



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA AMBIENTAL – AIRE

**EVALUACIÓN Y RECLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DEL SISTEMA DE  
MONITOREO ATMOSFÉRICO QUE MIDEN MONÓXIDO DE CARBONO**

**T E S I S**  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. MARÍA DEL ROCÍO CARMONA MÁRTIR

TUTOR PRINCIPAL  
M. I. ANN WELLENS PURNAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. ABRIL 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**Jurado asignado:**

Presidente: **Dr. Humberto Bravo Álvarez**

Secretario: **Dra. Elizabeth Vega Rangel**

Vocal: **M. I. Ann Wellens Purnal**

1<sup>er.</sup> Suplente: **M. C. Vicente Fuentes Gea**

2<sup>do.</sup> Suplente: **Dr. Rodolfo Sosa Echeverría**

Lugar donde se realizó la tesis:

Secretaría del Medio Ambiente  
Dirección General de Gestión Ambiental del Aire  
Dirección de Monitoreo Atmosférico

**TUTOR DE TESIS:**

**M. I. ANN WELLENS PURNAL**

-----  
**FIRMA**

*A Dios*

*A mi hija Carolina*

*A mi mamá Natalia*

*A la memoria de mi papá Ángel*

*A mi hermanos Roberto y Francisco*

**Dedicatoria:**

A Carolina, por demostrarme siempre su cariño y amor, por ser mi motivación para concluir este proyecto.

A mi mamá Natalia con profunda gratitud por su cariño, esfuerzo, dedicación y sacrificios, por todo su apoyo y seguir siempre a mi lado.

A la memoria de mi papá Ángel por darme la vida y una maravillosa familia.

A mis hermanos Roberto y Francisco, por quererme y cuidarme a lo largo de toda mi vida, por darme siempre su apoyo incondicional, por darme la fortaleza que he necesitado, y ser para mí un gran ejemplo.

A Liz y Ann, por motivarme para iniciar este proyecto, por escucharme y por sus consejos.

A mi familia y mis grandes amigos que he conocido a lo largo de este camino, que siempre me han apoyado y motivado.

Gracias a Dios y a ustedes he podido concluir esta etapa de mi vida.

## **Agradecimientos:**

Mi más sincero agradecimiento a los integrantes de mi jurado.

A la *M. I. Ann Wellens Purnal* por la dirección de mis estudios de Maestría y por su apoyo en mi formación profesional.

A la *Dra. Elizabeth Vega Rangel* por su apoyo, consejos y por compartir conmigo sus conocimientos.

Al *Dr. Humberto Bravo Álvarez* por compartir su experiencia y sus valiosas aportaciones.

Al *Dr. Rodolfo Sosa Echeverría* por sus relevantes comentarios, recomendaciones y por sus consejos.

Al *M. C. Vicente Fuentes Gea* por sus enseñanzas y apoyo para la realización de este proyecto.

El presente trabajo es el resultado de un proyecto realizado en la Dirección de Monitoreo Atmosférico de la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire, de la Secretaría del Medio Ambiente. Por lo anterior agradezco al *Biól. Roberto Muñoz Cruz* por permitirme colaborar en el proyecto, al *Q. Armando Retama Hernández* por su interés y apoyo, a la *M. I. Mónica Jaimes Palomera* por su colaboración en el proyecto, sus aportaciones y consejos, y a todos mis amigos y compañeros de la Dirección de Monitoreo Atmosférico por su colaboración y apoyo.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por permitirme realizar mis estudios de posgrado. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca que me otorgó para realizar la maestría.

## ÍNDICE

Índice .....	1
Índice de tablas .....	3
Índice de figuras .....	4
Glosario de acrónimos .....	5
Resumen .....	6
1. Introducción .....	7
Objetivo general: .....	9
Objetivos particulares:.....	9
Alcances y limitaciones .....	9
2. Antecedentes .....	10
2.1 Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) ....	10
2.2 Red de monitoreo.....	11
2.3 Redundancia .....	12
2.4 Características del monóxido de carbono .....	12
2.5 Efectos del CO sobre la salud humana.....	14
3. Metodología .....	16
3.1. Evaluación del entorno físico y representación espacial de las estaciones de monitoreo ...	16
3.1.1. Criterios para el diseño de una red de monitoreo .....	16
3.1.1.1. Entorno físico y fuentes de emisión aledañas .....	17
3.1.1.2. Uso de suelo.....	18
3.1.1.3. Densidad de población .....	22
3.1.1.4. Magnitud de las concentraciones de los contaminantes .....	22
3.1.2 Criterios para el muestreo y establecimiento de estaciones de monitoreo .....	24
3.2 Análisis de redundancia para las mediciones de monóxido de carbono.....	26
3.2.1 Análisis de Hwang y Chan .....	27
3.2.2 Estadística descriptiva.....	29
3.2.3 Análisis de conglomerados .....	31
3.3 Integración de resultados de redundancia.....	33
3.4 Criterios para evaluar la subred.....	33
3.4.1 Análisis de la información pública .....	33
3.4.2 Análisis de tendencia .....	34
3.4.3 Representación espacial de las estaciones .....	35
4. Resultados.....	36
4.1 Evaluación del entorno físico y representación espacial de las estaciones de monitoreo .....	36
4.2 Análisis de redundancia para las mediciones de monóxido de carbono.....	40
4.2.1 Análisis de Hwang y Chan .....	40
4.2.2 Estadística descriptiva.....	41

4.2.3	Análisis de conglomerados .....	42
4.2.3.1	Análisis de conglomerados con métrica de Canberra .....	42
4.2.3.2	Análisis de conglomerados con métrica de correlación.....	44
4.3	Propuesta de subred de monitoreo para CO .....	48
4.4	Evaluación de la propuesta de subred de monitoreo para CO.....	50
4.4.1	Análisis de la información pública .....	50
4.4.2	Análisis de tendencia .....	52
4.4.3	Representación espacial de las estaciones de monitoreo.....	53
4.5	Rediseño del Sistema de Monitoreo Atmosférico .....	57
5.	Actualización a 2011 del Sistema de Monitoreo Atmosférico .....	57
5.1	Tendencia del monóxido de carbono .....	58
5.2	Distribución espacial de las estaciones de monitoreo que miden CO .....	59
5.3	Perfil diario de las concentraciones de CO en la Ciudad de México.....	60
6.	Conclusiones.....	61
7.	Bibliografía .....	63
Anexo 1.	Caracterización de sitios de monitoreo .....	66
Anexo 2.	Mapas de distribución poblacional alrededor de las estaciones de monitoreo .....	91
Anexo 3.	Ejemplo de la construcción de un dendrograma .....	92

## Índice de tablas

<b>Tabla 2.1</b> Efectos producidos por la carboxihemoglobina (COHb).....	15
<b>Tabla 3.1</b> Escalas espaciales de representatividad para estaciones de monitoreo.....	16
<b>Tabla 3.2</b> Matriz de caracterización de estaciones de monitoreo .....	19
<b>Tabla 3.3</b> Códigos para número de habitantes.....	22
<b>Tabla 3.4</b> Intervalos de concentración para clasificar estaciones de monitoreo para el CO.....	23
<b>Tabla 3.5</b> Resumen de criterios para ubicar estaciones de monitoreo de CO .....	24
<b>Tabla 3.6</b> Distancia mínima de separación entre estaciones de monitoreo y fuentes vehiculares.....	24
<b>Tabla 3.7</b> Criterios para calificar las características físicas de una estación de monitoreo de CO.....	25
<b>Tabla 4.1</b> Criterios para seleccionar la representación espacial para CO.....	36
<b>Tabla 4.2</b> Estado actual de las estaciones de la RAMA.....	39
<b>Tabla 4.3</b> Resultados del análisis de redundancia con el método de Hwang y Chang .....	40
<b>Tabla 4.4</b> Subred obtenida con el método de Hwang & Chan.....	40
<b>Tabla 4.5</b> Mediana y rango intercuartil por estación de 1998 a 2002 .....	41
<b>Tabla 4.6</b> Subred propuesta a partir del rango intercuartil y la mediana .....	41
<b>Tabla 4.7</b> Conglomerados de estaciones de monitoreo de CO aplicando la métrica de Canberra.....	43
<b>Tabla 4.8</b> Conglomerados de estaciones de monitoreo de CO aplicando la métrica de correlación .....	45
<b>Tabla 4.9</b> Subred propuesta a partir del análisis de conglomerados - <i>Métrica de correlación y Canberra</i> .....	47
<b>Tabla 4.10</b> Integración de resultados de los métodos aplicados para encontrar redundancia.....	48
<b>Tabla 4.11</b> Integración de resultados de los escenarios de redundancia .....	49
<b>Tabla 4.12</b> Porcentaje de horas que cada estación contribuyó al IMECA para CO (red completa).....	51
<b>Tabla 4.13</b> Porcentaje de horas en los que cada estación contribuyó al IMECA para CO (subred propuesta) .....	51
<b>Tabla 4.14</b> Prueba de tendencia de Mann-Kendall del promedio horario anual en el periodo de 1986 a 2002 .....	52
<b>Tabla 4.15</b> Comparación de valores reales y valores de la interpolación en 6 estaciones en 2002.....	56
<b>Tabla 5.1</b> Valores guía de la OMS y el estándar de los Estados Unidos .....	57

## Índice de figuras

<b>Figura 2.1</b> Comportamiento del CO en las estaciones metro Insurgentes y Pedregal (1986-2002).....	13
<b>Figura 2.2</b> Efectos del CO en el ser humano .....	15
<b>Figura 3.1</b> Estaciones de monitoreo de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico que miden monóxido de carbono (CO) .....	26
<b>Figura 4.1</b> Estaciones de monitoreo agrupadas según su mediana y rango intercuartil .....	42
<b>Figura 4.2</b> Dendrograma de liga completa, aplicando la métrica de "Canberra" 1998-2000 .....	43
<b>Figura 4.3</b> Dendrograma aplicando la métrica de "Correlación" 1998-2000 .....	44
<b>Figura 4.4</b> Mapas del análisis de conglomerados con los datos horarios de CO.....	46
<b>Figura 4.5</b> Red de monitoreo atmosférico propuesta para CO.....	49
<b>Figura 4.6</b> Comparación de la tendencia del CO mediante el indicador promedio anual para la red y la subred.....	52
<b>Figura 4.7</b> Representación espacial de la concentración anual de CO en 1998 .....	53
<b>Figura 4.8</b> Representación espacial de la concentración anual de CO en 1999 y 2000.....	54
<b>Figura 4.9</b> Representación espacial de la concentración anual de CO en 2001 .....	55
<b>Figura 4.10</b> Representación espacial de la concentración anual de CO en 2002 .....	56
<b>Figura 5.1</b> Tendencia del promedio de las concentraciones horarias del CO de 1988 a 2011 .....	58
<b>Figura 5.2</b> Representación espacial de la concentración anual de CO en 2001 y 2011.....	59
<b>Figura 5.3</b> Perfil diario de las concentraciones de CO (1988 – 2011) .....	60
<b>Figura A3.1</b> Representación gráfica (dendrograma) del algoritmo jerárquico de clasificación.....	93

## GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

<b>AGEB</b>	Área geográfica básica	<b>PED</b>	Pedregal
<b>ARA</b>	Aragón	<b>PLA</b>	Plateros
<b>ATI</b>	Atizapán	<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>AZC</b>	Azcapotzalco	<b>PNUMA</b>	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>BJU</b>	Benito Juárez		
<b>CES</b>	Cerro de la Estrella	<b>PROAIRE</b>	Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México
<b>CFR</b>	Code of Federal Regulations		
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano	<b>RAMA</b>	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
<b>CHA</b>	Chapingo		
<b>CO</b>	Monóxido de carbono	<b>SAG</b>	San Agustín
<b>COHb</b>	Carboxihemoglobina	<b>SIMAT</b>	Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México
<b>CUI</b>	Cuitlahuac		
<b>DDF</b>	Departamento del Distrito Federal	<b>SO<sub>2</sub></b>	Bióxido de azufre
<b>EAC</b>	ENEP Acatlán	<b>SUR</b>	Santa Úrsula
<b>EPA</b>	Environmental Protection Agency	<b>TAC</b>	Tacuba
<b>GDF</b>	Gobierno del Distrito Federal	<b>TAH</b>	Tlahuac
<b>HAN</b>	Hangares	<b>TAX</b>	Taxqueña
<b>Hb</b>	Hemoglobina	<b>TLA</b>	Tlalnepantla
<b>IMECA</b>	Índice Metropolitano de Calidad del Aire	<b>TLI</b>	Tultitlán
		<b>UIZ</b>	UAM-Iztapalapa
<b>IMP</b>	Instituto Mexicano del Petróleo	<b>VAL</b>	Vallejo
<b>LAG</b>	Lagunilla	<b>VIF</b>	Villa de las Flores
<b>MER</b>	Merced	<b>WHO</b>	World Health Organization
<b>MIN</b>	Metro Insurgentes	<b>XAL</b>	Xalostoc
<b>NET</b>	Nezahualcoyotl	<b>ZMCM</b>	Zona Metropolitana de la Ciudad de México
<b>OH<sup>-</sup></b>	Ión hidroxilo		

## RESUMEN

El Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México actualmente cuenta con 27 estaciones automáticas distribuidas en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, que miden en forma continua el monóxido de carbono (CO). Para el propósito de vigilancia de la calidad del aire, la red cuenta con un número de monitores mayor al requerido, lo cual se traduce en un gasto extra para la operación y mantenimiento de dichos equipos.

Con el fin de generar información confiable para la optimización del funcionamiento de la red y como parte del programa de re-diseño del SIMAT, se analizaron los datos horarios de 1998 a 2000 para determinar la redundancia en las mediciones de CO, la cual se puede asociar con la tendencia decreciente que presentan desde 1991 y la eficiencia de las acciones de control. La primera parte del análisis consistió en realizar un diagnóstico de las estaciones para determinar el cumplimiento de los criterios para el diseño y establecimiento de una red de monitoreo, así como el objetivo del SIMAT, que es vigilar el cumplimiento de las normas nacionales de calidad del aire. Posteriormente, se realizó un análisis de redundancia con tres métodos estadísticos: Hwang y Chan, estadística descriptiva y análisis de conglomerados; cada uno evalúa un aspecto particular del comportamiento del CO asociado a redundancia.

Con la integración de los resultados de representatividad espacial y del análisis de redundancia se propuso una subred, que se validó contra la red original para verificar que caracteriza adecuadamente las concentraciones del contaminante, considerando representatividad, tendencia y el patrón de distribución espacial. La subred de monitoreo para CO en la ZMCM propuesta integra las estaciones de monitoreo: Merced, Metro Insurgentes, Benito Juárez, Aragón, Xalostoc, Netzahualcoyotl, ENEP-Acatlán, Instituto Mexicano del Petróleo, Tacuba, Tlalnepantla, Tultitlán, Vallejo, Pedregal, Plateros, Taxqueña y Cerro de la Estrella.

Este trabajo es parte de un proyecto de re-diseño del SIMAT que se desarrolló en la Secretaría del Medio Ambiente durante 2002; los resultados se aplicaron en la optimización de la red y se tomaron como base para su aplicación a los contaminantes criterio. La aplicación de esta metodología se traduce en reducción importante de gastos para el Gobierno de la Ciudad de México, al reducir los costos de operación de la red.

## 1. INTRODUCCIÓN

El deterioro de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), motivó que al finalizar la década de los 50 se instalaran 4 estaciones de monitoreo para medir contaminantes atmosféricos. En 1967 aumentó a 14 el número de estaciones, y en 1974 estas estaciones se equiparon con monitores automáticos de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). La red de monitoreo, denominada "Red Phillips" tuvo un diseño reticular para cubrir la zona urbana. En 1976 se agregaron 8 estaciones de monitoreo, con la finalidad de mejorar la cobertura sobre la mancha urbana (SEDUE, 1987; CMPCCVM, 1992). La Red Phillips fue un primer esfuerzo para medir la contaminación atmosférica; sin embargo, en el diseño no se consideró algún modelo matemático o la distribución de la población, por lo que no necesariamente representaba en forma adecuada la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos en la ZMCM.

Los lineamientos establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo de 1984 para el diseño de sistemas de monitoreo, entre otras iniciativas de protección y mejora al ambiente, motivaron la configuración de una red de monitoreo de 25 estaciones equipadas con monitores automáticos, denominada Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA). El propósito de esta red se fundamentó en el criterio de vigilancia de calidad del aire de acuerdo con la WHO-PNUMA-EPA (SEDUE, 1987), y permitió evaluar la calidad del aire en las diferentes zonas de la ciudad.

Debido a la cantidad y características de los automóviles que circulaban en la ZMCM, así como la calidad de los combustibles usados, los contaminantes atmosféricos que prevalecían en los años 80 fueron los asociados a la combustión interna de los automóviles, principalmente el monóxido de carbono (CO). Este problema se refleja en la distribución de equipos en la RAMA, ya que originalmente se equiparon 25 estaciones con equipos para medir este contaminante, y en 1991 se amplió a 27 estaciones.

En la ZMCM, la eficiencia de acciones para disminuir y controlar las emisiones de CO (mejora de combustibles, verificación vehicular, convertidores catalíticos, renovación del parque vehicular, etc.), se ve reflejado en la disminución significativa de las concentraciones en la última década (GDF, 2002a).

Entre 1990 y 1995, la magnitud de las concentraciones altas de CO disminuyó en un 46% (GDF, 2001); después de 1995 se tiene un comportamiento estable. La situación actual del CO en la atmósfera de la ZMCM sugiere que hay una sobre medición, dado que la mayor parte de sus concentraciones son bajas y se continúa midiendo en 27 estaciones. El comportamiento del CO indica que las concentraciones han disminuido en forma significativa (67% de 1990 a 2002, GDF, 2002a) y en escasas ocasiones se supera el valor de la norma de protección a la salud (NOM-021-SSA1-1993) (SSA, 1994), por lo que además del rediseño de la red, se sugiere una revisión en su actual límite permisible.

Una de las necesidades primordiales que establece el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México es mejorar su representatividad, dado que sus subredes de monitoreo manual y automático, así como las meteorológicas tienen más de 20 años, y desde entonces ha cambiado el entorno físico de las estaciones y la problemática de calidad del aire. Hwang y Chang (1997) señalan que la evolución metropolitana conlleva a una pérdida de representatividad territorial y de caracterización de fuentes de emisión que provocan redundancia en las mediciones y falta de representatividad, además de gastos innecesarios en la operación y mantenimiento de estaciones de monitoreo.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) y la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés), recomiendan la revisión o diagnóstico anual de una red de monitoreo, para garantizar su representatividad y para decidir si es necesario modificar, suprimir, re-localizar o establecer nuevas estaciones desde un punto de vista costo-efectividad (EPA, 1998; WHO, 1980).

Por lo anterior surge la importancia de realizar un diagnóstico de las estaciones de monitoreo que miden CO como base para el re-diseño de su actual configuración, con acciones inmediatas que mejoren su eficiencia y generen ahorro en los costos de operación y mantenimiento, así como acciones de largo plazo que garanticen su representatividad.

Es importante mencionar que el grupo de trabajo del PROAIRE 2002-2010, para la modernización de la RAMA, recomienda realizar un diagnóstico integral del actual Sistema de Monitoreo Atmosférico, por medio de la revisión de la ubicación de las estaciones de monitoreo, su entorno y redundancia de las mediciones, así como una posible expansión del mismo. Este trabajo fue desarrollado en el SIMAT, como parte de un proyecto de re-diseño del Sistema de Monitoreo Atmosférico realizado en la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, Dirección de Monitoreo Atmosférico.

**OBJETIVO GENERAL:**

Evaluar la representatividad de las estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico que miden monóxido de carbono para proponer una adecuación de la red de monitoreo.

**OBJETIVOS PARTICULARES:**

Evaluar el entorno físico de las estaciones del Sistema de Monitoreo Atmosférico y la representación espacial, como criterios para identificar su estado actual y recomendar su posible modificación, reubicación o reclasificación.

Identificar la presencia de redundancia en las mediciones de monóxido de carbono del Sistema de Monitoreo Atmosférico y sugerir cuales estaciones podrían ser removidas o reubicadas.

Evaluar la eficacia del método, comparando la subred propuesta con la existente en cuanto a la información pública, tendencia y la representación espacial.

**ALCANCES Y LIMITACIONES**

- El método se puede aplicar en diferentes etapas de desarrollo de una red de monitoreo, debido a que los entornos, así como las fuentes de emisión se van modificando a través del tiempo.
- La metodología aplicada se puede emplear en cualquier red de monitoreo que mida de forma automática y tenga al menos tres años de registros horarios que cumplan con suficiencia de información.
- El análisis se realizará solamente para el monóxido de carbono.
- La metodología se puede aplicar a todos los contaminantes criterio (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>).
- Los resultados se evaluarán con datos de 2011, para corroborar la eficacia del método.

## **2. ANTECEDENTES**

### **2.1 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO (ZMCM)**

Desde tiempos precolombinos, la cuenca de México ha concentrado la mayor población del país. A lo largo de su historia ha presentado diversos cambios en su población y urbanización, debido entre otros factores al comportamiento de variables como la mortalidad, la fecundidad, la migración, la estabilidad política, la centralización administrativa e industrial, y los servicios urbanos; así como el nivel alcanzado en la tecnología de comunicaciones y transportes.

En los años 40, el área urbana de la Ciudad de México rebasó los límites geopolíticos en un proceso de conurbación, que actualmente se reconoce como ZMCM, la cual además del Distrito Federal comprende municipios del Estado de México. Geográficamente se define a la ZMCM como parte de una cuenca endorreica que comprende territorios de los Estados de México, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y el Distrito Federal, con una superficie de 9,560 km<sup>2</sup>.

De acuerdo con el censo de población del año 2000, las 16 delegaciones del Distrito Federal tienen en total 8.6 millones de habitantes y los 18 municipios conurbados del Estado de México 9.1 millones. El uso urbano del territorio ha incidido en la transformación del entorno ecológico, particularmente por la conversión de suelo forestal a suelo de uso agrícola, industrial, habitacional y comercial (GDF, 2002b).

Lo anterior ha propiciado un acelerado deterioro ambiental que se traduce en problemas de abastecimiento de agua potable, drenaje, disposición y tratamiento de residuos domésticos e industriales, deforestación, contaminación del aire, agua y suelo, además de un notable decremento en la calidad de vida de sus habitantes (Ward, 1991).

En los últimos años la influencia del ambiente en la salud de la población ha tomado mayor importancia, tanto para los investigadores como para los tomadores de decisiones. Estos efectos comprenden tanto aquellos que se generan en el entorno familiar, como los que se producen en la atmósfera y afectan a toda la población (FUNSALUD, 1994). La gestión para mejorar la calidad del aire en esta metrópoli comenzó a ser relevante en la segunda mitad de la década de los 80, con el desarrollo de una red de monitoreo y otras iniciativas para controlar las emisiones vehiculares (DDF, 1990).

El consumo de combustibles en la ZMCM se encuentra asociado con las actividades de la población y el comportamiento de la economía del país, ya que sostener la actividad económica que se desarrolla en la ZMCM es necesario el uso intensivo de combustibles fósiles por alrededor de 30 mil industrias, 170 mil de servicios y cerca de 3.45 millones de vehículos. El 72% de éstos últimos corresponde a autos particulares.

Además de la cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera, la calidad del aire en la ZMCM depende de sus características geográficas y climáticas. Su altitud provoca que los sistemas de combustión interna operen deficientemente y por lo tanto contaminen más, debido a que hay 23% menos de oxígeno que al nivel del mar, en tanto que su latitud ocasiona que reciba una radiación solar intensa la mayor parte del año, lo que favorece la formación de contaminantes

secundarios, principalmente el ozono (GDF, 2003a). La ZMCM se localiza a 19° de latitud Norte, su región de planicie tiene una altitud promedio de 2,240 msnm y está rodeada por una cadena montañosa que hacia el sur alcanza una altura máxima de 3,952 msnm y hacia el norte 3,000 msnm. La presencia de inversiones térmicas es un fenómeno común durante todo el año, que ocasiona el estancamiento de contaminantes (GDF, 2001).

## **2.2 RED DE MONITOREO**

Una red de monitoreo se define como el conjunto de estaciones de muestreo, generalmente fijas y continuas, que se establecen para medir los parámetros ambientales necesarios para cumplir con los objetivos fijados y que cubran toda la extensión de una área determinada. Compara regularmente concentraciones locales de parámetros ambientales con estándares de calidad del aire, y las redes establecidas para vigilancia de alertas ambientales permiten implementar acciones en situaciones de emergencia.

Debido a que las decisiones que se tienen que tomar para el diseño de una red de monitoreo dependen fundamentalmente de los objetivos de monitoreo, no existen reglas fijas y fáciles a este respecto. Sin embargo, en la práctica el número y distribución de las estaciones de monitoreo de calidad del aire requeridas en cualquier red, dependen del área a cubrir, de la variabilidad espacial de los contaminantes que van a ser medidos y de los requerimientos de información que se necesitará utilizar. Si el factor importante es la identificación o cuantificación de los daños en la salud asociados con los contaminantes atmosféricos, el diseño de la red deberá enfocarse a este objetivo y considerar la necesidad, y el uso de estudios epidemiológicos. Por lo que se requerirán, según sea el objetivo, enfoques específicos en cuanto a los sitios de muestreo y a los contaminantes que se van a muestrear.

El diseño de una red está directamente relacionado con la determinación del número y distribución de los sitios de monitoreo y de su frecuencia de muestreo, en caso de no usar monitores continuos. Para distribuir y ubicar los sitios de monitoreo, se recomienda tomar en cuenta los siguientes factores:

- Población afectada
- Medio ambiente afectado
- Escala geográfica del problema a considerar
- Fuentes y emisiones del área delimitada
- Meteorología
- Topografía

Todo ello con la finalidad de que se determine el número de sitios apropiados para cubrir los requerimientos de datos necesarios y que cada sitio reporte los datos representativos de la calidad del aire de la zona que le corresponde. En el caso del establecimiento de una red con monitores automáticos, si los criterios de diseño indican un número específico de estaciones y este número es incosteable, se puede reducir el número de estaciones utilizando el criterio de sitio "inteligente", utilizar métodos alternativos de muestreo o realizar muestreos orientados a objetivos específicos. Es importante mencionar que al evaluar la inversión que se requerirá para establecer una red de monitoreo atmosférico, se tendrán que contemplar además de los costos de inversión, los costos de operación en los que deben incluir requerimientos de laboratorio, personal especializado, transporte, costos de mantenimiento y costos de reposición de equipo.

### 2.3 REDUNDANCIA

Una estación de monitoreo se considera redundante cuando presenta registros de igual magnitud o con un patrón similar al que muestran los registros de otra estación. La presencia de redundancia en las mediciones de una red de monitoreo se entiende como la sobre medición de contaminantes y se traduce en gastos de operación o mantenimiento innecesarios.

La identificación de redundancia en las mediciones de una red de monitoreo puede incorporarse como una herramienta operativa para mejorar su eficiencia. Este tipo de instrumentos es necesario debido a la magnitud que alcanza el mantenimiento de una red de monitoreo; la EPA estima por ejemplo que la red de monitoreo de la Ciudad de Houston requirió una inversión de \$9.6 millones de dólares para operar 5 años (1988-1993), considerando gastos anuales de operación, laboratorio y transmisión de datos, estaciones y análisis (Miller y Sager, 1994).

En ciudades donde se realizan estudios para optimizar y rediseñar redes de monitoreo de calidad del aire, los resultados permiten agregar nuevas estaciones o eliminar algunas que no son viables, debido a que realizan mediciones redundantes o carecen de representatividad.

El análisis de redundancia tiene como propósito identificar la sobre medición en las concentraciones de CO que se registran en las estaciones del SIMAT, como un elemento técnico para la propuesta de subredes "alternativas" que continúen caracterizando la presencia de este contaminante en la atmósfera de la ZMCM. Esto permitirá aprovechar de forma racional los recursos financieros, materiales y humanos con que cuenta actualmente el SIMAT, dado que se puede reducir el número de equipos en operación y continuar midiendo satisfactoriamente este contaminante.

### 2.4 CARACTERÍSTICAS DEL MONÓXIDO DE CARBONO

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro e insípido, siendo un gas muy ligero. Es inflamable y arde con llama azul, aunque no mantiene la combustión. El CO está compuesto de un átomo de carbono y un átomo de oxígeno. Las principales fuentes naturales de producción de CO son: los océanos, incendios forestales y la oxidación del metano en el ambiente (CH<sub>4</sub>) por radicales hidroxilo (OH<sup>·</sup>) (Fundación MAPFRE, 1994).

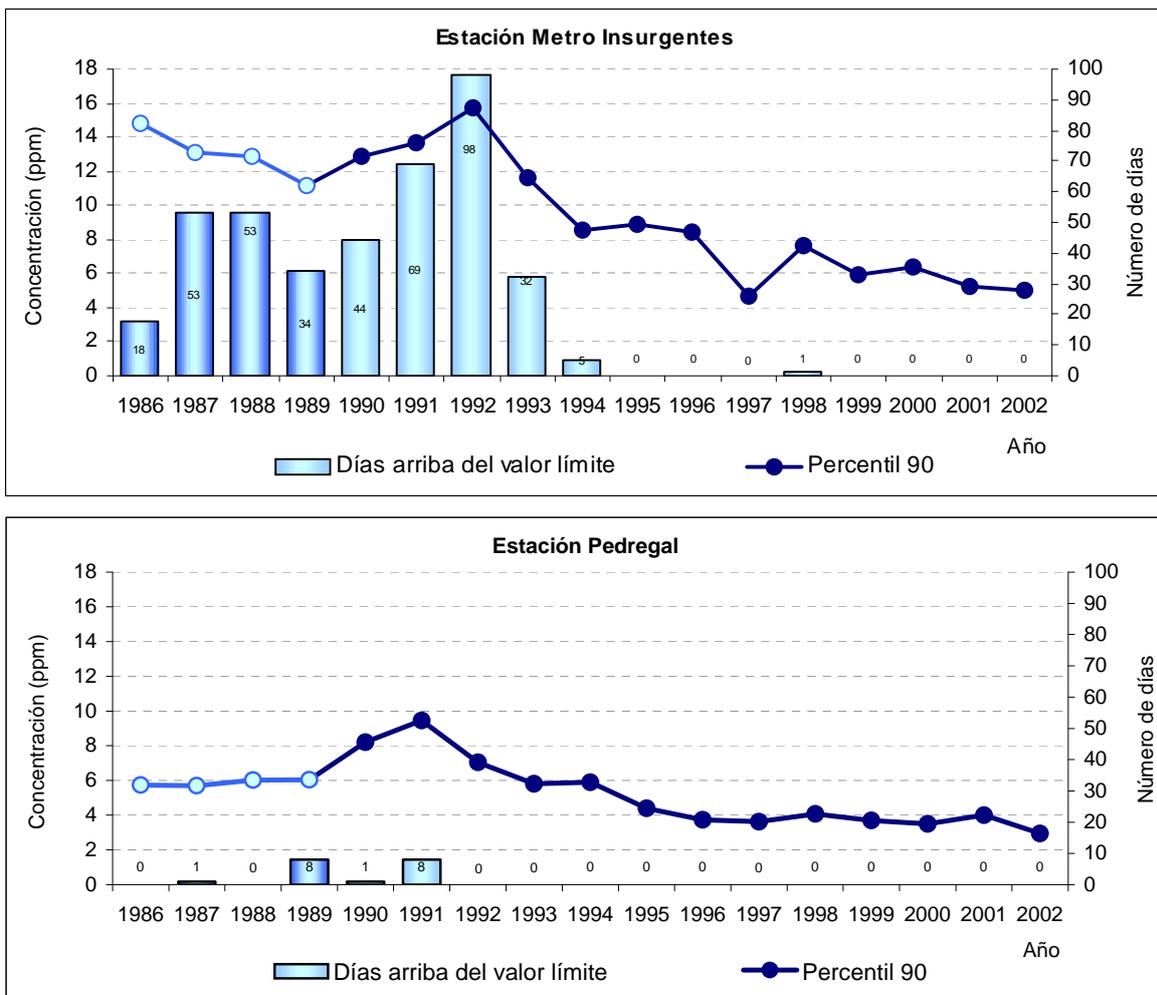
En cuanto a las fuentes antropogénicas, el CO se origina como consecuencia de los procesos de combustión incompleta de cualquier tipo de combustible y es emitido directamente por los tubos de escapes de los vehículos. En las zonas urbanas, la principal fuente de producción de CO son las emisiones de los automóviles. Es más probable que la combustión incompleta ocurra en el motor cuando las proporciones entre aire y combustible son bajas, estas condiciones son comunes durante el arranque del vehículo, cuando el suministro de aire está restringido ("ahogado"), cuando los autos no están afinados apropiadamente, y a cierta altitud se reduce la cantidad de oxígeno disponible para la combustión (con la excepción de los autos que están diseñados o ajustados para compensar la altitud).

Debido a que el CO es producto de la combustión incompleta de los hidrocarburos fósiles utilizados como combustible y a que el 99% es generado por la combustión interna en los vehículos, su distribución está relacionada a la actividad de los mismos, en donde cabe destacar

a los autos particulares, taxis y microbuses por su gran actividad. Con base en lo anterior, se puede mencionar que el CO sigue una distribución conforme a las principales calles y avenidas de mayor tránsito vehicular. Así, las mayores emisiones se localizan en las delegaciones del centro de la ZMCM como son Benito Juárez y Cuauhtémoc, disminuyendo la emisión conforme se avanza hacia la periferia (GDF, 2003b).

En la figura 2.1 se muestra el comportamiento del CO en la zona de la estación Metro insurgentes (MIN) ubicada en la zona centro en un área de confluencia vehicular, por lo que históricamente ha registrado las mayores concentraciones de CO en la ZMCM. Por lo contrario, en la estación Pedregal (PED) de la zona suroeste se observa menor influencia de las emisiones vehiculares por ser zona residencial. Es importante destacar que las medidas de control implantadas en la década de los 90 se reflejaron a partir de 1993, por lo que en la estación MIN desde 1995 sólo en una ocasión se ha rebasado el valor de la norma de protección a la salud (NOM-021-SSA1-1993); en la estación PED desde 1991 no se ha rebasado este límite.

**Figura 2.1** Comportamiento del CO en las estaciones Metro Insurgentes y Pedregal (1986-2002)



De acuerdo con el inventario de emisiones de la ZMVM 2002, el 99% de las emisiones de CO fueron emitidas por fuentes móviles, ya que de 1'941,593 toneladas anuales, el 42% correspondió a los autos particulares, el 17% a los vehículos menores de 3 toneladas, mientras que los taxis y microbuses emitieron el 10 y 9%, respectivamente.

## **2.5 EFECTOS DEL CO SOBRE LA SALUD HUMANA**

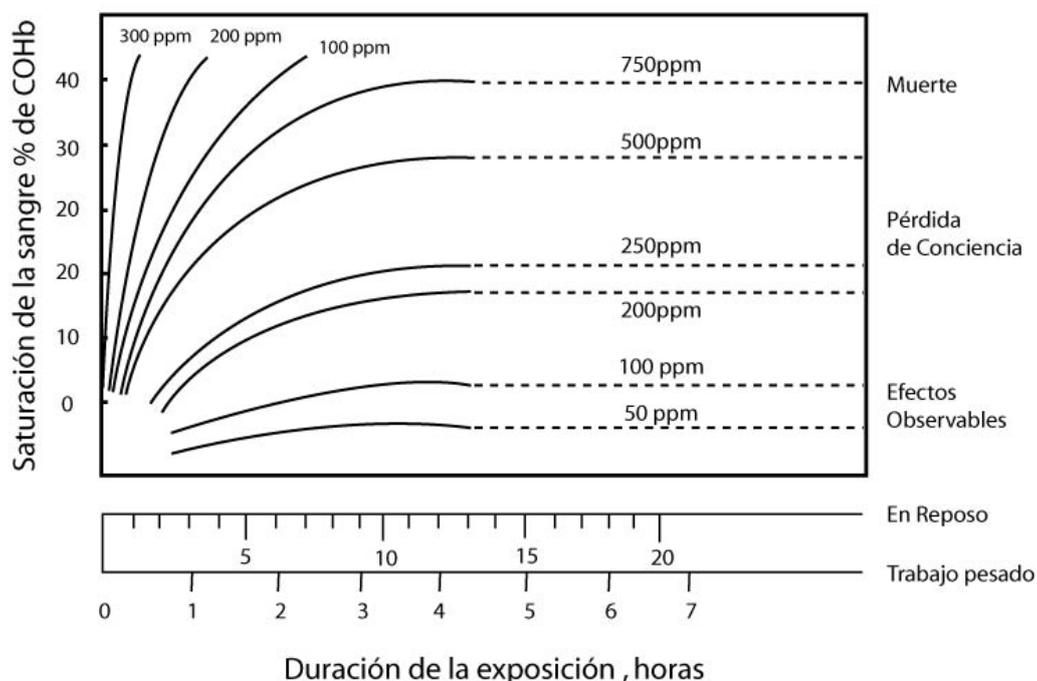
La exposición de las personas a altas concentraciones de CO en el aire puede ocasionar problemas importantes para la salud. El CO inhalado en combinación con la hemoglobina (Hb) de la sangre produce carboxihemoglobina, la cual reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno a los órganos y a los tejidos, afectando al tiempo de reacción y la sensibilidad visual de las personas (Fundación MAPFRE, 1994).

La exposición aguda a este contaminante puede provocar dolor de cabeza, náusea, vértigo, debilidad, irritabilidad, inconsciencia, y agudiza los problemas cardíacos, mientras que la exposición crónica puede causar signos persistentes, como la anorexia, dolor de cabeza, cansancio, vértigo y perturbación de las funciones del sistema nervioso (Consejería de Sanidad de la Región de Murcia, 2007).

Las personas con padecimientos cardíacos son particularmente sensibles al envenenamiento por CO y pueden sufrir dolores en el pecho si respiran el gas mientras hacen ejercicio. Los niños, las personas de edad avanzada y los individuos con padecimientos respiratorios o cardiovasculares también son particularmente sensibles. El CO puede afectar a individuos sanos, deteriorando su capacidad para hacer ejercicio, su percepción visual, su destreza manual, sus funciones de aprendizaje y su habilidad para ejecutar tareas complejas.

El porcentaje en sangre de COHb dependerá de la concentración del CO en el aire, variando dicho porcentaje al variar la concentración de CO. La saturación de la hemoglobina con el CO se consigue con mayor rapidez cuando se realiza algún esfuerzo físico (Figura 2.2) (Fundación MAPFRE, 1994).

**Figura 2.2** Efectos del CO en el ser humano



En tabla 2.1 se muestran los efectos producidos por la carboxihemoglobina, según el porcentaje en sangre de ésta (Fundación MAPFRE, 1994).

**Tabla 2.1** Efectos producidos por la carboxihemoglobina (COHb)

Nivel de COHb en sangre (%)	Efectos demostrados
Menos de 1,0	Sin efectos aparentes.
De 1,0 a 2,0	Algunas pruebas muestran efectos sobre el comportamiento.
De 2,0 a 5,0	Efectos sobre el sistema nervioso central. Deterioro de la discriminación de los intervalos de tiempo, agudeza visual, discriminación del brillo y algunas otras funciones psicomotrices.
Más de 5,0	Cambios funcionales cardíacos y pulmonares.
De 10,0 a 80,0	Dolor de cabeza, fatiga, somnolencia, coma, fallos respiratorios, muerte.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. EVALUACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO Y REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Para realizar el diagnóstico de las estaciones de monitoreo se evaluaron los criterios para el diseño y establecimiento de una red de monitoreo, los cuales contemplan la descripción física del entorno y las escalas de representación espacial. Los criterios evaluados se fundamentan en el CFR 40 parte 58 de la EPA; criterios para el diseño de una red de monitoreo, y criterios para el muestreo y establecimiento de estaciones de monitoreo, así como en *criterios cualitativos y cuantitativos* relacionados con el uso de suelo, distribución de la población, magnitud de las concentraciones registradas y campo de vientos (EPA, 1975).

##### 3.1.1. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO

La ubicación de estaciones de monitoreo depende del objetivo de la red; en el caso de la RAMA la distribución de sus estaciones corresponde con el criterio de vigilancia de calidad del aire, por lo que debe ser concebida como red de tipo "vecinal" o "urbana". Sin embargo, por los cambios que se han presentado a través del tiempo en el entorno de varias estaciones de la misma, es necesario evaluar la representatividad espacial de cada una de sus estaciones, para determinar si éstas realmente cumplen con los criterios requeridos para estaciones de una red vecinal o urbana.

En la tabla 3.1 se muestran los tipos de representación espacial que puede tener una estación de monitoreo, objetivo y las características de las mediciones de calidad del aire que pueden considerarse.

Tabla 3.1 Escalas espaciales de representatividad para estaciones de monitoreo

Representación espacial	Dimensión de la parcela de aire que representan las concentraciones	Objetivo de monitoreo	Características de las mediciones de calidad del aire
<b>Micro</b>	Algunos metros a 100 metros	Concentraciones altas Impacto de fuentes de emisión	Representa concentraciones en calles, banquetas y corredores con tráfico intenso.
<b>Media</b>	100 a 500 metros. Corresponde a varias cuadras en una ciudad	Concentraciones altas Impacto de fuentes de emisión	Representa lugares con uso de suelo y fuentes de emisión distribuidas de forma homogénea. Abarca estacionamientos, centros comerciales, estadios, cines y oficinas que atraen fuentes emisoras (vehículos, camiones repartidores,...).
<b>Vecinal</b>	500 metros a 4 kilómetros. Áreas con uso de suelo homogéneo	Concentraciones altas <b>Exposición de la población</b> Impacto de fuentes de emisión General / Fondo	Representa regiones homogéneas, con uso de suelo comercial y residencial, debe medirse al menos a 35 m de distancia de cualquier calle y 2,500 m de vías de alto flujo vehicular (con más de 50,000 automóviles por día).

Representación espacial	Dimensión de la parcela de aire que representan las concentraciones	Objetivo de monitoreo	Características de las mediciones de calidad del aire
<b>Urbana</b>	4 a 100 kilómetros. Puede incluir una ciudad completa	<b>Exposición de la población</b> General / Fondo Transporte de contaminantes Impacto al bienestar	Representa concentraciones sobre un área metropolitana entera. Estas medidas son útiles para determinar tendencias en calidad del aire en una ciudad, y por lo tanto, la eficacia a gran escala de las estrategias de control de la contaminación atmosférica.
<b>Regional</b>	100 a 1,000 kilómetros. Áreas rurales con geografía homogénea	General / Fondo Transporte de contaminantes Impacto al bienestar	Caracteriza condiciones sobre áreas con dimensiones de centenares de kilómetros. Las condiciones del área deben tener un cierto grado de homogeneidad. Los datos característicos de esta escala proporcionan la información sobre procesos de transporte de un estado a otro.
<b>Global</b>	Nación	Calidad del aire nacional	Proporciona información útil para la identificación de tendencias mundiales de la concentración del CO.

Fuente: EPA, 40 CFR Part 58, Apéndice D

### 3.1.1.1. Entorno físico y fuentes de emisión aledañas

Para conocer el entorno físico de cada estación de monitoreo, así como las fuentes de emisión aledañas, se realizó un recorrido de campo a cada estación de monitoreo en un radio de 300 metros a la redonda, donde se registraron los siguientes datos:

- Tipo de suelo predominante
- Servicios públicos
- Material de construcciones aledañas
- Número de niveles de las construcciones aledañas
- Distancia de la toma de muestra de la estación de monitoreo al objeto más cercano que obstruya el flujo de aire (árboles, edificios, anuncios espectaculares, etc.)
- Fuentes de emisión a menos de 20 metros y más allá de 20 metros de la estación de monitoreo (industrias, servicios, avenidas con tránsito vehicular intenso, llanos, campos deportivos, etc.)
- Tipo de vehículos que transitan
- Descripción del lugar donde está ubicada la estación de monitoreo

Con el fin de determinar las características de las estaciones de monitoreo se elaboró una matriz para describir en forma estructurada el entorno físico de cada sitio de monitoreo (tabla 3.2). Se realizó un recorrido de 300 metros de radio alrededor de cada una de las estaciones, identificando espacialmente las fuentes de emisión y se registró cada uno de los aspectos mencionados anteriormente en la matriz correspondiente.

#### **3.1.1.2. Uso de suelo**

Con la información del entorno físico y fuentes de emisión, se clasificó cada estación de monitoreo con respecto al uso de suelo predominante como: residencial, comercial, oficinas, industrial, servicios o rural; esta información quedó registrada en la matriz de caracterización (tabla 3.2) y la descripción de las 27 estaciones esta publicada en la página de internet (<http://www.sma.df.gob.mx/simat>), en donde está disponible en forma libre para todo público (Anexo 1).

**Tabla 3.2** Matriz de caracterización de estaciones de monitoreo

Secretaría del Medio Ambiente Gobierno del Distrito Federal Dirección General de Gestión Ambiental del Aire Subdirección de Análisis Matriz de caracterización de sitios de monitoreo				
Nombre del visitador:	Estación de monitoreo:			Fecha:
Dirección de la estación de monitoreo:				
PARÁMETROS	SÍMBOLO	UNIDADES		
Ozono	O <sub>3</sub>	ppm	[ ]	
Bióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	ppm	[ ]	
Bióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>	ppm	[ ]	
Monóxido de carbono	CO	ppm	[ ]	
Partículas menores a 10 micrómetros	PM10	µg/m <sup>3</sup>	[ ]	
Red manual				
Partículas menores a 10 micrómetros	PM10	µg/m <sup>3</sup>	[ ]	
Partículas suspendidas totales	PST	µg/m <sup>3</sup>	[ ]	
Depósito atmosférico			[ ]	
Parámetros meteorológicos			[ ]	
	Noreste	Noroeste	Suroeste	Sureste
Número de fotografía				
Tipo de suelo predominante.	Comercial [ ]	Comercial [ ]	Comercial [ ]	Comercial [ ]
	Habitacional [ ]	Habitacional [ ]	Habitacional [ ]	Habitacional [ ]
	Industrial [ ]	Industrial [ ]	Industrial [ ]	Industrial [ ]
	Rural [ ]	Rural [ ]	Rural [ ]	Rural [ ]
	Calles sin pavimentar [ ]			
	Áreas con cubierta vegetal [ ]			
	Servicios [ ]	Servicios [ ]	Servicios [ ]	Servicios [ ]
	Otros_____	Otros_____	Otros_____	Otros_____

	Noreste	Noroeste	Suroeste	Sureste
En sus alrededores cuentan con los servicios públicos.	agua potable [ ] pavimentación [ ] luz [ ] drenaje [ ]  Otros_____	agua potable [ ] pavimentación [ ] luz [ ] drenaje [ ]  Otros_____	agua potable [ ] pavimentación [ ] luz [ ] drenaje [ ]  Otros_____	agua potable [ ] pavimentación [ ] luz [ ] drenaje [ ]  Otros_____
Material de construcciones aledañas.	Concreto [ ] Tabique [ ] Lamina [ ] Petrolamina [ ] Estructura metálica con muros de cristal [ ] Madera [ ]  Otros_____	Concreto [ ] Tabique [ ] Lamina [ ] Petrolamina [ ] Estructura metálica con muros de cristal [ ] Madera [ ]  Otros_____	Concreto [ ] Tabique [ ] Lamina [ ] Petrolamina [ ] Estructura metálica con muros de cristal [ ] Madera [ ]  Otros_____	Concreto [ ] Tabique [ ] Lamina [ ] Petrolamina [ ] Estructura metálica con muros de cristal [ ] Madera [ ]  Otros_____
Niveles de construcciones.	Planta baja [ ] 1er. nivel [ ] 2do. nivel [ ] 3er. nivel [ ] Edificios [ ]  Otros_____	Planta baja [ ] 1er. nivel [ ] 2do. nivel [ ] 3er. nivel [ ] Edificios [ ]  Otros_____	Planta baja [ ] 1er. nivel [ ] 2do. nivel [ ] 3er. nivel [ ] Edificios [ ]  Otros_____	Planta baja [ ] 1er. nivel [ ] 2do. nivel [ ] 3er. nivel [ ] Edificios [ ]  Otros_____
A qué distancia aproximada se encuentra el objeto más cercano a la toma de muestra de la estación de monitoreo que obstruya el flujo de aire (árboles, edificios, anuncios espectaculares, etc.). Describir los objetos.				
Existe alguna fuente de emisión (industrias, servicios, avenidas con tránsito vehicular intenso, llanos, campos deportivos, etc.) a menos de 20 metros de la estación de monitoreo. Descríbela.				

	Noreste	Noroeste	Suroeste	Sureste
Existe algunas fuentes de emisión (industrias, servicios, avenidas con tránsito vehicular intenso, llanos, campos deportivos, etc.) visible más allá de 20 metros. Descríbela y señala la distancia aproximada.				
Tipo de vehículos que transitan.	Autos particulares [ ] Taxis [ ] Combis y microbuses [ ] Pick-up [ ] Camiones de carga [ ] EXRUTA-100 [ ] Autobuses foráneos [ ] Chimecos [ ] Carga más de dos ejes [ ] Locomotoras foráneas [ ] Aeropuertos [ ]  Otros _____	Autos particulares [ ] Taxis [ ] Combis y microbuses [ ] Pick-up [ ] Camiones de carga [ ] EXRUTA-100 [ ] Autobuses foráneos [ ] Chimecos [ ] Carga más de dos ejes [ ] Locomotoras foráneas [ ] Aeropuertos [ ]  Otros _____	Autos particulares [ ] Taxis [ ] Combis y microbuses [ ] Pick-up [ ] Camiones de carga [ ] EXRUTA-100 [ ] Autobuses foráneos [ ] Chimecos [ ] Carga más de dos ejes [ ] Locomotoras foráneas [ ] Aeropuertos [ ]  Otros _____	Autos particulares [ ] Taxis [ ] Combis y microbuses [ ] Pick-up [ ] Camiones de carga [ ] EXRUTA-100 [ ] Autobuses foráneos [ ] Chimecos [ ] Carga más de dos ejes [ ] Locomotoras foráneas [ ] Aeropuertos [ ]  Otros _____
Describir el lugar donde está ubicada la estación de monitoreo, especificando institución, en qué nivel se encuentra el equipo de monitoreo, etc.				

### 3.1.1.3. Densidad de población

A partir de la información de población a nivel de las áreas geográficas básicas (AGEB's), se identificó el número de habitantes alrededor de cada estación de monitoreo, y se codificó conforme a la tabla 3.3. La codificación se asignó considerando el mayor valor de los AGEB's (15,905<sup>1</sup>) y dividiéndolo entre el número de intervalos. El número de intervalos se determinó realizando mapas a diferentes intervalos y se eligió hacer la distribución en siete intervalos debido a que representaba la distribución de la población. Se dividió 15,905/7 el valor fue de 2,272; pero para tener números cerrados se consideró cada intervalo de 3,000.

En el anexo 2 se muestran los mapas de la distribución de la población alrededor de las estaciones de monitoreo para las cinco zonas en que está dividida la ZMCM (Noroeste – NO, Noreste – NE, Centro – CE, Suroeste – SO y Sureste – SE). En otro mapa, se presentan los mismos resultados para la estación Villa de las Flores (VIF); aunque pertenece a la zona NE, esta estación se analizó en forma separada para poder representar con mejor resolución las figuras correspondientes, debido a que VIF está muy alejada del resto de las estaciones de esta zona.

**Tabla 3.3** Códigos para número de habitantes

Código	Número de habitantes, x
1	$0 < x \leq 3,000$
2	$3,000 < x \leq 6,000$
3	$6,000 < x \leq 9,000$
4	$9,000 < x \leq 12,000$
5	$12,000 < x \leq 15,000$
6	$15,000 < x \leq 18,000$
7	$>18,000$

### 3.1.1.4. Magnitud de las concentraciones de los contaminantes

El análisis de la magnitud de las concentraciones de CO registradas entre 1998 y 2000, por considerarlas representativas de la situación actual de los contaminantes como resultado de las políticas ambientales recientes, permite clasificar a cada estación de monitoreo en intervalos de concentraciones altas, moderadas y bajas. Los intervalos de clasificación para el CO se obtuvieron con el método de intervalos de frecuencia (Daniel, 1977).

Para calcular la amplitud de los intervalos se obtiene dividiendo el intervalo o recorrido, R, entre el número de clases, k:

$$w = R / k$$

El número de intervalos de clase (**k**), es de tres para caracterizar las concentraciones en altas, moderadas y bajas.

El recorrido total o rango (**R**), se obtiene restando los valores mayor y menor de todos los datos de concentración de CO en el período de tiempo analizado (1998 - 2000) para todas las estaciones, correspondiendo a un total de 709,560 datos (3 años, 365 días de 24 horas y 27 estaciones):

<sup>1</sup> Índice de Marginación Urbana, 2000. Consejo Nacional de la Población, Apéndice C, Descripción de la base de datos del índice de marginación urbana

**R = valor mayor – valor menor**

$$R = 7.4 - 0.1 = 7.3$$

Por lo tanto:

$$w = 7.3 / 3$$

$$w = 2.4$$

De acuerdo con los resultados, en la tabla 3.4 se muestran los intervalos de clasificación para el CO y las concentraciones correspondientes; la clasificación final (alta, moderada y baja) se obtiene comparando al promedio general del período (1998 – 2000) de la estación respectiva con los intervalos de concentración presentados.

**Tabla 3.4** Intervalos de concentración para clasificar estaciones de monitoreo para el CO

<b>Clasificación</b>	<b>CO</b>
<b>Baja</b>	$0 < x \leq 2.4$
<b>Moderada</b>	$2.4 < x \leq 4.8$
<b>Alta</b>	$> 4.8$

### 3.1.2 Criterios para el muestreo y establecimiento de estaciones de monitoreo

Con base en la representación espacial asignada a cada estación, se evaluó el cumplimiento de los requerimientos físicos para el muestreo y establecimiento de estaciones de monitoreo. De acuerdo a los objetivos del Sistema de Monitoreo Atmosférico, las estaciones de la RAMA tienen que cumplir con los criterios de representación espacial "vecinal" o "urbana", es decir una distancia mínima de obstáculos (árboles, edificios, etc.), fuentes de emisión y una altura determinada para la toma de muestra. En las tablas 3.5 y 3.6 se muestran los criterios que debe cumplir una estación de monitoreo para medir CO de acuerdo con el apéndice E del CFR 40 parte 58 de la EPA.

**Tabla 3.5** Resumen de criterios para ubicar estaciones de monitoreo de CO

Requerimientos	Criterio
1. Altura de la toma de muestra	3-3.5 m en escala micro 3-15 m en otras escalas
2. Distancia del follaje de árboles	≥ 10 m ≥ 5 m cuando el follaje está encima de la toma de muestra
3. Flujo del aire sin restricción	≥ 270° ó 180° si está ubicado cerca de un edificio
4. Distancia de la estación a vialidades	2-10 m en escala micro ≥ 10 m tabla 3.6 para otras escalas

**Tabla 3.6** Distancia mínima de separación entre estaciones de monitoreo y fuentes vehiculares

Promedio diario de tráfico (vehículos por día)	Distancia mínima de separación entre la estación y la vía de comunicación
< 10,000	> 10 metros
15,000	20 metros
20,000	30 metros
40,000	50 metros
70,000	100 metros
>110,000	250 metros

Con la información recabada del entorno físico y fuentes de emisión aledañas, se evaluó en cada estación de monitoreo de CO el cumplimiento de los cuatro requerimientos.

Para determinar si una estación de monitoreo cumple con los criterios para el establecimiento de sitios de monitoreo, se asignó una calificación de tres si cumple satisfactoriamente, dos cuando cumple parcialmente y uno cuando no cumple. En la tabla 3.7 se especifican los criterios para calificar los requerimientos físicos de una estación de monitoreo de CO, para estaciones diseñadas para redes vecinales o urbanas.

**Tabla 3.7** Criterios para calificar las características físicas de una estación de monitoreo de CO

Requerimientos	Criterio		Calificación
	Microescala	Otras escalas	
Altura de la toma de muestra, h	$3m \leq h \leq 3.5m$	$3m \leq h \leq 15m$	<b>3</b>
	$3.5m < h \leq 4.5m$	$15m < h \leq 17m$	<b>2</b>
	$> 4.5m$	$> 17m$	<b>1</b>
Distancia de los árboles, d	$\geq 5 m$	$\geq 10 m$	<b>3</b>
	$3.5m \leq d < 5m$	$5m \leq d < 10m$	<b>2</b>
	$< 3.5m$	$< 5m$	<b>1</b>
Rango del flujo de aire sin restricción	$\geq 270^\circ$	Mínimo $270^\circ$	<b>3</b>
	$\geq 180^\circ$	Mínimo $180^\circ$	<b>2</b>
	$< 180^\circ$	$< 180^\circ$	<b>1</b>
Distancia de la estación a vialidades o corredores de tráfico, x	$2m \leq x \leq 10m$	-----	<b>3</b>
	$1.5m \leq x < 2m$	-----	<b>2</b>
	$< 1.5m$	-----	<b>1</b>

El cumplimiento de cada criterio se evaluó de acuerdo con la información presentada en la tabla 3.7 como:

1. No Cumple
2. Cumple parcialmente
3. Cumple satisfactoriamente

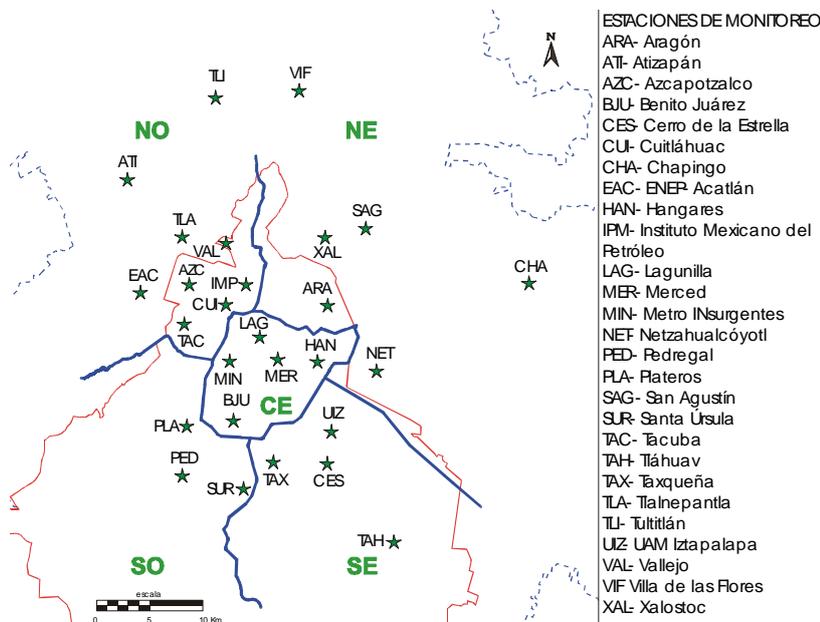
Para la evaluación de los criterios, en cada estación se suman las cuatro calificaciones obtenidas, obteniendo un valor entero entre 0 y 12. Se considera que una estación de monitoreo “**cumple**” con los criterios cuando su calificación es mayor o igual que 9 puntos, por el contrario una estación que obtiene menos de 9 puntos “**no cumple**”.

### 3.2 Análisis de redundancia para las mediciones de monóxido de carbono

La presencia de redundancia (o número excesivo de estaciones) en las mediciones de CO se puede asociar con la poca variabilidad que presentan sus concentraciones en los últimos años, lo cual se relaciona con la eficiencia de las acciones para el control de sus emisiones (GDF, 2000). Para analizar la presencia de redundancia se consideró la información de estaciones de monitoreo de la RAMA que operaron "satisfactoriamente" de 1998 al 2000, con base en el criterio de suficiencia del 75% (GDF, 2001), esto implica que debieron contar con al menos 32,850<sup>2</sup> datos horarios en el período de 3 años.

Se consideró la información de 22 estaciones para el análisis de redundancia de CO, quedando excluidas por falta de suficiencia de información las estaciones Cuitláhuac (CUI), Chapingo (CHA), Netzahualcóyotl (NET), Tláhuac (TAH) y Santa Úrsula (SUR). En el figura 3.1 se muestra la distribución de las 27 estaciones de monitoreo que miden CO.

**Figura 3.1** Estaciones de monitoreo de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico que miden monóxido de carbono (CO)



El análisis de redundancia se realizó con tres métodos, cada uno evalúa un aspecto particular del comportamiento del CO asociado con aspectos de redundancia. Posteriormente se integran los resultados para conformar la propuesta de una nueva subred de monitoreo, la cual se valida contra la red original para verificar que caracteriza adecuadamente las concentraciones del contaminante, es decir que no se pierde representatividad. Esta validación se logra al comparar la similitud del índice de calidad del aire, el análisis de tendencia y el análisis de distribución espacial.

<sup>2</sup> 365 días con 24 horas para 5 años con el criterio de suficiencia de 0.75 = 32,850 datos.

### 3.2.1 Análisis de Hwang y Chan

Hwang & Chan (1997) desarrollaron un método estadístico para analizar la información de los contaminantes registrados en las estaciones de una red de monitoreo y detectar la presencia de redundancia. Este método consiste en remover sistemática y periódicamente las estaciones, para proponer una "subred" de monitoreo con un menor número de estaciones, la cual continúe caracterizando temporal y espacialmente la presencia del contaminante en forma adecuada.

El método estadístico consiste en seleccionar la variable de reporte (VR) para analizar sitios redundantes. La variable de reporte puede ser el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA) que se publica horariamente, concentración máxima de cada día, etc. En este trabajo se tomó como variable de reporte la concentración máxima diaria. Los sitios de monitoreo son determinados redundantes, si al remover estos sitios de la red de monitoreo original no cambia en forma significativa la VR y su variación espacial esperada.

El algoritmo del método estadístico se basa en las comparaciones simultáneas de la similaridad y variación espacial diaria entre el diseño original de la red de monitoreo (red completa) y un subconjunto de la red de monitoreo sin los sitios seleccionados (subred).

La  $VR_{red}$  es el promedio diario de la VR (en este caso las concentraciones máximas diarias) de todas las estaciones de monitoreo de la red completa, y  $VR_{subred}$  es el promedio diario de las concentraciones máximas diarias de todas las estaciones de monitoreo de la subred. Para comprobar la similaridad de las VR se utiliza el parámetro AD definido como la **diferencia absoluta relativa** entre  $VR_{red}$  y  $VR_{subred}$ :

$$AD = \frac{|VR_{red} - VR_{subred}|}{VR_{red}}$$

Asimismo, para comprobar la **variación espacial** de las VRs se calcula una fórmula similar: se utiliza el parámetro VD definido como la diferencia relativa absoluta entre  $S^2_{red}$  y  $S^2_{subred}$ , que se calcula de la siguiente forma:

$$VD = \frac{|S^2_{red} - S^2_{subred}|}{S^2_{red}}$$

En donde  $S^2_{red}$  es la variación de VRs de la red completa, y  $S^2_{subred}$  es la variación de VRs de la subred; ambas se calculan con la ecuación conocida de la varianza:

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}$$

Para identificar los sitios redundantes, primero se determina un límite de la desviación diaria aceptable en AD, cuando los sitios redundantes son removidos de la red de monitoreo original se llama ( $AD_a$ ). Posteriormente, se determina la medida equivalente (EQU), que es el porcentaje de días en los cuales el AD diario es menor que  $AD_a$ ; es decir, EQU representa la similaridad entre la red de monitoreo completa y la subred.

Adicionalmente se calcula el promedio de todos VDs, quitando cada estación, así tendremos el VD para cada subred y el VD esperado. Una subred puede ser aceptable solamente si su VD esperado es menor que el nivel aceptable predeterminado, es decir, la variación espacial de las VRs en una subred es aceptable si no hay cambios significativos cuando los sitios redundantes son removidos de la red completa.

Sin embargo, la comparación entre la red completa y todas las posibles subredes derivadas puede ser un proceso complicado, porque hay teóricamente  $2^n - 2$  posibles subconjuntos de las redes de monitoreo para una red original con  $n$  estaciones de monitoreo.

Por lo anterior, se aplicó un procedimiento de eliminación tipo backward (de atrás hacia adelante) para calcular sitios redundantes y simplificar el método estadístico. Los algoritmos de búsqueda tipo backward pueden reducir una red original completa a una subred razonablemente buena. El procedimiento de eliminación inicia con la red completa, y se quita un sitio en el primer paso del procedimiento. El procedimiento es repetido para eliminar un segundo sitio y posteriormente un tercer sitio hasta que finalmente la eliminación de más sitios produce un EQU menor que un nivel predeterminado de confianza.

En el análisis de los promedios diarios de las concentraciones máximas diarias de todas las estaciones se emplearon diferentes valores de los parámetros AD, EQU y VD, como criterio para evaluar la sensibilidad del algoritmo y determinar con que valores se ajusta mejor el método.

Los pasos a seguir para aplicar el método son los siguientes:

1. Seleccionar las 22 estaciones de monitoreo que cumplen con suficiencia de información, las cuales se van a considerar para el análisis.
2. Calcular  $VR_{red}$ , es decir el promedio diario de las concentraciones máximas diarias de todas las estaciones seleccionadas de 1998 al 2000.
3. Proponer una subred, quitando una estación de monitoreo a la vez, Est1, Est2, ... Est21 y calcular el nuevo promedio diario de las concentraciones máximas diarias de todas las estaciones  $VR_{subred}$ .
4. Definir los valores AD, VD y EQU, los cuales se designan de acuerdo a la precisión que se requiere al aplicar el método; el valor esperado diario de AD y VD debe ser menor a 1, cuando esté más cerca de cero, mayor será la precisión; y el EQU define el nivel de confianza, entre más se acerque a 100 tiene una mayor confiabilidad, en este caso y posterior a realizar el cálculo con diferentes valores, se determinaron los valores de 0.15 de AD y VD; y una confianza del 90%.
5. Calcular la *Similaridad (AD)*, es decir las diferencias entre la subred y la red original con base al cambio de los promedios aritméticos, se calcula el AD\_a diario para cada subred quitando una a la vez.
6. La diferencia absoluta relativa AD\_a de cada subred se compara con el porcentaje definido previamente (la similaridad es de 0.15). Cuando el valor de AD es menor que el valor de AD\_a, se asigna un 0 y cuando es mayor un 1. La suma de estos valores indica el número de días sin diferencias entre ambas redes y se obtiene su relación porcentual con respecto al total de días analizados.
7. Se determina la *Medida Equivalente (EQU)* al evaluar que los registros diarios de la subred se aproximen a los registros de la red original en un porcentaje específico, es decir el porcentaje se compara con la *Medida Equivalente (EQU)* definido previamente (90%). Cuando el porcentaje de la subred es menor, significa que no hay similaridad entre la subred y la red original, por lo que se rechaza la propuesta de subred.

8. La *Variación Espacial Esperada (VD)* que mide el error relativo de la variación anual de una subred con respecto a la red original, se evalúa comparando el valor de la varianza de cada día de los valores de la red original, contra la varianza de cada subred. La diferencia relativa proporciona una VD diaria, se calcula el promedio de las diferencias relativas y se compara con el valor de VD esperado (0.15); cuando el promedio es menor significa que la variación espacial es mínima, es decir, que las estaciones consideradas en la subred son suficientes para caracterizar el comportamiento espacial del contaminante.

### 3.2.2 Estadística descriptiva

El segundo método que se utilizó para determinar la redundancia en las mediciones del monóxido de carbono en las estaciones de monitoreo del SIMAT fue por medio de estadística descriptiva, se utilizaron dos parámetros estadísticos que interpretan la variabilidad de un conjunto de datos en este caso de la calidad del aire, el rango intercuartil y la mediana de las concentraciones horarias registradas en cada estación de monitoreo. La mediana representa el dato central del conjunto de datos y el rango intercuartil representa la variación de las concentraciones del contaminante que se registran habitualmente en cada estación de monitoreo, de tal forma que al agruparlos conforme a la similaridad de sus variaciones y mediana es posible detectar la presencia de mediciones redundantes.

La mediana se obtiene al ordenar de manera ascendente un conjunto de datos, y el valor que se encuentra a la mitad de los datos es la mediana, de manera que la mitad de los datos tiene un valor menor a la mediana y la otra mitad mayor.

Para calcular este parámetro primero se ordenan los valores de menor a mayor, se aplica una de las siguientes fórmulas dependiendo si el conjunto de datos es par o impar:

- a) Para datos impares

$$Me = x_{(n+1)/2}$$

- b) Para datos pares

$$Me = (x_{(n/2)} + x_{(n/2)+1}) / 2$$

Donde:

**Me** es la mediana

**x** Representan los datos de la muestra

**n** es el número de datos

El rango intercuartil es la diferencia entre los percentiles 75 y 25, donde el percentil 75, representa el 75% de datos y el percentil 25, el 25% de los datos. Con estos parámetros estadísticos podemos determinar el 50% de los datos centrales, es decir se realiza el análisis quitando los datos que podrían ser atípicos, es decir muy pequeños o muy altos.

Los percentiles se representan con la letra "P", para el percentil i-ésimo, donde la i toma valores del 1 al 99. El i% de la muestra son valores menores a él y el 100-i % restante son mayores. Una de las fórmulas para calcular el percentil es:

$$x = n * i / 100$$

Donde:

n es el número de elementos de la muestra  
i representa el percentil

Los pasos a seguir para la aplicación de este método son los siguientes:

1. Seleccionar las 22 estaciones de monitoreo consideradas para el análisis, las cuales cumplen con el criterio del 75% de suficiencia de información anual.
2. Calcular la mediana y el rango intercuartil para cada estación de monitoreo.
3. Se agrupan las estaciones de monitoreo con base a la similitud de la mediana y el rango intercuartil, es decir los valores más cercanos se colocan en un mismo grupo, de tal manera que están agrupados por magnitud de concentración.
4. En base a los resultados se clasifican las estaciones que tienen menor variabilidad en sus concentraciones horarias a lo largo del año, lo cual se determina con los resultados de la mediana y el rango intercuartil, es decir las estaciones que presentan la menor variabilidad se consideraron como estaciones redundantes.
5. Con el resto de las estaciones se conforma la subred.

### 3.2.3 Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados es una técnica que permite agrupar los casos o variables de un conjunto de datos en función de la similaridad existente entre ellos. Este método consiste en partir de análisis de casos individuales, hasta agrupar casos de grupos homogéneos (Anderberg, 1973), con características comunes.

En este análisis se empleó la técnica de conglomerados para identificar y agrupar las estaciones de monitoreo que registran concentraciones del contaminante con características similares. Para realizar este análisis se consideran las 22 estaciones que cuentan con un mínimo de 75% de datos horarios (32,868 registros).

Para agrupar a las estaciones de monitoreo que registran concentraciones de igual magnitud se emplea una distancia específica, la Métrica de Canberra (Seber, 1995) (método a), esta métrica considera datos positivos en la que se estandarizan las diferencias dividiendo por la suma de los valores.

Ecuación de la métrica de Canberra

$$d_{rs} = \frac{1}{d} \sum_j^d \left\{ \frac{|x_{rj} - x_{sj}|}{x_{rj} + x_{sj}} \right\}$$

Donde:

$d_{rs}$  es la disimilaridad entre los objetos r y s

d es el total de datos

$x_{rj}$  datos de la variable r

$x_{sj}$  datos de la variable s

Para agrupar las estaciones de monitoreo con patrones similares, sin importar la magnitud de los mismos, se emplea otra distancia, la Métrica de Correlación (método b), en este caso la métrica refleja en forma cuantitativa semejanzas o diferencias entre las concentraciones.

Ecuación de la métrica de Correlación

$$C_{rs} = \frac{\sum_j (x_{rj} - \bar{x}_r)(x_{sj} - \bar{x}_s)}{\left\{ \sum_j (x_{rj} - \bar{x}_r)^2 \sum_j (x_{sj} - \bar{x}_s)^2 \right\}^{1/2}}$$

Donde:

$C_{rs}$  es la similaridad entre los objetos r y s

$x_{rj}$  datos de la variable r

$x_{sj}$  datos de la variable s

$\bar{x}_r$  media del conjunto de datos r

$\bar{x}_s$  media del conjunto de datos s

### Representación gráfica de una clasificación jerárquica

Para visualizar una clasificación de datos agrupados se utilizan los dendrogramas, que es una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un análisis de conglomerados. Los datos similares se conectan mediante enlaces cuya posición en el diagrama está determinada por el nivel de similitud/disimilitud entre datos.

A partir de una matriz de correlación, los clusters más similares se fusionan construyendo un nuevo cluster, y así hasta determinar los conjuntos de datos más similares. En el anexo 3, se muestra un ejemplo de la construcción de un dendrograma.

Los pasos a seguir para aplicar el método son los siguientes:

- Calcular  $d_{rs}$  a partir de la ecuación de la métrica de Canberra con los registros horarios de cada estación de monitoreo, y elaborar una matriz de disimilaridad.
- Calcular  $C_{rs}$  a partir de la ecuación de la métrica de Correlación con los registros horarios de cada estación de monitoreo, y elaborar una matriz de similaridad.
- A partir de la matriz de disimilaridad y similaridad se aplica la técnica de conglomerados. En los algoritmos *jerárquicos* los conglomerados se van formando secuencialmente hasta que todas las estaciones de monitoreo quedan unidas. El número de grupos se determina visualmente una vez que se aplicó el método.
- La representación gráfica del resultado se hace mediante un dendrograma que muestra cómo se enlazan las estaciones de monitoreo conforme su similitud, donde las estaciones con mayor similitud se asocian primero.

### 3.3 Integración de resultados de redundancia

Los resultados de los tres métodos de redundancia se integran en una matriz de evaluación, en la que se califica cada estación en función de la presencia de redundancia en sus mediciones, la ausencia de redundancia se califica con 1 y la presencia de redundancia se califica con 0. De esta forma se agrupan las estaciones con la suma de estos valores, lo cual permite seleccionar las estaciones con menos redundancia y conformar la subred, considerando la suma de 3 métodos como parámetro de inclusión.

Además de los resultados con los tres métodos de redundancia, cuando se integra la subred para CO se deben considerar criterios relevantes asociados con su desempeño histórico o representatividad en el SIMAT.

Los criterios que se consideraron son:

- Conservar las estaciones de carácter histórico, debido a que han registrado datos desde 1986 y se utilizan para realizar estudios de investigación, y son representativas de cada una de las zonas IMECA: Tlalnepantla (TLA) ubicada en la zona noroeste, Cerro de la Estrella (CES) ubicada en la zona sureste, Merced (MER) ubicada en la zona centro, Pedregal (PED) ubicada en la zona suroeste y Xalostoc (XAL) ubicada en la zona noreste.
- Conservar las estaciones de monitoreo que registran los eventos extraordinarios de CO, debido a que se tiene que dar seguimiento a dichas emisiones y verificar las fuentes de emisión Tacuba (TAC) y Hangares (HAN).
- Conservar las estaciones que representan condiciones de fondo o periféricas, las cuales permiten evaluar el impacto de fuentes de emisión y el transporte por viento, estación Tultitlán (TLI).

### 3.4 Criterios para evaluar la subred

Es importante considerar que la subred propuesta no debe perder la cobertura en la información que se difunde al público, es decir que el valor IMECA no debe cambiar significativamente al quitar estaciones de monitoreo; debe conservar la tendencia del contaminante y la representatividad espacial, es decir que la distribución del contaminante en la ZMCM debe seguir el mismo comportamiento.

#### 3.4.1 Análisis de la información pública

El Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA) se elabora considerando las 5 zonas en que se divide la ZMCM: en cada una de las zonas el IMECA registra la estación con la máxima concentración horaria; sin embargo algunas estaciones registran en mayor proporción concentraciones altas del contaminante, por lo cual guardan una relación directa con el IMECA. Esta característica implica que una subred debe contar con las estaciones que registran las concentraciones que dan lugar al IMECA.

Se evaluó la representatividad de cada estación con respecto a este indicador y se compararon los resultados de la subred propuesta (óptima) y la red original entre 1998 y 2002, con la finalidad de evaluar la consistencia en la información pública que se difunde horariamente. Este análisis se realizó con el promedio móvil de 8 horas para CO, equiparable con el valor del IMECA.

### 3.4.2 Análisis de tendencia

El indicador del promedio anual de las concentraciones horarias permite evaluar la tendencia histórica de concentraciones críticas de este contaminante. Este indicador reduce en cierta forma la influencia de eventos locales (meteorológicos o de emisión), debido a que al promediar las concentraciones se mitigan tanto las concentraciones altas como las bajas.

Para evaluar la presencia de tendencia histórica se consideraron dos casos:

- Tendencia histórica con información de todas las estaciones que miden el contaminante en la RAMA, independientemente de su nivel de operación o las estaciones que no cumplan con suficiencia de información.
- Tendencia histórica con información de las estaciones que conforman la subred.

Para mejorar el análisis comparativo se aplica al indicador (promedio anual de las concentraciones horarias) la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Gilbert, 1987), que permite identificar la presencia de tendencia y en su caso el porcentaje de decremento o incremento instantáneo, con base en la tasa instantánea de cambio, así como un porcentaje relacionado al cambio en el período de evaluación.

El método de Mann-Kendall evalúa la existencia de tendencia a través del tiempo de cualquier contaminante. La prueba se puede aplicar a datos que no siguen una distribución normal y soporta múltiples observaciones por periodo de tiempo. No tiene límites en el tamaño de las bases de datos y mide la tendencia por estación de monitoreo.

Ecuación de Mann-Kendall: 
$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(Y_j - Y_i)$$

Donde:

$Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  son los valores de las variables, en este caso el promedio anual  $(Y_j - Y_i)$  con  $(j > i)$

*sign* se obtiene de la diferencia de cada par de valores al comparar sus magnitudes de acuerdo con lo siguiente:

$$\text{Sign}(Y_j - Y_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } (Y_j - Y_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (Y_j - Y_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (Y_j - Y_i) < 0 \end{cases}$$

### **3.4.3 Representación espacial de las estaciones**

El comportamiento espacial del contaminante atmosférico refleja cómo se distribuyen sus concentraciones en toda la ZMCM, en este caso se representa por medio de mapas con información de la subred y otro con la red original, deben mostrar un patrón similar donde se observe la sobre medición o redundancia del contaminante.

Para elaborar mapas de interpolación se debe determinar un indicador que refleje la distribución del contaminante a lo largo del año, en este caso se eligió el promedio anual de las concentraciones horarias, con el cual se mitigan las concentraciones que pudieran ser atípicas como concentraciones muy altas, o muy bajas. Una vez elegido el indicador se calcula el promedio anual para cada estación de monitoreo y se procesa en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Mediante los SIG es posible estimar los valores que puede tomar la variable Z sobre un terreno, las fuentes de datos son las observaciones o mediciones de Z obtenidas en puntos dispersos distribuidos sobre el terreno (red de muestreo). A partir de los datos se estiman los valores de Z en puntos intermedios mediante interpolación o métodos geoestadísticos.

El método que se utiliza es el de Interpolación de Distancias Inversas, (IDW por sus siglas en Inglés).

Para su aplicación se toman los siguientes parámetros:

- a) Límite de interpolación: La ZMCM tiene como coordenadas extremas al **NO**:  $X=461579.58$   $Y=2177550.11$ ; al **NE**:  $X=519254.54$   $Y=2177550.11$ ; al **SO**  $X=461579.58$   $Y=2117610.53$  y al **SE**  $X=519254.54$   $Y=2117610.53$  (este límite se realizó considerando la ubicación de las estaciones de la Red de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México).
- b) Potencia de la interpolación: En este caso se utiliza la cuarta potencia ya que se distribuyen adecuadamente las concentraciones del contaminante.

Los mapas se proyectan en UTM NAD 27. Para el desarrollo de los mapas se utiliza el Software SIG, específicamente ArcView 3.2 y la extensión Spatial Analyst<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Información proporcionada por el área de Sistemas de Información Geográfica de la DGGAA-DMA-SA

## 4. RESULTADOS

### 4.1 EVALUACIÓN DEL ENTORNO FÍSICO Y REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

El primer criterio que se evaluó fue la representación espacial de cada estación de monitoreo; en la tabla 4.1 se muestran los resultados de la clasificación de las estaciones que miden CO. En el recorrido de campo a cada estación, se hizo una descripción del entorno físico, se clasificó de acuerdo al uso de suelo, su densidad de población, la magnitud de los contaminantes medidos, así como la definición de representación espacial. De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que de las 27 estaciones que miden CO, 5 de ellas corresponde a microescala, 10 a escala media, 2 a escala regional y sólo 10 estaciones corresponden a las escalas vecinal o urbana que requiere el criterio de la vigilancia de la calidad del aire, de acuerdo a los objetivos del SIMAT.

**Tabla 4.1** Criterios para seleccionar la representación espacial para CO

EST	Descripción	Uso de suelo	Población	Magnitud	Escala actual
ARA	La vialidad en la calle donde se ubica la estación de monitoreo presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular moderado de autos particulares, taxis, microbuses y autobuses, en mayor proporción. A 15 m al sur se localiza un campo de fútbol sin cobertura vegetal; a 21 m al oeste dos canchas de básquetbol pavimentadas; y a 40 m al norte un centro deportivo con dos campos de fútbol sin cobertura vegetal.	Habitacional y comercial	3	Alta	Media
ATI	La estación de monitoreo está ubicada en un área suburbana, con unidades habitacionales de construcción reciente y lotes con vegetación de temporal. La vialidad presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular moderado de autos particulares, microbuses y pick-up, principalmente. Se encuentra entre jardines con vegetación de temporal. A 700m al noroeste se localiza la carretera Atizapán-Progreso Industrial que presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular moderado de camiones de carga y autobuses.	Habitacional	2	Baja	Vecinal
AZC	Área urbana, principalmente habitacional. La vialidad presenta circulación en un solo sentido y flujo moderado de autos particulares, taxis, microbuses, y camiones de carga. A 15 m al noroeste se encuentra un área con vegetación de temporal; a 350 m al noroeste se localiza la estación del metro Aquiles Serdán y la Avenida del mismo nombre. Esta última presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses, camiones de carga y trailers.	Habitacional	4	Baja	Vecinal
BJU	Área urbana, las vialidades que lo rodean presentan flujo vehicular alto principalmente de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses y camiones de carga. A 20 m al sureste se localiza un campo deportivo con vegetación de temporal, pista de arcilla y canchas deportivas sin cobertura vegetal.	Habitacional y oficinas	2	Moderada	Micro
CES	Área urbana, la vialidad presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses y camiones de carga, en mayor proporción. A 4 m al sur se localiza un estacionamiento perteneciente al Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia (DIF) con capacidad para más de 50 vehículos.	Habitacional, comercial y servicios	2	Moderada	Media
*CUI	Área urbana, la vialidad presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto en mayor proporción de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses, camiones de carga y trailers. A 50 m al sureste se encuentra una gasolinera, un estacionamiento con capacidad para más de 20 vehículos y un cruce de caminos. A 300 m al este se encuentran las vías del tren.	Comercial y habitacional	2	Alta	Micro
*CHA	Área rural de actividad agrícola, la vialidad presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autobuses local y foráneo, camiones de carga y trailers. A 10 Km al sureste se encuentra una zona de talleres artesanales (alfarería), bodegas de cementos, cerveceras, viveros, fábrica de trofeos, invernaderos, ganadería, sembradíos agrícolas, naves avícolas y fábrica de materiales para construcción.	Rural	2	Baja	Regional
EAC	Área urbana, las vialidades presentan flujo vehicular moderado de autos particulares, transporte colectivo (combis), microbuses, autobuses, camiones de carga, motocicletas y pick-up. A 5 m al noroeste se encuentra un estacionamiento con capacidad para 100 vehículos y a 100 m al este se localizan campos deportivos sin cobertura vegetal.	Habitacional y servicios	3	Moderada	Media

EST	Descripción	Uso de suelo	Población	Magnitud	Escala actual
HAN	Área urbana, la vialidad presenta flujo vehicular alto de autos particulares, microbuses, camiones de carga, colectivos (combis), pick-up y transporte de pasajeros foráneo. A 20 m al norte se encuentra un estacionamiento con capacidad para 150 vehículos, a 50 m al este los hangares militares con flujo de helicópteros y a 600 m al noreste las pistas de aterrizaje del aeropuerto internacional de la Ciudad de México.	Habitacional, comercial y servicios	1	Alta	Micro
IMP	Área urbana, todas las vialidades que la rodean presentan circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, combis, microbuses, autobuses foráneos, pick-up y camiones de carga. A 20 m al noreste se localizan 3 estacionamientos, cada uno con capacidad para más de 50 vehículos.	Habitacional	1	Alta	Vecinal
LAG	Área urbana, la vialidad presenta flujo vehicular moderado de autos particulares, taxis y microbuses. A 55 m al este se localiza un mercado popular. A 50 m al sur el Eje 1 Norte y a 200 m al noreste la Avenida Paseo de la Reforma, ambas avenidas presentan flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses, pick-up y camiones de carga, principalmente.	Habitacional y comercial	2	Moderada	Media
MER	Área urbana, la vialidad presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autos particulares, microbuses, autobuses, pick-up, camiones de carga, trailers y motocicletas. A 200 m al sureste se encuentran los campos de tiro de la policía. Rodeada de canchas deportivas y parques con vegetación de temporal.	Habitacional y comercial	1	Alta	Media
MIN	Área urbana, las vialidades presentan circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto, principalmente de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses, pick up y motocicletas.	Comercial y oficinas	1	Alta	Micro
*NET	Área urbana, las vialidades presentan circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses y camiones de carga. A 25 m al noreste se encuentra una terminal de transporte colectivo (combi) y un semáforo; a 70 m al norte sobre el camellón se encuentran campos de fútbol sin cubierta vegetal.	Habitacional	7	Moderada	Media
PED	Área urbana, las vialidades presentan flujo vehicular bajo de autos particulares y autobuses escolares.	Habitacional	2	Baja	Vecinal
PLA	Área urbana, la vialidad presenta circulación en un solo sentido y flujo vehicular moderado de autos particulares, taxis y microbuses. Rodeada por estacionamientos de una escuela, con capacidad aproximada para 70 vehículos.	Habitacional	2	Moderada	Media
SAG	Área urbana, las vialidades presentan circulación en ambos sentidos y flujo vehicular bajo de autos particulares principalmente. Parques con vegetación de temporal. A 325 m al este se localiza la Avenida Hank González que presenta circulación en ambos sentidos (con 7 carriles cada uno) y flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses locales y foráneos, camiones de carga, pick-up y motocicletas.	Habitacional	5	Baja	Vecinal
*SUR	Área urbana, las vialidades presentan flujo vehicular bajo de autos particulares, taxis y camión de carga. A 200 m al norte se encuentra la calle San Felipe que presenta circulación en ambos sentidos, con un carril de cada lado y flujo vehicular alto de autos particulares, taxis y camiones de carga; a menos de 20 m al este, se encuentra una cancha deportiva sin cobertura vegetal.	Habitacional, comercial y servicios	3	Moderada	Vecinal
TAC	Área urbana, la vialidad presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular bajo de autos particulares, taxis y autobuses. A 275 m al norte se encuentra la Avenida San Bartolo–Naucalpan, que presenta flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses, pick-up, camiones de carga y trailers. A 15 m al noroeste se encuentran 2 chimeneas de hornos, a 40 m al oeste se localiza la calle Lago Buenos Aires bloqueada por el comercio informal.	Habitacional, comercial y servicios	3	Moderada	Vecinal

EST	Descripción	Uso de suelo	Población	Magnitud	Escala actual
*TAH	Área suburbana, con unidades habitacionales de construcción reciente y calles de terracería, la vialidad presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular moderado de autos particulares, taxis, camiones de carga y pick-up. A 500 m al noroeste se ubican campos de cultivo. Cabe mencionar que en esta área es común el uso de anafres de carbón.	Habitacional	2	Baja	Regional
TAX	Área urbana, las vialidades presentan circulación en ambos sentidos y flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses locales y foráneos, motocicletas, pick-up, camiones de carga y trailers. A 200 m al este se localizan talleres mecánicos y a 150 m al este se localizan parques sin cobertura vegetal.	Habitacional, comercial y servicios	2	Alta	Micro
TLA	Área urbana, la vialidad presenta flujo vehicular moderado de autos particulares, taxis, colectivos (combi), microbuses, camiones de carga y pick-up. A 110 m al suroeste se encuentran 2 tanques de almacenamiento de combustible. A 100 m al oeste, se encuentra una pequeña zona arbolada. A 80 m al sur, se localiza un parque con juegos infantiles. A un km en dirección de noroeste a este, se encuentra una zona industrial y de bodegas.	Habitacional, comercial, servicios e industrial	3	Moderada	Vecinal
TLI	Área urbana, las vialidades presentan circulación en ambos sentidos y flujo vehicular bajo de autos particulares y pick-up, principalmente. A 2 m al sur, se localiza un parque sin cobertura vegetal. A 150 m al sureste se localiza el Boulevard Ciudad Labor que presenta circulación en ambos sentidos y flujo vehicular moderado de autos particulares, microbuses y pick-up. A más de un km al oeste se encuentra una zona industrial, la Avenida José López Portillo y la autopista México-Querétaro, las cuales presentan flujo vehicular alto de autobuses local y foráneo, pick-up, camiones de carga, trailers y autos particulares.	Habitacional	7	Baja	Vecinal
UIZ	Área urbana, la vialidad presenta flujo vehicular alto de microbuses y taxis, y flujo moderado de autos particulares y camiones de carga. A 3.81 m al suroeste se encuentra un estacionamiento con capacidad para 200 vehículos.	Habitacional y comercial	2	Moderada	Media
VAL	Área urbana, las vialidades ambas presentan flujo vehicular bajo de autos particulares y pick up. A 22 m al suroeste se encuentra la Avenida Vallejo, que presenta flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses (local y foráneo), camiones de carga y trailers.	Habitacional	2	Alta	Media
VIF	Área suburbana, las vialidades presentan circulación en un sentido y flujo vehicular bajo de autos particulares, microbuses, taxis y bicitaxis, principalmente. A 5 m al sur se localizan 2 tanques de gas LP, a 20 m al suroeste se encuentra un parque con cubierta vegetal de temporal; a 27 m al norte, se encuentran los contenedores de basura de la escuela. A 200 m al este se encuentra el Boulevard Coacalco que presenta flujo vehicular moderado de autos particulares, microbuses, pick-up y taxis. A 250 m al oeste se encuentra una zona donde se construye un área habitacional.	Habitacional	7	Baja	Vecinal
XAL	Área industrial, la vialidad presenta circulación en ambos sentidos con flujo vehicular alto de autos particulares, camiones de carga, autobuses a diesel, microbuses y taxis. A 20 m al este, se encuentra el área del taller mecánico, a 40 m al sureste se encuentra una industria jabonera, a menos de 100 m de este a sur, se encuentra una zona de industrias (químicas, del vestido, de consumo alimenticio, de productos metálicos y de madera).	Industrial y Habitacional	4	Alta	Media

\*No se consideraron para en análisis debido a que no cumplen con el criterio de suficiencia de información, sin embargo se recopiló la información para un futuro análisis.

En la tabla 4.2 se presenta la evaluación final para cada estación de monitoreo en cuanto al criterio de representatividad, así como recomendaciones para mejorarla. En estos resultados destacan dos estaciones consideradas clave en el SIMAT (PED y CES) debido a su ubicación y carácter histórico, ya que "no cumplen" en la actualidad con las especificaciones físicas, debido a que a menos de 7 metros hay árboles que obstruyen el flujo de aire; sin embargo se recomienda podarlos para que cumplan con los criterios para el establecimiento de estaciones de monitoreo para medir CO.

**Tabla 4.2 Estado actual de las estaciones de la RAMA**

EST	Calificación		Observaciones y recomendaciones
ARA	10	Cumple <i>Media</i>	Presenta obstáculos al flujo libre del aire. Se recomienda elevar la toma de muestra.
ATI	10	Cumple <i>Vecinal</i>	
AZC	12	Cumple <i>Vecinal</i>	
BJU	7	No cumple <i>Micro</i>	A menos de 3 m hay un edificio que sobrepasa la toma de muestra por 10 m y hay algunos árboles a menos de 4 m que obstruyen el flujo libre del aire. Se recomienda reubicar la estación.
CES	8	No cumple <i>Media</i>	Hay árboles a menos de 7 m que obstruyen el flujo del aire. Se recomienda podarlos
		<i>Micro</i>	
EAC	10	Cumple <i>Media</i>	Hay 3 árboles a menos de 20 m que impiden el flujo libre del aire. Se recomienda podarlos.
HAN	8	No cumple <i>Micro</i>	Un árbol a 3 m de la toma de muestra obstruye el flujo del aire. Se recomienda podarlo.
IMP	8	No cumple <i>Vecinal</i>	Un árbol se encuentra a 6 m y obstruye el flujo libre de aire. Se recomienda podarlo.
LAG	11	Cumple <i>Media</i>	A 26 m al norte y noroeste hay 2 fuentes de emisión de hidrocarburos. Se recomienda evaluar la influencia de estas fuentes mediante un estudio.
MER	12	Cumple	
		<i>Media</i>	
MIN	9	Cumple	
		<i>Micro</i>	
PED	8	No cumple	Hay árboles a menos de 5 m que rodean la estación y obstruyen el flujo libre del aire. Se recomienda podar los árboles.
		<i>Vecinal</i>	
PLA	8	No cumple <i>Media</i>	Hay árboles a menos de 5 m que rodean la estación y obstruyen el flujo libre del aire. Se recomienda elevar la toma de muestra.
SAG	8	No cumple <i>Vecinal</i>	Hay árboles a menos de 4 m en dirección sur y obstruyen el flujo libre del aire. Se recomienda podar los árboles o elevar la toma de muestra.
		<i>Vecinal</i>	
TAC	11	Cumple	
		<i>Vecinal</i>	
TAX	9	Cumple <i>Micro</i>	Hay un árbol a menos de 10 m que obstruye el flujo libre del aire. Se recomienda podarlo o elevar la toma de muestra.
TLA	9	Cumple <i>Vecinal</i>	
TLI	9	Cumple <i>Vecinal</i>	
UIZ	7	No cumple <i>Media</i>	Hay árboles a menos de 5 m que rodean la estación e impiden el flujo del aire. Se recomienda elevar la toma de muestra o podar los árboles.
VAL	10	Cumple <i>Media</i>	
VIF	10	Cumple <i>Vecinal</i>	
XAL	10	Cumple <i>Media</i>	Hay industrias asentadas a 75 m de distancia. Se recomienda reubicar la estación debido a su importancia histórica y la población que concentra.

## 4.2 ANÁLISIS DE REDUNDANCIA PARA LAS MEDICIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO

### 4.2.1 Análisis de Hwang y Chan

La prueba de Hwang y Chan se aplicó descartando los valores de una estación de monitoreo a la vez, hasta evaluar la redundancia de las mediciones de las 22 estaciones consideradas; en cada corrida se calcularon los tres parámetros AD, VD y EQU. En la tabla 4.3 se presenta los resultados de la redundancia al quitar cada una de las estaciones.

La evaluación se realizó considerando los tres parámetros, si la estación de monitoreo cumplió con los tres parámetros se califica con 1, es decir la estación no es redundante, por el contrario cuando la estación es redundante se califica con 0.

De acuerdo a los resultados las estaciones VIF, ATI, AZC, TLI, CES y UIZ se identificaron como redundantes.

**Tabla 4.3** Resultados del análisis de redundancia con el método de Hwang y Chang con un AD de 0.15, VD de 0.15 y EQU de 90%

	EST	ZONA	EVALUACIÓN
1	BJU	CE	1
2	HAN	CE	1
3	LAG	CE	1
4	MER	CE	1
5	MIN	CE	1
6	ARA	NE	1
7	SAG	NE	1
8	<b>VIF</b>	NE	0
9	XAL	NE	1
10	<b>ATI</b>	NO	0
11	<b>AZC</b>	NO	0
12	EAC	NO	1
13	IMP	NO	1
14	TAC	NO	1
15	TLA	NO	1
16	<b>TLI</b>	NO	0
17	VAL	NO	1
18	<b>CES</b>	SE	0
19	TAX	SE	1
20	<b>UIZ</b>	SE	0
21	PED	SO	1
22	PLA	SO	1

En la tabla 4.4 se muestran las estaciones de monitoreo que se determinaron al aplicar el método de Hwang y Chang para una subred propuesta para la medición de CO. Es importante destacar que de acuerdo con los resultados del método, seis estaciones resultaron redundantes, de las cuales tres estaciones pertenecen a la zona noroeste.

**Tabla 4.4** Subred obtenida con el método de Hwang & Chan

Noroeste	Noreste	Centro	Suroeste	Sureste
EAC	ARA	BJU	PLA	TAX
IMP	SAG	LAG	PED	
TLA	XAL	MER		
VAL		MIN		
TAC		HAN		

#### 4.2.2 Estadística descriptiva

En la tabla 4.5 se presentan los resultados del rango intercuartil y la mediana de cada estación de monitoreo. El primer estadístico considera la variación del 50% de los datos horarios alrededor de la mediana y representa las concentraciones que se registran cotidianamente, evitando la influencia de concentraciones extremas, muy altas o por el contrario muy bajas, que se asocian con eventos extraordinarios o la disminución de actividades antropogénicas.

El rango intercuartil y la mediana se agruparon con base a su similitud y en base a ellos, se clasificaron a las estaciones en ocho grupos (identificados con un superíndice). Las dos estaciones con mayor mediana y rango intercuartil fueron TAX y MIN, debido a su localización en vías primarias de alta circulación vehicular.

Considerando que el rango intercuartil es una medida de la dispersión de los datos alrededor de la mediana, y la mediana es una medida del nivel de contaminación por CO observado (Figura 4.1), se consideraron como estaciones con información redundante aquellas con un rango intercuartil menor que 1.5 ppm y una mediana menor o igual a 1.7 (estaciones en negritas). En la tabla 4.6 se listan las estaciones que se incluirían en una subred obtenida con la combinación de la información de la mediana y los resultados del rango intercuartil.

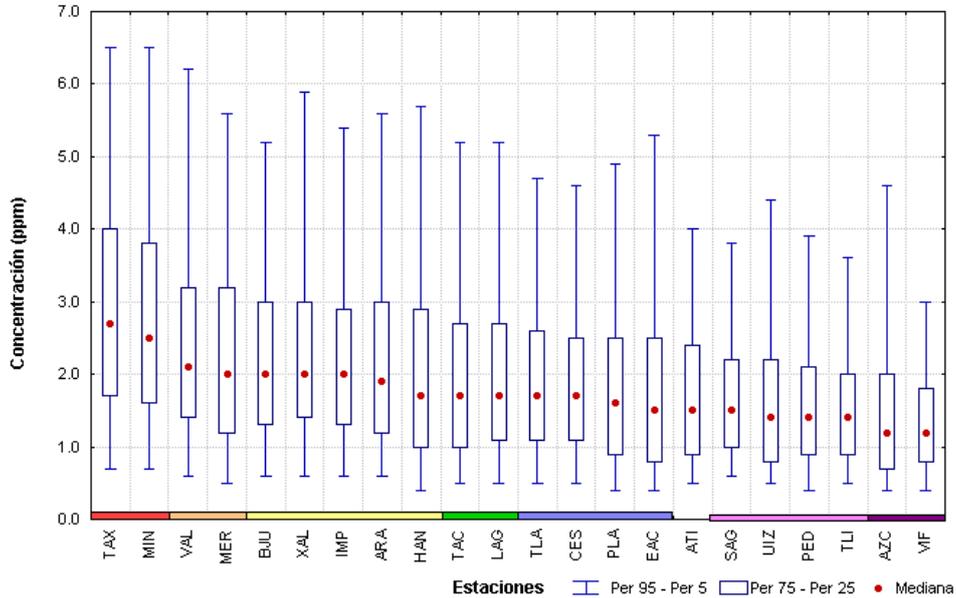
**Tabla 4.5** Mediana y rango intercuartil por estación de 1998 a 2002

Est	Mediana	Rango intercuartil	Est	Mediana	Rango intercuartil	Est	Mediana	Rango intercuartil
TAX	2.7 <sup>1</sup>	2.3	HAN	1.7 <sup>3</sup>	1.9	ATI	1.5 <sup>6</sup>	1.5
MIN	2.5 <sup>1</sup>	2.2	TAC	1.7 <sup>4</sup>	1.7	SAG	1.5 <sup>7</sup>	1.2
VAL	2.1 <sup>2</sup>	1.8	LAG	1.7 <sup>4</sup>	1.6	UIZ	1.4 <sup>7</sup>	1.4
MER	2 <sup>2</sup>	2	TLA	1.7 <sup>5</sup>	1.5	PED	1.4 <sup>7</sup>	1.2
BJU	2 <sup>3</sup>	1.7	CES	1.7 <sup>5</sup>	1.4	TLI	1.4 <sup>7</sup>	1.1
XAL	2 <sup>3</sup>	1.6	PLA	1.6 <sup>5</sup>	1.6	AZC	1.2 <sup>8</sup>	1.3
IMP	2 <sup>3</sup>	1.6	EAC	1.5 <sup>5</sup>	1.7	VIF	1.2 <sup>8</sup>	1
ARA	1.9 <sup>3</sup>	1.8						

**Tabla 4.6** Subred propuesta a partir del rango intercuartil y la mediana

Noroeste	Noreste	Centro	Suroeste	Sureste
EAC	ARA	BJU	PLA	TAX
IMP	XAL	HAN		
TAC		LAG		
TLA		MER		
VAL		MIN		

**Figura 4.1** Estaciones de monitoreo agrupadas según su mediana y rango intercuartil



### 4.2.3 Análisis de conglomerados

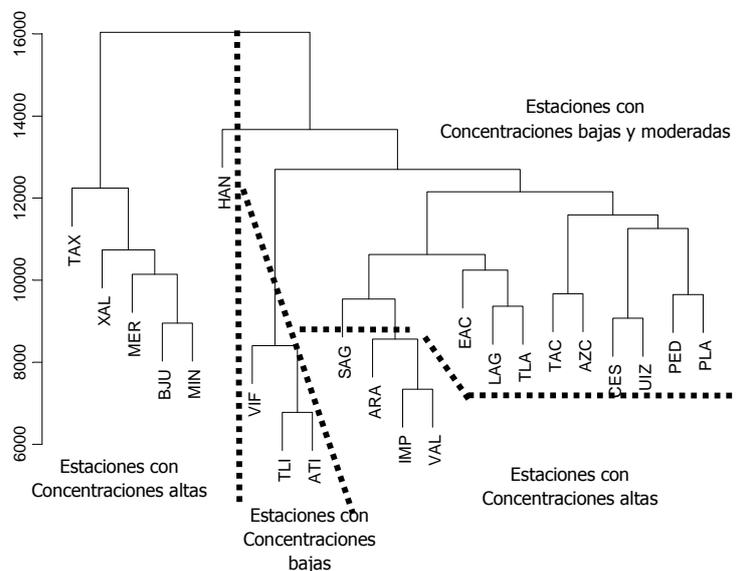
#### 4.2.3.1 Análisis de conglomerados con métrica de Canberra

Como se explicó con anterioridad esta métrica permite evaluar la asociación de estaciones que se parecen en magnitud (niveles de concentración), y no evalúa el patrón de comportamiento. A partir de las concentraciones horarias de las 22 estaciones se realizó una matriz de correlación utilizando la métrica de Canberra.

Con los resultados de la matriz se elaboró el dendrograma (figura 4.2), donde se observa la agrupación de las estaciones de monitoreo, en el árbol se visualizan varios grupos con características similares en cuanto a vías de flujo vehicular y su localización geográfica.

Los resultados de este análisis muestran los grupos de estaciones, es notorio que cada grupo está clasificado de acuerdo a sus características, es decir, las estaciones que registran concentraciones bajas están dentro de un mismo grupo y por el contrario los grupos de estaciones que se encuentran cerca de vías primarias con alto flujo vehicular y que se caracterizan por registrar altas concentraciones.

**Figura 4.2** Dendrograma de liga completa, aplicando la métrica de "Canberra" 1998-2000



De acuerdo con los resultados de la *Métrica de Canberra* se elaboró el dendrograma, donde se observa el grado de relación que existe entre las estaciones de monitoreo el cual determinó la asociación entre ellas, en la tabla 4.7 se muestra la clasificación de cada uno de los grupos.

**Tabla 4.7** Conglomerados de estaciones de monitoreo de CO aplicando la métrica de Canberra

Gpo.1	Gpo.2	Gpo.3	Gpo.4	Gpo.5	Gpo.6	Gpo.7	Gpo.8
BJU	ATI	IMP	TLA	AZC	CES	PED	HAN
MIN	TLI	VAL	LAG	TAC	UIZ	PLA	
MER	VIF	ARA	EAC				
XAL		SAG					
TAX							

En el grupo 1 las estaciones que presentaron mayor similitud son BJU y MIN, ambas registran concentraciones altas del contaminante y están ubicadas en la zona centro, por su parte las estaciones MER, XAL y TAX tuvieron menor similitud, sin embargo entre ellas tienen características similares en cuanto a vías de flujo vehicular y altas concentraciones de CO.

De acuerdo con los resultados que se muestran en el dendrograma, las estaciones del grupo 2 TLI y ATI muestran una mayor similitud entre ellas, sin embargo dentro del mismo grupo se encuentra la estación VIF, las cuales presentan características similares en cuanto el entorno y niveles de CO.

Las estaciones del grupo 3 IMP y VAL, muestran mayor similitud, destacando que están ubicadas cerca de vías de flujo vehicular alto y se encuentran a una distancia muy cercana en la zona noroeste, dentro del mismo grupo se encuentran las estaciones ARA y SAG que presentan menor flujo vehicular en su entorno y están ubicadas en la zona noreste, todas las estaciones de este grupo presentan altas concentraciones de CO.

Grupo 4 LAG y TLA presentaron mayor similitud que con la estación EAC, sin embargo tienen características comunes en cuanto a vías de comunicación, tipo de vehículos y flujo vehicular, la magnitud de sus concentraciones son bajas y moderadas.

En el grupo 5 las estaciones TAC y AZC presentaron un grado alto de similitud, ambas están ubicadas en la zona noroeste y presentan características de entorno muy similares, así como los niveles del contaminante.

Las estaciones CES y UIZ del grupo 6 presentaron un grado alto de similitud, se encuentran ubicadas en la zona sureste, con características similares de entorno y concentraciones bajas.

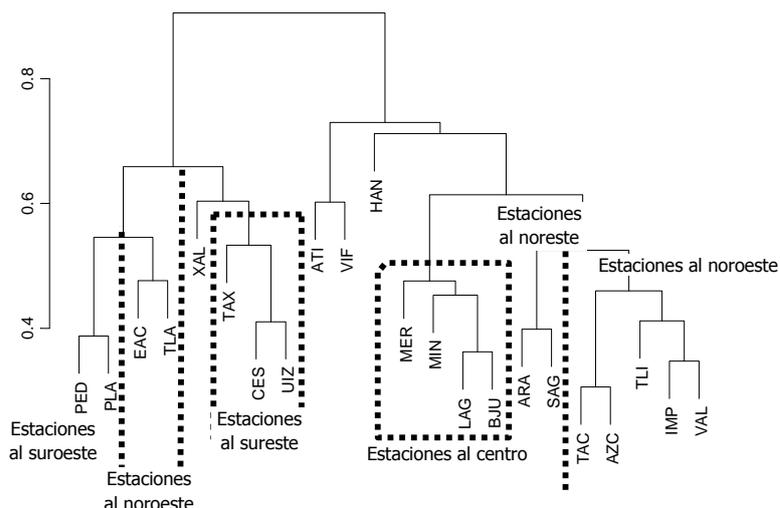
Las estaciones de la zona suroeste PLA y PED (grupo 7) tuvieron una asociación alta, tienen características similares en las vías de comunicación de su entorno, el tipo de vehículos y flujo que circula por ellas.

La estación de monitoreo HAN no presenta asociación consistente con otra estación, por esta razón se considero a la estación en un grupo.

#### 4.2.3.2 Análisis de conglomerados con métrica de correlación

Esta métrica permite la asociación de estaciones que se parecen en el patrón que presentan las concentraciones, es decir en el comportamiento, en este caso de las concentraciones horarias de CO, este contaminante se asocia principalmente con las emisiones vehiculares de las vías de comunicación cercanas a la estación de monitoreo, inclusive existen grupos similares a los formados con la métrica de Canberra. En la figura 4.3 se identifica un grupo de la zona centro, que es donde se congregan muchas vías de comunicación, grupos con vías de bajo flujo vehicular, grupos con alto flujo vehicular, grupos con estaciones que comparten vías de comunicación.

Figura 4.3 Dendrograma aplicando la métrica de "Correlación" 1998-2000



En la tabla 4.8 se presentan los grupos que se formaron a partir de la *métrica de correlación*. El grado de relación para definir los grupos se determinó con las escalas de asociación que aparecen en los dendrogramas.

**Tabla 4.8** Conglomerados de estaciones de monitoreo de CO aplicando la métrica de correlación

Gpo.1	Gpo.2	Gpo.3	Gpo.4	Gpo.5	Gpo.6	Gpo.7	Gpo.8	Gpo.9	Gpo.10
AZC	IMP	LAG	PED	CES	ARA	ATI	XAL	HAN	TAX
TAC	VAL	BJU	PLA	UIZ	SAG	VIF			
	TLI	MIN	EAC						
		MER	TLA						

El grupo 1 con las estaciones AZC y TAC ubicadas en la zona noroeste, tuvieron una mayor asociación, se encuentran en zonas habitacionales cercanas a vías de comunicación, son similares en magnitud y patrón de comportamiento de las concentraciones.

En el caso del grupo 2, lo forman dos estaciones IMP y VAL que se encuentran sobre la misma vialidad, son semejantes en magnitud y patrón de comportamiento, por lo que la fuente de emisión es prácticamente la misma. La estación TLI, presentó una asociación media a estas estaciones, sin embargo su patrón es similar y la fuente de emisión cercana a ésta tiene el mismo comportamiento.

En el grupo 3 se encuentran las estaciones de la zona centro LAG, BJU, MIN y MER. Su patrón de comportamiento de CO se relaciona con el tipo de entorno de estas estaciones (comercial y cerca de vías de transporte terrestre con alto flujo vehicular).

El grupo 4 comprende estaciones ubicadas en dos zonas distintas, PED y PLA de la zona suroeste, y EAC y TLA de la zona noroeste y se agrupan entre ellas mostrando un patrón de comportamiento similar.

En el caso del grupo 5 se asocian estaciones del sureste de la ZMCM, CES y UIZ, estas estaciones se caracterizan por estar viento abajo de las fuentes de emisión y se observa el efecto del transporte de los contaminantes.

El grupo 5 y 6 son estaciones que se localizan a pocos kilómetros de distancia al igual que el grupo 1, por lo que comparten vialidades y tipo de fuentes de emisión que circulan por las mismas vías o corredores de tránsito.

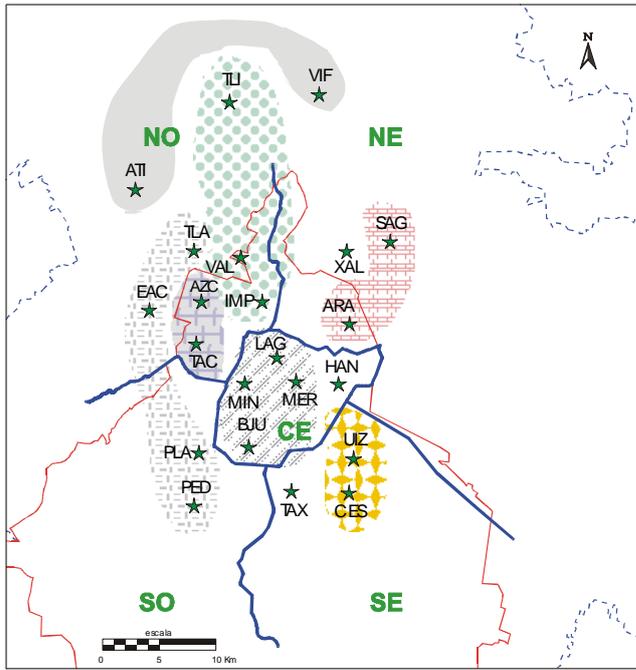
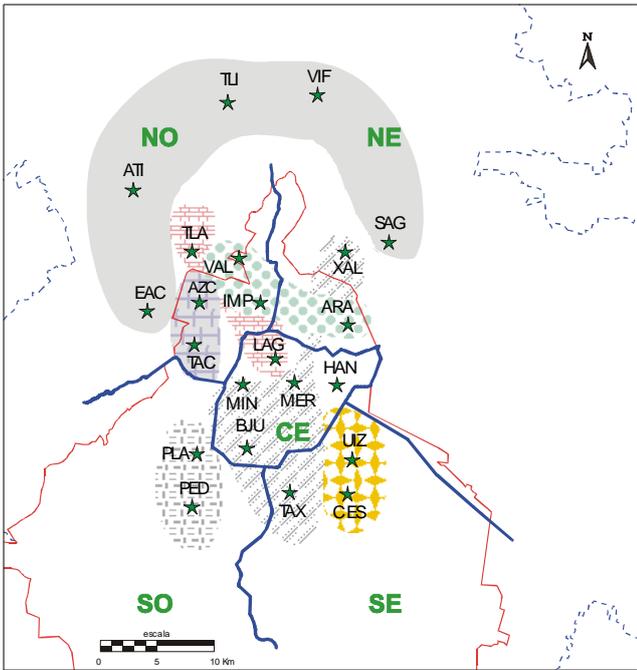
El grupo 7 comprende estaciones ubicadas en la periferia de la ZMCM, ATI y VIF, se agrupan por las características físicas de su entorno, las fuentes de emisión se encuentran lejos de ellas, están ubicadas en zonas suburbanas y en expansión.

Las estaciones XAL, HAN y TAX, de los grupos 8, 9 y 10, respectivamente, no se asocian con ninguna estación, presentan patrones distintos a las demás estaciones.

La cobertura espacial de todos los grupos definidos indica una relación congruente de la mayoría de éstos con la distribución de fuentes de emisión.

La representación espacial de la ZMCM que comprenden las estaciones de los grupos definidos con cada métrica (Figura 4.4), sugiere una estrecha relación de estas agrupaciones con la distribución de fuentes de emisión de este contaminante o con el entorno que caracteriza algunas regiones, así como las vías de comunicación y flujo vehicular que presentan.

**Figura 4.4** Mapas del análisis de conglomerados con los datos horarios de CO  
 a) Métrica de Canberra  
 b) Métrica de correlación



La presencia de redundancia entre algunas estaciones se puede definir a partir de su cercanía y la distancia a las fuentes de emisión, es importante mencionar en los patrones de comportamiento de CO que registran las estaciones AZC-TAC, PED-PLA, IMP-VAL, UIZ-CES, TLI-VIF, ATI-TLI y TLI-SAG es similar.

La mayor similitud en su patrón y magnitud de concentración se encontró entre las estaciones AZC-TAC de la zona noroeste con alta posibilidad de presentar redundancia, AZC tiene mayor similitud con otras estaciones de la misma zona por lo que es la que considera redundante.

La asociación de la similitud de las estaciones como LAG-BJU; PED-PLA; EAC-TLA o entre UIZ-CES, es alto, porque son estaciones cercanas y con fuentes de emisión con las mismas características en: distancia, tipo y flujo de vehículos. Las estaciones que pueden considerarse como redundantes por su relación con otras estaciones y sus características son LAG, PLA, TLA y UIZ.

Los resultados de similitud de los patrones y asociaciones de magnitud, indican que las estaciones TLI, VIF, ATI y SAG que corresponden al grupo 2 de la métrica de Canberra son las que tienen mayor similitud en cuanto a magnitud, por lo que se puede considerar que estas estaciones se ubican en zonas con uso de suelo y fuentes de emisión similares, teniendo el mismo impacto en los niveles de concentración; estas estaciones se caracterizan por tener los niveles bajos de concentración y la mayoría de estas pueden ser consideradas estaciones redundantes, por lo que se consideró que la estación TLI es la que caracteriza esa zona, ya que el resto de las estaciones presenta mayor similitud.

Las estaciones XAL, HAN y TAX de los grupos 8, 9 y 10 que resultaron de aplicar la *métrica de correlación*, no tuvieron ninguna asociación con otras estaciones por lo que se consideraron directamente para la propuesta, ya que registran concentraciones características de su entorno y fuentes de emisión.

A partir de estos resultados obtenidos por ambas métricas, así como por su carácter histórico y la importancia en investigaciones de algunas estaciones, se presenta en la tabla 4.9 la propuesta de subred.

**Tabla 4.9** Subred propuesta a partir del análisis de conglomerados - *Métrica de correlación y Canberra*

Noroeste	Noreste	Centro	Suroeste	Sureste
EAC	ARA	BJU	PED	CES
IMP	XAL	HAN		TAX
TAC		MER		
VAL		MIN		
TLI				

### 4.3 Propuesta de subred de monitoreo para CO

Los resultados de los tres métodos de redundancia Hwang y Chan, estadística básica y análisis multivariado (métrica de Canberra y métrica de correlación) se muestran en la tabla 4.10. De acuerdo con los resultados obtenidos en cada método se utilizó para calificar la presencia de redundancia "0" y la ausencia "1", las estaciones que califican con "1" los tres métodos son las no redundantes.

Las estaciones de monitoreo BJU, MER, MIN, ARA, XAL, EAC, IMP, VAL, TAX y PLA que suman tres, se consideran las no redundantes y con base a estas estaciones se hace la propuesta de subred de monitoreo.

**Tabla 4.10** Integración de resultados de los métodos aplicados para encontrar redundancia

	EST	ZONA	Método 1: Hwang y Chan	Método 2: Estadística Básica	Método 3 a y b: Multivariado	Total
1	<b>BJU</b>	<b>CE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
2	HAN	CE	0	1	1	2
3	LAG	CE	1	1	0	2
4	<b>MER</b>	<b>CE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
5	<b>MIN</b>	<b>CE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
6	<b>ARA</b>	<b>NE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
7	SAG	NE	1	0	0	1
8	VIF	NE	0	0	0	0
9	<b>XAL</b>	<b>NE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
10	ATI	NO	0	0	0	0
11	AZC	NO	0	0	0	0
12	<b>EAC</b>	<b>NO</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
13	<b>IMP</b>	<b>NO</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
14	TAC	NO	0	1	1	2
15	TLA	NO	1	1	0	2
16	TLI	NO	0	0	0	0
17	<b>VAL</b>	<b>NO</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
18	CES	SE	0	0	1	1
19	<b>TAX</b>	<b>SE</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
20	UIZ	SE	0	0	0	0
21	PED	SO	0	0	1	1
22	<b>PLA</b>	<b>SO</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>

Independientemente de los criterios de redundancia analizados, existen otros criterios para incluir estaciones aparentemente redundantes en la nueva subred propuesta:

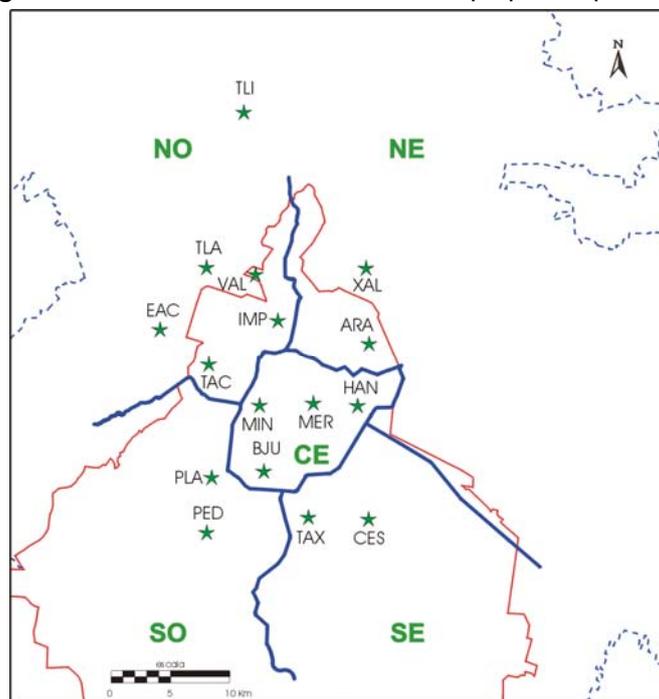
1. Se incluyen estaciones que cuentan con mediciones de CO desde la instalación de la red actual y cuyos datos se han incluido históricamente en estudios de calidad de aire y salud, para dar seguimiento y continuidad: Cerro de la Estrella (CES), Pedregal (PED) y Tlalnepantla (TLA).
2. Se incluyen estaciones que caracterizan eventos extraordinarios, es decir que han presentado concentraciones altas de CO, ya que es importante su medición para aplicar medidas de control: Tacuba (TAC) y Hangares (HAN).
3. Se incluyen estaciones que miden condiciones de fondo o periféricas para identificar cuál es la concentración in situ de la ZMCM: Tultitlán (TLI).

La propuesta final de la nueva subred se integró con 16 estaciones de monitoreo y consideró la importancia de las zonas centro y noroeste de la ZMCM como regiones que concentran numerosas vialidades y flujo vehicular alto (Tabla 4.11 y Figura 4.5).

**Tabla 4.11** Integración de resultados de los escenarios de redundancia

Noroeste		Noreste		Centro		Suroeste		Sureste	
ENEP Acatlán	EAC	Aragón	ARA	Benito Juárez	BJU	Pedregal	PED	Cerro de la Estrella	CES
Instituto Mexicano del Petróleo	IMP	Xalostoc	XAL	Hangares	HAN	Plateros	PLA	Taxqueña	TAX
Tacuba	TAC			Merced	MER				
Tlalnepantla	TLA			Metro Insurgentes	MIN				
Tultitlán	TLI								
Vallejo	VAL								

**Figura 4.5** Red de monitoreo atmosférico propuesta para CO



#### **4.4 EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DE SUBRED DE MONITOREO PARA CO**

##### ***4.4.1 Análisis de la información pública***

En el rediseño de la red de monitoreo es importante no perder representatividad en la información pública, para conocer si las estaciones que determinan el IMECA de cada una de las zonas no perdieron representatividad, se calculó el porcentaje de horas en que cada estación contribuyó en la generación del IMECA en la red completa y en la subred de 1998 a 2002 (Tablas 4.12 y 4.13). Es importante mencionar que en la tabla 4.12 de la red completa algunas zonas ya tienen pérdida de información, debido a un problema técnico o mantenimiento en todas las estaciones que la integran.

En la propuesta de la subred se observa que la zona noreste, al sacar de operación las estaciones SAG y VIF, se pierde el 0.72% de la información que propicia el IMECA, en el caso de la zona sureste al sacar de operación la estación UIZ de la zona sureste pierde el 0.79% de la información que contribuye con la generación del IMECA. Por otra parte, en la zona suroeste se consideró para el análisis a dos estaciones, debido a que SUR no contaba con el criterio de suficiencia, por lo que ya contaban con una pérdida de información del 0.49%, por lo que la instrumentación de la propuesta no afectaría.

En las zonas centro y noroeste prácticamente no hay pérdida de representatividad para la obtención del IMECA, de tal forma que la subred propuesta considera la importancia de las fuentes de emisión localizadas en el centro y norte de la ZMCM.

Como se observa en los resultados de la aplicación de la subred prácticamente se pierde menos del 1% de datos en la generación del IMECA en el periodo de 1998 a 2002, por lo que se considera que en la difusión del IMECA al eliminar las estaciones redundantes se conserva la información que se difunde a la población.

**Tabla 4.12** Porcentaje de horas que cada estación contribuyó al IMECA para CO (red completa)

Año	CE					NE				NO						SE			SO			
	BJU	HAN	LAG	MER	MIN	ARA	SAG	VIF	XAL	ATI	AZC	EAC	IMP	TAC	TLA	TLI	VAL	CES	TAX	UIZ	PED	PLA
1998	9	8	5	12	65	28	9	7	55	7	10	16	27	3	1	0	34	6	82	12	24	76
1999	32	8	4	30	26	33	17	20	30	7	2	8	17	14	17	3	32	18	73	9	54	46
2000	13	25	3	15	44	50	14	1	35	6	1	2	14	32	3	1	42	18	74	8	28	71
2001	13	18	9	38	22	34	3	1	63	4	1	20	17	1	38	2	16	17	82	1	25	75
2002	12	39	13	9	28	16	3	8	72	1	5	10	14	14	27	4	26	25	62	13	45	55
Horas totales por estación	6945	8580	2986	9135	16169	14179	4118	3215	22297	2155	1703	4908	7880	5684	7428	858	13199	7270	32724	3815	15436	28336
% de horas perdidas	0					0.07				0						0.07			0.49			

**Tabla 4.13** Porcentaje de horas en los que cada estación contribuyó al IMECA para CO (subred propuesta)

Año	CE				NE		NO						SE		SO	
	BJU	HAN	MER	MIN	ARA	XAL	EAC	IMP	TAC	TLA	TLI	VAL	CES	TAX	PED	PLA
1998	11	9	13	67	38	61	19	35	4	2	0	40	10	89	24	76
1999	34	9	31	27	51	49	9	18	15	17	6	35	22	78	54	46
2000	14	26	16	45	61	39	2	17	33	3	1	44	22	78	28	71
2001	15	19	40	25	34	66	21	18	1	41	2	17	17	83	25	75
2002	14	42	12	32	20	80	10	15	16	28	4	28	33	66	45	55
Horas totales por estación	7678	9151	9866	17120	17864	25888	5389	8995	6088	7891	1157	14295	9180	34566	15436	28336
Comparación de porcentajes	0				0.72		0						0.79		0.49	

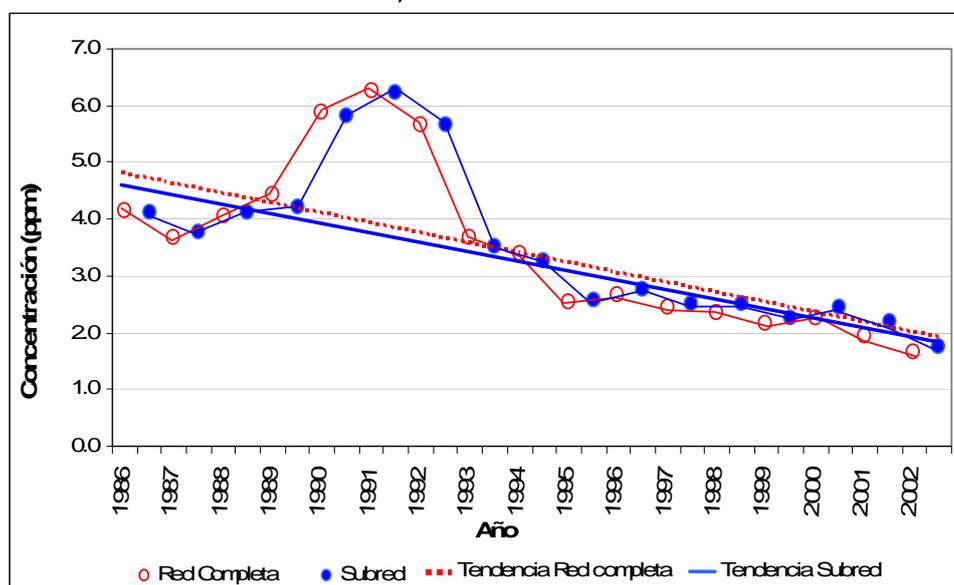
Nota: Las celdas sombreadas identifican a las estaciones con porcentajes mayores a la generación del IMECA por zona y año.

#### 4.4.2 Análisis de tendencia

Los resultados al evaluar la tendencia de 1986 a 2002 con el indicador del promedio horario anual (figura 4.6), muestran un comportamiento similar cuando se emplea la red completa o la subred propuesta. La tendencia de ambas redes muestra un decremento sostenido durante todo el periodo de análisis, es decir que al retirar las estaciones que se consideran redundantes no afecta el comportamiento del contaminante a lo largo del tiempo.

Las diferencias entre este indicador son menores a 0.250 ppm, sobresalen los años 1989 y 2001 por presentar las mayores diferencias de los promedios con 0.233 y 0.243 ppm, respectivamente. Los resultados muestran diferencias muy pequeñas en la tendencia del CO, incluso en el periodo de 1990 a 1992 donde se observan los promedios anuales más altos.

**Figura 4.6** Comparación de la tendencia del CO mediante el indicador promedio anual para la red y la subred



El análisis de tendencia del promedio anual en el período 1986 – 2002 mediante la prueba de Mann-Kendall, con información de la subred y la red original, indica que el CO tiene una tendencia decreciente con tasas de cambio y porcentajes de decremento prácticamente similares (Tabla 4.14). Los resultados de esta prueba muestran que la instrumentación de la subred propuesta permitiría continuar caracterizando el comportamiento histórico del CO e inferir el desempeño de las acciones de prevención y control.

**Tabla 4.14** Prueba de tendencia de Mann-Kendall del promedio horario anual en el periodo de 1986 a 2002

	Red de monitoreo completa	Subred propuesta
Presenta Tendencia	SI	SI
Tasa instantánea de cambio	-0.1756	-0.1666
Porcentaje de decremento en el período 1986-2002	58%	58%

#### 4.4.3 Representación espacial de las estaciones de monitoreo

En los mapas de interpolación de 1998 a 2002 no se observan cambios notables en el patrón de distribución espacial entre la red completa y la subred propuesta, se identifican claramente las zonas que tienen concentraciones altas y concentraciones bajas, caracterizando la influencia de fuentes de emisión. Estos resultados muestran la representatividad que tiene la subred propuesta (Figuras 4.7 a 4.10), es decir que no afecta la distribución espacial del CO en la ZMCM.

El análisis de los resultados de la interpolación al sacar de operación seis estaciones de monitoreo, muestra que el área donde se localizan la mayoría de éstas se sobrestiman los valores de la concentración en muy poco.

Figura 4.7 Representación espacial de la concentración anual de CO en 1998

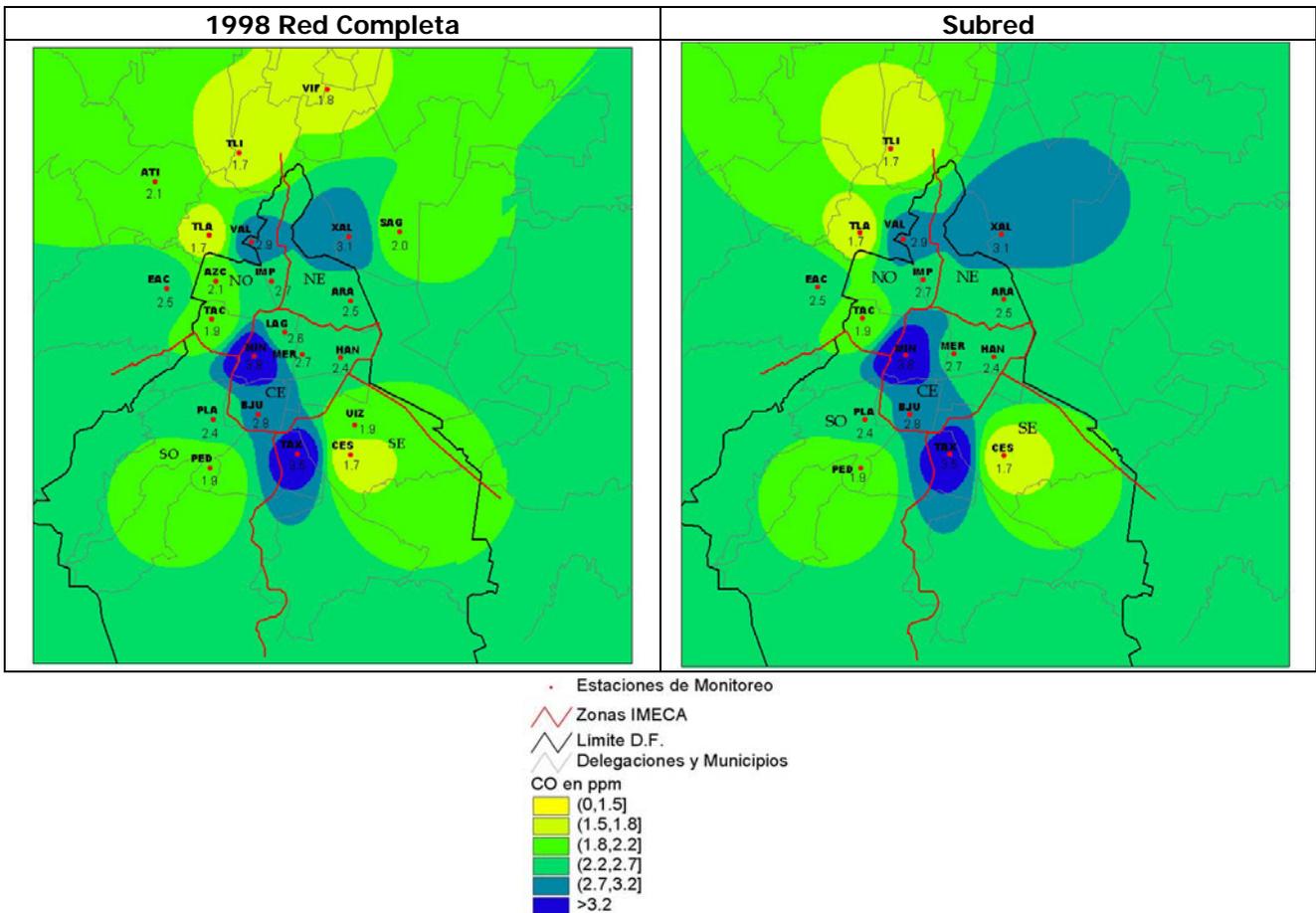


Figura 4.8 Representación espacial de la concentración anual de CO en 1999 y 2000

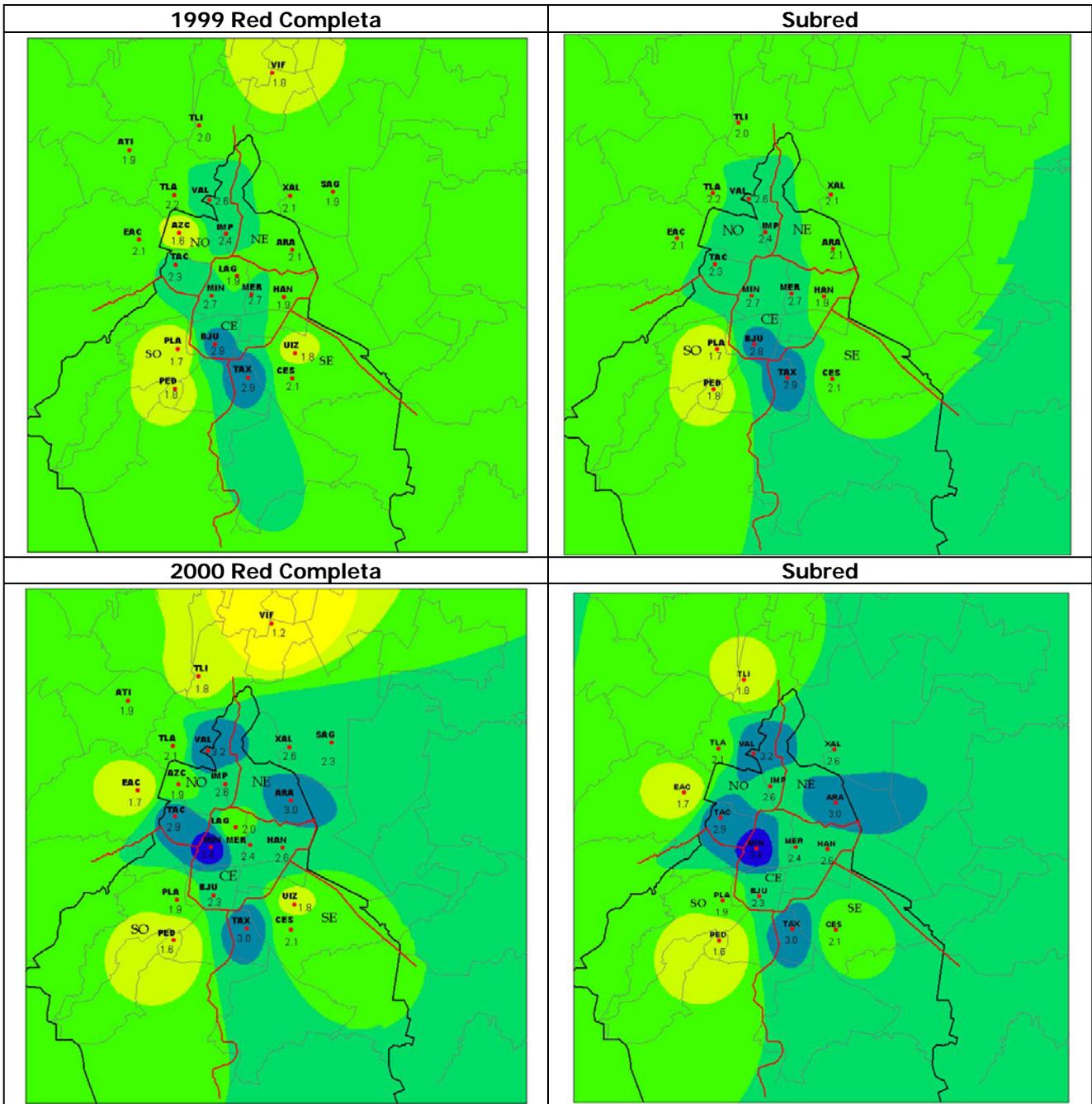
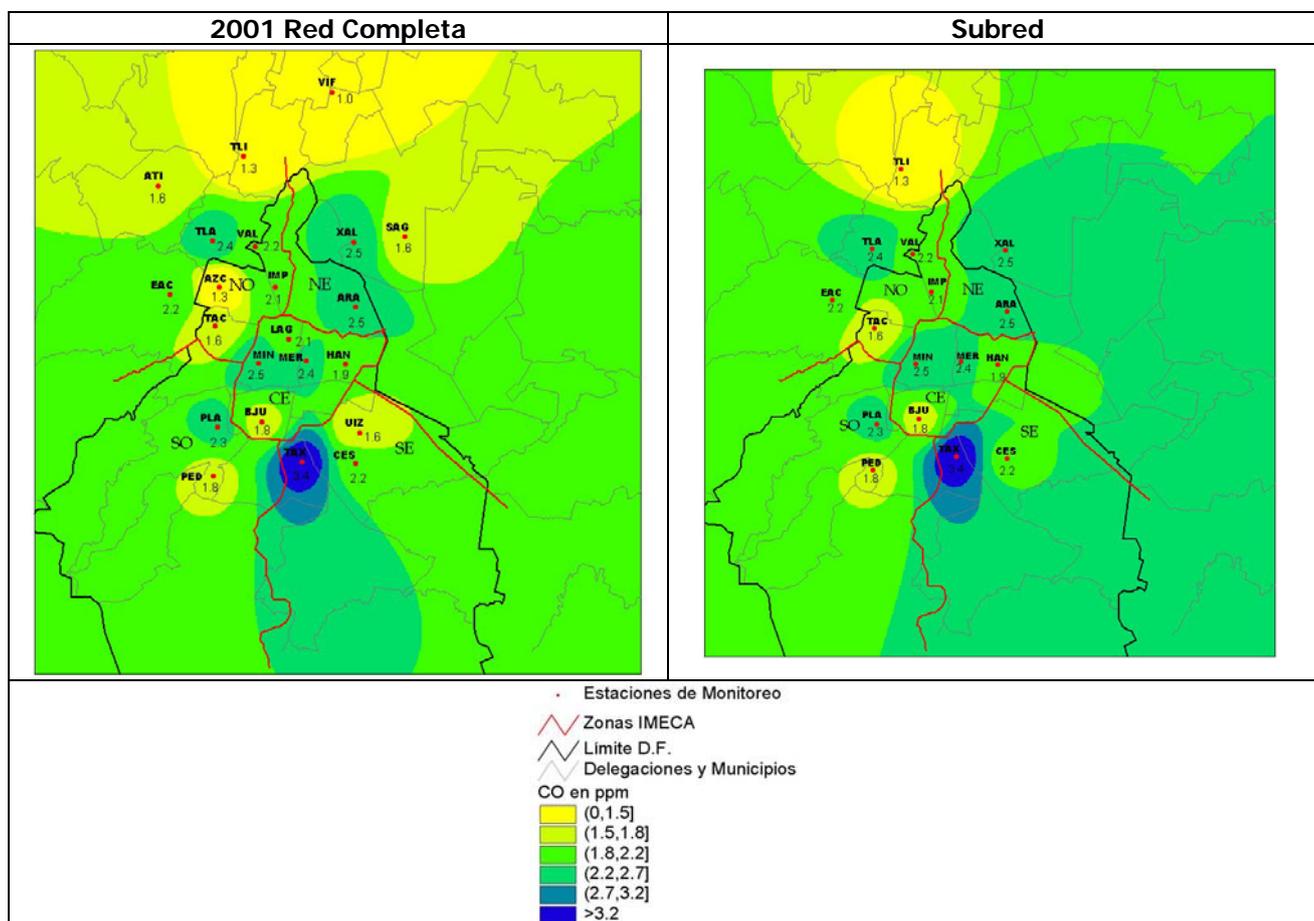


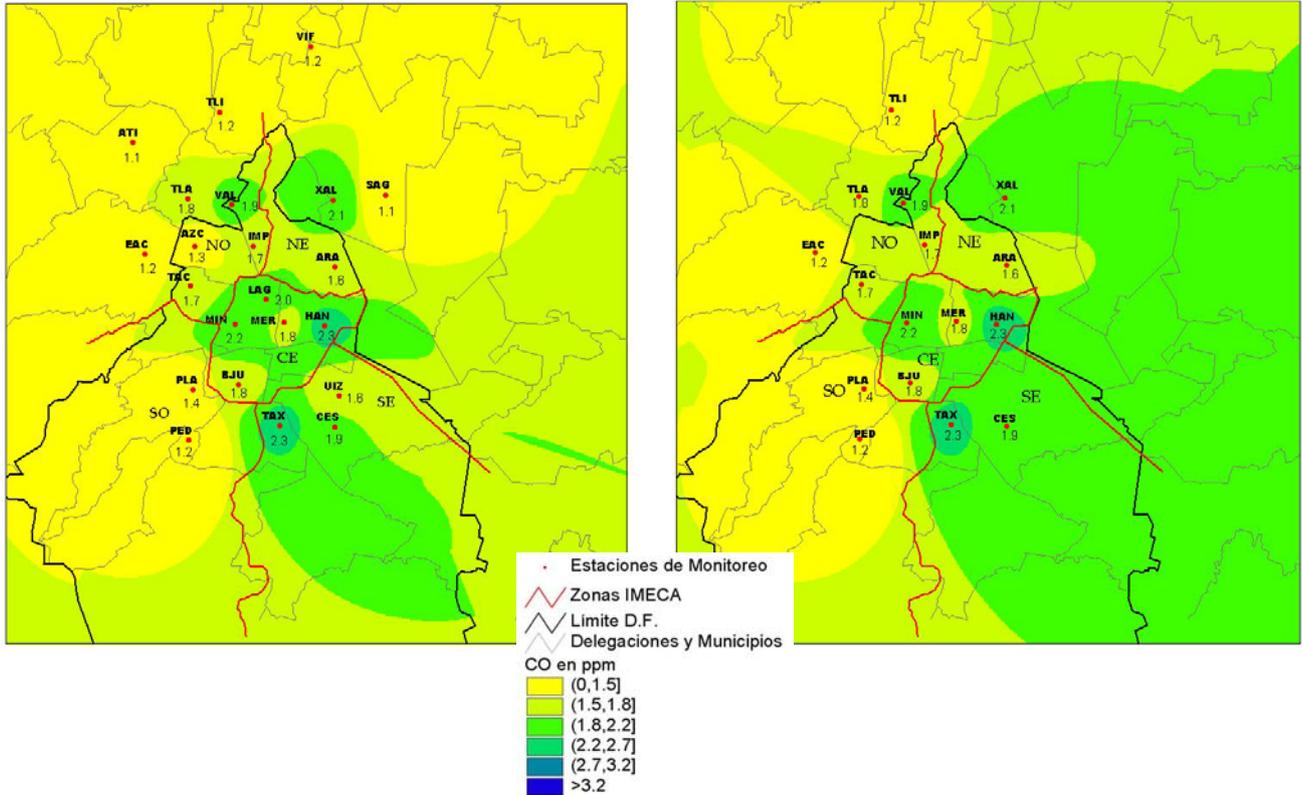
Figura 4.9 Representación espacial de la concentración anual de CO en 2001



**Figura 4.10** Representación espacial de la concentración anual de CO en 2002

a) Red completa (22 estaciones)

b) Subred propuesta (16 estaciones)



El año 2002 destacó de los anteriores por presentar las concentraciones más bajas y es donde se esperaba que la interpolación tuviera diferencias más marcadas, sin embargo al hacer un análisis de los valores puntuales (tabla 4.15), se observa que los valores de la red original y la subred propuesta están subestimados y no muestran diferencias significativas.

**Tabla 4.15** Comparación de valores reales y valores de la interpolación en 6 estaciones en 2002

Est	zona	Red original		Subred	
		Intervalo	Valor	Intervalo	Valor
LAG	CE	1.8 – 2.2	2.0	1.8 – 2.2	1.9
UIZ	SE	1.5 – 1.8	1.6	1.8 – 2.2	1.9
ATI	NO	0 – 1.5	1.1	1.5 – 1.8	1.6
VIF	NE	0 – 1.5	1.2	0 – 1.5	1.5
SAG	NE	0 – 1.5	1.1	1.8 – 2.2	2.0
AZC	NO	0 – 1.5	1.3	1.5 – 1.8	1.7

#### 4.5 REDISEÑO DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

Con los resultados obtenidos se tienen los elementos necesarios para determinar si una estación de monitoreo debe mantenerse en su localización y configuración actual, o bien si debe ser modificada, reubicada o eliminada del SIMAT.

Asimismo, los resultados permitirán proponer diferentes clasificaciones para las estaciones, atendiendo a los objetivos del SIMAT, como son: estaciones que permitan evaluar fuentes fijas, fuentes móviles, proporcionar información para el IMECA o para el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas.

Una vez integrados los componentes se espera obtener:

- La clasificación según las funciones específicas para cada estación, atendiendo a los diferentes objetivos que debe cumplir el SIMAT y evaluación de la representatividad de cada una de las estaciones del SIMAT, sugiriendo la eliminación, reubicación o modificación de éstas.
- La identificación de aquellas estaciones que miden CO de forma redundante para retiro de equipo.

#### 5. ACTUALIZACIÓN A 2011 DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO

En la Ciudad de México se han implementado diversas acciones para la disminución y control de la contaminación atmosférica enfocadas principalmente al transporte (ampliación del metro, cambio de microbuses por líneas de metrobús, tren suburbano), mejora de combustibles y las vías de comunicación, tanto en la Ciudad de México como en el Estado de México; lo que ha favorecido la disminución de los contaminantes criterio; desde 2001 las concentraciones de monóxido de carbono se mantienen por debajo del valor del indicador establecido por la NOM-021-SSA1-1993 (Secretaría de Salud, 1994).

Durante 2011, los niveles máximos de este contaminante se mantienen con concentraciones menores al promedio de 11 ppm para el promedio móvil de 8 horas. Los valores máximos de la concentración promedio de 8 horas en este año se reportaron en la estación Xalostoc (XAL), en el Estado de México, con 4.4 ppm (GDF, 2012). Es importante mencionar que de los contaminantes que se registran en el SIMAT el monóxido de carbono (CO) es el único que cumple con los valores guía de la Organización Mundial de la Salud y el estándar de Estados Unidos (Tabla 5.1).

**Tabla 5.1** Valores guía de la OMS y el estándar de los Estados Unidos

	<b>Organización Mundial de la Salud</b>	<b>Estándar EPA</b>
Promedio 1 hora	30 mg/m <sup>3</sup> (25 ppm)	40 mg/m <sup>3</sup> (35 ppm)
Promedio 8 horas	10 mg/m <sup>3</sup> (10 ppm)	10 mg/m <sup>3</sup> (9 ppm)

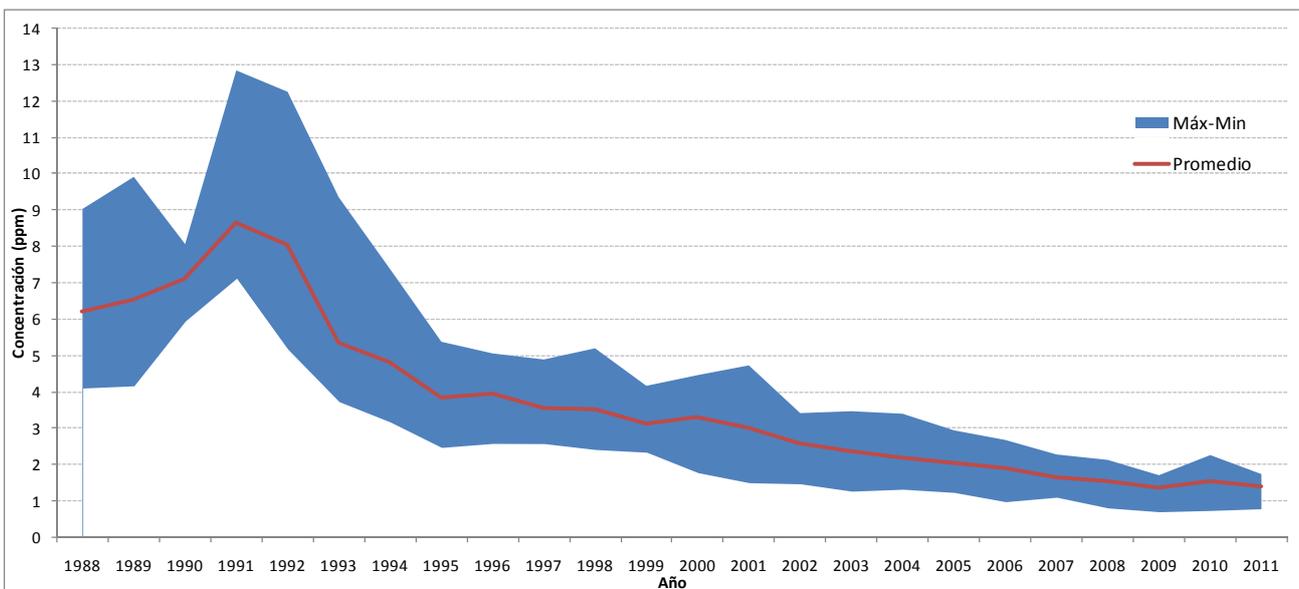
## 5.1 TENDENCIA DEL MONÓXIDO DE CARBONO

El comportamiento de las concentraciones horarias del monóxido de carbono en la ZMCM muestra una tendencia decreciente desde 1991, tanto en el promedio anual, como en los valores mínimo y máximo (Figura 5.1). Esta tendencia se asocia directamente a las estrategias de control que se han enfocado principalmente al sector transporte.

En el año 2001 se aplicó el rediseño de la red de monitoreo de CO, se retiraron las estaciones que se consideraron redundantes, es decir que median concentraciones similares a otra estación, lo cual se reflejó un ahorro estimado para 2011 de \$500,000.00 anuales en gastos de mantenimiento preventivo y correctivo de cada estación de monitoreo.

Al evaluar el comportamiento de las concentraciones horarias hasta 2011 se observa que la tendencia continúa con el mismo patrón, es decir una disminución paulatina, es importante destacar que el intervalo del mínimo y máximo, también se ha ido cerrando, se observa menor variación en las concentraciones horarias.

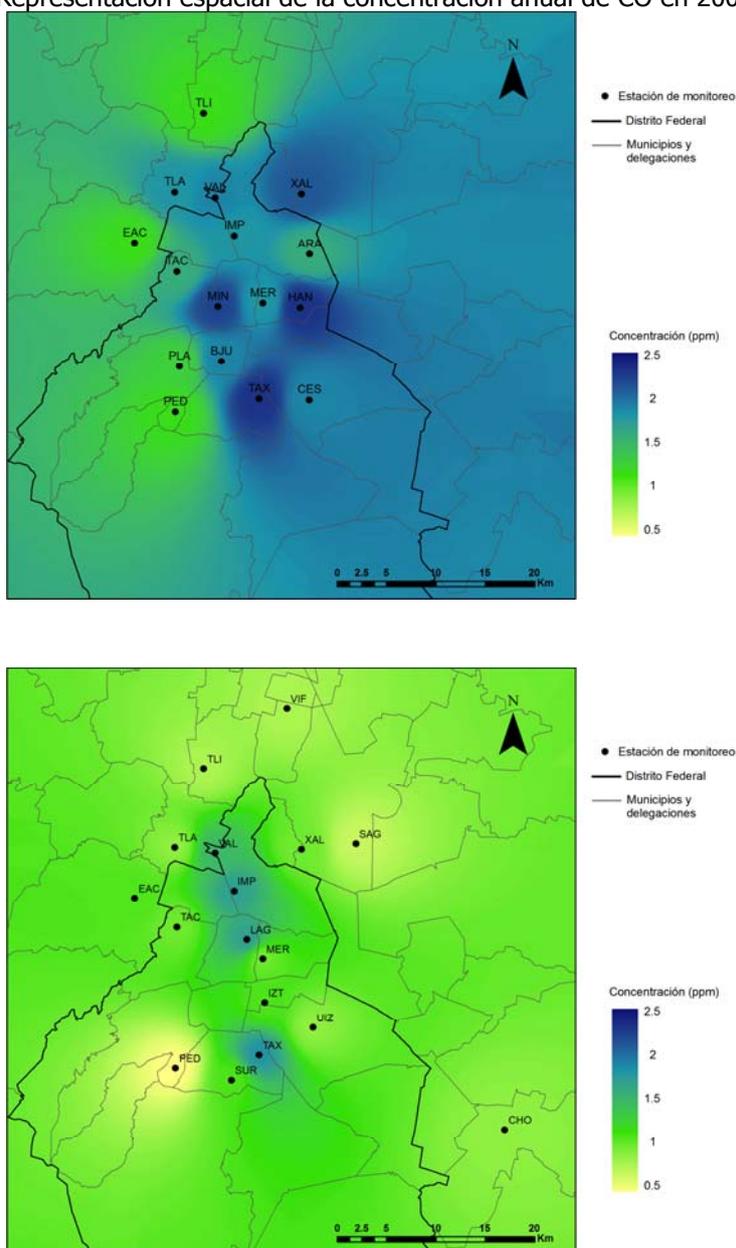
**Figura 5.1** Tendencia del promedio de las concentraciones horarias del CO de 1988 a 2011



## 5.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO QUE MIDEN CO

En el caso de la distribución espacial se observa que el rediseño que se realizó en 2001 continuó caracterizando adecuadamente las concentraciones del CO, ya que en 2011 la distribución de las concentraciones es similar a la de 2001, las concentraciones máximas se concentran en las zonas centro y sureste de la ZMCM (Figura 5.2). Es importante destacar que las concentraciones del CO en 2011 han disminuido considerablemente, ya que se observa que la mayor parte de la ZMCM se encuentra por debajo de 2.5 ppm.

Figura 5.2 Representación espacial de la concentración anual de CO en 2001 y 2011



### 5.3 PERFIL DIARIO DE LAS CONCENTRACIONES DE CO EN LA CIUDAD DE MÉXICO

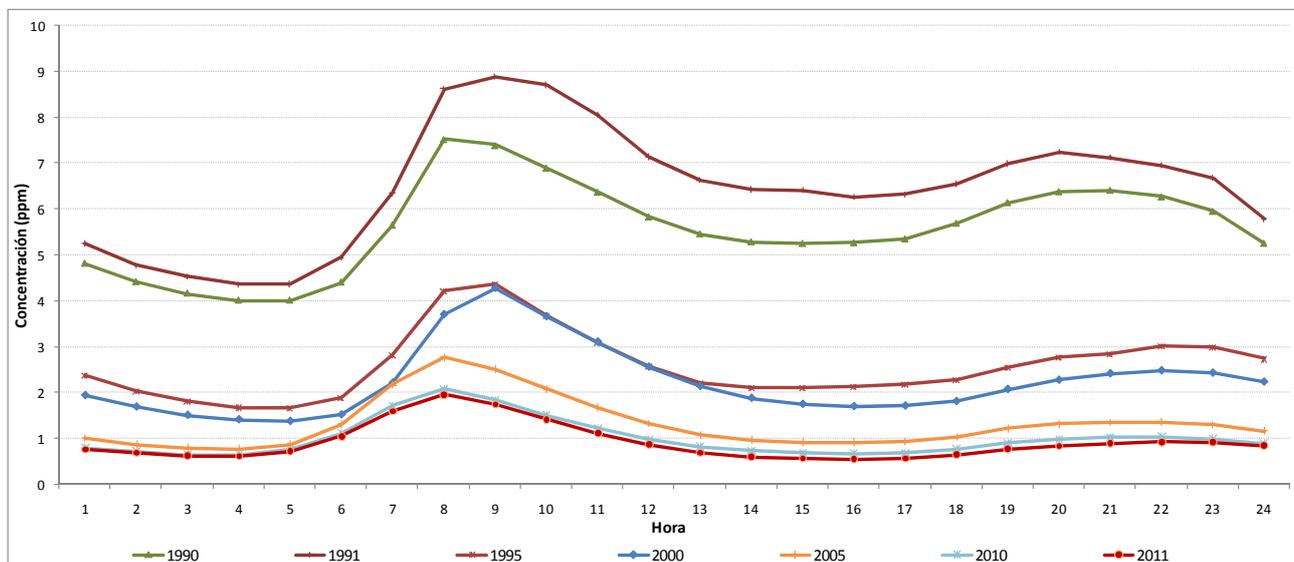
El perfil diario de las concentraciones de CO como promedio anual, muestra el mismo patrón de comportamiento desde 1988, se observan dos crestas a lo largo del día, ya es el CO es un elemento traza de la flota vehicular, es decir que sus emisiones provienen principalmente de este sector, sus máximas concentraciones se registran al inicio y término de las actividades laborales (Figura 5.3).

Las concentraciones se incrementan alrededor de las 6:00 horas cuando inicia la actividad vehicular, y alcanza sus valores máximos entre las 8:00 y 9:00 horas del día, cuando las calles y avenidas registran un intenso tránsito vehicular, y por la tarde al término de las actividades laborales, registra otro incremento entre las 20:00 y 22:00 horas.

Al igual que los indicadores de tendencia y de distribución espacial, el perfil diario de las concentraciones horarias muestra un decremento paulatino en las concentraciones de CO desde 1991, es importante destacar que en los primeros años que se aplicaron las estrategias de control el indicador mostró un mayor decremento, y en los últimos años este ha sido en menor proporción, sin embargo continúa teniendo la misma tendencia.

En la figura 5.3 destaca el año 2011 por registrar el perfil horario más bajo desde que se inició su medición, el promedio anual está por debajo de 2.0 ppm.

Figura 5.3 Perfil diario de las concentraciones de CO (1988 – 2011)



## 6. CONCLUSIONES

La evaluación de la representatividad espacial de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico que mide monóxido de carbono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, indica que 14 estaciones de monitoreo tienen una representación espacial "media" o "vecinal", de tal forma que cumplen con el objetivo del SIMAT, es decir "Vigilar y evaluar la calidad del aire en la Ciudad de México como medida de prevención para protección de la salud de sus habitantes".

La distribución espacial de las estaciones de monitoreo corresponde con el criterio de vigilancia de calidad del aire; de las cuales 4 requieren inversiones de bajo costo para mejorar su entorno físico, y continuar con el monitoreo de la calidad del aire.

En cuanto a los resultados del análisis de redundancia por los tres métodos Hwang y Chan, estadística descriptiva y análisis de conglomerados, se consideraron las estaciones que en los tres métodos no presentan redundancia en las mediciones de este contaminante, las cuales son Benito Juárez, Merced, metro Insurgentes, Aragón, Xalostoc, ENEP-Acatlán, Instituto Mexicano del Petróleo, Vallejo, Taxqueña y Plateros.

En el caso de las estaciones metro Insurgentes y Taxqueña no presentaron redundancia en sus mediciones, sin embargo su representatividad espacial no cumple con el objetivo del SIMAT, debido a que sus concentraciones provienen principalmente de fuente de emisión vehicular por estar situadas cerca de avenidas con intenso tránsito vehicular; no obstante sus mediciones pueden emplearse con el propósito de evaluar la exposición humana en sitios de confluencia.

Las estaciones Cerro de la Estrella, Pedregal y Tlalnepantla cuentan con mediciones de CO desde la instalación de la red de monitoreo y cuyos datos se han incluido históricamente en estudios de calidad de aire y salud, para dar seguimiento y continuidad se considera que continúen con la medición de este parámetro.

Otro criterio que se consideró fue continuar caracterizando eventos extraordinarios, es decir las estaciones que han presentado concentraciones altas de CO históricamente, ya que es importante su medición para aplicar medidas de control, por lo que la estación Tacuba debe continuar.

También se debe considerar estaciones que miden condiciones de fondo o periféricas para identificar cuál es la concentración in situ de la ZMCM, es decir las concentraciones que naturalmente se presentarían, la estación Tultitlán representa este tipo de mediciones.

En el caso de la estación Netzahualcoyotl (NET) se sugiere su restablecimiento, ya que hasta 2011 se encontraba fuera de operación por daños estructurales, sin embargo es una estación representativa de la zona noreste.

Las estaciones de monitoreo Lagunilla, San Agustín, Villa de las Flores, Atizapán, Azcapotzalco y UAM-I, cumplen con el objetivo del SIMAT o requieren de alguna modificación, sin embargo presentan mediciones redundantes, es decir miden concentraciones similares a otra estación de monitoreo, por lo que se considera deben retirarse de operación.

La subred de monitoreo que se propone para medir CO en la ZMCM, que continúe siendo representativa y que cumpla con los objetivos de la red, está integrada por las estaciones de monitoreo: Merced, Metro Insurgentes y Benito Juárez ubicadas en la zona centro; Aragón, Xalostoc y Netzahualcoyotl de la zona noreste; ENEP-Acatlán, Instituto Mexicano del Petróleo, Tacuba, Tlalnepantla, Tultitlán y Vallejo de la zona noroeste; Pedregal y Plateros ubicadas en la zona suroeste; así como Taxqueña y Cerro de la Estrella de la zona sureste. En la propuesta de subred destaca la zona noroeste por presentar el mayor número de estaciones de monitoreo, debido a que concentra numerosas vialidades con alto flujo vehicular.

La integración de resultados indica la posibilidad de disminuir el número de estaciones y/o equipos de monitoreo que miden CO de 22 a 16, con lo cual se disminuirían los costos de operación, mantenimiento, laboratorio, personal especializado y transporte, se estima para el año 2011 que el costo de operación anual de una estación de monitoreo es de \$500,000.00.

### **RECOMENDACIONES**

Se recomienda aplicar esta metodología a todos los contaminantes criterio ( $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ), para la posible remoción completa de la estación de monitoreo en caso de haber redundancia y no sólo remover los equipos de monitoreo de CO.

Debido a que los entornos de las estaciones de monitoreo se van modificando a través del tiempo, así como las medidas de control de contaminantes, se requiere aplicar esta metodología al menos cada cinco años y evaluar los entornos físicos, así como la representatividad de las estaciones.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- o Anderberg, M.R. Cluster Analysis for Applications. Academic Press, New York, 1973.
- o Bravo H. La Contaminación del Aire en México. México: Fundación Universo Veintiuno; 1987.
- o Canavos, G. C. Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos. Mc Graw Hill, 1999.
- o Code of Federal Regulations 40 CFR Parts 50 and 58. Washington D.C.; Protection of the Environment. National Archives and Records Administration; 1999.
- o Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación del Valle de México (CMPCCVM). "Red Automática de Monitorio Atmosférico" Dirección General de Ecología, DDF. 1992.
- o Consejería de Sanidad de la Región de Murcia, Dirección General de Salud Pública, Servicio de Sanidad Ambiental, Riesgo químico - accidentes graves, monóxido de carbono, España, 2007.
- o Consejo Nacional de la Población (CONAPO), Índice de Marginación Urbana, 2000. [http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/Migra2/margina\\_urb/C.pdf](http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/Migra2/margina_urb/C.pdf)
- o DDF, 1990, Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA), Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México.
- o DDF. "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000", 1996.
- o Daniel, W.W. "Bioestadística: Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud". Editorial Limusa, 1977.
- o Environmental Protection Agency (EPA). (1975). "Selecting sites for carbon monoxide monitoring". Research Triangle Park, NC 27711. EPA-450/3-75-077. September 1975.
- o Environmental Protection Agency (EPA). (2011). "Air Quality Criteria for Carbon Monoxide". Federal Register Volume 76, Number 169, August 2011.
- o Environmental Protection Agency (EPA). (1998). "Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II: Part 1. Office of Air Quality Planning and Standards". Research Triangle Park, NC 27711. EPA-454/R-98-044. August 1998.
- o Fundación MAPFRE. Manual de contaminación ambiental. España, 1994.
- o FUNSALUD, 1994, Economía y salud, propuesta para el avance del sistema de salud en México. Informe Final. Primera edición. •
- o GDF. (1996)." Introducción al diseño de redes de monitoreo atmosférico". Apuntes del curso teórico.
- o GDF. (2000). "Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México" 1998. [http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/inventario\\_de\\_emisiones\\_1998.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/inventario_de_emisiones_1998.pdf)
- o GDF. (2001). "Informe anual de la Calidad del Aire y precipitación ácida en el Valle de México 2000". [http://www.sedema.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe\\_anual\\_calidad\\_aire\\_2000/](http://www.sedema.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe_anual_calidad_aire_2000/)
- o GDF. (2002a). "Informe del Estado de la Calidad del Aire y Tendencias 2001". [http://www.sedema.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe\\_anual\\_calidad\\_aire\\_2001/](http://www.sedema.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe_anual_calidad_aire_2001/)

- o GDF. (2002b). "Hacia un Programa de Calidad del Aire 2000-2010 para la Zona Metropolitana del Valle de México". Iniciativa de Aire Limpio en Ciudades de América Latina. [http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/programa\\_de\\_calidad\\_aire\\_2000\\_2010\\_ver\\_espanol.pdf](http://www.sma.df.gob.mx/sma/download/archivos/programa_de_calidad_aire_2000_2010_ver_espanol.pdf)
- o GDF. (2003a). "Informe del Estado de la Calidad del Aire y Tendencias 2002". [http://www.sedema.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe\\_anual\\_calidad\\_aire\\_2002/](http://www.sedema.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe_anual_calidad_aire_2002/)
- o GDF. (2003b). "Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México" 2002. [http://www.sedema.df.gob.mx/inventario\\_emisiones/index.php?op=pub#](http://www.sedema.df.gob.mx/inventario_emisiones/index.php?op=pub#)
- o GDF. (2012). "Informe de la Calidad del Aire en la Ciudad de México 2011". [http://www.sedema.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe\\_anual\\_calidad\\_aire\\_2011/](http://www.sedema.df.gob.mx/sma/links/download/biblioteca/flippingbooks/informe_anual_calidad_aire_2011/)
- o Gilbert, R.O., Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring. Van Nostrand Reinhold, 1987.
- o Hank E. "SLAMS/NAMS/PAMS Network Review Guidance". Monitoring and Quality Assurance Group Emissions, Monitoring, and Analysis Division. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park. NC 27711. EPA-454/R-98-003. March 1998.
- o Hwang J.S. and Chan Ch. Ch. "Redundant Measurements of Urban Air Monitoring Networks in Air Quality Reporting". JAWMA 47:614-619, 1997.
- o Langstaff J., Seigneur C., Liu M.K., Behar J., and McElroy J.L. "Design of an Optimum Air Monitoring Network for Exposure Assessments". Atmospheric Environment Vol. 21 (6): 1393-1410, 1987.
- o Ludwig, F.L., and J.H. Kealoha. "Selecting Sites for Carbon Monoxide Monitoring". Stanford Research Institute, Menlo Park, CA. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. EPA Publication No. EPA-450/3-75-077. September 1975.
- o Martínez A. P. y Romieu I. "Introducción al Monitoreo Atmosférico". OPS, GTZ y DDF, México, 1997.
- o Miller, A. and Sager, T., "Site redundancy in Urban Ozone Monitoring", Journal Air & Waste Management Association, 44:1097-1102, 1994.
- o Secretaría de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto al monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente como medida de protección a la salud de la población, 1994. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/021ssa13.html>
- o Seber, G. A. F. Multivariate observations, Wiley Series in probability and mathematical statistics, 1995.
- o SEDUE-Fundación Friedich Ebert. "Primer Seminario Internacional sobre administración de la Calidad del Aire". Metepec, Puebla, 2 al 6 de noviembre, 1987.
- o Stoker, H, Seager, S., Química Ambiental. Contaminación del aire y del agua. Editorial Blume, Barcelona, 1981.

- o Trujillo-Ventura, A. and Ellis J. H., "Multiobjective Air Pollution Monitoring Network Design", Atmospheric Environment, Vol. 25A (2): 469-479, 1991.
- o Ward P., 1991. , México: una mega ciudad, México, Alianza.
- o World Health Organization, "Analyzing and Interpreting Air Monitoring Data". WHO Offset Publication No. 51, Geneva, 1980.
- o World Health Organization. "Guidelines for Air Quality". WHO, Global update 2005. Regional Office for Europe.

# Anexos

# ANEXO 1. CARACTERIZACIÓN DE SITIOS DE MONITOREO (Fuente: <http://www.sma.df.gob.mx/simat>)

## ARAGON (ARA)



Noreste

Noroeste



Suroeste

Sureste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Centro Asistencial "Monte de Piedad"

Se encuentra en la parte posterior del centro asistencial, a 10 m de los lavaderos.

**Entorno:**

El centro asistencial "Monte de Piedad", se encuentra en una zona residencial. Ubicado en la Avenida 416, la cual tiene 3 carriles de cada lado y presenta flujo moderado, principalmente de autos particulares, taxis, microbuses y camiones de EX-Ruta100. Al sur del centro asistencial a 15 m se encuentra un parque con una cancha de fútbol sin cobertura vegetal, a 21 m al oeste se encuentran 2 canchas de basquetbol pavimentadas, a 40 m al norte se encuentra un deportivo popular muy grande, que cuenta con campos deportivos sin cobertura vegetal.

**Dirección:** Calle 438 y 416 # 103, Col. San Juan de Aragón, Del. Gustavo A. Madero, D.F., CP: 07920

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 3.7 m.

**Localización geográfica:** Latitud: 19° 28' 16.968"

Longitud: 99° 04' 28.366"

**Parámetros registrados:**

RAMA
SO <sub>2</sub> , CO

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### Localización

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## ATIZAPÁN (ATI)



### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Telesecundaria Federal No. 1

Se encuentra en la parte posterior del edificio donde se imparten las clases.

#### Entorno:

La telesecundaria se encuentra en una zona residencial nueva, aún con lotes con cobertura vegetal de temporal y árboles de Pirúl. Ubicada sobre la avenida Océano Pacífico tiene 2 carriles de cada lado y presenta flujo moderado de autos particulares, microbuses y pick-up. Al sur de la escuela a 40 m se encuentra un parque con canchas pavimentadas y juegos infantiles, al noroeste a 2 km se encuentra la carretera Atizapán-Progreso Industrial que presenta flujo vehicular moderado de todo tipo de vehículos.

**Dirección:** Mar de Ross y Oceano Pacífico, Col. Lomas Lindas de Zaragoza, Municipio Atizapán de Zaragoza, Mex., CP: 52947

**Tipo de sitio:** Suburbano

**Altura de la toma de muestra:** 4 m.

**Localización geográfica:** Latitud: 19° 34' 34.992"  
Longitud: 99° 15' 13.898"

**Parámetros registrados:**

RAMA
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub>

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### Localización

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

## AZCAPOTZALCO (AZC)



Noreste



Sureste



Noroeste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Centro de Salud comunitario "Tezozomoc"  
Se encuentra en la azotea del centro de salud que cuenta con 1 nivel de construcción.

**Entorno:**  
El centro de salud comunitario "Tezozomoc", se encuentra en una zona habitacional. Ubicado sobre la avenida Rafael Balbuena que presenta flujo moderado de autos particulares, microbuses, taxis y camiones de carga. Al noroeste del centro a 15 m se encuentra un área con vegetación de temporal, al noreste a 350 m se encuentra la estación del metro Aquiles Serdán y la avenida de dicho nombre cuenta con 5 carriles de cada lado y presenta flujo vehicular alto principalmente de autos particulares, microbuses, taxis, camiones de carga, camiones de Ex-Ruta100 y trailers.

**Dirección:** Rafael Buendía entre Musgos y Tlahuicas, Col. Nueva Tezozomoc, Del. Azcapotzalco, D.F., CP: 00240

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 6.2 m.

**Localización geográfica:** Latitud: 19° 29' 20.013"  
Longitud: 99° 11' 55.15"

**Parámetros registrados:**

RAMA
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### Localización

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## BENITO JUÁREZ (BJU)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Oficinas de la Delegación Benito Juárez

Se encuentra al sur de las oficinas de la delegación, las cuales son de 5 niveles de construcción.

**Entorno:**

La estación de monitoreo se encuentra en una zona habitacional y de oficinas. Ubicada sobre tres vialidades importantes: al norte a 100 m la avenida División del Norte, al oeste a 60 m la avenida Cuauhtémoc y al sur a 200 m el Eje 7 Municipio Libre, todas presentan flujo vehicular alto, principalmente, de autos particulares, microbuses, taxis, camiones de ExRuta 100 y camiones de carga. Al sureste de la estación a menos de 20 m se encuentra un campo deportivo con vegetación de temporal, pista de arcilla y canchas sin cobertura vegetal.

**Dirección:** Av. División del Norte y Municipio Libre, Col. Santa Cruz Atoyac, Del. Benito Juárez, D.F., CP: 03310

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 3.81 m.

**Localización geográfica:** Latitud: 19° 22' 17.842"  
Longitud: 99° 09' 34.53"

**Parámetros registrados:**

RAMA
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### Localización

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## CERRO DE LA ESTRELLA (CES)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Planta de tratamiento de aguas negras "Cerro de la Estrella", G.D.F.

Se encuentra a la entrada de la planta de tratamiento, al oeste de la caseta de vigilancia.

#### Entorno:

La planta de tratamiento de aguas negras "Cerro de la Estrella", G.D.F., se encuentra rodeada de unidades habitacionales y sobre las calles principales hay pequeños comercios y servicios. Ubicada sobre la Calzada San Lorenzo, la cual tiene 2 carriles por lado y presenta alto flujo vehicular, donde circulan principalmente autos particulares, camiones de ExRuta 100, taxis, microbuses y camiones de carga. Al sur a 4 m se encuentra un estacionamiento del DIF con capacidad para 50 camiones.

**Dirección:** Av. San Lorenzo s/n, Col. Paraje San Juan, Del. Iztapalapa, D.F., CP: 90830

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 3.7 m.

**Localización geográfica:** Latitud: 19° 20' 09.184"  
Longitud: 99° 04' 28.829"

#### Parámetros registrados:

RAMA	REDMA	REDMET
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	PST, PM <sub>10</sub> , Pb	TMP, HR, VV, DV

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora, REDMA: 1 cada 6 días y REDMET: 1 cada hora.

## Localización

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## CUITLÁHUAC (CUI)



### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Clínica Cuitláhuac del ISSSTE

Se encuentra en el estacionamiento de la clínica, al suroeste de los edificios que la componen.

**Entorno:**

La clínica Cuitláhuac del ISSSTE se encuentra en una zona habitacional. Ubicada sobre el Eje 3 Norte que presenta flujo vehicular alto, donde circulan predominantemente autos particulares, camiones de carga de 1 y 2 ejes, trailers, microbuses, taxis, ExRuta 100 y motocicletas. Al este a 300 m se encuentran las vías del tren, al sureste a más de 50 metros se encuentra una gasolinera, un semáforo y un cruce, hay un estacionamiento con capacidad para 20 autos; al oeste a 150 m se encuentra el periódico la Jornada.

**Dirección:** Av. Cuitláhuac # 548, Col. Pantaco, Del. Azcapotzalco, D.F., CP: 02800

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 5.48 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 28' 15.679"

Longitud: 99° 09' 57.025"

**Parámetros registrados:**

RAMA
CO

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### Localización

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## ENEP-ACATLÁN (EAC)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Clínica Odontológica de la ENEP-Acatlán, UNAM  
Se encuentra en la azotea de la clínica que tiene 2 niveles de construcción.

**Entorno:**

La clínica odontológica de la ENEP-Acatlán, UNAM, se encuentra en una zona habitacional y de pequeños comercios. Ubicada en la esquina de dos vías: Al sur a 50 m avenida jardines de San Mateo, la cual cuenta con 2 carriles de cada lado y al este a 19 m la calle Yaquis de un solo sentido, que cuenta con 3 carriles, ambas presentan flujo vehicular moderado y alto en las horas pico (7:00 a 9:00 hrs. y de 19:00 a 20:30 hrs.), en ambas vías circulan predominantemente autos particulares, camiones a diesel, microbuses, camiones de carga, camionetas de transporte público (combis), motocicletas y pick-up. Al sur a 50 m se encuentra el parque de los Remedios que tiene principalmente árboles de eucalipto. Al noroeste a 5 m hay un estacionamiento con capacidad para 100 autos y a menos de 100 m se encuentran canchas deportivas sin cobertura vegetal.

**Dirección:** Av. Alcanfores esquina San Juan Totoltepec s/n, Col. Santa Cruz Acatlán, Municipio Naucalpan, Mex., CP: 53240

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 12 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 28' 54.922"  
Longitud: 99° 14' 35.773"

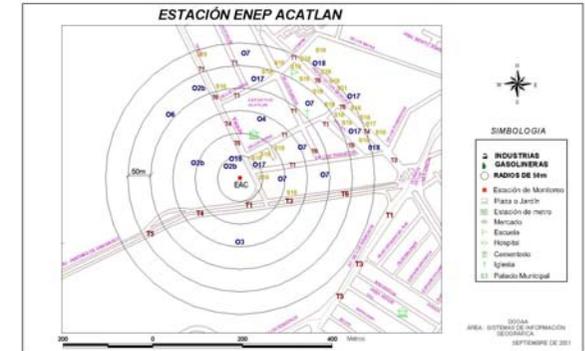
**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMA	REDMET	REDRAS
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	TMP, HR, VV, DV	UVA, UVB, GR

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora, REDMET: 1 cada hora, REDMA: 1 cada 6 días y REDDA: 1 semanal.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## HANGARES (HAN)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Estacionamiento del CIAAC

Se encuentra en el estacionamiento del CIAAC, al sur de las instalaciones de este centro.

**Entorno:**

El CIAAC es una escuela de capacitación para la tripulación de aeronaves, la zona es predominantemente habitacional y se encuentra al suroeste a 70 m, tiene varias casas acondicionadas como talleres mecánicos. Ubicada sobre la av. Hangares la cual cuenta con 3 carriles de cada lado y presenta flujo vehicular alto, circulan principalmente autos particulares, microbuses, camiones de carga y hasta de 2 ejes, camionetas de transporte público (combis), motocicletas, pick-up y camiones foráneos. Al noreste a 600 m se encuentran las pistas de aterrizaje del aeropuerto, al norte a 20 m se encuentra un estacionamiento con capacidad para 150 autos, al este a menos de 50 metros se encuentran los hangares militares con un flujo bajo de helicópteros.

**Dirección:** Boulevard Hangares #235, Col. Federal, Del. Venustiano Carranza, D.F., CP: 15700

**Tipo de sitio:** Habitacional, comercial y servicios

**Altura de la toma de muestra:** 3.7 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 25' 18.025"  
Longitud: 99° 05' 01.032"

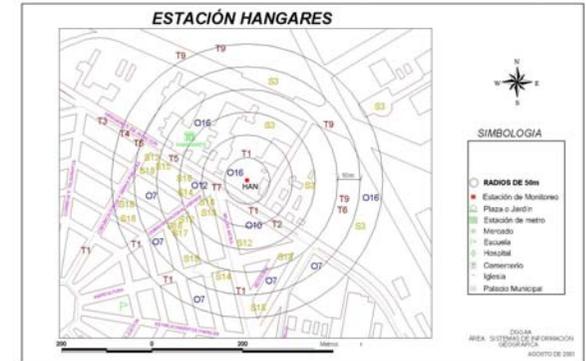
**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMA	REDMET	REDRAS
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub> , Pb	TMP, HR, VV, DV	UVA, UVB

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora, REDMET: 1 cada hora, REDMA: 1 cada 6 días y REDDA: 1 semanal.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



**INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO (IMP)**

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO**

**LOCALIZACIÓN**



**Ubicación:** Instituto Mexicano del Petróleo  
Se encuentra en la azotea de un edificio con 2 niveles de construcción.

**Entorno:**  
El Instituto Mexicano del Petróleo, se encuentra rodeado de unidades habitacionales. Ubicado sobre el Eje central "Lazaro Cardenas", Eje 4 Norte, Av. Vallejo y Calle Pte. 134 todas presentan alto flujo vehicular, circulan principalmente autos particulares, microbuses y taxis, ExRuta-100, autobuses foráneos, camiones a diesel, camiones de carga y hasta de 2 ejes y pick-up. Al noreste y este a menos de 20 m se encuentran 3 estacionamientos con capacidad para más de 50 autos cada uno.

**Dirección:** Av. Lazáro Cárdenas # 152, Col. San Bartolo Atepehuacan, Del. Gustavo A. Madero, D.F., CP: 07730

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 13.5 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 29' 19.392"  
Longitud: 99° 08' 50.258"

**Parámetros registrados:**

RAMA
CO

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



**Noreste**



**Noroeste**



**Sureste**



**Suroeste**

## LAGUNILLA (LAG)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Centro de Salud "Dr. Domingo Orvañanos"  
Se encuentra en la azotea del centro de salud que tiene 2 niveles de construcción.

**Entorno:**  
El centro de salud "Dr. Domingo Orvañanos", se encuentra en una zona habitacional y comercial, con algunos servicios. Ubicado sobre la calle Comonfort que presenta flujo vehicular moderado de autos particulares, microbuses y taxis. Al este a 55 m se encuentra un mercado popular. Al sur a 50 m se encuentra el Eje 1 Norte que presenta alto flujo vehicular, al noroeste a 200 m se encuentra el Paseo de la Reforma que presenta alto flujo vehicular, el tipo de vehículos que circulan por estas vías son principalmente autos particulares, microbuses, taxis, autobuses, Ex Ruta-100, pick up y camiones de carga.

**Dirección:** Esquina de Libertad y Comonfort s/n, Col. Peralvillo, Del. Cuauhtémoc, D.F., CP: 16200

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 9.2 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 26' 36.892"  
Longitud: 99° 08' 06.663"

**Parámetros registrados:**

<b>RAMA</b>
SO2, CO, NO2, O3

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## MERCED (MER)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Centro de Salud "Luis E. Ruíz"

Se encuentra en la azotea del edificio que conforma el centro de salud con 1 nivel de construcción.

**Entorno:**

El centro de salud "Luis E. Ruíz", se encuentra rodeado de escuelas, canchas de fútbol rápido, parques con vegetación de temporal. Ubicado sobre la avenida Congreso de la Unión que presenta alto flujo vehicular, donde circulan todo tipo de vehículos. Al norte y al sur a más de 500 m del centro de salud hay dos estaciones del metro. Al noroeste a 20 m se encuentra un local donde se guardan los carros de basura de los barrenderos, es una zona habitacional, comercial y de servicios. Al sureste a 200 m se encuentran los campos de tiro de la policía.

**Dirección:** Av. Congreso de la Unión # 148, Col. Merced Balbuena, Del. Venustiano Carranza, D.F., CP: 15860

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 4.5 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 25' 27.792"

Longitud: 99° 07' 09.397"

**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMA	REDMET	REDRAS
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	PST, PM <sub>10</sub> , Pb	TMP, HR, VV, DV	UVA, UVB

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora, REDMET: 1 cada hora, REDMA: 1 cada 6 días y REDDA: 1 semanal.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## METRO INSURGENTES (MIN)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Glorieta del metro Insurgentes

Se encuentra dentro de la glorieta, al suroeste de las salidas del metro Insurgentes.

**Entorno:**

La glorieta del metro Insurgentes se encuentra en una zona de oficinas y comercial, esta glorieta es importante porque se unen av. Insurgentes y av. Chapultepec, arterias viales en las que se ubica la estación, ambas presentan alto flujo vehicular, circulan todo tipo de vehículos, hay gran circulación de peatones durante todo el día. Al noreste y al sur a 30 m se encuentran zonas de comercios ambulantes, con el 50% de puestos de comida.

**Dirección:** Av. Insurgentes y Av. Chapultepec s/n, Col. Roma , Cuauhtémoc, D.F., CP: 06700

**Tipo de sitio:** Urbano y servicios

**Altura de la toma de muestra:** 3.26 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 25' 21.356"

Longitud: 99° 09' 46.380"

**Parámetros registrados:**

RAMA
CO

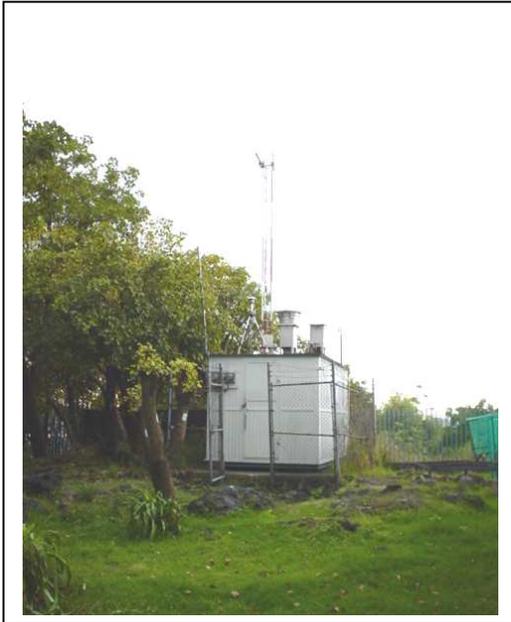
**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## PEDREGAL (PED)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Escuela Primaria "John F. Kennedy"

Se encuentra en la parte posterior de la escuela, al este de los salones, esta rodeado de norte a sur de vegetación del parque que se encuentra junto a la escuela.

**Entorno:**

La escuela primaria "John F. Kennedy", se encuentra en una zona residencial, la estación esta rodeada de vegetación. Ubicada sobre la avenida Crater y calle Cañada que presentan flujo vehicular bajo, circulan principalmente autos particulares y autobuses escolares.

**Dirección:** Cañada # 370 y Av. Cráter, Col. Pedregal de San Angel, Del Álvaro Obregón, D.F., CP: 01900

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 4.5 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 19' 29.045"

Longitud: 99° 12' 13.377"

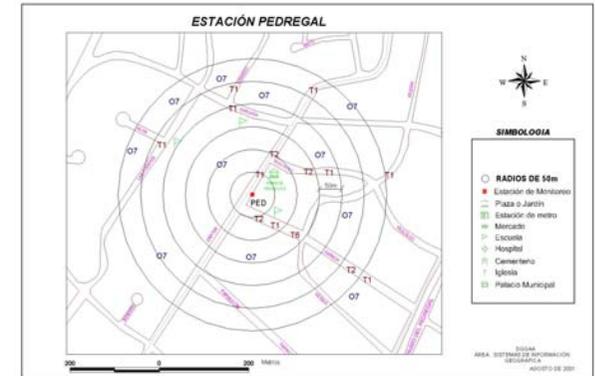
**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMA	REDMET	REDRAS
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	PST, PM <sub>10</sub> , Pb	TMP, HR, VV, DV	UVA, UVB, GR

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora, REDMET: 1 cada hora, REDRAS 1 cada hora y REDMA: 1 cada 6 días

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## PLATEROS (PLA)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Escuela de Salud Pública "Francisco de P. Miranda"  
Se encuentra en el estacionamiento de los edificios que conforman la escuela de salud y al noroeste del edificio de la clínica.

**Entorno:**

La escuela de salud pública "Francisco de P. Miranda", se encuentra rodeada de unidades habitacionales. Ubicada sobre la calle Circuito 2 que presenta flujo vehicular moderado de autos particulares, taxis y microbuses. La escuela tiene una zona muy amplia de estacionamientos que rodean a la estación con una capacidad aproximada para 70 autos.

**Dirección:** Francisco P. Miranda # 177, Col. Lomas de Platero, Del Álvaro Obregón, D.F., CP: 01600

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 4.24 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 22' 01.300"  
Longitud: 99° 12' 00.377"

**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMET
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	TMP, HR, VV, DV

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora y REDMET: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## SAN AGUSTÍN (SAG)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Centro de Salud comunitario "San Agustín"

Se encuentra en la azotea del centro de salud que tiene 1 nivel de construcción.

**Entorno:**

El centro de salud comunitario "San Agustín", se encuentra en una zona habitacional sin muchos servicios. Ubicado sobre las calles "Sur 88" y "Sur 90" que presenta flujo vehicular bajo de autos particulares. Los parques que se encuentran en las calles circundantes tienen vegetación de temporal, en general las calles son muy angostas, por lo que circulan en su mayoría autos particulares, con bajo flujo vehicular. Al este a 325 m se encuentra la Avenida Hank González que presenta flujo vehicular alto de autos particulares, taxis, microbuses, autobuses foráneos, autobuses públicos a diesel, camiones de carga y hasta de 2 ejes, pick-up, motocicletas.

**Dirección:** Av. Santa Rita y Sur 90, Col. Nuevo Paseo de San Agustín, Municipio Ecatepec de Morelos, Mex., CP: 55130

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 6.2 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 31' 56.09"

Longitud: 99° 01' 47.781"

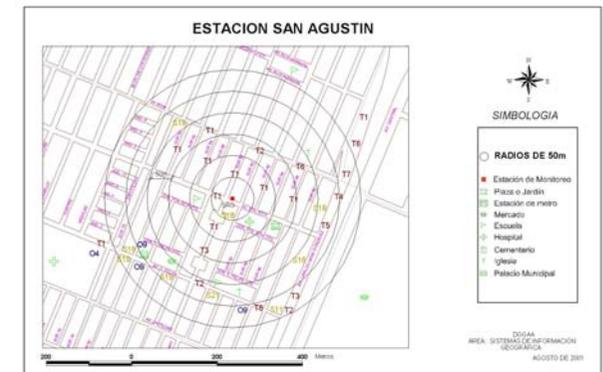
**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMA	REDMET	REDRAS
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	PM <sub>10</sub>	TMP, HR, VV, DV	UVA, UVB

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora, REDMET: 1 cada hora, REDRAS 1 cada hora, REDMA: 1 cada 6 días y REDDA: 1 semanal.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## SANTA URSULA (SUR)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Centro de Salud "Dr. Gustavo A Rovirosa Pérez"

Se encuentra en la azotea del centro de salud con 2 niveles de construcción.

**Entorno:**

El centro de salud "Dr. Gustavo A Rovirosa Pérez", se encuentra en una zona predominantemente habitacional con algunos comercios y servicios para la zona. Ubicado en la esquina de la Calle San Gabriel y San Alberto que presenta flujo vehicular bajo de autos particulares, taxis, camionetas de carga. Al norte a 200 m se encuentra la calle San Felipe que presenta flujo vehicular alto de taxis, autos particulares y camiones de carga, al este a menos de 20 m se encuentra una cancha deportiva sin cobertura vegetal.

**Dirección:** San Gabriel # 517, Col. Pedregal de Santa Ursula, Del. Coyoacán, D.F., CP: 04600

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 9.6 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 18' 49.279"

Longitud: 99° 08' 58.794"

**Parámetros registrados:**

<b>RAMA</b>
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>

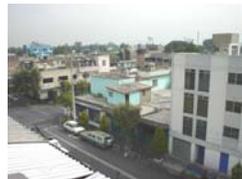
**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## TACUBA (TAC)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Centro de Salud "Lago Cardiel"

Se encuentra en la azotea del centro de Salud con 2 niveles de construcción.

**Entorno:**

El centro de salud "Lago Cardiel", se encuentra en una zona habitacional con pequeños comercios. Ubicado sobre la calle Lago Cardiel que presenta flujo vehicular bajo de autos particulares, taxis y ExRuta-100. Al norte a 275 m se encuentra la Avenida San Bartolo-Naucalpan que presenta flujo vehicular alto de autobuses, taxis, microbuses, camiones de carga, ExRuta-100 y autos particulares. Al noroeste a menos de 15 m se encuentran 2 chimeneas de hornos. Al oeste de la estación se encuentra la calle Lago Buenos Aires bloqueada por vendedores ambulantes.

**Dirección:** Lago Cardiel # 61, Col. Argentina Antigua, Del. Miguel Hidalgo, D.F., CP: 11270

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 11 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 27' 18.244"

Longitud: 99° 12' 08.831"

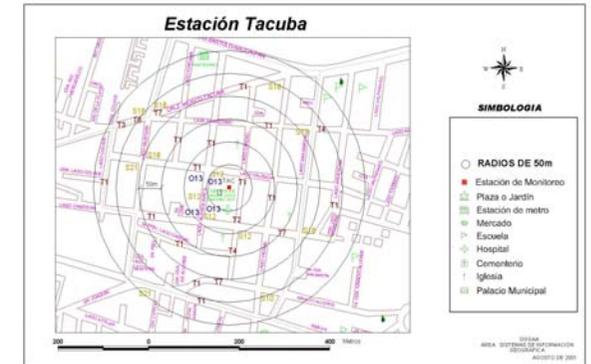
**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMET
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>	TMP, HR, VV, DV

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora y REDMET: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## TAXQUEÑA (TAX)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Escuela primaria "Candido Jaramillo"

Se encuentra en la parte posterior del patio de la escuela al norte de un edificio de la escuela donde se imparten clases, al sur de la Av. Taxqueña.

**Entorno:**

La escuela primaria "Candido Jaramillo", se encuentra en una zona habitacional con pequeños comercios y servicios. Ubicada sobre la Calz. Taxqueña y Eje 2 Oriente que presentan flujo vehicular alto de taxis, autobuses, microbuses, autos particulares, camiones de carga y de más de 2 ejes, ExRuta-100, autobuses foráneos, motocicletas y pick-up. Los parques cercanos a la estación no tienen cubierta vegetal. Al este a 200 m se encuentran sobre la Av. Taxqueña varios talleres mecánicos.

**Dirección:** Av. Taxqueña # 1811, Col. San Francisco Culhuacán, Del. Coyoacán, D.F., CP: 04430

**Tipo de sitio:** Urbano y servicios

**Altura de la toma de muestra:** 4.33 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 20' 12.627"

Longitud: 99° 07' 23.532"

**Parámetros registrados:**

RAMA
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## TLALNEPANTLA (TLA)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Glorieta Atlacomulco (Instalaciones de la CNA)

La caseta de monitoreo se encuentra dentro de las instalaciones de la CNA, al noreste del tanque de almacenamiento en la glorieta de Atlacomulco y los colectores de depósito atmosférico se encuentra sobre el tanque de almacenamiento de agua potable que tiene un diámetro de 30 m y una altura de 5.76 m del suelo.

**Entorno:**

La glorieta de Atlacomulco es formada por un tanque de almacenamiento de agua potable del CNA que tiene superficie de cemento, se encuentra en una zona habitacional con pequeños comercios y servicios alrededor de la glorieta. El flujo vehicular alrededor de la glorieta es moderado de autos particulares, microbuses, camiones de carga, camionetas de transporte público (combis), taxis y pick-up. Al suroeste a 110 m se encuentran 2 tanques de almacenamiento de combustibles. Al oeste a 100 m del sitio de monitoreo y dentro de la glorieta se encuentra una pequeña zona arbolada y al sur a 80 m un parque con juegos infantiles. Del noroeste al este a 1 km de la glorieta, se observa una zona industrial y de bodegas.

**Dirección:** Av. Toluca s/n Glorieta Atlacomulco, Col. Tlalmex, Municipio Tlalnepantla, Mex., CP: 54070

**Tipo de sitio:** Industrial urbano

**Altura de la toma de muestra:** CM: 6 Muestreadores DA: 6:81 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 31' 42.229

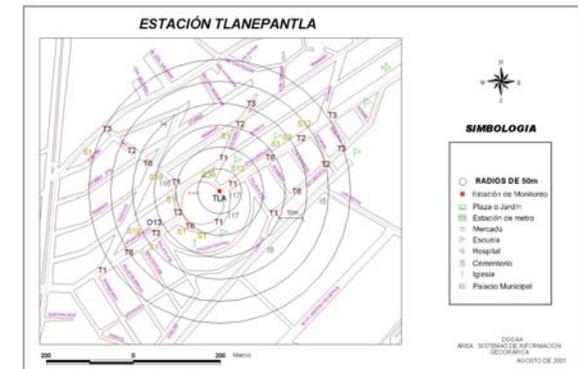
**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMA	REDMET	REDDA	REDRAS
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	PST, PM <sub>10</sub> , Pb	TMP, HR, VV, DV	DT, DH, DS, CE, C+, A-	UVA, UVB, GR

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora, REDMET: 1 cada hora, REDRAS 1 cada hora, REDMA: 1 cada 6 días y REDDA: 1 semanal.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## TULTITLÁN (TLI)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Jardín de niños "Francisco Luna Arroyo"

Se encuentra en la parte posterior del jardín de niños al sur de un parque público.

**Entorno:**

El Jardín de niños "Francisco Luna Arroyo", se encuentra en una zona habitacional. Ubicado sobre las calles Eje 5 y Loma de Cartagena que presenta flujo vehicular bajo de autos particulares y pick-up. El jueves en la calle Cartagena se pone un mercado sobre-ruedas que bloquea la calle. Al sur a 2 m se encuentra un parque sin cobertura vegetal y con aulas en construcción. Al sureste a 150 m se encuentra el Blv. Ciudad Labor que presenta flujo vehicular moderado de autos particulares, microbuses y pick-up. Al oeste a más de 1 km se encuentra una zona industrial y vías de comunicación importantes que presentan flujo vehicular alto de todo tipo de vehículos.

**Dirección:** Av. Boulevard Lomas de Cartagena, Col. Ciudad Labor, Municipio Tultitlán, Mex., CP: 54943

**Tipo de sitio:** Suburbano

**Altura de la toma de muestra:** 3.3 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 36' 07.095"

Longitud: 99° 10' 36.605"

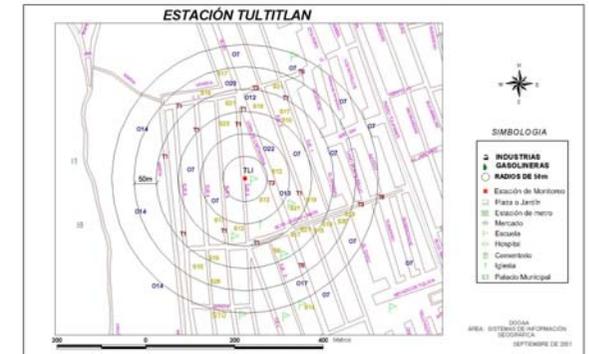
**Parámetros registrados:**

<b>RAMA</b>
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## UAM-IZTAPALAPA (UIZ)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** UAM-Iztapalapa (Estacionamiento y canchas deportivas)

Se encuentra en la zona de las áreas verdes, estacionamientos y canchas deportivas pavimentadas de la Universidad.

#### Entorno:

La UAM-Iztapalapa, se encuentra en una zona habitacional con pequeños comercios relacionados con las necesidades de los estudiantes de la universidad como: papelerías, tienditas, pequeñas cocinas económicas y fotocopiadoras. Ubicándose sobre la calle Sur 21 que se encuentra al este a 100 m de la estación y que presenta flujo vehicular alto de microbuses y taxis, y flujo moderado de autos particulares y camiones de carga. Al suroeste a 3.81 m se encuentra un estacionamiento con capacidad para 200 autos. Al noroeste a 20 m se encuentran los campos deportivos. Al norte y sur a 10 m se encuentran áreas verdes con cubierta vegetal todo el año.

**Dirección:** Sur 21 y Sur 10 # 230, Col. La Vicentina, Del. Iztapalapa, D.F., CP: 09340

**Tipo de sitio:** Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 4.31 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 21' 44.597"

Longitud: 99° 04' 16.219"

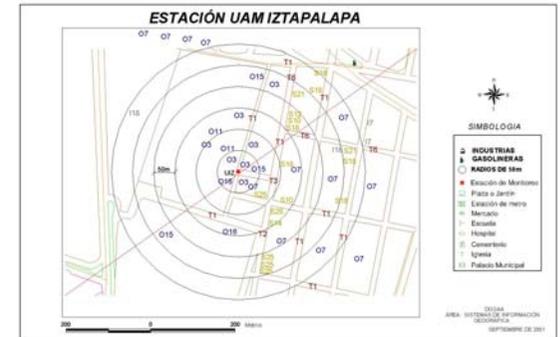
**Parámetros registrados:**

<b>RAMA</b>
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub>

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## VALLEJO (VAL)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Jardín de niños (DIF) "Dr. José María Luis Moya"

Se encuentra en la azotea de un salón con 1 nivel del construcción del Jardín de niños, al norte del patio de la escuela y en la esquina de 2 calles poco transitadas.

**Entorno:**

El Jardín de niños (DIF) "Dr. José María Luis Moya", se encuentra en una zona habitacional. Ubicado sobre las calles Monte alto y Calle 1-D que presentan flujo vehicular bajo de vehículos particulares, pick-up y de carga de percederos. Al suroeste a 22 m se encuentra un camellón que separa a la calzada Vallejo de esta colonia y forma un parque con juegos infantiles y áreas verdes de temporal. Al oeste a 60 m se encuentra la Calz. Vallejo, la cual cuenta con 4 carriles de cada lado y presenta alto flujo vehicular principalmente de transporte de carga, pasajeros y particular.

**Dirección:** Ferrocarril Monte Alto #39 esq. Calle 1-D, Col. San José de la Escalera, Del. Gustavo A. Madero, D.F., CP: 07050

**Tipo de sitio:** Industrial urbano

**Altura de la toma de muestra:** 6.33 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 31' 24.951"

Longitud: 99° 09' 56.528"

**Parámetros registrados:**

RAMA
SO2, CO

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## VILLA DE LAS FLORES (VIF)



Noreste



Noroeste



Sureste



Suroeste

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Escuela primaria del Estado de México "Lic. Benito Juárez García"

Se encuentra en la parte posterior de la escuela, al sur del patio de la escuela y al oeste de una calle poco transitada al nivel de piso.

#### Entorno:

La escuela primaria "Lic. Benito Juárez García", se encuentra en una zona habitacional. Ubicada sobre la calle Primavera y Palma Cristi que presenta flujo vehicular bajo de autos particulares, microbuses, taxis y bicitaxis. En las calles más amplias de la colonia se encuentran pequeños comercios y servicios. Al sur a 5 m de la estación de monitoreo se encuentran 2 tanques de gas LP que pertenecen a la casa del conserje. Al norte a 27 m se encuentran los contenedores de basura de la escuela. Al suroeste a 20 m se encuentra un parque con cubierta vegetal de temporal. Al este a 200 m se encuentra el Blvd. Coacalco que presenta flujo vehicular moderado de autos particulares, microbuses, pickup y taxis. Al oeste a 250 m se encuentra una zona donde se construye una área habitacional nueva.

**Dirección:** Primavera y calle Cristi s/n, Col. Villa de las Flores, Municipio de Coacalco, Mex., CP: 55710

**Tipo de sitio:** Suburbano

**Altura de la toma de muestra:** 3 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 39' 27.617"

Longitud: 99° 05' 46.704"

**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMET
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>	TMP, HR, VV, DV

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora y REDMET.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



## XALOSTOC (XAL)



### DESCRIPCIÓN DEL SITIO

**Ubicación:** Distribuidora Volkswagen "Santa Clara"  
Se encuentra dentro de las instalaciones de una distribuidora VW, al norte del servicio de lavado y al sur del servicio de pintura.

#### Entorno:

Las instalaciones de la distribuidora VW, se encuentran en una zona Industrial. Ubicada sobre la calle Oro casi esquina con la Av. Morelos presentando flujo vehicular moderado predominando camiones de carga, autos particulares y taxis. Dentro de la distribuidora hay servicio de lavado y pintura, a 20 m al este se encuentra el área del taller mecánico. Se percibe un intenso olor y humo que llegan de la industria jabonera que se encuentra al sureste a 40 m. Al este y sur a menos de 100 m se encuentra rodeada por industrias: químicas, del vestido, de consumo alimenticio y de productos metálicos y de madera. Al norte a 3 m se encuentran áreas verdes de la calle oro que presentan escasa cubierta vegetal y además es vegetación de temporal. Al oeste a 17 m se encuentra la avenida Morelos que presenta alto flujo vehicular de autos particulares, camiones de carga, transporte de pasajeros a diesel, microbuses y taxis.

**Dirección:** Sta. Clara km 13.5, Antigua carretera a Pachuca y calle del Hierro, Col. Xalostoc, Municipio Ecatepec de Morelos, Mex., CP: 55540

**Tipo de sitio:** Industrial Urbano

**Altura de la toma de muestra:** 10m

Muestreadores DA: 4.55 m.

**Localización geográfica:** Latitud 19° 31' 39.893"

Longitud: 99° 04' 35.201"

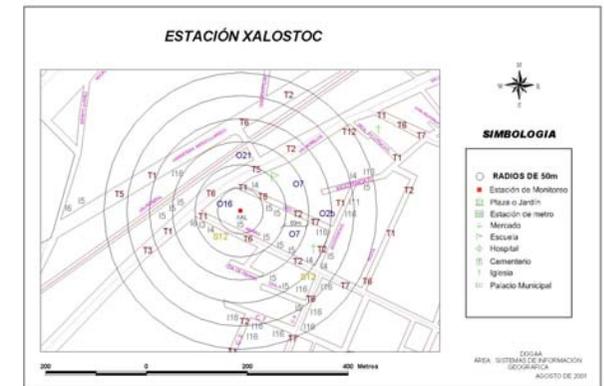
**Parámetros registrados:**

RAMA	REDMA	REDMET	REDDA
SO <sub>2</sub> , CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , PM <sub>10</sub>	PST, PM <sub>10</sub> , Pb	TMP, HR, VV, DV	DT, DH, DS, CE, C+, A-

**Frecuencia de muestreo:** RAMA: 1 cada hora, REDMET: 1 cada hora, REDMA: 1 cada 6 días y REDDA: 1 semanal.

### LOCALIZACIÓN

Mapa a 300 m alrededor de la estación de monitoreo



Noreste



Noroeste

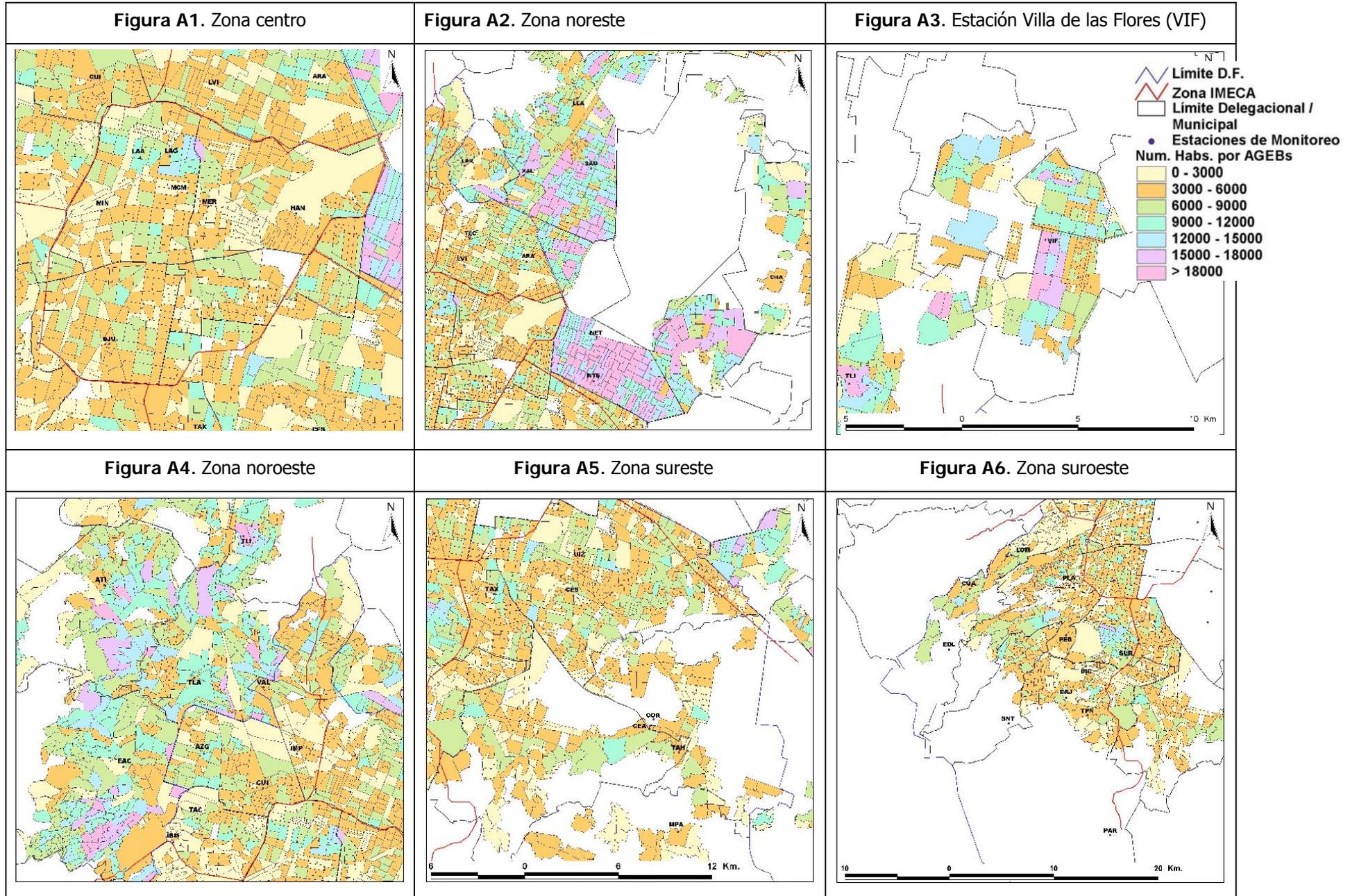


Sureste



Suroeste

**ANEXO 2. MAPAS DE DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL ALREDEDOR DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO.**



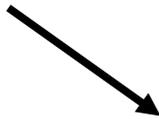
### ANEXO 3. EJEMPLO DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN DENDROGRAMA

El primer paso es buscar en la matriz de correlación el par más cercano.

D1							
D2	0.3606						
D3	0.5000	0.4243					
D4	0.9220	0.7071	0.4472				
D5	1.3416	1.0440	0.9220	0.5000			
D6	1.8385	1.5524	1.3892	0.9434	0.5099		
D7	1.7263	1.5000	1.2369	0.8062	0.5831	0.4000	
D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	

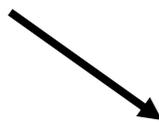
Se unen ambos clusters y se forma uno nuevo, construyéndolo a partir de las mínimas distancias de ambos clusters. En la matriz se reemplazan ambos clusters por el nuevo, y se realiza lo mismo para cada variable.

D1/D2=D8						
D3	0.4243					
D4	0.7071	0.4472				
D5	1.3416	0.9220	0.5000			
D6	1.5524	1.3892	0.9434	0.5099		
D7	1.5000	1.2369	0.8062	0.5831	0.4000	
D1/D2=D8	D3	D4	D5	D6	D7	



D8					
D3	0.4243				
D4	0.7071	0.4472			
D5	1.3416	0.9220	0.5000		
D6/D7=D9	1.5000	1.2369	0.8062	0.5831	
D8	D3	D4	D5	D6/D7=D9	

D8					
D3	0.4243				
D4	0.7071	0.4472			
D5	1.3416	0.9220	0.5000		
D6/D7=D9	1.5000	1.2369	0.8062	0.5831	
D8	D3	D4	D5	D6/D7=D9	



D3/D8=D10				
D4	0.4472			
D5	0.9220	0.5000		
D9	1.2369	0.8062	0.5831	
D3/D8=D10	D4	D5	D9	

En la A3.1 se muestra en el dendrograma que el primer grupo lo forman el 1, 2, 3, 4 y 5, teniendo mayor similitud el 1 y 2; y el segundo grupo lo forman 6 y 7.

**Figura A3.1** Representación gráfica (dendrograma) del algoritmo jerárquico de clasificación

