

tomando en cuenta estudios meteorológicos, de usos de suelo en el área metropolitana de Monterrey y la densidad de población, que fue el factor principal de decisión, debido al interés por conocer el impacto de la contaminación atmosférica en la salud.

Las estaciones que conforman dicha red de monitoreo son:

La Estación Centro: se localiza en las instalaciones de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, en el área del Obispado; sus mediciones representan la contaminación urbana máxima de óxidos de nitrógeno y ozono principalmente.

La Estación Noreste: se ubica en la colonia Unidad Laboral en San Nicolás de los Garza, N.L. Se localiza a favor del viento de un corredor industrial, en una área densamente poblada. Es utilizada para determinar los impactos de las fuentes fijas en la parte norte del área metropolitana de Monterrey.

La Estación Noroeste: se ubica en los talleres de Metrorrey, en la colonia San Bernabé. Se localiza a favor del viento de salida de la mayoría de las fuentes industriales y del tráfico del área metropolitana de Monterrey, en una zona de alta concentración de población. Es una de las mejores ubicaciones para medir concentraciones máximas de algunos contaminantes, entre ellos, las partículas menores a 10 micras (PM10).

La Estación Sureste: se localiza en el Parque La Pastora a favor del viento de un limitado corredor industrial en una zona altamente poblada. No está influenciada por grandes fuentes industriales y es un buen sitio representativo de los niveles de contaminación urbanos del sureste del área metropolitana; permite detectar el incremento en los niveles de calidad del aire de entrada del área metropolitana de Monterrey de este a oeste.

La Estación Suroeste: Se encuentra ubicada en el centro de Santa Catarina a favor del viento de la mayoría de las fuentes industriales en Monterrey, San Pedro Garza García y Santa Catarina. En ella se presentan las más altas concentraciones de algunos contaminantes, como las partículas menores a 10 micras y ozono. Se ha comprobado que

las mediciones de esta estación son representativas de las encontradas dentro del valle donde se encuentra localizada la estación.

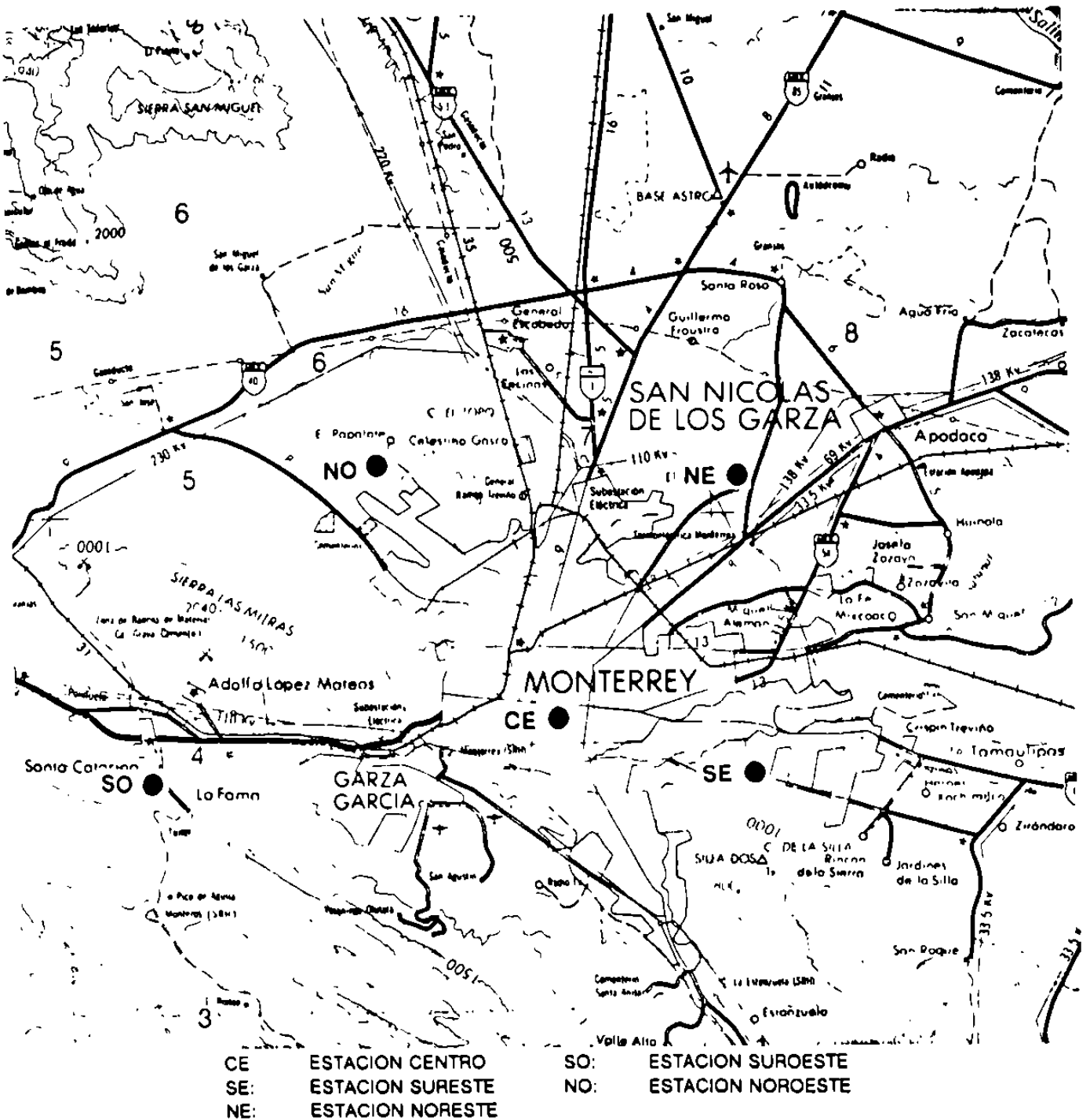


Fig. No.20 Ubicación de la red de monitoreo de calidad del aire del área metropolitana de Monterrey

8.3.2 Condiciones meteorológicas prevaletientes en la zona metropolitana de Monterrey

Velocidad y dirección del viento. La dirección predominante que presenta el viento es de este a oeste. Esta situación varía en invierno, cuando hay masas de aire frío, en esta época los vientos provienen del norte y noroeste, ocasionando que las fuentes de partículas localizadas al poniente del área metropolitana de Monterrey impacten en las concentraciones de partículas menores de 10 micras. Asimismo, existe una disminución de la velocidad del viento en esta época, lo que ocasiona una mayor acumulación de contaminantes. La zona centro presenta fenómenos de dispersión lentos ya que registra menores velocidades de viento. La baja velocidad del viento y la presencia de alta estabilidad atmosférica, son características propicias para la presentación de episodios con índices máximos de contaminación.

Radiación solar. La zona metropolitana de Monterrey recibe abundante radiación solar lo que propicia que su atmósfera sea altamente reactiva. La radiación solar permite que se efectúen una serie de reacciones químicas en la atmósfera que promueven la formación de ozono y otros oxidantes. Asimismo, la temperatura influye sobre la altura de la capa de mezclado, de tal forma que al incrementarse la temperatura, también lo hace la energía cinética de las moléculas de aire. Esto provoca que la altura de mezclado de gases tenga un crecimiento mayor.

Inversiones térmicas. Normalmente la temperatura del aire disminuye con la altura. Cuando este proceso se invierte, se dice que existe una inversión térmica. Una de las formas más comunes en que ocurren las inversiones térmicas es durante días soleados y claros que originan el calentamiento de la superficie terrestre. Al llegar la noche, la superficie irradia calor y se enfría rápidamente y las capas inferiores de aire adquieren una temperatura menor a las de las capas superiores, dando como resultado la inversión térmica. También se pueden generar inversiones térmicas como consecuencia del efecto de invernadero. En este caso, el calor recibido del sol queda atrapado en la parte baja de la atmósfera provocando un desequilibrio térmico entre las capas de aire.

Altura de la capa de mezclado. La altura de la capa de mezclado es la región de la atmósfera en la cual se dispersan los contaminantes. El valor de esta altura varía constantemente dependiendo de las condiciones de calentamiento del aire y de la velocidad del viento y está en función de la estabilidad atmosférica. Durante la mañana la disminución de la temperatura en las capas superficiales da lugar a la formación de inversiones térmicas. Esto provoca una disminución en el valor de la altura de mezclado. Al llegar el mediodía la temperatura incrementa su valor ocasionando que se rompan las inversiones térmicas que se habían formado. Al desaparecer las inversiones, la altura de mezclado se incrementa hasta llegar a un nivel máximo después del mediodía. En la tarde la temperatura disminuye lentamente hasta el amanecer, llevando consigo un nuevo decremento en la altura de mezclado. Durante los meses de invierno la altura de mezclado exhibe un comportamiento más lineal y alcanza valores menores que durante el verano, principalmente en sus valores máximos.

8.3.3 Índices de la calidad del aire

El **IMECA** es una función que transforma las concentraciones de los contaminantes de p.p.m. (partes por millón) a una unidad de fácil interpretación por la población en general. En el IMECA se establece que el nivel máximo, según la Norma Oficial Mexicana, donde el ciudadano pueda desenvolverse sin que se vea afectada su salud, sea igual a 100 IMECAS. (IMECA: Índice Metropolitano de Calidad del Aire).

Tabla No.31
Concentraciones de referencia

CONTAMINANTE	100 PUNTOS IMECA	500 PUNTOS IMECA
Monóxido de Carbono	11 ppm	50 ppm
Dióxido de Nitrógeno	0.21 ppm	2 ppm
Dióxido de Azufre	0.13 ppm	1 ppm
Ozono	0.11 ppm	0.6 ppm
PM-10	150 µg/m ³	600 µg/m ³

Tabla No.32

Normas de calidad del Aire medidas por la red automática del SIMA

Contaminante	Norma	Concentración	Tiempo de exposición
Monóxido de carbono	NOM-020-SSAI-1993	11 ppm	8 horas
Dióxido de nitrógeno	NOM-023-SSAI-1993	0.21 ppm	1 hora
Dióxido de azufre	NOM-021-SSAI-1993	0.13 ppm	24 horas
Ozono	NOM-022-SSAI-1993	0.11 ppm	1 hora
PM-10	NOM-025-SSAI-1993	150 µg/m ³	24 horas

8.3.4 Diagnóstico de la calidad del aire 1993-1996 en relación con el material particulado en las diversas zonas del área metropolitana de Monterrey⁴⁸

Se ha observado que las partículas menores a 10 micras presentan mayores concentraciones durante el periodo de las 8:00 a las 16:00 horas, y se asocia a una mayor actividad humana e industrial. El valor de la medición de las partículas se incrementa durante el periodo invernal ya que las condiciones climáticas no favorecen la dispersión de los contaminantes. Otra observación importante que ha registrado el SIMA es el incremento de la concentración de partículas menores a 10 micras cuando la dirección del viento cambia, de la habitual que es del este, a una predominante del norte-noroeste. Esto se asocia al impacto de fuentes de partículas ubicadas al poniente del área metropolitana de Monterrey.

De acuerdo a los reportes del SIMA, el contaminante que se mantuvo durante un mayor número de horas sobre la norma de calidad del aire, resultó ser las partículas menores a 10 micras. Se considera como una "hora sobre la norma", aquella hora en la cual el valor en puntos IMECA de uno o más de los cinco contaminantes monitoreados por el SIMA, en una o más de las cinco estaciones de monitoreo, excede el valor de 100, es decir, excede la norma de calidad de aire respectiva.

48

Subsecretaría de Ecología del Estado de Nuevo León/SEMARNAP/INE (1997). Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey, 1997-2000. Monterrey, México.

El comportamiento de las concentraciones máximas de partículas sigue un patrón que marca un considerable ascenso durante los meses de invierno y una disminución notable durante los meses de primavera y verano. Los resultados reportados por el SIMA, al efectuar la comparación entre los años de 1994 a 1996 relacionados con el material particulado, existe una tendencia descendente del número de horas sobre la norma: en 1995 y 1996, este número se redujo en más de un 50% con respecto a 1994.

Un análisis por zona relacionado con el material particulado, efectuado por el SIMA, en cada una de las estaciones de monitoreo, determinó que en la zona noroeste existe una predominancia de las partículas menores a 10 micras, sobre todo durante los meses invernales, cuando se presentan los mayores índices de contaminación. Incluso se asocia la generación de partículas, en parte, con los procesos de extracción de piedra caliza en las sierras de las Mitras y de San Miguel.⁴⁹

Asimismo, debido a que el problema de la contaminación por partículas es el más importante en el área metropolitana de Monterrey, se efectuó un estudio de caracterización de partículas menores de 10 micras para identificar las principales fuentes de emisión de las mismas. A continuación se presenta un resumen de dicho estudio reportado en el Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000.

Caracterización de partículas

Mediante el análisis de muestreos de partículas menores a 10 micras suspendidas en el aire, y haciendo uso de un modelo receptor de balance químico de masa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, se determinó, mediante la medición directa de la composición química de las partículas suspendidas en el área de interés, las fuentes más probables de emisión de las mismas.

⁴⁹

Subsecretaría de Ecología del Estado; INE; SEMARNAP. (1997). Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey. pag.49.

El análisis químico efectuado determinó que, de las especies químicas medidas las más predominantes fueron el ión sulfato (SO_4^-), el carbono orgánico, el calcio (Ca), el azufre (S), el ión amonio (NH_4^+), el ión carbonato (CO_3^-) y el ión nitrato (NO_3^-). Los niveles más elevados de carbonato se encontraron en la zona noroeste con un 4.8% y los más bajos en la zona sureste con un 2.2%, lo que, según el reporte del Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey, indica actividades de procesamiento mecánico de caliza.

El mismo análisis incluyó la construcción de un conjunto de perfiles de fuente de manera que el modelo de balance químico de masa fuera capaz de identificar las aportaciones de partículas entre las categorías siguientes:

1. Corteza terrestre (tipo de carbonato de calcio y sin carbonato de calcio)	6. Alto contenido en calcio
2. Combustión miscelánea	7. Vehículos a motor (gasolina y diesel)
3. Sulfato de amonio	8. Alto contenido en hierro
4. Nitrato de amonio	9. Alto contenido en zinc
5. Aceite residual	10. Industria del vidrio

Se encontró que estas diez categorías explicaron adecuadamente la composición química del 80% de las muestras tomadas para este estudio.

Y precisamente las aportaciones más importantes se deben a la categoría de corteza. Las contribuciones a esta categoría por zona de monitoreo estuvieron en el intervalo del 36% al 54%, con un máximo en la zona noroeste y un mínimo en la zona suroeste. El tipo de carbonato de calcio de esta categoría fue similar en todas las zonas monitoreadas con una aportación del 9.0% al 11.4% en masa.

Sólo en raras ocasiones se encontró contribución a la categoría de alto contenido de calcio debido a que su presencia se explicó adecuadamente en la categoría de corteza terrestre.

De manera global, los resultados obtenidos por el citado estudio, indicaron que, en promedio, un 47% de partículas de diámetro menor a 10 micras proviene de la corteza terrestre, un 22% de fuentes de combustión diversas (sin incluir a los vehículos automotores), un 21% resultó ser sulfato de amonio, y un 5% se identificó como nitrato de amonio.

Es indispensable aclarar que, durante el periodo de muestreo para efectuar el citado análisis, se registraron vientos del este y sureste con velocidad moderada de 10 km/hr a 14 km/hr. La temperatura promedio fue de 27°C y se registraron lluvias de dos a cinco días en este tiempo, dependiendo de la situación de la estación de monitoreo. De esta información se puede concluir que las operaciones de extracción de caliza no impactaron notablemente en las mediciones de las estaciones de monitoreo. La temperatura provocó la formación secundaria de partículas y la lluvia provocó que los niveles de partículas menores a 10 micras se redujeran.

Estimación de la emisión de partículas en fuentes fijas industriales⁵⁰

Se realizó una evaluación de las emisiones provenientes de fuentes industriales y de las causadas por resuspensión de partículas. Dicho estudio concluyó que en total, las fuentes industriales en el área metropolitana de Monterrey emiten por año 98,772 toneladas de partículas menores a 10 micras; 60,432 toneladas de óxidos de nitrógeno; 100,776 toneladas de bióxido de azufre; 28,836 toneladas de monóxido de carbono y 20,280 toneladas de hidrocarburos.

En el caso especial de las plantas de procesamiento de caliza, el estudio estimó que la emisión de partículas suspendidas totales al año son de 36,080 toneladas para una producción anual típica a 61,110 toneladas para una producción máxima, mientras que las emisiones de partículas menores a 10 micras ascienden a valores comprendidos entre 5,330 a 8,980 toneladas, respectivamente. El estudio determinó también que las fuentes de emisión que más aportan son el transporte y manejo de material (35%), la molienda y

50

Subsecretaría de Ecología del Estado de Nuevo León/SEMARNAP/INE (1997). Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey, 1997-2000. Monterrey, México.

el tamizado de la materia prima (31%), las caídas de material (21%) y las bandas transportadoras (4%). (Compárese con datos del Capítulo 5 Fuentes de Contaminación: "Emisiones a la atmósfera").

Las emisiones por resuspensión de partículas ocurren cuando los vehículos transitan sobre calles pavimentadas o no pavimentadas. Para realizar la estimación de estas emisiones se tomaron en cuenta los datos existentes de los kilómetros viajados por autobuses y automóviles en calles pavimentadas y en las no pavimentadas, utilizando factores de emisión desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. El análisis concluyó que se emiten 23,353 toneladas/año de partículas menores a 10 micras por resuspensión, siendo, después de la industria de minerales no-metálicos, la segunda fuente de partículas. Las emisiones por calles sin pavimentar aportan el 91% de las partículas.

Estimación de la emisión de partículas por fuentes naturales⁵¹

Las principales fuentes naturales de contaminación del aire fueron identificadas en la forma de:

- Terrenos planos desprovistos de vegetación.
- Construcciones en laderas.
- Areas no urbanizadas sin pavimentar.
- Terrenos agrícolas temporaleros.
- Zonas de extracción.

La mayoría de ellas se encuentran localizadas en los sectores del poniente del área metropolitana de Monterrey.

La evaluación de la contribución de la fuentes naturales a la contaminación del aire muestran que los sectores oeste y noroeste contribuyen con el mayor tonelaje de partículas y los mayores factores de emisión de partículas del suelo tanto totales como aquellas menores a 10 micras. Los tipo de uso de suelo más importantes en esta

51

Programa de Administración de la Calidad del Aire del AMM 1997-2000.

contribución son las colonias conurbadas o asentamientos irregulares, construcciones en laderas, terrenos planos sin vegetación y la agricultura de temporal. Se estimó una emisión de 12,195 toneladas/año de partículas menores a 10 micras por erosión del suelo. El 27.5% del total de las emisiones fue en áreas donde se localizan asentamientos humanos irregulares; en áreas de construcción y pendientes pronunciadas se emite el 24.8% del total de las partículas; las áreas agrícolas aportan el 23.8%; al matorral nativo se debe el 11.4%; las áreas planas sin cubierta contribuyen con el 10.9%; el pasto inducido con el 1.3% y las minas abandonadas con el 0.4%.

Tabla No.33
Inventario de emisiones de PST para el AMM 1995

Sector	PST (Ton/año)	%
Industria	45,946	6.00
Servicios	16	N/S
Transporte	5,941	1.00
Suelos y vegetación*	763,725	93.00
TOTAL	815,628	100.00

Fuente: Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000.

* Emisiones No estimadas

N/S: No Significativo

El inventario de emisiones desagregado para el área metropolitana de Monterrey para el año de 1995, el tipo de fuente industrial, en la rama de minerales no metálicos, se estima una generación de 42,898 toneladas al año de partículas suspendidas totales (PST), equivalentes al 5.26 % del total; en tanto la emisión de PST por suelo y vegetación, específicamente en el renglón de suelos, la generación es de 763,725 toneladas al año, equivalentes al 93.64% del total.

Tabla No.34
Inventario de emisiones de PST desagregado para el AMM, 1995

Tipo de Fuente	PST	%
INDUSTRIA (1)		
Generación de energía eléctrica	308	0.04
Refinación de petróleo/petroquímicas	9	0.00
Industria química	1,169	0.14
Minerales metálicos	186	0.02
Minerales no metálicos	42,898	5.26
Productos vegetales y animales	21	0.00
Madera y derivados	42	0.01
Productos de consumo alimenticio	23	0.00
Productos de consumo varios	70	0.01
Productos metálicos	126	0.02
Productos de consumo de vida media	741	0.09
Productos de consumo de vida larga	353	0.04
Artes Gráficas	No Aplica	No Aplica
SERVICIOS (2)		
Lavado y desengrase	No Aplica	No Aplica
Consumo de solventes	No Aplica	No Aplica
Almac y distribución de combustibles	No Aplica	No Aplica
Mercadeo y distribución de gas LP	No Aplica	No Aplica
Oper. de lavado en seco (tintorerías)	No Estimado	No Estimado
Superficies arquitectónicas	No Estimado	No Estimado
Panaderías	No Estimado	No Estimado
Pintura automotriz	No Estimado	No Estimado
Pintura de tránsito	No Estimado	No Estimado
Esterilización en hospitales	No Aplica	No Aplica
Uso de asfalto	No Estimado	No Estimado
Combustión residencial	14	No Significativo
Combustión comercial/institucional	2	No Significativo
TRANSPORTE (3)		
Autos particulares	581	0.07
Pick-up	737	0.09
Taxis	80	0.01
Camiones pasajeros	2,943	0.36
Camiones de carga	1,596	0.20
Motocicletas	4	No Significativo
Aeropuerto	No Aplica	No Aplica
SUELOS Y VEGETACION (4)		
Suelos	763,725	93.64
Vegetación	No Aplica	No Aplica
TOTAL	815,628	100%

(1) INE.- Inventario 1995 de Fuentes Industriales

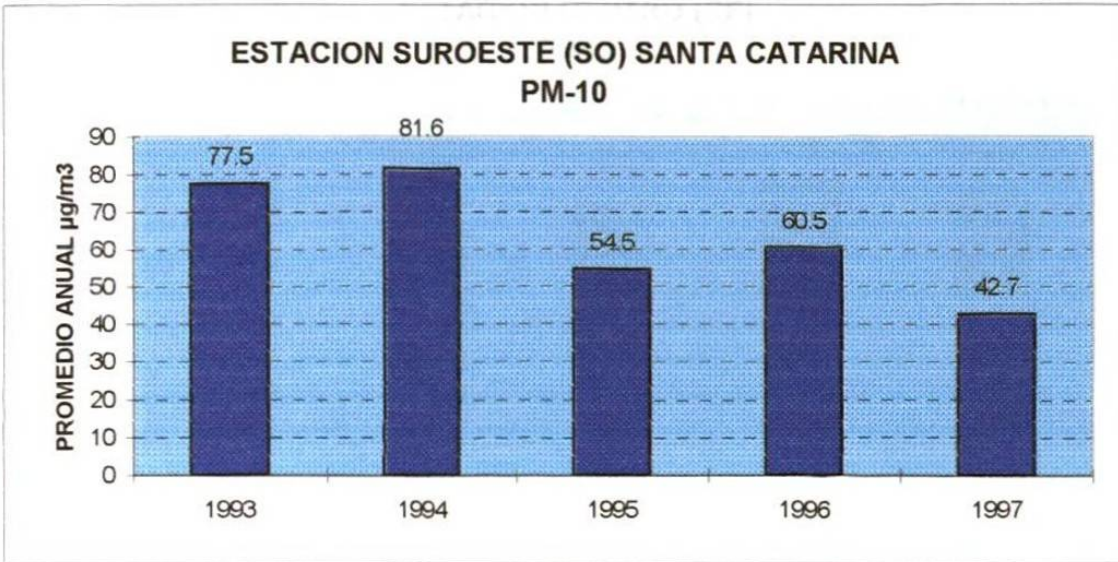
(2) INE.- Realizado para 1995, con factores de emisión per cápita

(3) Realizado con factores de emisión del estudio Estimación del Inventario de Fuentes Móviles para Monterrey, N.L. preparado por la Subsecretaría de Ecología de Monterrey, N.L., 1995.

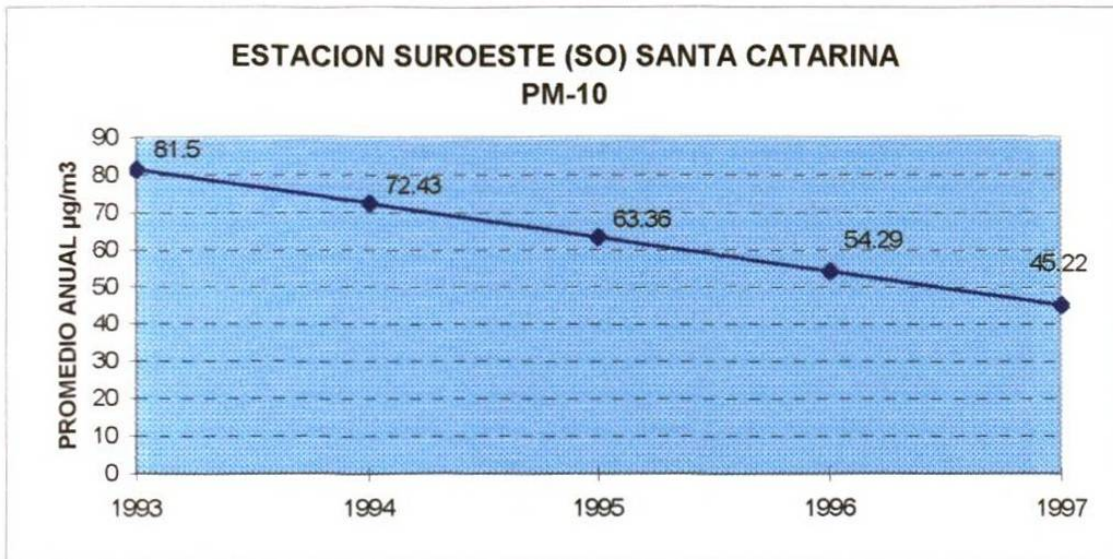
(4) Con datos del Estudio de Emisiones de Partículas y Opciones de Control para los Bancos de Piedras Cantera en el Área Metropolitana de Monterrey preparado por la Subsecretaría de Ecología de Monterrey, N.L., 1995.

De acuerdo con este último inventario de emisión de partículas, las principales fuentes de emisión de las mismas son de tipo industrial y debidas a la erosión del suelo.

Como complemento al diagnóstico de la calidad del aire en el área metropolitana de Monterrey, relacionada con la contaminación por material particulado, en las diversas zonas del área metropolitana de Monterrey, se presentan una serie de gráficas que muestran el comportamiento de los índices de contaminación por material particulado menor a 10 micras, en los diversos rumbos de la ciudad en donde el SIMA cuenta con estaciones de monitoreo. Los datos fueron proporcionados por la Subsecretaría de Ecología del Estado, y proporcionan información sobre PM10, del periodo de 1993 a 1998.

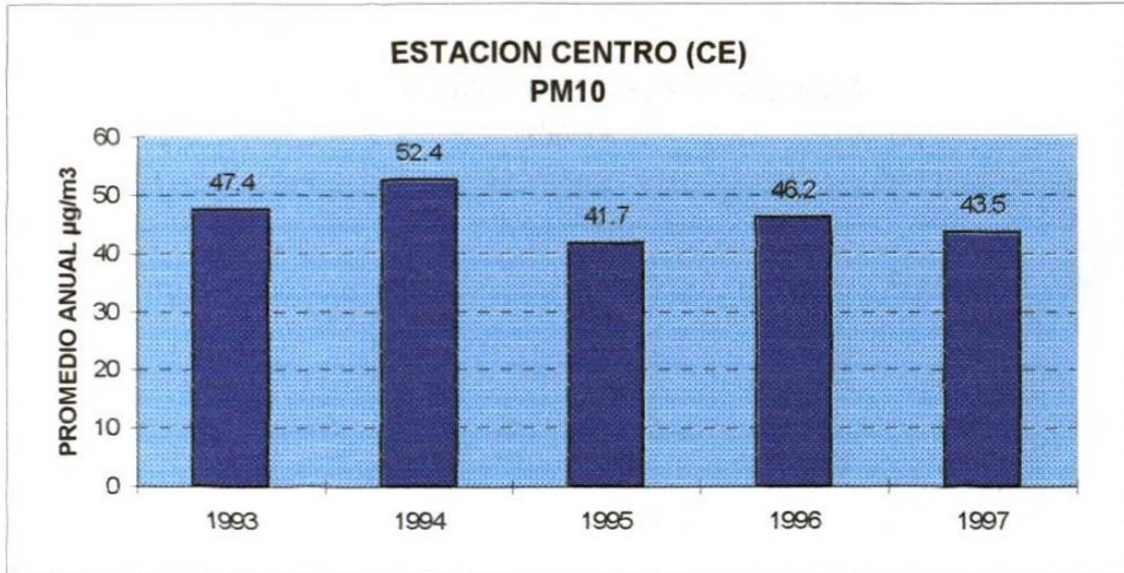


Fuente: Datos proporcionados por SIMA

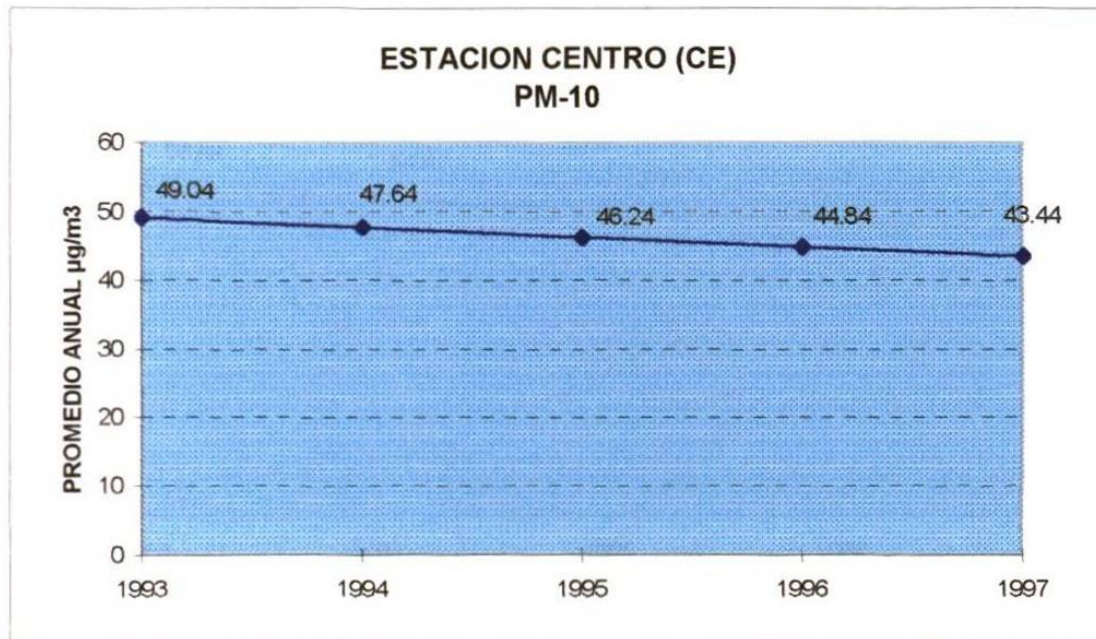


TENDENCIA

Fig. No.21 Estación Santa Catarina

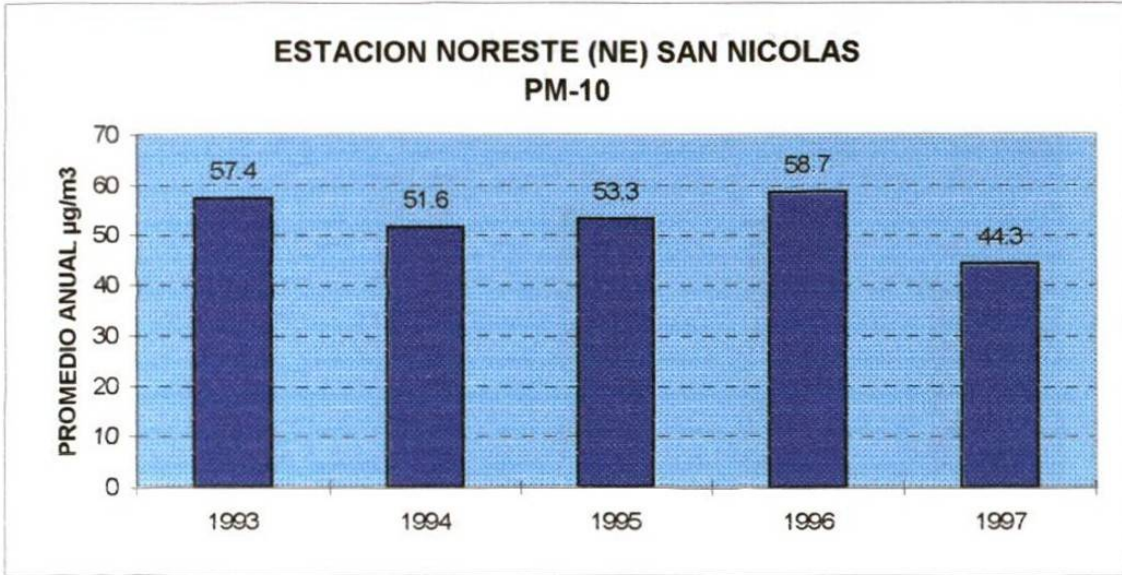


Fuente: Datos proporcionados por SIMA

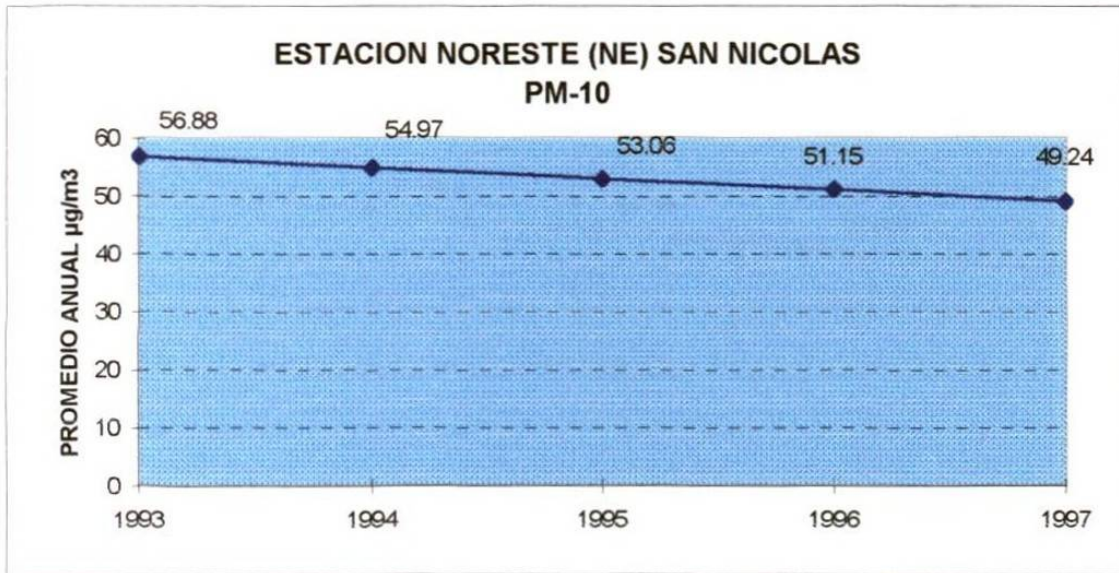


TENDENCIA

Fig. No.22 Estación Centro

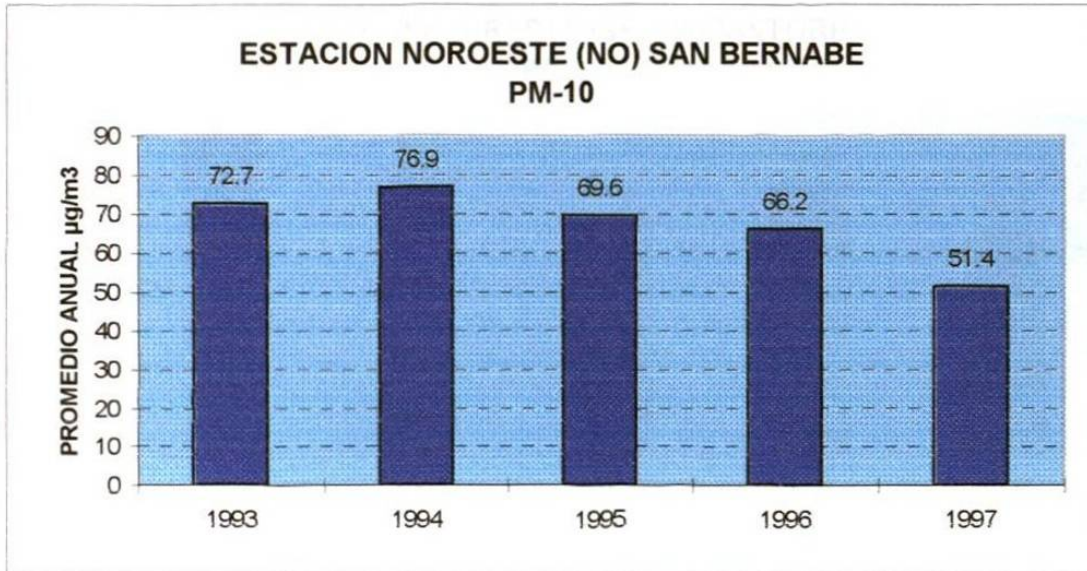


Fuente: Datos proporcionados por SIMA

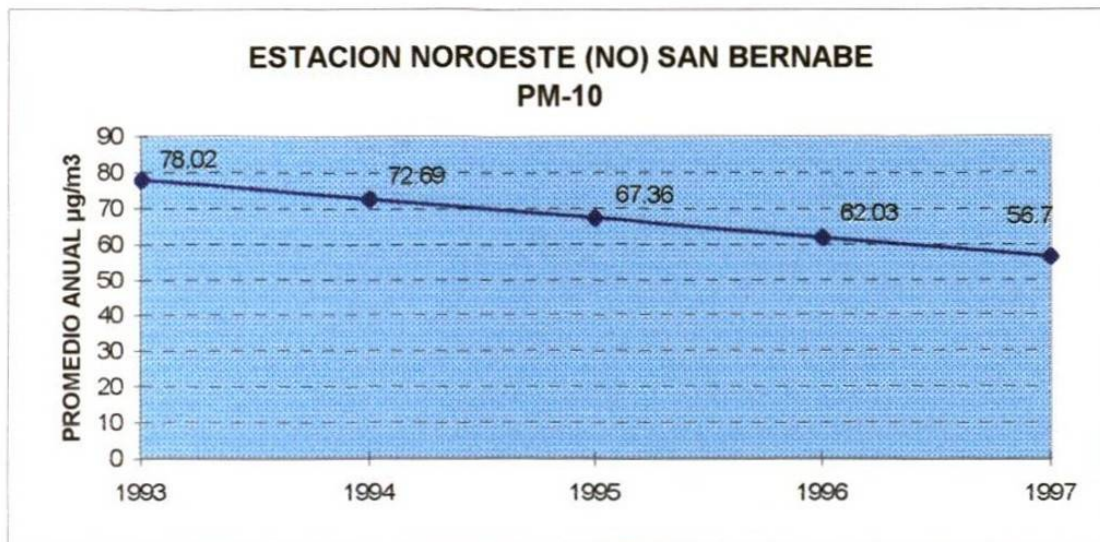


TENDENCIA

Fig. No.23 Estación San Nicolás



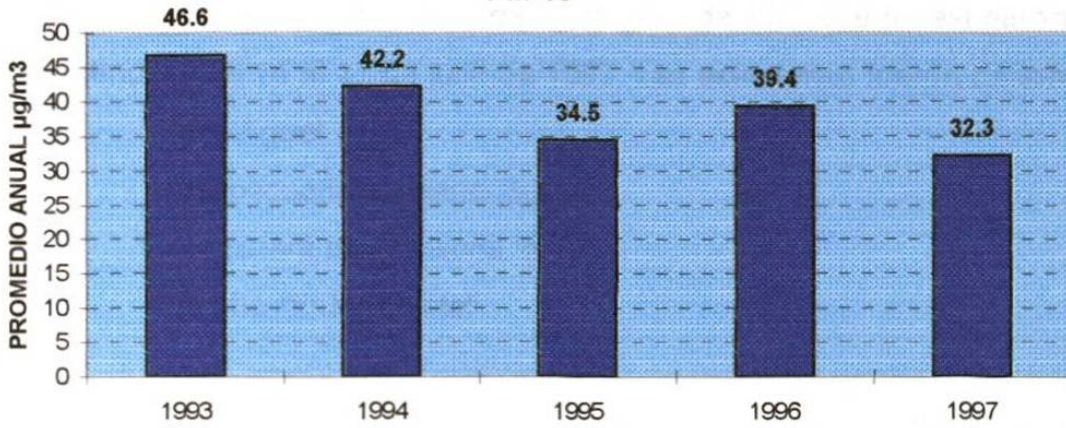
Fuente: Datos proporcionados por SIMA



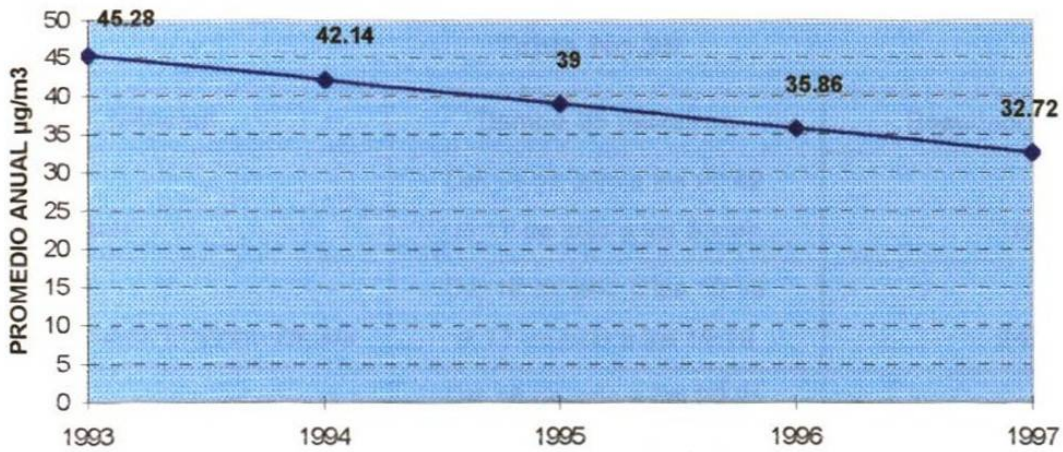
TENDENCIA

Fig. No.24 Estación San Bernabé

ESTACION SURESTE (SE) LA PASTORA
PM-10



ESTACION SURESTE (SE) LA PASTORA
PM-10



TENDENCIA

Fig. No.25 Estación La Pastora

8.4 CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO DE LA SIERRA DE SAN MIGUEL

El Departamento de Ingeniería Ambiental llevó a cabo un muestreo de Partículas Suspendidas Totales en la Zona de Amortiguamiento de las pedreras de la Sierra de San Miguel, en Escobedo, N.L.

Fueron instaladas cuatro estaciones de monitoreo de PST que muestrearon, durante 24 horas continuas, del 16 al 17 de julio de 1997. Las estaciones fueron denominadas:

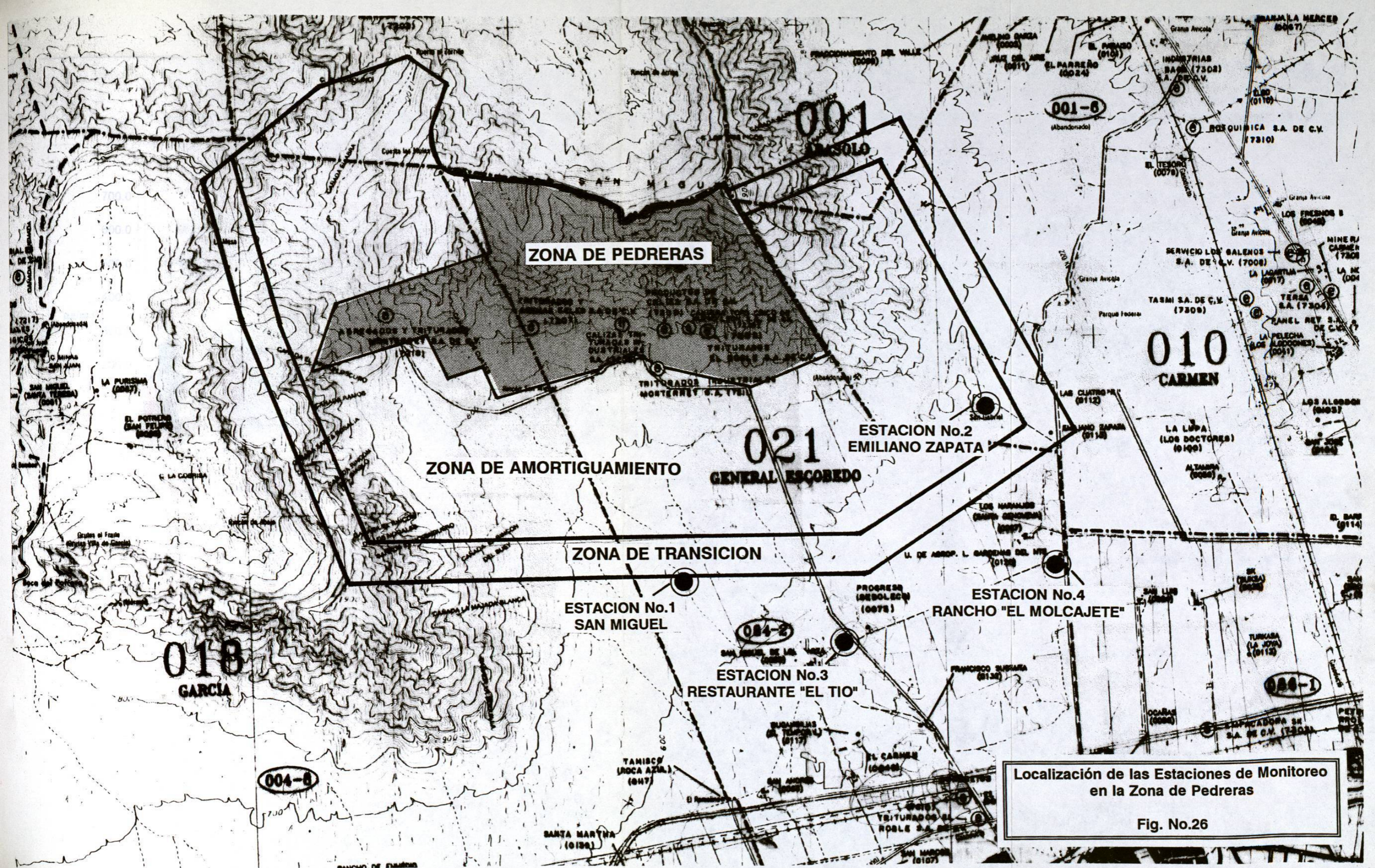
- a) San Miguel
- b) Agropecuaria Emiliano Zapata
- c) Restaurant de Mariscos "El Tío"
- d) Rancho "El Molcajete"

La siguiente figura muestra la ubicación aproximada de cada una de las estaciones en la citada zona.

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos por dicho monitoreo en la periferia de la Zona de Amortiguamiento de las pedreras:

Tabla No.35

Estación	Tiempo de muestreo	Resultado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1. San Miguel	Del 16 de julio a las 20:42 al 17 de julio a las 20:34	165.9
2 Agropecuana Emiliano Zapata	Del 16 de julio a las 19:19 al 17 de julio a las 19:19	247.6
3 Restaurante "El Tío"	Del 16 de julio a las 20:21 al 17 de julio a las 20:21	315.4
4 Rancho "El Molcajete"	Del 16 de julio a las 19:49 al 17 de julio a las 19:49	699.6



ZONA DE PEDRERAS

ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

ZONA DE TRANSICION

**ESTACION No.1
SAN MIGUEL**

**021
GENERAL ESCOBEDO**
**ESTACION No.2
EMILIANO ZAPATA**

**ESTACION No.3
RESTAURANTE "EL TIO"**

**ESTACION No.4
RANCHO "EL MOLCAJETE"**

**Localización de las Estaciones de Monitoreo
en la Zona de Pedreras**
Fig. No.26

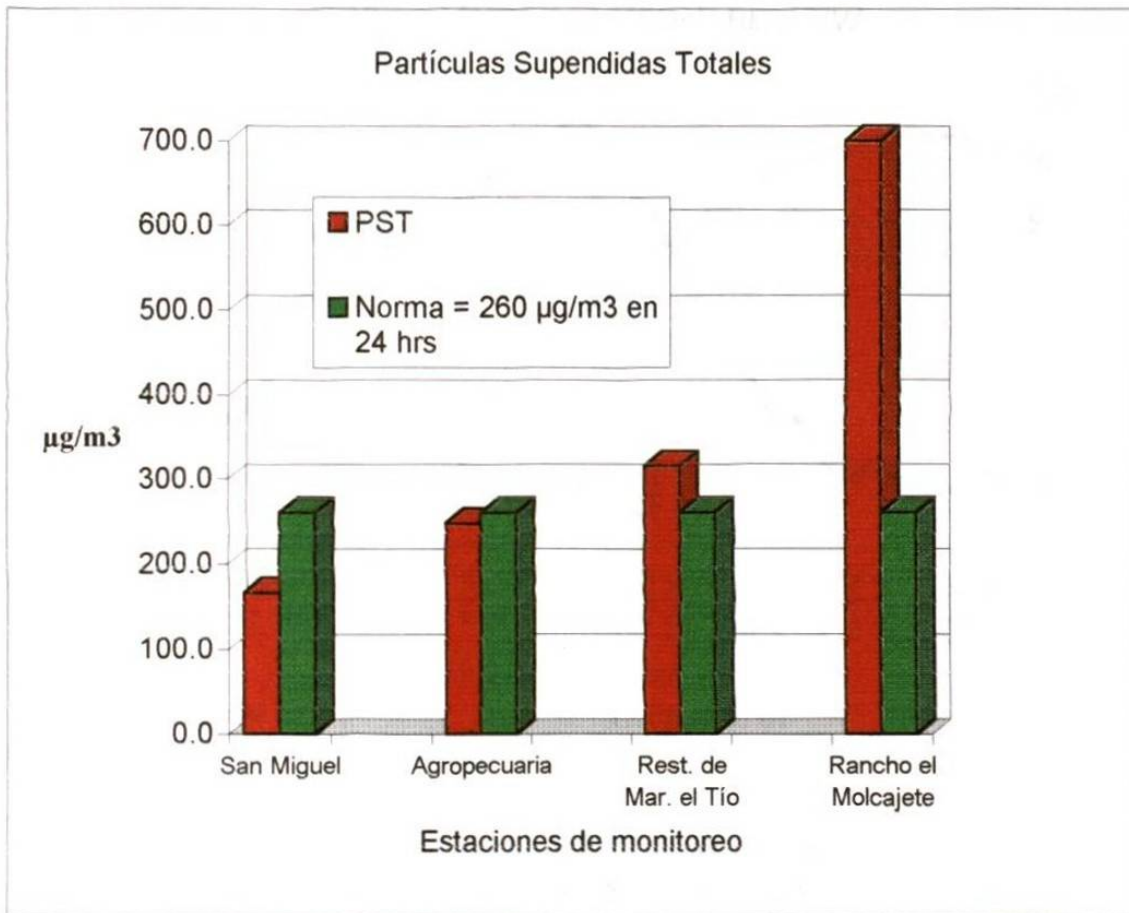
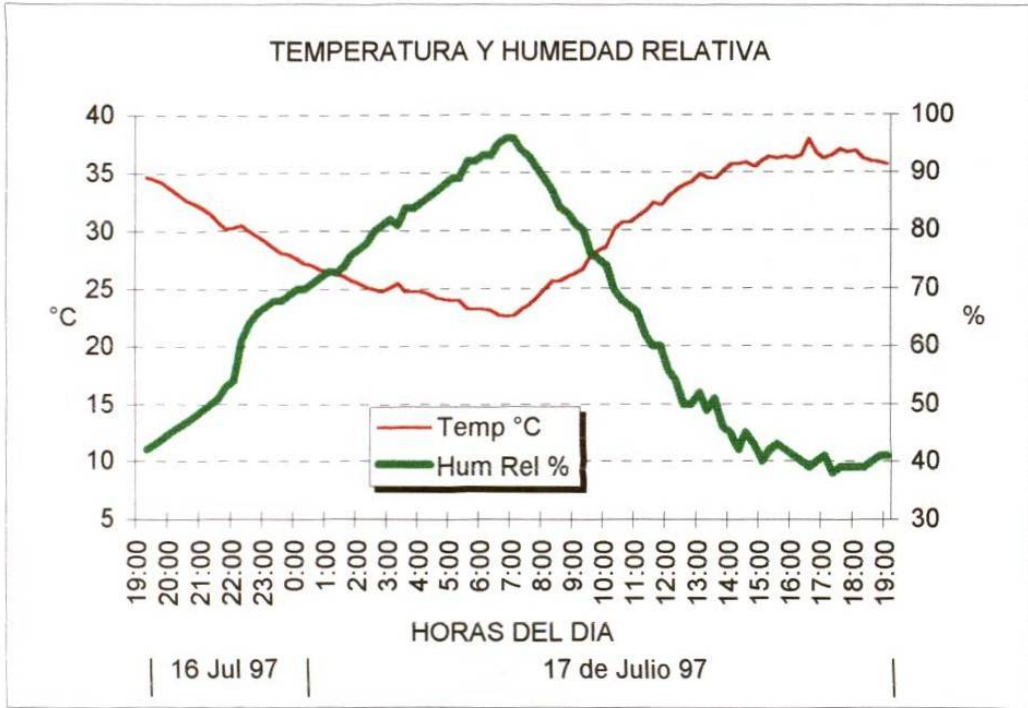


Fig. No.27 Gráfica de Partículas Suspendidas Totales



**ESTADISTICA DE METEOROLOGIA
MEDICIONES CADA 15 MINUTOS**

	Máximo	Mínimo	Promedio
Velocidad de viento mts/seg	8.3 a las 22:15 Hrs	0.0 a las 21:45 Hrs	3.0
Temperatura °C	37.9	22.6	30.3
Humedad Relativa %	96.0	38.0	62.7

Fig. No.28 Datos de Meteorología Estación Restaurant "El Tío"

ROSA DE VIENTOS
· DEL 16 DE JULIO 1997 A LAS 19:15 HRS
AL 17 DE JULIO 1997 A LAS 21:00 HRS
ESTACION UBICADA EN EL REST. MARISCOS EL TIO
CARRETERA A LAS PEDRERAS, ESCOBEDO, N.L.

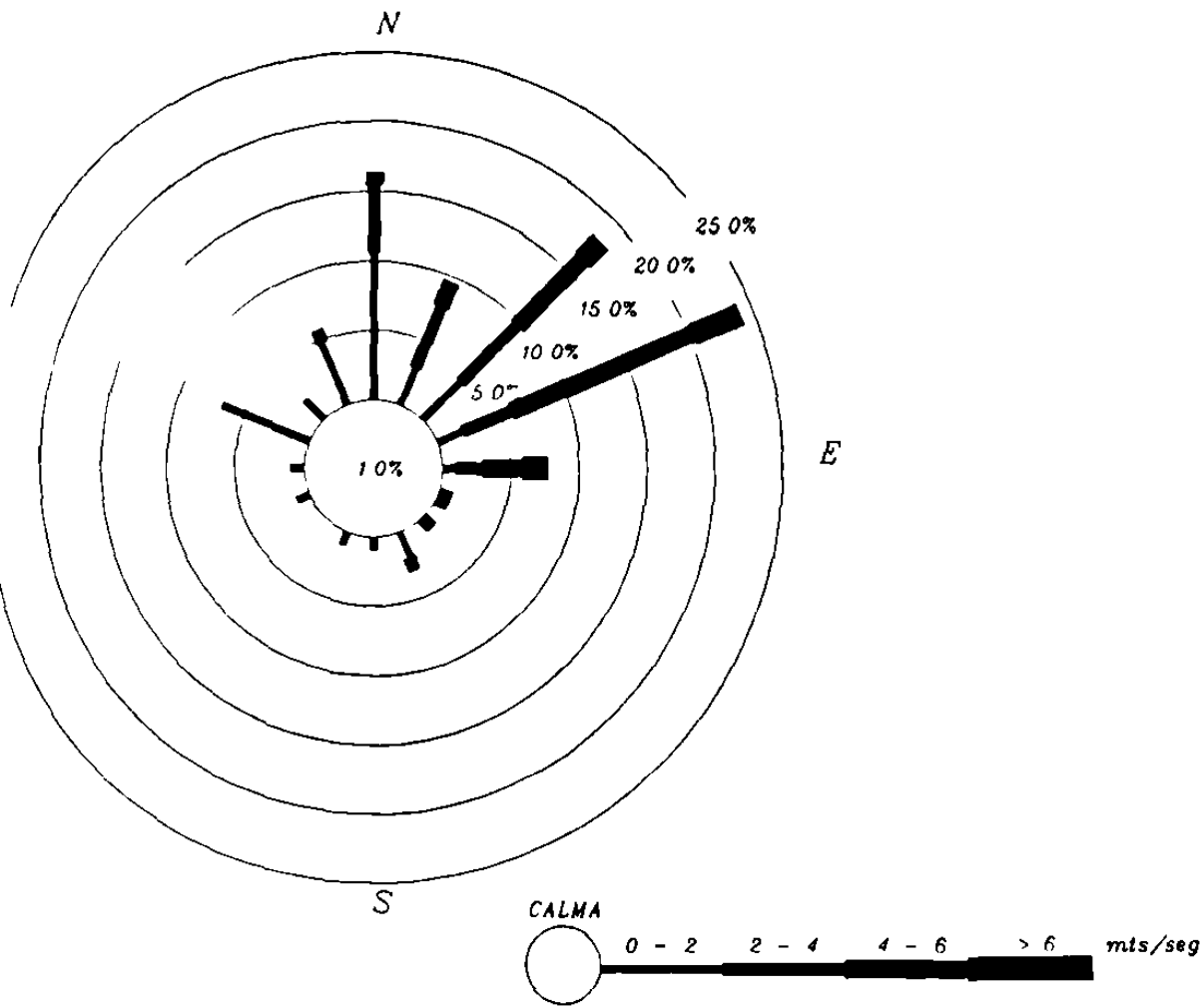


Fig. No.29 Rosa de vientos, Estación "Restaurante El Tío"

Los resultados indican que dos de las cuatro estaciones de monitoreo localizadas dentro de la zona de amortiguamiento se encontraron fuera de norma en cuanto a los límites permisibles de calidad del aire relacionados con PST: la estación denominada "Restaurant de Mariscos El Tío" y el "Rancho El Molcajete". Existe una explicación bastante lógica del alto valor de PST en dichos lugares: en el caso de la estación "El Tío", la misma se ubicó sobre la carretera a las pedreras, camino pavimentado sumamente utilizado, por ser la vía única, por donde los camiones de carga continuamente suben por material pétreo para transportarlo hacia donde se requiera.

En el caso de la estación "Rancho El Molcajete", la alta concentración de PST se explica, en gran parte, debido a la presencia de un camino vecinal, sin pavimentar, utilizado por los residentes de las localidades del área. La zona, además de presentar erosión del suelo, el mismo se encontraba sumamente seco, ya que el monitoreo se efectuó en la temporada de sequía, lo que propiciaba también la presencia de continuas tolvaneras en el área.

También es importante recalcar que el monitoreo se efectuó sólo por un día, dentro de la zona de amortiguamiento lo que, definitivamente, no puede tomarse como representativo de la realidad en lo que a la calidad del aire se refiere. Es sabido, como se ha mencionado anteriormente, que es indispensable efectuar un monitoreo continuo en un periodo mayor, ya que las condiciones meteorológicas del sitio son diferentes durante las diversas estaciones del año, por lo que los valores que se obtendrán a lo largo del mismo, serían, quizás, muy diferentes. Incluso, las condiciones topográficas del sitio son determinantes en la medición de los valores de material particulado del área. Es muy factible encontrar, incluso, diferentes concentraciones de material particulado, a lo largo del día, dependiendo de la dirección del viento, las condiciones topográficas, las condiciones meteorológicas, etc.

Es indispensable, pues, un estudio concienzudo de la calidad del aire en la zona de amortiguamiento que permita determinar si la concentración de material particulado no sobrepasa los límites establecidos para la calidad del aire en nuestro país, en detrimento de la salud de los habitantes aledaños, e incluso, del mismo personal que labora dentro de la zona de pedreras.

Capítulo 9

EFECTOS CAUSADOS POR MATERIAL PARTICULADO EN EL AMBIENTE

9.1 INTRODUCCION

La presencia de partículas como contaminantes del aire conllevan una serie de efectos negativos, entre los que se cuentan, de manera general⁵²:

- Incremento en las reacciones químicas en la atmósfera.
- Reducción de la visibilidad.
- Aumento de la posibilidad de la precipitación, la niebla y las nubes.
- Reducción de la radiación solar, con los consiguientes cambios en la temperatura ambiental y en las tasas biológicas de crecimiento de las plantas.
- Ensuciamiento de las materias del suelo.
- Riesgo para los pulmones.

La magnitud del problema en cada una de las áreas anteriores es una función de:

- 1) el valor del tamaño de las partículas presentes en la atmósfera local,
- 2) la concentración de las partículas, y
- 3) la composición física y química de las partículas.

9.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD

Las partículas en forma de polvo, humo y aerosoles pueden tener un efecto en la salud a corto y largo plazos. Estos efectos van desde irritación de los ojos y garganta, a la reducción de la resistencia a infecciones, y pueden dar origen a enfermedades respiratorias crónicas. Por ejemplo, las partículas de polvo transportadas por el viento pueden contener PCB's y pesticidas.

Datos epidemiológicos han demostrado que la exposición a partículas se asocia con una incidencia mayor de enfermedades respiratorias, bronquitis crónica, bronco-constricción,

⁵² Wark, Kenneth y Warner, Cecil F. (1990) Contaminación del Aire. Origen y Control. Limusa. México.

decremento en las funciones pulmonares y aumento de las tasas de mortalidad. Entre los efectos adversos asociados con exposiciones cortas a partículas en suspensión se encuentra el aumento de ataques de asma.

Las partículas más comunes que se encuentran en la atmósfera son de naturaleza inorgánica no tóxica. Estas partículas penetran al cuerpo humano por vía respiratoria. El sistema respiratorio tiene diferentes niveles de defensa contra la invasión de material extraño. Las partículas grandes son eliminadas de la corriente de aire a nivel de fosas nasales. Sin embargo, en la gama de tamaños inferiores a aproximadamente $10\ \mu\text{m}$, la velocidad de sedimentación es insignificante comparada con el movimiento producido por el viento y la turbulencia del aire. Estas partículas tienden a permanecer en suspensión durante periodos de horas o días hasta que son eliminadas por el impacto con superficies o la difusión sobre las mismas, o son barridas por la lluvia. Son estas partículas en suspensión las más importantes en relación con la salud humana no sólo porque permanecen en la atmósfera más tiempo que las partículas más grandes, sino porque también son suficientemente pequeñas para ser inhaladas y penetrar profundamente en las vías respiratorias⁵³. Dichas partículas se depositan en los pulmones disminuyendo la capacidad de transporte de oxígeno al torrente sanguíneo y provocando insuficiencia respiratoria, con frecuencia seguida de un esfuerzo cardiaco y muerte prematura.

Los daños a los órganos respiratorios pueden presentarse directamente, ya que se ha estimado que más del 50% de las partículas entre 0.01 y $0.1\ \mu\text{m}$ que penetran en las cavidades pulmonares se depositarán allí.

El aparato respiratorio está formado por diversas estructuras que corresponden a la nariz, la boca, la tráquea, bronquios, bronquiolos, bronquiolos terminales, alvéolos y acinos pulmonares. Con respecto al depósito en las vías respiratorias y a la depuración de los

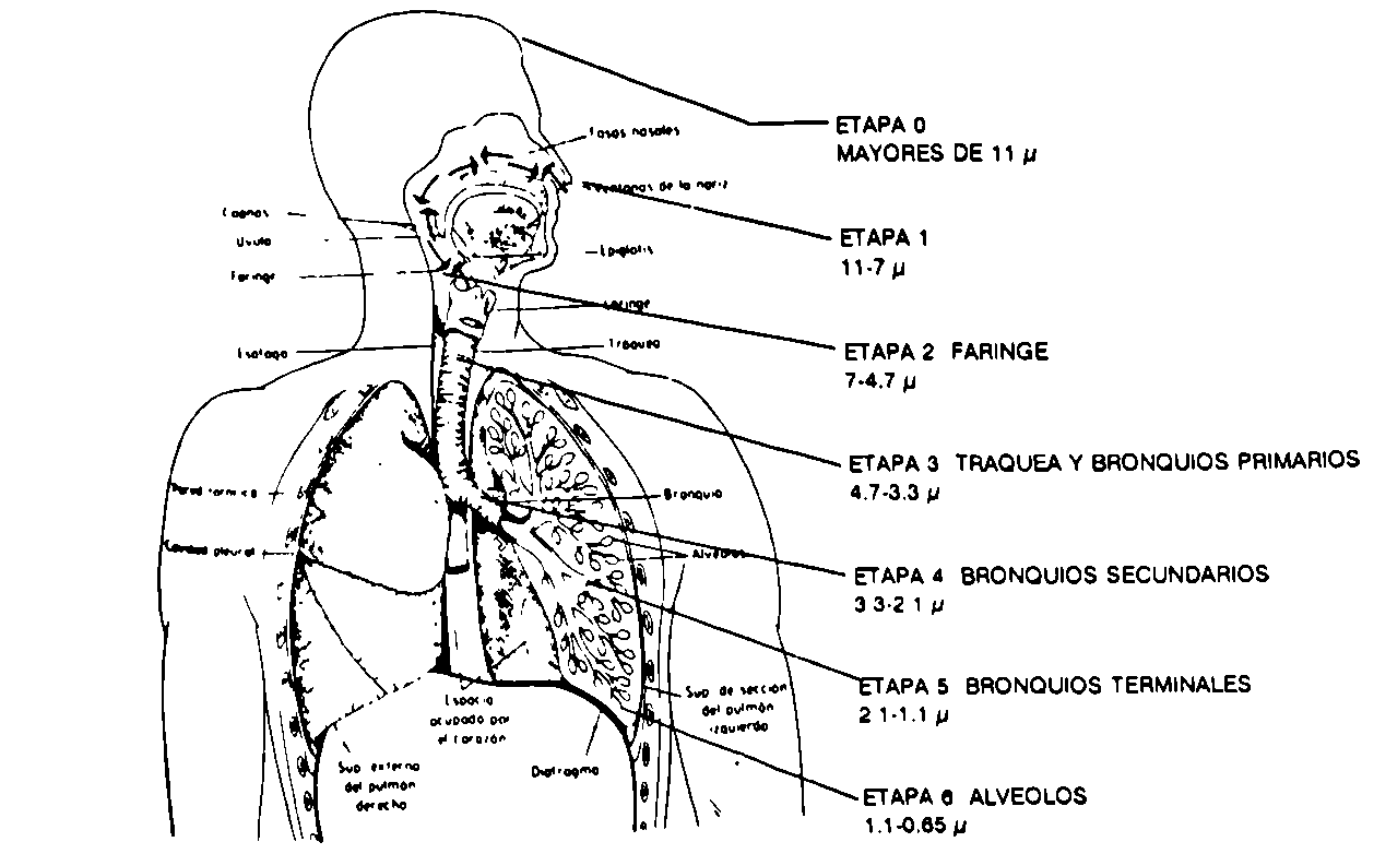
53

Subsecretaría de Ecología del Estado de Nuevo León; INE; SEMARNAP. (1997). Programa de Administración de la Calidad del Aire del Área Metropolitana de Monterrey 1997-2000. Monterrey, México.

aerosoles inhalados, se consideran tres grandes regiones ⁵⁴ :

1. Extratorácica, correspondiente a las vías que van desde las narinas hasta la epiglotis y laringe (incluyendo la boca cuando se trata de respiración oral);
2. Traqueobronquial, desde la tráquea hasta los bronquiolos terminales (es decir, la porción del aparato respiratorio con epitelio ciliado); y
3. Región pulmonar, que incluye el parénquima pulmonar, o sea los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares, los sacos alveolares y alvéolos, es decir, la región del intercambio gaseoso.

Figura No.30
El sistema respiratorio humano



El depósito de las partículas inhaladas en las vías respiratorias es un proceso y depende, tanto del modo de respirar, como de las características físicas de las partículas inhaladas.

Durante la respiración nasal, la mayor parte de las partículas superiores a 4 μm de diámetro aerodinámico, se depositan en las vías respiratorias, mientras que durante la respiración oral sólo se observa la impactación casi completa de partículas mayores de 10 μm . En ambos tipos de respiración, las partículas de gran tamaño tienden a depositarse en la región superior de la tráquea. Sin embargo del 20 al 30% de las partículas entre 5 y 10 μm , inhaladas durante la respiración oral, se depositan más abajo en la tráquea y bronquios. La penetración más profunda de las partículas ocurre cuando las personas respiran por la boca.

Las partículas pueden tener un efecto tóxico de una o más de las tres siguientes maneras:

1. La partícula puede ser intrínsecamente tóxica debido a sus características inherentes químicas y/o físicas.
2. La partícula puede interferir con uno o más de los mecanismos que despejan usualmente el aparato respiratorio.
3. La partícula puede actuar como un conductor a una sustancia tóxica absorbida.

La siguiente tabla presenta una cantidad limitada de datos sobre la relación entre la concentración de partículas y los efectos producidos.

Tabla No.36
Efectos observados de las partículas

EFECTOS OBSERVADOS DE LAS PARTICULAS		
CONCENTRACION	TIEMPO DE MEDICION	EFECTOS
60-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media geométrica anual, con SO_2 y humedad	Aceleración de la corrosión de las láminas de acero y zinc
75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual	Norma de calidad del aire ambiente
150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Humedad relativa menor del 70 por ciento	Visibilidad reducida a 5 millas
100-150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Luz solar directa reducida en un tercio
80-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con niveles de sulfatación de 30 $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$	Puede ocurrir un aumento en la tasa de mortalidad de personas mayores de 50 años
100-130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Con $\text{SO}_2 > 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Es posible que los niños experimenten un aumento en la incidencia de las enfermedades respiratorias
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 250 \mu\text{g}/\text{m}^3$	La morbilidad de los obreros industriales puede ser causa de un aumento en el ausentismo
260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Máximo una vez en cada 24 h	Norma de calidad del aire ambiente
300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maximo de 24 h y $\text{SO}_2 > 630 \mu\text{g}/\text{m}^3$	En los pacientes con bronquitis crónica puede que se presente empeoramiento agudo de los síntomas
750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Promedio de 24 h y $\text{SO}_2 > 715 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Puede ocurrir un número excesivo de muertes y un considerable aumento en las enfermedades.

FUENTE. Compendio de datos presentados en "Air Quality for Particulate Matter" de la National Air Pollution Control Administration, AP-49, Washington, DC.: HEW, 1969.

Es extremadamente difícil obtener una relación directa entre la exposición a varias concentraciones de partículas y los efectos resultantes sobre la salud del hombre. La longitud del tiempo de exposición es importante. Se ha observado en algunos casos que la exposición a las partículas en combinación con otros contaminantes, como el SO_2 , produce un mayor deterioro de la salud que la exposición separada a cada contaminante.

Históricamente, la evidencia más clara de una asociación entre contaminación del aire por óxido de azufre/partículas y la muerte, fue manifestada por una cantidad de episodios de contaminación aguda del aire, durante los cuales las condiciones meteorológicas desfavorables tuvieron como resultado varios días de estancamiento del aire y un aumento considerable en la concentración de los contaminantes atmosféricos. Un importante aumento en la mortalidad diaria tuvo lugar durante estos episodios, en primer término, entre personas ya afectadas con enfermedades cardíacas y respiratorias; aunque de igual modo fueron afectadas personas en buen estado de salud⁵⁵.

El análisis de diversos grupos de datos tienden a demostrar en mayor mortalidad general durante los días de mayor contaminación. Sin embargo, esta asociación entre contaminación del aire y la mortalidad diaria, no ha sido demostrada mediante una relación lineal simple; la presencia de otros determinantes de los cambios diarios de la mortalidad hace difícil identificar la concentración de contaminantes a la cual empieza a ocurrir un exceso de muertes.

Estudios sobre síntomas diarios de pacientes con enfermedades crónicas de obstrucción pulmonar, muestran una relación entre el grado de la enfermedad y las concentraciones de contaminantes del aire, a una relativamente alta concentración de dióxido de azufre y partículas contaminantes. Temperaturas bajas pueden ejercer un efecto mayor que la contaminación del aire. Los pacientes asmáticos parecen ser susceptibles a picos de concentración de contaminantes del aire, de corto plazo. Y un aumento en las crisis asmáticas, se han observado durante episodios en días con los niveles más altos de contaminación del aire por óxido de azufre/partículas y oxidantes fotoquímicos. La contaminación del aire puede aumentar la reacción del paciente asmático a otros estímulos. La sensibilidad de la persona asmática a estímulos externos, indica que una mayor concentración de la contaminación del aire, es uno de los muchos factores que pueden precipitar un ataque.

Se ha demostrado en animales la asociación entre contaminación del aire y el deterioro

55

Wark, Kenneth y Warner, Cecil F. (1990) "Contaminación del Aire, Origen y Control". Limusa. México.

de la resistencia a infecciones respiratorias. Una mayor incidencia de enfermedades respiratorias aguda en estudios humanos, está a favor de una probable asociación entre un aumento de las enfermedades agudas del tracto respiratorio bajo (bronquitis aguda, neumonías y otras enfermedades agudas del tórax) y la contaminación del aire.

Tabla No.37

Conclusiones de estudios epidemiológicos sobre el incremento de la mortalidad por exposición aguda a niveles ambientales de Partículas Suspendidas (PS) y Dióxido de Azufre (SO₂)

EFECTOS OBSERVADOS (Mortalidad)	PROMEDIO EN 24 HORAS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		AUTOR
	PS ^a	SO ₂	
Claro incremento en la mortalidad entre ancianos o personas con alteraciones respiratorias o cardíacas durante el periodo invernal de 1958-59 en Londres Aumento análogo en la mortalidad diaria en Londres durante los inviernos de 1958-59 a 1971-72	≥ 1000	≥ 1000	Martin y Bradley (1960); Martin (1964). Mazumdar <i>et al.</i> , (1981)
Algunos indicios de incremento en la mortalidad total durante el invierno de 1958-59, con una mayor confiabilidad (95% de int. de confianza) este incremento de PS y SO ₂ mayores de 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Indicios similares de incremento de la mortalidad durante los inviernos de Londres de 1958-59 a 1971-72; con mayor confiabilidad este incremento ocurrió con concentraciones mayores de 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo hay evidencia de pequeños incrementos en la mortalidad aún a concentraciones tan bajas como 150-200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	500 - 1000	500 - 1000	Martin y Bradley (1960) Mazumdar <i>et al.</i> , (1981)

^a Humo británico

Fuente: Air Quality criteria for particulate matter and sulfur dioxides. Vol.1. Research Triangle Park N.C. Environmental Protection Agency.1982.

Tabla No.38

Conclusiones de estudios epidemiológicos sobre el incremento de la morbilidad por exposición aguda a niveles ambientales de Partículas Suspendidas (PS) y Bióxido de Azufre (SO₂)

EFECTOS OBSERVADOS (Morbilidad)	PROMEDIO EN 24 HORAS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		AUTOR
	PS ^a	SO ₂	
Agravamiento del estado de salud en pacientes con bronquitis crónica durante los inviernos en Londres de 1955 a 1960	≥250-500	≥500-600	Lawther (1958) Lawther <u>et al.</u> , (1970)
Efectos no detectables en la mayor parte de los individuos con bronquitis, pero asociación positiva en individuos muy sensibles con bronquitis crónica durante el invierno de 1967-68 en Londres	<250	<500	Lawther <u>et al.</u> , (1970)

^a Humo británico

Tabla No.39

Resumen de estudios epidemiológicos sobre efectos de la morbilidad por exposición crónica a partículas suspendidas (PS) y bióxido de azufre (SO₂)

TIPO DE ESTUDIO	EFECTOS	PROMEDIO ANUAL ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			AUTOR
		PS ^a	PST	SO ₂	
Transversal (4 áreas)	Posible incremento de síntomas respiratorios bajos y disminución de la función respiratoria en niños	230-301		181-275	Lunn, <u>et al.</u> , (1967)
Longitudinal y transversal	Mejoría aparente en la función pulmonar de adultos en asociación con la disminución de las partículas en suspensión		180		Ferris, <u>et al.</u> , (1973-1976)
Longitudinal y transversal	Ausencia aparente de efectos y síntomas, sin disminución de la función pulmonar en adultos		80-131		Ferris, <u>et al.</u> , (1973-1976)

^a Humo Británico

FUENTE. Air quality criteria for particulate matter and sulfur oxides. Vol.1. US Research-Triangle Park, N.C. Environmental Protection Agency. 1982.

La combinación del bióxido de azufre y partículas suspendidas en la atmósfera, provoca los siguientes efectos:

- a) Corrosión
- b) Crecimiento forestal
- c) Entorno desagradable
- d) Efectos en la salud:
 - incremento en la mortalidad de los ancianos
 - bronquitis crónica
 - ataques de asma

Tabla No.40
Normas de Calidad del Aire

NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE EN PAISES SELECCIONADOS	
PAIS	PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES
Mexico	275 $\mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ hr}^*$
Estados Unidos	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ hr}$ 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3/(\text{mga})$
Italia	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ hr}$
Japón	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3/1 \text{ hr}$

mga. media geométrica anual

Fuente: Bravo, A.H. 1984.

* Actual: 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3/24 \text{ hr}$

Tabla No.41
Pautas de Calidad del Aire

PAUTAS DE LA ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS)	PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Promedio 24 hr	100 - 150
Promedio anual	40 - 60
<u>PAUTAS PARA EUROPA</u>	PST $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Promedio 24 hr	125 70 (partículas torácicas)
Promedio anual	50
24 h (vegetación)	100
Anual (vegetación)	30

Fuente: Kjellstrom, T. (1987). Pautas de la OMS para la calidad del aire. Taller Internacional sobre Criterios Normativos de la Calidad del Aire en la Ciudad de México. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.

Como se mencionó anteriormente, la unidad en la que se reporta la calidad del aire en la zona metropolitana de Monterrey es el Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA). Este índice se define en relación a las normas de calidad del aire, que se fijaron tomando como referencia niveles de concentración y tiempos de exposición de los contaminantes donde el ciudadano promedio puede desenvolverse sin que se afecte de manera significativa su salud. Los niveles normados para cada contaminante son diferentes, ya que la vulnerabilidad del ser humano es diferente ante cada tipo de contaminante. La norma de calidad del aire para PM-10 es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un tiempo de exposición de 24 horas. Para convertir las unidades de concentración de contaminante a unidades del índice de calidad del aire se toma como 100 puntos IMECA la concentración de contaminante señalada en la norma y como 500 puntos IMECA aquella concentración a la cual las personas sensibles presentan daños a la salud de manera inmediata. La siguiente tabla presenta los criterios de interpretación de los diferentes niveles del índice metropolitano de la calidad del aire.

Tabla No.42
Interpretación de los valores IMECA

Valor del IMECA	Significado
0 - 50	Situación muy favorable para todo tipo de actividades
51 - 100	Situación favorable para todo tipo de actividades
101 - 200	Aumento de molestias menores en personas sensibles
201 - 300	Aumento de molestias e intolerancias relativas al ejercicio en personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares. Aparición de ligeras molestias en la población en general
301 - 500	Aparición de diversos síntomas e intolerancia al ejercicio en la población en general

Fuente Programa de Administración de la Calidad del Aire del Area Metropolitana de Monterrey 1997-2000

9.3 EFECTOS SOBRE LOS MATERIALES, LA VEGETACION Y LOS ANIMALES

Las partículas arrastradas por el aire pueden ser en sí, o químicamente inertes o químicamente activas; podrán ser inertes pero absorber de la atmósfera sustancias químicamente activas; o si no, se pueden combinar para formar especies químicamente activas. Dependiendo de su composición química y estado físico, las partículas causan grandes daños a los materiales. En general, elevadas concentraciones de humos y partículas están asociadas con el ensuciamiento de la ropa y de las estructuras; ensucian las superficies pintadas, la ropa y las cortinas, con sólo asentarse sobre de ellas. El costo de repintar las superficies interiores y exteriores de las casas y edificios y la limpieza y reposición de las materias textiles se estima en cientos de millones de dólares anuales.

Las partículas pueden causar daños químicos directos, ya sea por corrosividad intrínseca o por la acción de sustancias químicas corrosivas adsorbidas o absorbidas, por partículas inertes emitidas a la atmósfera. En general, los metales pueden resistir la corrosión en sólo el aire seco o aún en el aire limpio y húmedo. Sin embargo, las partículas hidroscópicas que se encuentran usualmente en la atmósfera pueden corroer las superficies metálicas sin que esté presente contaminante alguno. Los ejemplos de la corrosión de las superficies metálicas expuestas a las atmósferas industriales están bien documentadas.

La materia particulada puede dañar los materiales opacando la ropa y los textiles, corroyendo los metales (especialmente a humedades relativas por arriba del 75%), erosionando las superficies de los edificios y decolorando y destruyendo las superficies pintadas. Por ejemplo, para rangos de concentraciones de material particulado de 130 a 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y bajo la presencia de SO_2 y humedad, la corrosión del acero y de los paneles de zinc es de 3 a 4 veces mayor que en áreas cercanas a niveles de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Poco es lo que se conoce de los efectos de las partículas en general, sobre la vegetación. No obstante, se ha observado que varias sustancias específicas causan algunos daños. Las partículas que contienen fluoruros parecen causar daños en las plantas, y el óxido de magnesio que cae sobre los terrenos agrícolas ha dado como resultado un insatisfactorio crecimiento de la planta. La salud de un animal puede sufrir cuando éste se alimenta de

plantas cubiertas por un particulado tóxico. Dichos compuestos pueden ser absorbidos por los tejidos de la planta o permanecer como contaminantes sobre las superficies de las plantas.

Las partículas sólidas son menos tóxicas para la planta ya que se depositan sobre la superficie superior cerosa y dura de las hojas; es ahí donde se deben disolver entonces, en la humedad depositada, para penetrar en el interior de la planta a través de los estomas o a través de las secciones dañadas de la superficie de la hoja. Algunos contaminantes sólidos se pueden disolver en la cera de la superficie y entrar en la planta. Así, los contaminantes sólidos del aire tienden a localizar su efecto y no dañan por completo la estructura de la hoja en la proporción en que lo hacen los contaminantes gaseosos. Por supuesto, los contaminantes sólidos pueden entrar en la cadena alimenticia si sus acarreadores vegetales son consumidos por animales. Si las plantas de ornato tienen hojas sensitivas, entonces los depósitos de partículas pueden dañar seriamente su valor estético o comercial, como sucede con las flores, aunque no pueden afectar la capacidad de la planta para subsistir y reproducirse.

La sensibilidad de las plantas varía de acuerdo con el tipo de contaminante y su concentración, pero también depende de si está presente más de un contaminante; dos o más contaminantes pueden reforzarse mutuamente (sinergismo) y aumentar o disminuir el efecto del contaminante individual.

El tiempo de exposición es un factor adicional. El producto del tiempo -en horas- y la concentración -en partes por millón, o bien otras unidades apropiadas- se denomina a veces factor de exposición. Respecto a la mayoría de los contaminantes, este factor varía con la exposición de la planta a la luz solar o a la humedad, debido a que estos pueden afectar la apertura de los estomas y el intercambio de gases que se realiza.

Capítulo 10

IMPACTOS AL MEDIO AMBIENTE

10.1 IDENTIFICACION DE LOS IMPACTOS NEGATIVOS AL MEDIO AMBIENTE

La extracción, el procesamiento y el uso de cualquier recurso mineral, combustible o no combustible, puede producir alteración del terreno, erosión y contaminación del aire y del agua. Después de que se localizan depósitos económicamente productivos, se extraen por minado superficial, si están localizados en o cerca de la superficie. De hecho, la minería superficial altera completamente las características naturales del terreno, además de producir mayor cantidad de material de desecho si lo comparamos con la minería de subsuperficie. La minería superficial extrae aproximadamente un 90% en peso de los recursos minerales ⁵⁶.

Por otro lado, se generan una serie de efectos nocivos por la extracción y procesamiento de materiales pétreos, entre los que se incluyen, de manera general:

- Destrucción y alteración de la superficie del terreno y la erosión del mismo
- El pésimo aspecto de los montones de desechos y materiales inservibles
- Mal aspecto
- Ruido en exceso
- Contaminación del aire y del agua
- Peligros a la seguridad y la salud
- Apilamientos temporales de material erosionados por viento y lluvia

Asimismo, la energía producida y utilizada en efectuar cada paso del procesamiento del material (exploración, extracción, transporte, trituración, etc.) causa posteriormente contaminación y degradación ambientales. La mayoría de los daños resulta de no requerir que los costos totales de la contaminación y degradación ambientales causados por las compañías procesadoras de caliza, sean incluidos en el costo de sus productos. Muchos de estos costos "externos" todavía son traspasados a la sociedad en forma de salubridad más deficiente, aumento en los costos del cuidado y seguridad de la salud, y en los más altos impuestos para pagar la resolución de los problemas causados por la contaminación

⁵⁶ Tyler Miller, G. Jr. (1994). "Ecología y Medio Ambiente". Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V.

y degradación ambientales. Si tales costos externos fueran internalizados e incluidos en el costo de las materias primas y los bienes manufacturados, la mayoría de estos efectos perjudiciales serían eliminados o reducidos a niveles más aceptables.

Los estudios de impacto ambiental efectuados a pedreras de la zona de la sierra de San Miguel⁵⁷, en su actual fase de operación, han detectado que los factores mayormente afectados negativamente por estas actividades han sido:

FACTORES ABIÓTICOS	FACTORES BIÓTICOS	SALUD PÚBLICA	ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO
Aire Agua Geología Suelo Clima	Fauna Terrestre Flora Terrestre	Salud Ocupacional Calidad Sanitaria del Ambiente Seguridad Laboral	Paisaje Natural Parques y Reservas Desarmonías

La metodología utilizada para la identificación de los impactos en dichos estudios fué la denominada de "Matrices", específicamente, "Método de Leopold", mismo que permite una identificación de las relaciones causa-efecto entre las actividades específicas del proceso industrial e impactos.

En el caso especial de la operación para este tipo de industria, las actividades consideradas de mayor impacto a cada uno de los factores anteriormente mencionados son, en términos generales:

- a) Corte:
 - 1) Desmonte
 - 2) Barrenación
 - 3) Voladura
- b) Carga y transporte del banco de explotación al área de trituración
- c) Recepción de materia prima en tolva y clasificación

57

Estudios de Impacto Ambiental, Modalidad Específica, elaborados por el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la U.A.N.L.

- d) Trituración primaria (quebradora)
- e) Transportación por bandas
- f) Cribado primario
- g) Almacenes temporales
- h) Alimentadores
- i) Trituración secundaria (molinos)
- j) Cribado secundario
- k) Trituración terciaria
- l) Cribado terciario
- m) Carga y transporte de material para entrega a mercado
- n) Desechos
- ñ) Servicio y mantenimiento
- o) Abandono de vida útil

La metodología para la identificación y predicción de los impactos fue, básicamente, la siguiente:

- 1) Se realizó una investigación bibliográfica especializada en proyectos de este tipo.
- 2) Se efectuaron visitas a la zona de estudio y su área inmediata de influencia, revisando los factores susceptibles de impacto directo o indirecto por las actividades propias de este tipo de procesos industriales, realizándose mediciones en algunos aspectos para obtener datos de la zona.
- 3) Se realizó la predicción de los posibles impactos ambientales que llegasen a ser provocados por las actividades extractivas y de procesamiento de caliza en la zona.
- 4) Para la predicción de impactos se utilizaron técnicas de superposición de mapas, redes de información y listas de chequeo de aquellos factores que llegasen a sufrir los efectos negativos relacionados con la operación industrial de la zona.
- 5) Una matriz de Leopold reducida permitió distinguir los factores ambientales que

2. AGUA SUPERFICIAL / AGUA SUBTERRANEA (continuación...)

Flujo, agua subterránea	La voladura en los bancos de explotación elimina los estratos rocosos geológicos, interrumpiendo el flujo natural del agua subterránea
--------------------------------	--

3. GEOLOGIA

Geoformas	La voladura y la caída del material propician una pérdida total de los estratos geológicos susceptibles de ser explotados con la consecuente eliminación de geoformas.
Recurso Mineral	La explotación de la caliza permite la obtención de la misma como recurso natural susceptible de ser aprovechado por la industria, sin embargo, implica el agotamiento paulatino de los bancos de material, con la consecuente disminución del aprovechamiento y la captación de beneficios económicos

4. SUELO

Uso actual	Probable contaminación del suelo por residuos sólidos y líquidos generados durante la fase operativa. /El futuro agotamiento de los bancos de material pétreo impondrán un cambio en el uso actual del suelo.
Uso potencial	El desmonte y la explotación del sitio cambian las posibilidades de uso potencial, ya sean actividades agropecuarias o forestales a nivel doméstico. /Asimismo, al término de la vida útil del sitio se ve disminuido su potencial productivo rústico.
Drenajes vertical y horizontal	Disminuye el drenaje vertical por efecto del desmonte, y aumenta el horizontal./ La voladura y caída del material interrumpen los conductos del agua subterránea, y disminuyen la superficie de área de captación./ Asimismo, la emisión de polvos y el depósito de los mismos en el suelo provocan la formación de una capa cementada e impermeable que impide el drenaje vertical, y por lo tanto aumenta el horizontal.
Erosion	La eliminación de la cubierta vegetal aumenta el arrastre de partículas por acción del viento o del agua./ La explotación de la caliza mediante la voladura y caída del material permiten la exposición de los estratos geológicos a la acción erosiva del viento y del agua./ Los almacenamientos de material también propician el arrastre de partículas por efecto del agua y del viento.

5. CLIMA

Microclima	El retiro de la vegetación produce cambios microclimáticos al aumentar la radiación solar a nivel del suelo modificando la temperatura, la humedad y la insolación. La eliminación de la cubierta vegetal disminuye la absorbancia de los rayos solares./ La modificación de la topografía por efecto de la explotación provoca un cambio en el ángulo de incidencia de los rayos solares lo que provoca cambios en la temperatura a nivel del suelo./ La emisión de polvos y partículas sólidas disminuye la radiación solar que incide sobre la superficie, lo que puede acarrear un calentamiento a nivel del suelo.
Macroclima	El retiro de grandes extensiones de vegetación produce un aumento del albedo terrestre, modificando temperaturas, humedad e insolación./ La modificación de la topografía por efecto de la explotación provoca un cambio en el ángulo de incidencia de los rayos solares, lo que provoca cambios en la temperatura a nivel de suelo. Así mismo, esta modificación topográfica provoca cambios en las corrientes de aire, impactando la incidencia de humedad sobre el suelo en otras zonas aledañas./ La emisión de polvos y partículas sólidas contribuye, aunque en menor grado, al calentamiento terrestre.

10.1.2 Factores bióticos

1. FAUNA TERRESTRE

Aves	El retiro de la vegetación elimina las posibilidades de desarrollo, crecimiento y reproducción, provocando la emigración o muerte de los mismos./ La generación de altos niveles de ruido y polvos provocan el desplazamiento de algunas aves al cambiar las características de alimentación y del hábitat.
Anfibios y reptiles	El desmonte elimina los productores de alimentación, cambia el hábitat y las posibilidades de crecimiento, desarrollo y reproducción, provocando muerte o emigración de los mismos./ La fase operativa en la zona de pedreras causa altas emisiones de polvo y ruido, provocando cambios en los hábitos y hábitat, provocando el desplazamiento o muerte de algunos reptiles.
Mamíferos	La eliminación de la vegetación provoca un cambio en el hábitat y elimina las posibilidades de alimentación, desarrollo y reproducción provocando muerte o desplazamiento./ La generación de niveles altos de ruido y polvos cambian los hábitos y hábitat, provocando desplazamiento y/o muerte de algunos mamíferos.
Especies comprometidas	El desmonte provoca cambios en el hábitat, siendo las especies comprometidas las mas grandemente afectadas por la disminución del hábitat./ La producción de altos niveles de ruido y polvo aumentan la posibilidad de desplazamiento y/o muerte por cambios en hábitos y hábitat de especies.
Corredores	El retiro de la vegetación disminuye las posibilidades del hábitat para albergar a fauna migratoria y residente./ La modificación del hábitat y los altos niveles de ruido podrian constituir una limitante para algunas especies que utilizaban la zona como corredor.
Barreras	La eliminación de la vegetación produce barreras físicas para el desplazamiento de reptiles y mamíferos principalmente./ Los niveles de ruido, el área de instalaciones, el horario de funcionamiento y las depresiones que se forman, provocan cambios en los hábitos que, en algunas especies puede constituir una barrera para el desplazamiento
Hábitat	El desmonte elimina el hábitat de todas las especies, residentes y migratorias, de la zona, provocando muerte o desplazamiento./ Todas las actividades de operación en la zona de pedreras producen cambios en el hábitat de las especies.

2. FLORA TERRESTRE

Estrato superior, medio e inferior	El desmonte implica la eliminación total de los tres estratos de vegetación./ La generación de polvos provoca que se depositen sobre la vegetación limitando el proceso fotosintético, el crecimiento y el desarrollo de la vegetación, debilitándola y exponiéndola al ataque de plagas mas fácilmente.
Barreras	El desmonte produce barreras al cambiar las estructuras de las comunidades o el retiro de la capa fértil del suelo, evitando el establecimiento de la flora característica de la zona./ Las actividades de explotación de la caliza provoca la modificación en la topografía, compactación del suelo, y cambio en su estructura, siendo éstas limitantes para algunas especies de flora de la zona.

10.1.3 Salud pública

1. SALUD OCUPACIONAL

Las actividades que conforman la fase operativa de la zona de pedreras provocan la emisión de polvos y gases contaminantes, altos niveles de ruido y vibraciones; el constante manejo de explosivos; el estar expuestos a fuentes productoras de calor; todo, aunado a una exposición diaria por parte de los trabajadores, puede provocar alteraciones fisiológicas según el nivel de susceptibilidad de los individuos y el grado de exposición.

2. CALIDAD SANITARIA DEL AMBIENTE

La operación industrial en la zona de pedreras provocan la emisión de polvos y gases contaminantes, altos niveles de ruido y vibraciones; el acarreo de partículas por efecto del viento; todas estas actividades provocan alteraciones a la calidad sanitaria del ambiente, mismas que se ven agravadas en el caso de llegar a existir centros poblacionales aledaños al área de proyecto.

Asimismo, los riesgos potenciales que se presentan en la zona son: inundación, deslaves, incendios, explosiones no controladas, entre otros.

3. SEGURIDAD OCUPACIONAL

La posibilidad de ocurrencia de accidentes laborales durante cada una de las actividades que conforman la operación industrial en la zona de pedreras siempre es latente.

Los accidentes también pueden derivarse del uso inadecuado y/o operación inadecuada del equipo de seguridad o, incluso la carencia del mismo.

Los accidentes también pueden suceder a causa de la operación inadecuada de la maquinaria y equipo, así como del uso inadecuado de los explosivos.

10.1.4 Estéticos y de interés humano

1. PAISAJE NATURAL

El desmonte y la explotación en los bancos de material afectan al paisaje natural ya que retiran los elementos originales de la zona, provocando drásticas modificaciones./ La emisión de polvos, generados durante las actividades que conforman la fase operativa, afecta a larga distancia, el paisaje natural al depositarse sobre vegetación y suelo; lo mismo se puede mencionar de los polvos que se mantienen en suspensión en la atmósfera sobre la zona de pedreras. Igualmente los acumulamientos de materiales pétreos afectan el paisaje del lugar.

2. PARQUES Y RESERVAS

La operación de cada una de las plantas sobre la falda de la sierra de San Miguel conforman barreras y modifican las condiciones ambientales que pueden limitar el libre flujo de especies de las zonas naturales a el Parque Nacional Cumbres, influyendo en el comportamiento de migraciones y desplazamiento de algunas especies.

3. DESARMONIAS

Los cambios en el perfil natural del terreno; las depresiones, efecto de las voladuras y caída de material, propician desarmonias en la configuración global del paisaje rústico que impera en el sitio, rompiendo con el carácter natural de la zona.

Por otro lado, la emisión de polvos, producto de las actividades de cada una de las plantas procesadoras de caliza en la zona, así como las instalaciones e infraestructura de las mismas, provocan desarmonía con el paisaje natural del sitio.

**10.2 MATERIAL FOTOGRAFICO QUE PERMITE OBSERVAR ALGUNOS DE LOS
IMPACTOS NEGATIVOS AL AMBIENTE**



Arriba: La generación de polvos impacta sobre el crecimiento y desarrollo de la vegetación, debilitándola y exponiéndola al ataque de plagas más fácilmente.
Abajo: La modificación de la topografía natural, de la compactación y cambio de estructura del suelo, provocan la eliminación de la flora terrestre de la zona.