

# Evaluación de los niveles de contaminación por plomo en el aire, a partir de las muestras obtenidas en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Bogotá

La presente investigación fue realizada por el Ing. Eduardo Ojeda Burbano, como requisito parcial para optar al título de Magister Scientiae en Ambiental. Actuó como director del proyecto el Ing. Jorge Ricardo Bernal B., Profesor Asociado.

El estudio tuvo como propósito la determinación del contenido de plomo en las muestras de material en forma de partículas, obtenidas en las trece estaciones que conforman la Red-Bogotá. Se procesó el 30% de los filtros recogidos en el periodo de octubre de 1983 a octubre de 1984. Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica, de acuerdo con lo sugerido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. El análisis de los datos demostró que: (1) existe una uniformidad de distribución de las concentraciones de plomo en toda la ciudad. El valor promedio encontrado fue de  $0,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; (2) ningún promedio geométrico estuvo por encima del valor de referencia ( $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), por lo cual puede afirmarse que, en el momento, no existe problema crítico por contaminación del aire con plomo; (3) las zonas sur y suroeste de la ciudad son las que presentan los mayores niveles de plomo.

**EDUARDO O. OJEDA B.**  
Ingeniero sanitario  
**Ing. JORGE R. BERNAL**  
Director de tesis  
Profesor asociado

## INTRODUCCION

Desde junio de 1983 el Servicio de Salud de Bogotá, D.E., por medio de la Sección de Protección del Medio Ambiente, viene operando la Red-Bogotá de estaciones de monitoreo de contaminantes atmosféricos en la zona urbana de la ciudad. En dicha red se miden las siguientes variables: partículas en suspensión (P.S.), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), partículas sedimentables (P. sd.), e índice de corrosividad (I.C.). En el Cuadro 1 se detallan la ubicación y las variables evaluadas en cada estación; en la Fig. 1 se muestra la distribución geográfica de las estaciones que conforman la Red-Bogotá.

El medio filtrante (fibra de vidrio), que se utiliza para cuantificar la concentración total de partículas en suspensión, permite llevar a cabo el análisis de la composición del material recolectado.

El presente estudio tuvo como propósito la determinación del contenido del plomo en las muestras de material particulado total, obtenidas en la Red-Bogotá, en el período comprendido entre octubre de 1983 y octubre de 1984. Para ello se seleccionó un total de 424 filtros correspondientes a un 30%, aproximadamente, del total de las muestras recogidas en ese período. Se empleó la técnica analítica de espectrofotometría de absorción atómica.

## TOMA DE MUESTRAS

La muestra del material particulado se obtiene mediante la operación de muestreadores de partículas de alto volumen (Hi-Vol). Este equipo opera durante 24 horas continuas, succionando aire del sector estudiado a una tasa de flujo (Q) entre  $1,1$  y  $1,7 \text{ m}^3/\text{min}$ , el cual se hace pasar a través de un filtro de fibra de vidrio (GMW 310-20 x 25 cm.), que obra como medio de retención de las partículas.

La concentración de partículas se establece aplicando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(P_f - P_i) \text{ filtro} \times 10^6}{V} \quad \text{Ec. No. 1}$$



**Preparación de los filtros**

Se toman una o más tiras del filtro al azar, de tamaño 1,9 x 20,5 cm; se les somete a una digestión en base ácida acuosa (con HNO<sub>3</sub> 3M) y a temperatura controlada.

**Análisis**

Se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer 2380, con microprocesador incorporado.

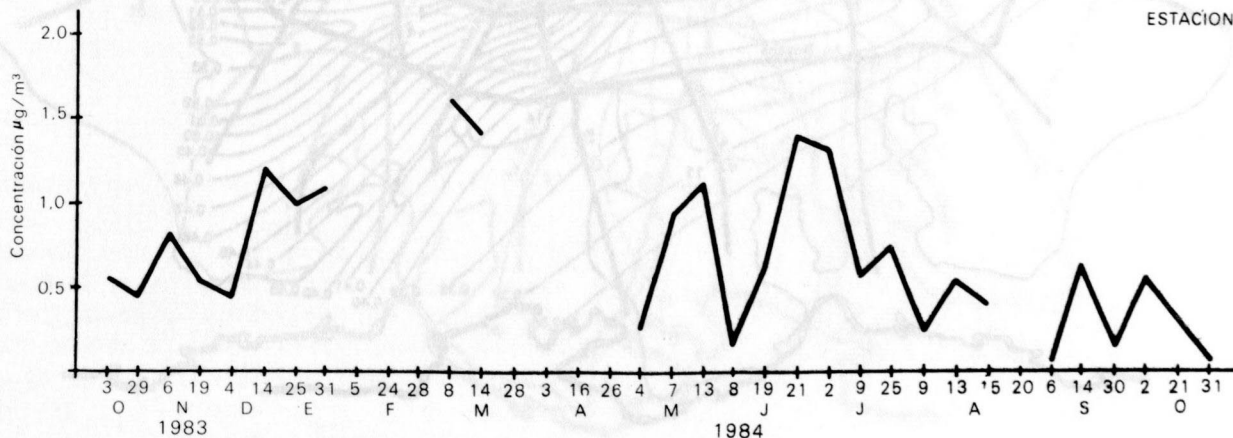
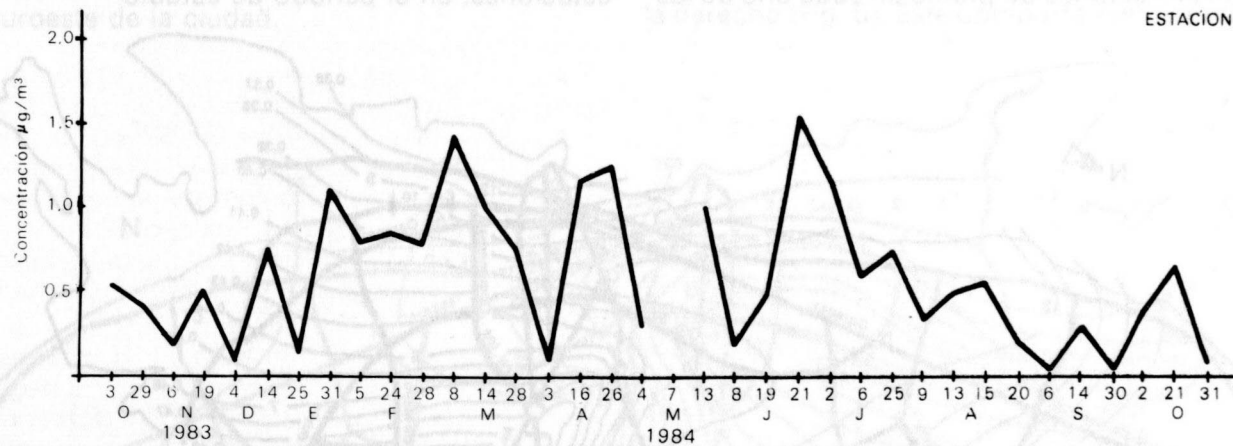
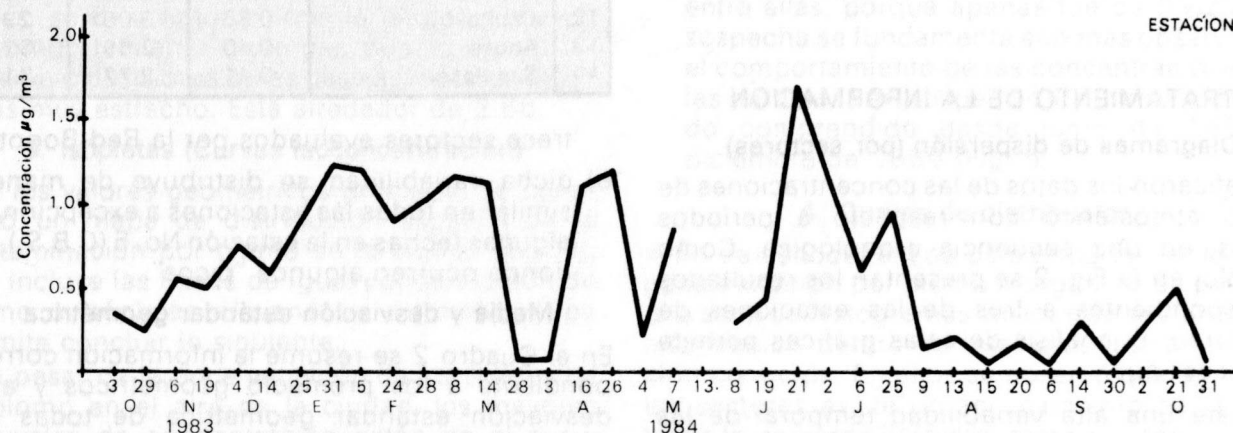
Inicialmente se preparó una curva de calibración con base en soluciones patrón, la cual quedaba registrada en la memoria del equipo; posteriormente se tomaban extractos de las soluciones

preparadas con anterioridad y se nebulizaban en la llama del equipo. De acuerdo con la curva de calibración y a la energía absorbida por la muestra (absorbancia) y la cual era proporcional a las concentraciones de plomo existentes, el equipo daba las lecturas en µg de plomo por mililitro (µg Pb/ml).

**Cálculos**

La cantidad total de plomo inorgánico en el filtro se calcula con base en la siguiente ecuación:

$$C_{Pb} = \frac{(\mu\text{g/ml Pb} \times 100 \text{ ml/tira} \times \text{No. tiras/fil.}) - F_b}{V} \quad \text{Ec. No. 2}$$



**FIGURA 2**  
Diagramas de dispersión Oct. 1983 - Oct. 1984

En la cual:

**C Pb** = Concentración de plomo en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  
 $\mu\text{g}/\text{ml Pb}$  = Concentración de plomo determinada en el análisis de la tira.

**No. tiras /fil.** = Area expuesta del filtro dividida por el área expuesta de la tira analizada.

**Fb** = Concentración promedio de plomo inorgánico, contenido en el filtro en blanco (sin usar), en  $\mu\text{g}$  Análisis realizados en 25 filtros en blanco (de diferentes paquetes de filtros) dieron valores por debajo del límite de detección.

De acuerdo con el método en referencia, dichas determinaciones se toman como cero y, por lo tanto, **Fb** es igual a cero.

**V** = Volumen de aire muestreado (véase Ec. No. 1), en  $\text{m}^3$ .

**TRATAMIENTO DE LA INFORMACION**

**Diagramas de dispersión (por sectores)**

Se graficaron los datos de las concentraciones de plomo atmosférico con respecto a períodos diarios, en una secuencia cronológica. Como ejemplo, en la Fig. 2 se presentan los resultados correspondientes a tres de las estaciones de monitoreo. El análisis de estas gráficas permite establecer que:

a) existe una alta variabilidad temporal de las concentraciones de plomo en cada uno de los

**CUADRO No. 2**

**Promedios y desviaciones estándar geométricas**

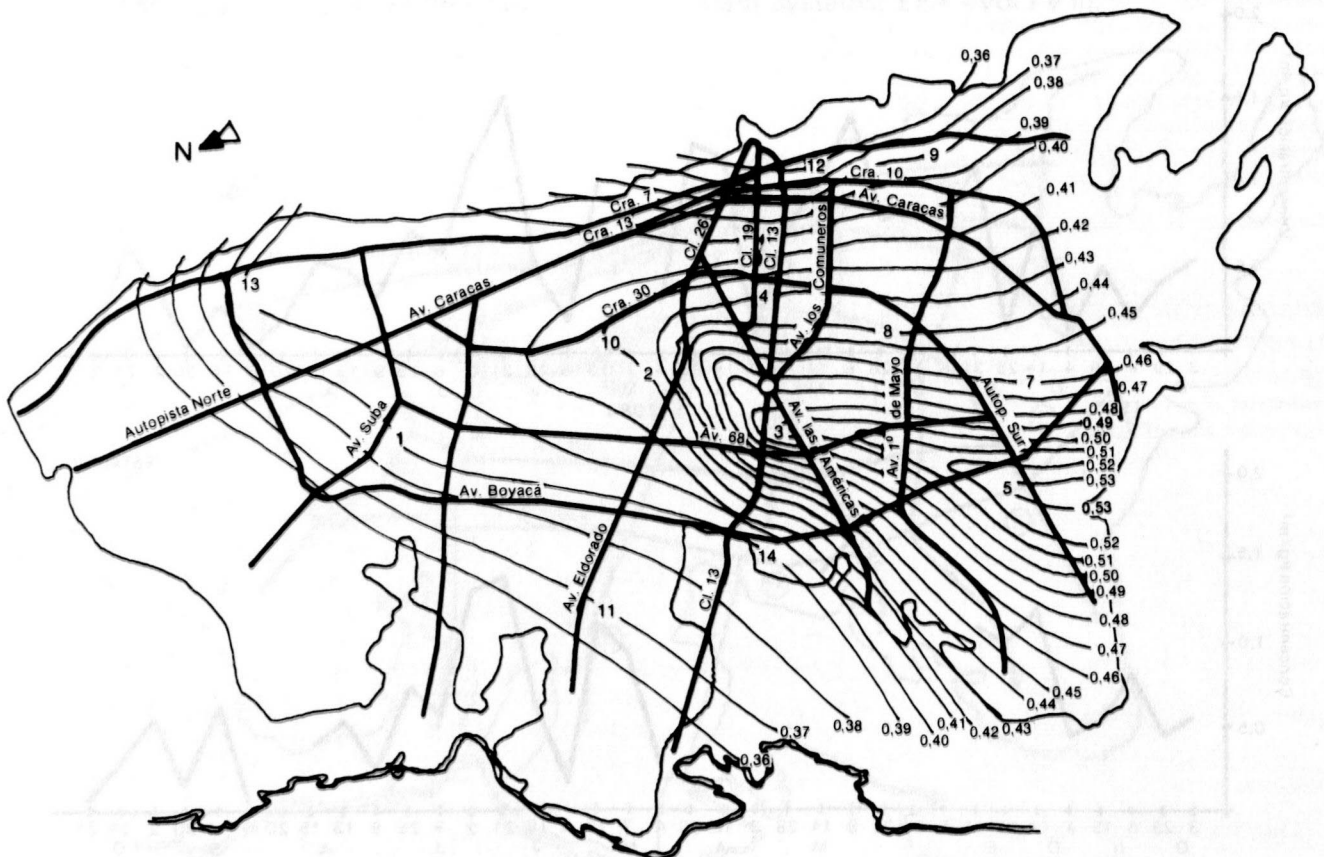
Nº	Estación	Media Geomét	Desvia. Estand. Geomét	Nº Datos
	Nombre			
1.	Fray Bartolomé	0,39	3,10	35
2.	ESAP	0,42	2,67	35
3.	Cyanamid	0,50	2,63	30
4.	Sena artes gráficas	0,43	2,62	34
5.	C.B.S.	0,53	2,40	32
7.	El Carmen	0,46	2,44	32
8.	Sena sur	0,44	2,66	32
9.	San Rafael	0,38	2,44	32
10.	I.I.T.	0,42	2,59	32
11.	Adpostal	0,37	2,62	30
12.	Capitolio	0,36	3,06	29
13.	Andes	0,40	2,69	32
14.	San José	0,41	2,77	31

trece sectores evaluados por la Red-Bogotá.

b) dicha variabilidad se distribuye de manera similar en todas las estaciones a excepción de algunas fechas en la estación No. 5 (C.B.S.), en donde ocurren algunos "picos".

**Media y desviación estándar geométrica**

En el Cuadro 2 se resume la información correspondiente a los promedio geométricos y a la desviación estándar geométrica de todas las estaciones, en el período de estudio.



**FIGURA 3**  
**Mapa de isópletas de plomo para Bogotá D.E. Oct. 1983 - Oct. 1984.**

De acuerdo con la literatura consultada, hay grandes diferencias entre las normas de los diversos países. El dato más crítico, o más exigente, es el utilizado en algunos países del Bloque oriental de Europa (Unión Soviética, Bulgaria, Hungría, etc.). Dicho valor ( $0.7 \text{ g/m}^3$ ), por ser el más bajo, se utilizó como valor de referencia o base de comparación con los resultados obtenidos en el presente estudio.

El análisis a la información permite establecer que:

- Ningún promedio geométrico está por encima del valor de referencia utilizado en el estudio.
- De acuerdo con las desviaciones estándar geométricas calculadas para todos los sectores, se deja entrever que la ciudad tiene un comportamiento uniforme, puesto que el intervalo de valores de las desviaciones estándar es muy estrecho. Está alrededor de 2.66.

### 3. Isópletas (Curvas isoconcentración)

Con los valores geométricos promedio se construyó un mapa de distribución espacial de la contaminación por plomo en la ciudad (Fig. 3), que incluye las líneas de igual concentración de plomo o isópletas. Un análisis de dicho mapa permite concluir lo siguiente:

- a pesar de la poca variación de los niveles de plomo en el aire de la ciudad, los mayores niveles de concentración están en el sur y suroeste de la ciudad.

b) De acuerdo con la información disponible del Himat, los vientos predominantes son los del norte y noreste. Esta característica es posible que influya para la acumulación de contaminantes en los sectores señalados, debido a un arrastre de los contaminantes de plomo inorgánico por acción de los vientos, desde otros sectores.

c) Este esquema es similar al que se presenta con la distribución del material particulado en suspensión (Fig. 4). Comparando las isópletas para partículas en suspensión y para plomo se sospecha que existe alguna relación gráfica entre las dos variables aunque, matemáticamente, no se encontró una correlación lineal entre ellas, porque apenas fue de 0,12. Esta sospecha se fundamenta aún más observando el comportamiento de las concentraciones de las partículas en suspensión, durante el período comprendido desde junio de 1983 a diciembre de 1986 (Fig. 5).

### 4. Curvas de distribución

A fin de conocer el tipo de comportamiento de la contaminación por plomo inorgánico, se elaboró una serie de histogramas, en los que se clasifica la información dentro de intervalos de concentración conocida. En ellos se observó que en todos los sectores existe un agrupamiento de valores hacia la izquierda del histograma y un sesgo hacia la derecha (Fig. 6). Este comportamiento es típico

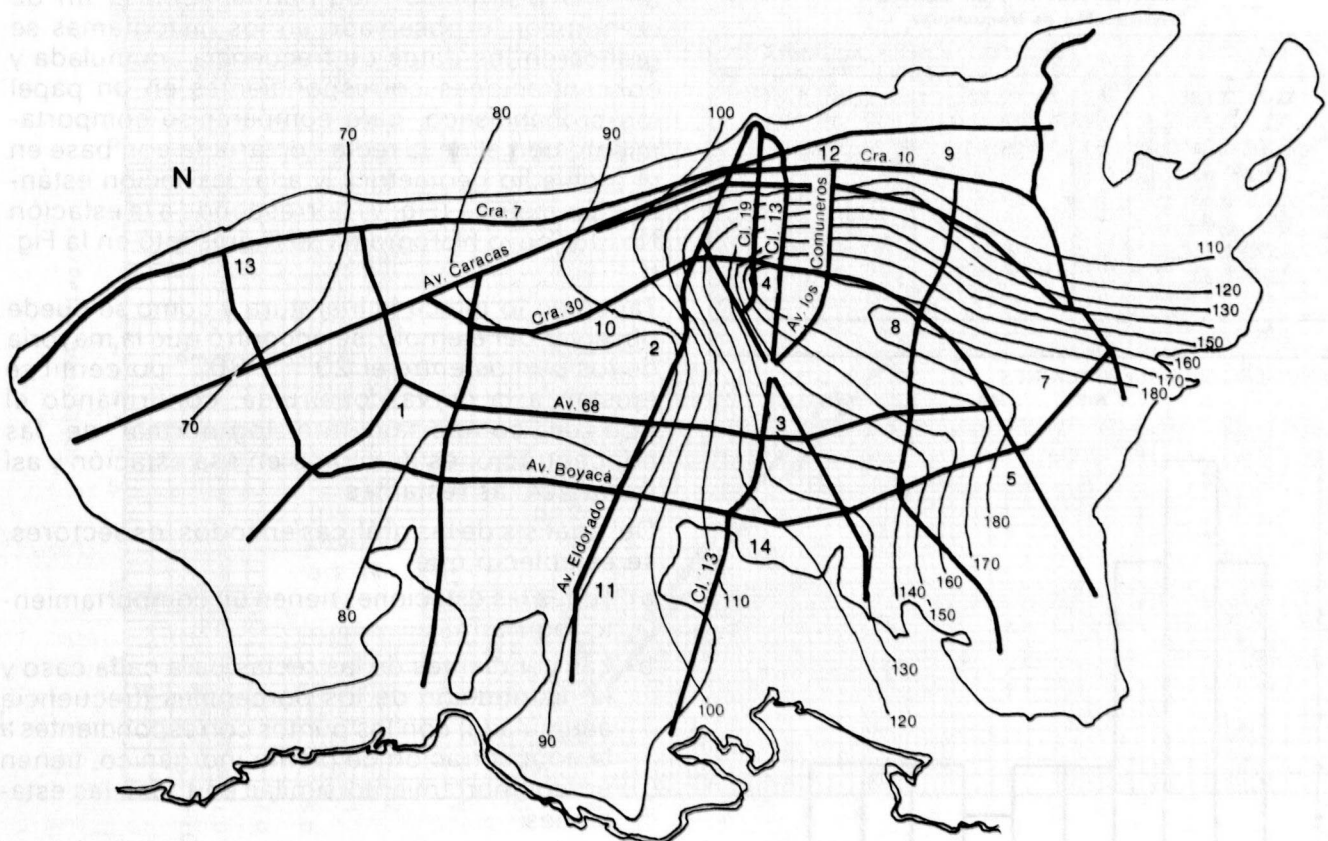
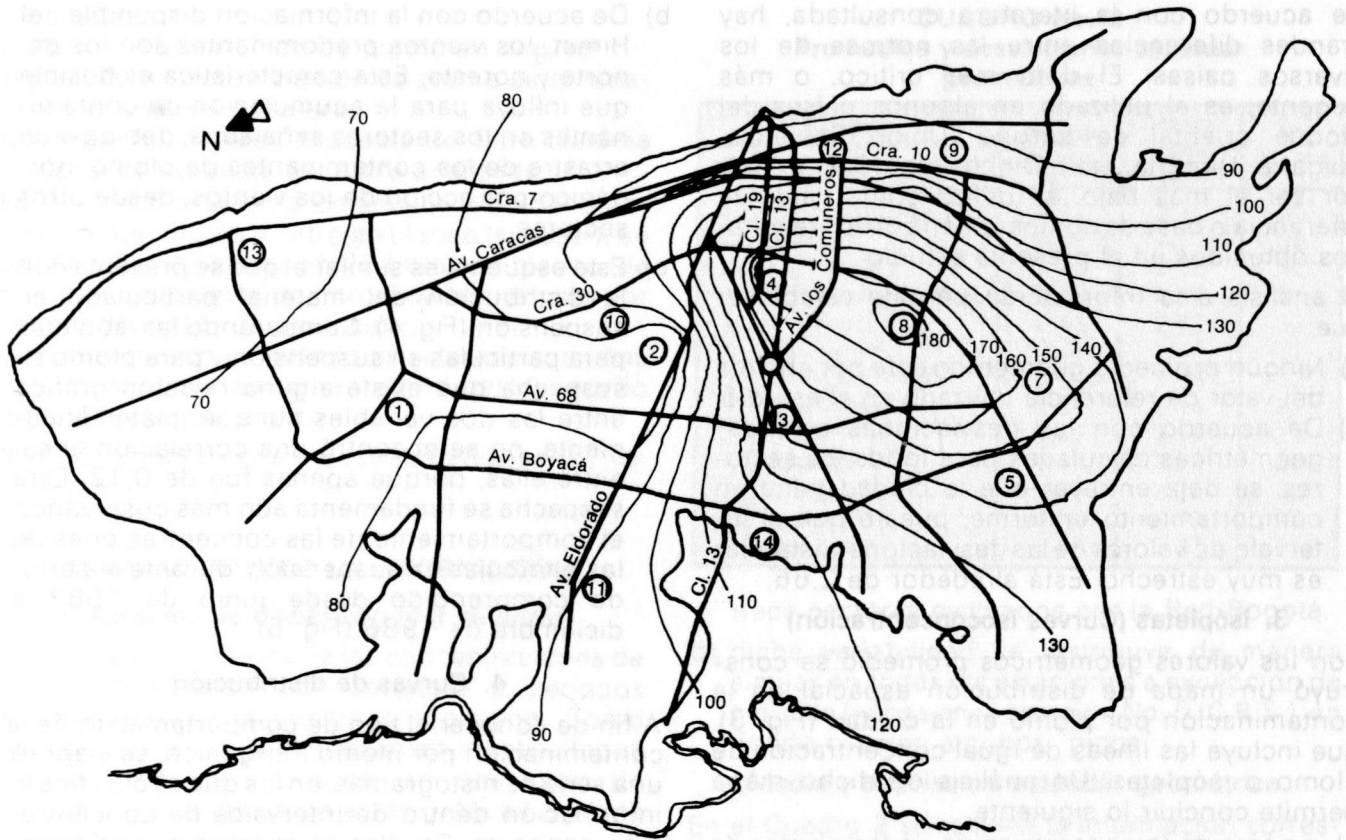


FIGURA 4

Mapa de isópletas de material particulado para Bogotá D.E. Oct. 1983 - Oct. 1984

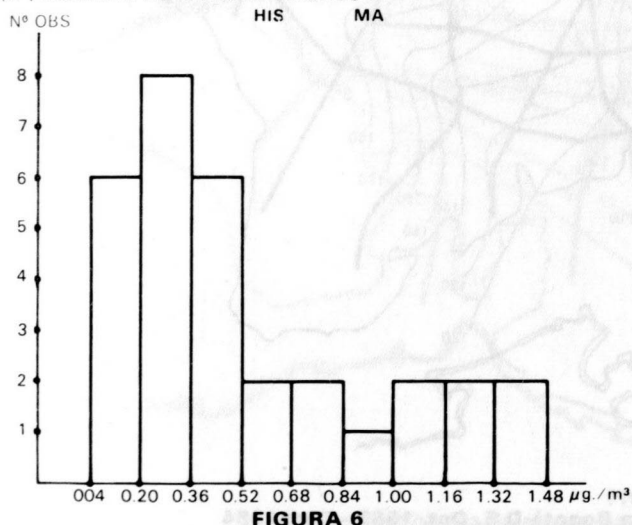


**FIGURA 5**  
**Mapa de isópetas de material particulado para Bogotá D.E. Jul. 1983 - Dic. 1986**

**Estación No. 11 ADPOSTAL**  
**Distribución de frecuencias**

MARGEN	Nº	(%)	% ACUMULADO
0.04-0.19	6	19.35	19.45
0.20-0.35	8	25.81	45.16
0.36-0.51	6	19.35	64.51
0.52-0.67	2	6.45	70.96
0.68-0.83	2	6.45	77.41
0.84-0.99	1	3.23	80.65
1.00-1.15	2	6.45	87.10
1.16-1.31	2	6.45	93.55
1.32-1.47	2	6.45	100.00
TOTAL	31		

(Nº) NUMERO DE OBSERVACIONES



**FIGURA 6**

de una distribución log-normal. Con el fin de comprobar lo observado en los histogramas se graficaron los datos de frecuencia acumulada y concentraciones correspondientes en un papel log-probabilístico, para comparar su comportamiento con el de la recta construida con base en el promedio geométrico y a la desviación estándar geométrica (Fig. 7) corresponde a la estación No. 11, cuyo histograma se representó en la Fig. 6.

Tal como lo indica la literatura y como se puede observar del ejemplo, se encontró que la mayoría de los puntos entre el 20<sup>mo</sup> y 80<sup>mo</sup> percentil se ajustan a la curva construida, confirmando el tipo de comportamiento log-normal de las concentraciones de plomo en esa estación y así mismo en las restantes.

Del análisis de las gráficas en todos los sectores, se estableció que:

- a) Todas las estaciones tienen un comportamiento log-normal.
- b) Las pendientes de las rectas para cada caso y la distribución de los percentiles (frecuencia acumulada) con los puntos correspondientes a la concentración de plomo inorgánico, tienen un comportamiento similar en todas las estaciones.

**5. Correlaciones**

Del análisis anterior (de la información) se

deduce que existe una distribución uniforme de plomo inorgánico en toda la ciudad. Para la verificación de esa uniformidad se utilizan las correlaciones. Este análisis se hizo incluyendo todos los sectores que cubre la Red-Bogotá, comparando cronológicamente las concentraciones de plomo inorgánico.

Según este análisis, si el valor de la correlación lineal ( $r$ ) es mayor de 0,7, se dice que la variabilidad de un sector está asociada con la variabilidad en el otro sector por lo menos en un 50%. Cuanto mayor sea el valor  $r$ , más asociación entre sectores existirá.

El análisis realizado arrojó los siguientes resultados:

- Todos los sectores muestran una correlación de la información de  $r$  mayor a 0,7.
- La estación No. 5 (C.B.S.) tiene una correlación con todos los sectores si no se incluyen los "picos" de concentración de plomo en los cálculos de la determinación de  $r$ .
- La correlación promedio para todos los sectores es de 0,82.
- La ciudad presenta un esquema de distribución muy uniforme de las concentraciones de

plomo y, por lo tanto, se puede tratar el conjunto de la información como un todo, para encontrar el grado promedio de niveles de plomo inorgánico en la ciudad.

### 6. Análisis para toda la ciudad

Se realizó el mismo tipo de análisis para la ciudad en su totalidad. De acuerdo con ello se pudo establecer que:

- El valor promedio de concentración por plomo inorgánico en la ciudad es de  $0,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Este valor está por debajo del valor más severo registrado en la literatura como norma de nivel permisible en otros países.
- El valor de la desviación estándar geométrica, 2,66 refleja la variabilidad de las concentraciones del plomo a través del tiempo, debido posiblemente al comportamiento irregular de las variables meteorológicas y/o a la intermitencia de las emisiones.
- Las concentraciones de plomo inorgánico en la ciudad presentan un comportamiento log-normal (Fig. 8).
- Para la ciudad, en general, se presenta un comportamiento muy similar al hallado para cada uno de sus sectores.

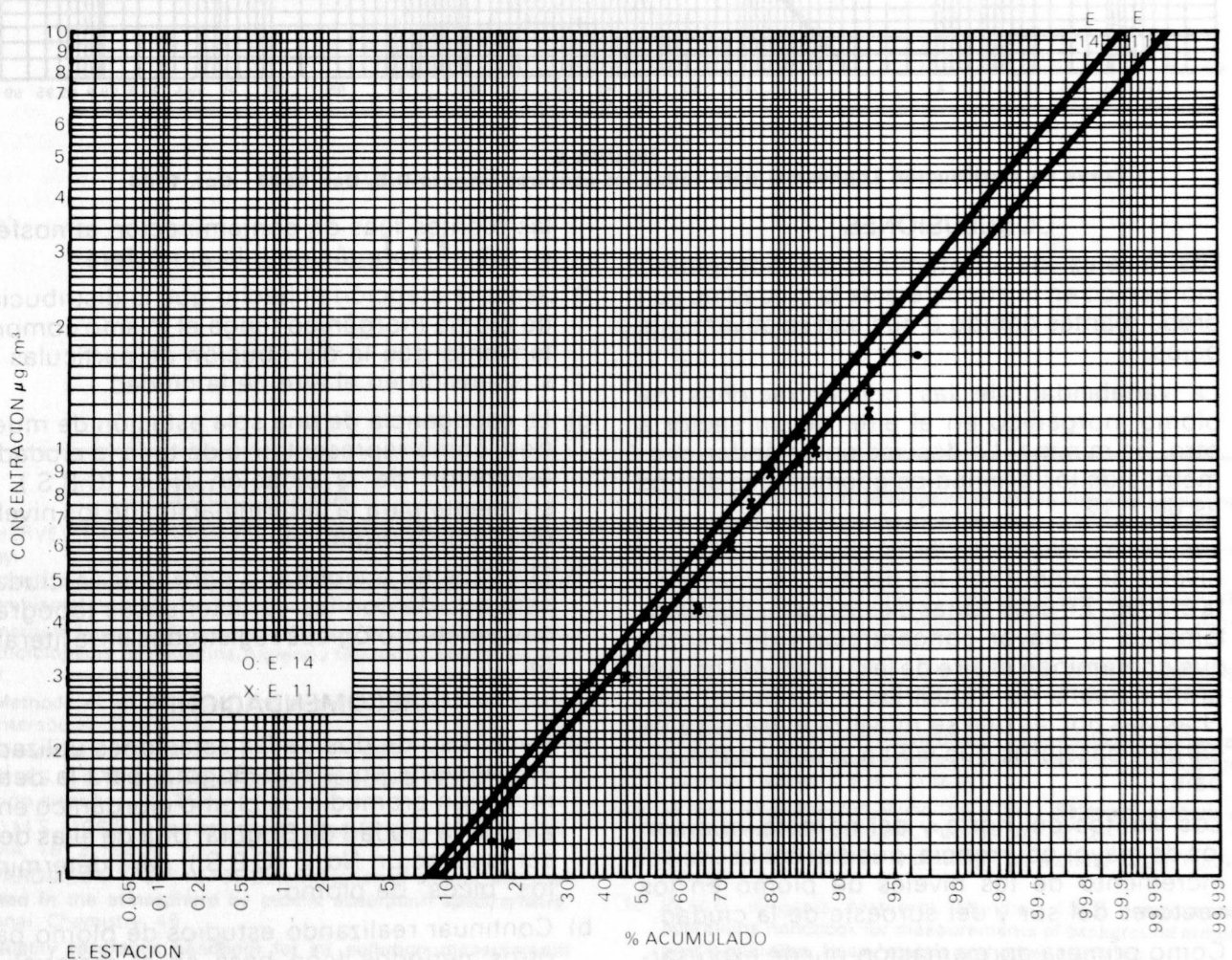
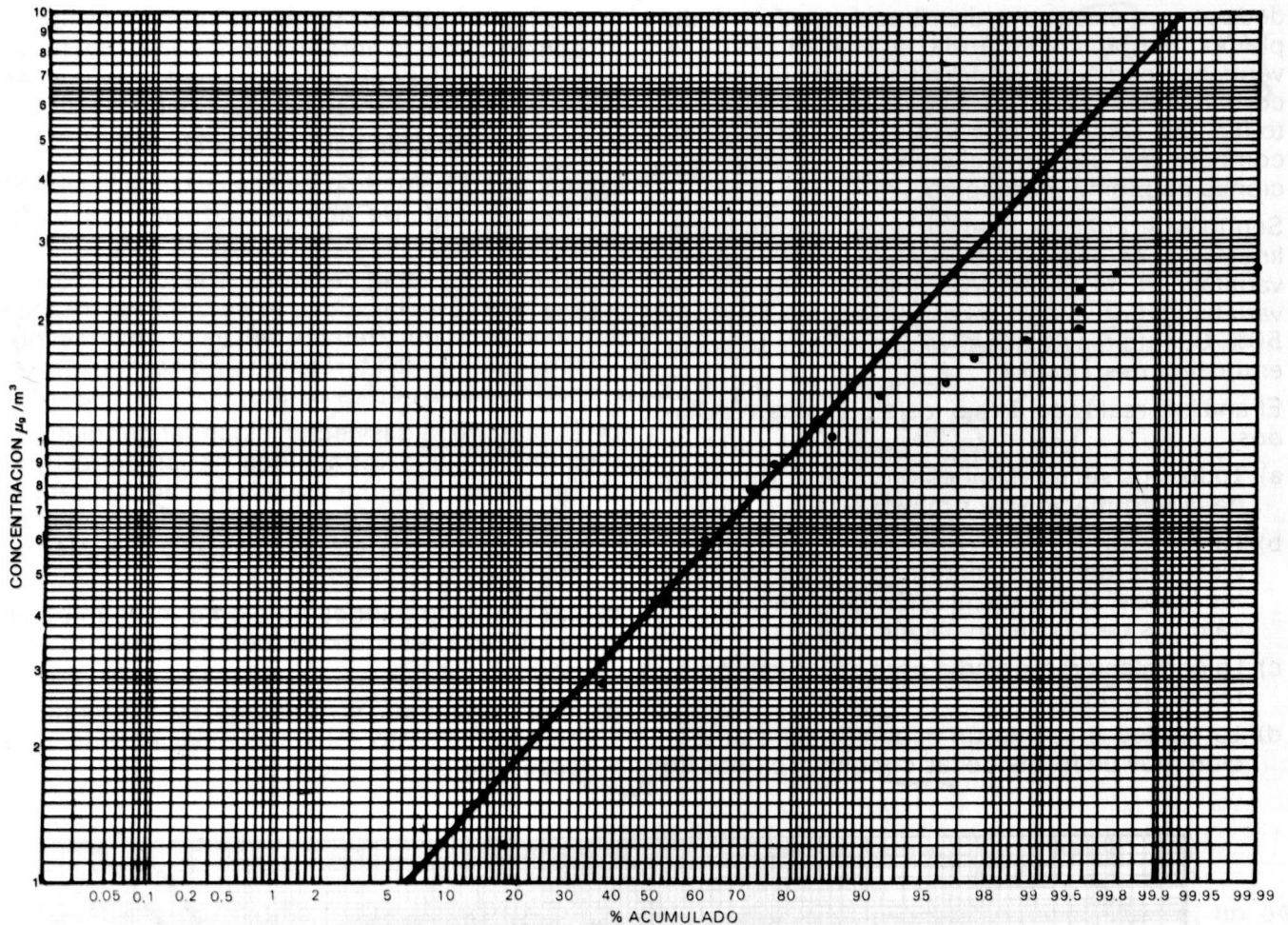


FIGURA 7



**FIGURA 8**  
**Curva de distribución Lognormal para todos los sectores Bogotá D.E. Oct. 1983 - Oct. 1984**

### CONCLUSIONES

- Los niveles de contaminación por plomo inorgánico en la atmósfera de la ciudad no son preocupantes debido a que son relativamente bajos.
- La variabilidad de las concentraciones de plomo inorgánico en el aire, de un sector a otro, es mínima. La desviación estándar geométrica de los promedios geométricos diarios es de 1,12.
- Las zonas donde se presentan los mayores niveles de plomo son las del sur y suroeste de la ciudad. En esas zonas existe correspondientemente, la mayor concentración de fuentes que contaminan el aire de la ciudad. Allí hay un gran número de industrias y confluyen muchas vías por las que se moviliza el tránsito de carga y pasajeros que viajan al sur y oeste del país.
- Los vientos del norte y del noreste, que son los de mayor ocurrencia, pueden ser causa del incremento de los niveles de plomo en los sectores del sur y del suroeste de la ciudad.
- Como primera aproximación puede expresarse que los automotores aportan, tanto como

las fuentes fijas de contaminación atmosférica, plomo inorgánico a la atmósfera.

- Llama la atención el hecho que la distribución de plomo inorgánico tenga el mismo comportamiento que la distribución de partículas en suspensión en el aire de la ciudad.
- La escogencia de una sola estación de muestreo, como representativa de toda la ciudad, a excepción de la estación No.5 (C.B.S.), es suficiente para la determinación de los niveles de plomo inorgánico.
- El esquema encontrado para toda la ciudad, está acorde con las características topográficas y meteorológicas registradas en la literatura.

### RECOMENDACIONES

- Hacer uso de dos de las estaciones utilizadas actualmente en la Red-Bogotá, para la determinación promedio de plomo inorgánico en el aire de la ciudad de Bogotá. Una de ellas debe ser la estación No. 5 (C.B.S.), para determinar los "picos" de plomo.
- Continuar realizando estudios de plomo para otros períodos (con base en el material de filtros existentes en la Secretaría de Salud de



Bogotá) con el fin de comparar los resultados con los obtenidos en la presente investigación y determinar los comportamientos cíclicos de la distribución del plomo en la ciudad en el curso de los días, meses y años.

- c) Realizar estudios tendientes a encontrar la concentración de plomo orgánico en el aire, como complemento de los hallazgos de plomo inorgánico. Aunque la literatura indica que

existen bajos porcentajes en esta forma de plomo con relación al total, es importante corroborar esta apreciación con investigaciones para la ciudad de Bogotá.

- d) Llevar a cabo estudios epidemiológicos que conduzcan a establecer relaciones entre las concentraciones de plomo atmosférico y las posibles afecciones atribuibles por su ingreso al organismo.

#### ANÁLISIS POR FLEXIÓN DE LAS LOSAS

A continuación se describen los procedimientos que se utilizaron para el análisis de las losas de concreto armado, considerando los efectos de flexión y torsión.

Los datos que han sido utilizados para el análisis de las losas de concreto armado, se refieren a los resultados de los ensayos de laboratorio, los cuales se detallan en el anexo 1. Los datos de los ensayos de laboratorio, se detallan en el anexo 1. Los datos de los ensayos de laboratorio, se detallan en el anexo 1.

Los datos de los ensayos de laboratorio, se detallan en el anexo 1. Los datos de los ensayos de laboratorio, se detallan en el anexo 1. Los datos de los ensayos de laboratorio, se detallan en el anexo 1.

#### SÍMBOLOS Y NOMENCLATURA

### BIBLIOGRAFIA

1. HERVEY, Elkins B. 1959. **The Chemistry of Industrial Toxicology**.
2. LUND, Herbert F. **Manual para el control de la contaminación ambiental**. Instituto de Estudios de Administración Local.
3. Instituto Nacional de Previsión. Madrid. Ministerio de Trabajo. Enciclopedia de medicina, higiene y seguridad del trabajo. Vol II.
4. **Methods of air sampling and analysis**, 2a. edición. APHD, Intersociety Committee.
5. Ministerio de Salud - Decreto 02 de 1982.
6. O.M.S. (1979) **Criterios de Salud Ambiental 3, Plomo**. Publicación científica No. 388.
7. O.M.S. (1984) **La contaminación atmosférica urbana**. SIMUVIMA. 1973-1980.
8. PARDME J.L. et al. (1973). **Determination of organic and total lead in the atmosphere by atomic absorption spectrometry**. Anal. Chemistry, 45.
9. **Quality assurance handbook for air pollution measurement systems EPA-600/9-76-005-March 1979 Vol I-II and reference method for the determination of lead in suspended particulate matter collected from the ambient air**.
10. ROSS R.D. 1972. **Air pollution and industry**. Traducc. María Ortiz.
11. THOMPSON J.R. et al. (1974). **Analysis of selected elements in atmosphere particulate matter by atomic absorption**; Atom ABS New 1-9.
12. STOKER/SEAGER. 1981. **Contaminación del aire y del agua**. Química Ambiental. 1a. edición. Barcelona (E). Editorial Blume.
13. VEGA Silvia et al. Unam. **Evaluación epidemiológica de riesgos químicos ambientales**. Centro Panamericano de ecología humana y salud. O.P.S. - O.M.S.
14. W.H.O. (Organización Mund. de la Sal.) **Selected methods of measurement air pollution**, Publicación No. 24.
15. W.H.O. 1980. **Analysis and interpr. air monitor**. Data. Public. No. 51.
16. W.M.O. (Organiz. Meteorol. Mundial) 1978. **International operations handbook for measurements of background atmospheric pollution: Heavy metals and other elements**.