



**UNIVERSIDAD DE SONORA**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**POSGRADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR  
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> Y SO<sub>2</sub> EN LA  
CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA.**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ÁREA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA:**

**ÁLVARO SANTOS ROMO**

**HERMOSILLO, SONORA**

**NOVIEMBRE DE 2006**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## RESUMEN

El aumento de la contaminación atmosférica es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y el ambiente. La calidad del aire en la ciudad de Hermosillo se deteriora cada día más, debido principalmente al tráfico vehicular. El presente trabajo evalúa los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos por partículas finas  $PM_{10}$ , óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ), con el fin de cuantificar la calidad del aire en la ciudad. La importancia de conocer los niveles de concentración se manifiesta en la generación de información que permita elaborar programas de prevención y que sirva de control cuando dichos niveles alcancen o excedan los límites permitidos por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). La formación de una base de datos, junto con la información epidemiológica es un elemento de juicio en el proceso de fijación de normas o reformas a la ya existente.

Se ubicaron tres estaciones de monitoreo distribuidas por zonas en la ciudad que son, zona Norte-CESUES, Centro-CIBNOR y Sur-COBACH. El monitoreo se realizó en dos períodos de 7 días cada uno, verano e invierno. Los equipos trabajaron periodos consecutivos y continuos de 24 horas. Diariamente se obtuvo un filtro con muestras de  $PM_{10}$  de cada estación, éstos fueron analizados gravimétricamente para determinar su concentración, mientras que la presencia de gases se registró con equipo automatizado.

Se realizó un análisis con la información obtenida y se realizaron comparaciones con los niveles máximos permisibles que marcan las NOM's. Los resultados muestran que en el periodo de verano los niveles de concentración de los tres contaminantes analizados se encuentran muy por debajo de los límites permisibles por las NOM's. En la época fría, se presenta una clara tendencia al aumento en los niveles de concentración de los tres contaminantes. El nivel de concentración de  $NO_x$  excedió la norma cuatro días en la estación norte y dos días en la estación centro, estos excesos representan el 50 % en la estación norte y el 33 % en la estación centro, y con respecto a las  $PM_{10}$ , excedió la norma dos días en la estación norte, lo cual representa un porcentaje del 29 % de exceso. En cuanto a los  $SO_2$ , se registraron niveles muy por debajo de los límites normados aunque presentan un ligero aumento con respecto al primer periodo.

En base a los resultados obtenidos y considerando la singularidad de este estudio, se puede concluir que, aunque sin llegar a extremos, la calidad del aire no es la adecuada, lo cual se comenta en el capítulo correspondiente de conclusiones y recomendaciones.

## ABSTRACT

The increase of the atmospheric contamination is a sharp threat, accumulative and chronic for the human health and the environment. Each day the air quality in Hermosillo city deteriorates more, due mainly to the road traffic cars. This study evaluates the concentration levels of atmospheric pollution by particulate matter 10 microns and less ( $PM_{10}$ ), nitrogen oxides ( $NO_x$ ) and sulphur dioxide ( $SO_2$ ), in order to measure the air quality in the city. The importance to know the concentration levels is manifested in the information generation that allow to elaborate prevention programs and that serve of control when these levels reach or exceed the limits permitted by the Official Norms Mexicans (NOM). The formation data base, together with the information epidemic is judgment element in elaboration process of norms or reforms to the already existing one.

Three monitoring stations were located distributed by zones in the city that are, zone North-CESUES, Center-CIBNOR and South-COBACH. The measurement was carried out in two periods of 7 days each one, summer and winter. The equipment worked continuous and consecutive periods of 24 hours. Daily a filter with samples of  $PM_{10}$  of each station was obtained; these were analyzed gravimetrically to determine its concentration, while the presence of pollutants gas was registered with equipment automated.

An analysis with obtained information was carried out and comparisons with allowed maximum levels by the NOM's were carried out. The results show that in the period of summer the levels of concentration of the three pollutants analyzed are found very under the allowed limits by the NOM's. In the cold period, a clear tendency to the increase in the levels of concentration of these pollutants is presented. The concentration level of  $NO_x$  exceeded the norm four days in the north station and two days in the station center, these excess represent 50 % at north station and 33 % at center, and with regard to the  $PM_{10}$ , exceeded the norm two days in the north station, which represent 29 percent of excess. For the  $SO_2$ , they registered levels very under the allowed limits although present a light increase with regard to the first period.

In agreement with to the results obtained and considering the singularity of this study can be concluded that, although without arriving at extremes, the quality of the air is not the adequate one, which is commented in the corresponding chapter of conclusions and recommendations.

## **DEDICATORIA**

**A MI ESPOSA MARÍA ISELA Y A MIS HIJOS ESTEPHANIE ANAID, SAYRA  
GUADALUPE Y LUIS ÁLVARO, POR SU CARÍÑO, APOYO, PACIENCIA Y  
COMPRENSIÓN.**

**A MIS PADRES POR SU INCONDICIONAL APOYO EN EL LOGRO DE MIS  
PROYECTOS.**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	iii
<b>ABSTRACT</b>	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	ix
<b>LISTA DE TABLAS</b>	x
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	xii
<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO</b>	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo	3
<b>2. ANTECEDENTES</b>	4
2.1. Calidad del aire	4
2.2. Fuentes de contaminación	4
2.3. Clasificación de contaminantes del aire	6
2.3.1. Partículas suspendidas (PM <sub>10</sub> )	6
2.3.2. Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	7
2.3.3. Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	8
2.4. Efectos de la contaminación del aire	9
2.4.1. Efectos a la salud por partículas suspendidas PM <sub>10</sub>	9
2.4.2. Efectos a la salud por óxidos de nitrógeno	15
2.4.3. Efectos a la salud por dióxido de azufre	18
2.5. Inventario de emisiones en México	22
2.6. Concentración de Partículas en la Ciudad de Hermosillo, Sonora	24
<b>3. ÁREA DE ESTUDIO</b>	27
3.1. Localización	27
3.2. Climatología	27
3.3. Vegetación	28
3.4. Población	28
3.5. Parque vehicular	28
<b>4. METODOLOGÍA</b>	30
4.1. Equipo	30
4.2. Principios de detección	30
4.2.1 Dióxido de azufre	30
4.2.2 Óxidos de nitrógeno	31
4.2.3 Partículas de 10 micras	32

4.3	Calibración del Equipo	33
4.3.1	Dióxido de azufre	33
4.3.2	Óxidos de nitrógeno	33
4.3.3	Partículas de 10 micras	35
4.4.	Densidad o número de puntos de muestreo requeridos	36
4.5.	Localización y distribución de las estaciones de muestreo	37
4.6.	Periodos del monitoreo y muestras	38
4.7.	Análisis de la información	39
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>40</b>
5.1.	Resultados del primer muestreo	40
5.1.1	Concentración de SO <sub>2</sub> en Estación Sur	40
5.1.2	Concentración de SO <sub>2</sub> en Estación Centro	43
5.1.3	Concentración de SO <sub>2</sub> en Estación Norte	45
5.1.4	Concentración Diaria de SO <sub>2</sub> Durante el Primer Periodo de Monitoreo	47
5.1.5	Concentración de NO <sub>x</sub> en Estación Norte	48
5.1.6	Concentración de NO <sub>x</sub> en Estación Centro	53
5.1.7	Concentración Diaria de NO <sub>x</sub> Durante el Primer Periodo de Monitoreo	57
5.1.8	Concentración Diaria de PM <sub>10</sub> Durante el Primer Periodo de Monitoreo	58
5.2.	Resultados del Segundo Periodo de Muestreo	59
5.2.1	Concentración de SO <sub>2</sub> en Estación Sur	60
5.2.2	Concentración de SO <sub>2</sub> en Estación Centro	62
5.2.3	Concentración de SO <sub>2</sub> en Estación Norte	64
5.2.4	Concentración Diaria de SO <sub>2</sub> Durante el Segundo Periodo de Monitoreo	66
5.2.5	Concentración de NO <sub>x</sub> en Estación Centro	67
5.2.6	Concentración de NO <sub>x</sub> en Estación Norte	70
5.2.7	Concentración Diaria de NO <sub>x</sub> Durante el Segundo Periodo de Monitoreo	72
5.2.8	Concentración Diaria de PM <sub>10</sub> Durante el Segundo Periodo de Monitoreo	73
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>74</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>78</b>
7.1.	Criterios para Evaluar la Calidad del Aire Ambiente	78
7.2.	Concentración de PST y PM <sub>10</sub> del Programa de Evaluación y Monitoreo de la Calidad del Aire de la Ciudad de Hermosillo (PEMCA)	80
7.3	Rosa de Vientos	83
7.4	Principales Causas de Mortalidad	85
7.5	Meteorología	86

7.5.1 Meteorología del Mes de Julio	86
7.5.2 Meteorología del Mes de Diciembre	88
7.6 Emisión de NOx del Parque Vehicular	90
<b>8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>91</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
2.1. Cambio porcentual de la mortalidad diaria atribuida al PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> y sulfatos	11
2.2. Cambio porcentual en las internaciones hospitalarias atribuidas a PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> y sulfatos	11
2.3. Cambio porcentual en los efectos en la salud atribuidos al PM <sub>10</sub>	12
2.4. Mapa de la ciudad de Hermosillo de 1995	26
3.1. Localización de área de estudio	29
4.1. Ubicación de las estaciones de monitoreo en la Ciudad de Hermosillo, Sonora	38
5.1. Concentración diaria de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del COBACH	41
5.2. Concentración de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	43
5.3. Concentración de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del CESUES	45
5.4. Valores promedios diarios de SO <sub>2</sub> de las tres estaciones de monitoreo y valor límite permisible	47
5.5. Concentración de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES	49
5.6. Concentración de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	53
5.7. Concentración promedio máxima diaria de NO <sub>x</sub> de las estaciones del CIBNOR y CESUES y límite permisible por la NOM	57
5.8. Concentración diaria de PM <sub>10</sub> y valor límite permisible	58
5.9. Concentración diaria de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del COBACH	60
5.10. Concentración diaria de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	62
5.11. Concentración diaria de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del CESUES	64
5.12. Valores promedios diarios de SO <sub>2</sub> de las tres estaciones de monitoreo y valor límite permisible	66
5.13. Concentración diaria de NO <sub>x</sub> de la estación del CIBNOR	67
5.14. Concentración diaria de NO <sub>x</sub> de la estación del CESUES	70
5.15. Concentración promedio máxima diaria NO <sub>x</sub> del segundo muestreo	72
5.16. Concentración diaria de PM <sub>10</sub> y valor límite permisible	73
7.1. Concentración de PST del PEMCA	81
7.2. Concentración de PM <sub>10</sub> del PEMCA	82
7.3. Rosa de vientos del periodo del primer muestreo	83
7.4. Rosa de vientos del periodo del segundo muestreo	84
7.5. Gráfica de temperatura del mes de julio	86
7.6. Gráfica de Humedad relativa del mes de julio	86
7.7. Gráfica de Presión atmosférica del mes de julio	87
7.8. Gráfica de Velocidad del viento del mes de julio	87
7.9. Gráfica de temperatura del mes de diciembre	88
7.10. Gráfica de Humedad relativa del mes de diciembre	88
7.11. Gráfica de Presión atmosférica del mes de diciembre	89
7.12. Gráfica de Velocidad del viento del mes de diciembre	89

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
2.1. Composición química del aire atmosférico seco	5
2.2. Valores límite de PM <sub>10</sub> para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea	13
2.3. Valores guía para NO <sub>2</sub> recomendados por la OMS	15
2.4. Valores límite de NO <sub>2</sub> para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea	16
2.5. Valores guía para SO <sub>2</sub> recomendados por la OMS	19
2.6. Valores límite para la protección de la salud pública para las normas de SO <sub>2</sub> en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea	19
2.7. Inventario de emisiones (tonelada/año) en las principales zonas metropolitanas de México	22
2.8. Resumen de PM <sub>10</sub> en la ciudad de Hermosillo durante 1994-1995	25
4.1. Criterio para establecer el número de estaciones de muestreo	36
5.1. Concentración diaria de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del COBACH	41
5.2. Valores promedios horarios de SO <sub>2</sub> de estación de monitoreo del COBACH	42
5.3. Concentración de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	43
5.4. Valores promedios horarios de SO <sub>2</sub> de estación de monitoreo del CIBNOR	44
5.5. Concentración de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del CESUES	45
5.6. Valores promedios horarios de SO <sub>2</sub> de estación de monitoreo del CESUES	46
5.7. Valores promedios diarios de SO <sub>2</sub> de las tres estaciones de monitoreo y valor límite permisible por la NOM	48
5.8. Concentración diaria de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES	49
5.9. Concentración mínima horaria de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES	50
5.10. Concentración promedio horaria de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES	51
5.11. Concentración máxima horaria de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES	52
5.12. Concentración diaria de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	53
5.13. Concentración mínima horaria de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	54
5.14. Concentración promedio horaria de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	55
5.15. Concentración máxima horaria de NO <sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	56
5.16. Valores promedios máximos diarios de NO <sub>x</sub> de las estaciones del CIBNOR y CESUES y valor límite permisible	58

5.17. Concentración diaria de PM <sub>10</sub> y valor límite permisible	59
5.18. Concentración diaria de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del COBACH	60
5.19. Valores promedios horarios de SO <sub>2</sub> de estación de monitoreo del COBACH	61
5.20. Concentración diaria de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR	62
5.21. Valores promedios horarios de SO <sub>2</sub> de estación de monitoreo del CIBNOR	63
5.22. Concentración diaria de SO <sub>2</sub> en estación de monitoreo del CESUES	64
5.23. Valores promedios horarios de SO <sub>2</sub> de estación de monitoreo del CESUES	65
5.24. Valores promedios diarios de SO <sub>2</sub> de las tres estaciones de monitoreo y valor límite permisible por la NOM	66
5.25. Concentración diaria de NO <sub>x</sub> de la estación del CIBNOR	68
5.26. Concentración promedio horaria de NO <sub>x</sub> de la estación del CIBNOR	69
5.27. Concentración diaria de NO <sub>x</sub> de la estación del CESUES	70
5.28. Concentración promedio horaria de NO <sub>x</sub> de la estación del CESUES	71
5.29. Concentración promedio máxima diaria NO <sub>x</sub> del segundo muestreo	72
5.30. Concentración diaria de PM <sub>10</sub> y valor límite permisible	73
7.1. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente	79
7.2. Principales causas de mortalidad en Hermosillo, Sonora	85

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, por ofrecerme la oportunidad y el apoyo para cursar la Maestría.

A los maestros que me asesoraron y apoyaron en el desarrollo del proyecto, al M. C. Gilberto García Navarrete, M. C. Guillermo T. Munive y especialmente al M. C. Jaime Varela Salazar por su desinteresada ayuda y dedicación durante todo el desarrollo del proyecto.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. por brindarme la confianza y oportunidad de continuar con mi preparación profesional, muy en especial al Dr. Jorge Hernández López quien sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de este estudio..... al Dr. mil gracias.

Al H. Ayuntamiento de Hermosillo, Dirección de Desarrollo Urbano y Obras Públicas, Subdirección de Ecología por su apoyo en la estabilización y pesado de filtros a través del Ing. Eduardo Sandez y del Ing. Joel Zepeda.

Agradezco al COBACH Villa de Seris y al CESUES, por su colaboración en la realización de este estudio; a los compañeros del CIBNOR Ing. Javier Coira García e Ing. Juan Vega Peralta que me ayudaron en la instalación, monitoreo y operación del equipo; al Dr. César A. Salinas Zavala Coordinador de la Unidad Sonora del CIBNOR por su apoyo y facilidades otorgadas para culminar con este proyecto; a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la realización de este trabajo, a todos ellos, gracias..... Primero Dios.

# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

## 1.1 Introducción

La contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y el ambiente. La exposición a la contaminación del aire puede detonar o agravar afecciones respiratorias, cardíacas y otras. Puede ser especialmente dañina para personas con enfermedades pulmonares o cardíacas crónicas, embarazadas, ancianos y niños, y presenta un riesgo para la población que trabaja en las calles y vive en condiciones precarias (American Lung Association, 2005; Mrinal y col., 2005). Los problemas de salud causados por la contaminación pueden verse influidos por la magnitud, alcance y duración de la exposición, edad y susceptibilidad de cada persona, entre otros factores (OPS/CEPIS, 2000).

Durante los últimos 10 años, se han publicado muchos estudios epidemiológicos y toxicológicos relacionados con la presencia en el aire de material particulado, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno (Marozienne y Grazuleviciene, 2002; Barclay y col., 2005). Tales estudios demuestran la asociación entre la exposición a partículas muy finas y la afectación de la salud de las personas, principalmente niños y ancianos, especialmente asociados a problemas cardiovasculares y a una mortalidad infantil muy elevada. También se afectan los sistemas respiratorio e inmunológico. Los pacientes con asma, neumonía y diabéticos son especialmente afectados (Kappos y col., 2004).

De la misma manera el bióxido de azufre se asocia con afectaciones de las mucosas conjuntival y respiratoria, produciendo irritación e inflamación aguda o crónica; suele asociarse también con las partículas suspendidas (PST) y dar lugar a un riesgo superior, puesto que su acción es sinérgica. Esta combinación, bióxido de azufre/partículas suspendidas totales ( $\text{SO}_2/\text{PST}$ ), en condiciones favorables para su acumulación y permanencia en la atmósfera, ha sido la responsable de episodios poblacionales, así como del incremento de la morbilidad y la mortalidad en enfermos

crónicos del corazón y vías respiratorias (NOM-022-SSA1-1993). La acumulación de NO<sub>2</sub> en el cuerpo humano constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfas nucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica (NOM-023-SSA1-1993). Estos contaminantes están dentro del grupo de contaminantes criterio que son los principales agentes que afectan la calidad del aire y en consecuencia tienen impactos severos en el medio ambiente, en la salud y en la calidad de vida. Además de los efectos nocivos que la contaminación ambiental causa a la salud humana, también se ven afectados severamente la flora, fauna, suelos, materiales de construcción, lagos y corrientes de agua por la lluvia ácida que se forma proveniente de los contaminantes como el bióxido de azufre, principalmente (Franklin y col., 1985; Rutherford, 1984).

El deterioro de la calidad del aire va en aumento y no se le da la debida importancia por lo que puede llegar a acontecer lo que sucede en las grandes ciudades que cuando ya se tiene el problema avanzado quieren tomar medidas para su solución en vez de realizar acciones para prevenir este tipo de complicaciones. Para ello es necesario contar con un adecuado diagnóstico de la situación.

En el presente trabajo se realizó una evaluación de la calidad del aire de la ciudad de Hermosillo con respecto a los contaminantes anteriormente señalados para conocer cuál es la situación que prevalece en la ciudad en cuanto a calidad del aire se refiere.

## **1.2 Objetivo**

Evaluar la concentración de partículas  $PM_{10}$ ,  $NO_x$  y  $SO_2$  en la Ciudad de Hermosillo, Sonora, para cuantificar la calidad del aire en la ciudad.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 Calidad del Aire**

Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades (Wark y Warner, 2004). En la tabla 2.1 se muestra la composición química del aire seco, que se encuentra usualmente en las áreas rurales y sobre el océano, lejos de los asentamientos humanos.

### **2.2 Fuentes de Contaminación**

Existen dos tipos de fuentes de contaminación atmosférica, las antropogénicas y las naturales. Las antropogénicas son el resultado de las diversas actividades del hombre y las naturales de las que el hombre no es responsable y no puede hacer nada, tales como volcanes e incendios forestales. Las fuentes antropogénicas se clasifican generalmente en móviles y estacionarias. Las fuentes móviles son los automóviles, camiones y motocicletas, mientras que las estacionarias son las fuentes puntuales de gran magnitud. La mayor aportación de fuentes contaminantes es por las antropogénicas, ya que son numerosas y de gran magnitud y se encuentran concentradas en grandes fábricas, plantas químicas, refinerías de petróleo, industrias de recuperación y fundición de metales y estaciones de energía eléctrica. Así vemos como la mayor parte de la contaminación del aire la provoca el hombre (Wark y Warner, 2004). El transporte en los países desarrollados contribuye como fuente contaminante en cerca del 45 %; además, el acondicionamiento del medio, en particular durante invierno en los países fríos de

Europa y en el Norte de Estados Unidos y Canadá, también efectúa una contribución significativa. La incineración de desperdicios adiciona otro 5 % a la carga contaminante total. Dentro de las ciudades, la multiplicidad de pequeñas fuentes, en particular los automóviles privados, son la causa principal de la degradación de la calidad del aire (Strauss y Mainwaring, 2001).

Tabla 2.1. Composición química del aire atmosférico seco.

Sustancia	Volumen (%)	Concentración (ppm) <sup>a</sup>
Nitrógeno	78.084 ± 0.004	780,900
Oxígeno	20.946 ± 0.002	209,400
Argón	0.934 ± 0.001	9,300
Dióxido de carbono	0.033 ± 0.001	315
Neón	18.0	
Helio	5.2	
Metano	1.2	
Criptón	0.5	
Hidrógeno	0.5	
Xenón	0.08	
Dióxido de nitrógeno	0.02	
Ozono	0.01-0.04	

Fuente: Wark y Warner (2004).

<sup>a</sup> ppm es una abreviatura de partes por millón.

## 2.3 Clasificación de Contaminantes del Aire

Los contaminantes del aire se pueden clasificar en dos grupos: Los *contaminantes primarios* o sustancias contaminantes que son vertidas directamente a la atmósfera y los *contaminantes secundarios* o sustancias que no se vierten directamente a la atmósfera desde los focos emisores, sino que se producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la misma atmósfera. Los contaminantes primarios son gaseosos (dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos), líquidos (hidrocarburos no quemados), sólidos (partículas en suspensión que tienen un diámetro de 0-10 micras y sedimentables con diámetro arriba de 10 micras) y aerosoles que son producto de contaminantes sólidos y líquidos en un medio gaseoso y tienen un diámetro de 0.1 a 50 micras. Las principales alteraciones atmosféricas producidas por los contaminantes secundarios son la contaminación fotoquímica al reaccionar entre sí los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y oxígeno en presencia de los rayos solares; la acidificación del medio (lluvias ácidas) producidas por los óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, al reaccionar con el oxígeno y el agua de la atmósfera y precipitarse en forma de ácido sulfúrico y ácido nítrico sobre la superficie de la tierra con todas sus consecuencias; y la disminución de la capa de ozono, cuya responsabilidad se le atribuye principalmente a los clorofluorocarbonos.

### 2.3.1 Partículas suspendidas (PM<sub>10</sub>)

El material particulado son las partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Estas partículas tienen una composición química diversa y su tamaño varía de 0.005 a 100 µm de diámetro aerodinámico. Estas se producen por la quema incompleta del combustible para motores diesel y los combustibles sólidos, como la madera y el carbón. También se pueden producir por la condensación de vapores ácidos y

compuestos orgánicos semivolátiles y mediante una serie de complejas reacciones del  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  en la atmósfera que finalmente forman nitratos y sulfatos, respectivamente. En la atmósfera permanecen suspendidas sustancias muy distintas como partículas de polvo, polen, hollín (carbón), metales (plomo, cadmio), asbesto, sales, pequeñas gotas de ácido sulfúrico, dioxinas, pesticidas, etc. Se suele usar la palabra aerosol para referirse a los materiales muy pequeños, sólidos o líquidos. Las partículas son los sólidos que forman parte del aerosol, mientras que se suele llamar polvo a la materia sólida de tamaño un poco mayor (de 20 micras o más). El polvo suele ser un problema de interés local, mientras que los aerosoles pueden ser transportados muy largas distancias. Según su tamaño pueden permanecer suspendidas en la atmósfera desde uno o dos días, las de 10 micrómetros o más y hasta varios días o semanas, las más pequeñas. (EPA, 1997).

### **2.3.2 Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )**

El óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) se suelen considerar en conjunto con la denominación de  $\text{NO}_x$ . Son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación. El  $\text{NO}_2$  es un gas de color marrón claro producido directa e indirectamente por la quema de combustibles a altas temperaturas como ocurre en los automóviles y plantas termoeléctricas. En el proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible y el aire se oxidan para formar principalmente óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) y en menor proporción  $\text{NO}_2$ . El  $\text{NO}$  emitido se convierte en  $\text{NO}_2$  mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar, siendo este el que predomina en la atmósfera. El  $\text{NO}_2$  se combina con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar para formar ozono. También se combina con agua para formar ácido nítrico y nitratos. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ . Los  $\text{NO}_x$  tienen una vida corta y se oxidan rápidamente a  $\text{NO}_3$  en forma de aerosol o a  $\text{HNO}_3$  (ácido nítrico). Tienen una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo

(PAN) e influyen en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico (EPA, 1995).

### **2.3.3 Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Es un importante contaminante primario. Es un gas no inflamable, incoloro e inodoro en concentraciones bajas y de olor fuerte e irritante en concentraciones altas. Su vida media en la atmósfera es corta, de 2 a 4 días. Cuando el SO<sub>2</sub> y los oxidantes fotoquímicos reaccionan en la atmósfera, se forma el trióxido de azufre, el cual se combina con agua para formar el ácido sulfúrico y partículas sulfatadas. Esto contribuye a la producción de lluvia ácida y al aumento de los niveles de partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. Casi la mitad vuelve a depositarse en la superficie húmeda o seca y el resto se convierte en iones sulfato (SO<sub>4</sub>).

El SO<sub>2</sub> es producido por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre como el carbón y el petróleo y por varios procesos industriales, como la fundición de metales, la producción de ácido sulfúrico y la conversión de pulpa en papel. En conjunto, más de la mitad del que llega a la atmósfera es emitido por actividades humanas. Otra fuente muy importante es la oxidación del H<sub>2</sub>S y, en la naturaleza, es emitido por la actividad volcánica. En los últimos años está disminuyendo su emisión en muchos lugares gracias a las medidas adoptadas. Las principales emisiones se concentran en comunidades que cuentan con importantes instalaciones productoras de electricidad que usan combustibles de baja calidad. En los últimos años se están produciendo importantes disminuciones en la emisión de este contaminante (de 1980 a 1990 su producción ha disminuido en un 33%) como consecuencia de estar sustituyéndose los carbones (de baja calidad) o combustóleo por combustibles más limpios. De todas formas las cantidades producidas siguen siendo bastante grandes y, de hecho, es el contaminante primario emitido en mayor cantidad después del CO (EPA, 1994).

## **2.4 Efectos de la Contaminación del Aire**

La mayoría de los contaminantes atmosféricos tienen el efecto potencial de daños a la salud de la población. Estos contaminantes son el resultado de emisiones primarias o de su transformación en la atmósfera. La fuente principal en Estados Unidos es la emisión de gases por vehículos automotores (NAS, 1988).

El incremento constante de las manchas urbanas en las grandes ciudades, así como los procesos industriales y el tráfico vehicular, han contribuido de manera especial al deterioro de la calidad del aire. Por sus emisiones vehiculares y de fuentes fijas de combustión de energéticos, se han convertido en las fuentes primarias de contaminación ambiental en las ciudades de América Latina (GEO-3, 2002) y como consecuencia se ha visto afectada la salud poblacional.

### **2.4.1 Efectos a la Salud por Partículas Suspendidas PM<sub>10</sub>**

Antes se creía que todas las partículas suspendidas en el aire (partículas totales en suspensión) afectaban la salud de la misma forma. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que las partículas que más afectan la salud son aquellas con diámetro aerodinámico menor de 10  $\mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>) y, más aún, aquellas con diámetro aerodinámico menor de 2.5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>). La OMS todavía no ha podido establecer un umbral para los efectos de las partículas finas en la salud. Por esa razón, las guías para partículas finas se representan por asociaciones estadísticamente significativas entre el incremento de los efectos observados y el incremento de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y sulfatos. Las figuras 2.1 y 2.2 muestran el aumento porcentual de mortalidad diaria y las hospitalizaciones atribuidas al aumento de las concentraciones de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y sulfatos. La figura 2.3 muestra el aumento porcentual del uso de broncodilatadores, exacerbación de los síntomas respiratorios, tos y flujo pico de aspiración atribuido al

aumento de las concentraciones de  $PM_{10}$ . Los gráficos no se deben usar para concentraciones de  $PM_{10}$  inferiores a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  o superiores a  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para un tiempo promedio de exposición de 24 horas y para concentraciones de  $PM_{2.5}$  inferiores a  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  o superiores a  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para un tiempo promedio de exposición de 24 horas. Por ejemplo, para una concentración de  $PM_{10}$  de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para un tiempo de muestreo de 24 horas la figura 2.1 indica que habrá un aumento en la mortalidad diaria atribuida a las  $PM_{10}$  del 7 % (OPS/CEPIS, 2000).

Se les considera capaces de bloquear los mecanismos de defensa del aparato respiratorio, a nivel de vías aéreas superiores y alvéolos. Se asocian con mucha frecuencia con elementos ácidos con los que sinergiza su efecto dañino potencial y finalmente pueden acarrear elementos biológicos que van desde pólenes hasta bacterias, hongos y virus que son transportados al pulmón. El riesgo sanitario lo constituyen su concentración, tiempo de exposición y características físicas; los individuos susceptibles por excelencia son aquellos que son portadores de una enfermedad respiratoria crónica que haya dado lugar principalmente a daños del sistema mucociliar. Su tamaño es la característica física más importante para determinar su toxicidad. Las partículas que miden más de  $10 \mu\text{m}$  se retienen básicamente en las vías respiratorias superiores. Las que miden menos predominan en la fracción respirable y penetran hasta el espacio alveolar del pulmón (NOM-025-SSA1-1993).

La tabla 2.2 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempos promedio de muestreo y frecuencias de excedencia permitidas para la norma de  $PM_{10}$  en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea (OPS/CEPIS, 2000).

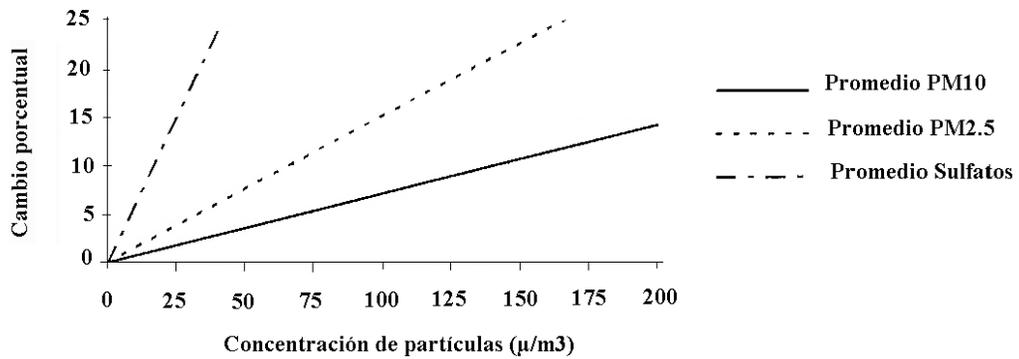


Figura 2.1. Cambio porcentual de la mortalidad diaria atribuida al PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y sulfatos.

Fuente (OPS/CEPIS, 2000).

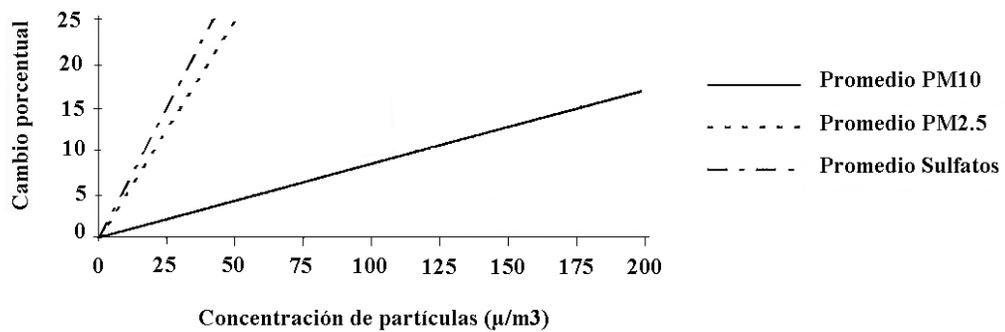


Figura 2.2. Cambio porcentual en las internaciones hospitalarias atribuidas al PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y sulfatos.

Fuente (OPS/CEPIS, 2000).

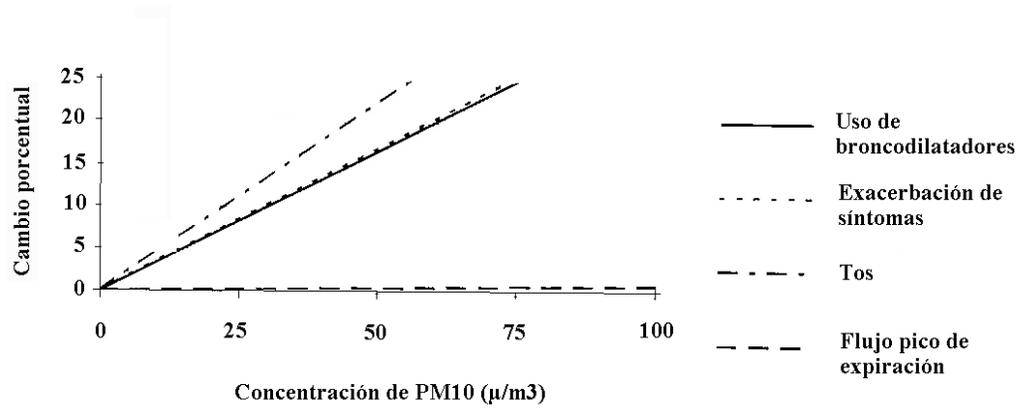


Figura 2.3. Cambio porcentual en los efectos en la salud atribuidos al PM<sub>10</sub>.

Fuente (OPS/CEPIS, 2000).

Tabla 2.2. Valores límite de PM<sub>10</sub> para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

<b>País</b>	<b>Valor límite (µg/m<sup>3</sup>)<sup>1</sup></b>	<b>Tiempo promedio de muestreo</b>	<b>Frecuencia de excedencia permitida</b>
Argentina <sup>2</sup>			
Belice <sup>2</sup>			
Bolivia	150	24 horas	Ninguna
	50 <sup>3</sup>	1 año	
Brasil <sup>4</sup>	150	24 horas	Sólo una vez por año
	50 <sup>3</sup>	1 año	Ninguna
Chile	150	24 horas	El percentil 98 anual no debe superar el valor límite
Colombia <sup>2</sup>			
Costa Rica	150	24 horas	Sólo una vez por año
	50 <sup>3</sup>	1 año	Ninguna
Cuba <sup>6</sup>			
Ecuador <sup>2</sup>			
México	150	24 horas	Sólo una vez por año
	50 <sup>5</sup>	1 año	Ninguna
Venezuela <sup>2</sup>			
Canadá <sup>2</sup>			
China <sup>7</sup>	50(I), 150(II), 250(III)	24 horas	Ninguna
	40(I), 100(II), 150(III) <sup>5</sup>	1 año	
Estados Unidos <sup>8</sup>	150	24 horas	El promedio de 3 años consecutivos del percentil 99 no debe superar el valor límite
	50 <sup>5</sup>	1 año	El promedio de 3 años consecutivos no debe superar el valor límite

Tabla 2.2 Continuación...			
Japón	200	1 hora	Ninguna
	100	24 horas	
Unión Europea <sup>9</sup>	50	24 horas	El valor límite no podrá superarse en más de 35 ocasiones por año
	40 <sup>5</sup>	1 año	El valor límite no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año

Fuente (OPS/CEPIS, 2000).

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. No tiene normas para PM<sub>10</sub>.
3. Promedio geométrico anual.
4. Brasil también tiene una norma para hollín con un valor límite de 150 µg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas que no debe superarse en más de una ocasión por año y un valor límite de 60 µg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 1 año (promedio aritmético anual) que no debe superarse en ninguna ocasión.
5. Promedio aritmético anual.
6. Cuba tiene una norma para hollín con un valor límite de 150 µg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 20 minutos y un valor límite de 50 µg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas que no debe superarse en ninguna ocasión.
7. (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
8. Estados Unidos también tiene una norma para PM<sub>2.5</sub> con un valor límite de 65 µg/m<sup>3</sup> con un tiempo de exposición de 24 horas para la cual el promedio de 3 años consecutivos del percentil 98 anual no debe exceder el valor de la norma y un valor límite de 15 µg/m<sup>3</sup> con un tiempo de exposición de 1 año para la cual el promedio de 3 años consecutivos no debe superar el valor de la norma.
9. Valores límites que corresponden a la fase 1 (fecha de cumplimiento del valor límite: 1 enero de 2005). La fase 2 tiene un valor límite de 50 µg/m<sup>3</sup> que no podrá superarse en más de 7 ocasiones por año para un tiempo promedio de muestreo de 24 horas y un valor límite de 20 µg/m<sup>3</sup> para un tiempo promedio de muestreo de 1 año (fecha de cumplimiento del valor límite: 1 enero de 2010).

## 2.4.2 Efectos a la Salud por Óxidos de Nitrógeno

El NO es relativamente inofensivo, sin embargo, el NO<sub>2</sub> puede causar problemas respiratorios principalmente en asmáticos y niños. En estudios con animales se ha reportado que la exposición de corto plazo al NO<sub>2</sub> puede debilitar los mecanismos de defensa e incrementar la susceptibilidad a infecciones respiratorias. En estudios de exposición de largo plazo se ha demostrado cambios estructurales en los pulmones de animales. En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas y corroe tejidos y materiales diversos (OPS/CEPIS, 2000). La acumulación de bióxido de nitrógeno, en el cuerpo humano, constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que inicia, reactiva y puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica (NOM-023-SSA1-1993).

La tabla 2.3 presenta los valores guía para NO<sub>2</sub> recomendados por la OMS. Esta tabla indica los niveles de NO<sub>2</sub> por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para los diferentes tiempos promedio de exposición. La tabla 2.4 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempos promedio de muestreo y frecuencia de excedencia permitida para las normas de NO<sub>2</sub> en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea (OPS/CEPIS, 2000).

Tabla 2.3. Valores guía para NO<sub>2</sub> recomendados por la OMS.

Efectos sobre la salud	Nivel de efecto observable (µg/m <sup>3</sup> )	Factor de incertidumbre	Valor guía (µg/m <sup>3</sup> )	Tiempo promedio de exposición
Ligeros cambios en la función pulmonar de individuos asmáticos	365-565	0.5	200	1 hora
			40	1 año

Fuente (OPS/CEPIS, 2000).

Tabla 2.4. Valores límite de NO<sub>2</sub> para la protección de la salud pública en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

País	Valor límite (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida
Argentina <sup>2,3</sup>	846	1 hora	Ninguna
	282	24 horas	
Belice <sup>4,5</sup>	30 (I), 80 (II), 120 (III)		Ninguna
Bolivia	400	1 hora	Ninguna
	150	24 horas	
Brasil	320	1 hora	Ninguna
	100 <sup>6</sup>	1 año	
Chile	100 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Colombia	100	24 horas	Ninguna
Costa Rica	400	1 hora	Sólo una vez por año
	100 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Cuba	85	20 minutos	Ninguna
	40	24 horas	
Ecuador	100	24 horas	Ninguna
México	395	1 hora	Sólo una vez por año
Venezuela	100-300	24 horas	El valor 100 µg/m <sup>3</sup> límite no podrá superarse en más de 50 % de las mediciones y el valor 300µg/m <sup>3</sup> límite no podrá superarse en más de 5 % de las mediciones por año
Canadá <sup>7</sup>	400 (aceptable) 1000 (tolerable)	1 hora	
	200 (aceptable) 300 (tolerable)	24 horas	

<b>Tabla 2.4. Continuación...</b>			
	60 <sup>6</sup> (deseable) 100 <sup>6</sup> (aceptable)	1 año	
China <sup>4</sup>	120 (I, II), 240 (III)	1 hora	Ninguna
	80 (I, II), 120 (III)	24 horas	
	40 (I, II), 80 (III) <sup>6</sup>	1 año	
Estados Unidos	100 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Japón	80-110	24 horas	Ninguna
Unión Europea	200	1 hora	El valor límite no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año
	40 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna

Fuente (OPS/CEPIS, 2000).

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. Óxidos de nitrógeno medidos como dióxido de nitrógeno.
3. Valores de la norma son aproximados: 0.45 ppm (1 hora) y 0.15 ppm (24 horas).
4. (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
5. El tiempo promedio de muestreo no está estipulado en la norma.
6. Promedio aritmético anual.
7. El nivel máximo deseable define una meta de largo plazo y se aplica en las políticas de prevención del deterioro de la calidad del aire en áreas no contaminadas. El nivel máximo aceptable intenta proveer una adecuada protección a los seres humanos, animales, vegetación, suelos, agua, materiales y visibilidad. El nivel máximo tolerable indica concentraciones de contaminantes por encima de las cuales se deben tomar medidas inmediatas para proteger la salud de la población en general.

### **2.4.3 Efectos a la Salud por Dióxido de Azufre**

La exposición a  $\text{SO}_2$  puede disminuir la función pulmonar, agravar enfermedades respiratorias preexistentes (especialmente bronquitis) y reducir la habilidad de los pulmones para liberar partículas extrañas. También puede contribuir al incremento de la mortalidad, especialmente si las concentraciones de PM también son elevadas (NOM-022-SSA1-1993). Los asmáticos y las personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y con problemas cardíacos son los más sensibles a los efectos del  $\text{SO}_2$ . También es probable que los adultos mayores y niños sean sensibles a los efectos del  $\text{SO}_2$ . La exposición de corto plazo a altas concentraciones de  $\text{SO}_2$  puede irritar el tracto respiratorio y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. La tabla 2.5 presenta los valores guía para  $\text{SO}_2$  recomendados por la OMS. Además, indica los niveles de  $\text{SO}_2$  por encima de los cuales se han observado efectos en la salud, el factor de incertidumbre calculado por consenso científico y los valores guía para diferentes tiempos promedio de exposición. Los factores de incertidumbre se aplican debido al conocimiento incompleto sobre los agentes causantes y sus efectos. Estos factores permiten disminuir el riesgo del efecto provocado por un contaminante. La tabla 2.6 presenta los valores límite para la protección de la salud pública, tiempo promedio de muestreo y frecuencia de excedencia permitida para las normas de  $\text{SO}_2$  en América Latina y el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea (OPS/CEPIS, 2000).

Tabla 2.5. Valores guía para SO<sub>2</sub> recomendados por la OMS.

Efectos sobre la salud	Nivel de efecto observable (µg/m <sup>3</sup> )	Factor de incertidumbre	Valor guía (µg/m <sup>3</sup> )	Tiempo promedio de exposición
Ligeros cambios en la función pulmonar de individuos asmáticos	1000	2	500	10 minutos
Exacerbación de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	250	2	125	24 horas
	100	2	50	1 año

Fuente (OPS/CEPIS, 2000).

Tabla 2.6. Valores límite para la protección de la salud pública para las normas de SO<sub>2</sub> en América Latina, el Caribe, Canadá, China, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea.

País	Valor límite (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida para el valor límite
Argentina	2620 <sup>2</sup>	1 hora	Ninguna
	780 <sup>2</sup>	8 horas	
	70 <sup>2</sup>	1 mes	
Belice <sup>4,5</sup>	30 (I), 80 (II), 120 (III)		Ninguna
Bolivia	365	24 horas	Ninguna
	80 <sup>6</sup>	1 año	
Brasil	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Chile	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Colombia	1500	3 horas	Solo una vez por año

<b>Tabla 2.6. Continuación...</b>			
	400	24 horas	Solo una vez por año
	100 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Costa Rica	1500	3 horas	Solo una vez por año
	365	24 horas	
	80 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Cuba	500	20 minutos	Ninguna
	50	24 horas	
Ecuador	1500	3 horas	Solo una vez por año
	400	24 horas	
	80 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
México	341	24 horas	Solo una vez por año
	79 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Venezuela	80-365	24 horas	El valor 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 50 % de las mediciones, el valor 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 5 % de las mediciones, el valor 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 2 % de las mediciones y el valor 365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no podrá superarse en más de 0.5 % de las mediciones por año
Canadá <sup>7</sup>	450 (deseable) 900 (aceptable)	1 hora	
	150 (deseable) 300 (aceptable) 800 (tolerable)	24 horas	
	30 <sup>6</sup> (deseable) 60 <sup>6</sup> (aceptable)	1 año	
China <sup>4</sup>	150(I), 500(II), 700(III)	1 hora	Ninguna

<b>Tabla 2.6. Continuación...</b>			
	50 (I), 150(II), 250(III)	24 horas	
	20(I), 60 (II), 100 (III) <sup>6</sup>	1 año	
Estados Unidos	365	24 horas	Solo una vez por año
	80 <sup>6</sup>	1 año	Ninguna
Japón	260	1 hora	Ninguna
	110	24 horas	
Unión Europea	350	1 hora	No más de 24 ocasiones por año
	125	24 horas	No más de 3 ocasiones por año
	20	1 año e invierno (del 1/10 al 31/3)	Ninguna

Fuente (OPS/CEPIS, 2000).

1. Las concentraciones de los contaminantes se calculan para condiciones de 1 atmósfera y 298 K.
2. Los valores de la norma son aproximados: 1 ppm (1 hora) y 0.3 ppm (8 horas).
3. Promedio aritmético mensual.
4. (I) áreas sensibles de protección especial; (II) áreas urbanas y rurales típicas y (III) áreas industriales especiales.
5. El tiempo promedio de muestreo no está estipulado en la norma.
6. Promedio aritmético anual.
7. El nivel máximo deseable define una meta de largo plazo y se aplica en las políticas de prevención del deterioro de la calidad del aire en áreas no contaminadas. El nivel máximo aceptable intenta proveer una adecuada protección a los seres humanos, animales, vegetación, suelos, agua, materiales y visibilidad. El nivel máximo tolerable indica concentraciones de contaminantes por encima de las cuales se deben tomar medidas inmediatas para proteger la salud de la población en general.

## 2.5 Inventario de Emisiones en México

Desde mediados de los años noventa se inició con los inventarios de emisiones de las principales zonas metropolitanas del país y de algunas otras ciudades con el fin de cuantificar las emisiones y de identificar las fuentes. De acuerdo con estos inventarios, la zona metropolitana con el mayor volumen de emisiones es la del Valle de México (ZMVM), seguidas por las de Guadalajara (ZMG) y Monterrey (ZMM). En general, el transporte es la fuente que contribuye a los mayores volúmenes de contaminantes, principalmente monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) e hidrocarburos (HC). En la tabla 2.7 se muestran las emisiones de las principales zonas del país.

Tabla 2.7. Inventario de emisiones (toneladas/año) en las principales zonas metropolitanas de México.

	Fuente	Partículas	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC
<b>ZMVM, 1996</b>	Industria	5406	<b>15527</b>	8706	16159	16238
	Generación de electricidad	294	103	797	12507	41
	Servicios	337	3587	1178	7832	234991
	Transporte	<b>7745</b>	5197	<b>2404226</b>	<b>84961</b>	<b>193100</b>
	Fuentes naturales	18072	Na	Na	Nd	134673
	<b>Total</b>	<b>31454</b>	<b>24414</b>	<b>2414907</b>	<b>121459</b>	<b>579043</b>
<b>ZMG, 1995</b>	Industria	1595	<b>5506</b>	1322	3148	4269
	Servicios	40	118	729	218	57248
	Transporte	<b>5845</b>	2461	<b>895991</b>	<b>33820</b>	<b>82318</b>
	Suelos y vegetación	294304	Na	Na	Nd	Na
	<b>Total</b>	<b>301784</b>	<b>8085</b>	<b>898042</b>	<b>37186</b>	<b>143835</b>
<b>ZMM, 1995</b>	Industria	<b>45638</b>	<b>24565</b>	2687	7117	5526
	Generación de electricidad	308	3432	594	11432	52
	Servicios	16	Nd	8	458	36660
	Transporte	5941	2469	<b>904473</b>	<b>34268</b>	<b>83137</b>

<b>Tabla 2.7. Continuación...</b>						
	Fuentes naturales	763725	Na	Na	Nd	Na
	<b>Total</b>	<b>815628</b>	<b>30466</b>	<b>907762</b>	<b>53275</b>	<b>125375</b>
<b>ZMVT, 1996</b>	Industria	1253	<b>8667</b>	203	2188	3406
	Servicios	15	206	159	62	16108
	Transporte	<b>2396</b>	1649	<b>268380</b>	<b>19139</b>	<b>26967</b>
	Suelos y vegetación	19711	Na	Na	Nd	Na
	<b>Total</b>	<b>23375</b>	<b>10522</b>	<b>269742</b>	<b>21389</b>	<b>46481</b>
<b>Cd. Juárez, 1996</b>	Industria	202	427	841	1311	2390
	Generación de electricidad	8	289	20	82	5
	Servicios	281	1834	2055	802	19244
	Transporte	<b>1020</b>	<b>1596</b>	<b>449844</b>	<b>23920</b>	<b>54493</b>
	Fuentes naturales	45096	Na	Na	Nd	Na
	<b>Total</b>	<b>46607</b>	<b>4146</b>	<b>452760</b>	<b>26115</b>	<b>76132</b>
<b>Mexicali, BC, 1996</b>	Industria	<b>1994</b>	<b>2849</b>	4721	1537	1407
	Fuentes de área	61932	11	18944	735	15379
	Transporte	515	937	<b>243073</b>	<b>14927</b>	<b>31184</b>
	Suelos y vegetación	20548	Na	Na	1348	3447
	<b>Total</b>	<b>84989</b>	<b>3797</b>	<b>266738</b>	<b>18547</b>	<b>51411</b>

Fuente (SEMARNAT, INE, 2002). Na: no aplica. Nd: no disponible

## **2.6 Concentración de Partículas en la ciudad de Hermosillo, Sonora**

Se han llevado a cabo estudios encaminados al conocimiento de la calidad del aire en la ciudad de Hermosillo, Sonora. Anteriormente SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología) hoy SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca) inició un estudio de la calidad del aire en el año de 1990 el cual culminó en 1991, y cuyo objetivo del trabajo fue reportar la concentración de partículas en la ciudad.

Se establecieron tres puntos de muestreo que fueron: estación CESUES (Col. Ley 57), estación MAZÓN CENTRO (Col. Centro) y estación SEMESON (Col. Sahuaro). Este estudio arrojó resultados que indicaron que se presentaron niveles de partículas suspendidas por encima de la norma, en más de 50 de las veces monitoreadas.

A este estudio le dio seguimiento SEMARNAP de 1992 a 1995, operando el programa con cuatro estaciones de monitoreo, los tres mencionados anteriormente y uno ubicado mas tarde en la colonia Cuauhtémoc, denominado estación CUAUHTÉMOC. Fueron tomadas un total de 469 muestras de PST durante seis años y 134 muestras de PM<sub>10</sub> a lo largo de dos años respectivamente.

Los resultado que se tienen a la fecha son del Reporte de Concentración de Partículas en Aire Ambiente para la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante el período 1990-1995, donde se muestra que para la ciudad de Hermosillo resultó que durante seis años la concentración permisible para PST fue excedida en más de una ocasión por año. Así mismo se presentó la concentración promedio anual durante seis años, en donde se observa que fue también excedido el nivel máximo permisible promedio aritmético anual para PST todos los años con concentraciones que van desde 126 hasta 505.24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En la figura 2.4 se muestra el mapa de la ciudad de Hermosillo de 1995, donde se ubican las estaciones de monitoreo del estudio, las vialidades primarias y secundarias, así como los límites de la mancha urbana en ese tiempo.

Para partículas menores de diez micras o fracción respirable, se muestra en los resultados que durante 1995 se registró un valor que excedió la concentración establecida por la norma. En cuanto a la concentración promedio anual para este contaminante muestra que durante 1994 y 1995 los datos registrados excedieron la norma (SEMARNAP, 1996).

En la tabla 2.8, se muestra un resumen de los datos obtenidos. Estos indican las concentraciones de partículas menores de diez micras encontradas en el estudio realizado durante dos años en la ciudad de Hermosillo.

Tabla 2.8. Resumen de PM<sub>10</sub> en la ciudad de Hermosillo durante 1994-1995.

NOMBRE DEL SITIO DE MUESTREO	CANTIDAD DE MUESTRAS 1994-1995			CONCENTRACIÓN PROMEDIO MAS ALTA EN 24 Hr <sup>1</sup>		DÍAS EXCEDIDOS PROMEDIO EN 24 Hr		CONC. PROMEDIO ANUAL MAS ALTA <sup>2</sup>	
	Tomadas	Planeadas	Porcentaje logrado	1994	1995	1994	1995	1994	1995
CESUES	64	122	52.4	153.30	189.08	0	1	83.28	53.6
CUAUHTEMOC	76	122	36.72	105.35	123.39	0	0	60.85	48.47
<b>TOTALES</b>	140	244	54.91				1		

Fuente SEMARNAP, 1996.

1. NOM-SSA1-025-1994: 150 µg/m<sup>3</sup> promedio en 24 horas, no deberá excederse más de una vez por año.
2. NOM-SSA1-025-1994: 50 µg/m<sup>3</sup> promedio aritmético anual, no deberá igualarse o excederse anualmente.

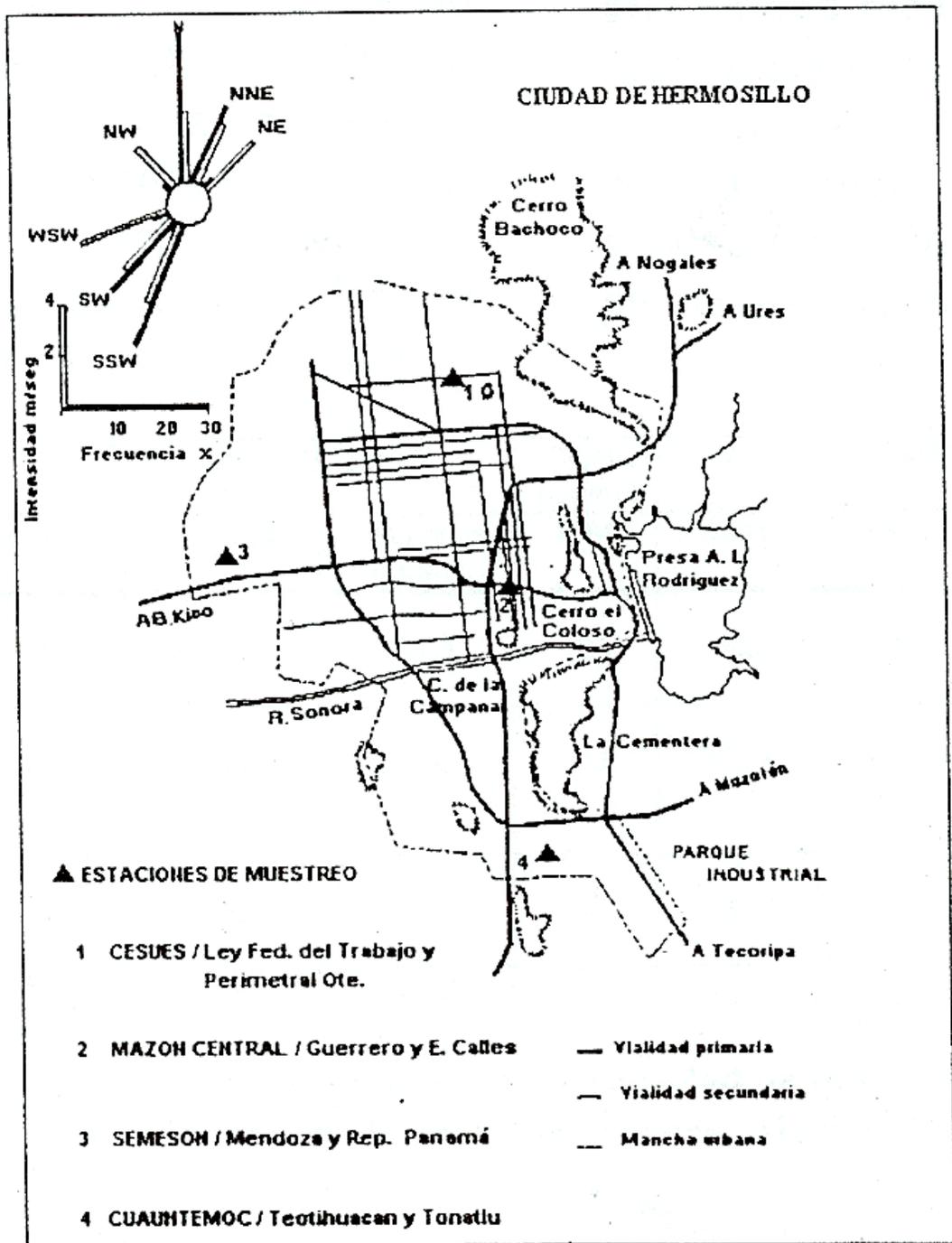


Figura 2.4. Mapa de la ciudad de Hermosillo de 1995.

### **3. ÁREA DE ESTUDIO**

#### **3.1 Localización**

El presente trabajo se realizó en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, en el Municipio de Hermosillo. Este se localiza en la parte occidental del Estado de Sonora, su superficie es de 14,880.2 km<sup>2</sup> que representa el 8.77 por ciento de la superficie del Estado; colinda al Norte con los Municipios de Pitiquito, Carbó y San Miguel de Horcasitas; al Este con los Municipios de San Miguel de Horcasitas, Ures, Mazatán, La Colorada y Guaymas; al Sur con el Municipio de Guaymas y el Golfo de California; al Oeste con el Golfo de California y el Municipio de Pitiquito (Gobierno Municipal de Hermosillo). La Ciudad de Hermosillo se localiza en los 29°04'23'' de Latitud Norte y en los 110°57'33'' de longitud Oeste y a una altitud de 210 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2005). En la figura 3.1 se puede observar el mapa de la república con el área de estudio.

#### **3.2 Climatología**

El clima de la ciudad de Hermosillo, corresponde al tipo BW(h') el cual es muy seco cálido y predomina en el 48.02 % de la superficie municipal. La temperatura media anual es de 24 °C y la precipitación total anual promedio es de 412.8 milímetros.

El mes más frío es diciembre con una temperatura mínima promedio de 3.5 °C y el mes más caluroso es junio con una temperatura máxima promedio de 45 °C, el mes con mayor humedad relativa es diciembre con un máximo promedio de 62 % mientras que el mes con menos humedad es abril con un porcentaje mínimo promedio de 24.6 %. Los meses con mayores precipitaciones pluviales son julio, agosto y septiembre registrándose una humedad promedio de 53 %, mientras que en marzo, junio y octubre son los meses con presencia mínima de lluvias con una humedad de 30 %. Los vientos

dominantes se dirigen en sentido suroeste-noreste por la mañana y en sentido contrario por la tarde (Cruz, 2005).

### **3.3 Vegetación**

La vegetación predominante para el municipio de Hermosillo es la de matorral y representa el 75 % de la superficie, seguida de vegetación agrícola con 17 %. La ciudad presenta vegetación de ornato y de sombra. En el uso potencial de la tierra, el 73 % de la superficie municipal es susceptible de uso agrícola por medios mecanizados, mientras que el 24 % no es apta para este uso (Cruz, 2005).

### **3.4 Población**

La ciudad de Hermosillo cuenta con una población de 545,928 habitantes de acuerdo al censo realizado en el año 2000 por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Esta población junto con las demás localidades del Municipio conforman un total de 609,829 habitantes que representan el 27.5 % del total de la población del Estado de Sonora. Del total de hermosillenses, el 94 % es población urbana, de ésta, la mayoría se concentra en la ciudad de Hermosillo y el 6 % restante corresponde a la población rural que se encuentra dispersa en las demás localidades del Municipio (Gobierno Municipal de Hermosillo, 2004).

### **3.5 Parque vehicular**

De acuerdo a los datos registrados por el INEGI, la ciudad de Hermosillo cuenta con un total de vehículos registrados en circulación para el año 2004 de 214006 unidades, de estos, 150553 son automóviles, 60724 son camiones de carga, 1638 son motocicletas y 1091 son camiones de pasajeros, de los cuales 484 pertenecen al transporte público de la ciudad. En el anexo 7.6 se incluye la emisión de toneladas de NOx por día que estos vehículos emiten a la atmósfera.

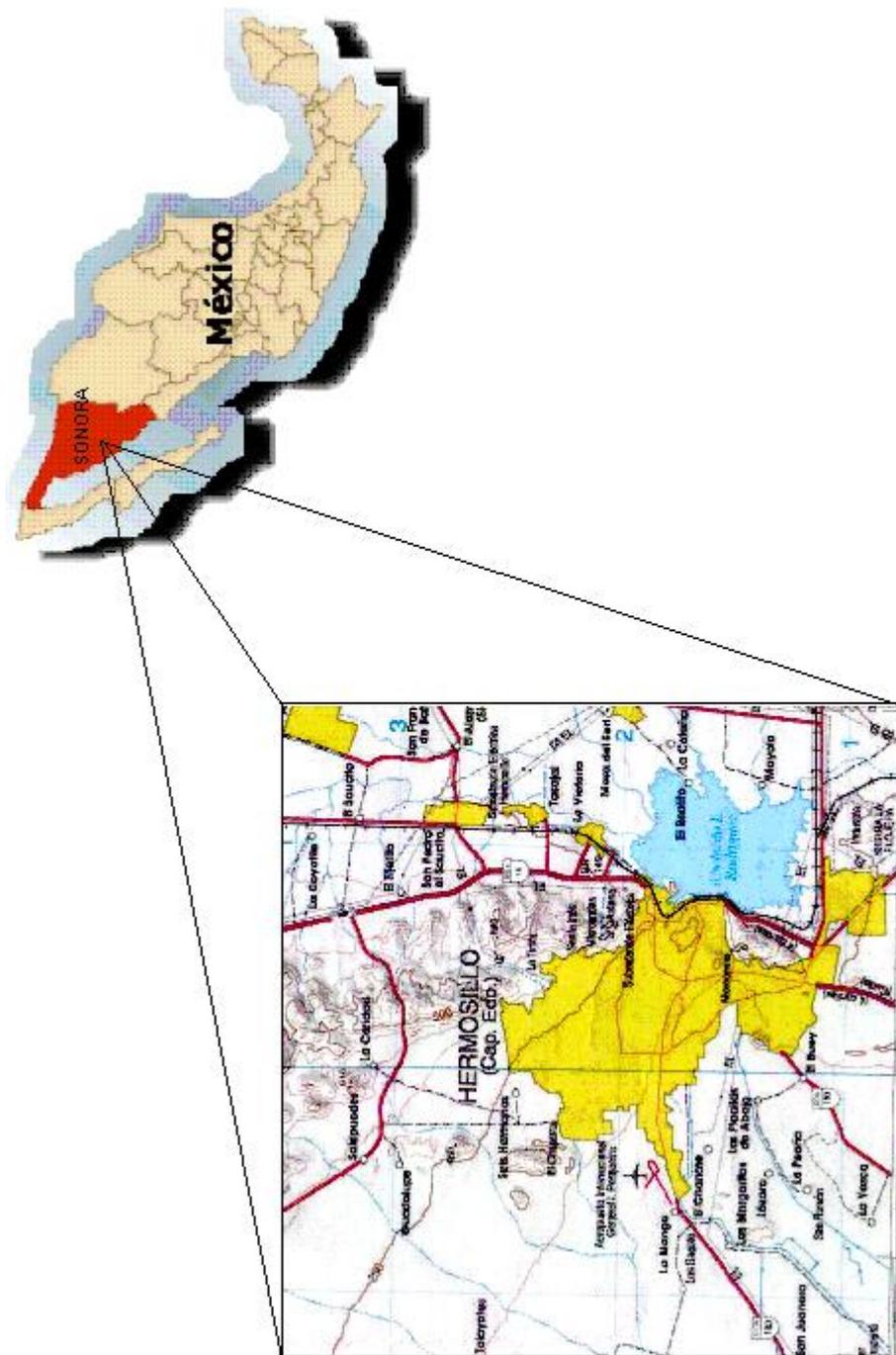


Figura 3.1. Localización de área de estudio

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 Equipo**

Se instalaron tres estaciones de monitoreo equipadas cada una, con un muestreador de alto volumen para la captura de muestra  $PM_{10}$ , un analizador de  $NO/NO_2$  para la medición de óxidos de nitrógeno, un analizador de  $SO_2$  para la medición de dióxido de sulfuro y dos data logger (dispositivos de almacenamiento de datos) para registrar las mediciones de los gases contaminantes. Se utilizaron gases de alta pureza para la calibración del equipo medidor de gases.

En uno de los sitios de muestreo se instaló una estación meteorológica para registrar las condiciones meteorológicas como velocidad y dirección del viento, humedad relativa y temperatura, esto durante el primer muestreo y durante el segundo, se utilizaron los datos climáticos de la estación meteorológica del aeropuerto de la ciudad.

### **4.2 Principios de Detección**

#### **4.2.1 Dióxido de Azufre.**

El principio de operación de los analizadores de dióxido de azufre es el método de fluorescencia de  $SO_2$ , éste aprovecha la propiedad de las moléculas del  $SO_2$  de emitir luz al decaer desde un estado electrónico de excitación después de ser irradiadas con luz ultravioleta. En el analizador una lámpara de luz ultravioleta (UV) emite radiación que atraviesa un filtro de 214 nm, esta radiación excita las moléculas de  $SO_2$  a un nivel electrónico superior que al regresar al estado basal emiten luz en el intervalo de 220 a 240 nm, esta emisión fluorescente es medida por un tubo fotomultiplicador (PMT, siglas

en inglés) con un filtro de 250 a 390 nm. La energía luminiscente que incide sobre el tubo fotomultiplicador se procesa para convertirla en una señal de tensión directamente proporcional a la energía contenida en el haz que se analiza como muestra. El analizador cuenta con la certificación como Método Equivalente para la medición de dióxido de azufre por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (U. S. EPA, por sus siglas en inglés). El principio de operación del analizador cumple con los requerimientos para Métodos Equivalentes descrito en la NOM-038-SEMARNAT-1993.

#### **4.2.2 Óxidos de Nitrógeno.**

El principio de operación de los analizadores de óxidos de nitrógeno se basa en el método de quimiluminiscencia. El instrumento mide la intensidad luminosa de la reacción quimiluminiscente entre el óxido nítrico (NO) y el ozono (O<sub>3</sub>), está diseñado para medir la concentración de óxido nítrico, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno totales (NO<sub>x</sub>). La determinación de NO, NO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> se realiza a partir de la reacción en fase gaseosa del óxido nítrico (NO) y el ozono (O<sub>3</sub>) la cual produce una emisión de luz característica (quimiluminiscencia) cuya intensidad es proporcional a la concentración de óxido nítrico en la muestra.

Específicamente, la emisión de luz (hn) se produce cuando las moléculas excitadas de NO<sub>2</sub> decaen hacia estados de menor energía. Para medir el dióxido de nitrógeno es necesario reducir el NO<sub>2</sub> a NO, para este efecto se utiliza un convertidor catalítico de molibdeno calentado a 315°C, donde tiene lugar la reacción:

La muestra de aire entra al analizador a través de un capilar para controlar el flujo de entrada y es dirigida hacia una válvula solenoide de 3 vías. La solenoide puede dirigir la muestra de aire directamente a la cámara de reacción o a través del convertidor de molibdeno. Cuando la muestra de aire pasa a través de la cámara de reacción la

luminiscencia emitida corresponderá a la concentración de NO presente en la muestra (NO muestra), cuando la muestra pasa previamente por el convertidor la luminiscencia emitida corresponderá a la suma de NO muestra más el NO<sub>2</sub> reducido, la concentración determinada es equivalente a la concentración total de óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub> " NO<sub>x</sub>). La concentración de NO<sub>2</sub> se calcula de la diferencia entre NO y NO<sub>x</sub>. Este instrumento cuenta con la certificación como Método de Referencia para la medición de dióxido de nitrógeno por la Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos (U. S. EPA, por sus siglas en inglés). El principio de operación cumple con los requerimientos para Métodos de Referencia descrito en la NOM-037-SEMARNAT-1993.

#### **4.2.3 Partículas de 10 micras.**

El método de referencia permite medir la concentración de partículas de 10 micras en el aire ambiente, por medio de un muestreador adecuadamente localizado, que succiona a través de un filtro una cantidad determinada de aire ambiente hacia el interior de una caseta o coraza de protección, durante un periodo de muestreo de 24 horas. La velocidad de flujo del aire ambiente y la geometría del muestreador son tales que favorecen la recolección de partículas hasta de 10 µm de diámetro aerodinámico.

En este método, el filtro se pesa en el laboratorio bajo condiciones de temperatura y humedad controladas, antes y después de su uso, para determinar la ganancia neta de peso (masa). El volumen total de aire muestreado, corregido a las condiciones de referencia, se determina a partir del flujo de aire ambiente medido y del tiempo de muestreo. La concentración de partículas en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de las partículas recolectadas entre el volumen de aire muestreado y se expresa en microgramos por metro cúbico (µg/m<sup>3</sup>).

## 4.3 Calibración del Equipo

### 4.3.1 Dióxido de Azufre.

1. Entra al CALIBRATION MENU y selecciona calibración MANUAL y el modo MEASURE. Checa el scrubber interno de cero mediante la iniciación de un ciclo de autozero, permite al analizador el muestreo de cero hasta tener una respuesta estable. Si la respuesta es negativa por mas del 0.5 % de la escala completa, es scrubber de cero puede necesitar ser reemplazado. Anota la respuesta de aire cero estable final. EXIT y regresa a la pantalla inicial.
2. Muestra la concentración de span de SO<sub>2</sub> hasta que se tenga una respuesta estable.
3. Presiona las flechas arriba o abajo. Responde “YES” a la pregunta de “START MANUAL CALIBRATION” presionando las flechas arriba o abajo, luego presiona ENTER. El cursor ahora aparece en el primer dígito del campo de concentración.
4. Usa SELECT para seleccionar el dígito a cambiar y las flechas arriba o abajo para cambiar el valor de acuerdo a la concentración especificada en el certificado de calibración de los gases suministrado por el proveedor de gases.
5. Presiona ENTER para confirmar el valor entrado. Anota la concentración de SO<sub>2</sub> y la respuesta estable del analizador.
6. El cursor ahora aparece en el campo de INSTRUMENT GAIN, anota el valor para referencia futura. Presiona ENTER para regresar a la pantalla inicial.

### 4.3.2 Óxidos de Nitrógeno.

La calibración solo puede desarrollarse cuando el instrumento es estable y ha sido energizado por al menos 3 horas.

Preparación:

1. Desarrolla los procedimientos de mantenimiento periódico. Estos procedimientos incluyen chequeo de filtros de partículas y prueba de fuga. Checa las pantallas de

SYSTEM FAULT, INSTRUMENT STATUS y SYSTEM TEMPERATURES para verificar que el analizador esté trabajando en buenas condiciones.

2. Asegúrate que el analizador esté bien conectado a los data logger.

3. Entra al CALIBRATION MENU y selecciona calibración MANUAL y el modo MEASURE. Asegúrate que los parámetros del instrumento están puestos a los valores especificados en el método de referencia USEPA. EXIT y regresa a la pantalla inicial.

### **AJUSTE DE CERO.**

1. Conecta la fuente de gas cero al analizador a través del puerto de entrada y permite muestrear el aire cero por al menos 30 minutos o hasta lograr obtener lecturas estables, generalmente durante un periodo de 10 a 15 minutos.

2. Anota la respuesta final estable de aire cero.

### **AJUSTE DE SPAN.**

1. Conecta la fuente de gas span de calibración a través del puerto de entrada y permite al analizador muestrear la concentración de NO/NOx hasta que se obtenga una respuesta estable de NO y NOx, generalmente durante 15 minutos.

2. De la pantalla inicial, presiona las flechas arriba y abajo. Cuando te pregunten “START MANUAL CALIBRATION” responde “YES” presionando de nuevo las flechas y luego “ENTER”. El cursor aparece en el primer dígito del campo de concentración de NOx. Usa SELECT y las flechas para entrar al punto de concentración de span de NOx de la hoja de especificación. Usa la tecla SELECT para seleccionar el dígito a cambiar y las flechas arriba y abajo para cambiar el valor. Presiona ENTER para confirmar el valor entrado, de acuerdo a la concentración especificada en el certificado de calibración del proveedor del gas de calibración.

3. El cursor aparece en el campo INSTRUMENT GAIN. Guarda el valor de INSTRUMENT GAIN para referencia futura.

4. Presiona ENTER o EXIT y coloca el campo de CONVERTER EFFICIENCY al 100 % usando SELECT y las flechas. EXIT y regresa a la pantalla inicial.

5. Deja operar el analizador hasta que las lecturas se estabilicen por al menos 5 minutos, de no ser así, repite el paso anterior para volver a ajustar el valor de la concentración hasta que las lecturas se estabilicen.
6. Desconecte el cilindro de gas y deje el analizador muestrear aire ambiente.
7. Un problema común que se presenta cuando las lecturas no logran estabilizarse es que existen fugas de aire en el instrumento, por lo que es necesario verificar que todas las líneas se encuentren bien conectadas.

La calibración al equipo se realiza al inicio del muestreo y durante el estudio solo se checa la calibración, solo lecturas de las concentraciones que especifica el certificado de los gases y si estos varían debe seguirse el procedimiento anteriormente descrito.

#### **4.3.3 Partículas de 10 micras.**

Los muestreadores con controlador de flujo volumétrico no deben ser calibrados si sus antecedentes demuestran que la velocidad de flujo es estable y confiable, tal es el caso de los equipos que se utilizaron para el muestreo de partículas PM<sub>10</sub> en este estudio y lo demuestran las cartas registradoras de velocidad de flujo que se obtuvieron junto con cada filtro con muestra que se adquirió diariamente.

#### 4.4 Densidad o Número de Puntos de Muestreo Requeridos

El número de puntos de muestreo requeridos se determinaron en función de la densidad de población, de acuerdo a los criterios recomendados por la Organización Mundial de la Salud para establecer un número promedio de estaciones de muestreo de calidad del aire, dependiendo del parámetro que se pretende medir, como se muestra en la tabla 4.1 (Martínez y Romieu, 1997).

Nota: Esta tabla es útil para una primera aproximación, cuando no se cuenta con información adicional.

Tabla 4.1. Criterio para establecer el número de estaciones de muestreo

<b>PROMEDIO DE ESTACIONES POR CONTAMINANTE</b>						
<b>Población urbana (millones)</b>	<b>Parámetros de Monitoreo</b>					
	<b>Partículas</b>	<b>Bióxido de Azufre</b>	<b>Óxidos de Nitrógeno</b>	<b>Oxidantes</b>	<b>Monóxido de Carbono</b>	<b>Meteorológicos (velocidad y dirección del viento y gradientes térmicos)</b>
menos de 1	2	2	1	1	1	1
1 - 4	5	5	2	2	2	2
4 - 8	8	8	4	3	4	2
más de 8	10	10	5	4	5	3

Fuente: CEPIS/OPS/OMS, 1997

#### **4.5 Localización y Distribución de las Estaciones de Muestreo**

Se realizó una distribución por zonas de la Ciudad considerando abarcar la mayor área posible y se determinaron las zonas Norte, Centro y Sur. Se eligieron los sitios para ubicar las tres estaciones de monitoreo de acuerdo a las recomendaciones que hace el Manual de Introducción al Monitoreo Atmosférico y que son principalmente la disponibilidad de energía eléctrica, seguridad contra vandalismo y facilidad de acceso al personal que realiza el monitoreo, considerándose los siguientes lugares:

- Estación 1 (Norte) en el Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora (CESUES), ubicado en Ley federal del trabajo y calle perimetral, Colonia Ley 57, en el 29°07'17'' de Latitud Norte y 110°57'40.3'' de Longitud Oeste.
- La estación 2 (Centro) en el Centro de investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), ubicado en Centenario Norte 53, Colonia Prados del Centenario, en el 29°04'32'' de Latitud Norte y 110°58'05'' de Longitud Oeste y,
- La estación 3 (Sur) en el Colegio de Bachilleres (COBACH) ubicado en el boulevard Vildósola, Colonia Villa de Seris, en el 29°02'37'' de Latitud Norte y 110° 57'30'' de Longitud Oeste.

En la figura 4.1 se puede observar la distribución y ubicación de las estaciones de monitoreo en la ciudad.

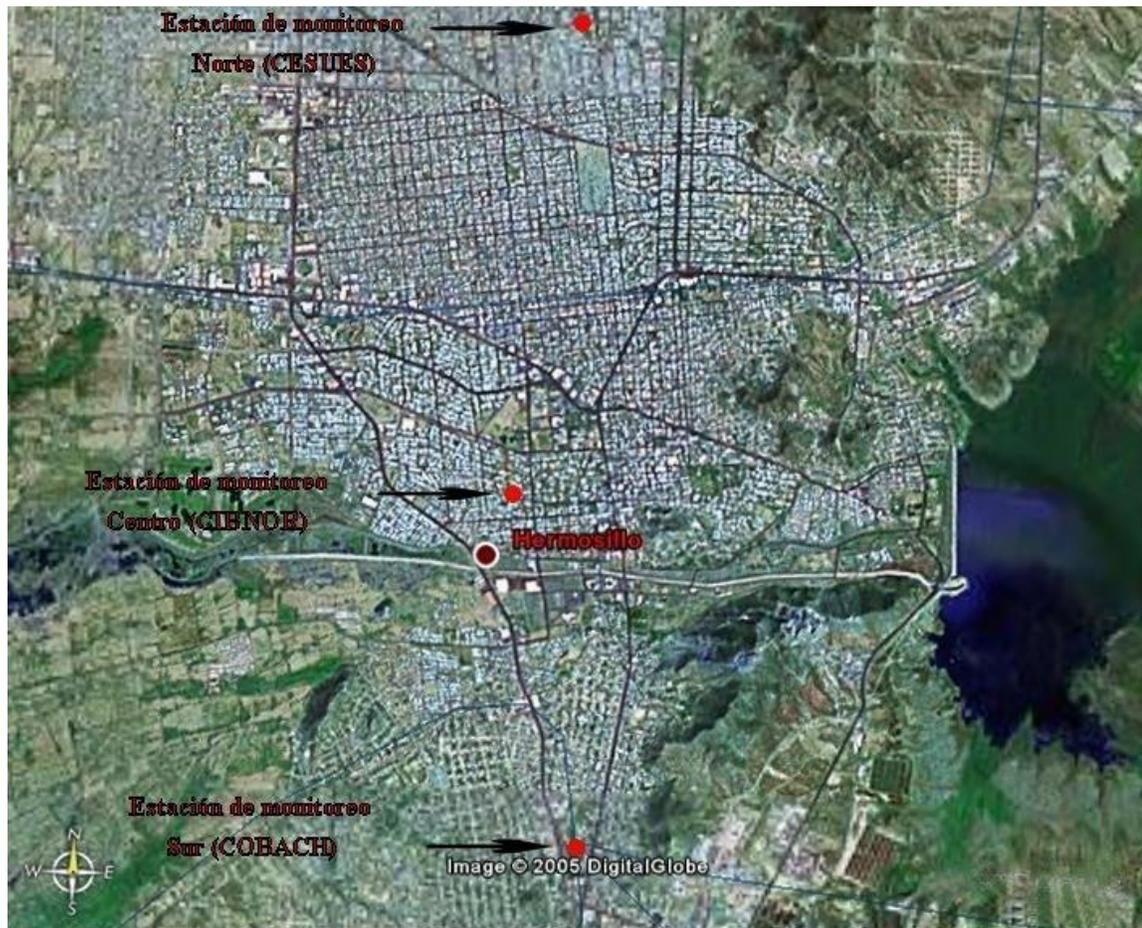


Figura 4.1. Ubicación de las estaciones de monitoreo en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

#### 4.6 Periodos del Monitoreo y Muestras

El monitoreo se realizó en dos periodos de siete días cada uno, uno en verano (del 8 al 15 de Julio del 2005) y el otro en invierno (del 10 al 16 de Diciembre del 2005), con el objetivo de observar la posible influencia de los cambios estacionales sobre la concentración de éstos contaminantes. Los equipos trabajaron periodos consecutivos y continuos de 24 horas. Diariamente se obtuvo un filtro con muestra de  $PM_{10}$  de cada estación, estos se analizaron gravimétricamente para determinar la masa de partículas

capturadas. Los analizadores de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> fueron calibrados al inicio y a la mitad del periodo de monitoreo con gas ultra cero y con el gas de intervalo.

#### **4.7 Análisis de la Información.**

Una vez elaborado el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Hermosillo, se llevó a cabo el procesamiento de datos y se presentaron los resultados mediante estadística descriptiva, tales como tablas y gráficas que muestran:

1. Valores estándares de la calidad del aire.
2. Análisis comparativo de los valores obtenidos con los límites normados permisibles por las Normas Oficiales Mexicanas.
3. Variación estacional de los contaminantes en los diferentes sitios de monitoreo.
4. Gráfica de excedentes de los valores normados.
5. Concentración máxima, mínima y promedio diaria de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>.
6. Concentración diaria de PM<sub>10</sub>.
7. Valores máximos horarios de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>.
8. Parámetros meteorológicos como temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento y presión barométrica.
9. Rosa de vientos para cada periodo. (Reddy 2003).

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Resultados del Primer Muestreo**

En este apartado se presentan los resultados obtenidos durante el primer muestreo realizado en el mes de Julio del 2005. Mediante gráficas de barras y tablas se muestran los valores máximos, promedios y mínimos diarios de óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas finas iguales o menores de 10 micras, para cada una de las estaciones de monitoreo. Igualmente se presentan tablas con los valores mínimos, promedios y máximos horarios de óxidos de nitrógeno para cada estación de monitoreo.

#### **5.1.1 Concentración de SO<sub>2</sub> en Estación Sur**

En la figura 5.1 y en las tablas 5.1 y 5.2 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios y horarios de SO<sub>2</sub> en la estación SUR ubicada en el COBACH de Villa de Seris.

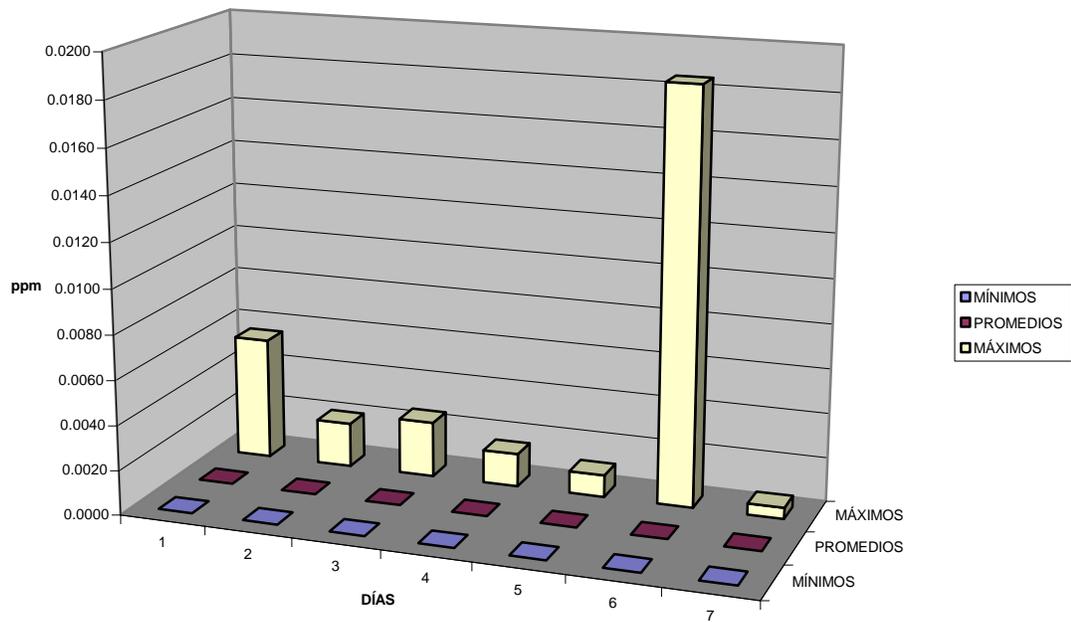


Figura 5.1. Concentración diaria de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del COBACH, durante el primer muestreo.

Tabla 5.1. Concentración diaria de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del COBACH, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DIARIOS DE SO <sub>2</sub> (ppm)							
COBACH							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
<b>MIN</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>PROM</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>MAX</b>	0.0055	0.0020	0.0025	0.0015	0.0010	0.0185	0.0005

Tabla 5.2. Valores promedios horarios de SO<sub>2</sub> de estación de monitoreo del COBACH, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES PROMEDIOS HORARIOS (ppm) DE SO <sub>2</sub> I MUESTREO								
COBACH								
HORA	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9	DIA 10
	07/07/2006	08/07/2006	09/07/2006	10/07/2006	11/07/2006	12/07/2006	13/07/2006	14/07/2006
10:30	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15:30	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16:30	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17:30	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18:30	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
01:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
02:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
03:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
04:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
05:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
06:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
07:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08:30	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
09:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

### 5.1.2 Concentración de SO<sub>2</sub> en Estación Centro

En la figura 5.2 y en las tablas 5.3 y 5.4 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios y horarios de SO<sub>2</sub> en la estación CENTRO ubicada en el CIBNOR en la colonia Prados del Centenario.

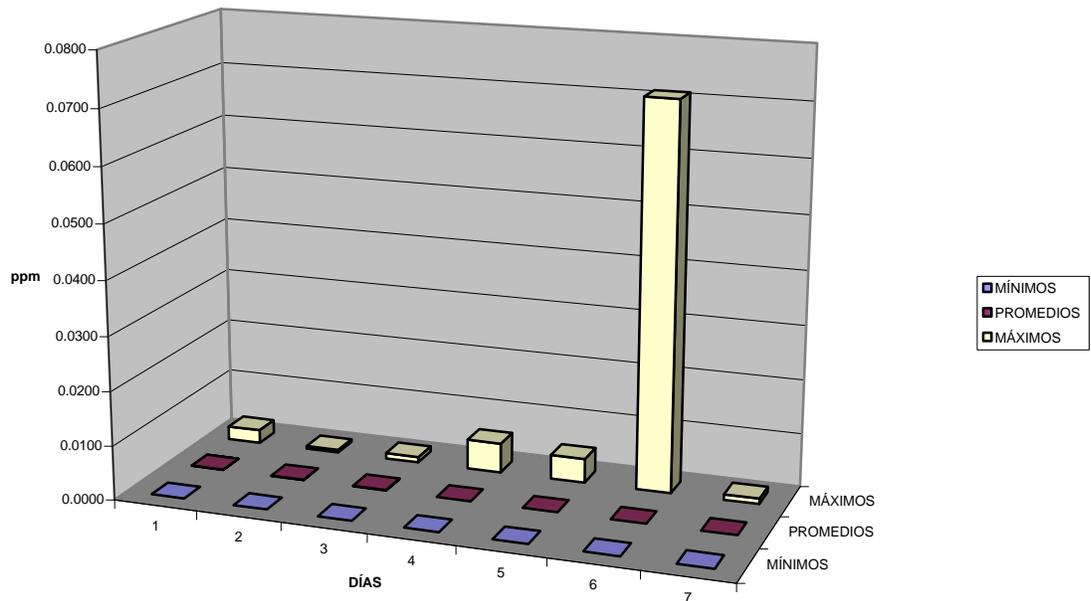


Figura 5.2. Concentración de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el primer muestreo.

Tabla 5.3. Concentración de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DE SO <sub>2</sub> (ppm)							
CIBNOR							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
<b>MIN</b>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>PROM</b>	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>MAX</b>	0.0025	0.0005	0.0010	0.0055	0.0045	0.0710	0.0010

Tabla 5.4. Valores promedios horarios de SO<sub>2</sub> de estación de monitoreo del CIBNOR, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES PROMEDIOS HORARIOS (ppm) DE SO <sub>2</sub> I MUESTREO									
CIBNOR									
HORA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9
	06/07/2006	07/07/2006	08/07/2006	09/07/2006	10/07/2006	11/07/2006	12/07/2006	13/07/2006	14/07/2006
01:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
02:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
03:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
04:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
05:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
06:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
07:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14:00	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15:00	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
22:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
00:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000

### 5.1.3 Concentración de SO<sub>2</sub> en Estación Norte

En la figura 5.3 y en las tablas 5.5 y 5.6 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios y horarios de SO<sub>2</sub> en la estación NORTE ubicada en el CESUES en la colonia Ley 57.

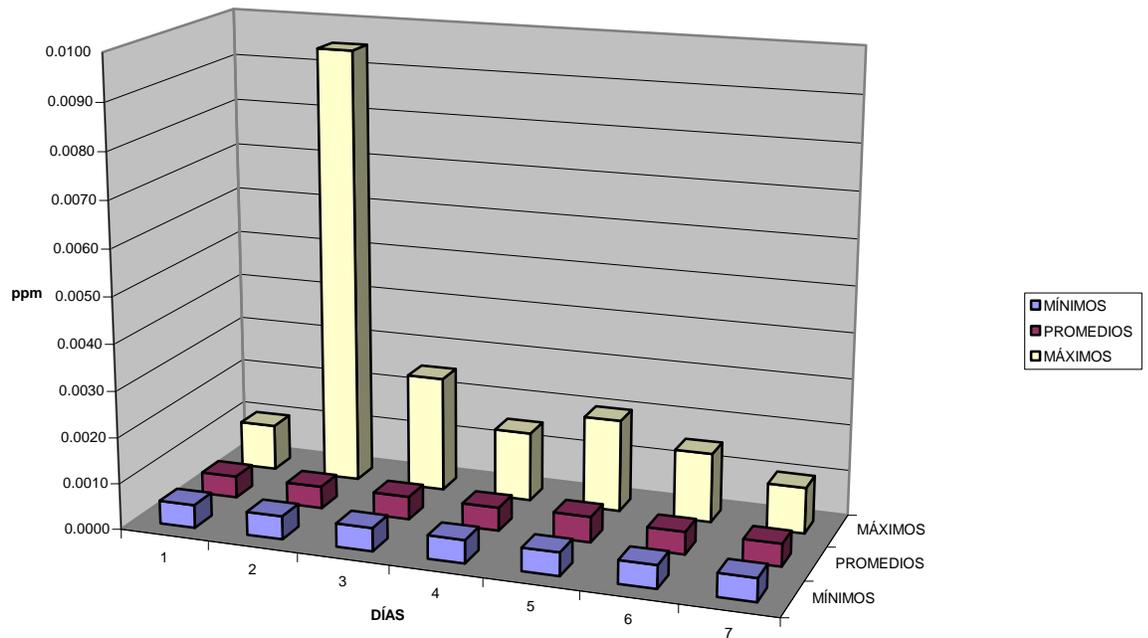


Figura 5.3. Concentración de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el primer muestreo.

Tabla 5.5. Concentración de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DE SO <sub>2</sub> (ppm)							
CESUES							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
<b>MIN</b>	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
<b>PROM</b>	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0006	0.0005	0.0005
<b>MAX</b>	0.0010	0.0095	0.0025	0.0015	0.0020	0.0015	0.0010

Tabla 5.6. Valores promedios horarios de SO<sub>2</sub> de estación de monitoreo del CESUES, durante el primer muestreo.

<b>TABLA DE VALORES PROMEDIOS HORARIOS (ppm)DE SO<sub>2</sub> I MUESTREO</b>									
<b>CESUES</b>									
<b>HORA</b>	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>	<b>DIA 6</b>	<b>DIA 7</b>	<b>DIA 8</b>	<b>DIA 9</b>
	<b>06/07/2006</b>	<b>07/07/2006</b>	<b>08/07/2006</b>	<b>09/07/2006</b>	<b>10/07/2006</b>	<b>11/07/2006</b>	<b>12/07/2006</b>	<b>13/07/2006</b>	<b>14/07/2006</b>
<b>01:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>02:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>03:00</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>04:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>05:00</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
<b>06:00</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
<b>07:00</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>08:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>09:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>10:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>11:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>12:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>13:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>14:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>15:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>16:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>17:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>18:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>19:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>20:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>21:00</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>22:00</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>23:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>00:00</b>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

### 5.1.4 Concentración Diaria de SO<sub>2</sub> Durante el Primer Periodo de Monitoreo

En la figura 5.4 y en la tabla 5.7 se presentan los valores de la concentración promedio diaria de las tres estaciones de monitoreo, así como el valor límite permisible regulado por la Norma Oficial Mexicana.

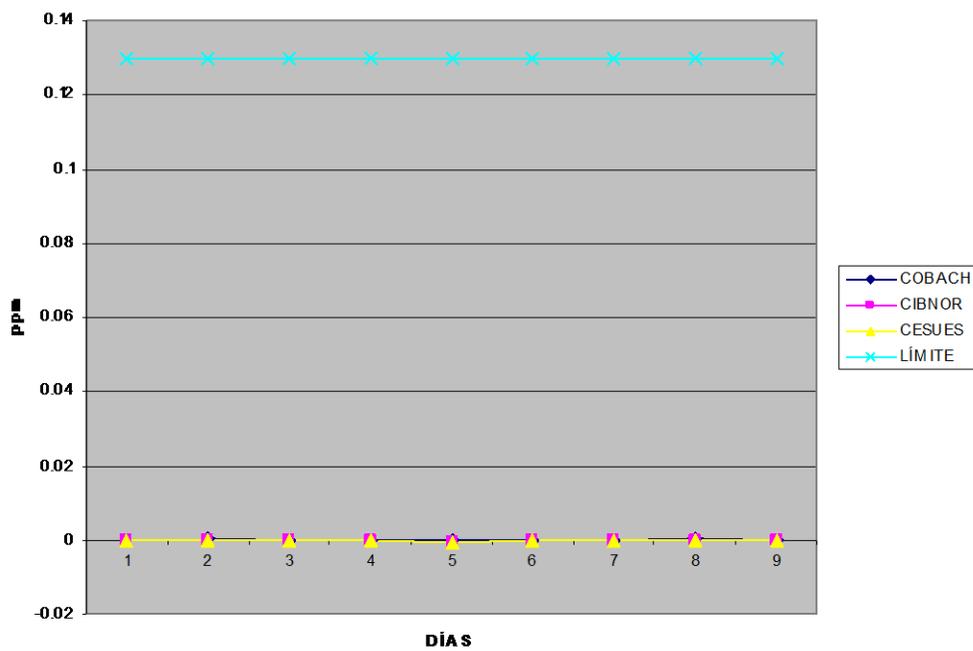


Figura 5.4. Valores promedios diarios de SO<sub>2</sub> de las tres estaciones de monitoreo durante el primer muestreo y valor límite permisible.

Tabla 5.7. Valores promedios diarios de SO<sub>2</sub> de las tres estaciones de monitoreo durante el primer muestreo y valor límite permisible por la NOM.

<b>TABLA DE VALORES PROMEDIOS DIARIOS DE SO<sub>2</sub> I PERIODO (ppm)</b>									
	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>	<b>DIA 6</b>	<b>DIA 7</b>	<b>DIA 8</b>	<b>DIA 9</b>
	06/07/2005	07/07/2005	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
<b>COBACH</b>		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>CIBNOR</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>CESUES</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>LÍMITE</b>	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13

### 5.1.5 Concentración de NO<sub>x</sub> en Estación Norte

En la figura 5.5 y en la tabla 5.8 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios de NO<sub>x</sub> en la estación NORTE ubicada en el CESUES en la colonia Ley 57. En las tablas 5.9, 5.10 y 5.11 se muestran los valores de las concentraciones horarias.

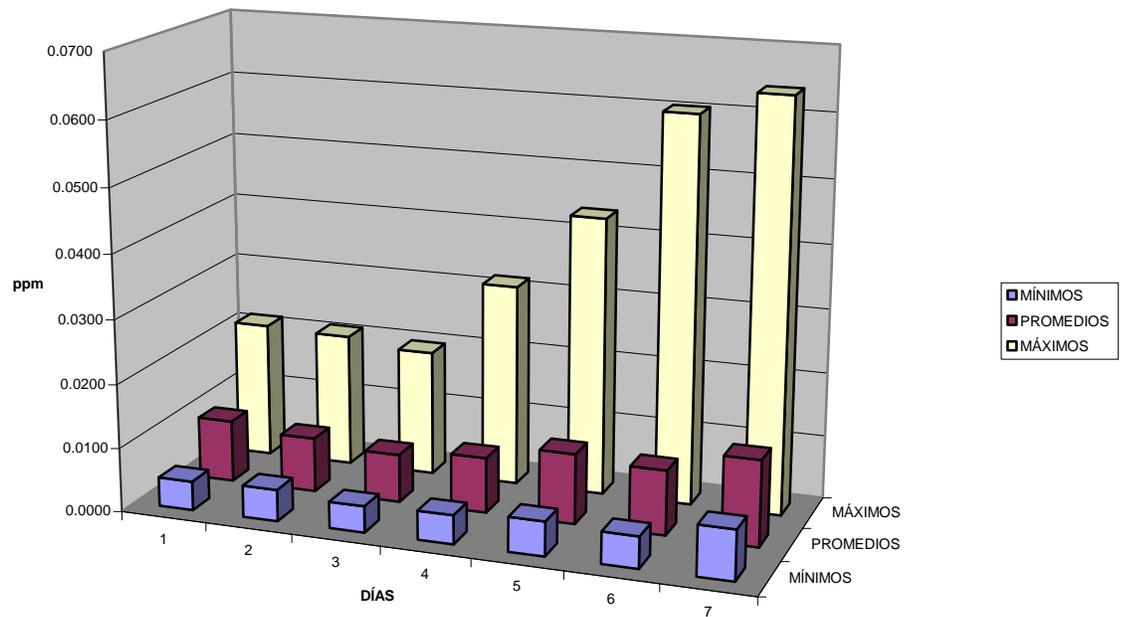


Figura 5.5. Concentración de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el primer muestreo.

Tabla 5.8. Concentración diaria de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DE NO <sub>x</sub> (ppm)							
CESUES							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
<b>MIN</b>	0.0045	0.0049	0.0041	0.0045	0.0053	0.0049	0.0078
<b>PROM</b>	0.0097	0.0085	0.0075	0.0087	0.0109	0.0101	0.0134
<b>MAX</b>	0.0213	0.0209	0.0197	0.0316	0.0435	0.0603	0.0640

Tabla 5.9. Concentración mínima horaria de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el primer muestreo.

<b>TABLA DE VALORES MÍNIMOS POR HORA DE NO<sub>x</sub> (ppm)</b>							
<b>CESUES</b>							
	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>	<b>DIA 6</b>	<b>DIA 7</b>
<b>HORA</b>	<b>08/07/2005</b>	<b>09/07/2005</b>	<b>10/07/2005</b>	<b>11/07/2005</b>	<b>12/07/2005</b>	<b>13/07/2005</b>	<b>14/07/2005</b>
<b>11:30</b>	0.0082	0.0070	0.0053	0.0062	0.0111	0.0070	0.0119
<b>12:30</b>	0.0062	0.0070	0.0049	0.0057	0.0098	0.0082	0.0119
<b>13:30</b>	0.0049	0.0066	0.0045	0.0045	0.0082	0.0094	0.0111
<b>14:30</b>	0.0045	0.0057	0.0045	0.0045	0.0074	0.0086	0.0111
<b>15:30</b>	0.0053	0.0057	0.0045	0.0045	0.0066	0.0070	0.0098
<b>16:30</b>	0.0062	0.0053	0.0049	0.0057	0.0074	0.0074	0.0103
<b>17:30</b>	0.0074	0.0057	0.0053	0.0066	0.0074	0.0074	0.0115
<b>18:30</b>	0.0074	0.0070	0.0057	0.0090	0.0082	0.0074	0.0119
<b>19:30</b>	0.0094	0.0103	0.0082	0.0082	0.0094	0.0074	0.0131
<b>20:30</b>	0.0086	0.0090	0.0090	0.0090	0.0098	0.0074	0.0131
<b>21:30</b>	0.0090	0.0103	0.0086	0.0094	0.0074	0.0062	0.0164
<b>22:30</b>	0.0086	0.0098	0.0066	0.0062	0.0074	0.0049	0.0111
<b>23:30</b>	0.0090	0.0098	0.0066	0.0062	0.0053	0.0049	0.0082
<b>00:30</b>	0.0057	0.0082	0.0066	0.0066	0.0057	0.0057	0.0086
<b>01:30</b>	0.0070	0.0074	0.0049	0.0066	0.0074	0.0057	0.0086
<b>02:30</b>	0.0086	0.0074	0.0041	0.0062	0.0066	0.0074	0.0086
<b>03:30</b>	0.0107	0.0090	0.0049	0.0057	0.0057	0.0074	0.0115
<b>04:30</b>	0.0074	0.0070	0.0041	0.0062	0.0057	0.0070	0.0107
<b>05:30</b>	0.0103	0.0049	0.0057	0.0074	0.0098	0.0074	0.0082
<b>06:30</b>	0.0082	0.0049	0.0090	0.0074	0.0148	0.0090	0.0078
<b>07:30</b>	0.0078	0.0049	0.0074	0.0090	0.0135	0.0115	0.0090
<b>08:30</b>	0.0098	0.0049	0.0078	0.0074	0.0152	0.0098	0.0094
<b>09:30</b>	0.0090	0.0053	0.0057	0.0074	0.0086	0.0131	0.0123
<b>10:30</b>	0.0090	0.0053	0.0057	0.0090	0.0062	0.0156	0.0119

Tabla 5.10. Concentración promedio horaria de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES PROMEDIOS POR HORA DE NO <sub>x</sub> (ppm)							
CESUES							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
HORA	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
11:30	0.0091	0.0085	0.0060	0.0073	0.0134	0.0082	0.0163
12:30	0.0074	0.0076	0.0057	0.0070	0.0124	0.0106	0.0159
13:30	0.0070	0.0074	0.0051	0.0059	0.0106	0.0110	0.0130
14:30	0.0061	0.0066	0.0050	0.0055	0.0084	0.0095	0.0122
15:30	0.0064	0.0066	0.0054	0.0052	0.0079	0.0079	0.0115
16:30	0.0072	0.0062	0.0060	0.0071	0.0088	0.0082	0.0119
17:30	0.0079	0.0071	0.0062	0.0079	0.0092	0.0082	0.0126
18:30	0.0090	0.0083	0.0070	0.0099	0.0104	0.0096	0.0138
19:30	0.0109	0.0117	0.0098	0.0100	0.0112	0.0091	0.0156
20:30	0.0101	0.0105	0.0102	0.0108	0.0106	0.0096	0.0156
21:30	0.0099	0.0111	0.0102	0.0105	0.0091	0.0080	0.0170
22:30	0.0094	0.0115	0.0089	0.0080	0.0101	0.0060	0.0194
23:30	0.0153	0.0107	0.0072	0.0069	0.0081	0.0059	0.0096
00:30	0.0088	0.0095	0.0072	0.0074	0.0076	0.0067	0.0097
01:30	0.0088	0.0088	0.0061	0.0080	0.0087	0.0069	0.0099
02:30	0.0120	0.0096	0.0049	0.0070	0.0079	0.0089	0.0114
03:30	0.0126	0.0128	0.0058	0.0068	0.0064	0.0079	0.0132
04:30	0.0101	0.0101	0.0053	0.0080	0.0078	0.0076	0.0132
05:30	0.0121	0.0069	0.0074	0.0096	0.0153	0.0098	0.0113
06:30	0.0103	0.0069	0.0119	0.0099	0.0200	0.0105	0.0104
07:30	0.0090	0.0067	0.0105	0.0123	0.0173	0.0130	0.0138
08:30	0.0110	0.0061	0.0124	0.0139	0.0209	0.0138	0.0142
09:30	0.0118	0.0063	0.0089	0.0112	0.0118	0.0153	0.0151
10:30	0.0105	0.0070	0.0077	0.0115	0.0088	0.0296	0.0145

Tabla 5.11. Concentración máxima horaria de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES MÁXIMOS POR HORA DE NO <sub>x</sub> (ppm)							
CESUES							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
HORA	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
11:30	0.0103	0.0111	0.0070	0.0094	0.0435	0.0094	0.0640
12:30	0.0086	0.0082	0.0062	0.0078	0.0139	0.0193	0.0513
13:30	0.0090	0.0086	0.0057	0.0070	0.0131	0.0127	0.0176
14:30	0.0070	0.0074	0.0057	0.0062	0.0094	0.0111	0.0144
15:30	0.0070	0.0074	0.0062	0.0070	0.0098	0.0094	0.0131
16:30	0.0082	0.0070	0.0070	0.0086	0.0107	0.0094	0.0131
17:30	0.0090	0.0086	0.0070	0.0098	0.0103	0.0094	0.0156
18:30	0.0119	0.0115	0.0098	0.0111	0.0119	0.0123	0.0176
19:30	0.0119	0.0148	0.0115	0.0119	0.0131	0.0111	0.0193
20:30	0.0119	0.0119	0.0119	0.0119	0.0119	0.0139	0.0185
21:30	0.0115	0.0123	0.0119	0.0115	0.0119	0.0107	0.0189
22:30	0.0107	0.0127	0.0111	0.0103	0.0152	0.0074	0.0254
23:30	0.0213	0.0119	0.0078	0.0074	0.0115	0.0074	0.0119
00:30	0.0119	0.0111	0.0078	0.0082	0.0098	0.0074	0.0119
01:30	0.0119	0.0103	0.0074	0.0115	0.0103	0.0074	0.0115
02:30	0.0156	0.0189	0.0057	0.0098	0.0119	0.0135	0.0148
03:30	0.0139	0.0209	0.0066	0.0078	0.0074	0.0094	0.0152
04:30	0.0127	0.0139	0.0066	0.0127	0.0111	0.0082	0.0172
05:30	0.0139	0.0090	0.0119	0.0127	0.0221	0.0115	0.0139
06:30	0.0119	0.0090	0.0197	0.0316	0.0303	0.0119	0.0131
07:30	0.0119	0.0078	0.0164	0.0185	0.0242	0.0168	0.0254
08:30	0.0123	0.0082	0.0197	0.0250	0.0328	0.0234	0.0217
09:30	0.0119	0.0074	0.0119	0.0127	0.0234	0.0209	0.0189
10:30	0.0123	0.0082	0.0107	0.0144	0.0135	0.0603	0.0172

### 5.1.6 Concentración de NO<sub>x</sub> en Estación Centro

En la figura 5.6 y en la tabla 5.12 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios de NO<sub>x</sub> en la estación CENTRO ubicada en el CIBNOR en la colonia Prados del Centenario. En las tablas 5.13, 5.14 y 5.15 se muestran los valores de las concentraciones horarias.

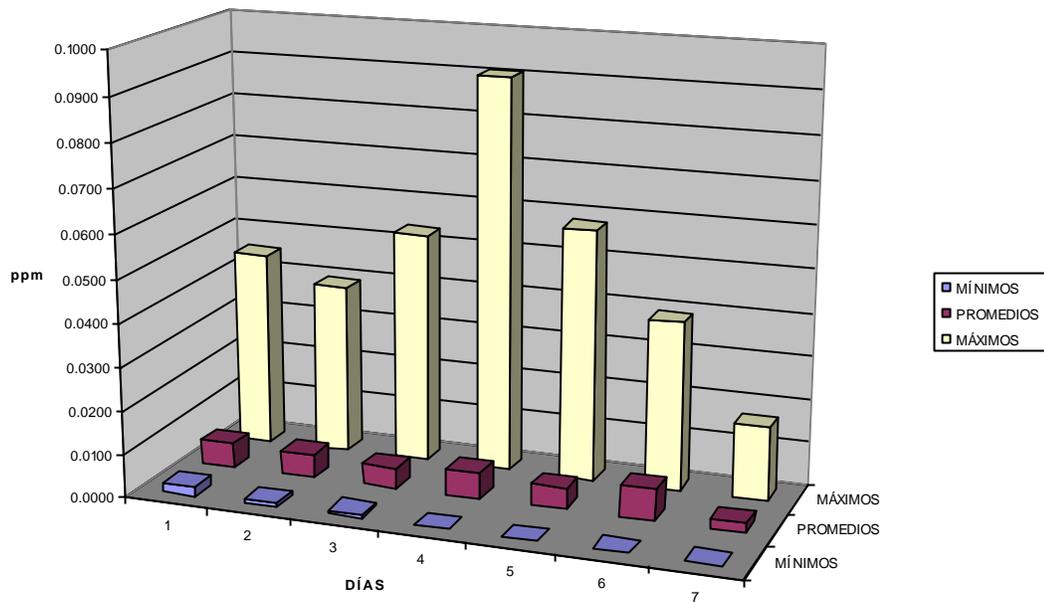


Figura 5.6. Concentración de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el primer muestreo.

Tabla 5.12. Concentración diaria de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DE NO <sub>x</sub> (ppm)							
CIBNOR							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
<b>MIN</b>	0.0021	0.0008	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
<b>PROM</b>	0.0058	0.0055	0.0047	0.0059	0.0050	0.0073	0.0021
<b>MAX</b>	0.0452	0.0394	0.0535	0.0909	0.0581	0.0390	0.0170

Tabla 5.13. Concentración mínima horaria de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el primer muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS POR HORA DE NO <sub>x</sub> (ppm)							
CIBNOR							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
HORA	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
11:00	0.0025	0.0021	0.0012	0.0021	0.0050	0.0012	0.0071
12:00	0.0025	0.0008	0.0008	0.0008	0.0037	0.0033	0.0042
13:00	0.0021	0.0021	0.0012	0.0017	0.0029	0.0025	0.0050
14:00	0.0029	0.0017	0.0008	0.0021	0.0017	0.0029	0.0046
15:00	0.0025	0.0021	0.0017	0.0017	0.0017	0.0025	0.0050
16:00	0.0029	0.0029	0.0017	0.0029	0.0021	0.0000	0.0054
17:00	0.0042	0.0025	0.0021	0.0000	0.0042	0.0000	0.0008
18:00	0.0033	0.0042	0.0025	0.0033	0.0058	0.0000	0.0000
19:00	0.0058	0.0046	0.0054	0.0008	0.0062	0.0000	0.0000
20:00	0.0046	0.0087	0.0046	0.0062	0.0042	0.0037	0.0000
21:00	0.0042	0.0058	0.0062	0.0050	0.0046	0.0000	0.0000
22:00	0.0033	0.0050	0.0037	0.0042	0.0042	0.0000	0.0000
23:00	0.0058	0.0033	0.0025	0.0033	0.0029	0.0000	0.0000
00:00	0.0042	0.0029	0.0029	0.0025	0.0017	0.0050	0.0000
01:00	0.0046	0.0021	0.0017	0.0025	0.0012	0.0066	0.0000
02:00	0.0066	0.0037	0.0017	0.0029	0.0017	0.0042	0.0000
03:00	0.0046	0.0058	0.0017	0.0021	0.0029	0.0050	0.0000
04:00	0.0021	0.0095	0.0008	0.0017	0.0029	0.0050	0.0000
05:00	0.0025	0.0062	0.0029	0.0017	0.0029	0.0062	0.0000
06:00	0.0046	0.0033	0.0058	0.0046	0.0025	0.0108	0.0000
07:00	0.0025	0.0025	0.0087	0.0075	0.0000	0.0120	0.0000
08:00	0.0046	0.0017	0.0037	0.0042	0.0000	0.0104	0.0000
09:00	0.0029	0.0025	0.0037	0.0066	0.0000	0.0079	0.0000
10:00	0.0029	0.0017	0.0029	0.0075	0.0000	0.0087	0.0000

Tabla 5.14. Concentración promedio horaria de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el primer muestreo.

<b>TABLA DE VALORES PROMEDIOS POR HORA DE NO<sub>x</sub> (ppm)</b>							
<b>CIBNOR</b>							
	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>	<b>DIA 6</b>	<b>DIA 7</b>
<b>HORA</b>	<b>08/07/2005</b>	<b>09/07/2005</b>	<b>10/07/2005</b>	<b>11/07/2005</b>	<b>12/07/2005</b>	<b>13/07/2005</b>	<b>14/07/2005</b>
<b>11:00</b>	0.0046	0.0037	0.0031	0.0037	0.0068	0.0047	0.0079
<b>12:00</b>	0.0038	0.0024	0.0021	0.0035	0.0056	0.0056	0.0071
<b>13:00</b>	0.0041	0.0027	0.0019	0.0034	0.0060	0.0060	0.0065
<b>14:00</b>	0.0047	0.0030	0.0018	0.0028	0.0033	0.0040	0.0058
<b>15:00</b>	0.0040	0.0030	0.0021	0.0035	0.0055	0.0047	0.0067
<b>16:00</b>	0.0050	0.0032	0.0023	0.0043	0.0046	0.0033	0.0077
<b>17:00</b>	0.0061	0.0035	0.0028	0.0043	0.0068	0.0027	0.0079
<b>18:00</b>	0.0057	0.0052	0.0036	0.0080	0.0077	0.0007	0.0000
<b>19:00</b>	0.0069	0.0072	0.0086	0.0071	0.0086	0.0046	0.0000
<b>20:00</b>	0.0099	0.0111	0.0089	0.0089	0.0062	0.0060	0.0000
<b>21:00</b>	0.0055	0.0094	0.0077	0.0073	0.0065	0.0046	0.0000
<b>22:00</b>	0.0064	0.0071	0.0068	0.0057	0.0077	0.0000	0.0000
<b>23:00</b>	0.0079	0.0049	0.0035	0.0049	0.0043	0.0031	0.0000
<b>00:00</b>	0.0080	0.0042	0.0036	0.0030	0.0029	0.0134	0.0000
<b>01:00</b>	0.0061	0.0030	0.0025	0.0029	0.0039	0.0108	0.0000
<b>02:00</b>	0.0078	0.0057	0.0020	0.0036	0.0047	0.0056	0.0000
<b>03:00</b>	0.0059	0.0080	0.0020	0.0027	0.0050	0.0070	0.0000
<b>04:00</b>	0.0046	0.0134	0.0020	0.0020	0.0037	0.0062	0.0000
<b>05:00</b>	0.0032	0.0078	0.0042	0.0026	0.0050	0.0080	0.0000
<b>06:00</b>	0.0057	0.0050	0.0091	0.0107	0.0037	0.0139	0.0000
<b>07:00</b>	0.0040	0.0073	0.0135	0.0139	0.0062	0.0183	0.0000
<b>08:00</b>	0.0065	0.0042	0.0092	0.0139	0.0006	0.0165	0.0000
<b>09:00</b>	0.0073	0.0031	0.0060	0.0100	0.0008	0.0126	0.0000
<b>10:00</b>	0.0060	0.0029	0.0040	0.0099	0.0033	0.0124	0.0000

Tabla 5.15. Concentración máxima horaria de NO<sub>x</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el primer muestreo.

<b>TABLA DE VALORES MÁXIMOS POR HORA DE NO<sub>x</sub> (ppm)</b>							
<b>CIBNOR</b>							
	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>	<b>DIA 6</b>	<b>DIA 7</b>
<b>HORA</b>	<b>08/07/2005</b>	<b>09/07/2005</b>	<b>10/07/2005</b>	<b>11/07/2005</b>	<b>12/07/2005</b>	<b>13/07/2005</b>	<b>14/07/2005</b>
<b>11:00</b>	0.0104	0.0112	0.0535	0.0295	0.0232	0.0145	0.0095
<b>12:00</b>	0.0079	0.0087	0.0212	0.0365	0.0091	0.0120	0.0100
<b>13:00</b>	0.0187	0.0033	0.0025	0.0232	0.0486	0.0108	0.0075
<b>14:00</b>	0.0091	0.0054	0.0029	0.0042	0.0071	0.0079	0.0170
<b>15:00</b>	0.0083	0.0046	0.0025	0.0112	0.0581	0.0386	0.0083
<b>16:00</b>	0.0095	0.0042	0.0029	0.0066	0.0075	0.0066	0.0100
<b>17:00</b>	0.0095	0.0058	0.0033	0.0083	0.0104	0.0079	0.0116
<b>18:00</b>	0.0112	0.0062	0.0095	0.0116	0.0116	0.0058	0.0004
<b>19:00</b>	0.0091	0.0108	0.0125	0.0154	0.0125	0.0154	0.0004
<b>20:00</b>	0.0154	0.0154	0.0120	0.0112	0.0095	0.0108	0.0004
<b>21:00</b>	0.0079	0.0129	0.0108	0.0100	0.0091	0.0170	0.0004
<b>22:00</b>	0.0120	0.0100	0.0104	0.0100	0.0120	0.0000	0.0000
<b>23:00</b>	0.0216	0.0062	0.0046	0.0075	0.0054	0.0324	0.0004
<b>00:00</b>	0.0349	0.0062	0.0050	0.0037	0.0050	0.0299	0.0004
<b>01:00</b>	0.0141	0.0046	0.0033	0.0033	0.0382	0.0228	0.0004
<b>02:00</b>	0.0095	0.0095	0.0025	0.0050	0.0129	0.0071	0.0004
<b>03:00</b>	0.0091	0.0166	0.0025	0.0033	0.0087	0.0091	0.0004
<b>04:00</b>	0.0075	0.0224	0.0029	0.0021	0.0050	0.0075	0.0004
<b>05:00</b>	0.0062	0.0095	0.0108	0.0042	0.0071	0.0162	0.0004
<b>06:00</b>	0.0079	0.0079	0.0166	0.0170	0.0066	0.0195	0.0004
<b>07:00</b>	0.0058	0.0104	0.0274	0.0681	0.0174	0.0390	0.0000
<b>08:00</b>	0.0108	0.0394	0.0183	0.0909	0.0075	0.0299	0.0000
<b>09:00</b>	0.0141	0.0050	0.0129	0.0452	0.0075	0.0274	0.0004
<b>10:00</b>	0.0452	0.0241	0.0087	0.0195	0.0187	0.0183	0.0004

### 5.1.7 Concentración Diaria de NO<sub>x</sub> Durante el Primer Periodo de Monitoreo

En la figura 5.7 y en la tabla 5.16 se presentan los valores promedios diarios de NO<sub>x</sub> de las dos estaciones de monitoreo así como el valor límite permisible regulado por la NOM.

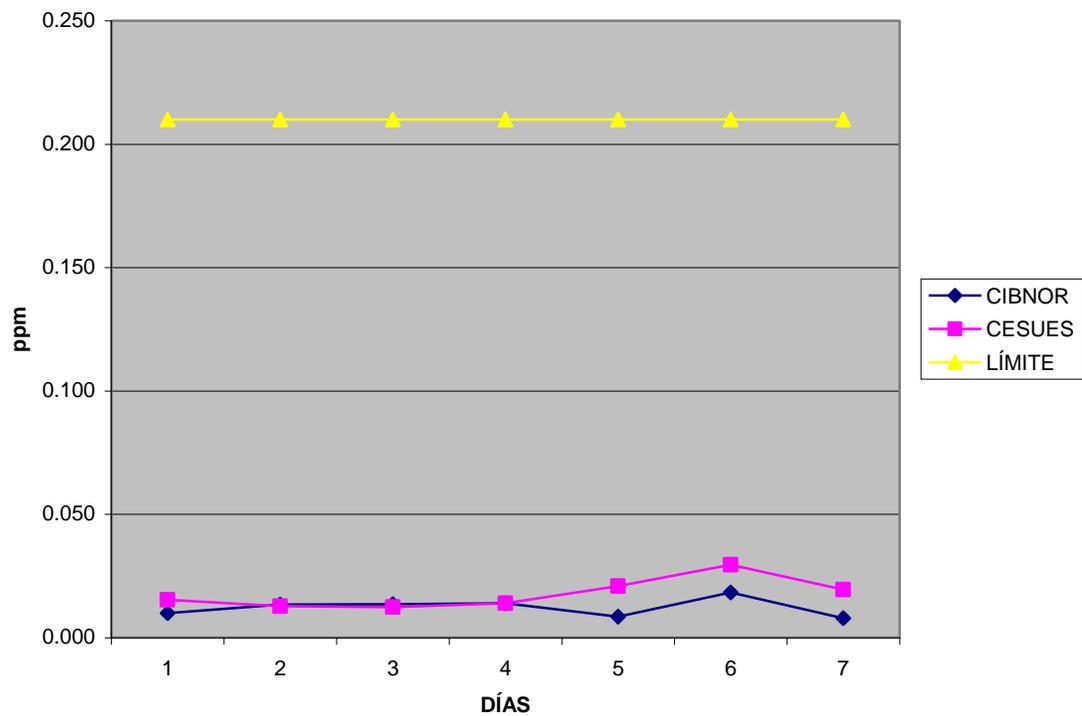


Figura 5.7. Concentración promedio máxima diaria de NO<sub>x</sub> de las estaciones del CIBNOR y CESUES durante el primer muestreo y límite permisible por la NOM.

Tabla 5.16. Valores promedios máximos diarios de NO<sub>x</sub> de las estaciones del CIBNOR y CESUES durante el primer muestreo y valor límite permisible.

TABLA DE VALORES PROMEDIOS MÁXIMOS DIARIOS DE NO <sub>x</sub> (ppm) I PERIODO							
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7
	08/07/2005	09/07/2005	10/07/2005	11/07/2005	12/07/2005	13/07/2005	14/07/2005
CIBNOR	0.01	0.013	0.013	0.014	0.009	0.018	0.008
CESUES	0.015	0.013	0.012	0.014	0.021	0.03	0.019
LÍMITE	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21

### 5.1.8 Concentración Diaria de PM<sub>10</sub> Durante el Primer Periodo de Monitoreo

En la figura 5.8 y en la tabla 5.17 se presentan los valores de la concentración diaria de partículas finas PM<sub>10</sub> de las tres estaciones de monitoreo, así como el valor límite permisible regulado por la NOM.

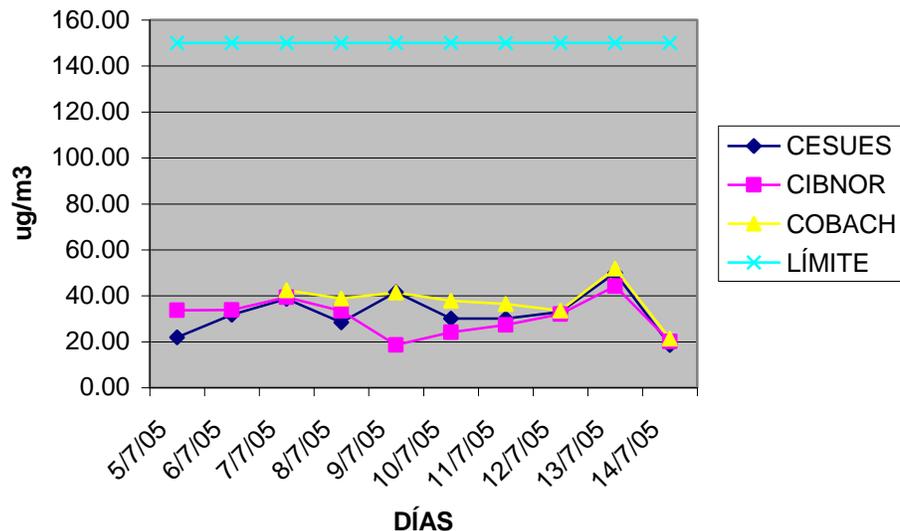


Figura 5.8. Concentración diaria de PM<sub>10</sub> durante el primer muestreo y valor límite permisible.

Tabla 5.17. Concentración diaria de PM<sub>10</sub> durante el primer muestreo y valor límite permisible.

<b>CONCENTRACIÓN DE PM10 EN µg/m3</b>				
<b>FECHA</b>	<b>CESUES</b>	<b>CIB</b>	<b>COBACH</b>	<b>LIMITE</b>
05/07/2005	21.88	33.62		150
06/07/2005	31.71	33.78		150
07/07/2005	38.70	39.32	42.36	150
08/07/2005	28.45	33.37	38.76	150
09/07/2005	41.53	18.55	41.39	150
10/07/2005	30.07	24.07	37.83	150
11/07/2005	30.10	27.28	36.47	150
12/07/2005	33.01	31.94	33.57	150
13/07/2005	49.84	44.20	51.87	150
14/07/2005	18.61	20.03	21.37	150

## **5.2 Resultados del Segundo Periodo de Muestreo**

En este apartado se presentan los resultados obtenidos durante el segundo periodo de muestreo realizado en el mes de Diciembre del 2005. Mediante gráficas de barras y tablas se muestran los valores máximos, promedios y mínimos diarios de óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas finas iguales o menores de 10 micras, para cada una de las estaciones de monitoreo. Igualmente se presentan tablas con los valores mínimos, promedios y máximos horarios de óxidos de nitrógeno para cada estación de monitoreo.

## 5.2.1 Concentración de SO<sub>2</sub> en Estación Sur

En la figura 5.9 y en las tablas 5.18 y 5.19 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios y horarios de SO<sub>2</sub> en la estación SUR ubicada en el COBACH de Villa de Seris.

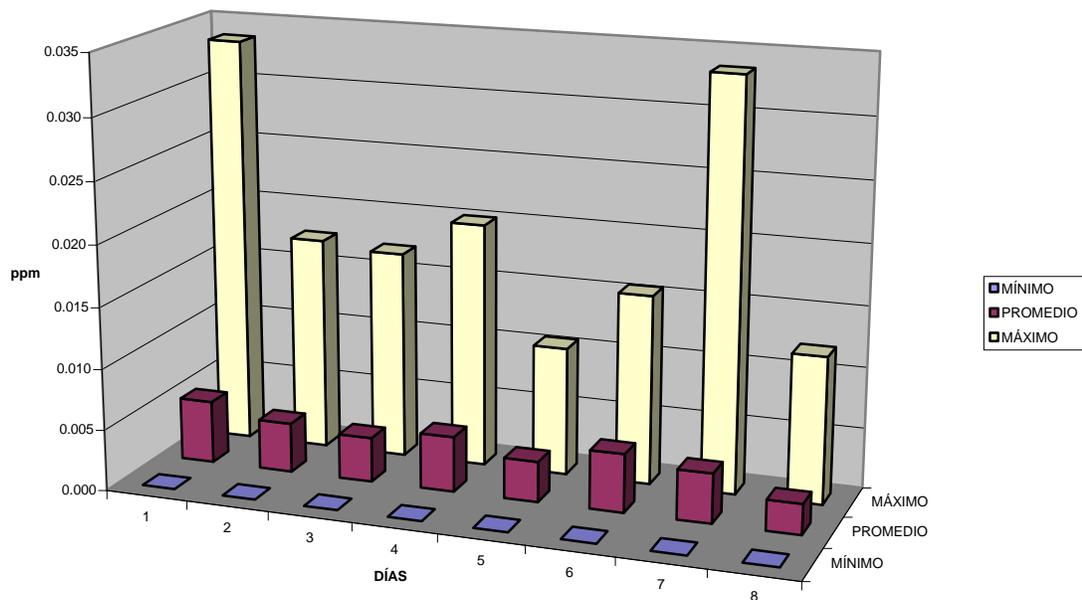


Figura 5.9. Concentración diaria de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del COBACH, durante el segundo muestreo.

Tabla 5.18. Concentración diaria de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del COBACH, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DIARIOS DE SO <sub>2</sub> (ppm)								
COBACH								
	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8
	09/12/2006	10/12/2006	11/12/2006	12/12/2006	13/12/2006	14/12/2006	15/12/2006	16/12/2006
<b>MIN</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>PROM</b>	0.005	0.004	0.004	0.005	0.003	0.005	0.004	0.002
<b>MAX</b>	0.034	0.018	0.017	0.020	0.011	0.016	0.034	0.012

Tabla 5.19. Valores promedios horarios de SO<sub>2</sub> de estación de monitoreo del COBACH, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES PROMEDIOS HORARIOS DE SO <sub>2</sub> (ppm) II MUESTREO								
COBACH								
HORA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
	09/12/2005	10/12/2005	11/12/2005	12/12/2005	13/12/2005	14/12/2005	15/12/2005	16/12/2005
01:00	0.002	0.012	0.005	0.015	0.003	0.011	0.005	0.002
02:00	0.005	0.008	0.004	0.016	0.004	0.007	0.006	0.000
03:00	0.016	0.005	0.005	0.013	0.003	0.004	0.005	0.001
04:00	0.001	0.002	0.007	0.005	0.002	0.002	0.001	0.001
05:00	0.000	0.000	0.005	0.001	0.003	0.001	0.000	0.002
06:00	0.001	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.002	0.005
07:00	0.003	0.004	0.001	0.006	0.004	0.010	0.005	0.006
08:00	0.008	0.007	0.002	0.015	0.005	0.011	0.006	0.004
09:00	0.007	0.005	0.004	0.004	0.004	0.008	0.017	0.004
10:00	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.008	0.014	0.002
11:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006	0.008	0.003
12:00	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.003
13:00	0.001	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.005
14:00	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001
15:00	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001
16:00	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
17:00	0.002	0.004	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.002
18:00	0.004	0.007	0.003	0.003	0.001	0.002	0.003	0.003
19:00	0.006	0.006	0.004	0.005	0.003	0.006	0.005	0.003
20:00	0.008	0.002	0.004	0.004	0.006	0.006	0.003	0.001
21:00	0.014	0.003	0.007	0.003	0.007	0.004	0.002	0.002
22:00	0.016	0.006	0.009	0.003	0.006	0.006	0.002	0.001
23:00	0.013	0.008	0.010	0.002	0.008	0.008	0.004	0.003
00:00	0.012	0.006	0.011	0.003	0.006	0.006	0.004	0.004

## 5.2.2 Concentración de SO<sub>2</sub> en Estación Centro

En la figura 5.10 y en las tablas 5.20 y 5.21 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios y horarios de SO<sub>2</sub> en la estación CENTRO ubicada en el CIBNOR en Prados del Centenario.

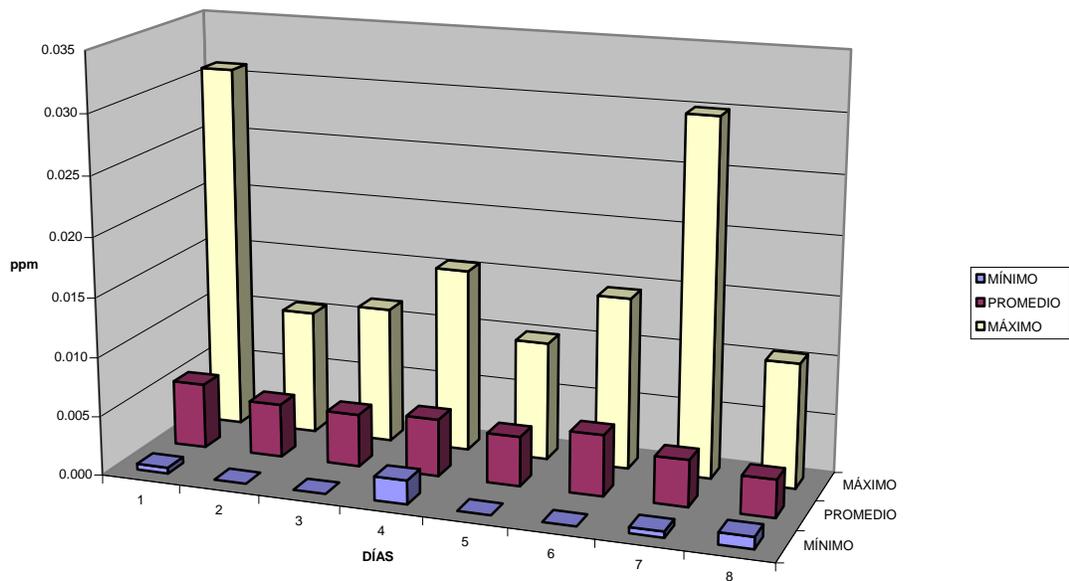


Figura 5.10. Concentración diaria de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el segundo muestreo.

Tabla 5.20. Concentración diaria de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del CIBNOR, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DIARIOS DE S0 <sub>2</sub> (ppm)								
CIBNOR								
	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8
	09/12/2006	10/12/2006	11/12/2006	12/12/2006	13/12/2006	14/12/2006	15/12/2006	16/12/2006
<b>MIN</b>	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001
<b>PROM</b>	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004	0.003
<b>MAX</b>	0.031	0.011	0.012	0.016	0.010	0.015	0.030	0.011

Tabla 5.21. Valores promedios horarios de SO<sub>2</sub> de estación de monitoreo del CIBNOR, durante el segundo muestreo.

<b>TABLA DE VALORES PROMEDIOS HORARIOS DE SO<sub>2</sub> (ppm) II MUESTREO</b>								
<b>CIBNOR</b>								
<b>HORA</b>	<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>	<b>DIA 6</b>	<b>DIA 7</b>	<b>DIA 8</b>
	09/12/2005	10/12/2005	11/12/2005	12/12/2005	13/12/2005	14/12/2005	15/12/2005	16/12/2005
<b>01:00</b>	0.003	0.005	0.004	0.010	0.006	0.011	0.004	0.002
<b>02:00</b>	0.002	0.005	0.004	0.010	0.004	0.009	0.005	0.002
<b>03:00</b>	0.002	0.004	0.006	0.009	0.004	0.006	0.003	0.002
<b>04:00</b>	0.002	0.002	0.008	0.005	0.007	0.004	0.001	0.002
<b>05:00</b>	0.002	0.002	0.003	0.003	0.005	0.003	0.001	0.003
<b>06:00</b>	0.002	0.002	0.002	0.005	0.004	0.003	0.002	0.003
<b>07:00</b>	0.002	0.002	0.002	0.007	0.003	0.003	0.003	0.003
<b>08:00</b>	0.004	0.003	0.002	0.009	0.002	0.007	0.005	0.003
<b>09:00</b>	0.005	0.004	0.004	0.005	0.003	0.012	0.010	0.003
<b>10:00</b>	0.003	0.003	0.003	0.006	0.004	0.009	0.008	0.004
<b>11:00</b>	0.003	0.003	0.002	0.005	0.003	0.006	0.010	0.004
<b>12:00</b>	0.004	0.005	0.003	0.003	0.002	0.004	0.003	0.004
<b>13:00</b>	0.004	0.005	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.007
<b>14:00</b>	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003
<b>15:00</b>	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003
<b>16:00</b>	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003
<b>17:00</b>	0.003	0.004	0.003	0.003	0.001	0.002	0.003	0.003
<b>18:00</b>	0.006	0.005	0.003	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003
<b>19:00</b>	0.010	0.007	0.004	0.004	0.003	0.005	0.006	0.003
<b>20:00</b>	0.010	0.008	0.005	0.003	0.008	0.005	0.003	0.003
<b>21:00</b>	0.013	0.007	0.007	0.003	0.009	0.005	0.003	0.003
<b>22:00</b>	0.015	0.007	0.010	0.003	0.007	0.005	0.003	0.002
<b>23:00</b>	0.016	0.009	0.010	0.003	0.008	0.007	0.004	0.003
<b>00:00</b>	0.010	0.007	0.010	0.004	0.007	0.005	0.003	0.004

### 5.2.3 Concentración de SO<sub>2</sub> en Estación Norte

En la figura 5.11 y en las tablas 5.22 y 5.23 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios y horarios de SO<sub>2</sub> en la estación NORTE ubicada en el CESUES en la Colonia Ley 57. Los días del 9 al 13 el equipo analizador de SO<sub>2</sub> en esta estación falló por lo que no se presenta información en este periodo.

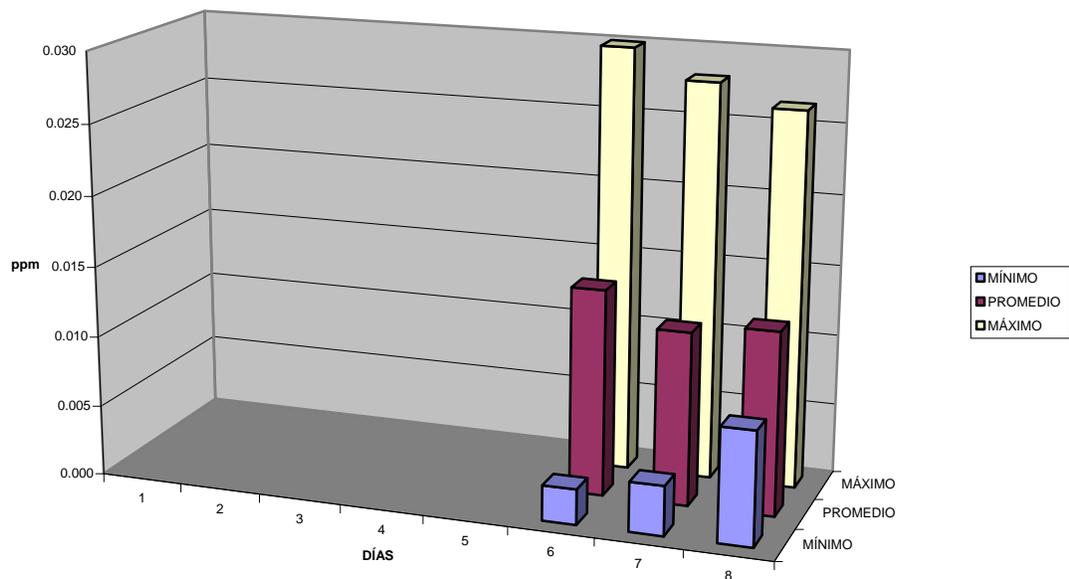


Figura 5.11. Concentración diaria de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el segundo muestreo.

Tabla 5.22. Concentración diaria de SO<sub>2</sub> en estación de monitoreo del CESUES, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DIARIOS DE S0 <sub>2</sub> (ppm)								
CESUES								
	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8
	09/12/2006	10/12/2006	11/12/2006	12/12/2006	13/12/2006	14/12/2006	15/12/2006	16/12/2006
<b>MIN</b>						0.003	0.004	0.008
<b>PROM</b>						0.015	0.012	0.013
<b>MAX</b>						0.030	0.028	0.027

Tabla 5.23. Valores promedios horarios de SO<sub>2</sub> de estación de monitoreo del CESUES, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES PROMEDIOS HORARIOS DE SO <sub>2</sub> (ppm) II MUESTREO								
CESUES								
HORA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
	09/12/2005	10/12/2005	11/12/2005	12/12/2005	13/12/2005	14/12/2005	15/12/2005	16/12/2005
01:00							0.014	0.011
02:00							0.013	0.015
03:00							0.011	0.013
04:00							0.009	0.011
05:00							0.012	0.012
06:00							0.011	0.011
07:00							0.013	0.012
08:00							0.018	0.017
09:00							0.023	0.022
10:00							0.018	0.025
11:00							0.015	0.020
12:00							0.014	0.013
13:00							0.010	0.017
14:00							0.006	0.011
15:00							0.005	0.009
16:00						0.006	0.006	0.008
17:00						0.004	0.007	0.010
18:00						0.005	0.009	0.009
19:00						0.020	0.014	0.010
20:00						0.018	0.012	0.009
21:00						0.017	0.010	0.011
22:00						0.027	0.012	0.009
23:00						0.021	0.016	0.010
00:00						0.014	0.015	0.012

### 5.2.4 Concentración Diaria de SO<sub>2</sub> Durante el Segundo Periodo de Monitoreo

En la figura 5.12 y en la tabla 5.24 se presentan los valores de la concentración promedio diaria de SO<sub>2</sub> de las tres estaciones de monitoreo así como el valor límite permisible normado por la NOM.

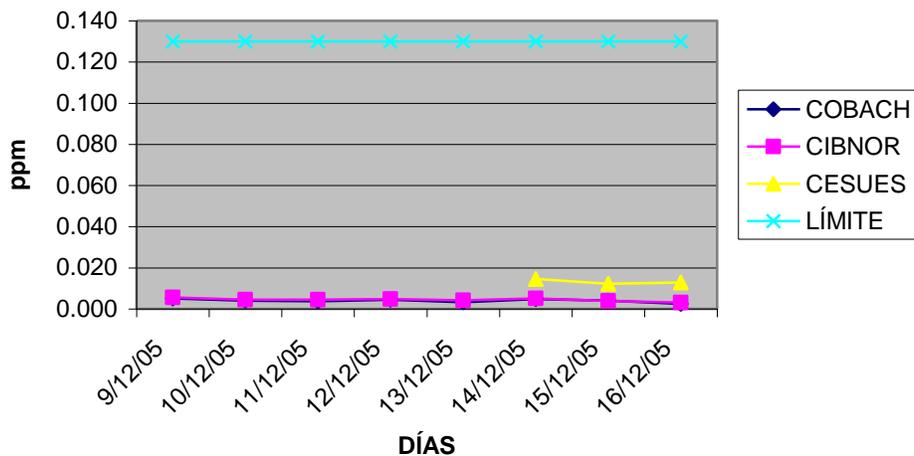


Figura 5.12. Valores promedios diarios de SO<sub>2</sub> de las tres estaciones de monitoreo durante el segundo muestreo y valor límite permisible.

Tabla 5.24. Valores promedios diarios de SO<sub>2</sub> (ppm) de las tres estaciones de monitoreo durante el segundo muestreo y valor límite permisible por la NOM.

FECHA	COBACH	CIBNOR	CESUES	LÍMITE
09/12/2005	0.005	0.005		0.13
10/12/2005	0.004	0.005		0.13
11/12/2005	0.004	0.004		0.13
12/12/2005	0.005	0.005		0.13
13/12/2005	0.003	0.004		0.13
14/12/2005	0.005	0.005	0.015	0.13
15/12/2005	0.004	0.004	0.012	0.13
16/12/2005	0.002	0.003	0.013	0.13

### 5.2.5 Concentración de NO<sub>x</sub> en Estación Centro

En la figura 5.13 y en la tabla 5.25 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios de NO<sub>x</sub> en la estación CENTRO ubicada en el CIBNOR en la colonia Prados del Centenario. En la tabla 5.26 se muestran los valores de la concentración promedio horaria. Los días 11 y 12 de Diciembre el analizador de NO<sub>x</sub> de esta estación falló, por lo que no se presentan los datos de este periodo.

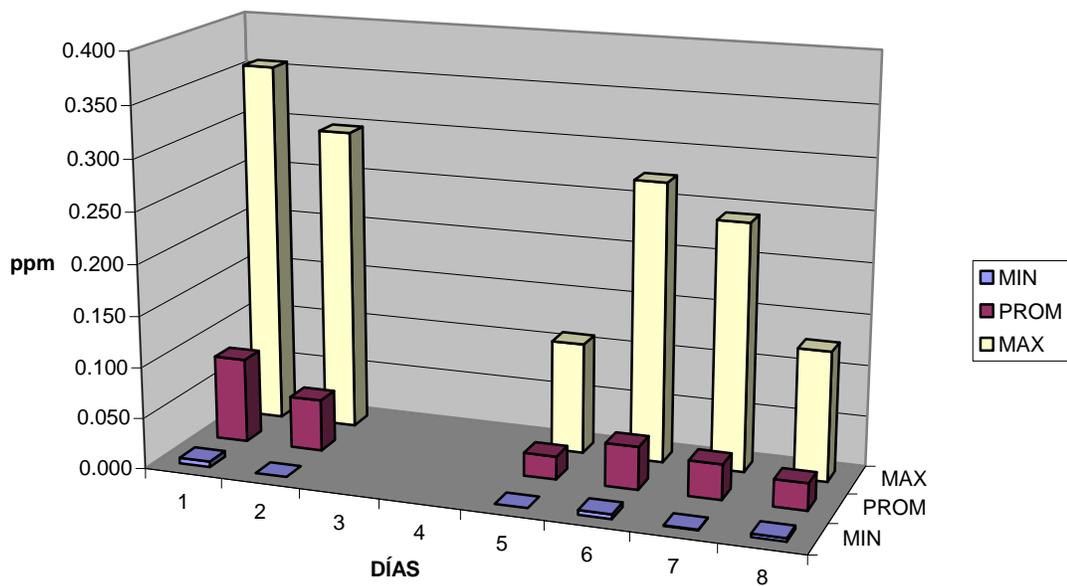


Figura 5.13. Concentración diaria de NO<sub>x</sub> de la estación del CIBNOR, durante el segundo muestreo.

Tabla 5.25. Concentración diaria de NO<sub>x</sub> de la estación del CIBNOR, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DIARIOS DE NO <sub>x</sub> (ppm)								
II MUESTREO								
CIBNOR								
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
	09/12/2005	10/12/2005	11/12/2005	12/12/2005	13/12/2005	14/12/2005	15/12/2005	16/12/2005
<b>MIN</b>	0.005	0.000			0.000	0.005	0.000	0.003
<b>PROM</b>	0.083	0.051			0.023	0.042	0.035	0.026
<b>MAX</b>	0.357	0.298			0.109	0.274	0.242	0.127

Tabla 5.26. Concentración promedio horaria de NO<sub>x</sub> de la estación del CIBNOR, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES PROMEDIOS HORARIOS DE NO <sub>x</sub> (ppm) II MUESTREO								
CIBNOR								
HORA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
	09/12/2005	10/12/2005	11/12/2005	12/12/2005	13/12/2005	14/12/2005	15/12/2005	16/12/2005
01:00		0.037			0.015	0.008	0.032	0.014
02:00		0.021			0.016	0.007	0.045	0.011
03:00		0.028			0.013	0.010	0.023	0.011
04:00		0.019			0.012	0.010	0.010	0.012
05:00		0.009			0.013	0.010	0.012	0.020
06:00		0.002			0.019	0.018	0.022	0.019
07:00		0.016			0.026	0.033	0.053	0.037
08:00		0.039			0.047	0.134	0.081	0.035
09:00		0.039			0.040	0.210	0.158	0.040
10:00	0.042	0.035			0.058	0.102	0.093	0.050
11:00	0.038	0.020			0.036	0.038	0.075	0.039
12:00	0.045	0.069			0.020	0.022	0.024	0.015
13:00	0.040	0.069			0.022	0.008	0.010	0.009
14:00	0.022	0.023			0.022	0.010	0.007	0.008
15:00	0.008	0.015			0.024	0.014	0.007	0.007
16:00	0.012	0.018			0.022	0.014	0.014	0.009
17:00	0.017	0.041			0.018	0.013	0.021	0.012
18:00	0.079	0.080			0.018	0.038	0.018	0.023
19:00	0.145	0.118			0.015	0.085	0.016	0.033
20:00	0.087	0.130			0.022	0.063	0.016	0.031
21:00	0.141	0.117			0.017	0.048	0.020	0.036
22:00	0.214	0.063			0.021	0.037	0.029	0.032
23:00	0.228	0.114			0.014	0.050	0.024	0.046
00:00	0.127	0.094			0.012	0.024	0.021	0.085

## 5.2.6 Concentración de NO<sub>x</sub> en Estación Norte

En la figura 5.14 y en la tabla 5.27 se muestran los valores mínimos, promedio y máximos diarios de NO<sub>x</sub> en la estación NORTE ubicada en el CESUES en la colonia Ley 57. En la tabla 5.28 se muestran los valores de la concentración promedio horaria.

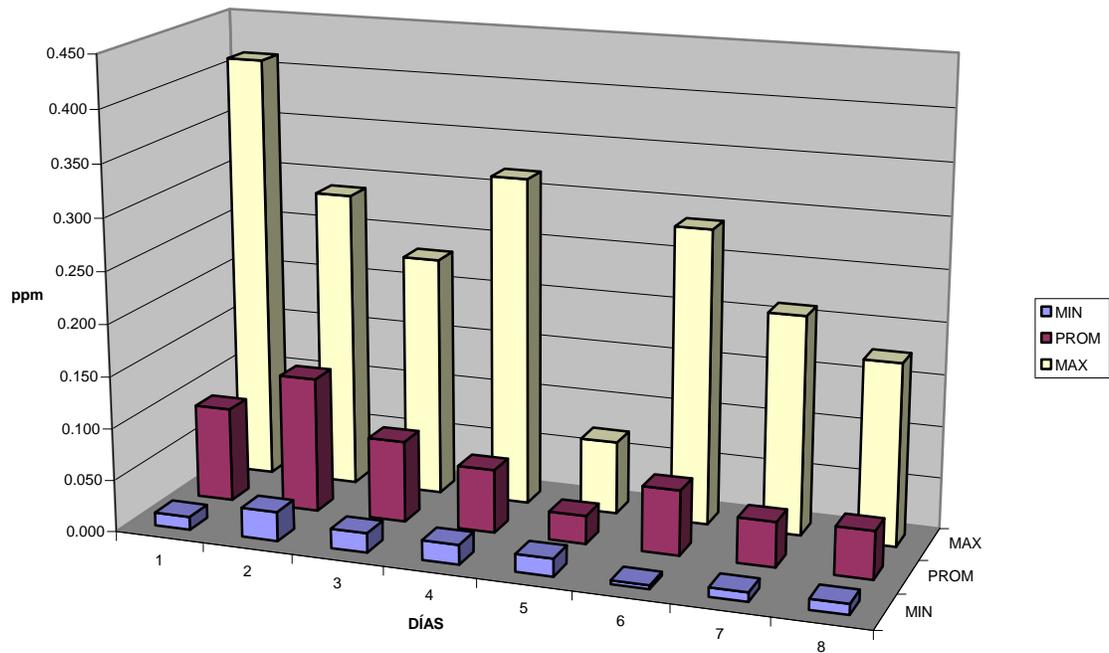


Figura 5.14. Concentración diaria de NO<sub>x</sub> de la estación del CESUES, durante el segundo muestreo.

Tabla 5.27. Concentración diaria de NO<sub>x</sub> de la estación del CESUES, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES MÍNIMOS, PROMEDIOS Y MÁXIMOS DIARIOS DE NO <sub>x</sub> (ppm)								
II MUESTREO								
CESUES								
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
	09/12/2005	10/12/2005	11/12/2005	12/12/2005	13/12/2005	14/12/2005	15/12/2005	16/12/2005
<b>MIN</b>	0.013	0.028	0.019	0.019	0.017	0.004	0.009	0.010
<b>PROM</b>	0.091	0.130	0.078	0.061	0.027	0.062	0.043	0.046
<b>MAX</b>	0.413	0.288	0.232	0.318	0.071	0.285	0.211	0.175

Tabla 5.28. Concentración promedio horaria de NO<sub>x</sub> de la estación del CESUES, durante el segundo muestreo.

TABLA DE VALORES PROMEDIOS HORARIOS DE NO <sub>x</sub> (ppm) II MUESTREO								
CESUES								
HORA	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8
	09/12/2005	10/12/2005	11/12/2005	12/12/2005	13/12/2005	14/12/2005	15/12/2005	16/12/2005
01:00	0.029	0.176	0.201	0.104	0.040	0.017	0.031	0.020
02:00	0.016	0.180	0.176	0.093	0.030	0.014	0.037	0.022
03:00	0.047	0.135	0.096	0.069	0.024	0.016	0.036	0.017
04:00	0.056	0.115	0.092	0.067	0.023	0.020	0.042	0.026
05:00	0.060	0.101	0.093	0.057	0.023	0.023	0.036	0.030
06:00	0.052	0.097	0.075	0.049	0.024	0.026	0.027	0.038
07:00	0.058	0.096	0.088	0.055	0.021	0.044	0.046	0.041
08:00	0.190	0.119	0.086	0.139	0.040	0.088	0.080	0.096
09:00	0.267	0.169	0.075	0.226	0.056	0.075	0.159	0.140
10:00	0.202	0.179	0.047	0.043	0.051	0.081	0.109	0.145
11:00	0.109	0.181	0.024	0.027	0.026	0.080	0.074	0.104
12:00	0.063	0.094	0.040	0.023	0.023	0.045	0.060	0.035
13:00	0.050	0.058	0.033	0.023	0.023	0.033	0.028	0.017
14:00	0.044	0.038	0.024	0.025	0.020	0.024	0.012	0.013
15:00	0.020	0.030	0.021	0.032	0.021	0.020	0.011	0.013
16:00	0.016	0.030	0.022	0.031	0.027	0.015	0.017	0.012
17:00	0.017	0.050	0.029	0.027	0.025	0.015	0.025	0.013
18:00	0.048	0.091	0.033	0.037	0.024	0.043	0.026	0.019
19:00	0.113	0.145	0.050	0.057	0.024	0.172	0.023	0.030
20:00	0.100	0.189	0.092	0.068	0.023	0.125	0.019	0.033
21:00	0.083	0.225	0.108	0.051	0.023	0.126	0.023	0.051
22:00	0.189	0.223	0.127	0.053	0.022	0.213	0.044	0.041
23:00	0.177	0.228	0.131	0.053	0.020	0.131	0.052	0.067
00:00	0.180	0.177	0.121	0.059	0.020	0.054	0.024	0.078

### 5.2.7 Concentración Diaria de NO<sub>x</sub> Durante el Segundo Periodo de Monitoreo

En la figura 5.15 y en la tabla 5.29 se presentan los valores promedios máximos diarios de NO<sub>x</sub> de las dos estaciones de monitoreo así como el valor límite permisible regulado por la NOM.

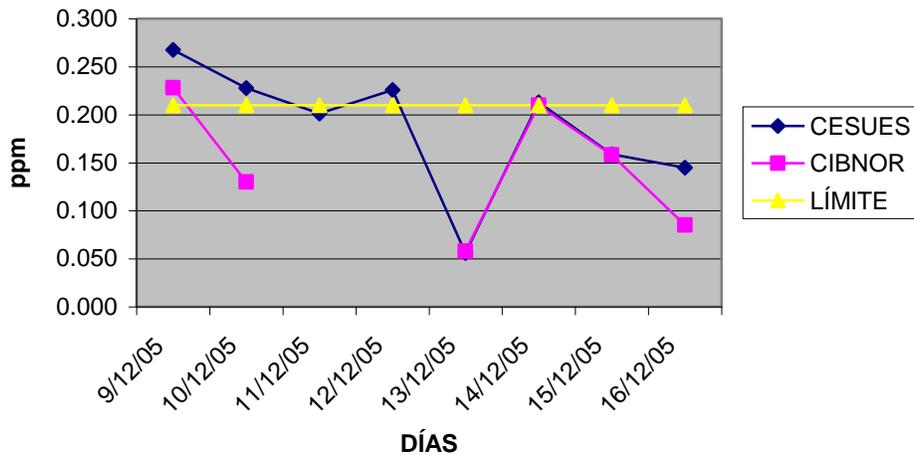


Figura 5.15. Concentración promedio máxima diaria NO<sub>x</sub> del segundo muestreo.

Tabla 5.29. Concentración promedio máxima diaria NO<sub>x</sub> (ppm) del segundo muestreo.

CONCENTRACIÓN PROMEDIO MÁXIMA DE NO <sub>x</sub>			
FECHA	CESUES	CIBNOR	LÍMITE
09/12/2005	0.267	0.228	0.21
10/12/2005	0.228	0.130	0.21
11/12/2005	0.201		0.21
12/12/2005	0.226		0.21
13/12/2005	0.056	0.058	0.21
14/12/2005	0.213	0.210	0.21
15/12/2005	0.159	0.158	0.21
16/12/2005	0.145	0.085	0.21

### 5.2.8 Concentración Diaria de PM<sub>10</sub> Durante el Segundo Periodo de Monitoreo

En la figura 5.16 y en la tabla 5.30 se presentan los valores de la concentración diaria de partículas finas PM<sub>10</sub> de las tres estaciones de monitoreo, así como el valor límite permisible regulado por la NOM.

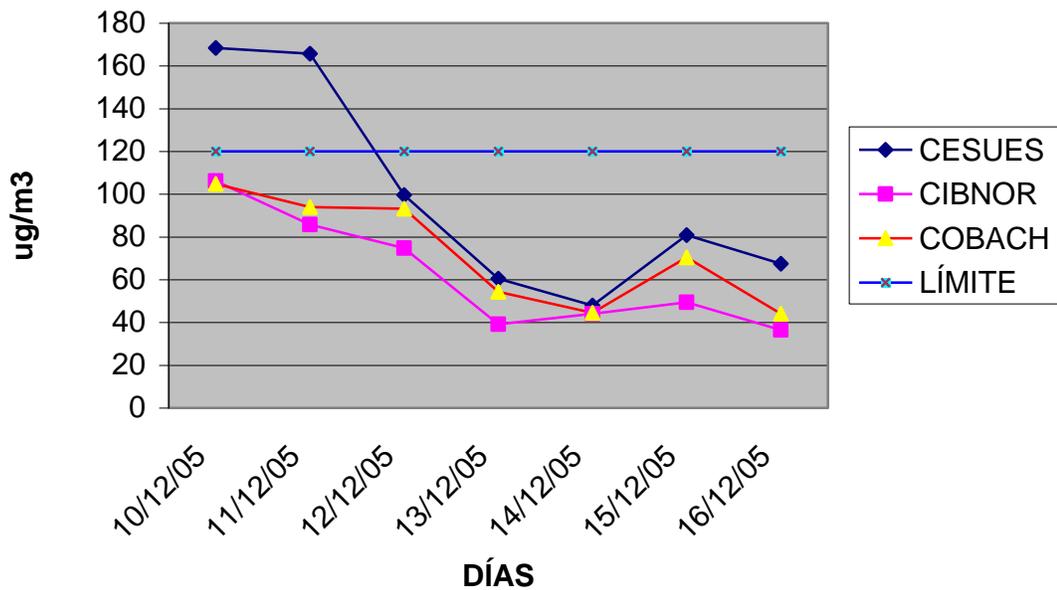


Figura 5.16. Concentración diaria de PM<sub>10</sub> del segundo muestreo y límite permisible.

Tabla 5.30. Concentración diaria de PM<sub>10</sub> del segundo muestreo y límite permisible.

CONCENTRACIÓN DE PM <sub>10</sub> EN $\mu\text{g}/\text{m}^3$				
FECHA	CESUES	CIB	COBACH	LÍMITE
10/12/2005	168.45	106.17	104.86	120.00
11/12/2005	165.68	85.77	93.87	120.00
12/12/2005	99.56	74.75	93.24	120.00
13/12/2005	60.52	39.14	54.36	120.00
14/12/2005	47.97	44.14	44.50	120.00
15/12/2005	80.84	49.39	70.44	120.00
16/12/2005	67.41	36.53	44.02	120.00

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Puede observarse, de las figuras 5.4 y 5.12 y de las tablas 5.7 y 5.24, que los valores de concentraciones de SO<sub>2</sub>, en cualquier estación y en cualquier época del año están muy por debajo de las normas vigentes, aunque hay un ligero aumento en el periodo invernal.

No se tienen estudios anteriores en la localidad, con el fin de establecer tendencias, pero puede concluirse que no existen fuentes fijas emisoras de SO<sub>2</sub>, por la baja presencia industrial y en cuanto a las fuentes móviles puede decirse que el programa de uso de gasolinas con bajo contenido de azufre es satisfactorio.

Con respecto a los óxidos de nitrógeno, según se observa en las figuras 5.7 y 7.15 y en las tablas 5.16 y 5.29, estos se encuentran muy por debajo del valor establecido por la NOM-023-SSA1-1993, pero, según el análisis de resultados, se observa una tendencia a aumentar, por lo que se recomienda iniciar el programa de verificación vehicular, ya que una de las fuentes de estos óxidos es por las altas temperaturas que se alcanza en los motores de los automóviles en mal estado, aunque no se descarta la presencia de otras posibles fuentes, para cuya evaluación puntual se requiere realizar un inventario de emisiones.

En el segundo monitoreo, según se observa en la tabla 5.29, la máxima concentración alcanzada excedió durante cuatro días el límite permitido en la estación CESUES y durante dos días en la estación CIBNOR. Por lo corto del periodo de muestreo, estos datos pueden ser muy significativos con respecto a lo mencionado anteriormente, es decir, a la tendencia al incremento en la concentración de estos óxidos y también hay que considerar que estos excesos representan el 50 % en la estación CESUES y el 33 % en la estación CIBNOR.

Las altas concentraciones registradas por NO<sub>x</sub> coinciden con el aumento en el número de infecciones respiratorias registradas en esta ciudad durante la temporada de invierno, pues las autoridades correspondientes reportan 1343 hospitalizados por esta afectación. Los más afectados fueron los niños y las personas mayores, lo cual concuerda con la población susceptible a la exposición de óxidos de nitrógeno. En la tabla 7.2 del anexo 7.4 se observa que las defunciones debidas a las enfermedades relacionadas directamente con la calidad del aire, tienen una tendencia a aumentar. Aunque la presentación no se hace con la claridad debida, por la falta de homogeneización de la información, se puede concluir que no existen indicios de mejora en la calidad del aire y sí en su deterioro, lo cual no refrenda la necesidad de continuar con este tipo de estudios.

Con respecto a partículas suspendidas PM<sub>10</sub> se observó, según la figura 5.8 y la tabla 5.17, que los valores de concentración obtenidos durante el primer monitoreo, están muy por debajo del límite permitido, lo cual coincide con el reporte anual 2005, presentado por el Programa de Evaluación y Monitoreo de la Calidad del Aire, del Municipio de Hermosillo (PEMCA).

En el segundo monitoreo, el valor de la concentración medida (ver tabla 5.30), únicamente se excedió del límite permitido en la estación CESUES durante dos días, lo cual representa un porcentaje del 29 % de exceso.

Por la disponibilidad del equipo, no se pudo seguir al pie de la letra el procedimiento establecido por la norma NOM-025-SSA1-1993 con respecto a la cantidad de datos necesarios para la evaluación de la observancia de la norma mencionada, pero se optó, por realizar los dos monitoreos del presente trabajo para observar la tendencia existente, considerando que los datos podrían complementarse con los del programa PEMCA y porque la presencia de partículas es un indicador de la presencia de algunos otros contaminantes como bacterias, virus, hongos, polen y otros microorganismos que deben ser evaluados en estudios posteriores.

Durante los periodos de vientos se notó que la concentración de partículas disminuyó, ya que su velocidad, al ser moderada, alcanza a dispersarlas pero no a levantar tolvaneras, lo cual influiría en la captación de un mayor porcentaje de partículas por el muestreador. En las figuras 7.3 y 7.4 del anexo 7.3, se observan las rosas de vientos donde se muestran la dirección, velocidad y frecuencia de los vientos que se registraron durante los periodos de muestreo del estudio. En la figura 7.3, que corresponde al periodo en Julio, muestra la dirección predominante proveniente de OSO (Oeste-Sur-Oeste) y SO (Sur-Oeste) con velocidades de entre 3.6 y 8.8 m/s. La figura 7.4 correspondiente al periodo en diciembre, muestra los vientos predominantes del SO con velocidades entre 2.1 a 3.6 m/s.

Puede concluirse de estos datos que el polvo observado en la ciudad de Hermosillo se debe principalmente a partículas suspendidas totales (PST) y no a  $PM_{10}$ , como se puede ver en los resultados que reporta el programa PEMCA antes mencionado mediante las gráficas del anexo 7.2, esto incluso para un periodo que abarca todo el año 2005.

Puede resumirse que, en los periodos analizados, no hay contaminación con respecto a  $SO_2$ , se presenta contaminación eventual, sobre todo en el invierno por  $PM_{10}$  y hay una clara tendencia a la contaminación por  $NO_x$ , por lo que puede concluirse que el aire se está deteriorando, respecto a los contaminantes analizados y a la singularidad de esta investigación.

Los resultados de este estudio servirán para iniciar una base de datos para conocer el comportamiento del estado de la calidad del aire en la ciudad de Hermosillo. Dicha base se hará en común acuerdo con las instancias oficiales.

Durante el desarrollo del presente trabajo se manifestó que es necesaria la elaboración de normas para homogeneizar el reporte de los resultados de los monitoreos efectuados para las partículas finas, similares a las que existen para  $SO_2$ ,  $NO_x$  y PST.

También promover el programa de verificación vehicular ante las instancias correspondientes mediante la presentación de los resultados que muestran una tendencia a la alza con respecto a la concentración de NO<sub>x</sub>.

Los datos que apoyaron este estudio, muestra la urgente necesidad de tomar medidas para reducir la concentración de PST, ya que el límite permitido se excede en numerosas ocasiones, lo cual va en detrimento de la calidad de vida de los hermosillenses.

Además, realizar estudios posteriores que permitan alimentar la base de datos con el fin de obtener información que ayude en la toma de decisiones para aplicar medidas preventivas adecuadas y llevar a cabo un estudio con más días de monitoreo que permita correlacionar los niveles de concentración de estos contaminantes con los parámetros meteorológicos más importantes.

Se recomienda utilizar los resultados obtenidos en esta investigación para correlacionarlos con la morbilidad reportada por estudios epidemiológicos alternos y finalmente, involucrar a profesionistas que desarrollen medidas preventivas, como desarrollo de productos que eviten la generación de polvos, reforestación acelerada, construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, etc.

Para ello se requiere realizar un monitoreo constante que cumpla con la normatividad establecida, lo cual conlleva a realizar actividades en colaboración con otras instituciones y a la adquisición de equipo adecuado y al entrenamiento de recursos humanos que se hagan expertos en el tema.

## **7. ANEXOS**

### **7.1. Criterios para Evaluar la Calidad del Aire Ambiente.**

En la tabla 7.1 se pueden observar los criterios para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a los contaminantes bióxidos de azufre, bióxido de nitrógeno y partículas menores a 10 micras. En la tabla se incluyen las normas oficiales mexicanas que marcan el valor normado de la concentración del contaminante como medida de protección a la salud de la población, la frecuencia permitida, las normas que establecen los métodos de medición para determinar la concentración del contaminante en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición, así como los principios de detección utilizados por los equipos. Se incluye también la NOM-025-SSA1-1993 con el nuevo valor límite normado, ya que ésta norma fue modificada y entró en vigor en septiembre del 2005.

Los límites máximos permitidos por las normas casi todos están tomados de valores utilizados en otros países, donde se tienen estudios epidemiológicos muy completos y consideran la afectación de la población más susceptible o vulnerable, generalmente niños y ancianos, de tal manera que estos valores son conservadores o están en el lado seguro, sin embargo, mayores estudios pueden arrojar datos que hagan que la norma sea más estricta y los valores máximos permitidos sean menores.

Tabla 7.1. Criterios para evaluar la calidad del aire ambiente.

Contaminante	Norma Oficial Mexicana	Límites máximos normados		Frecuencia	Método de Prueba	Principio de detección
		[ppm]	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Bióxido de azufre SO <sub>2</sub>	NOM-022-SSA1-1993	0.13	341	En 24 hrs una vez al año	NOM-038-ECOL-1993	Fluorescencia pulsante
		0.03	79	Media aritmética anual		
Bióxido de nitrógeno NO <sub>2</sub>	NOM-023-SSA1-1993	0.21	395	Una hora una vez al año	NOM-037-ECOL-1993	Quimiolumincente
Partículas menores a 10 micras PM <sub>10</sub>	NOM-025-SSA1-1993		150	En 24 hrs una vez al año	Los que determine el INE	Gravimétrico
			50	Media aritmética anual		
Partículas menores a 10 micras PM <sub>10</sub>	NOM-025-SSA1-1993 (Modificada en Sept. 2005)		120	En 24 hrs una vez al año		Gravimétrico
			50	Media aritmética anual		

Fuente: Diario Oficial de la Federación.

## **7.2. Concentración de PST y PM<sub>10</sub> del Programa de Evaluación y Monitoreo de la Calidad del Aire de la Ciudad de Hermosillo (PEMCA).**

En este apartado se presentan los resultados correspondientes al monitoreo atmosférico de partículas suspendidas totales (PST) y partículas de fracción respirable con diámetro menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>) del aire ambiente de la ciudad de Hermosillo, durante el año de 2005, llevado a cabo por la Subdirección de Ecología del H. Ayuntamiento de Hermosillo, la cual está adscrita a la Dirección General de Desarrollo Urbano y Obras Públicas. Dichos resultados se obtuvieron del seguimiento del Programa de Evaluación y Mejoramiento de la Calidad del Aire (PEMCA), el cual consiste en el monitoreo de partículas del aire ambiente urbano.

En las figuras 7.1 y 7.2 se pueden observar los valores de las concentraciones de PST y PM<sub>10</sub> respectivamente, obtenidos por el H. Ayuntamiento de Hermosillo mediante el Programa de Evaluación y Mejoramiento de la Calidad del Aire durante el año 2005.

Figura 7.1 Concentración de PST del PEMCA.

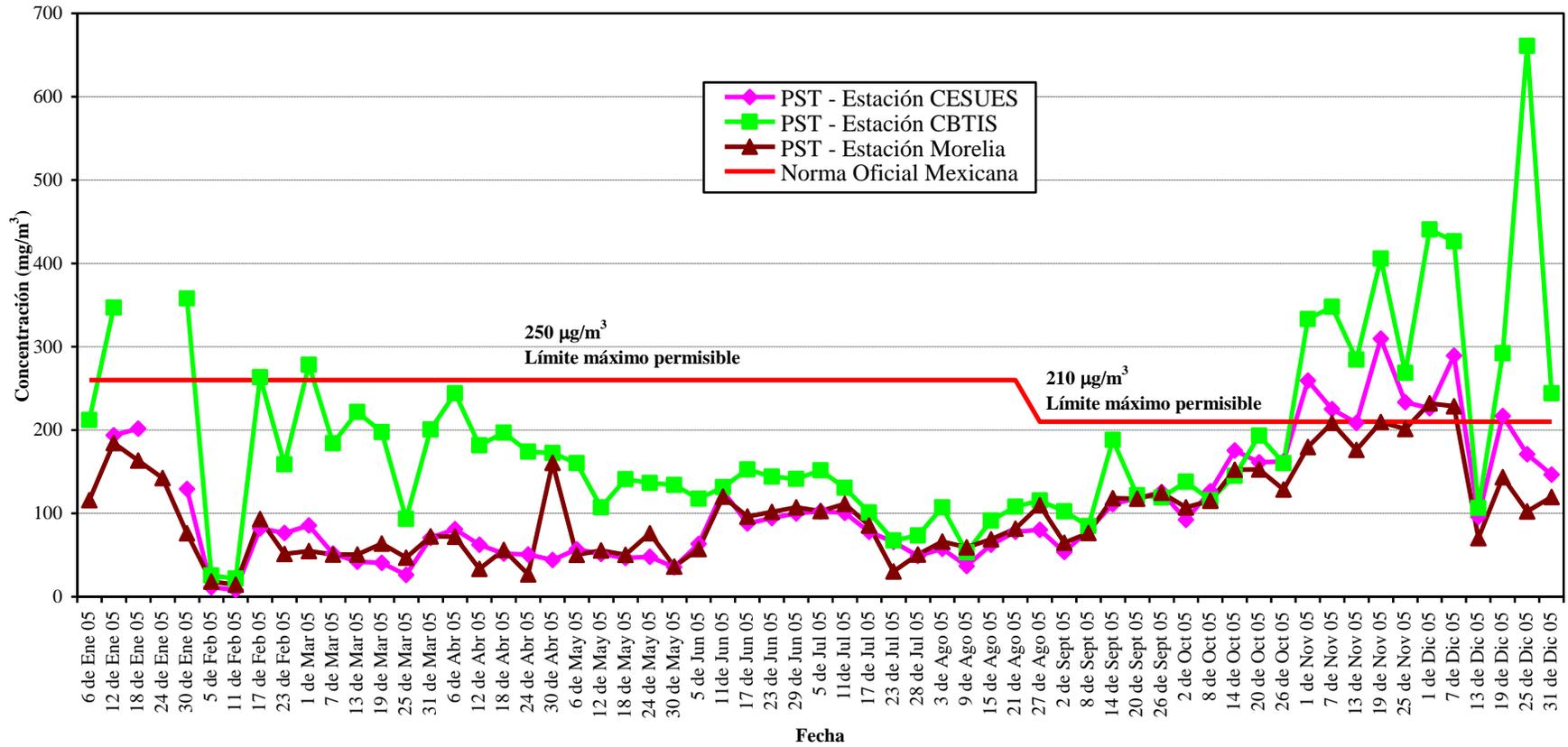
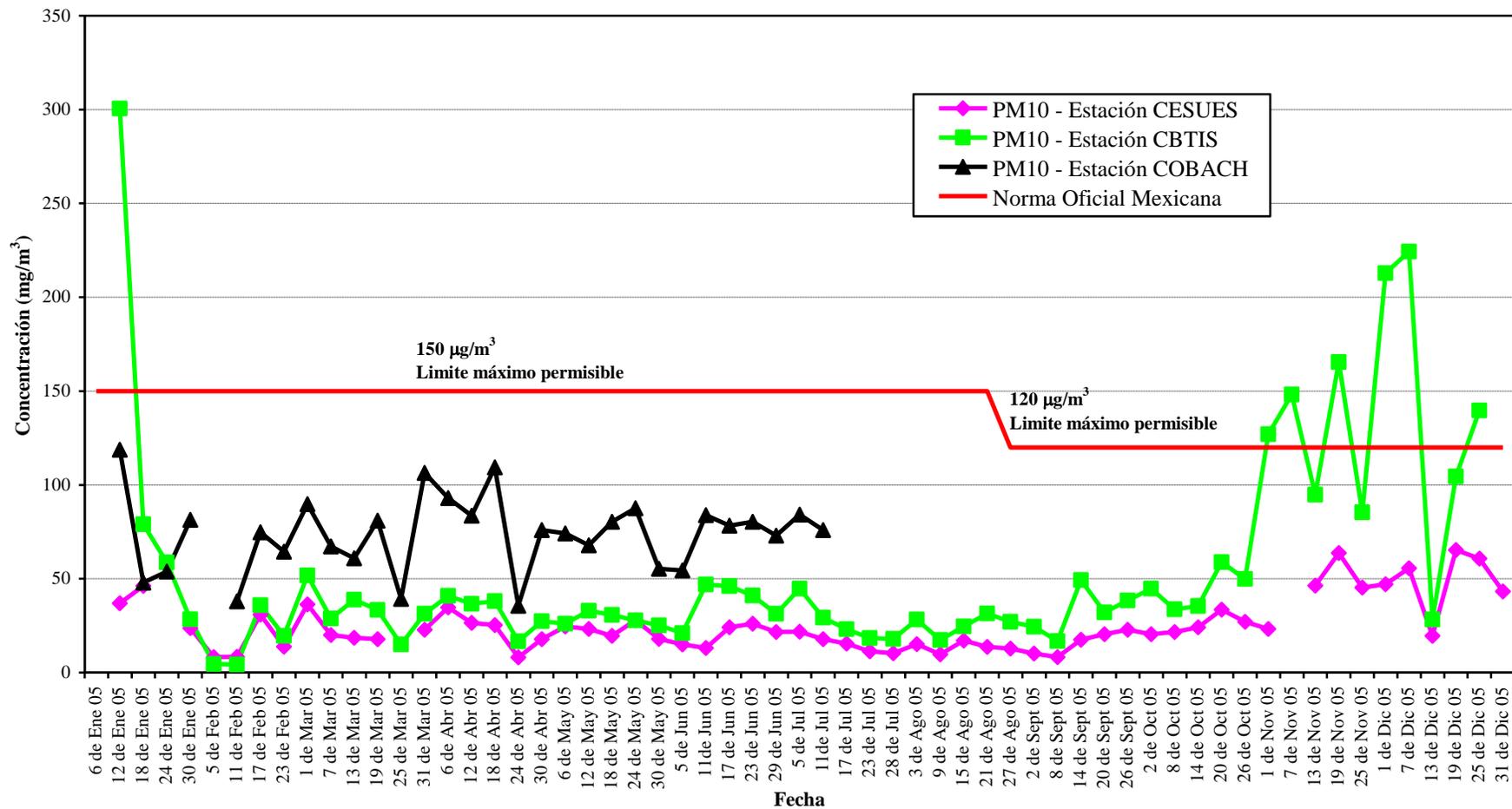


Figura 7.2 Concentración de PM<sub>10</sub> del PEMCA.



### 7.3 Rosa de Vientos.

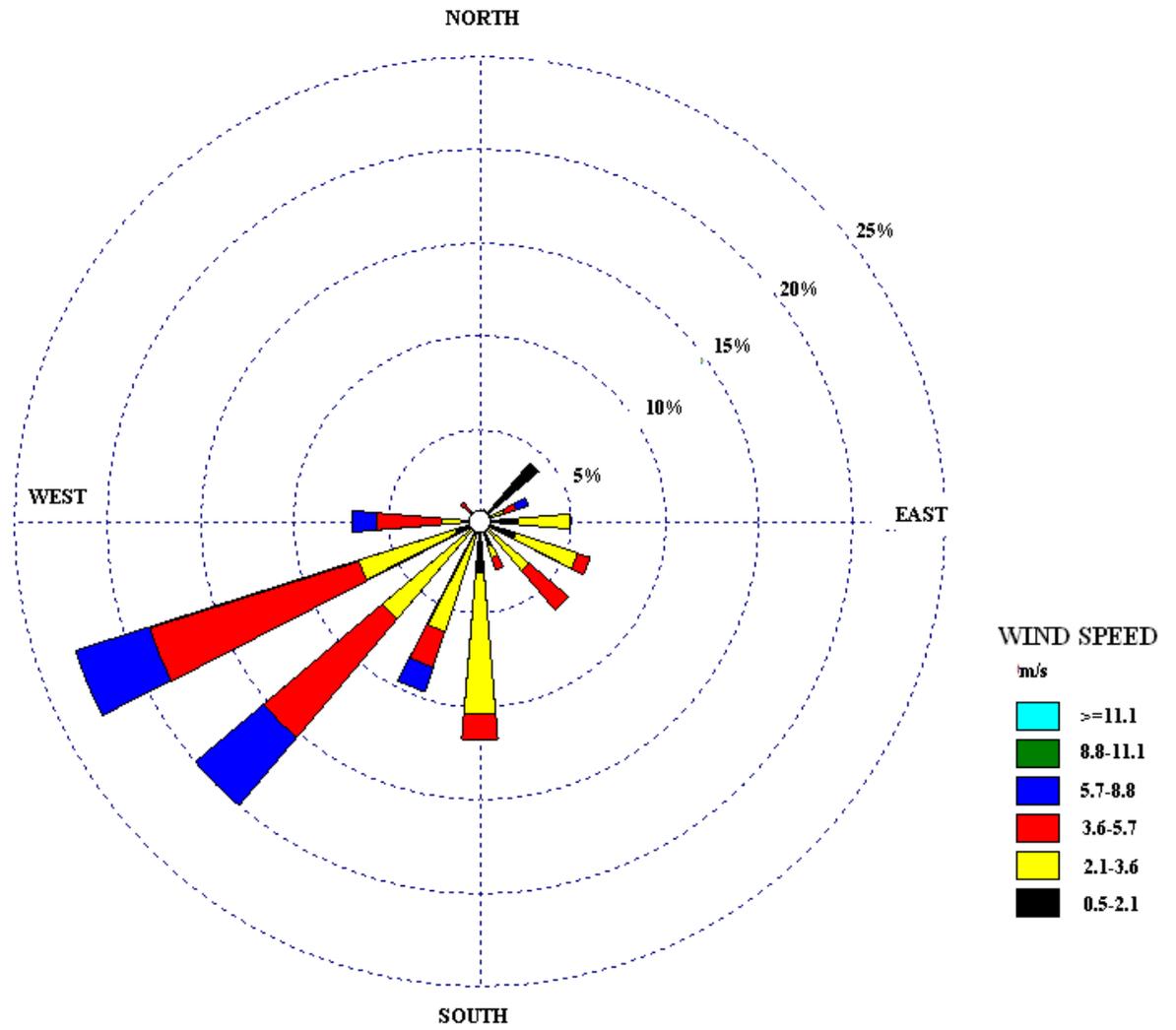


Figura 7.3. Rosa de vientos del periodo del primer muestreo.

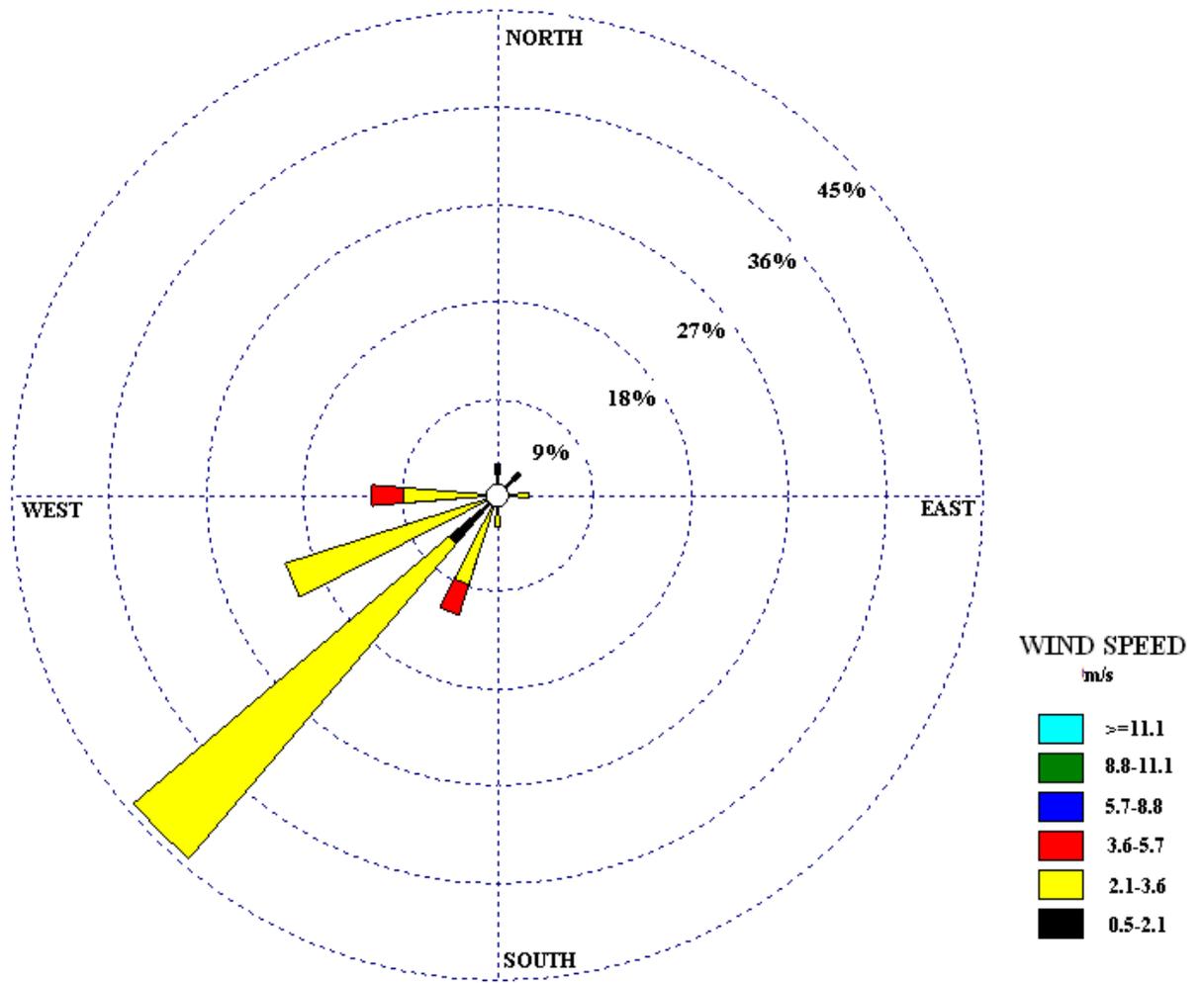


Figura 7.4. Rosa de vientos del periodo del segundo muestreo.

## 7.4 Principales Causas de Mortalidad.

Tabla 7.2. Principales causas de mortalidad en Hermosillo, Sonora.

AÑO/ENFERMEDAD	IRA <sup>1</sup>	EPOC <sup>2</sup>	EC <sup>3</sup>	EIC <sup>4</sup>
2000	21	88	648	505
2001		107	606	469
2002	33	116	669	517
2003	31	76	717	544
2004	157 <sup>5</sup>	120		547
2005	148 <sup>5</sup>	125		529

Fuente: Secretaría de Salud Pública.

1. Infecciones respiratorias agudas.
2. Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas.
3. Enfermedades del corazón.
4. Enfermedades isquémicas del corazón.
5. Estas fueron nombradas como infecciones respiratorias bajas.

## 7.5 Meteorología.

### 7.5.1 Meteorología del Mes de Julio.

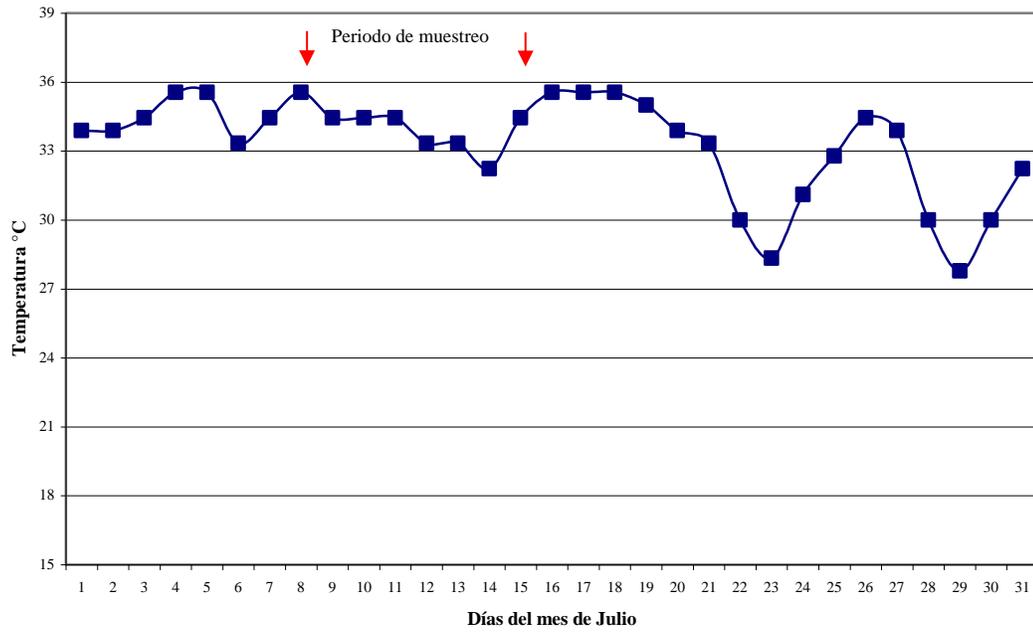


Figura 7.5. Gráfica de temperatura del mes de julio.

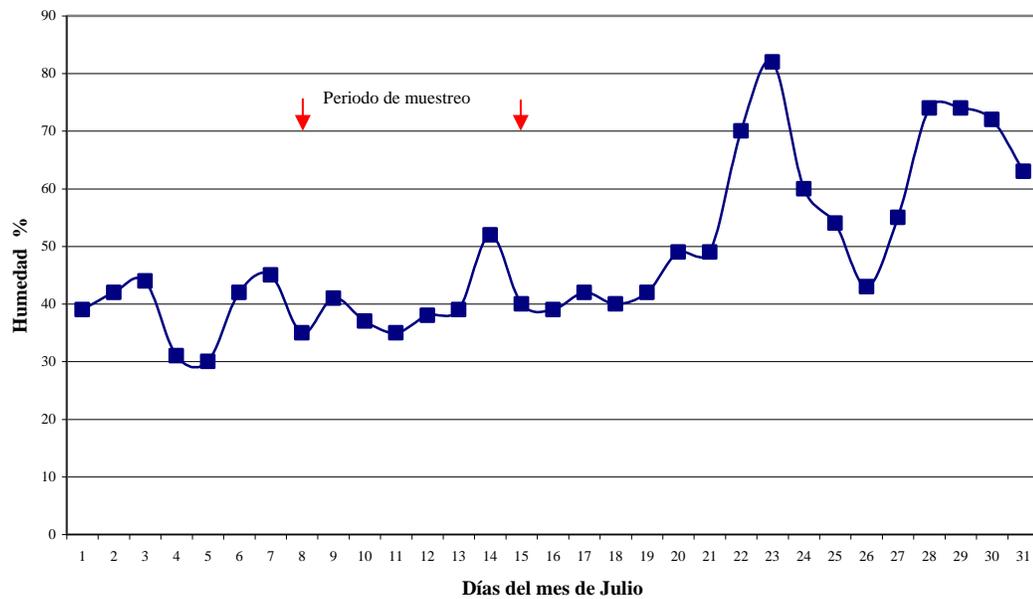


Figura 7.6. Gráfica de humedad relativa del mes de julio.

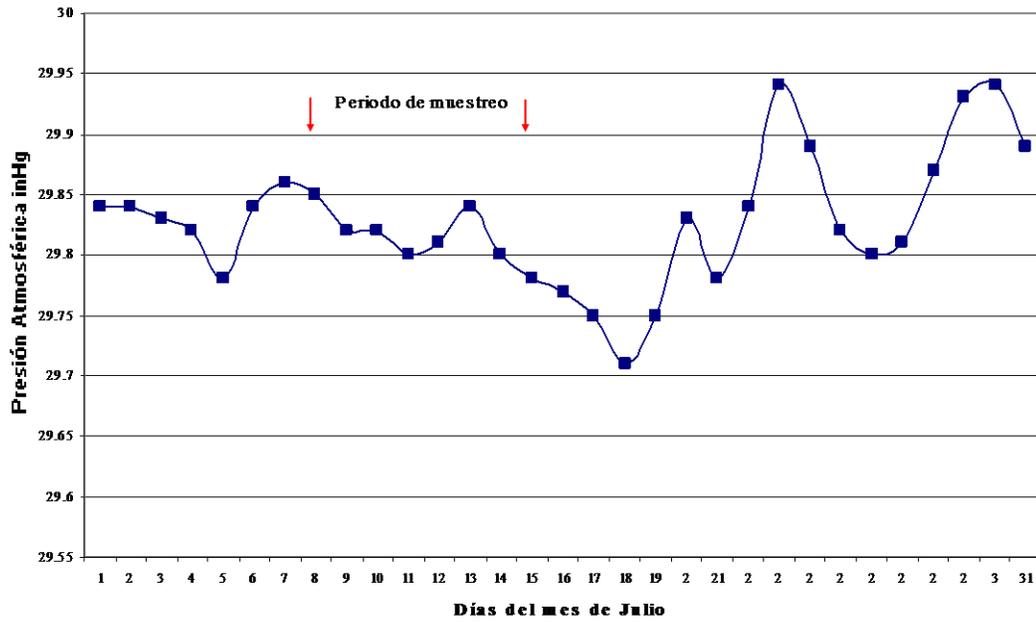


Figura 7.7. Gráfica de presión atmosférica del mes de julio.

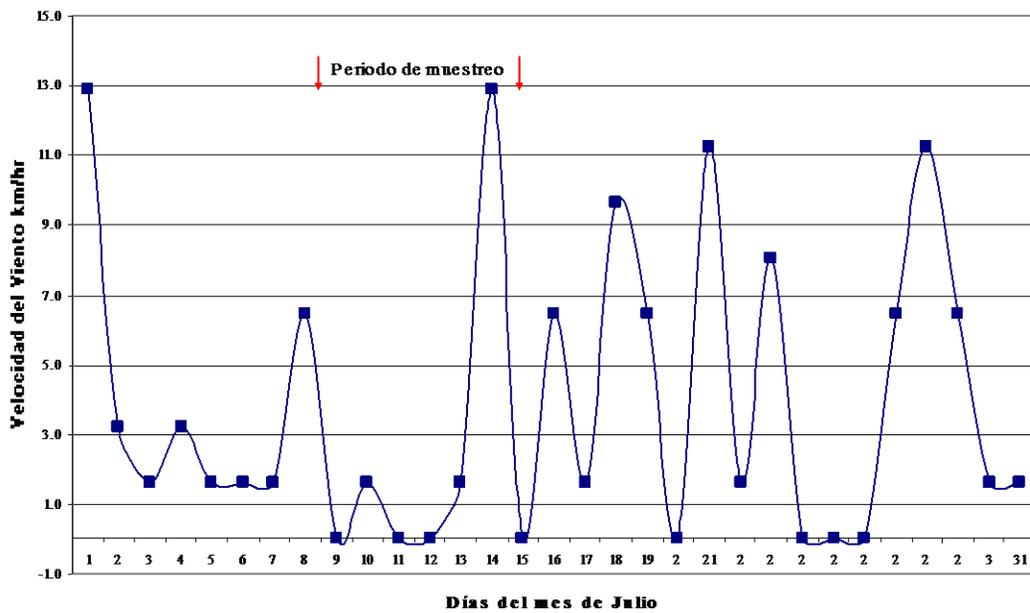


Figura 7.8. Gráfica de velocidad del viento del mes de julio.

### 7.5.2 Meteorología del Mes de Diciembre.

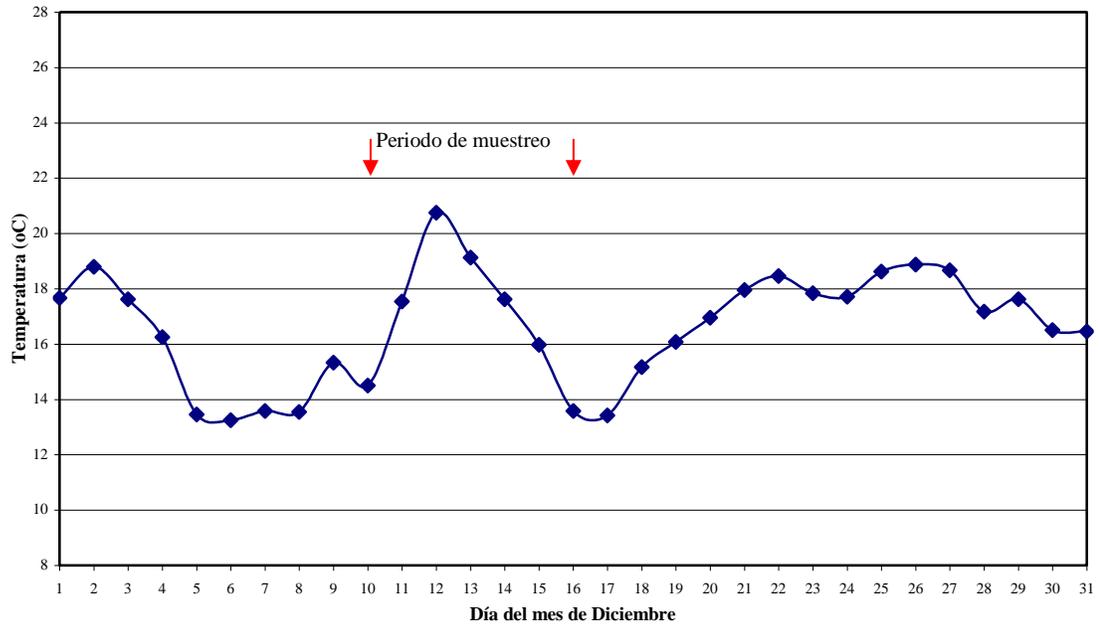


Figura 7.9. Gráfica de temperatura del mes de diciembre.

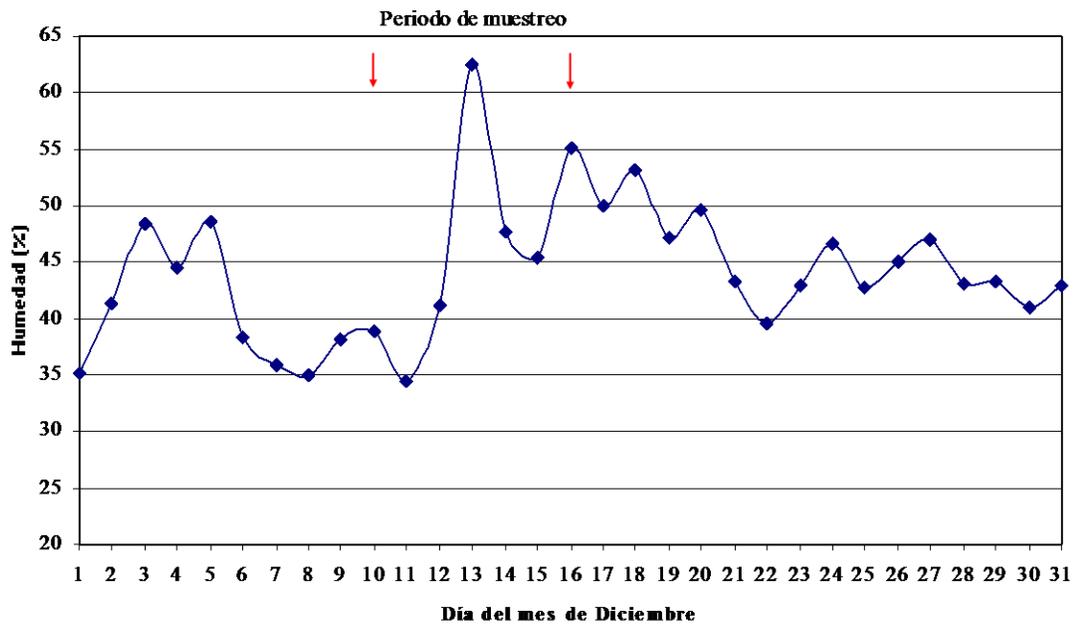


Figura 7.10. Gráfica de humedad relativa del mes de diciembre.

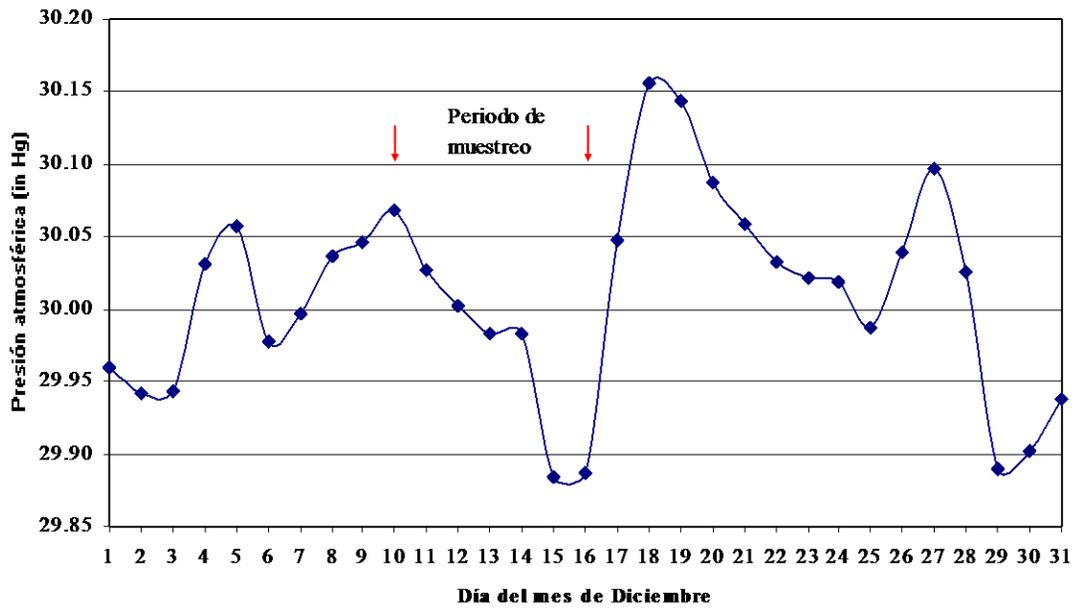


Figura 7.11. Gráfica de presión atmosférica del mes de diciembre.

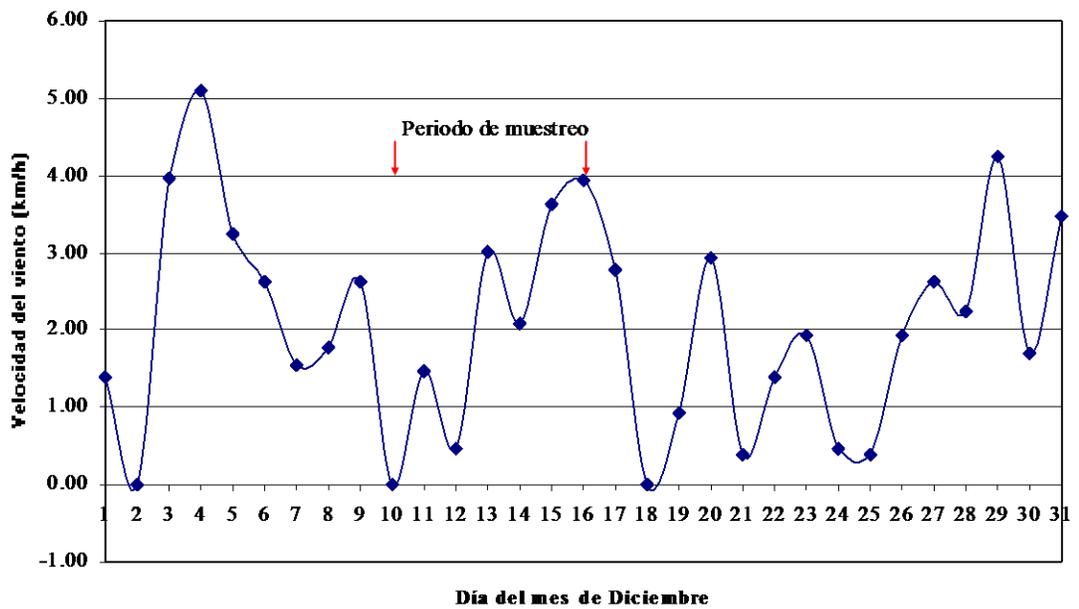


Figura 7.12. Gráfica de velocidad del viento del mes de diciembre.

## 7.6 Emisión de NOx del Parque Vehicular.

Considerando el total de vehículos de 214,006 y que en promedio cada uno recorre 16 km por día, se obtiene:

$$214,006 \text{ autos} \frac{16 \text{ km}}{\text{día} - \text{auto}} = 3,424,096 \frac{\text{km}}{\text{día}}$$

También, que en promedio el factor de emisión de NOx (tomado de Normatividad USA-México, Semarnat) es 1.1 g / km de recorrido, se tiene:

$$E_{NOx} = 3,424,096 \frac{\text{km}}{\text{día}} \times 1.1 \frac{\text{g}}{\text{km}} = 3,766,505.6 \frac{\text{g}}{\text{día}}$$

$$E_{NOx} = \text{Aproximadamente } 3.77 \frac{\text{Ton}}{\text{día}}$$

donde  $E_{NOx}$  = Emisión de Óxidos de Nitrógeno

Consumo de gasolina:

Considerando un promedio de 6 km por litro de rendimiento, se tiene:

$$3,424,096 \frac{\text{km}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ l}}{6 \text{ km}} = 570,682.66 \frac{\text{l}}{\text{día}} \text{ de gasolina.}$$

## **8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

Barclay J., Hillis G. y Ayres J. Air pollution and the heart: cardiovascular effects and mechanisms. *Toxicol Rev.* 2005; 24(2):115-23.

Conacyt-Gobierno del Estado de Sonora. Convocatoria 2003-01. Demanda 6.4 Estudio sobre la contaminación del aire en la Ciudad de Hermosillo.

Cruz-Campas M.E., Evaluación de la Calidad del Aire Respecto de Partículas Suspensas Totales (PST) y Metales Pesados (Pb, Cd, Ni, Cu y Cr) de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante el Periodo de Junio de 2001 a Mayo de 2002. Trabajo de Tesis. Febrero 2005.

EPA (Environmental Protection Agency). 1997. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter; Final Rule. Part II. 40 CFR Part 50. July 1997.

EPA (Environmental Protection Agency). 1995. Review of the National Ambient Air Quality Standards for Nitrogen Dioxide, Assessment of Scientific and Technical Information. EPA-452/R-95-005. September 1995.

EPA (Environmental Protection Agency). 1994. Review of the National Ambient Air Quality Standards for Sulfur Oxides, Assessment of Scientific and Technical Information. EPA-452/R-94-013. September 1994.

Franklin C.A., Burnett R.T., Paolini R.J y Raizenne M.E. Health risks from acid rain: a Canadian perspective. *Environ Health Perspect.* 1985 Nov, 63: 155-68.

GEO-3 (Global Environment Outlook 3). 2002. Environmental Publications from UNEP (United Nations Environment Programme) and Key International Organizations.

Gobierno Municipal de Hermosillo, 2005. Dirección General de Desarrollo Urbano y Obras Públicas. Subdirección de Ecología. Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire 2005. Reporte Anual.

Gobierno Municipal de Hermosillo, 2004. Plan Municipal de Desarrollo 2004-2006.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), 2005. Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa. 2005.

Kappos A.D., Bruckmann P., Eikmann T., Englert N., Heinrich U., Hoppe P., Koch E., Krause G.H.M., Kreyling W.G., Rauchfuss K., Rombout P., Schulz-Klemp V., Thiel W.R. y Wichmann H.E. Health effects of particles in ambient air. *International journal of hygiene and environmental health*. 2004; 207: 399-407.

Marozienne L y Grazuleviciene R. Maternal exposure to low-level air pollution and pregnancy outcomes: a population-based study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. 2002.

Martínez A.P. y Romieu I (1997). Introducción al monitoreo atmosférico. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud (ECO), Organización Panamericana de la Salud, México.

Mrinal K., Ghose R.P y Banerjee R.K. Assessment of the status of urban air pollution and its impact on human health in the city of Kolkata. *Environmental Monitoring and Assessment* (2005) 108: 151–167

NAS (National Academy of Sciences), 1988. Air Pollution, the Automobile and Public Health.

OPS/CEPIS, 2000. El proceso de fijación y revisión de normas de calidad del aire. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. OPS/CEPIS/PUB/00.50. Lima, 2000.

Reddy G. S. y Biswajit R. Ambient air quality status in Raniganj-Asansol area, India. J Environmental Monitoring and Assessment. 2003: 89: 153-163.

SEMARNAT, INE (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología) 2002. Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales 2002. Dirección General de la Calidad del Aire y Registro de Contaminantes. México. 2002.

Rutherford G.K. Toxic effects of acid rain on aquatic and terrestrial ecosystems. Can J Physiol Pharmacol. 1984 Aug. 62(8): 986-90.

SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y Pesca), 1996. Delegación Federal en el Estado de Sonora. Concentración de Partículas en Aire Ambiente para la ciudad del Hermosillo, Sonora, México durante el período 1990-1995.

SSA (Secretaría de Salud-Estados Unidos Mexicanos). Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

SSA (Secretaría de Salud-Estados Unidos Mexicanos). Norma Oficial Mexicana 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.

SSA (Secretaría de Salud-Estados Unidos Mexicanos). Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las Partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>). Valor permisible para la concentración de Partículas menores de 10 micras (PM<sub>10</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

Strauss W. y Mainwaring S.J. Contaminación del aire, causas, efectos y soluciones. Reimpresión 2001. Editorial Trillas.

Wark K. y Warner C.F. Contaminación del aire, origen y control. 2004. Editorial Limusa.