

CONTAMINACION POR METALES EN LA ATMOSFERA DEL VALLE DE ABURRA

Jairo González García,
Centro de Investigaciones Ambientales, U. de A.
Jaime Olmedo Pérez Oliveros,
Departamento de Química, U. de A.

1. INTRODUCCION

Dada la importancia que tienen los metales pesados en la calidad del aire de las ciudades, se decidió emprender una investigación con el objetivo general de contribuir al estudio de la calidad de la atmósfera del Valle de Aburrá; y de establecer métodos viables y confiables para la determinación de metales, trazas en muestras de aire y en otro tipo de muestras en los que las características fueran de interés, como en líquidos y tejidos humanos y animales, en tejidos vegetales o en productos industriales.

Otros metales no tóxicos, como los alcalinos, se incluyeron porque pueden presentar interés en los estudios de problemas industriales de corrosión.

Con estos criterios se escogieron los siguientes metales: Al, Be, Bi, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Ti, V, Zn, Ca, Cs, K, Li, Na, Rb y Sr.

La investigación fue patrocinada por COLCIENCIAS, proyecto 100191-38 y la Universidad de Antioquia a través del CENTRO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES y del DEPTO. de QUIMICA. Cabe destacar la valiosa colaboración de la técnica del Laboratorio Químico del Centro, señorita Griselda Sierra Avila.

2. SITIOS MUESTREADOS Y RECOLECCION DE MUESTRAS

Se buscaron sitios que representaran áreas industriales, comerciales, residenciales y mixtas a lo largo del Valle de Aburrá, desde Copacabana hasta Sabaneta. En la ciudad de Medellín se escogieron varios sitios del norte, centro, sur, oriente y occidente.

Las primeras muestras se recogieron a finales de 1977 y las últimas a finales de 1984, para un total de 164 muestras.

Los sitios muestreados, siguiendo el orden cronológico de muestreo fueron:

TABLA 1. Sitio de muestreo, fecha, número de muestras y clasificación del lugar

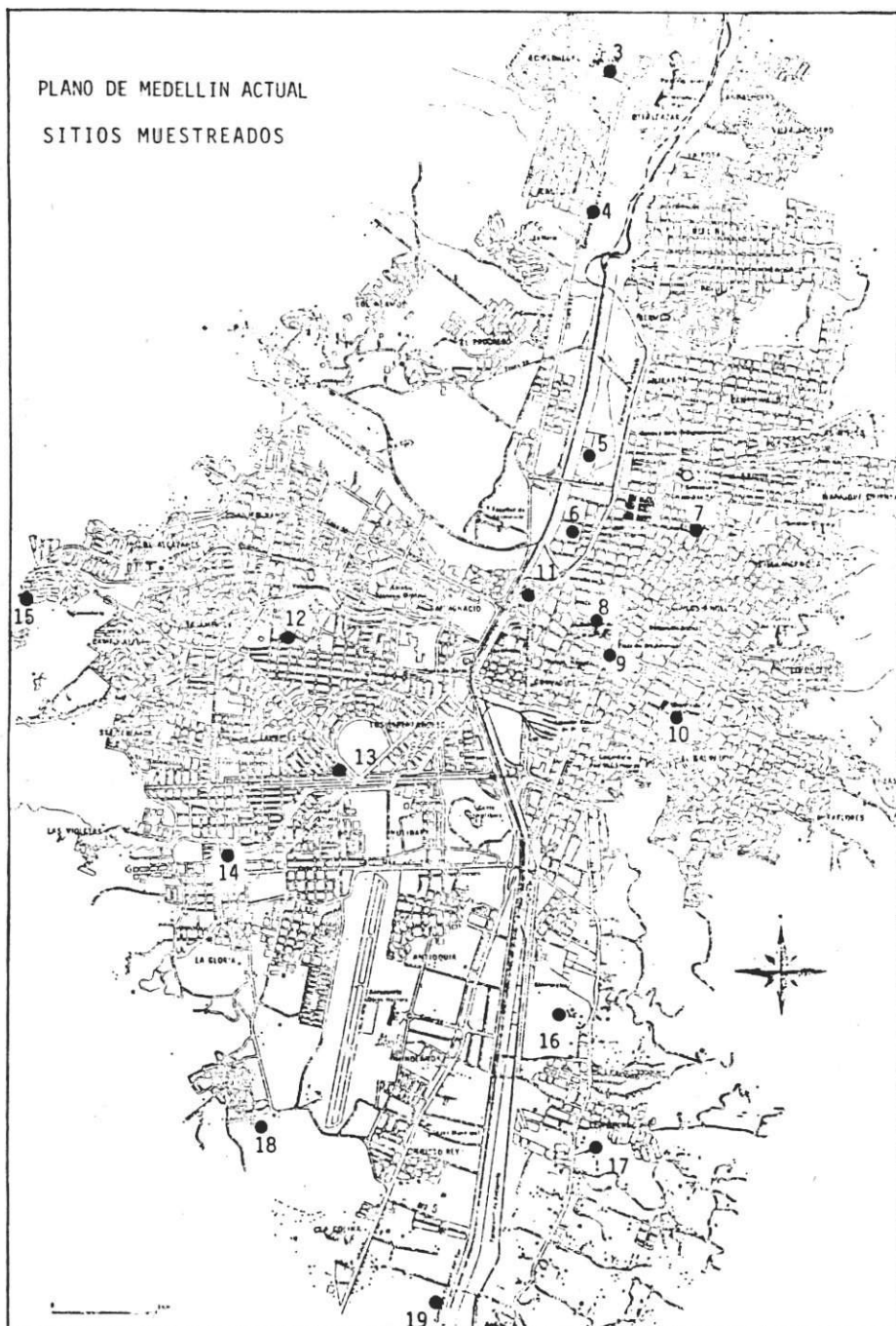
No.	Sitio	Fecha	No. de muestras	Clasificación
15	Belencito	1977/78	11	residencial
17	Poblado	1977/78	7	comercial
5	U. de A.	1980/83	14	resid-industrial
19	Fca. de Licores	1979	8	industrial
8	Ed. EE.PP.	1980	4	comercial
	U.P.B.	1981	2	residencial
16	Ed. Aduana	1981	11	industrial
12	América	1981	4	resid-comercial
3	Sena-Pedregal	1982	8	residencial
4	Andercol	1982	11	industrial
6	Estación Villa	1982	5	resid-industrial
7	Prado	1982	4	residencial
13	Bulerías	1983	6	residencial
14	Cr. 80 x 31A	1983	6	residencial
18	Guayabal	1983	5	resid-industrial
11	Sena-Colombia	1983	5	comercial-resid.
9	Parque Berrio	1983	5	comercial
10	Plaza San Ignacio	1983	10	resid-comercial
2	Bello	1984	7	comer-resid-ind.
1	Copacabana	1984	9	resid-industrial
20	Itagüí	1984	8	resid-industrial
21	Envigado	1984	7	resid-comercial
22	Sabaneta	1984	7	resid-comercial

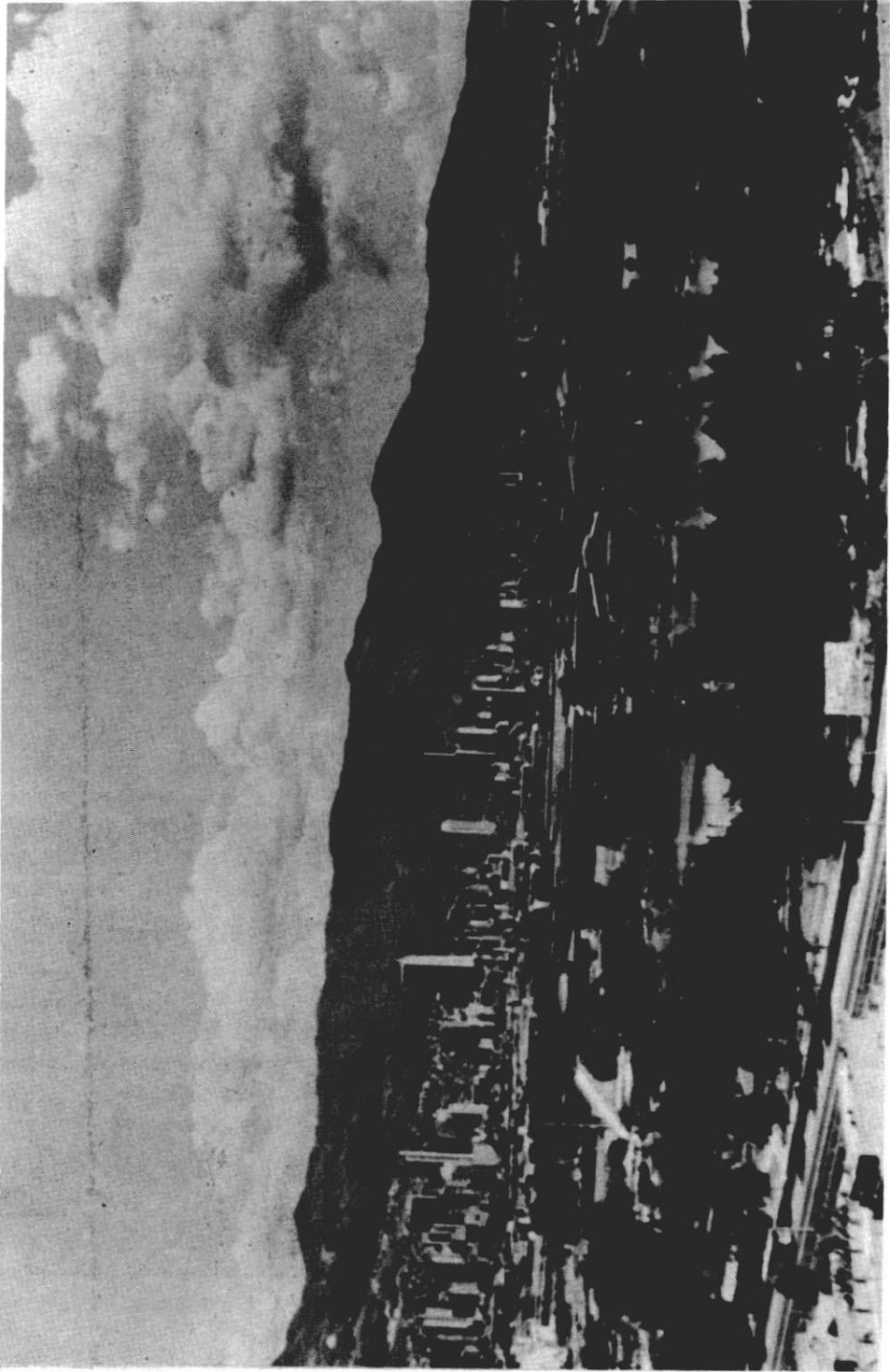
NOTA: El número corresponde al ordenamiento Sur(1)- Norte(22)

Las muestras se recogieron sobre medios filtrantes de tres clases: papel de filtro, poliéster y fibra de vidrio, que poseen propiedades diferentes y que contienen cantidades variables de algunos de los metales estudiados; pero se empleó, siempre que se pudo, el poliéster, por presentar mayores ventajas en cuanto a caída de presión del aire. Se utilizaron muestreadores de alto volumen (Hi-Vol) y los tiempos empleados en cada muestreo variaron usualmente entre las 8 y las 12 horas continuas.

Los muestreadores se ubicaron a alturas entre 8 y 10 metros sobre el nivel del piso, en donde se espera recoger una alta porción de particulados inhalables, ya que a alturas

PLANO DE MEDELLIN ACTUAL
SITIOS MUESTREADOS





Ciudad Universitaria.

menores se recoge bastante material sedimentable y a alturas mayores, hay abundancia de partículas pequeñas, que igualmente a las sedimentables, tienen una menor probabilidad de ser inhaladas en el aire que respiramos y por tanto, tienen menor interés en relación con sus efectos sobre la población.

Se hizo un estudio comparativo de los materiales de los filtros y de las contribuciones de cada uno de ellos en cuanto a metales presentes; pero tanto estos aspectos, como otros concernientes a las metodologías del muestreo y al tratamiento de las muestras recogidas, para la determinación de los metales por espectroscopia de absorción atómica, serán tratados en artículos posteriores de esta misma revista.

3. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

Las muestras recogidas sobre filtros y poliéster fueron sometidas a incineración seca en mufla, siguiendo procedimientos ligeramente diferentes. Los filtros de papel se despojaban de la porción marginal no expuesta y se dividían en dos o tres alícuotas o se plegabán completos (sin la porción marginal) en crisoles de platino de 30 a 50 ml de capacidad. Se humedecían con unas pocas gotas de ácido sulfúrico 0.1 M y se calentaban tapados gradualmente, hasta los 300 G.C. Se dejaban a esta temperatura por una media hora hasta que el papel se carbonizaba completamente sin inflamarse, y luego la temperatura se elevaba gradualmente hasta 500 G.C., dejándolos a esa temperatura por cerca de dos horas, hasta que se obtenían cenizas pardas, libres de manchas negras de carbón.

Las cenizas resultantes se trataban con una mezcla de HNO₃ concentrado y HF del 42% en una proporción de 3:1. Se adicionaban unas gotas a cada crisol y se evaporaban casi a sequedad por tres veces y el residuo se recogía y llevaba a volumen de 50 o 100 ml con solución acuosa de HCL al 1%.

4. MEDICION DE LOS METALES

Se preparaban estándares individuales o mixtos de los metales que se querían determinar, empleando solución acuosa de HCL al 1% en agua desionizada y destilada. Al preparar mezclas de metales en un solo estándar mixto, se buscaba cuidadosamente que no hubiera interferencias entre ellos. Estos estándares se preparaban cada vez que se fuera a correr un grupo de muestras y si la determinación duraba más de un día, se guardaban en un refrigerador.

Para la determinación de los metales se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin-Elmer, modelo 370 provisto de un compresor de aire, libre de aceite. Usualmente se trabajó con quemador de una ranura de 10 cm para aquellos metales que se medían con llama de aire-acetileno y de 5 cm para los que se medían con llama de acetileno-óxido nítrico.

5. RESULTADOS

En la Tabla 2 se consignan los valores promedios hallados para los distintos sitios (X), los rangos (R), las desviaciones estandar (D.E.) y los coeficientes de variación $CV = (DE/X) \times 100$ para los 22 sitios muestreados. En cada casilla, el valor superior es el promedio. Le siguen hacia abajo, el rango, la desviación estandar y el inferior es el coeficiente de variación.

Puede apreciarse que los rangos para unos mismos metales suelen ser muy amplios, pues hay muestras en las que la concentración del metal puede ser cero en una fecha determinada y luego aparecer a niveles relativamente altos en otras fechas. Ese es el principal motivo para que la mayoría de los valores de las desviaciones estandar sean altos y por consiguiente, los coeficientes de variación también lo sean.

Esa variabilidad de las concentraciones de los metales puede atribuirse a varias causas, tales como los cambios meteorológicos: vientos y lluvias principalmente. Variaciones en la actividad humana en el área muestreada, tales como cambios en el transporte, la actividad fabril, la actividad en las demoliciones y en la construcción.

Las variables meteorológicas, además de las lluvias y los vientos, deben incluir las calmas durante los períodos de muestreo, las nieblas, la nubosidad, incluyendo la porción de cielo nublado y la altura de las nubes, la temperatura, las horas de sol, la presión de vapor, la humedad relativa y la presión atmosférica.

Algunos investigadores como McDonald y Duncan (1) promediaron aquellos parámetros y trataron de establecer correlaciones entre estos valores y las concentraciones de los metales, mediante un complejo programa de computador. El resultado más inesperado obtenido por ellos fue la falta de correlación entre la velocidad y dirección del viento y los niveles de los metales, lo que en su concepto, es atribuible a los largos períodos de muestreo.

En el caso nuestro, una confrontación de datos suministrados por el HIMAT en cuanto a las condiciones meteorológicas imperantes durante algunos de los días de muestreo, permitió establecer que las concentraciones más bajas para los metales no coincidían necesariamente con los días de lluvia o con los días siguientes a unos cuantos aguaceros, ni tampoco los niveles más altos coincidieron con los días de verano.

Dadas entonces todas estas complejidades, no es de extrañar que con frecuencia los valores de las concentraciones de los metales hallados para las ciudades, se den en rangos (2) o como valores promedios (3) o como los valores más comúnmente detectados (4).

6. CONTAMINACION POR METALES

En la Tabla 3 se consignan los promedios generales y se organizan en orden decreciente para los veinte metales que se analizaron desde el principio hasta el final. De los 24 metales que se seleccionaron al comienzo, no se analizaron al final el Berilio, Bismuto, el Cesio y el Sodio.

TABLA 2

VALORES PROMEDIOS PARA LOS DIFERENTES METALES, RANGOS, D.E. Y C.V.

METAL	Al	Sb	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sn	Sr	Fe
SITIO										
BELENITO			0.0042 0.0-0.040 0.0049 80.4 n=6	0.27 0.0076-0.51 0.21 80.0		0.33 0.22-0.52 0.10 31.5	0.034 0.015-0.057 0.016 48.6			6.7 30-13 3.6 54.1
POBLADO			0.015 0.013-0.019 0.0035 23.1 n=3	0.20 0.057-0.28 0.12 62.0		0.20 0.15-0.27 0.061 30	0.040 0.024-0.054 0.015 37.9			4.9 4.5-5.6 0.64 13.0
FCA LICORES:			0.0036 0.0-0.0043 0.0034 94.8 n=8	0.88 0.74-1.0 0.11 12.0	0.0077 0.0042-0.010 0.0017 22.7	0.35 0.054-0.057 0.19 54.8	0.025 0.013-0.042 0.0099 39.4		0.0057 0.0014-0.0072 0.0018 32.3	3.8 2.1-5.2 1.1 29.4
U de A	5.6 0.0-17 4.6 81.7 n=12	0.0057 0.0-0.33 0.10 174.6	0.0073 0.0-0.024 0.0082 122.2	1.0 0.0-2.6 0.92 92.7	0.0072 0.0-0.027 0.0069 123.7	9.1 1.4-24 8.8 36.6	0.066 0.021-0.15 0.040 60.2	0.0 0.0 0.0 0.0	0.0017 0.0-0.010 0.0028 166.0	5.9 1.8-17 4.2 71.6
EE. PP	16 3.0-29 9.8 62.2 n=6	0.025 0.0-0.15 0.061 244.9	0.0056 0.0-0.014 0.0057 102.9	4.0 1.3-7.6 2.3 56.9	0.018 0.0-0.052 0.021 115.3	6.7 1.2-8.5 6.5 97.8	0.47 0.082-0.90 0.32 68.2	0.0 0.0 0.0 0.0	0.0052 0.0-0.020 0.082 156.4	27 6.2-43 14 51.4
ADJUNA	11 3.9-19 5.3 50.6 n=11	0.34 0.0-0.96 0.27 81.0	0.0089 0.0-0.020 0.0078 87.7	2.5 0.35-5.0 1.5 61.4	0.011 0.0-0.020 0.0067 62.5	6.7 2.0-23 6.7 99.3	0.11 0.020-0.37 0.096 85.7	0.29 0.0-1.6 0.50 174.0	0.0059 0.0-0.020 0.059 99.1	12 3.7-22 6.1 50.2
AMERICA	8.3 5.5-11 2.4 28.5 n=4	0.30 0.10-0.46 0.15 50.2	0.0035 0.0-0.0070 0.0040 115.5	1.6 1.1-2.6 0.68 42.2	0.0025 0.0-0.010 0.0050 200.0	4.2 3.3-5.4 0.93 22.5	0.668 0.050-0.090 0.017 25.3	0.073 0.0-0.29 0.15 200.0	0.0010 0.0-0.0040 0.0020 200.0	8.8 6.5-12 2.4 26.8
SENA	4.2 1.4-12 3.7 86.6 n=8	0.31 0.030-0.62 0.21 66.3	0.0026 0.0010-0.0050 0.016 60.9	1.1 0.49-2.4 0.66 61.5	0.0055 0.0-0.030 0.011 191.2	2.2 1.2-4.9 1.2 51.6	0.059 0.030-0.10 0.023 39.1	0.10 0.0-0.64 0.23 220.6	0.0025 0.0-0.010 0.0046 185.2	5.2 2.9-11 2.6 49.8

TABLA 2

VALORES PROMEDIOS PARA LOS DIFERENTES METALES, RANGOS, D.E. Y C.V.

METAL	Li	Na	Mn	Ni	Pb	K	Rb	Ti	V	Zn
SITIO										
BELENITO				0.042 0.031-0.070 0.015 35.3	0.65 0.16-1.8 0.59 90.3					1.5 0.25-4.5 2.0 135.8
POBLADO				0.055 0.048-0.067 0.011 19.6	1.3 1.0-1.5 0.29 21.7					3.1 1.8-2.7 1.1 35.8
FCA LICORES:				0.062 0.023-0.088 0.019 30.9	0.85 0.31-1.5 0.38 44.5	0.70 0.25-1.0 0.27 36.0				0.92 0.48-1.3 0.25 27.0
U de A	0.26 0.0-1.7 0.61 233.9	0.71 0.0-1.7 0.57 81.1	0.13 0.027-0.25 0.070 53.6	0.089 0.028-0.24 0.066 74.2	0.26 0.023-0.74 0.21 82.2	2.9 0.26-7.5 2.5 88.2	0.042 0.0-0.021 0.0065 155.0	1.3 0.32-3.5 1.1 88.0	0.24 0.0-0.78 0.22 89.4	1.2 0.085-4.4 1.1 98.6
EE.PF.	0.017 0.0-0.0073 0.0030 179.2	2.3 0.65-3.8 1.3 55.5	0.64 0.11-0.97 0.30 47.3	0.42 0.25-1.4 0.31 74.5	0.62 0.25-1.4 0.44 70.8	7.4 2.2-18 5.6 76.3	0.029 0.0042-0.065 0.024 87.4	3.4 0.67-6.4 2.0 58.0	0.52 0.11-0.98 0.36 68.6	1.5 0.22-3.6 1.2 80.3
ADUANA	0.0048 0.0-0.0030 0.0087 179.9	1.3 0.36-2.6 0.86 66.2	0.71 0.13-2.2 0.58 82.2	0.14 0.099-0.20 0.031 22.4	0.85 0.17-3.2 0.88 103.7	1.1 0.51-1.8 0.38 34.6	0.0027 0.0-0.0040 0.0013 46.6	1.2 0.58-2.6 0.58 47.9	0.44 0.0-0.92 0.31 70.6	5.2 158-17 5.4 103.7
AMERICA	0.00035 0.0-0.0010 0.00047 135.0	0.66 0.57-0.83 0.11 17.3	0.17 0.12-0.29 0.082 49.1	0.10 0.056-0.21 0.075 73.6	0.50 0.24-1.1 0.42 84.2	1.1 0.85-1.4 0.26 24.9	0.0025 0.0020-0.0030 0.00058 23.1	1.5 0.91-2.4 0.63 42.2	0.44 0.0-1.2 0.57 129.8	2.3 0.40-6.8 3.0 129.5
SENA PEDREGAL	0.00049 0.0-0.0030 0.0010 213.1	0.65 0.11-2.1 0.66 101.7	0.12 0.060-0.20 0.047 41.1	0.060 0.030-0.080 0.021 35.6	0.78 0.17-1.6 0.56 71.6	1.1 0.28-2.4 0.78 71.0	0.0018 0.0-0.0040 0.0015 85.0	0.81 0.36-1.6 0.38 47.4	0.15 0.0-0.40 0.21 142.2	0.46 0.10-0.82 0.30 66.3

TABLA 2

VALORES PROMEDIOS PARA LOS DIFERENTES METALES, RANGOS, D.E. Y C.V.

METAL	Al	Sb	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sn	Sr	Fe
SITIO										
ANDERCOL	13 10-16 2.4	0.12 0.060-0.17 0.040	0.0050 0.0010-0.010 0.0033	1.5 0.56-3.2 1.2	0.057 0.010-3.2 0.073	3.7 0.38-8.3 3.8	0.16 0.070-0.26 0.064	0.023 0.0-0.14 0.057	0.025 0.0-0.010 0.0042	17 6.5-24 7.2
n=6	18.8	34.1	66.9	78.4	128.1	102.7	39.6	244.9	167.3	42.3
ESTACION	9.9	0.082	0.0020	1.0	0.0064	0.37	0.090	0.24	0.00080	9.2
VILLA	3.9-16	0.030-0.16	0.00020-0.0030	0.50-1.6	0.0040-0.010	0.41-1.5	0.050-0.14	0.0-0.50	0.0-0.0040	3.7-13
n=5	4.3	0.063	0.0011	0.45	0.0023	0.42	0.042	0.21	0.0018	3.7
	43.9	76.4	56.1	45.6	36.0	48.3	46.5	89.6	223.6	39.9
PRADO	12	0.095	0.0043	1.4	0.012	0.39	0.13	0.090	0.0033	11
n=4	4.8-19	0.070-0.12	0.0020-0.0070	0.45-2.5	0.0050-0.030	0.31-0.51	0.060-0.19	0.0-0.26	0.0-0.0090	4.0-16
	6.4	0.021	0.0022	0.86	0.012	0.093	0.081	0.12	0.0043	5.7
	56.1	21.9	52.2	62.8	96.9	24.1	46.6	136.4	131.4	52.6
BULERIAS	9.0	0.0067	0.00033	1.4	0.00050	0.50	0.032	0.0	0.021	5.4
n=6	0-14	0.0-0.040	0.0-0.010	0.0-3.4	0.0-0.0030	0.35-0.82	0.020-0.040	0.0	0.0-0.090	3.0-6.9
	4.9	0.016	0.00052	1.2	0.0012	0.17	0.0098	0.0	0.034	1.6
	54.0	244.9	154.9	87.4	244.9	35.1	31.0	0.0	161.5	28.7
K 80 x 31A	20	0.022	0.0013	2.6	0.0057	0.61	0.040	0.020	0.020	11
n=6	6.4-26	0.0-0.050	0.0-0.040	0.40-4.2	0.0-0.010	0.43-1.0	0.010-0.1	0.0-0.090	0.0-0.040	3.7-15
	7.2	0.024	0.0018	1.3	0.0039	0.20	0.030	0.036	0.014	4.1
	35.6	110.8	131.3	48.7	69.4	39.2	49.4	181.7	68.3	37.9
GUAYABAL	14	0.022	0.00012	4.9	0.0060	0.50	0.020	0.028	0.020	5.9
n=5	6.9-17.4	0.0-0.060	0.0-0.0040	2.2-9.3	0.0-0.030	0.39-0.76	0.010-0.040	0.0-0.070	0.0050-0.040	4.1-8.0
	6.6	0.030	0.00018	2.9	0.013	0.16	0.012	0.038	0.015	1.9
	47.9	137.9	149.1	59.9	223.6	31.6	61.2	136.9	73.3	32.7
SENA	9.0	0.0060	0.0	1.1	0.0022	0.11	0.048	0.020	0.0074	6.5
COLOMBIA	4.9-16	0.0-0.030	0.0	0.80-1.4	0.00015	0.090-0.15	0.030-0.050	0.0-0.080	0.0030-0.011	3.5-13
n=5	4.5	0.013	0.0	0.30	0.0015	0.027	0.013	0.035	0.0038	3.9
	50.5	223.6	0.0	27.1	67.4	24.9	27.2	173.2	51.1	59.7
PARQUE	16	0.036	0.0016	2.5	0.0068	0.22	0.23	0.066	0.018	8.3
BERRIO	7.8-19	0.0-0.050	0.0-0.0030	2.2-2.7	0.0030-0.0090	0.19-0.24	0.060-0.87	0.0-0.17	0.010-0.020	6.7-9.7
n=5	4.4	0.021	0.0011	0.19	0.0024	0.019	0.36	0.074	0.0045	1.2
	28.4	57.6	71.3	7.7	35.1	9.0	155.6	111.6	24.8	14.9

TABLA 2

VALORES PROMEDIOS PARA LOS DIFERENTES METALES, RANGOS, D.E. Y C.V.

METAL	Li	Mg	Mn	Ni	Pb	K	Rb	Ti	V	Zn
SITIO										
ANDERCOL	0.0037	2.8	0.30	0.19	1.9	1.1	0.0033	1.3	0.46	0.72
	0.0-0.0070	2.3-3.8	0.18-0.44	0.12-0.30	1.1-2.9	0.60-1.5	0.0030-0.0040	0.55-1.8	0.0-0.87	0.15-1.3
	0.0032	0.66	0.12	0.076	0.69	0.46	0.00050	0.51	0.30	0.38
	87.4	23.5	38.3	40.9	35.6	44.1	15.4	38.7	64.3	52.4
ESTACION VILLA	0.0064	2.2	0.24	0.10	0.53	0.99	0.011	0.86	0.42	0.97
	0.0010-0.0090	1.2-3.9	0.080-0.37	0.040-0.15	0.15-0.93	0.42-1.6	0.0010-0.0040	0.34-1.2	0.21-0.61	0.27-1.5
	0.0034	1.0	0.11	0.040	0.30	0.53	0.016	0.35	0.17	0.56
	53.7	47.6	45.4	38.8	56.1	53.9	141.8	41.4	38.7	58.3
PRADO	0.0048	2.2	0.20	0.12	1.3	0.69	0.0045	0.71	0.24	1.6
	0.0010-0.010	0.0-4.0	0.020-0.37	0.060-0.18	0.85-1.7	0.38-1.0	0.0010-0.0090	0.44-1.1	0.22-0.51	0.74-3.0
	0.0043	1.7	0.15	0.057	0.40	0.32	0.0034	0.30	0.12	1.1
	63.3	75.1	78.2	48.3	30.9	45.7	75.9	42.4	36.6	67.3
BULERIAS	1.8	0.0-2.6	0.10	0.053	0.27	1.4		0.93	0.13	0.60
	0.0-2.6	1.0	0.020-0.17	0.030-0.090	0.13-0.35	1.0-1.8		0.90-1.0	0.090-0.21	0.19-1.3
	1.0	57.5	0.053	0.021	0.078	0.27		0.052	0.050	0.42
			52.6	38.7	30.0	19.1		5.5	38.3	69.3
K 80 x 31A	4.3	0.9-2.4	0.21	0.060	0.36	2.4		1.6	0.13	0.56
	1.1-6.5	1.9	0.080-0.31	0.040-0.080	0.24-0.52	0.90-3.5		0.60-2.1	0.090-0.18	0.30-1.1
	44.6	37.3	0.078	0.014	0.11	0.85		0.54	0.042	0.31
			37.3	23.6	28.4	37.0		34.4	32.3	55.8
GUAYABAL	2.0	0.9-2.4	0.13	0.034	0.15	1.8		0.98	0.13	0.35
	0.9-2.4	0.70	0.060-0.18	0.020-0.060	0.050-0.22	0.90-2.8		0.60-1.3	0.060-0.26	0.040-0.83
	36.1	37.9	0.051	0.017	0.069	0.90		0.31	0.082	0.33
			37.9	49.2	45.2	49.7		31.8	63.4	94.3
SENA COLOMBIA	2.9	1.4-6.2	0.098	0.044	0.18	1.4		0.70	0.078	0.17
	1.4-6.2	1.9	0.060-0.13	0.030-0.050	0.090-0.40	0.70-2.8		0.50-0.90	0.050-0.11	0.080-0.44
	67.2	31.8	0.031	0.0089	0.12	0.81		0.20	0.026	0.16
			31.8	20.3	67.0	56.1		28.6	33.2	94.1
PARQUE BERRIO	3.5	2.8-4.2	0.19	0.072	0.51	2.1		1.0	0.36	0.46
	2.8-4.2	0.55	0.11-0.23	0.050	0.40-0.65	1.5-2.4		0.80-1.1	0.090-1.2	0.74-0.69
	15.8	28.9	0.054	0.015	0.11	0.35		0.13	0.47	0.17
			28.9	20.6	21.3	16.8		12.9	190.9	37.6

TABLA 2

VALORES PROMEDIOS PARA LOS DIFERENTES METALES, RANGOS, D.E. Y C.V.

METAL	Al	Sb	Cd	Ca	Co	Cu	Cr	Sn	Sr	Fe
SITIO										
PLAZUELA	9.3	0.026	0.00070	1.3	0.0020	0.20	0.049	0.0080	0.078	5.0
SN IGNACIO	0.0-18	0.0-0.050	0.0-0.0030	0.6-2.7	0.0-0.0070	0.070-0.82	0.030-0.080	0.0-0.080	0.0-0.030	3.0-7.1
n=10	58.2	87.9	185.6	48.5	0.0025	0.22	0.016	0.025	0.0085	1.3
BELLO	16	0.032	0.0018	3.3	0.022	0.14	0.18	0.14	0.14	14
n=7	12.8	103.7	35.0	32.0	34.3	18.0	20.7	23.9	23.9	17.0
COPACABANA	3.8	0.0052	0.0012	0.77	0.00056	0.22	0.020	0.022	0.022	2.7
n=9	60.8	300.0	50.0	94.0	300.0	76.6	57.3	153.8	153.8	65.3
ITAGUI	14	0.0066	0.0047	1.3	0.015	0.19	0.039	0.041	0.041	6.4
n=8	50.1	282.8	107.2	47.1	133.8	40.2	39.8	82.7	82.7	44.1
ENVIGADO	11	0.0069	0.038	0.91	0.097	0.19	0.034	0.050	0.050	5.4
n=7	34.1	264.6	68.1	33.3	50.3	12.1	34.3	41.7	41.7	39.8
SABANETA	7.5	0.061	0.0046	8.0	0.0064	0.13	0.017	0.0049	0.0049	2.6
n=7	15.9	105.8	28.4	16.6	54.9	3.4	34.3	78.4	78.4	24.6

TABLA 2

VALORES PROMEDIOS PARA LOS DIFERENTES METALES, RANGOS, D.E. Y C.V.

METAL	Li	Ms	Mh	Ni	Pt	K	Rb	Ti	V	Zn
SITIO										
PLAZUELA	1.9	0.11	0.052	1.0	0.34	0.73		0.12	0.42	
SN IGNACIO	0.8-2.8	0.060-0.18	0.020-0.10	0.60-1.5	0.17-0.68	0.50-1.0		0.020-0.28	0.14-1.4	
	0.54	0.041	0.021	0.31	0.18	0.17		0.076	0.40	
	28.8	36.9	41.3	29.3	52.7	22.8		65.3	66.0	
BELLO	5.4	0.24	0.12	2.3	0.24	0.80		0.042	0.27	
	3.7-6.5	0.17-0.29	0.095-0.15	1.9-2.7	0.060-0.72	0.53-1.3		0.0-0.18	0.13-0.61	
	1.0	0.045	0.020	0.24	0.24	0.25		0.047	0.17	
	18.9	18.6	14.5	10.4	102.2	28.3		158.5	61.0	
COPACABANA	0.79	0.10	0.024	0.67	0.11	0.17		0.050	0.13	
	0.090-1.7	0.040-0.21	0.021-0.037	0.21-1.4	0.012-0.28	0.0-0.47		0.0-0.10	0.010-0.35	
	0.60	0.060	0.0689	0.45	0.11	0.18		0.036	0.11	
	78.6	57.8	19.0	67.6	195.7	106.4		70.6	84.3	
ITAGUI	2.4	0.14	0.056	1.9	0.30	0.74		0.35	0.94	
	0.74-3.5	0.037-0.25	0.034-0.089	1.0-3.3	0.12-0.62	0.45-1.4		0.14-1.4	0.21-2.5	
	1.0	0.079	0.018	0.70	0.15	0.37		0.43	0.80	
	43.8	55.0	31.6	38.2	48.0	50.7		79.0	95.5	
ENVIGADO	1.9	0.12	0.055	1.6	0.25	0.80		0.21	0.53	
	0.95-2.8	0.074-0.16	0.021-0.091	1.0-2.0	0.089-0.39	0.20-1.2		0.10-0.45	0.076-0.74	
	0.80	0.032	0.020	0.45	0.11	0.35		0.12	0.23	
	43.0	28.7	34.7	28.0	44.3	59.7		55.0	42.0	
SABANETA	0.82	0.056	0.032	0.81	0.14	0.053		0.005	0.55	
	0.23-1.6	0.044-0.070	0.018-0.052	0.60-1.2	0.049-0.28	0.0-0.15		0.0-0.13	0.29-0.88	
	0.45	0.010	0.012	0.19	0.075	0.071		0.052	0.11	
	50.5	18.8	34.3	22.8	52.1	133.7		146.0	19.2	

Los tres primeros, porque prácticamente no se encontraron en las muestras iniciales, y el Sodio, porque las muestras eran demasiado susceptibles a la contaminación por el manejo, aún bajo condiciones muy estrictas de operación, en el laboratorio.

TABLA 3. Promedios generales de las concentraciones de los metales, por orden decreciente.

No.	Metal	Concentración ug/m ³	Promedio
1	Aluminio	11	
2	Hierro	8.4	
3	Magnesio	2.0	
4	Calcio	2.0	
5	Cobre	1.9	
6	Potasio	1.7	
7	Zinc	1.1	
8	Titanio	1.0	
9	Plomo	0.56	
10	Vanadio	0.24	
11	Manganeso	0.21	
12	Níquel	0.092	
13	Cromo	0.089	
14	Antimonio	0.087	
15	Estaño	0.076	
16	Litio	0.036	
17	Estroncio	0.016	
18	Cobalto	0.012	
19	Rubidio	0.0067	
20	Cadmio	0.0039	

Es posible hacer algunas consideraciones con relación a los metales hallados. Así, por ejemplo, se puede observar que el metal de más alta concentración es el Aluminio, seguido del Hierro, y no siendo el área del Valle de Aburrá una zona de gran actividad siderúrgica ni de grandes plantas procesadoras de Aluminio, se puede pensar entonces, que estos dos metales provengan del suelo de donde son removidos por una variedad de actividades, como el transporte, que en muy buena parte se desplaza sobre vías en mal estado, las actividades de construcción y demolición y finalmente, por actividades industriales.

Hay otro grupo de metales, relativamente abundante en la atmósfera, que está conformado por el Magnesio, el Calcio y el Cobre y que además, presentan una concentración promedio muy similar. En general, el Magnesio y el Cobre se consideran bastante típicos de procesos metalúrgicos y el Calcio debe proceder de la actividad constructora y del constante deterioro de las vías que cruzan el Valle de Aburrá y de las calles de las ciudades asentadas en él.

También llama la atención el hecho de que el Titanio ocupe el octavo lugar, por encima del Plomo, y con una concentración promedia casi el doble que la de éste. Es muy po-

sible que esto se deba a su presencia en el Carbón y en otros combustibles de origen fósil utilizados por la industria local.

La concentración del Plomo, aparentemente baja (0.56 ug/m³, en promedio general) es, pese a ello, comparable a la encontrada en Rio de Janeiro (Sectores de Copacabana y San Cristóbal) por Trindade, Pfeiffer y colaboradores (5) y al encontrado en New York (Sectores de Tuxedo, 0.11 a 0.62 ug/m³ y Manhattan, 0.1 a 3.0 ug/m³) entre los años de 1962 a 1964 por Kneip y Eisenbud (6), cuando ésta era una de las ciudades más contaminadas del mundo.

En términos generales, podemos considerar como relativamente bajas las concentraciones promedio de los metales típicamente industriales como el Cromo, Níquel, Antimonio y Estaño, pero si los valores de estos metales se comparan, como se hará más adelante, con el de otras ciudades industriales del mundo, se verá que los valores hallados por nosotros, son comparables con los reportados por otros investigadores para varias de esas ciudades.

7. MEDELLIN Y LAS CIUDADES VECINAS

Si promediamos los valores obtenidos para los distintos metales en Medellín y en las ciudades vecinas muestreadas, tendremos el siguiente cuadro.

TABLA 4. Promedios generales de Medellín y ciudades vecinas en ug/m³.

Metal	Medellín	Copacabana	Bello	Itagüí	Envigado	Sabaneta
Aluminio	12	3.8	16	14	11	7.5
Antimonio	0.11	0.0052	0.032	0.0066	0.0069	0.061
Cadmio	0.0040	0.0012	0.0018	0.0047	0.0038	0.0046
Calcio	1.7	0.77	3.3	1.3	0.91	8.0
Cobalto	0.010	0.00056	0.022	0.015	0.0097	0.0064
Cobre	1.9	0.22	0.14	0.19	0.19	0.13
Cromo	0.10	0.020	0.18	0.039	0.034	0.017
Estaño	0.079	—	—	—	—	—
Estroncio	0.0080	0.022	0.14	0.041	0.0050	0.0049
Hierro	9.4	2.7	14	6.4	5.4	2.6
Magnesio	2.1	0.79	5.4	2.4	1.9	0.89
Manganesio	0.25	0.10	0.24	0.14	0.12	0.056
Níquel	0.15	0.026	0.12	0.056	0.055	0.033
Plomo	0.77	0.11	0.24	0.30	0.25	0.14
Potasio	1.6	0.67	2.3	1.9	1.6	0.81
Titanio	1.1	0.17	0.88	0.74	0.58	0.053
Vanadio	0.28	0.050	0.042	0.55	0.21	0.035
Zinc	1.3	0.13	0.27	0.94	0.53	0.55

Podría esperarse que el promedio general fuera más alto en Medellín que en las otras ciudades para casi todos los metales, pero sólo es superior en Antimonio, Cobre, Manganeso, Níquel, Plomo, Titanio y Zinc.

Bello tiene un promedio general para ocho metales que es superior al del resto de municipios del Valle de Aburrá, incluido Medellín. Esos metales son: Aluminio, Calcio, Cobalto, Cromo, Estroncio, Hierro, Magnesio y Potasio.

Copacabana resulta ser la ciudad menos contaminada del Valle de Aburrá, con excepción del Cobre cuyo valor promedio es ligeramente mayor que el de las demás, excepto Medellín.

El valor promedio más alto para el Vanadio es el de Itagüí, que se midió en la zona de influencia de la Planta de Potencia más grande del Valle de Aburrá alimentada por Carbón, por lo que no es descartable la influencia que en dicho valor puedan tener las cenizas que allí se producen.

Para el Titanio el valor promedio general más alto es el de Medellín, seguido por el de Bello e Itagüí y cabe esperar que haya más de un tipo de emisor de este metal.

8. VARIACIONES A LO LARGO DEL VALLE DE ABURRA

En las cuatro gráficas siguientes se muestra la variación de las concentraciones promedio, metal por metal, desde el sitio más al sur (No. 1) hasta el sitio más al norte (No. 22).

Los números son los que aparecen en la columna más a la izquierda de la Tabla 1. Estas gráficas destacan, entre otras cosas, que el Aluminio alcanza su concentración más alta en la carrera 80 x 30A, el Hierro lo hace en el centro de la ciudad y no en la zona de la Aduana (No. 16), que está próxima a dos industrias metalúrgicas. El Calcio alcanza sus valores más altos en Itagüí y Sabaneta, en donde se destacan la industria ladrillera y la de cerámica respectivamente.

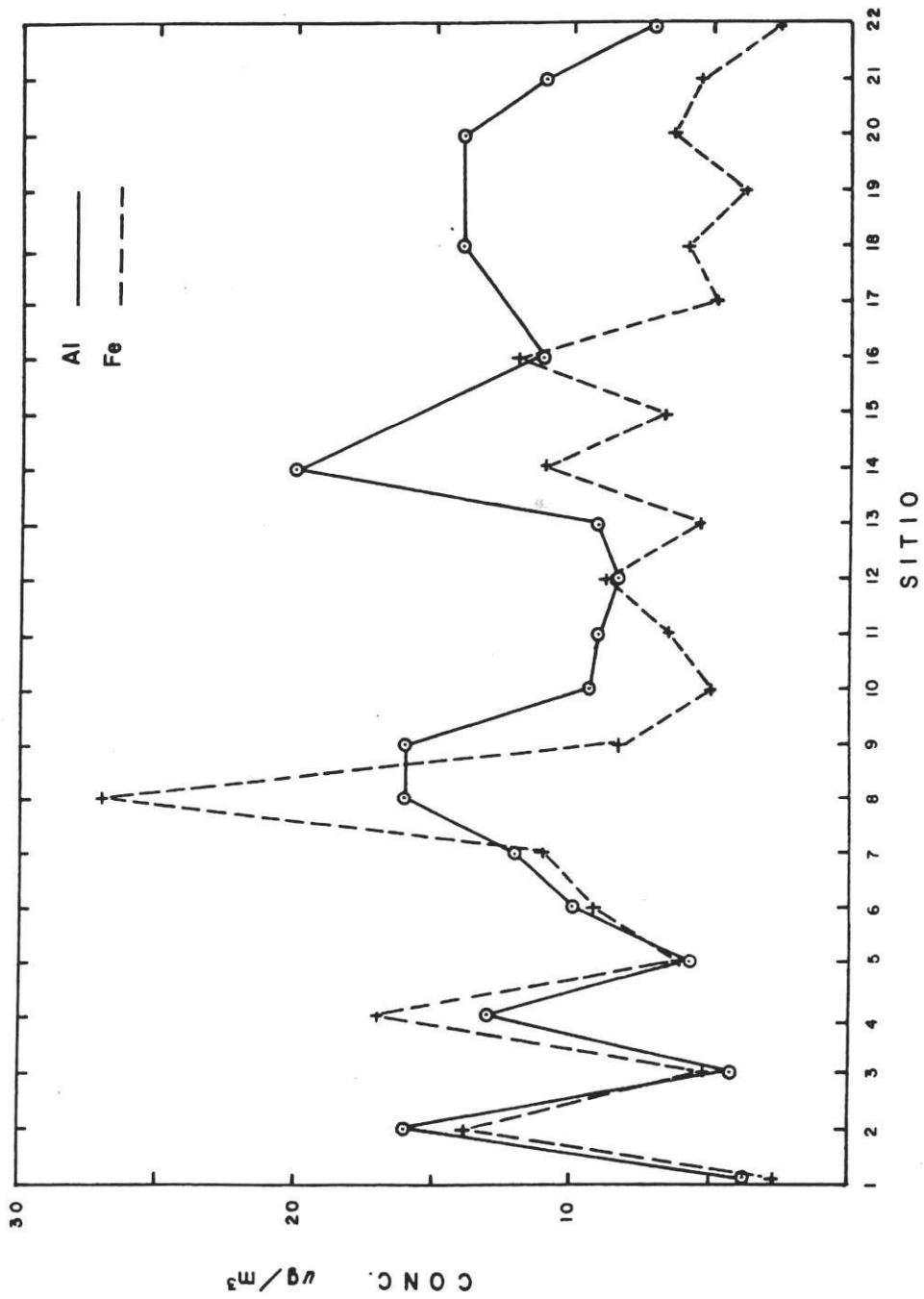
El Magnesio se destaca en Bello y en la Cr. 80 x 30A y el Cobre en la U. de A., las Empresas Públicas (centro de la ciudad), la América y la Aduana.

No sobra advertir que para algunos metales, la escala del eje de concentraciones no es necesariamente la misma.

En el plano también aparecen algunos de los sitios muestreados, pero no todos, porque el plano se refiere sólo a la ciudad de Medellín.

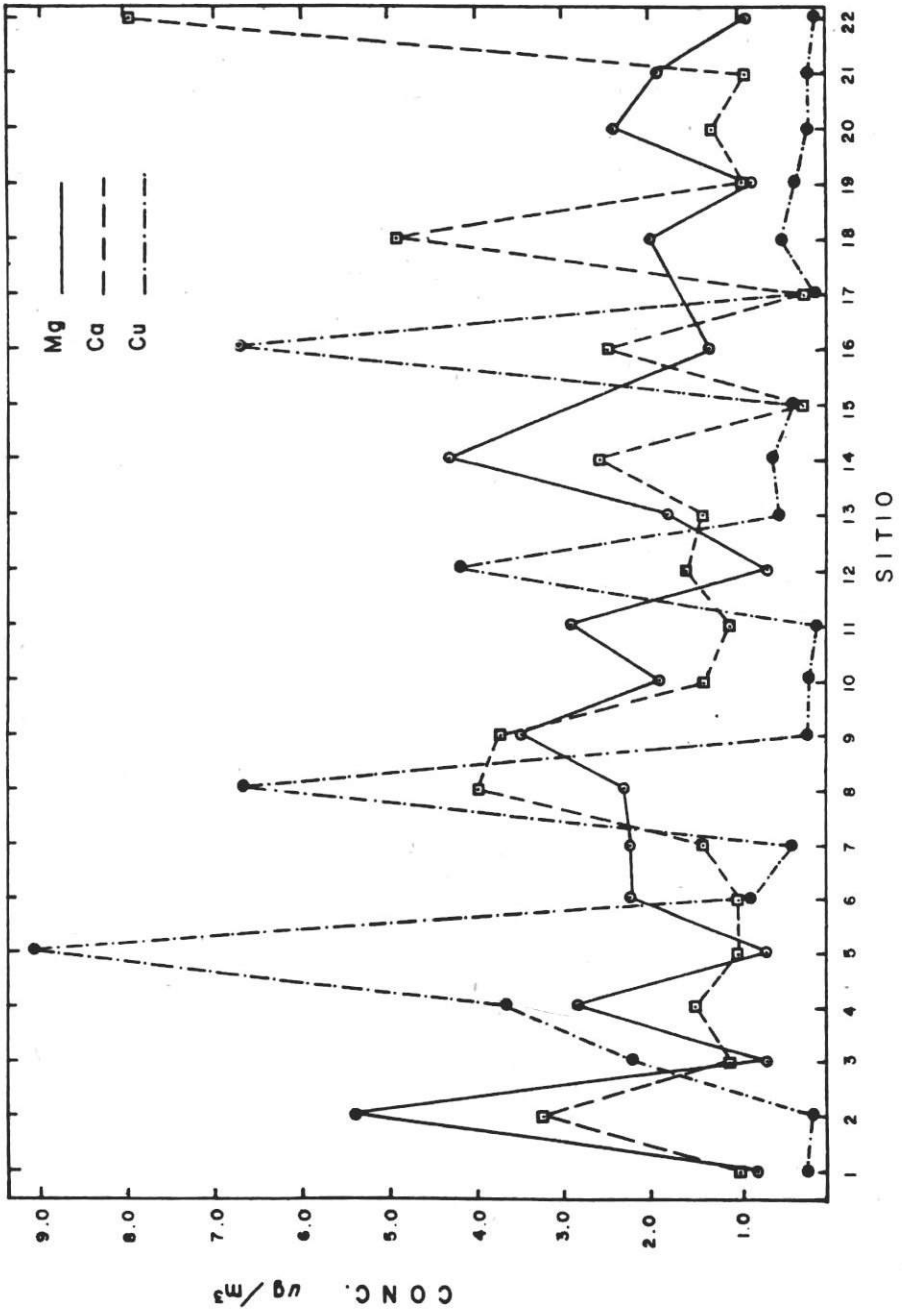
Grafica 1

Conc. de metales, valores promedios
por sitio de muestreo



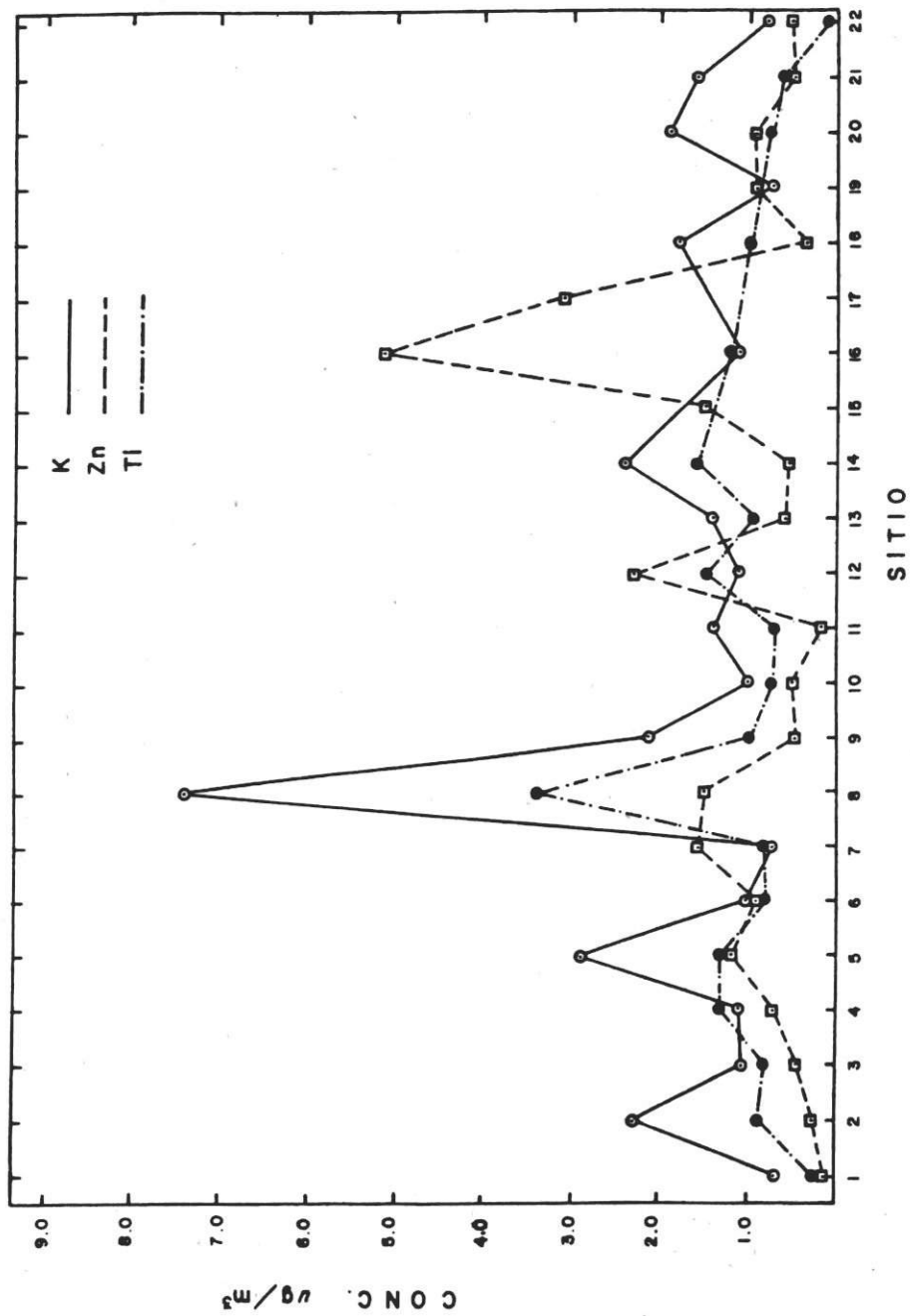
Grafica 2

Conc. de metales, valores promedios por sitio de muestreo

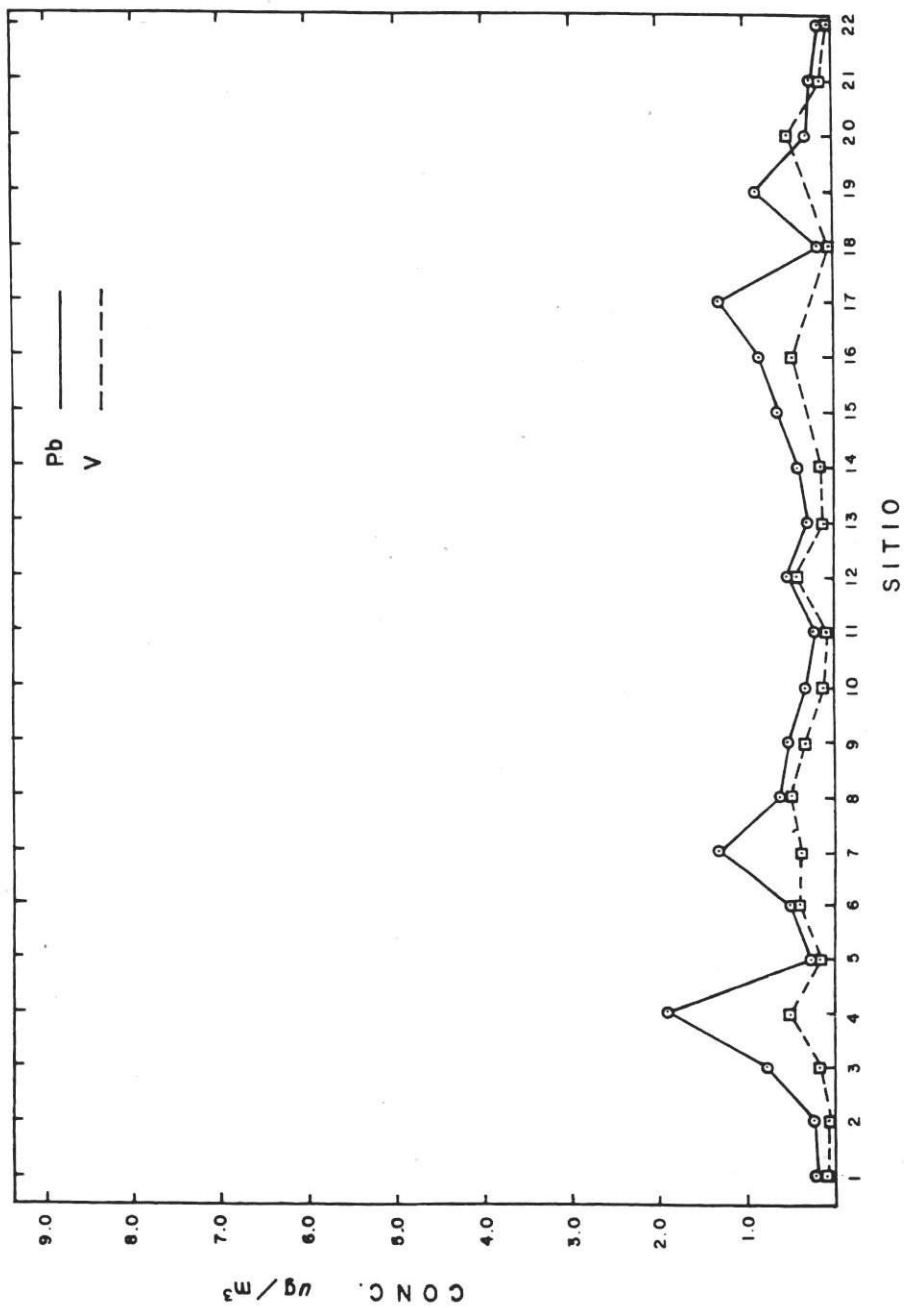


Grafica 3

Conc. de metales, valores promedios por sitio de muestreo



Grafica 4
 Conc. de metales, valores promedios
 por sitio de muestreo



9. MEDELLIN Y OTRAS CIUDADES DEL MUNDO

Como son pocos los estándares que se han establecido para la concentración de metales en atmósferas abiertas, con excepción de unos pocos en algunas ciudades o países, resulta conveniente establecer por comparación, qué tan contaminada se encuentra nuestra atmósfera con relación a la de otras ciudades del mundo.

Como ilustración, en la Tabla 5 se consignan los valores de Medellín (no del Valle de Aburrá) y los de New York, Leningrado, Glasgow (Escocia) y Rio de Janeiro (Copacabana).

TABLA 5. Concentración de Metales en la Atmósfera de Medellín y otras ciudades del mundo. En ug/m³.

Metal	Medellín 1978-1984	Leningrado(7) 1974	Glasgow(1) 1978	Rio de Janeiro(5) (Copacabana)	Bombay(8) (Worli) 1981	New York(9) 1977 1980
Aluminio	12	6.33-12.20	—	—	—	—
Antimonio	0.11	—	—	—	—	—
Cadmio	0.0040	—	0.014	0.0020	.013	0.0041
Calcio	1.7	—	—	—	—	—
Cobalto	0.010	—	0.0008	—	—	—
Cobre	1.9	—	—	0.018	0.35	0.044
Cromo	0.10	—	0.08	0.014	—	0.085
Estaño	0.079	—	—	—	—	—
Estroncio	0.0080	—	—	—	—	—
Hierro	9.4	3.30-13.08	0.29	1.2	4.6	1.0
Magnesio	2.1	—	—	—	—	—
Manganeso	0.25	—	0.023	0.023	—	0.019
Níquel	0.15	—	—	0.0076	—	0.035
Plomo	0.77	—	0.26	0.50	0.38	1.1
Potasio	1.6	—	—	1.0	—	0.099
Titanio	1.1	—	—	—	—	—
Vanadio	0.28	—	—	0.012	—	0.039
Zinc	1.3	—	0.32	0.15	0.76	—

Algunos hechos destacables de la tabla anterior son los siguientes:

La contaminación por Aluminio es comparable al rango superior de Leningrado.

La concentración promedio del Cadmio en Medellín, es igual a la de New York en 1977.

El valor hallado para el Cobre en nuestra ciudad, es superior al de tres ciudades para las cuales se tienen datos.

El Cromo tiene también una concentración promedia mayor que Glasgow, Rio de Janeiro (Copacabana) y New York.

La concentración promedia del Hierro se compara con la de Leningrado. En Niquel, Medellín supera a Rio de Janeiro y New York y en Plomo sólo la supera New York.

También en Potasio, Vanadio y Zinc la concentración de ellos es mayor en Medellín.

10. CONCLUSIONES

Algunas de las conclusiones que pueden derivarse del presente estudio son:

- 10.1 De los metales investigados, los dos más abundantes son Aluminio y Hierro y lo más seguro es que se originen primordialmente en el suelo.
- 10.2 Al comparar las concentraciones de contaminantes metálicos de Medellín y algunas otras ciudades del mundo, se observa que dicha comparación, en términos generales, no favorece a Medellín.
- 10.3 La información obtenida nos permite tener una idea más clara de cuál es la situación actual de contaminación de la atmósfera por metales pesados y alcalinos en el área del Valle de Aburrá .
- 10.4 Los resultados pueden servir de base para medidas correctivas por parte de las autoridades sanitarias locales y nos deben servir de advertencia a todos, pues en cierta medida cada uno de nosotros es un contaminador y nuestra colaboración cuenta si se controlan los grandes emisores de contaminantes.
- 10.5 Dada la innegable trascendencia que tiene la presencia de metales pesados y alcalinos en nuestra atmósfera, en el Centro de Investigaciones Ambientales se continuará investigando en este campo.

NOTA: En la Biblioteca General de la Universidad reposa un ejemplar del informe final de esta investigación, otra copia en la Biblioteca de Colciencias y otra en el Centro de Documentación del Centro de Investigaciones Ambientales.

REFERENCIAS

1. Mc Donald, C. y Duncan, H.J., "Atmospheric Levels of Trace Elements in Glasgow", *Atm. Env.* Vol 13, pp. 413-417, 1979
2. Kneip, T.J., Eisenbud et al., "Airborne Particulate in New York City" *J. of the Air Pollution Control Assoc.*, Vol 20 No. 3, 1970
3. Moyers, J.L., Ranweiler, L.E., Hopf, S.B., and Korte, N.E., "Evaluation of Particulate Trace Species in Southwest Desert Atmosphere", *Env. Sci and Tech.*, Vol 11, p 789, 1972
4. EPA-600/57-80-155. Feb 1981, Project Summary, "Trace Metals and Stationary Conventional Combustion Processes".
5. Trindade, H.A., Pfeiffer, W.C., et al., "Atmospheric Concentration of Metals and Total Suspended Particulates in Rio de Janeiro", *Env. Sci and Tech.*, Vol 15, No. 1, 1981
6. "Environmental Health Perspectives", Vol 8, 10 pp 10-11, 1974
7. Khandekar, R.N., Kelkar, D.N., and Vohra, F.G., "Lead, Cadmium, Zinc, Copper and Iron in the Atmosphere of Greater Bombay", *Atm. Env.*, Vol 14, pp 457-461, 1980.
8. Kleinman, M.T., Disertación para el Doctorado en New York University, citado por Trindade (Ref 5), 1977