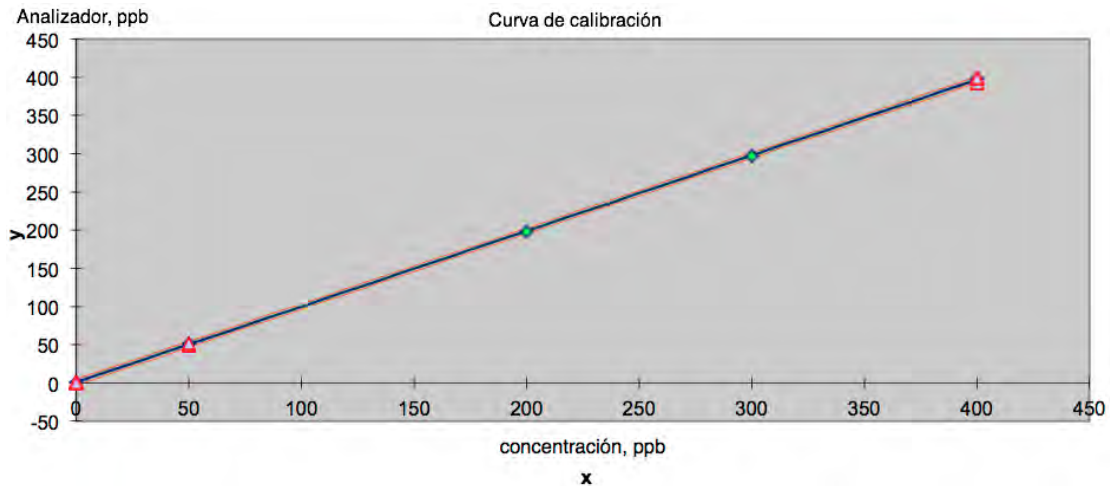


Figura 5.1.7. Gráfico correspondiente a los datos de calibración multipunto (puntos verdes) y a los datos de verificación de calibración (puntos rojos).

En la Tabla 5.1.7 se muestra el coeficiente de correlación que se obtuvo en la calibración multipunto (0, 400, 300, 200 y 50 ppb) que se realizó el 17 de agosto de 2011, caso ejemplo Lázaro Cárdenas. En la Tabla 5.1.8 se muestra la prueba de datos aberrantes; es decir, de los datos sospechosos o dudosos cuando se realizaron las verificaciones de calibración (0, 400 y 50 ppb) al analizador utilizando la linealidad de la Tabla 5.1.7 y en la Figura 5.1.8 se muestra el gráfico correspondiente. En el Anexo IVb se encuentra la información correspondiente a cada calibración multipunto y sus respectivas verificaciones de calibración para el analizador de SO<sub>2</sub> de la estación Lázaro Cárdenas.

Tabla 5.1.7. Calibración multipunto realizada el 17 de agosto de 2011. Estación Lázaro Cárdenas.

x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	1
400	400
300	298
200	200
50	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	0.93	+/- 2
pendiente=	0.995	+/- 0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea recta=	5.3008E-06	%
Límite de detección :		
CMD (estimado) = 4 ppb		

Tabla 5.1.8. Verificaciones de calibración. Datos dudosos.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: y adicional = y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	397	399	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	51	+/-	2	si, aceptar dato
0	-1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	401	399	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	51	+/-	2	si, aceptar dato
0	-1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	397	399	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	51	+/-	2	si, aceptar dato
0	-1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	400	399	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	51	+/-	2	si, aceptar dato
0	0	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	398	399	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	51	+/-	2	si, aceptar dato

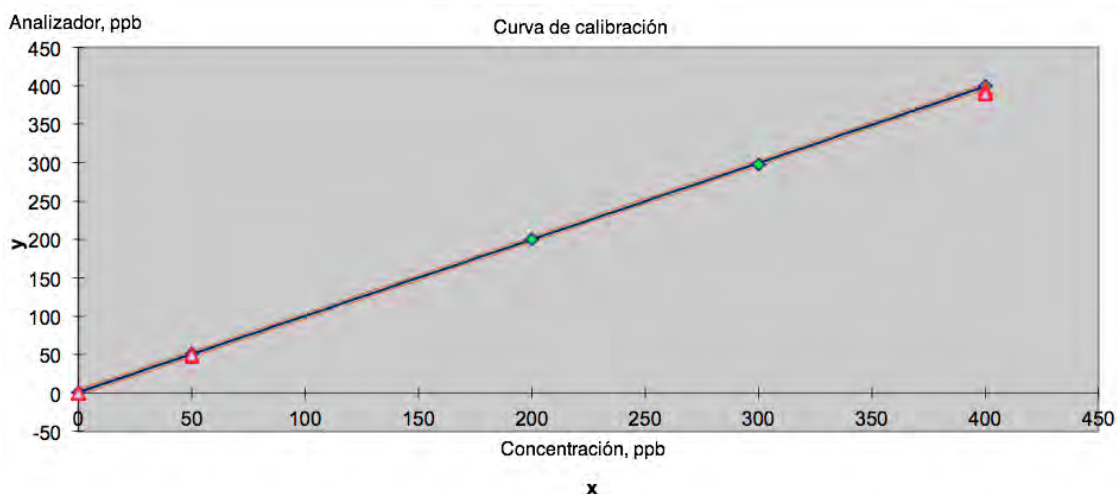


Figura 5.1.8. Gráfico correspondiente a los datos de calibración multipunto (puntos verdes) y a los datos de verificación de calibración (puntos rojos).

En la Tabla 5.1.9 se muestra el coeficiente de correlación que se obtuvo en la calibración multipunto (0, 400, 300, 200 y 50 ppb) que se realizó el 05 de mayo de 2011, caso ejemplo Unidad Móvil. En la Tabla 5.1.10 se muestra la prueba de datos aberrantes; es decir, de los datos sospechosos o dudosos cuando se realizaron las verificaciones de calibración (0, 400 y 50 ppb) al analizador utilizando la linealidad de la Tabla 5.1.9 y en la Figura 5.1.9 se muestra el gráfico correspondiente. En el Anexo IVc se encuentra la información correspondiente a cada calibración multipunto y sus respectivas verificaciones de calibración para el analizador de SO<sub>2</sub> de la estación Unidad Móvil.

Tabla 5.1.9. Calibración multipunto realizada el 05 de mayo de 2011. Estación Unidad Móvil.

x	y=respuesta	riesgo= 5 %
C (ppb)	Areas	Nº de datos= 5
0	-1	ordenada= -2 +/- 5
400	401	pendiente= 1.0 +/- 0.0
300	296	coef corr= 0.999
200	197	Riesgo de que no sea recta= 5.1331E-05 %
50	49	Límite de detección :
		CMD (estimado) = 8 ppb

Tabla 5.1.10. Verificaciones de calibración. Datos dudosos.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	H0: Y adicional = Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción		¿Es parte de la recta?
0	3	-2	+/-	5	si, aceptar dato
400	404	399	+/-	6	si, aceptar dato
50	49	48	+/-	4	si, aceptar dato
0	3	-2	+/-	5	si, aceptar dato
400	401	399	+/-	6	si, aceptar dato
50	52	48	+/-	4	si, aceptar dato
0	3	-2	+/-	5	si, aceptar dato
400	402	399	+/-	6	si, aceptar dato
50	52	48	+/-	4	si, aceptar dato
0	3	-2	+/-	5	si, aceptar dato
400	404	399	+/-	6	si, aceptar dato
50	52	48	+/-	4	si, aceptar dato
0	1	-2	+/-	5	si, aceptar dato
400	404	399	+/-	6	si, aceptar dato
50	52	48	+/-	4	si, aceptar dato
0	1	-2	+/-	5	si, aceptar dato
400	403	399	+/-	6	si, aceptar dato
50	51	48	+/-	4	si, aceptar dato

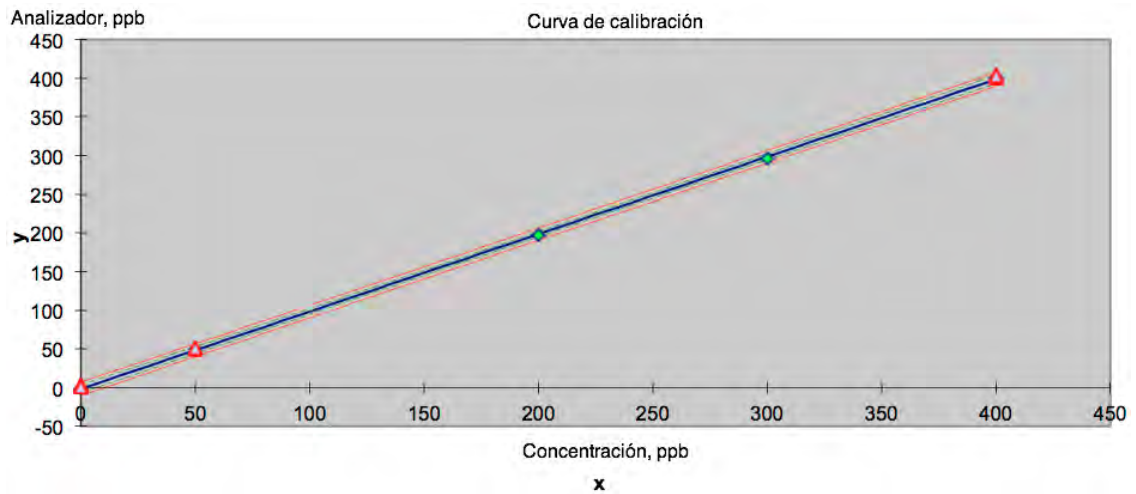


Figura 5.1.9. Gráfico correspondiente a los datos de calibración multipunto (puntos verdes) y a los datos de verificación de calibración (puntos rojos).

## **Auditorías internas realizadas en la SCA-CCA-UNAM**

Después de cada visita a las estaciones de monitoreo atmosférico se realizó una reunión de carácter interno en la SCA-CCA-UNAM con el personal que regularmente asistía a las visitas en la zona de estudio.

En dichas reuniones se comentó sobre la eficacia y deficiencia del sistema de monitoreo de SO<sub>2</sub>, meteorología y de PST.

Cualquier error mínimo que se cometió en el sistema de monitoreo se comentó en la auditoría interna y tenía que ser corregido al instante ya que el sistema de monitoreo debía funcionar correctamente para que la calidad de los datos cumpliera con los objetivos del monitoreo.

La auditoría interna fue necesaria para el mejoramiento del funcionamiento de la red y sobre todo para minimizar y prevenir cualquier tipo de error que se pudo haber cometido durante la visita a la red de monitoreo atmosférico.

Algunos de los problemas y/o errores que se presentaron en el sistema de monitoreo/muestreo se enlistan a continuación, tales errores se comentaron en la auditoría interna:

- ✓ Bases de datos incompletas, SO<sub>2</sub> y meteorología.
- ✓ Equipos de la calidad del aire apagados.
- ✓ Sistema de aire acondicionado fuera de servicio.
- ✓ Fallas de comunicación: sistema de adquisición de datos – computadora.
- ✓ Desconfiguración de la fecha y hora en los sistemas de adquisición de datos.
- ✓ Durante la descarga de datos de SO<sub>2</sub> la computadora salía del sistema.
- ✓ Filtro muestreado roto.
- ✓ La plumilla del registrador de papel del equipo de partículas no pintaba adecuadamente.
- ✓ Fuga de aire en el sistema de muestreo de PST.

Los errores anteriores se lograron corregir inmediatamente en las auditorías internas ya que si no se corregían en poco tiempo el control de calidad sería perjudicado por dichos errores y de la misma manera, el análisis de los datos.

## **Desmantelamiento de las estaciones de monitoreo en la zona de estudio**

El desmonte de las estaciones de monitoreo de SO<sub>2</sub>, PST y de meteorología (CECATI 55, Lázaro Cárdenas y Unidad Móvil) se realizó en el mes de febrero de 2012.

Esta etapa no se encuentra en manuales, protocolos, reglamentos o en algún programa que informe a cerca de las actividades que se deben de realizar antes de retirar los equipos de la calidad del aire. En este proyecto de estudio se contemplan las actividades que se realizaron previo al retiro de los equipos de la calidad del aire.

Previo al retiro de los equipos de la calidad del aire (analizador de SO<sub>2</sub>, meteorología de superficie y sistemas de adquisición de datos) fue necesario y primordial descargar las bases de datos correspondientes al sistema de monitoreo. El equipo de PST (Hi-Vol.) se encendió por 10 minutos, posteriormente se midió la caída de presión en el equipo para verificar el comportamiento del equipo después del periodo cumplido de muestreo.

Después de haber realizado la descarga de las bases de datos de SO<sub>2</sub> y meteorología, se verificó cero – span (línea base, 400 y 50 ppb) a los analizadores para determinar su comportamiento. Los equipos de meteorología de superficie no hubo problema para realizar la desinstalación de todos sus componentes.

Sistemas de aire acondicionado, bombas de vacío, líneas de entrada de muestra, no-brakes, retiro de papel aluminio de las estaciones de CECATI 55 y Lázaro Cárdenas, fueron retirados de cada sitio estudiado.

En lo referente a la desinstalación eléctrica se realizaron las actividades adecuadas para dejar el sistema eléctrico que originalmente se tenía en cada sitio previo al monitoreo y muestreo llevados a cabo desde el mes de julio de 2009 al mes de enero de 2012.

En las estaciones de CECATI 55 y Lázaro Cárdenas fue necesario hacer perforaciones en la azotea para que la línea de toma de muestra del analizador de SO<sub>2</sub> y la línea eléctrica quedarán instalados correctamente, debido a esta actividad, en el desmonte de las estaciones se tuvo que colocar un sellador para tapar la perforación, fue una actividad de responsabilidad por parte de la UNAM dejar el lugar con las mismas características antes del monitoreo y muestreo.

En la Unidad Móvil se retiró el analizador de SO<sub>2</sub>, equipo de meteorología y sistemas de adquisición de datos propiedad de la UNAM, no hubo problema en el retiro de dichos equipos.

Finalmente, los equipos de calidad del aire se trasladaron nuevamente a la SCA-CCA-UNAM con la debida precaución para que los equipos no sufrieran algún desajuste en sus componentes que pudieran repercutir en las mediciones futuras al utilizar estos equipos.

## **6. Análisis de los resultados**

### **Para el caso del monitoreo de SO<sub>2</sub> (julio de 2009 a febrero de 2012):**

Las emisiones de SO<sub>2</sub> que se detectaron en las estaciones de monitoreo atmosférico, provienen de diferentes fuentes de contaminación tanto de fuentes fijas como de fuente móviles.

Los resultados del monitoreo de SO<sub>2</sub> fueron representativos para su comparación con las Normas de calidad del aire (anual y 24 horas).

Las concentraciones de SO<sub>2</sub> obtenidas en las estaciones de monitoreo, no exceden la NOM-022-SSA1-2010 de 24 horas durante el periodo de estudio (julio de 2009 a febrero de 2012).

Al comparar las concentraciones de SO<sub>2</sub> obtenidas en las estaciones de monitoreo con la norma de calidad del aire anual para SO<sub>2</sub> de 0.025 ppm, del periodo comprendido del 01 de enero de 2010 al 31 de diciembre de 2010, se encontró que ninguna estación rebasó esta norma.

Considerando el periodo de estudio (junio de 2009 a febrero de 2012), la estación de CECATI 55 tuvo un incremento de las concentraciones promedio horarias de SO<sub>2</sub> a partir de las 09:00 hrs., un valor máximo entre las 15:00 y 16:00 hrs. de 0.038 ppm, y un decremento a partir de las 18:00 hrs. Para la estación Lázaro Cárdenas se tuvo un incremento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> a partir de las 10:00 hrs, un valor máximo entre las 12:00 y las 13:00 hrs. de 0.042 ppm, y un decremento a partir de las 14:00 hrs. En el caso de la Unidad Móvil se presenta un incremento de las concentraciones de SO<sub>2</sub> a partir de las 09:00 hrs., un valor máximo entre las 11:00 y 12:00 hrs. de 0.035 ppm, y un decremento a partir de las 13:00 hrs., por lo cual se concluye que no se rebasó la NOM-022-SSA1-2010 en los sitios seleccionados durante el periodo de estudio.

### **Con respecto al monitoreo de PST (agosto a diciembre de 2011):**

Considerando que la mayoría de las actividades industriales en la zona de estudio es por combustión, el origen de las partículas que se detectaron, en cada una de las estaciones de monitoreo, provienen de diferentes fuentes, por lo que, se sugiere realizar una especiación para identificar el origen de las partículas.

Se observó que la tendencia en la concentración de PST fue incrementándose desde que inició el monitoreo (agosto 2011) hasta que finalizó (diciembre de 2011), sin embargo, no se llegó a rebasar la Norma de Calidad del Aire para 24 horas (NOM-025-SSA1-1993) para el periodo comprendido en este estudio.



El comportamiento de las concentraciones de PST es el mismo para las tres estaciones de monitoreo estudiadas, observándose concentraciones máximas a finales de cada mes y mínimas a mediados del mismo mes.

Considerando el periodo de monitoreo de PST, se determinó que la Unidad Móvil tuvo un máximo de  $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la estación Lázaro Cárdenas  $126 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y la estación CECATI 55 de  $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y mínimos de  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de PST, respectivamente.

La variabilidad en la concentración de PST para cada estación no fue la misma, sin embargo, utilizando estadística básica (ANOVA), se determinó que no hay diferencia significativa en las medianas obtenidas para los sitios de monitoreo.

### **Referente a la información meteorológica:**

Se encontró que un 30% de humedad corresponde a las horas de temperatura más elevadas y valores mayores a 80% de humedad para las horas de temperatura mínima (5 ó 6 de la mañana, hora local) en las tres estaciones de monitoreo atmosférico.

El rango de variabilidad diaria de la temperatura presenta marcadas diferencias entre el verano y primavera/otoño. En verano el rango entre temperatura máxima y mínima fue alrededor de  $10^\circ\text{C}$ , mientras en la primavera/otoño el rango alcanzó un valor mayor de  $15^\circ\text{C}$ , para las tres estaciones de monitoreo.

La Estación Unidad Móvil fue la que mejor reflejó la intensidad de los vientos durante todo el periodo de estudio. Su ubicación, no afectada por obstáculos topográficos, reproduce las características de los vientos en la zona de estudio.

La Estación CECATI 55 presentó vientos débiles con dirección dominante de norte-noroeste durante casi todo el periodo analizado. Esta estación muestra claras influencias topográficas y uso de suelo que determinan la circulación local, mientras que la estación Lázaro Cárdenas mostró la evolución de los vientos dominantes del norte-noreste con intensidades que alcanzan los 5 m/s.

La dirección predominante del viento, en la zona de estudio, fue del noroeste y noreste para cada estación de monitoreo, indicando que la ubicación de las estaciones de monitoreo fue representativa y adecuada para el estudio, dos estaciones para evaluar la calidad del aire por  $\text{SO}_2$  y PST y una estación para evaluar su concentración de fondo.

## 7. Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones:

Por medio del análisis de viento sobre la zona de Tula, Hidalgo, la dirección predominante fue del noroeste y noreste, por lo cual, la selección de los tres sitios de monitoreo fue representativa y adecuada, dos estaciones fueron para evaluar la calidad del aire por SO<sub>2</sub> y PST, y otra estación para evaluar su concentración de fondo.

Se aplicó la información oficial sobre el aseguramiento y control de calidad en las estaciones de monitoreo atmosférico y se encontró que las mediciones efectuadas fueron confiables. El plan calendarizado con las actividades a desarrollar en cada visita permitió minimizar errores en el sistema de monitoreo y garantizar que las mediciones generadas fueran confiables. Las auditorías internas fueron fundamentales para corregir, minimizar y prevenir errores en el sistema de monitoreo de la calidad del aire.

Las estaciones de monitoreo atmosférico fueron diseñadas con suministro de energía eléctrica, sistema de aire acondicionado, línea de entrada de muestra, analizador de SO<sub>2</sub>, equipo para la medición de PST, equipo de meteorología de superficie y sistema de adquisición de datos, y de esta manera la infraestructura de cada estación de monitoreo cumplió con el objetivo del diseño para llevar adecuadamente el estudio.

Para la medición de concentraciones de SO<sub>2</sub> y PST en las estaciones de monitoreo atmosférico, se utilizaron equipos acreditados por la U.S.EPA. Para la medición de SO<sub>2</sub> se utilizó el método equivalente y para la medición PST se utilizó el método de referencia.

Se seleccionaron los contaminantes de SO<sub>2</sub> y PST ya que por las actividades industriales de la región de Tula se emiten grandes cantidades de dichos contaminantes.

Al comparar las concentraciones de SO<sub>2</sub> con la NOM-022-SSA1-2010 (anual y 24 horas), no se rebasó, por lo que, la calidad del aire es satisfactoria en los sitios seleccionados durante el periodo de monitoreo, julio de 2009 a febrero de 2012.

Al comparar las concentraciones de PST con la NOM-025-SSA1-1993 (24 horas), no se rebasó en los sitios seleccionados, por lo que, la calidad del aire es satisfactoria en los sitios seleccionados durante el periodo de monitoreo, agosto a diciembre de 2011.

#### Recomendaciones:

En base en los resultados obtenidos se sugiere que el monitoreo de PST sea extendido a un año para verificar el cumplimiento de la Norma de calidad del aire anual.

Se sugiere realizar un análisis de especiación de PST para identificar el origen de dichas partículas.

Se sugiere instalar computadoras en cada estación de monitoreo para visualizar en tiempo real las mediciones de contaminantes atmosféricos.

Se sugiere el uso de Telemetría para la transferencia de datos sin descuidar las visitas a campo.

## 8. Bibliografía consultada

40 CFR (Code of Federal Regulations), Parts 50 and 58. Washington, D.C.: Protection of the Environment. National Archives and Records Administration; 1994.

ANSI/ASQC E4-1994, Specifications and Guidelines for Quality Systems for Environmental Data Collection and Environmental Technology Programs, American National Standard, January 1995.

Air Monitoring Quality Assurance Plan. February 1999, Washington State Department of Ecology Air Quality Program.

Ambient air monitoring requirements for the air pollution control division of the Colorado department of public health and environment. Technical Services Program Air Pollution Control Division April 2001.

Anuario Estadístico Hidalgo Edición 2000 [Gobierno del Estado de Hidalgo (Secretaría de Desarrollo Social)-INEGI].

Bravo H., Sosa R., Torres R. (1990), Criterios y Metodologías para medir la Calidad del Aire.

Bravo H., Sosa R., (1990). Métodos de monitoreo de la calidad del aire.

Bravo H., Sosa R., (1990). Metodología para el diseño de una red automática de monitoreo atmosférico.

Cédula Municipal Estado de Hidalgo, Dirección de Información para la Planeación. 2000.

Consejo Estatal de Ecología "Taller de Gestión y Vinculación Municipal 2000", Gobierno del Estado de Hidalgo. Enero del 2000.

Cuaderno de Estadística Municipal Tula de Allende, Estado de Hidalgo Edición 1994.

Cuaderno de Información Básica Tula de Allende Estado de Hidalgo, Dirección General de Planeación, edición 2000.

Diagnóstico, Evaluación y Proposición de Mejoramiento de Redes de Monitoreo de Agua y Aire, Enero 1998. Elaborado por SGS Ecocare para CONAMA.

Diagnóstico y Mejoramiento Integral de la Medición de la Contaminación del Aire en la Región Metropolitana de Chile, Agosto 1996. Elaborado por Chile para SESMA.

Division of environment Quality management plan Part III: Ambient air monitoring Standard operating procedures, Diciembre 2000, Kansas Department of Health and Environment, Division of Environment Bureau of Air and Radiation.

EEA Guidance on the Annexes to Decision 97/101/EC on Exchange of Information as revised by Decision 2001/752/EC for the European Commission DG Environment. Abril 2002.

EMMA, 1998. A Practical Guide to Air Quality Monitoring, European Commission EMMA Programme (Integrated Environmental Monitoring Forecasting and Warning Systems in Metropolitan Areas), Agosto 1998, National Environmental Technology Centre, UK.

EPA. Environmental Protection Agency (en línea), octubre 2012. Disponible en world wide web: <http://www.epa.gov>

EPA Quality Control Practice in Processing Air Pollution Samples. US. Environmental Protection Agency. APTD- 1132. March 1973.

EPA Guidelines for Development of a Quality Assurance Program Reference Method for the Continuous Measurement of Carbon Monoxide in the Atmosphere. EPA-R4-73-028a, Office of Research and Monitoring, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. June 1973.

EPA Air Quality Monitoring Site description Guideline, US. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C. OAQPS No. 1.2-019, 1974. Draft.

EPA Guidelines for Evaluation of Air Quality Data. US. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. OAQPS No. 1.2-015. January 1974. P. 2.

EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement System. Volume 1. Principles. EPA-600/9-76-005, March 1976.

EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II. Ambient Air Specific Methods. EPA-600/4-77/027a, May 1977.

US EPA (1979). Guideline for the Implementation of the Ambient Air Monitoring Regulations 40 CFR Part 58, EPA-450/4-79-038, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, November 1979.

EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. EPA. Vol. I: A Field Guide to Environmental Quality Assurance. April, 1994. Office of Research and Development Washington, DC 20460. ISBN EPA/600/R-94/038a.

EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Part 1 Ambient Air Quality Monitoring Program Quality System Development, December 2008. EPA-454/R- 98-004.

EPA Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume IV: Meteorological Measurements. *EPA-454/B-08-002*. March 2008.

EPA Requirements for Quality Management Plans. EPA QA/R-2. March 2001. Office of Environmental Information Washington, DC 20460. ISBN EPA/240/B-01/002.

EPA Requirements for Quality Assurance Project Plans, EPA QA/R-5, March 2001. Office of Environmental Information Washington, DC 20460. ISBN EPA/240/B-01/003.

EPA Guidance for the Data Quality Objectives Process, EPA QA/G-4, August 2000. Office of Environmental Information Washington. ISBN EPA/600/R-96/055.

EPA Guidance for Data Quality Assessment Practical Methods for Data Analysis, EPA QA/G-9. July 2000, QA00 Update. Office of Environmental Information, Washington, DC.

EPA Guidance for Preparing Standard Operating Procedures (SOPs), EPA QA/G-6. March 2001. Office of Environmental Information, Washington, DC. ISBN EPA/240/B-01/004.

EPA Guidance on Environmental Data Verification and Data Validation EPA QA/G-8. November 2002. Office of Environmental Information, Washington, DC.

EPA Guidance on Technical Audits and Related Assessments for Environmental Data Operations, EPA QA/G-7, January 2000. Office of Environmental Information Washington, DC. ISBN EPA/600/R-99/080.

INE. Manual 1. Principios de medición de la calidad del aire. México, 2010.

INE. Manual 2. Sistemas de medición de la calidad del aire. México, 2010.

INE. Manual 3. Redes, estaciones y equipos de medición de la calidad del aire. México, 2010.

INE. Manual 4. Operación de estaciones de medición de la calidad del aire, mantenimiento y calibración de sus componentes. México, 2010.

INE. Manual 5. Protocolo de manejo de datos de la calidad del aire. México, 2010.

INE. Manual 6. Auditorías de sistemas de medición de la calidad del aire. México, 2010.

INE. Monitoreos CENICA (Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental).

Japan, 1990. Manual for Continuous Monitoring of Air Quality. December 1990. Air Quality Bureau Environment Agency, Government of Japan.

Korc, M. 2001. 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.

NAPS, 1995. National Air Pollution Surveillance Network Quality Assurance and Quality Control Guidelines. Report PD 95-8. December 1995. Environmental Technology Centre. Ottawa. Ontario K1A 0H3.

Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994. Secretaría de Salud, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2010. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Diario Oficial de la Federación del 08 de septiembre de 2010. Secretaría de Salud, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-023-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Diario Oficial de la Federación del 23 de diciembre de 1994. Secretaría de Salud, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al ozono (O<sub>3</sub>). Diario Oficial de la Federación del 30 de octubre de 2002. Secretaría de Salud, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a material particulado (partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM<sub>10</sub> y partículas menores de 2.5 micrómetros PM<sub>2.5</sub>) Diario Oficial de la Federación del 26 de septiembre del 2005. Secretaría de Salud, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-034-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-037-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de nitrógeno en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.

Norma Oficial Mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de dióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993. SEMARNAT, México.

NSW, 2001. Approved methods for the sampling and analysis of air pollutants in New South Wales, Julio 2001. NSW Environment Protection Authority, Sydney, Australia.

NZ, 2000. Good-practice guide for air quality monitoring and data management, December 2000. Published by the Ministry for the Environment of New Zealand, ISBN 0-478-24005-2.

OMS/PNUMA GEMS: Selected Methods of Measuring Air Pollutants. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

OMS/PNUMA GEMS: Air Monitoring Programme Design for Urban and Industrial Areas. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

OPS (2000). Plan regional sobre calidad del aire urbano y salud para el período 2000-2009. Washington: OPS. OPS/CEPIS/99.21.

PNUMA/OMS 2002, 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).

PROY-NOM-156-SEMARNAT-2008. Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire. Diario Oficial de la Federación 30 de septiembre de 2009.

Stern, A.C. (1977), Air Pollution, Vol III, Measuring, Monitoring and Surveillance of Air Pollution, Academic Press.

Turner D.B. (1994), Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates, Lewis Publishers.



UNEP/WHO. 1994. GEMS/AIR Methodology Reviews. Vol. 1: Quality assurance in urban air quality monitoring. WHO/EOS/94.1, UNEP/GEMS/94.A.2. UNEP Nairobi.

UK, 2001. Automatic Urban Network, Site Operator's Manual. National Environmental Technology Centre, United Kingdom, October 1998.

WHO (1999). Air quality guidelines.

WILLIAMS, M Y BUCKMANN, P, 2001. Guía sobre mediciones de PM<sub>10</sub> e intercomparaciones con el método de referencia para los estados miembros de la comunidad europea, marzo 2001.

Workshop Proceedings 2nd EIONET workshop on air quality monitoring and assessment Brussels, 22-23 September 1997. Technical report No. 13. European Environment Agency.

Workshop on Air Quality Management and Assessment. Technical report No. 21 European Environment Agency. June 1999.

## **Anexos**

**Anexo I. Lista de verificación para las estaciones de monitoreo atmosférico utilizada en la zona Tula-Tepeji, Hidalgo**

**Anexo II. Plan de actividades calendarizado para el periodo de monitoreo (2010 a 2012) en la zona de estudio**

**Anexo III. Formato para el registro de los muestreos de PST en la zona de estudio**

**Anexo IV. Resultados de las calibraciones realizadas al equipo analizador de SO<sub>2</sub> y sus respectivas verificaciones de cero y span (línea base)**

**Anexo I. Lista de verificación para las estaciones de monitoreo atmosférico utilizada en la zona Tula-Tepeji, Hidalgo.**

<b>Fecha:</b>		
<b>Estación de monitoreo:</b>	<b>Hora de entrada:</b>	
	<b>Hora de salida:</b>	
<b>Personal de la UNAM:</b>		
<b>Personal del SIMAT:</b>		
<b>Otro:</b>		
<b>Actividad</b>	<b>Condición</b>	<b>Observaciones</b>
Temperatura interior de la caseta, °C		
Descarga de datos SO <sub>2</sub>		
Descarga de datos meteorología		
Verificación de cero span (línea base, 400 y 50 ppb)		
Calibración multipunto (línea base, 400, 300, 200 y 50 ppb)		
Funcionamiento de la bomba de vacío		
Funcionamiento del datalogger ODESSA, SO <sub>2</sub>		
Funcionamiento de la consola meteorología, Weather Station		
Línea de la toma de muestra		
Sistema de aire acondicionado		

<b>REGISTRO DE PARAMETROS</b>		<b>Registro de Datos</b>		<b>Observaciones</b>
<b>Parámetro</b>		<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	
Valor de SO <sub>2</sub> en monitor del equipo, ppb				
Temperatura analizador de gas, °C				
Temperatura exterior/interior, °C				
Humedad exterior/interior, %				
Velocidad viento, m/s y dirección				
Radiación solar				
Días de valores altos SO <sub>2</sub>				
Voltaje en la estación, V				

<b>ANALIZADOR SO<sub>2</sub></b>			<b>OBSERVACIONES</b>
<b>Parámetro</b>	<b>Registro</b>	<b>Nominal del Equipo</b>	
Hora		-	
Intervalo, ppb		500	
Flujo, cc/min		500±50	
PMT, mV		-	
Lámpara UV, mV		3000-4050	
Lamp ratio, %		100±10	
STR.LGT, ppb		<100 ó <60	
HVPS, V		500-900	
DCPS, mV		2500±100	
Celda de reacción, °C		50±1	
Temp. interna, °C		T <sub>amb</sub> ±10	
PMT, °C		10±1	
IZS, °C		-	
Slope		8.5±0.5	
Offset, mV		<250	

Elaboró: I.Q. Gilberto Fuentes García

## Anexo II. Plan de actividades calendarizado para el periodo de monitoreo y muestreo (2010 a 2012) en la zona de estudio.

### Actividades realizadas en el año 2010.

2010														INDICACION DE FECHAS IMPORTANTES
<b>ENERO</b> L M M J V S D 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31							<b>FEBRERO</b> L M M J V S D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28							VISITA A LAS ESTACIONES DE MONITOREO CECATIS, LAZARO CARDENAS Y LA UNIDAD MOVIL  ACTIVIDADES REALIZADAS:  DESCARGA DE BASE DE DATOS DE SO2  DESCARGA DE BASE DE METEOROLOGIA  VERIFICACION DE LOS EQUIPOS DE LA CALIDAD DEL AIRE  REGISTRO DE TEMPERATURA INTERIOR  LLENADO DE BITACORAS  A PARTIR DE ENERO SE REALIZARON CAMPAÑAS MAS INTENSAS PARA LA VERIFICACION DE LA RED EN LA ZONA DE ESTUDIO  LA VISITA A LAS ESTACIONES SE REALIZO SEMANALMENTE
<b>MARZO</b> L M M J V S D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31							<b>ABRIL</b> L M M J V S D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30							
<b>MAYO</b> L M M J V S D 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31							<b>JUNIO</b> L M M J V S D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30							
<b>JULIO</b> L M M J V S D 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31							<b>AGOSTO</b> L M M J V S D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31							
<b>SEPTIEMBRE</b> L M M J V S D 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30							<b>OCTUBRE</b> L M M J V S D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31							
<b>NOVIEMBRE</b> L M M J V S D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30							<b>DICIEMBRE</b> L M M J V S D 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31							

Elaboró: Sección de Contaminación Ambiental. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM

# Actividades realizadas en el 2011.

2011		INDICACION DE FECHAS IMPORTANTES																																																																																												
<p><b>ENERO</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td></tr> <tr><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td></tr> <tr><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td></tr> <tr><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr> <tr><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							<p><b>FEBRERO</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td></tr> <tr><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28						
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
					1	2																																																																																								
3	4	5	6	7	8	9																																																																																								
10	11	12	13	14	15	16																																																																																								
17	18	19	20	21	22	23																																																																																								
24	25	26	27	28	29	30																																																																																								
31																																																																																														
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
	1	2	3	4	5	6																																																																																								
7	8	9	10	11	12	13																																																																																								
14	15	16	17	18	19	20																																																																																								
21	22	23	24	25	26	27																																																																																								
28																																																																																														
<p><b>MARZO</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td></tr> <tr><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				<p><b>ABRIL</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30								
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
	1	2	3	4	5	6																																																																																								
7	8	9	10	11	12	13																																																																																								
14	15	16	17	18	19	20																																																																																								
21	22	23	24	25	26	27																																																																																								
28	29	30	31																																																																																											
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
				1	2	3																																																																																								
4	5	6	7	8	9	10																																																																																								
11	12	13	14	15	16	17																																																																																								
18	19	20	21	22	23	24																																																																																								
25	26	27	28	29	30																																																																																									
<p><b>MAYO</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td></tr> <tr><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						<p><b>JUNIO</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td></tr> <tr><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td></tr> <tr><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td></tr> <tr><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
						1																																																																																								
2	3	4	5	6	7	8																																																																																								
9	10	11	12	13	14	15																																																																																								
16	17	18	19	20	21	22																																																																																								
23	24	25	26	27	28	29																																																																																								
30	31																																																																																													
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
		1	2	3	4	5																																																																																								
6	7	8	9	10	11	12																																																																																								
13	14	15	16	17	18	19																																																																																								
20	21	22	23	24	25	26																																																																																								
27	28	29	30																																																																																											
<p><b>JULIO</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr> <tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	<p><b>AGOSTO</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31											
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
				1	2	3																																																																																								
4	5	6	7	8	9	10																																																																																								
11	12	13	14	15	16	17																																																																																								
18	19	20	21	22	23	24																																																																																								
25	26	27	28	29	30	31																																																																																								
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
1	2	3	4	5	6	7																																																																																								
8	9	10	11	12	13	14																																																																																								
15	16	17	18	19	20	21																																																																																								
22	23	24	25	26	27	28																																																																																								
29	30	31																																																																																												
<p><b>SEPTIEMBRE</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			<p><b>OCTUBRE</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td></tr> <tr><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td></tr> <tr><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
			1	2	3	4																																																																																								
5	6	7	8	9	10	11																																																																																								
12	13	14	15	16	17	18																																																																																								
19	20	21	22	23	24	25																																																																																								
26	27	28	29	30																																																																																										
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
						1																																																																																								
2	3	4	5	6	7	8																																																																																								
9	10	11	12	13	14	15																																																																																								
16	17	18	19	20	21	22																																																																																								
23	24	25	26	27	28	29																																																																																								
30	31																																																																																													
<p><b>NOVIEMBRE</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td></tr> <tr><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					<p><b>DICIEMBRE</b></p> <table border="1"> <tr><td>L</td><td>M</td><td>M</td><td>J</td><td>V</td><td>S</td><td>D</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td></tr> </table>		L	M	M	J	V	S	D				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
	1	2	3	4	5	6																																																																																								
7	8	9	10	11	12	13																																																																																								
14	15	16	17	18	19	20																																																																																								
21	22	23	24	25	26	27																																																																																								
28	29	30																																																																																												
L	M	M	J	V	S	D																																																																																								
			1	2	3	4																																																																																								
5	6	7	8	9	10	11																																																																																								
12	13	14	15	16	17	18																																																																																								
19	20	21	22	23	24	25																																																																																								
26	27	28	29	30	31																																																																																									

**VISITA A LAS ESTACIONES DE MONITOREO**

**CAMBIO DE FILTRO PARA EL MUESTREO DE P<sub>ST</sub>**

**DIAS DEL MUESTREO DE P<sub>ST</sub>**

**EL DIA 7 DE AGOSTO SE COLOCO EL PRIMER FILTRO PARA EL MUESTREO DE P<sub>ST</sub>, DANDO INICIO AL MUESTREO DE PARTICULAS**

**LA VISITA A LAS ESTACIONES DE JARON DE SERIOS DIAS MIÉRCOLES DEBIDO A QUE SE TENIA QUE IR ANTES DEL DIA DEL MUESTREO DE P<sub>ST</sub> A CAMBIAR EL FILTRO PARA EL SIGUIENTE MUESTREO**

**EL DIA 29 DE DICIEMBRE FUE EL ULTIMO MUESTREO QUE SE PROGRAMO EN LA ZONA DE ESTUDIO**

**SE REALIZARON 23 MUESTREOS DE P<sub>ST</sub>**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 AV. UNIVERSIDAD 3000, C.P. 04510

TEL. 56224052  
 SECCION DE CONTAMINACION AMBIENTAL  
 CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA, UNAM

Elaboró: Sección de Contaminación Ambiental. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM

# Actividades realizadas en el 2012.

2012
INDICACION DE FECHAS IMPORTANTES

To change the calendar year, click the spinner

ENERO							FEBRERO						
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
						1			1	2	3	4	5
2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12
9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19
16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26
23	24	25	26	27	28	29	27	28	29				
30	31												

MARZO							ABRIL						
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
			1	2	3	4							1
5	6	7	8	9	10	11	2	3	4	5	6	7	8
12	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	13	14	15
19	20	21	22	23	24	25	16	17	18	19	20	21	22
26	27	28	29	30	31		23	24	25	26	27	28	29
							30						

MAYO							JUNIO						
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
						1							1
2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29	23	24	25	26	27	28	29
30	31						30						

JULIO							AGOSTO						
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
						1				1	2	3	4
2	3	4	5	6	7	8	6	7	8	9	10	11	12
9	10	11	12	13	14	15	13	14	15	16	17	18	19
16	17	18	19	20	21	22	20	21	22	23	24	25	26
23	24	25	26	27	28	29	27	28	29	30	31		
30	31												

SEPTIEMBRE							OCTUBRE						
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
						1	1	2	3	4	5	6	7
3	4	5	6	7	8	9	8	9	10	11	12	13	14
10	11	12	13	14	15	16	15	16	17	18	19	20	21
17	18	19	20	21	22	23	22	23	24	25	26	27	28
24	25	26	27	28	29	30	29	30	31				

NOVIEMBRE							DICIEMBRE						
L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
			1	2	3	4							1
5	6	7	8	9	10	11	3	4	5	6	7	8	9
12	13	14	15	16	17	18	10	11	12	13	14	15	16
19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23
26	27	28	29	30			24	25	26	27	28	29	30
							31						

**VISITA A LAS ESTACIONES DE MONITOREO**

EL DIA 26 DE ENERO FUE LA ULTIMA DESCARGA DE DATOS DE SO2 Y METEOROLOGIA EN LA ESTACION DE MONITOREO

EL 15 DE FEBRERO SE REALIZO EL DESMONTE DE LAS TRES ESTACIONES DE MONITOREO Y MUESTREO

FIN DEL PROYECTO

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
AV. UNIVERSIDAD 3000, C.P. 04510

TEL. 56224052  
SECCION DE CONTAMINACION AMBIENTAL  
CENTRO DE EFICIENCIAS DE LA ATMOSFERA, UNAM

Elaboró: Sección de Contaminación Ambiental. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM.

Anexo III. Formato para el registro de los muestreos de PST en la zona de estudio.

Sitio de muestreo	Fecha Cambio de filtro	Hora	Temp °C	No. de filtro	Fecha de muestreo	Lectura contador inicio	$\Delta P$ inicial manómetro plgH <sub>2</sub> O	Fecha Retiro de filtro	Hora	Lectura contador final	$\Delta P$ final manómetro plgH <sub>2</sub> O	Temp °C
CECATI 55	17/AGO/11	10:00	22.6	7084202	19/AGO/11	2.2	17.4	24/AGO11	12:40	26.2	16.1	20.1
Lázaro Cárdenas	-----	-----	-----	Falló TIMER	Falló TIMER	-----	----	Falló TIMER	-----	-----	-----	-----
Unidad Móvil	17/AGO/11	12:30	21.2	7084204	19/AGO/11	0.9	12.5	24/AGO11	09:40	24.93	11.4	20.1
CECATI 55	24/AGO/11	13:10	22.2	7084205	25/AGO/11	26.5	16.1	30/AGO11	08:40	50.5	19.4	16.1
Lázaro Cárdenas	-----	-----	-----	Falló TIMER	Falló TIMER	-----	-----	Falló TIMER	-----	-----	-----	-----
Unidad Móvil	24/AGO/11	15:00	24.5	7084203	25/AGO/11	24.95	11.4	30/AGO/11	13:50	48.94	15.3	21.4
CECATI 55	30/AGO/11	09:00	16.0	7084209	31/AGO/11	50.5	18.9	05/SEP/11	10:10	74.5	16.0	19.1
Lázaro Cárdenas	30/AGO/11	11:40	20.1	7084207	31/AGO/11	9076.54	12.3	05/SEP/11	11:50	9100.53	12.4	20.1
Unidad Móvil	30/AGO/11	12:50	21.4	7084211	31/AGO/11	48.94	14.8	05/SEP/11	13:10	72.95	11.6	22.0
CECATI 55	05/SEP/11	10:35	19.4	7084213	06/SEP/11	74.7	14.5	09/SEP/11	9:07	98.6	19.5	12.3
Lázaro Cárdenas	05/SEP/11	12:00	20.1	7084212	06/SEP/11	9100.67	12.0	09/SEP/11	18:00	9124.66	14.1	15.3
Unidad Móvil	05/SEP/11	13:30	22.0	7084208	06/SEP/11	73.14	16.9	09/SEP/11	17:00	97.13	14.5	19.2
CECATI 55	09/SEP/11	09:07	12.3	7084214	12/SEP/11	98.6	17.7	14/SEP/11	9:00	122.7	15.8	16
Lázaro Cárdenas	09/SEP/11	18:00	15.3	7084216	12/SEP/11	9124.66	14.6	14/SEP/11	11:48	9149.09	11.6	21.2
Unidad Móvil	09/SEP/11	17:00	19.2	7084215	12/SEP/11	97.69	18.8	14/SEP/11	13:18	121.67	16.6	23.3
CECATI 55	14/SEP/11	09:10	16.0	7084219	18/SEP/11	122.9	15.8	21/SEP/11	08:45	146.9	19.4	15.0
Lázaro Cárdenas	14/SEP/11	11:50	21.2	7084220	18/SEP/11	9149.36	11.6	21/SEP/11	10:06	9173.34	14.7	18.2
Unidad Móvil	14/SEP/11	13:22	23.3	7084218	18/SEP/11	121.87	16.9	21/SEP/11	12:00	145.85	21.3	20.3
CECATI 55	21/SEP/11	08:45	15.0	7096131	24/SEP/11	146.9	18.9	27/SEP/11	10:16	170.0	16.1	22.7
Lázaro Cárdenas	21/SEP/11	10:06	18.2	7096132	24/SEP/11	9173.37	14.0	27/SEP/11	11:10	9197.35	12.2	24.0
Unidad Móvil	21/SEP/11	12:00	20.3	7096133	24/SEP/11	145.89	19.7	27/SEP/11	12:40	169.88	16.7	25.3
CECATI 55	27/SEP/11	10:23	22.7	7096134	30/SEP/11	171.1	15.8	05/OCT/11	08:20	195.1	19.2	15.5
Lázaro Cárdenas	27/SEP/11	11:30	24.0	7096135	30/SEP/11	9197.53	9.8	05/OCT/11	09:22	9221.51	12.9	17.9
Unidad Móvil	27/SEP/11	12:50	25.3	7096136	30/SEP/11	169.95	16.5	05/OCT/11	10:55	193.93	21.3	19.9
CECATI 55	05/OCT/11	08:20	15.5	7084217	06/OCT/11	195.1	18.7	11/OCT/11	9:50	219.0	16.3	18.3
Lázaro Cárdenas	05/OCT/11	09:22	17.9	7096138	06/OCT/11	9221.54	14.0	11/OCT/11	11:00	9244.82	12.0	18.9
Unidad Móvil	05/OCT/11	10:55	19.9	7096139	06/OCT/11	193.96	19.2	11/OCT/11	12:23	217.94	15.5	20.3
CECATI 55	11/OCT/11	11:00	18.3	7096137	12/OCT/11	219.1	15.8	17/OCT/11	9:12	243.1	19.3	13.9
Lázaro Cárdenas	11/OCT/11	11:20	18.9	7096140	12/OCT/11	9244.90	11.5	17/OCT/11	09:50	9268.88	14.7	15.6

Unidad Móvil	11/OCT/11	12:23	20.3	7096141	12/OCT/11	218.09	15.3	17/OCT/11	12:00	241.99	18.5	20.1
CECATI 55	17/OCT/11	09:12	13.9	7096147	18/OCT/11	243.2	18.3	20/OCT/11	9:30	267.1	16.3	19.0
Lázaro Cárdenas	17/OCT/11	09:50	15.6	7096148	18/OCT/11	9268.91	14.2	20/OCT/11	10:55	9292.90	12.8	19.5
Unidad Móvil	17/OCT/11	12:00	20.1	7096149	18/OCT/11	242.04	18.5	20/OCT/11	12:24	266.02	16.3	23.0
CECATI 55	20/OCT/11	9:50	20.0	7096142	24/OCT/11	267.2	15.6	26/OCT/11	09:00	291.2	18.4	9.3
Lázaro Cárdenas	20/OCT/11	11:15	19.5	7096144	24/OCT/11	9292.98	12.1	26/OCT/11	10:25	9316.96	13.9	14.8
Unidad Móvil	20/OCT/11	12:30	23.0	7096145	24/OCT/11	266.14	15.5	26/OCT/11	11:40	290.12	19.7	18.5
CECATI 55	26/OCT/11	09:00	9.3	7096155	30/OCT/11	291.2	18.7	03/NOV/11	10:36	315.2	17.5	17.0
Lázaro Cárdenas	26/OCT/11	10:25	14.8	7096156	30/OCT/11	9317.00	13.9	03/NOV/11	11:39	9340.98	13.1	19.0
Unidad Móvil	26/OCT/11	11:40	18.5	7096157	30/OCT/11	290.14	19.4	03/NOV/11	12:50	314.12	18.0	21.0
CECATI 55	03/NOV/11	10:40	17.0	7096146	05/NOV/11	315.3	15.5	08/NOV/11	11:45	339.2	16.1	22.4
Lázaro Cárdenas	03/NOV/11	11:47	19.0	7096152	05/NOV/11	9341.03	12.5	08/NOV/11	13:43	9365.02	13.0	24.6
Unidad Móvil	03/NOV/11	13:00	21.0	7096153	05/NOV/11	314.27	17.2	08/NOV/11	15:26	338.25	19.3	25.1
CECATI 55	08/NOV/11	13:00	23.0	7096154	11/NOV/11	339.9	16.5	15/NOV/11	10:46	363.9	16.6	21.0
Lázaro Cárdenas	08/NOV/11	14:54	26.0	7096158	11/NOV/11	9365.60	12.3	15/NOV/11	11:53	9389.58	13.4	22.0
Unidad Móvil	08/NOV/11	16:28	25.6	7096159	11/NOV/11	338.70	18.8	15/NOV/11	13:21	362.68	19.0	24.0
CECATI 55	15/NOV/11	11:08	21.4	7096160	17/NOV/11	364.1	16.8	22/NOV/11	10:45	388.1	19.7	19.9
Lázaro Cárdenas	15/NOV/11	12:07	22.0	7096162	17/NOV/11	9389.73	12.6	22/NOV/11	12:20	9413.72	13.9	23.5
Unidad Móvil	15/NOV/11	13:30	24.0	7096163	17/NOV/11	362.95	17.5	22/NOV/11	Invalidado por nido de pájaro			
CECATI 55	22/NOV/11	10:45	19.9	7096166	23/NOV/11	388.1	17.3	24/NOV/11	11:22	412.1	16.3	21.5
Lázaro Cárdenas	22/NOV/11	12:20	23.5	7096167	23/NOV/11	9413.74	12.8	24/NOV/11	12:48	9437.72	12.4	19.3
Unidad Móvil	22/NOV/11	13:27	24.1	7096168	23/NOV/11	386.95	18.2	24/NOV/11	14:14	410.94	19.4	22.0
CECATI 55	24/NOV/11	11:22	21.5	7096164	29/NOV/11	412.2	16.1	01/DIC/11	10:00	436.1	19.8	18.0
Lázaro Cárdenas	24/NOV/11	12:48	19.3	7096165	29/NOV/11	9437.82	12.0	01/DIC/11	12:10	9461.80	15.0	19.0
Unidad Móvil	24/NOV/11	14:14	22.0	7096169	29/NOV/11	410.99	19.4	01/DIC/11	Invalidado por nido de pájaro			
CECATI 55	01/DIC/11	10:00	18.0	7096172	05/DIC/11	436.2	18.8	08/DIC/11	10:45	460.2	16.4	17.5
Lázaro Cárdenas	01/DIC/11	12:10	19.0	7096173	05/DIC/11	9461.82	14.8	08/DIC/11	11:52	9485.80	12.8	19.0
Unidad Móvil	01/DIC/11	12:50	21.0	7096174	05/DIC/11	434.99	18.1	08/DIC/11	12:55	458.99	17.0	20.0
CECATI 55	08/DIC/11	11:00	17.5	7096170	11/DIC/11	460.3	15.7	14/DIC/11	13:40	484.3	16.0	23.0
Lázaro Cárdenas	08/DIC/11	12:10	19.0	7096175	11/DIC/11	9485.96	12.4	14/DIC/11	12:30	9509.45	12.8	21.0
Unidad Móvil	08/DIC/11	13:12	21.0	7096176	11/DIC/11	459.14	16.9	14/DIC/11	11:10	483.12	17.3	18.0
CECATI 55	14/DIC/11	13:50	23.0	7096177	17/DIC/11	484.4	15.8	21/DIC/12	9:30	508.3	19.5	17.1
Lázaro Cárdenas	14/DIC/11	12:40	21.0	7096178	17/DIC/11	9510.08	12.6	21/DIC/12	11:00	9534.06	16.2	20.6
Unidad Móvil	14/DIC/11	11:35	18.0	7096179	17/DIC/11	483.34	16.7	21/DIC/12	12:30	507.32	20.1	23.2



CECATI 55	21/DIC/11	9:30	17.1	7096182	23/DIC/11	508.5	19.6	27/DIC/12	9:30	532.4	22.1	17.1
Lázaro Cárdenas	21/DIC/11	11:00	20.6	7096183	23/DIC/11	9534.23	15.9	27/DIC/12	11:05	9558.22	16.8	20.6
Unidad Móvil	21/DIC/11	12:30	23.2	7096184	23/DIC/11	507.51	19.8	27/DIC/12	11:50	531.49	21.7	23.2
CECATI 55	27/DIC/11	9:30	15.0	7096185	29/DIC/11	532.5	20.5	03/ENE/12	11:30	556.5	17.6	19.0
Lázaro Cárdenas	27/DIC/11	11:05	18.0	7096186	29/DIC/11	9558.24	16.4	03/ENE/12	12:50	9582.22	13.4	12.5
Unidad Móvil	27/DIC/11	11:50	20.3	7096187	29/DIC/11	531.52	19.9	03/ENE/12	14:15	555.50	18.5	24.0
CECATI 55	03/ENE/12	11:45	19.0	7096180	04/ENE/12	556.7	15.8					
Lázaro Cárdenas	03/ENE/12	13:06	12.5	7096188	04/ENE/12	9582.32	12.7					
Unidad Móvil	03/ENE/12	14:45	24.0	7096189	04/ENE/12	555.63	18.2					

Elaboró: I.Q. Gilberto Fuentes García.

**Anexo IV. Resultados de las calibraciones realizadas al equipo analizador de SO<sub>2</sub> y sus respectivas verificaciones de cero y span (línea base).**

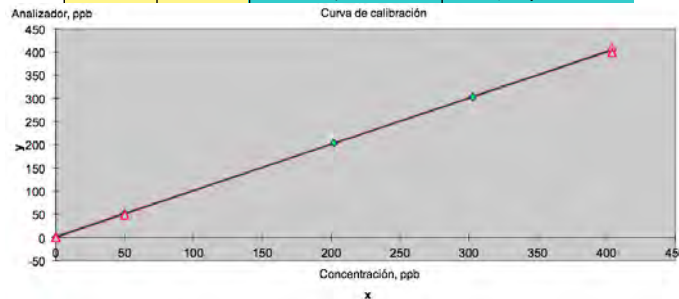
**Anexo IVa. Resultados de las calibraciones realizadas al equipo analizador de SO<sub>2</sub> y sus respectivas verificaciones de cero y span en la estación de monitoreo, CECATI 55.**

**Calibración multipunto realizada el 02 de julio de 2009.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
<b>C (ppb)</b>	<b>Areas</b>	Nº de datos=	5	
0	1	ordenada=	1	+/- 2
404	405	pendiente=	0.998	+/- 0
303	303	coef corr=	0.999	
202	203	Riesgo de que el área sea	1.4696E-06	%
50	52	Límite de detección :		
		CMD (estimado)	3 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: y adicional = y calculada
<b>C (ppb)</b>	<b>Areas</b>	<b>Areas</b>		<b>de predicción</b>	<b>¿Es parte de la recta?</b>
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
404	404	405	+/-	2	si, aceptar dato
50	51	51	+/-	1	si, aceptar dato
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
404	405	405	+/-	2	si, aceptar dato
50	50	51	+/-	1	si, aceptar dato
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
404	406	405	+/-	2	si, aceptar dato
50	50	51	+/-	1	si, aceptar dato
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
404	406	405	+/-	2	si, aceptar dato
50	52	51	+/-	1	si, aceptar dato

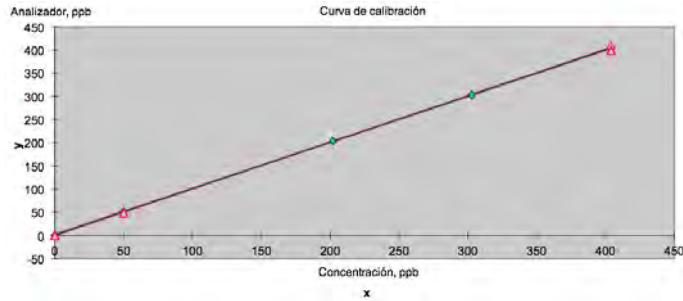


**Calibración multipunto realizada el 28 de octubre de 2009.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
<b>C (ppb)</b>	<b>Areas</b>	Nº de datos=	5	
0	0	ordenada=	-1	+/- 2
393	394	pendiente=	1	+/- 0
295	295	coef corr=	0.999	
196	195	Riesgo de que el área sea	2.1332E-06	%
49	48	Límite de detección :		
		CMD (estimado)	3 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: y adicional = y calculada
<b>C (ppb)</b>	<b>Areas</b>	<b>Areas</b>		<b>de predicción</b>	<b>¿Es parte de la recta?</b>
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	394	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	47	48	+/-	1	si, aceptar dato
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	395	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	48	48	+/-	1	si, aceptar dato
0	0	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	395	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	50	48	+/-	1	no, rechazar dato
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	392	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	48	48	+/-	1	si, aceptar dato



Calibración multipunto realizada el 03 de febrero de 2010.

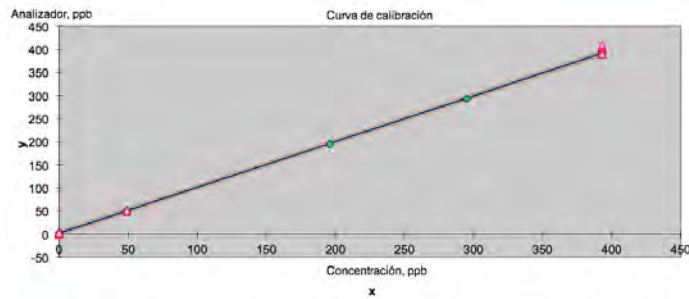
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	3
393	393
295	293
196	195
49	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	2	+/- 3
pendiente=	0.99019162	+/- 0
coef corr=	0.99996799	
Riesgo de que no sea recta=	1.6735E-05	%
Límite de detección :		
CMD (estimado)	5	ppb

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	H0: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	0	2	+/-	3	si, aceptar dato
393	393	391	+/-	4	si, aceptar dato
49	49	51	+/-	3	si, aceptar dato
0	1	2	+/-	3	si, aceptar dato
393	405	391	+/-	4	no, rechazar dato
49	52	51	+/-	3	si, aceptar dato
0	3	2	+/-	3	si, aceptar dato
393	393	391	+/-	4	si, aceptar dato
49	52	51	+/-	3	si, aceptar dato
0	1	2	+/-	3	si, aceptar dato
393	394	391	+/-	4	si, aceptar dato
49	51	51	+/-	3	si, aceptar dato
0	2	2	+/-	3	si, aceptar dato
393	389	391	+/-	4	si, aceptar dato
49	50	51	+/-	3	si, aceptar dato



Calibración multipunto realizada el 07 de mayo de 2010.

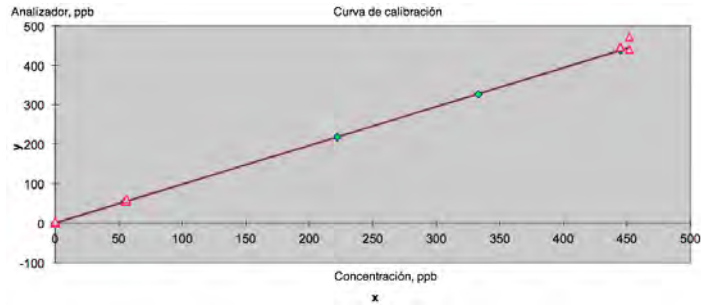
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	0
445	438
333	327
222	218
55	55

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	0	+/- 1
pendiente=	0.98	+/- 0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea recta=	8.3452E-07	%
Límite de detección :		
CMD (estimado)	2	ppb

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	H0: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	0	0	+/-	1	si, aceptar dato
445	448	438	+/-	2	no, rechazar dato
55	55	54	+/-	1	si, aceptar dato
0	1	0	+/-	1	si, aceptar dato
445	440	438	+/-	2	no, rechazar dato
55	55	54	+/-	1	si, aceptar dato
0	1	0	+/-	1	si, aceptar dato
452	453	444	+/-	2	no, rechazar dato
56	55	55	+/-	1	si, aceptar dato
0	0	0	+/-	1	si, aceptar dato
452	450	444	+/-	2	no, rechazar dato
56	55	55	+/-	1	si, aceptar dato



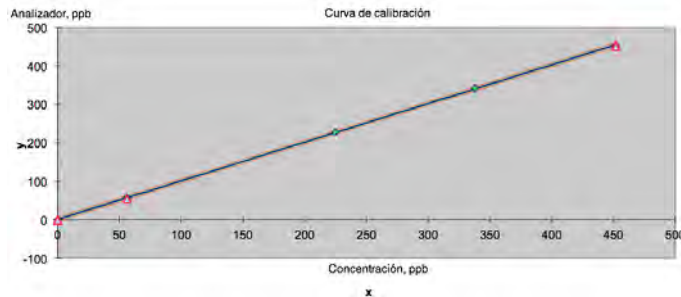
Calibración multipunto realizada el 23 de julio de 2010.

C (ppb)	Areas
0	0
452	453
338	342
225	228
56	57

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	1 +/-	4
pendiente=	1 +/-	0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	1.4073E-05	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	6	ppb

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/- intervalo	H0: Y adicional = Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-2	1	+/- 4	si, aceptar dato
452	452	455	+/- 4	si, aceptar dato
56	54	57	+/- 3	si, aceptar dato
0	0	1	+/- 4	si, aceptar dato
452	451	455	+/- 4	si, aceptar dato
56	55	57	+/- 3	si, aceptar dato
0	-1	1	+/- 4	si, aceptar dato
452	457	455	+/- 4	si, aceptar dato
56	56	57	+/- 3	si, aceptar dato
0	-1	1	+/- 4	si, aceptar dato
452	454	455	+/- 4	si, aceptar dato
56	54	57	+/- 3	si, aceptar dato



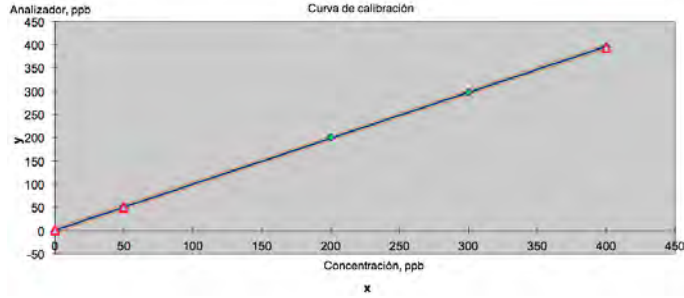
Calibración multipunto realizada el 20 de octubre de 2010.

x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	-1
400	395
300	297
200	200
50	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	1 +/-	4
pendiente=	0.988 +/-	0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	1.8209E-05	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	6	ppb

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/- intervalo	H0: Y adicional = Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción	¿Es parte de la recta?
0	4	1	+/- 4	si, aceptar dato
400	395	396	+/- 4	si, aceptar dato
50	52	50	+/- 3	si, aceptar dato
0	4	1	+/- 4	si, aceptar dato
400	395	396	+/- 4	si, aceptar dato
50	52	50	+/- 3	si, aceptar dato
0	-1	1	+/- 4	si, aceptar dato
400	393	396	+/- 4	si, aceptar dato
50	48	50	+/- 3	si, aceptar dato
0	0	1	+/- 4	si, aceptar dato
400	393	396	+/- 4	si, aceptar dato
50	49	50	+/- 3	si, aceptar dato



**Calibración multipunto realizada el 02 de febrero de 2011.**

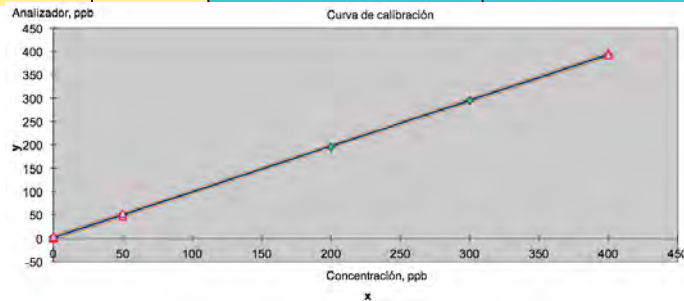
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	2
400	394
300	295
200	195
50	50

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	1	+/- 3
pendiente=	0.98	+/- 0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	1.361E-05	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	5	ppb

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/- intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-1	1	+/- 3	si, aceptar dato
400	396	393	+/- 3	si, aceptar dato
50	49	50	+/- 3	si, aceptar dato
0	1	1	+/- 3	si, aceptar dato
400	396	393	+/- 3	si, aceptar dato
50	48	50	+/- 3	si, aceptar dato
0	4	1	+/- 3	si, aceptar dato
400	393	393	+/- 3	si, aceptar dato
50	52	50	+/- 3	si, aceptar dato



**Calibración multipunto realizada el 12 de mayo de 2011.**

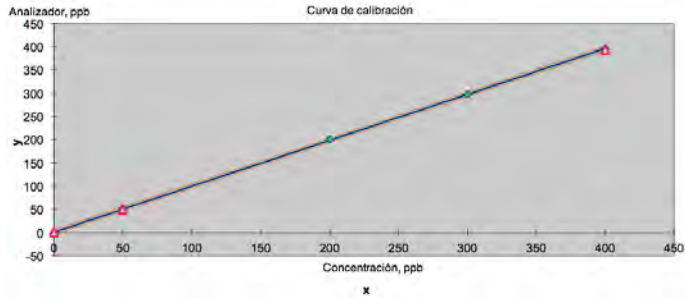
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	1
400	398
300	297
200	198
50	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	1	+/- 2
pendiente=	0.99	+/- 0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	5.1308E-06	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	4	ppb

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/- intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción	¿Es parte de la recta?
0	1	1	+/- 2	si, aceptar dato
400	396	397	+/- 3	si, aceptar dato
50	49	50	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	1	+/- 2	si, aceptar dato
400	399	397	+/- 3	si, aceptar dato
50	50	50	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	1	+/- 2	si, aceptar dato
400	398	397	+/- 3	si, aceptar dato
50	49	50	+/- 2	si, aceptar dato
0	0	1	+/- 2	si, aceptar dato
400	399	397	+/- 3	si, aceptar dato
50	52	50	+/- 2	si, aceptar dato



Calibración multipunto realizada el 30 de agosto de 2011.

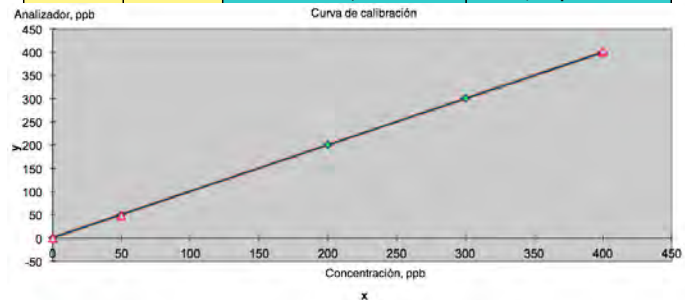
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	1
400	399
300	301
200	201
50	50

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	1 +/- 2	
pendiente=	0.99 +/- 0	
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	3.4714E-06	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	3 ppb	

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: y adicional=y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	0	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	399	400	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	51	+/-	2	si, aceptar dato
0	-1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	402	400	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	51	+/-	2	si, aceptar dato



Calibración multipunto realizada el 09 de noviembre de 2011.

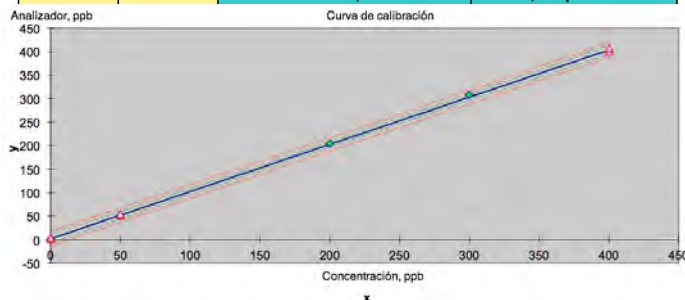
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	1
400	398
300	308
200	204
50	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	2 +/- 10	
pendiente=	1 +/- 0	
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	0.00037272	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	16 ppb	

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: y adicional=y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	2	2	+/-	10	si, aceptar dato
400	400	403	+/-	11	si, aceptar dato
50	52	52	+/-	8	si, aceptar dato
0	4	2	+/-	10	si, aceptar dato
400	408	403	+/-	11	si, aceptar dato
50	55	52	+/-	8	si, aceptar dato



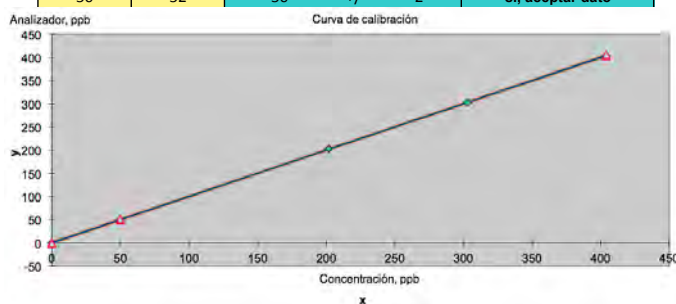
**Anexo IVb. Resultados de las calibraciones realizadas al equipo analizador de SO<sub>2</sub> y sus respectivas verificaciones de cero y span en la estación de monitoreo, Lázaro Cárdenas.**

**Calibración multipunto realizada el 02 de julio de 2009.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5	
0	1	ordenada=	0 +/-	2
404	404	pendiente=	1 +/-	0
303	303	coef corr=	0.999	
202	203	Riesgo de que no sea	3.93E-06	%
50	49	Límite de detección :		
		CMD (estimado)	3 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	0	0	+/-	2	si, aceptar dato
404	405	404	+/-	2	si, aceptar dato
50	51	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	0	0	+/-	2	si, aceptar dato
404	404	404	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	-1	0	+/-	2	si, aceptar dato
404	403	404	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	-1	0	+/-	2	si, aceptar dato
404	406	404	+/-	2	si, aceptar dato
50	52	50	+/-	2	si, aceptar dato

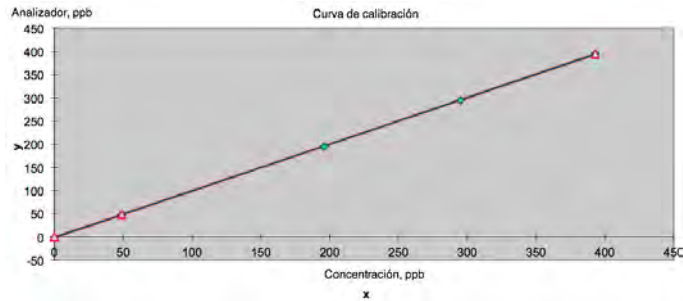


**Calibración multipunto realizada el 28 de octubre de 2009.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5	
0	0	ordenada=	-1 +/-	2
393	394	pendiente=	1 +/-	0
295	295	coef corr=	0.999	
196	195	Riesgo de que no sea	2.1332E-06	%
49	48	Límite de detección :		
		CMD (estimado)	3 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	394	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	47	48	+/-	1	si, aceptar dato
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	395	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	48	48	+/-	1	si, aceptar dato
0	0	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	395	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	50	48	+/-	1	no, rechazar dato
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	392	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	48	48	+/-	1	si, aceptar dato

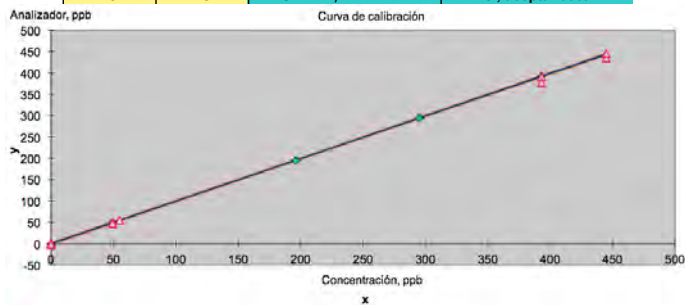


**Calibración multipunto realizada el 03 de febrero de 2010.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5	
0	0	ordenada=	-1	+/- 2
393	394	pendiente=	1	+/- 0
295	295	coef corr=	0.999	
196	195	Riesgo de que no sea	2.1332E-06	%
49	48	Limite de detección :		
		CMD (estimado)	3	ppb

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	394	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	47	48	+/-	1	si, aceptar dato
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	395	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	48	48	+/-	1	si, aceptar dato
0	0	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	395	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	50	48	+/-	1	no, rechazar dato
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	392	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	48	48	+/-	1	si, aceptar dato



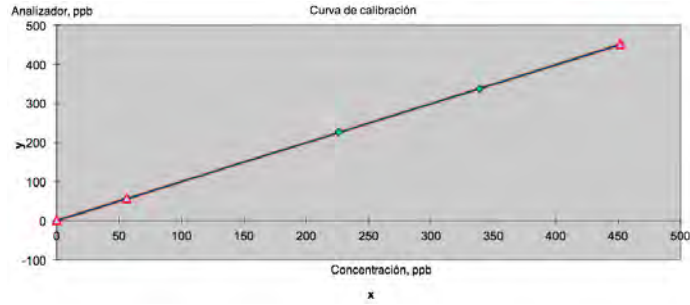
**Calibración multipunto realizada el 16 de junio de 2010.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5	
0	-1	ordenada=	0	+/- 3
452	450	pendiente=	1	+/- 0
339	337	coef corr=		
226	226	Riesgo de que no sea	4.3299E-06	%
56	57	Limite de detección :		
		CMD (estimado)	4	ppb

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		predicción	¿Es parte de la recta?
0	2	0	+/-	3	si, aceptar dato
452	450	450	+/-	3	si, aceptar dato
56	56	56	+/-	2	si, aceptar dato
0	2	0	+/-	3	si, aceptar dato
452	451	450	+/-	3	si, aceptar dato
56	57	56	+/-	2	si, aceptar dato
0	0	0	+/-	3	si, aceptar dato
452	457	450	+/-	3	no, rechazar dato
56	56	56	+/-	2	si, aceptar dato
0	1	0	+/-	3	si, aceptar dato
452	450	450	+/-	3	si, aceptar dato
56	57	56	+/-	2	si, aceptar dato





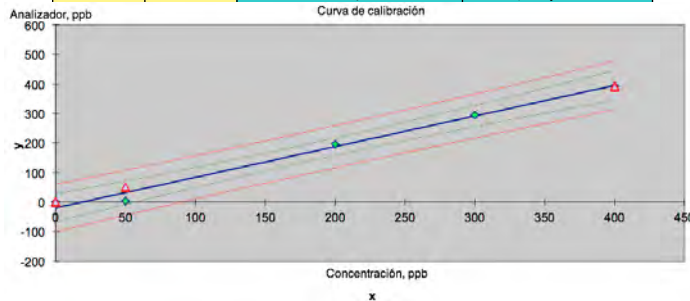
**Calibración multipunto realizada el 20 de octubre de 2010.**

x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	1
400	398
300	308
200	204
50	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	2 +/- 10	
pendiente=	1 +/- 0	
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	0.00037272	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	16	ppb

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/- intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción	¿Es parte de la recta?
0	1	1	+/- 2	si, aceptar dato
400	396	397	+/- 3	si, aceptar dato
50	49	50	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	1	+/- 2	si, aceptar dato
400	399	397	+/- 3	si, aceptar dato
50	50	50	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	1	+/- 2	si, aceptar dato
400	398	397	+/- 3	si, aceptar dato
50	49	50	+/- 2	si, aceptar dato
0	0	1	+/- 2	si, aceptar dato
400	399	397	+/- 3	si, aceptar dato
50	52	50	+/- 2	si, aceptar dato



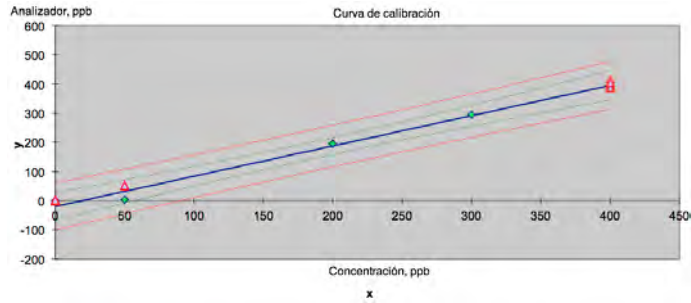
**Calibración multipunto realizada el 16 de febrero de 2011.**

x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	0
400	392
300	295
200	195
50	49

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	0 +/- 2	
pendiente=	1 +/- 0	
coef corr=	0.9999113	
Riesgo de que no sea	2.4393E-06	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	3	ppb

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/- intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-1	0	+/- 2	si, aceptar dato
400	393	392	+/- 2	si, aceptar dato
50	49	49	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	0	+/- 2	si, aceptar dato
400	393	392	+/- 2	si, aceptar dato
50	50	49	+/- 2	si, aceptar dato
0	0	0	+/- 2	si, aceptar dato
400	394	392	+/- 2	si, aceptar dato
50	49	49	+/- 2	si, aceptar dato
0	0	0	+/- 2	si, aceptar dato
400	391	392	+/- 2	si, aceptar dato
50	49	49	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	0	+/- 2	si, aceptar dato
400	393	392	+/- 2	si, aceptar dato
50	50	49	+/- 2	si, aceptar dato



Calibración multipunto realizada el 25 de mayo de 2011.

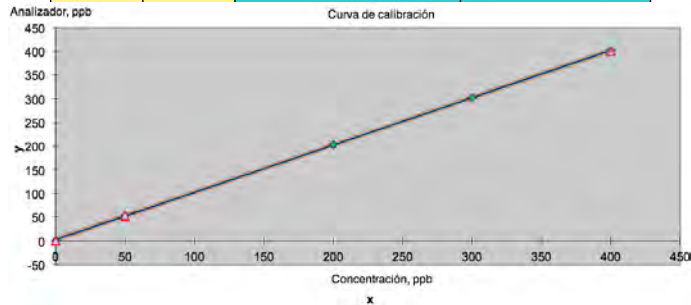
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	1
400	398
300	308
200	204
50	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	2 +/-	10
pendiente=	1 +/-	0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	0.00037272	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	16	ppb

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	396	397	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	399	397	+/-	3	si, aceptar dato
50	50	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	398	397	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	0	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	399	397	+/-	3	si, aceptar dato
50	52	50	+/-	2	si, aceptar dato



Calibración multipunto realizada el 17 de agosto de 2011.

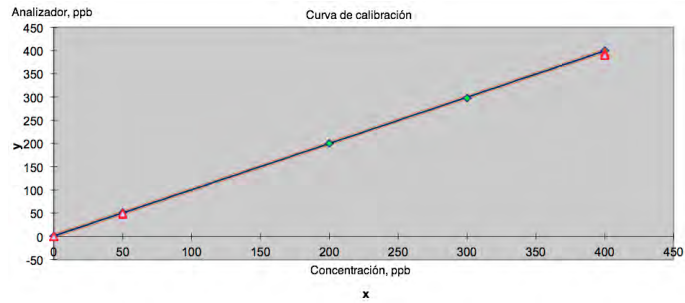
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	1
400	398
300	297
200	198
50	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	1 +/-	2
pendiente=	0.99 +/-	0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	5.1308E-06	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	4	ppb

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	396	397	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	399	397	+/-	3	si, aceptar dato
50	50	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	1	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	398	397	+/-	3	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	0	1	+/-	2	si, aceptar dato
400	399	397	+/-	3	si, aceptar dato
50	52	50	+/-	2	si, aceptar dato



Calibración multipunto realizada el 23 de noviembre de 2011.

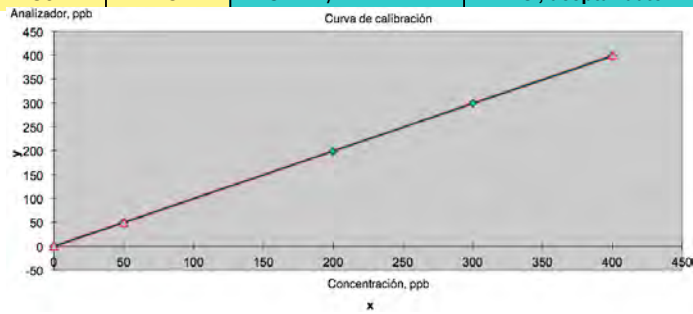
x	y=respuesta
C (ppb)	Areas
0	1
400	398
300	297
200	198
50	51

riesgo=	5	%
Nº de datos=	5	
ordenada=	1	+/- 2
pendiente=	0.99	+/- 0
coef corr=	0.999	
Riesgo de que no sea	5.1308E-06	%
Limite de detección :		
CMD (estimado)	4	ppb

Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.

X <sub>adicional</sub>	Y <sub>adicional</sub>	Y <sub>calculada</sub>	+/- intervalo	Ho: Y <sub>adicional</sub> =Y <sub>calculada</sub>
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-1	0	+/- 2	si, aceptar dato
400	393	392	+/- 2	si, aceptar dato
50	49	49	+/- 2	si, aceptar dato



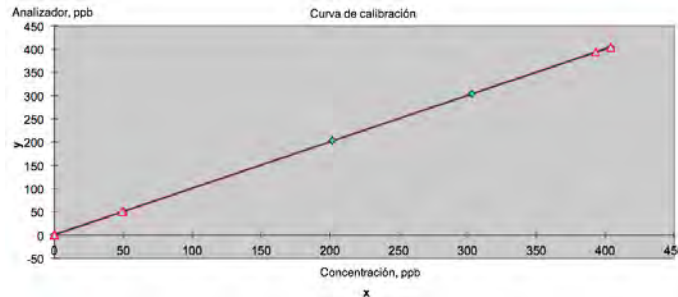
**Anexo IVc. Resultados de las calibraciones realizadas al equipo analizador de SO<sub>2</sub> y sus respectivas verificaciones de cero y span en la estación de monitoreo, Unidad Móvil.**

**Calibración multipunto realizada el 06 de agosto de 2009.**

x	y=respuesta	riesgo= 5 %	
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5
0	1	ordenada=	0 +/- 2
404	404	pendiente=	1 +/- 0
303	303	coef corr=	0.999
202	203	Riesgo de que no sea	3.93E-06 %
50	49	Límite de detección :	
		CMD (estimado)	3 ppb

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	0	0	+/-	2	si, aceptar dato
404	405	404	+/-	2	si, aceptar dato
50	51	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	0	0	+/-	2	si, aceptar dato
404	404	404	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	-1	0	+/-	2	si, aceptar dato
404	403	404	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	2	si, aceptar dato
0	-1	0	+/-	2	si, aceptar dato
404	406	404	+/-	2	si, aceptar dato
50	52	50	+/-	2	si, aceptar dato

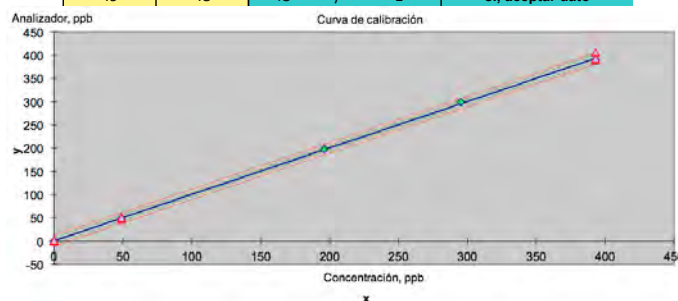


**Calibración multipunto realizada el 02 de diciembre de 2009.**

x	y=respuesta	riesgo= 5 %	
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5
0	0	ordenada=	-1 +/- 2
393	394	pendiente=	1 +/- 0
295	295	coef corr=	0.999
196	195	Riesgo de que no sea	2.1332E-06 %
49	48	Límite de detección :	
		CMD (estimado)	3 ppb

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	394	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	47	48	+/-	1	si, aceptar dato
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	395	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	48	48	+/-	1	si, aceptar dato
0	0	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	395	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	50	48	+/-	1	no, rechazar dato
0	-1	-1	+/-	2	si, aceptar dato
393	392	393	+/-	2	si, aceptar dato
49	48	48	+/-	1	si, aceptar dato

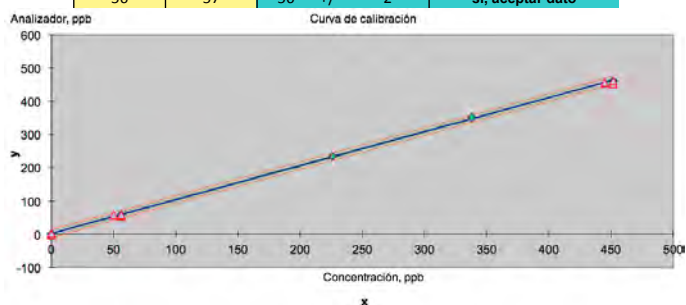


**Calibración multipunto realizada el 21 de abril de 2010.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5	
0	-1	ordenada=	0 +/- 3	
452	450	pendiente=	1 +/- 0	
339	337	coef corr=		
226	226	Riesgo de que no sea	4.3299E-06	%
56	57	Limite de detección :		
		CMD (estimado)	4 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	predicción	¿Es parte de la recta?
0	2	0	+/- 3	si, aceptar dato
452	450	450	+/- 3	si, aceptar dato
56	56	56	+/- 2	si, aceptar dato
0	2	0	+/- 3	si, aceptar dato
452	451	450	+/- 3	si, aceptar dato
56	57	56	+/- 2	si, aceptar dato
0	0	0	+/- 3	si, aceptar dato
452	457	450	+/- 3	no, rechazar dato
56	56	56	+/- 2	si, aceptar dato
0	1	0	+/- 3	si, aceptar dato
452	450	450	+/- 3	si, aceptar dato
56	57	56	+/- 2	si, aceptar dato

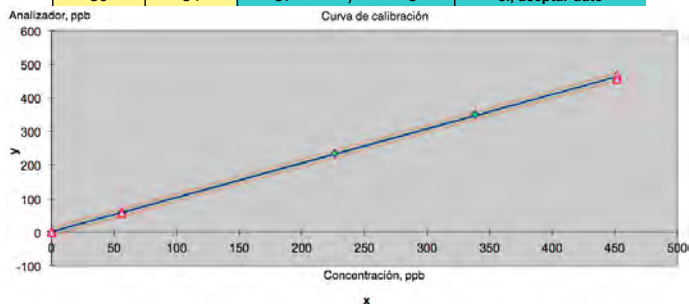


**Calibración multipunto realizada el 18 de agosto de 2010.**

C (ppb)	Areas	riesgo=	5	%
0	0	Nº de datos=	5	
452	453	ordenada=	1 +/- 4	
338	342	pendiente=	1 +/- 0	
225	228	coef corr=	0.999	
56	57	Riesgo de que no sea	1.4073E-05	%
		Limite de detección :		
		CMD (estimado)	6 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	predicción	de predicción	¿Es parte de la recta?
0	-2	1	+/- 4	4	si, aceptar dato
452	452	455	+/- 4	4	si, aceptar dato
56	54	57	+/- 3	3	si, aceptar dato
0	0	1	+/- 4	4	si, aceptar dato
452	451	455	+/- 4	4	si, aceptar dato
56	55	57	+/- 3	3	si, aceptar dato
0	-1	1	+/- 4	4	si, aceptar dato
452	457	455	+/- 4	4	si, aceptar dato
56	56	57	+/- 3	3	si, aceptar dato
0	-1	1	+/- 4	4	si, aceptar dato
452	454	455	+/- 4	4	si, aceptar dato
56	54	57	+/- 3	3	si, aceptar dato

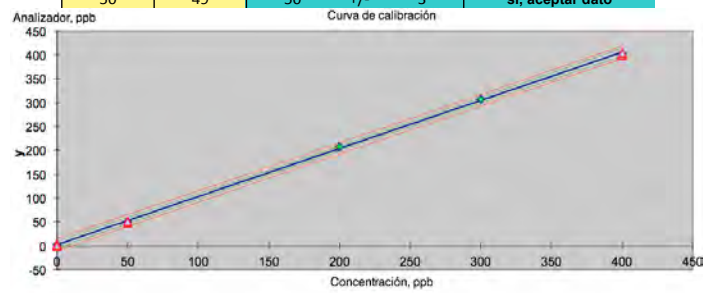


**Calibración multipunto realizada el 22 de diciembre de 2010.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5	
0	-1	ordenada=	1 +/-	4
400	395	pendiente=	0.988 +/-	0
300	297	coef corr=	0.999	
200	200	Riesgo de que no sea	1.8209E-05	%
50	51	Limite de detección :		
		CMD (estimado)	6 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción		¿Es parte de la recta?
0	4	1	+/-	4	si, aceptar dato
400	395	396	+/-	4	si, aceptar dato
50	52	50	+/-	3	si, aceptar dato
0	4	1	+/-	4	si, aceptar dato
400	395	396	+/-	4	si, aceptar dato
50	52	50	+/-	3	si, aceptar dato
0	-1	1	+/-	4	si, aceptar dato
400	393	396	+/-	4	si, aceptar dato
50	48	50	+/-	3	si, aceptar dato
0	0	1	+/-	4	si, aceptar dato
400	393	396	+/-	4	si, aceptar dato
50	49	50	+/-	3	si, aceptar dato

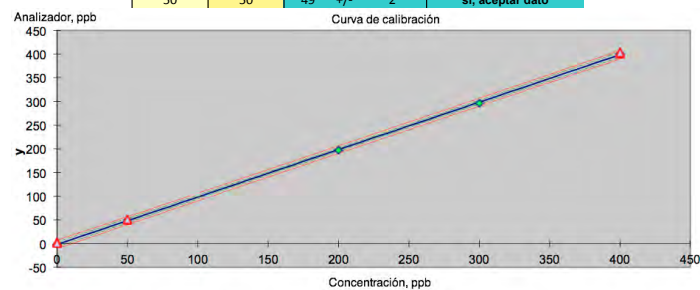


**Calibración multipunto realizada el 05 de mayo de 2011.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
C (ppb)	Areas	Nº de datos=	5	
0	0	ordenada=	0 +/-	2
400	392	pendiente=	1 +/-	0
300	295	coef corr=	0.9999113	
200	195	Riesgo de que no sea	2.4393E-06	%
50	49	Limite de detección :		
		CMD (estimado)	3 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculada	+/-	intervalo	Ho: Y adicional=Y calculada
C (ppb)	Areas	Areas	de predicción		¿Es parte de la recta?
0	-1	0	+/-	2	si, aceptar dato
400	393	392	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	49	+/-	2	si, aceptar dato
0	1	0	+/-	2	si, aceptar dato
400	393	392	+/-	2	si, aceptar dato
50	50	49	+/-	2	si, aceptar dato
0	0	0	+/-	2	si, aceptar dato
400	394	392	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	49	+/-	2	si, aceptar dato
0	0	0	+/-	2	si, aceptar dato
400	391	392	+/-	2	si, aceptar dato
50	49	49	+/-	2	si, aceptar dato
0	1	0	+/-	2	si, aceptar dato
400	393	392	+/-	2	si, aceptar dato
50	50	49	+/-	2	si, aceptar dato



**Calibración multipunto realizada el 09 de septiembre de 2011.**

x	y=respuesta	riesgo=	5	%
C (ppb)	Areas	N° de datos=	5	
0	0	ordenada=	0 +/- 4	
400	405	pendiente=	1 +/- 0	
300	302	coef corr=	0.999	
200	200	Riesgo de que no sea	1.9386E-05	%
50	52	Limite de detección :		
		CMD (estimado)	6 ppb	

**Verificaciones cero y span referente a la calibración multipunto.**

X adicional	Y adicional	Y calculado	+/-	intervalo	H0: Y adicional=Y calculado
C (ppb)	Areas	Areas		de predicción	¿Es parte de la recta?
0	0	0	+/-	4	si, aceptar dato
400	404	404	+/-	4	si, aceptar dato
50	52	51	+/-	3	si, aceptar dato
0	2	0	+/-	4	si, aceptar dato
400	401	404	+/-	4	si, aceptar dato
50	51	51	+/-	3	si, aceptar dato
0	-1	0	+/-	4	si, aceptar dato
400	400	404	+/-	4	si, aceptar dato
50	49	51	+/-	3	si, aceptar dato
0	1	0	+/-	4	si, aceptar dato
400	405	404	+/-	4	si, aceptar dato
50	48	51	+/-	3	si, aceptar dato
0	0	0	+/-	4	si, aceptar dato
400	404	404	+/-	4	si, aceptar dato
50	50	51	+/-	3	si, aceptar dato

