1 INTRODUCCIÓN

El informe de *Calidad del Aire* para el año 2000 que se presenta en este documento contiene un análisis de los registros obtenidos en la operación de la Red de monitoreo durante el trienio 1998-2000.

El análisis de los datos se efectuó teniendo en cuenta su naturaleza. Por ejemplo, desde el punto de vista meteorológico se elaboró una caracterización del comportamiento de los factores que inciden de una manera determinante en la dispersión y el transporte de los contaminantes como la velocidad y dirección del viento, la precipitación pluviométrica, la radiación solar y la estabilidad atmosférica. Los registros de las concentraciones de contaminantes se analizaron con base en parámetros estadísticos que incluyeron el cálculo de la distribución de frecuencias (percentiles del 25, 50, 75, 95 y 99%), los valores máximos, los promedios y la desviación estándar.

También se trabajó en la búsqueda de las posibles correlaciones entre el comportamiento de los dos grupos de parámetros citados, esto es, los factores meteorológicos y los niveles de calidad del aire detectados. Así mismo se incluye un análisis de los datos obtenidos en el cálculo del Indice Bogotano de Calidad del Aire - IBOCA.

El informe contiene siete secciones y 4 anexos. La sección 1 es la introducción; en la sección 2 se presentan las normas de calidad del aire que se adoptaron como nivel de referencia para evaluar las concentraciones de los contaminantes que se miden en la Red. Posteriormente, la sección 3 contiene una descripción de las características de la configuración de la Red y el mapa de localización geográfica de las estaciones de monitoreo; y la sección 4 presenta el análisis del comportamiento meteorológico observado para la ciudad; en la sección 5 se incluye el análisis de los niveles de calidad del aire en la ciudad y el análisis del IBOCA. Finalmente, en la sección 6 se presentan las conclusiones y en la séptima, la bibliografía utilizada.

2 NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

Las normas de calidad del aire que se adoptaron como nivel de referencia para la evaluación de las concentraciones de contaminantes en Bogotá, son las siguientes:

TABLA 2.1 NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE

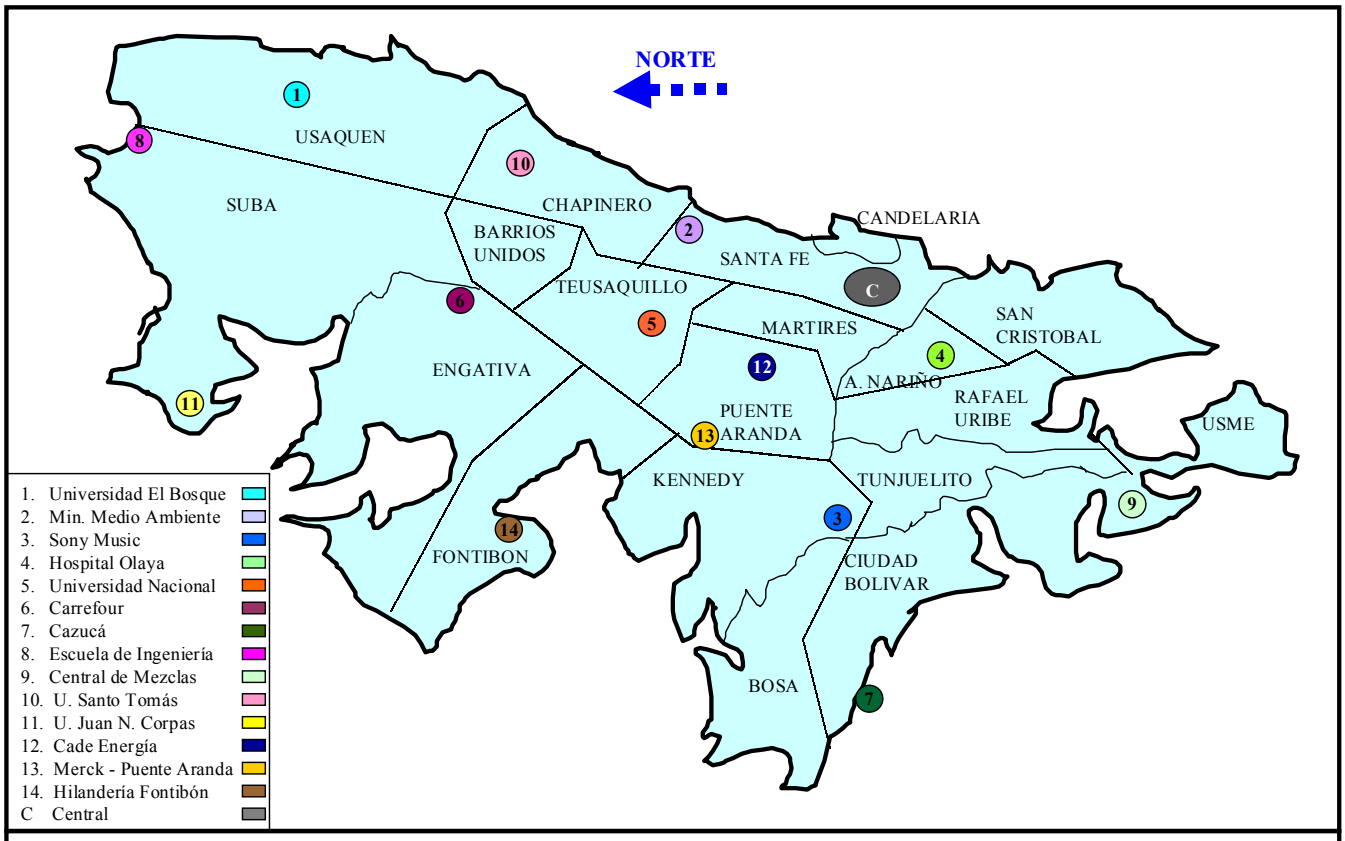
CONTAMINANTE	PERÍODO	NORMA	UNIDAD	FUENTE	COMENTARIOS
PARTÍCULAS, PM-10	Anual	50	$\mu g/m^3$	EPA	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	150	$\mu g/m^3$	EPA	Concentración promedio horaria en 24 horas
PARTÍCULAS, PM-2.5	Anual	15	$\mu g/m^3$	EPA	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	65	$\mu g/m^3$	EPA	Concentración promedio horaria en 24 horas
ÓXIDOS DE AZUFRE, SO_2	Anual	38	ppb	Dec.02. 82	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	24 horas	153	ppb	Dec.02.82	Concentración promedio horaria en 24 horas
	3 horas	574	ppb	Dec.02.82	Concentración promedio horaria en 3 horas
ÓXIDOS DE NITRÓGENO, NO_2	Anual	53	ppb	Dec.02.82	Promedio aritmético de las concentraciones medias diarias en 365 días
	1 hora	107	ppb	WHO	Concentración promedio horaria
MONÓXIDO DE CARBONO, CO	8 horas	12	ppm	Dec.02.82	Concentración promedio horaria en 8 horas
	1 hora	40	ppm	Dec.02.82	Concentración promedio horaria
OXIDANTES FOTOQUÍMICOS,O_3	1 hora	87	ppb	Dec.02.82	Concentración promedio horaria
	8 horas	61	ppb	WHO	Concentración promedio en 8 horas

EPA: Environmental Protection Agency, USA.
Dec.02-82: Normas de Colombia sobre emisiones atmosféricas
WHO: World Health Organization
$\mu g/m^3$: microgramos de contaminante por metro cúbico de aire, pbb: partes por billón, ppm: partes por millón.

3 CONFIGURACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

La Red de Calidad del Aire de Bogotá, es un sistema de Monitoreo Ambiental en tiempo real con transmisión de datos vía telefónica. Para el período de análisis que nos ocupa, la Red estaba constituida por una estación central de recepción de datos y catorce (14) estaciones remotas, de las cuales dos eran únicamente meteorológicas. En la Estación Central de la Red se evalúa la calidad de la información, se depura, se procesa y se elaboran informes periódicos que incluyen el análisis de los datos y la verificación del cumplimiento de las normas de calidad del aire para detectar los puntos críticos, tanto desde el punto de vista geográficos, es decir, las áreas o sectores que requieren atención prioritaria, como en relación con los contaminantes que alcanzan concentraciones de interés.

A continuación se presenta el mapa de ubicación de las estaciones que conforman la Red de Monitoreo, las características de las zonas de influencia de las estaciones, así como la relación de Estaciones y Sensores instalados en cada una de las mismas.



MAPA 3.1 RED DE CALIDAD DEL AIRE DE BOGOTA

UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES

APCYTEL LTDA

TABLA 3.1 CARACTERISTICAS DE LAS ZONAS EN DONDE SE ENCUENTRAN UBICADAS LAS ESTACIONES

No.	ESTACION	ZONA
3 7 12 13	Sony Music Cazucá Cade Energía Merck	**SUROCCIDENTE** Zona industrial con alto tráfico vehicular y uso Residencial
4	H. Olaya	**SURORIENTE** Alto tráfico vehicular, uso residencial y comercial.
2 5 10	MMA U. Nacional U. Santo Tomás	**CENTRAL** Alto tráfico vehicular, uso residencial, comercial e institucional
1 11	U. Bosque Corpas	**NORTE** Zona residencial de baja densidad poblacional y alto tráfico vehicular.
6 14	Carrefour – Calle 80 Hilandería – Fontibón	**NOROCCIDENTE** Alto tráfico vehicular y uso residencial y comercial

RPCYTEL - SIR

TABLA 3.2 ESTACIONES Y SENSORES DE LA RED DE CALIDAD DEL AIRE - DAMAIRE

ESTACION / CONTAMINANTE	No.1 U.BOSQUE	No. 2 MMA	No. 3 SONY	No. 4 H. OLAYA	No. 5 U. NACIONAL	No. 6 CARREFOUR-80	No. 7 CAZUCA	No. 8 ESC.INGENIERIA	No. 9 C.MEZCLAS	No. 10 U.STO. TOMAS	No. 11 U. CORPAS	No. 12 CADE E.	No. 13 MERCK	No.14 FONTIBON
LATITUD	04°42'44.3"	04°37'39.8"	04°35'55.5"	04°35'30.7"	04°38'38.3"	04°41'37.0"	04°35'51.7"	04°43'13.0"	04°33'24.7"	04°39'34.0"	04°45'55.4"	04°37'19.0"	04°38'04.8"	04°40'23.1"
LONGITUD	74°02'06.6"	74°04'14.1"	74°09'07.5"	74°05'19.9"	74°05'39.4"	74°05'09.5"	74°11'17.4"	74°02'52.0"	74°08'15.6"	74°03'35.0"	74°05'48.4"	74° 06' 05.2"	74°07'15.0"	74°08'42.2"
ALTITUD (msnm)	2,574	2,597	2,541	2,600	2,556	2,563	2,546	2,575	2,555	2,600	2,569	2,570	2,581	2,576
LOCALIDAD	Usaquén	Santa fe	Kennedy	Antonio Nariño	Teusaquillo	Engativá	Ciudad Bolivar	Suba	Ciudad Bolivar	Chapinero	Suba	Puente Aranda	Puente Aranda	Fontibón
DIRECCION	Trans.9 #133-95	Calle 37 #6-40	Auto Sur #61-40	Carrera 10°	Inst.Estudios	Calle 81 #68-50	Calle 14 #6-54	Autopista Norte	Autopista a Llano	Cra 9 #72-90	Clinica Corpas	Calle 13 #37-35	Cra 65 #10-95	Cra 95 #24-49
				Esquina Av. 1°	Ambientales		Entrada 1 Cazucá	Km. 13	Calle 71A-90 Sur		Av Corpas Km 13			
PM 10	X	X	X	X		X	X			X	X	X	X	X
CO		X	X	X			X				X		X	X
SO2	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
NOx	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
O3		X	X	X	X		X						X	X
CH4		X	X											
BENCENO		X		X										
TOLUENO		X		X										
FORMALDEHIDO		X		X										
PRECIPITACION	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DIRECCION VIEN.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
VELOCIDAD VIEN.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TEMPERATURA						X					X		X	X
TEMP. 3 ALTURAS								X	X					
HUMEDAD RELAT								X	X					
PRESION ATM.								X	X					
RADIACION								X	X					
ORTOGONAL VIEN								X	X					

Información General de cada Estación

Sensores de Calidad del Aire, según método, así:

Absorción Espectrométrica Diferencial Optica

Muestreo Puntual Permanente

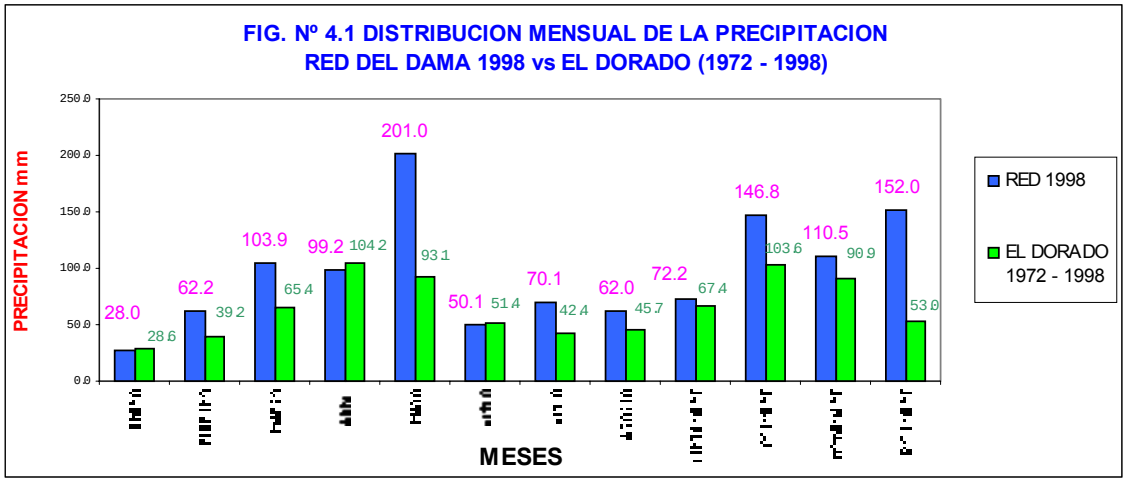
Sensores Meteorológicos

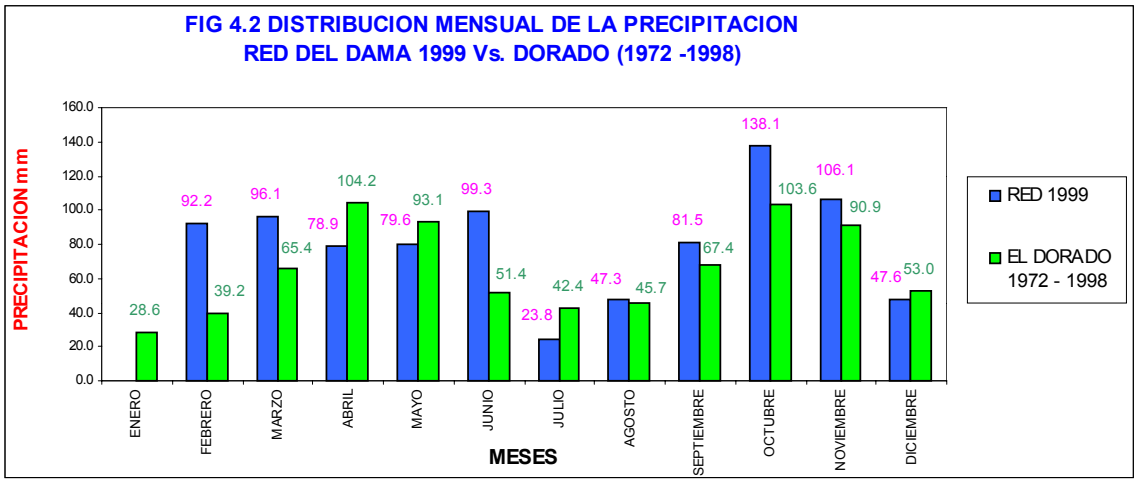
4 COMPORTAMIENTO METEOROLOGICO

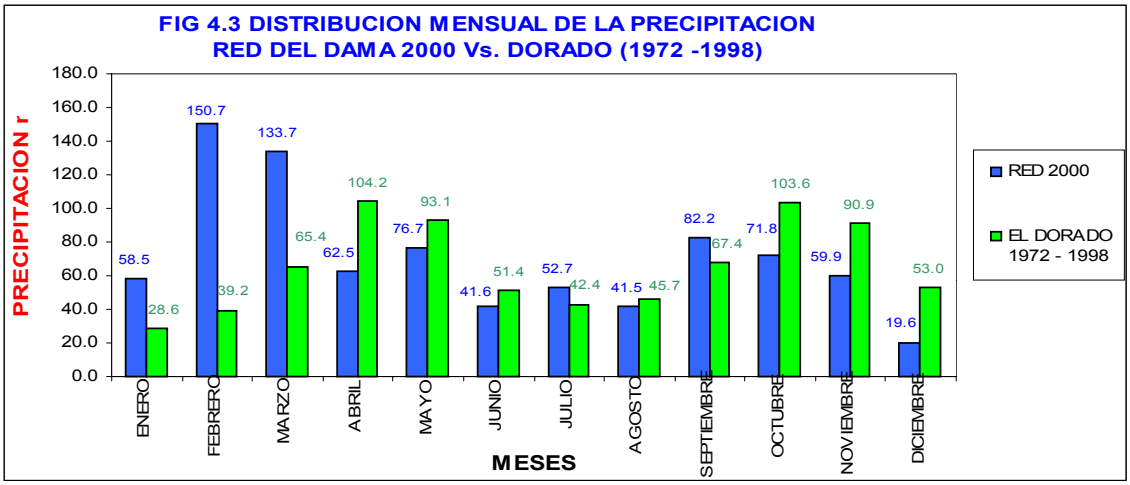
A continuación se presenta un breve análisis meteorológico realizado a partir de la información producida por las estaciones que conforman la red de calidad del aire de propiedad del Dama. La información analizada corresponde, en la mayoría de las estaciones, a los años 1998, 1999 y 2000. Como referencia para la precipitación se ha tomado la serie histórica (1972 – 1998) de la información producida en la estación Aeropuerto El Dorado de propiedad del IDEAM. Las estaciones Merck y Fontibón fueron instaladas en noviembre de 1999 y la estación Engativá fue trasladada a los predios de Carrefour calle 80 en febrero de 2000.

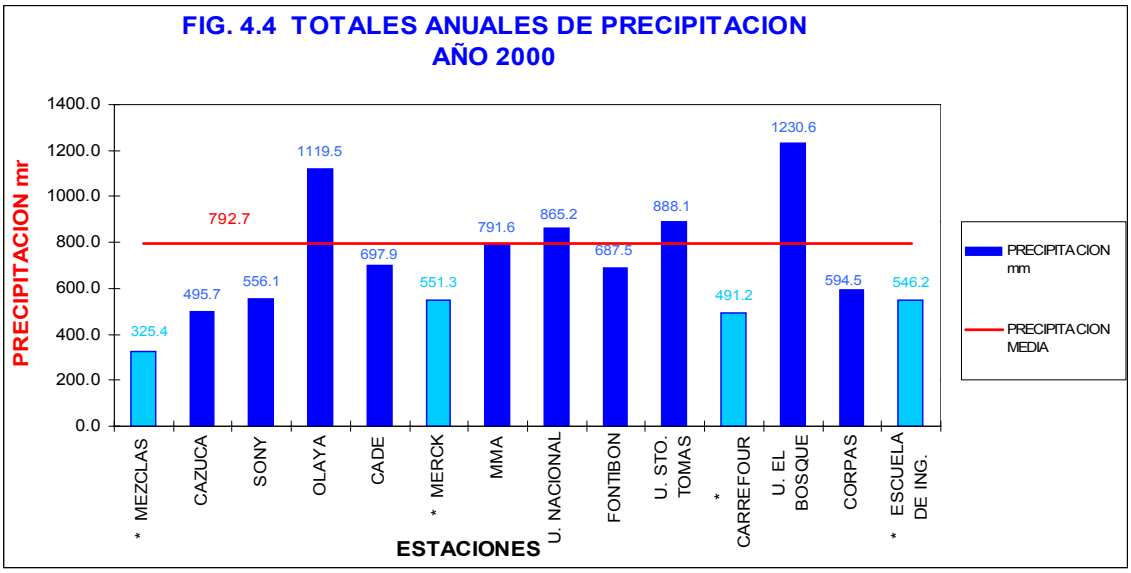
PRECIPITACION: La distribución anual de la precipitación en la ciudad (Histórico), presenta un comportamiento Bimodal con máximos en los meses de abril y octubre y mínimos en enero y julio. Para el año 2000 la precipitación promedio de la red del DAMA presentó un comportamiento anormal (respecto al comportamiento climatológico de la estación Aeropuerto El Dorado), con máximos en los meses de febrero y mayo, escasas precipitaciones en abril y regular comportamiento en los meses de junio, julio y agosto; de todas maneras la distribución espacial de la precipitación no es uniforme en toda la ciudad, con valores mínimos hacia el sur y occidente aumentando hacia el norte y oriente. En el año 2000 se presentaron totales anuales desde 495.7 mm en la estación Cazucá (sur de la ciudad), hasta 1230.6 mm en la estación Universidad el Bosque (nor-oriente).

Las figuras N° 4.1 a 4.3 comparan el comportamiento de la precipitación promedio de la red del Dama con los promedios de la serie histórica de la estación Aeropuerto El Dorado para los años 1998, 1999 y 2000. En la gráfica N° 4.4 se presentan los totales anuales de la precipitación para el año 2000, de cada una de las estaciones de la red del DAMA. En el mapa N° 4.1 se presentan las isoyetas para el año 2000. Es importante señalar que según las autoridades meteorológicas, entre junio de 1997 y mayo de 1998, el territorio colombiano estuvo bajo la influencia del fenómeno cálido EL NIÑO y entre junio del 1998 y diciembre de 2000 bajo influencias del fenómeno LA NIÑA. Dada la variación de la distribución espacial de la precipitación en el área de la ciudad, es difícil identificar la influencia de estos fenómenos en el comportamiento de la misma.



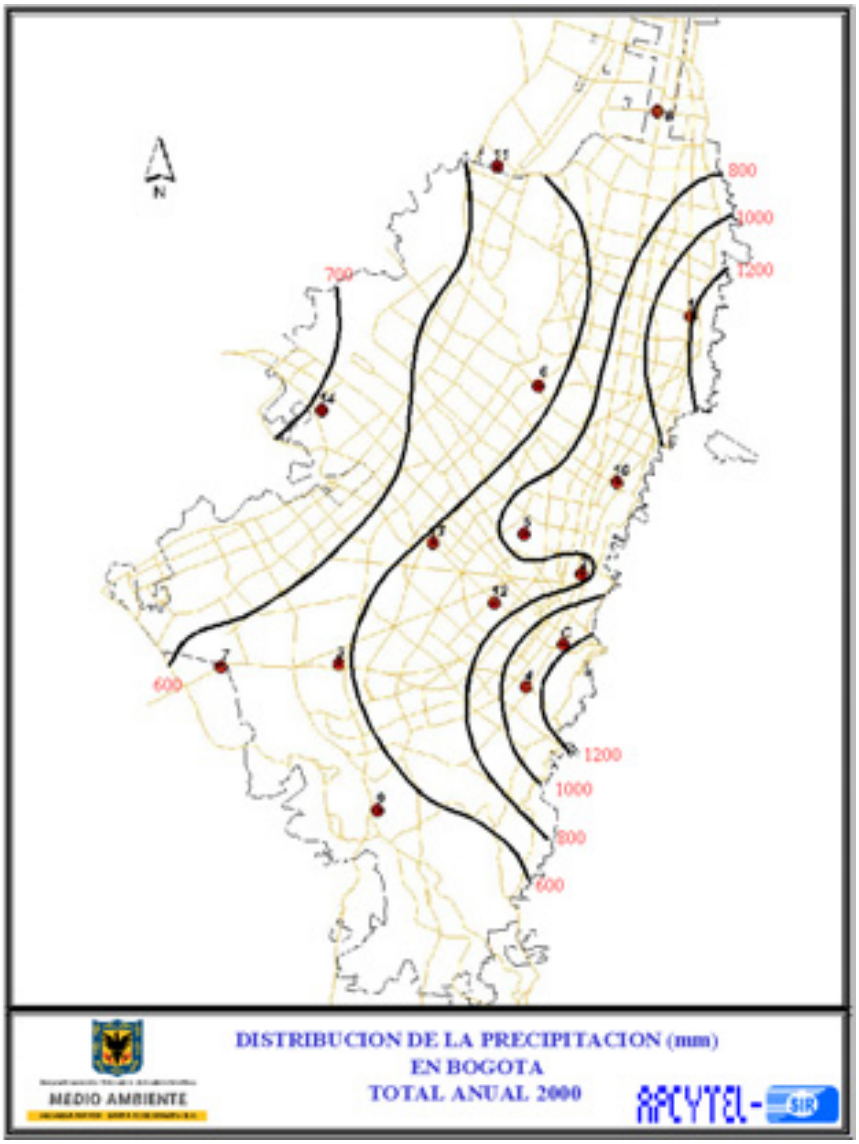




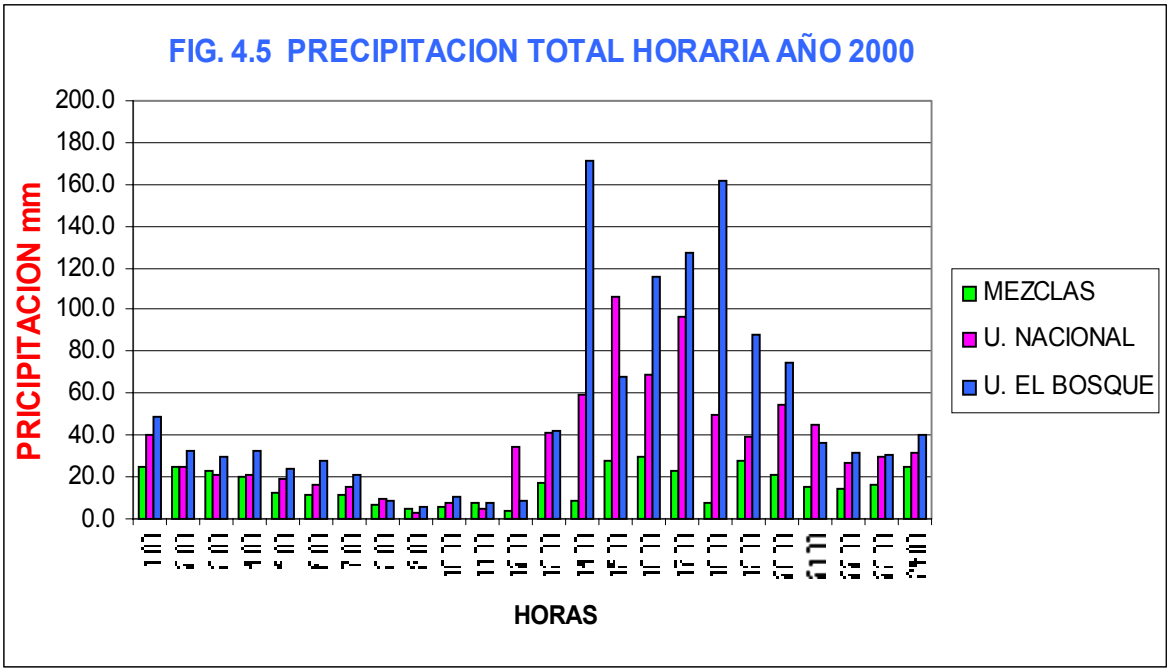


No se tienen en cuenta para la media anual por datos insuficientes

MAPA 4.1 ISOYETAS AÑO 2000



Las precipitaciones horarias sobre el área de la ciudad se presentan principalmente en las horas de la tarde y noche, con escasas precipitaciones en las horas de la mañana (7 – 12 horas), período en que generalmente se presentan las máximas concentraciones de los contaminantes, por esta razón no se efectuaron correlaciones horarias entre la precipitación y la concentración de los contaminantes. La figura N° 4.5 presenta el total de la precipitación horaria para el año 2000 de las estaciones Central de Mezclas (sur de la ciudad), Universidad Nacional (centro) y Universidad del Bosque (norte), este comportamiento es similar en todas las estaciones.

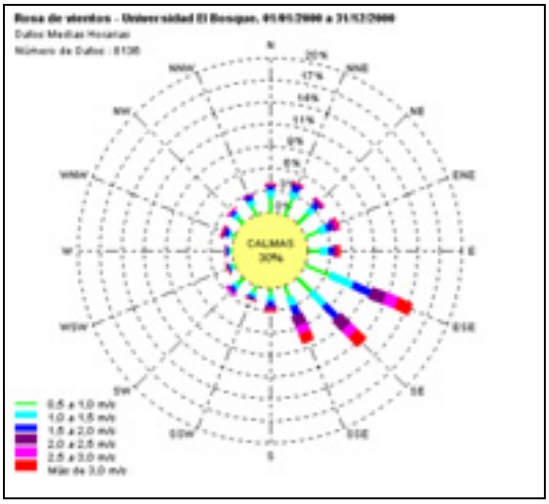


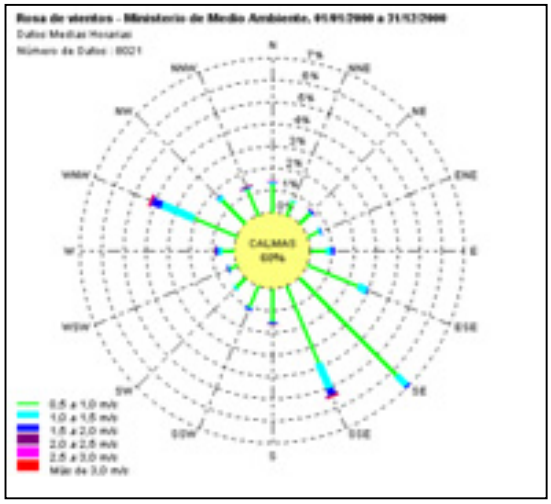
VIENTOS EN SUPERFICIE: Las figuras N° 4.6 a 4.8 presentan las rosas de los vientos de cada una de las estaciones que conforman la red del DAMA para el año 2000. En ella se puede observar que en las estaciones localizadas en el centro y norte de la ciudad la componente predominante de la velocidad del viento fue del este (Universidad del Bosque, Ministerio del Medio Ambiente, Carrefour – Calle 80, Universidad Nacional, Escuela Ingeniería, Corpas), en las estaciones localizadas en el occidente (Merck y Fontibón) la componente predominante fue del oeste y en las estaciones localizadas en el sur (Olaya, Sony, Cazucá y Mezclas), la componente predominante fue del sur. El mapa N° 4.2 muestra la circulación predominante del viento en el año 2000. En las estaciones Ministerio del Medio Ambiente y Universidad Nacional (centro de la ciudad), se presentaron el mayor número de calmas (velocidades inferiores a 0.5 m/s), con 68 y 63% de las observaciones respectivamente. El menor número de calmas se registraron en las estaciones Cazucá, sur de la ciudad y Fontibón en el occidente de la ciudad, con 13 y 6% de las observaciones respectivamente. Durante los meses de junio, julio y agosto se registraron las velocidades promedios más altas y en diciembre, enero y febrero las más bajas.

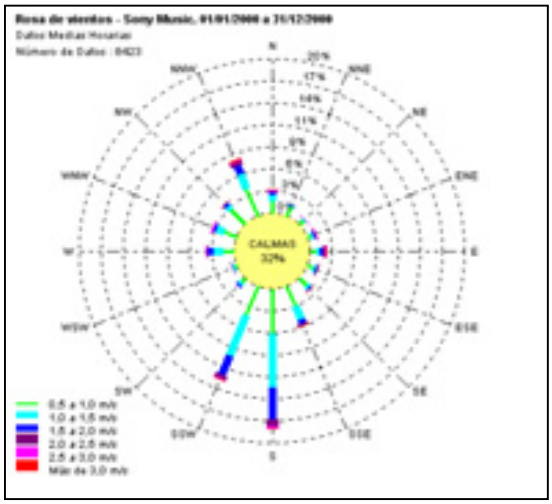
En general la velocidad del viento se puede considerar como débil, con máximos en las horas del medio día y mínimos en las primeras horas del día; en la figura N° 4.9 está representada la variación diurna de la velocidad del viento en las estaciones Central de Mezclas (sur de la ciudad) y Universidad del Bosque (norte de la ciudad), este comportamiento es similar en todas las estaciones.

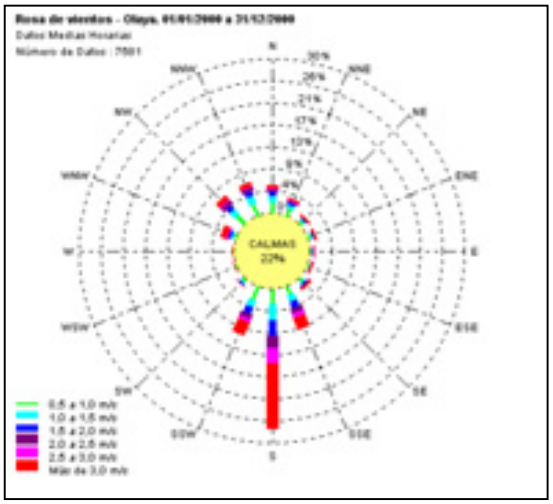
La tabla N° 4.1 presenta el número de veces que la velocidad del viento superó los 3 m/s (viento moderado) y en las tablas N° 4.2 y 4.3 se muestran los promedios mensuales, los máximos mensuales y anuales de la velocidad del viento para los años 1998, 1999 y 2000, en cada una de las estaciones de la red.

FIG. 4.6 ROSAS DE VIENTO ESTACIONES No. 1, 2, 3, 4, 5 Y 6









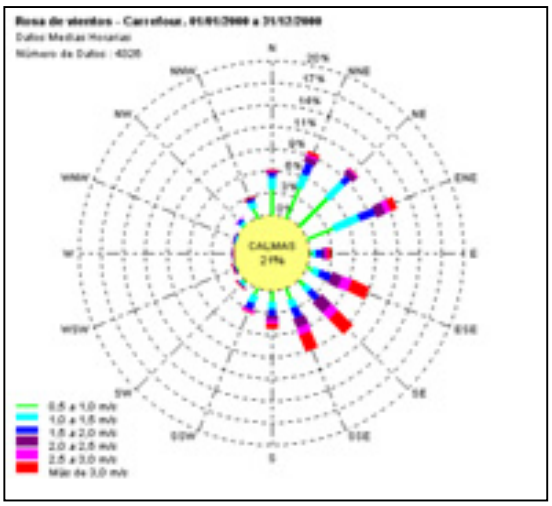
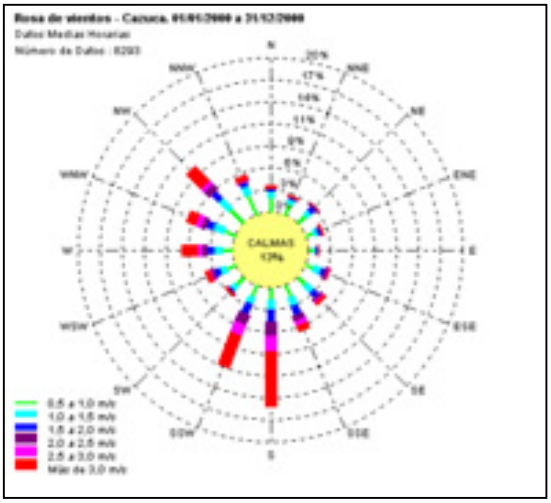
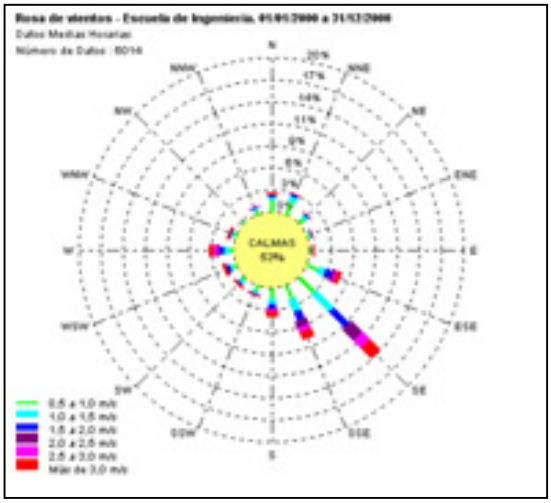
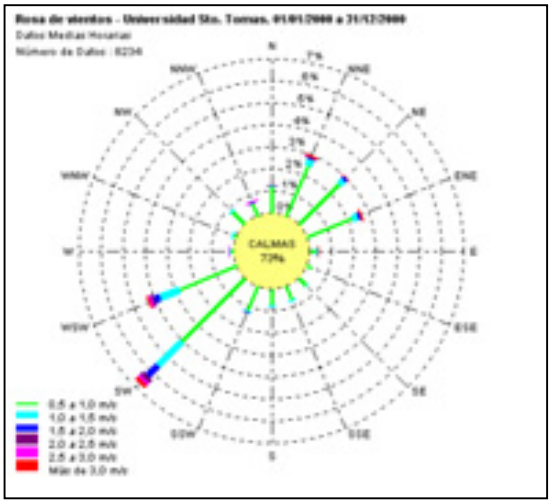
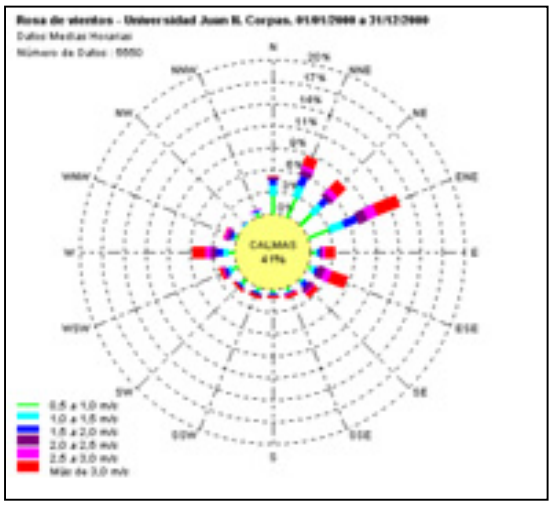


FIG. 4.7 ROSAS DE VIENTO ESTACIONES No. 7, 8, 9, 10, 11 Y 12









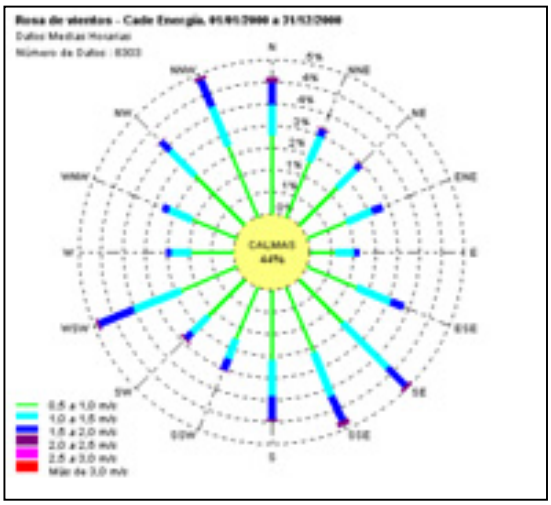


FIG. 4.8 ROSAS DE VIENTO ESTACIONES No. 13 Y 14

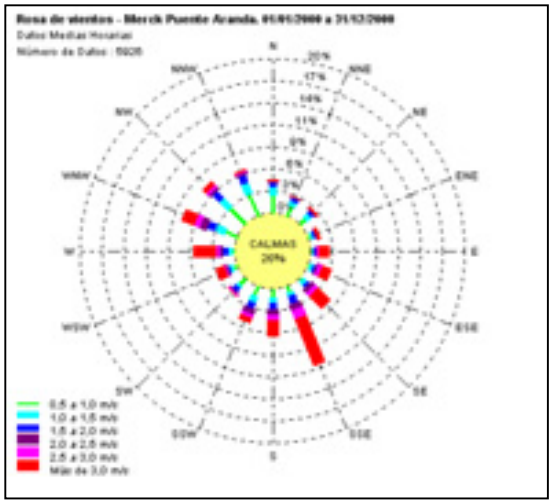


FIG 4.9 VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIOS HORARIOS AÑO 2000

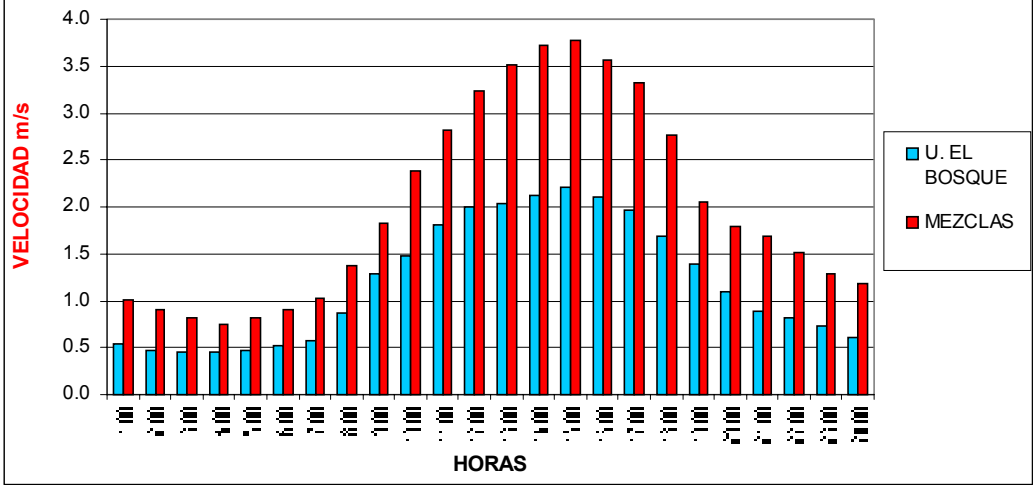


TABLA N° 4.1 NUMERO DE HORAS EN LAS QUE LA VELOCIDAD DEL VIENTO > 3m/s

ESTACION	N°	N° DATOS	V > 3m/s	%
U. EL BOSQUE	1	8136	470	5.78
MMA	2	8021	3	0.04
SONY	3	8439	50	0.59
H. OLAYA	4	7637	1687	22.09
U. NACIONAL	5	8565	10	0.12
CARREFOUR CALLE 80	6	6959	1091	15.68
CAZUCA	7	8317	1780	21.40
ESC. ING.	8	6102	322	5.28
C. MEZCLAS	9	6944	2075	29.88
U. STO. TOMAS	10	8241	31	0.38
U. CORPAS	11	8097	1202	14.85
CADE CLL.13	12	8432	0	0.00
MERCK	13	6646	1529	23.01
H. FONTIBON	14	8118	2299	28.32

MAPA 4.2 CIRCULACION PREDOMINANTE DEL VIENTO

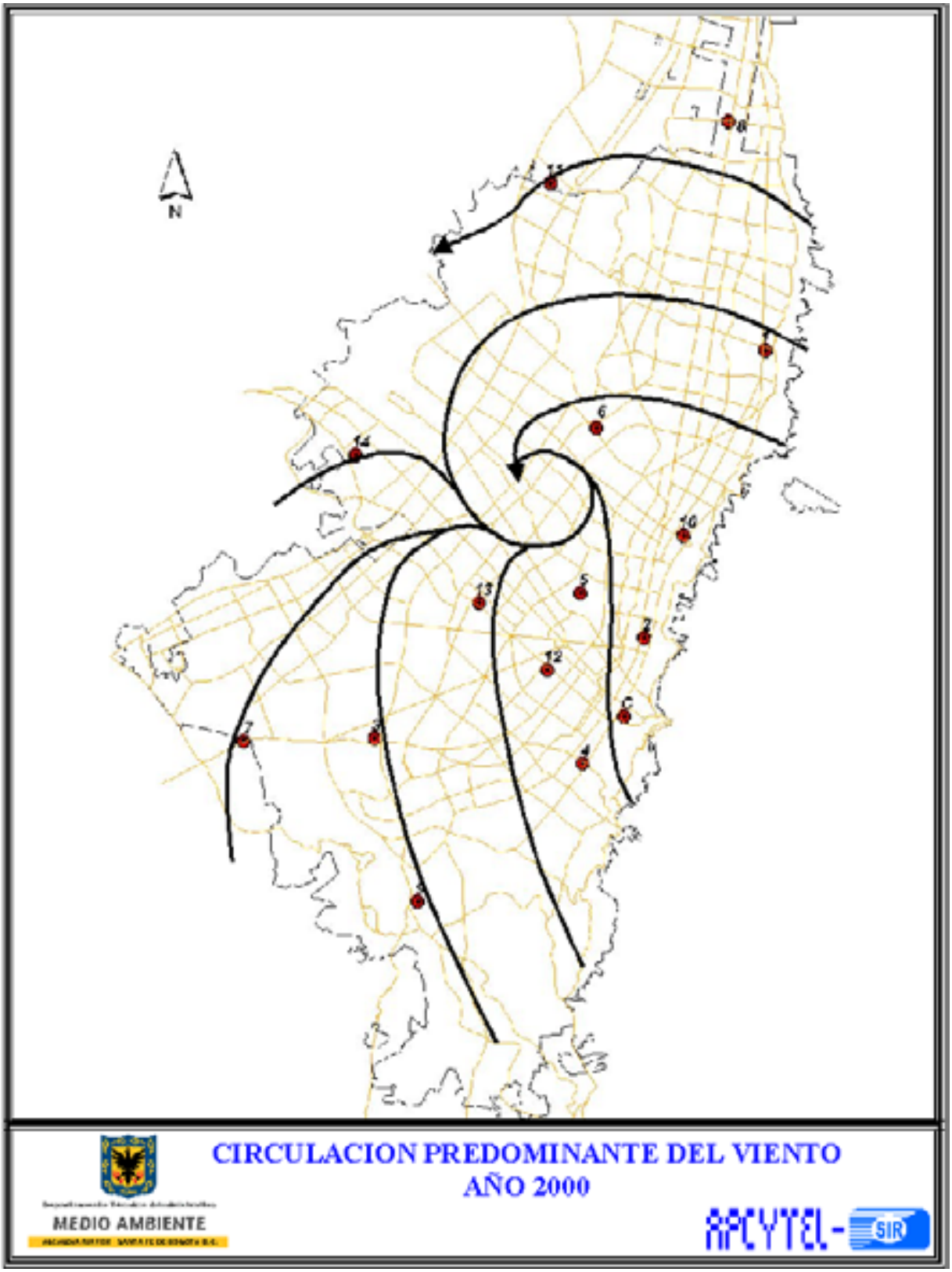


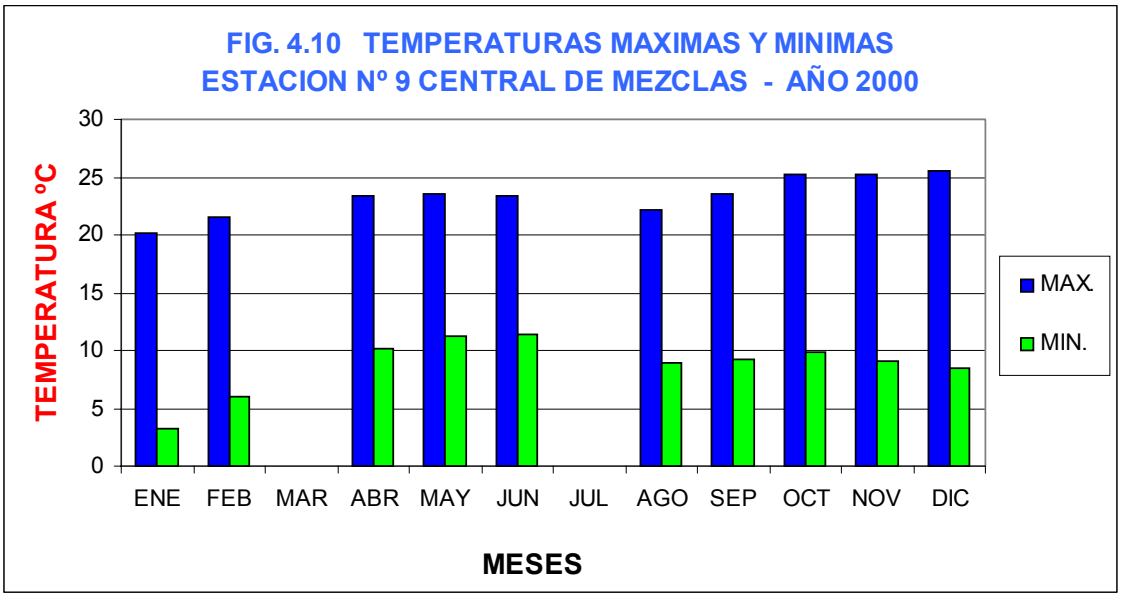
TABLA N° 4.2 VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
PROMEDIOS MENSUALES - MAXIMOS MENSUALES Y ANUALES
AÑOS 1998 - 1999 - 2000

			ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ANUAL	MAXIMO ANUAL	MAXIMO FECHA
J. EL BOSQUE	1998	PROM	1.6	1.4	1.4	1.0	1.1	1.4	1.3	1.6	1.2	0.9	1.0	0.9	1.2		
		MAX	6.4	5.8	6.4	4.0	5.2	4.6	4.5	5.5	6.7	3.9	5.7	5.5		6.7	10-Sep-98
	1999	PROM	-	1.3	1.3	1.5	1.4	1.0	1.7	1.9	1.2	1.1	0.9	1.0	1.3		
		MAX	-	4.8	6.7	6.4	5.7	5.2	5.8	7.7	6.8	5.8	5.2	5.5		7.7	18-Ago-99
	2000	PROM	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.5	1.3	1.5	1.2	1.2	1.0	-	1.2		
		MAX	5.1	4.5	4.7	6.2	4.9	5.2	5.8	5.5	5.0	5.5	4.1	-		6.2	27-Abr-00
MMA	1998	PROM	0.7	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6		
		MAX	2.8	2.3	2.4	2.0	2.9	3.4	2.0	2.2	2.4	2.6	3.0	2.6		3.4	12-Jun-98
	1999	PROM	-	-	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3		
		MAX	-	-	2.2	1.4	2.3	2.2	2.1	2.4	1.9	1.8	1.6	1.9		2.4	29-Ago-99
	2000	PROM	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-	0.4	0.5		
		MAX	2.0	2.4	1.8	3.3	2.4	2.0	2.4	2.0	3.5	-	-	1.6		3.5	2-Sep-00
SONY	1998	PROM	1.3	1.0	1.0	1.1	1.1	1.5	1.4	1.3	1.0	1.0	-	0.8	1.1		
		MAX	4.4	3.3	2.7	3.9	3.9	5.1	4.7	4.0	2.4	3.7	-	3.2		5.1	30-Jun-98
	1999	PROM	-	0.9	0.8	1.2	1.0	1.0	1.2	1.1	0.8	0.7	0.7	0.6	0.9		
		MAX	-	3.6	2.8	3.8	3.8	3.0	3.6	3.3	3.3	3.0	2.8	2.8		3.8	15-Abr-99
	2000	PROM	0.7	0.6	0.8	1.1	1.0	1.0	1.0	1.1	0.8	0.9	0.6	1.0	0.9		
		MAX	2.8	2.6	3.4	5.9	9.6	2.9	2.8	2.8	2.2	2.9	3.4	4.0		9.6	23-May-00
OLAYA	1998	PROM	2.6	1.9	1.6	1.2	1.2	1.7	1.1	1.0	1.1	0.7	0.9	1.2	1.4		
		MAX	10.5	8.2	8.2	6.3	6.1	7.2	4.0	4.8	6.2	3.9	9.3	7.7		10.5	15-Ene-98
	1999	PROM	-	1.1	1.2	1.6	1.1	0.8	1.1	1.3	1.1	0.9	1.2	1.5	1.2		
		MAX	-	5.7	6.1	7.3	5.3	4.5	5.8	7.6	6.4	5.3	6.0	6.1		7.6	2-Ago-99
	2000	PROM	1.7	-	1.7	2.3	1.0	2.2	2.7	2.4	1.7	1.9	1.6	1.4	1.9		
		MAX	7.1	-	11.9	12.2	7.3	7.7	8.3	7.3	8.0	7.4	5.7	6.8		12.2	9-Abr-00
UNAL	1998	PROM	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4		
		MAX	2.6	1.9	1.8	2.1	1.8	2.4	1.9	2.5	2.1	1.7	1.7	1.7		2.6	24-Ene-98
	1999	PROM	-	-	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4		
		MAX	-	-	2.2	1.8	2.0	1.7	2.0	2.1	1.9	1.6	1.6	1.9		2.2	13-Mar-99
	2000	PROM	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5		
		MAX	2.1	4.8	2.4	2.2	1.9	2.1	1.9	1.6	1.9	1.7	1.5	1.6		4.8	7-Feb-00
CARREFOUR	2000	PROM			2.2	2.2	1.9	2.1	1.6	1.8	1.2	1.2	1.3	1.1	1.7		
		MAX		-	6.9	7.1	7.0	7.3	5.8	11.4	6.3	4.3	5.1	5.0		11.4	24-Ago-00
CAZUCA	1998	PROM	-	1.9	1.8	1.7	1.8	2.3	2.2	2.1	1.9	2.2	2.1	2.3	2.0		
		MAX	-	6.6	6.7	6.7	6.8	7.5	7.6	7.0	8.3	7.9	7.9	7.7		8.3	13-Sep-98
	1999	PROM	-	2.2	2.2	1.6	1.8	1.8	2.3	2.0	1.8	1.9	1.7	1.7	1.9		
		MAX	-	8.7	8.0	6.8	8.1	6.1	7.8	6.7	5.9	8.0	6.8	6.9		8.7	21-Feb-99
	2000	PROM	1.8	1.4	1.2	1.8	1.8	5.9	2.0	2.8	1.3	2.5	2.1	1.5	2.2		
		MAX	6.2	6.9	6.2	5.8	6.5	2.0	11.0	12.7	5.7	7.9	3.4	6.3		12.7	6-Ago-00

TABLA N° 4.3 VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
PROMEDIOS MENSUALES - MAXIMOS MENSUALES Y ANUALES
AÑOS 1998 - 1999 - 2000

			ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ANUAL	MAXIMO ANUAL	MAXIMO FECHA
ESC.ING	1998	PROM	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7	1.2	0.9	0.8	0.8	0.6	0.6	0.4	0.8		
		MAX	8.2	5.0	5.4	4.2	5.1	5.6	6.9	4.7	5.6	5.2	4.8	4.9		8.2	24-Ene-98
	1999	PROM	-	-	0.6	0.7	0.8	0.6	1.0	0.8	0.5	-	0.7	0.8	0.7		
		MAX	-	-	3.6	4.1	4.6	3.9	5.6	4.3	4.2	-	4.9	5.1		5.6	7-Jul-99
	2000	PROM	0.7	0.6	0.6	0.8	0.7	0.8	1.1	1.3	1.2	-	-	-	0.9		
		MAX	4.9	5.1	4.7	5.5	6.5	4.7	12.4	3.7	7.1	-	-	-		12.4	19-Jul-00
CENTRAL DE MEZCLAS	1998	PROM	3.5	1.5	1.4	1.1	1.7	4.3	3.5	2.4	2.1	1.5	0.9	1.3	2.1		
		MAX	8.3	8.4	5.8	3.1	7.5	13.7	8.5	9.1	8.6	8.0	4.4	5.5		13.7	26-Jun-98
	1999	PROM	-	-	2.4	-	2.8	2.5	4.5	3.5	2.3	1.7	1.2	1.4	2.5		
		MAX	-	-	7.8	9.0	10.6	9.8	12.2	11.4	12.2	8.3	7.6	7.4		12.2	17-Sep-99
	2000	PROM	1.5	-	-	2.6	2.2	2.4	-	2.5	1.2	2.1	1.5	2.1	2.0		
		MAX	7.9	-	-	8.7	2.2	5.8	-	6.7	6.0	6.8	5.8	6.9		8.7	27-Abr-00
U. SANTO TOMAS	1998	PROM	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3		
		MAX	2.1	2.0	2.4	2.9	4.3	2.7	1.5	1.7	1.2	2.7	1.9	2.2		4.3	21-May-98
	1999	PROM	-	0.5	0.6	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.4	0.4		
		MAX	-	2.6	2.7	2.1	2.5	1.8	2.7	2.2	2.3	1.7	1.9	3.6		3.6	24-Dic-99
	2000	PROM	0.4	0.6	0.4	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4		
		MAX	2.9	3.8	2.8	5.8	1.6	1.7	2.0	2.6	1.9	2.2	1.8	1.8		5.8	8-Abr-00
U. JUAN N.CORPAS	1998	PROM	1.9	1.7	1.5	1.0	1.1	1.8	1.6	1.5	1.0	1.0	0.8	0.7	1.3		
		MAX	5.9	6.6	5.5	4.3	5.2	5.7	6.0	7.0	4.3	5.2	3.9	3.4		7.0	3-Ago-98
	1999	PROM	-	0.8	0.7	0.8	1.0	0.8	1.3	0.7	0.6	0.3	0.3	0.4	0.7		
		MAX	-	4.1	4.0	7.2	5.7	5.8	6.1	5.5	5.2	4.8	4.5	4.2		7.2	17-Abr-99
	2000	PROM	0.6	1.0	-	1.3	1.5	2.1	1.4	1.6	1.3	1.7	0.8	1.0	1.3		
		MAX	5.8	5.1	-	5.6	5.4	8.6	7.6	5.6	6.4	7.2	3.6	4.5		8.6	4-Jun-00
CADE	1998	PROM	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7		
		MAX	2.2	2.2	2.3	2.1	2.9	2.3	2.4	2.2	2.4	2.3	2.2	2.1		2.9	20-May-98
	1999	PROM	-	0.6	0.6	0.7	0.6	0.6	0.9	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7		
		MAX	-	2.0	2.2	2.0	2.1	2.1	2.4	2.3	2.2	2.2	2.0	1.9		2.4	26-Jul-99
	2000	PROM	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	2.2	2.2	0.7	0.7	1.0		
		MAX	2.0	2.1	2.1	1.9	2.2	2.2	2.3	2.2	0.7	0.8	2.0	2.3		2.3	9-Jul-00
MERCK	2000	PROM	2.5	2.7	-	-	-	-	2.0	6.2	1.4	1.8	1.5	1.6	2.5		
		MAX	7.2	6.8	-	-	-	-	6.8	1.9	6.0	6.9	5.9	6.0		7.2	22-Ene-00
FONTIBON	2000	PROM	2.6	2.3	2.3	2.0	2.1	-	2.9	2.9	2.4	2.6	2.6	2.5	2.5		
		MAX	7.4	7.7	7.1	6.5	6.2	-	7.7	7.3	8.0	7.0	7.0	7.0		8.0	25-Sep-00
ENGATIVA	1998	PROM	1.2	1.1	1.5	1.0	0.8	1.0	0.8	-	0.6	0.6	0.8	0.7	0.9		
		MAX	4.8	5.9	6.3	4.5	4.4	4.3	3.7	-	3.6	4.4	4.5	5.0		6.3	10-Mar-98
	1999	PROM	-	0.6	0.8	0.7	0.8	0.6	0.9	0.6	0.4	0.5	0.5	-	0.6		
		MAX	-	4.3	4.8	5.9	4.4	4.6	4.2	5.0	3.8	5.2	4.2	-		5.9	5-Abr-99

TEMPERATURA : El comportamiento de la temperatura media de la ciudad es similar en todos los meses del año, pero con una gran oscilación diaria que puede alcanzar hasta 20 ºC en la parte norte de la ciudad, especialmente en los meses de diciembre, enero y febrero. Las gráficas N° 4.10 y 4.11 presentan las temperaturas máximas y mínimas mensuales registradas en las estaciones Central de Mezcla (sur de la ciudad) y Universidad Corpas (norte de la ciudad), por ser las estaciones más representativas y en la tabla N° 4.4 se muestran las temperaturas medias mensuales, máxima y mínima anual de las estaciones que registraron este parámetro durante los años 1998, 1999 y 2000. El mapa N° 4.3 representa las isotermas medias para el año 2000, en el cual se puede apreciar dos núcleos calientes: uno en el sur de la ciudad y otro en el sector de Carrefour- Calle 80, este último se presenta en forma permanente, lo que nos indica una posible isla de calor coincidente con un punto de confluencia de los vientos.



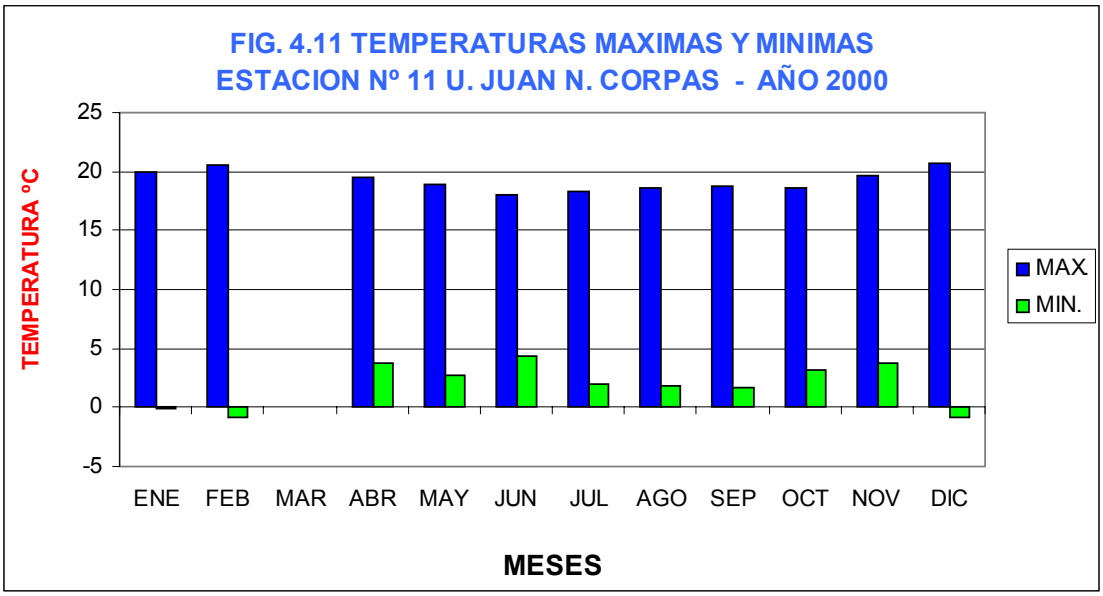


TABLA N° 4.4 TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES, MAXIMAS Y MINIMAS ANUALES (°C)
AÑOS 1998 - 1999 - 2000

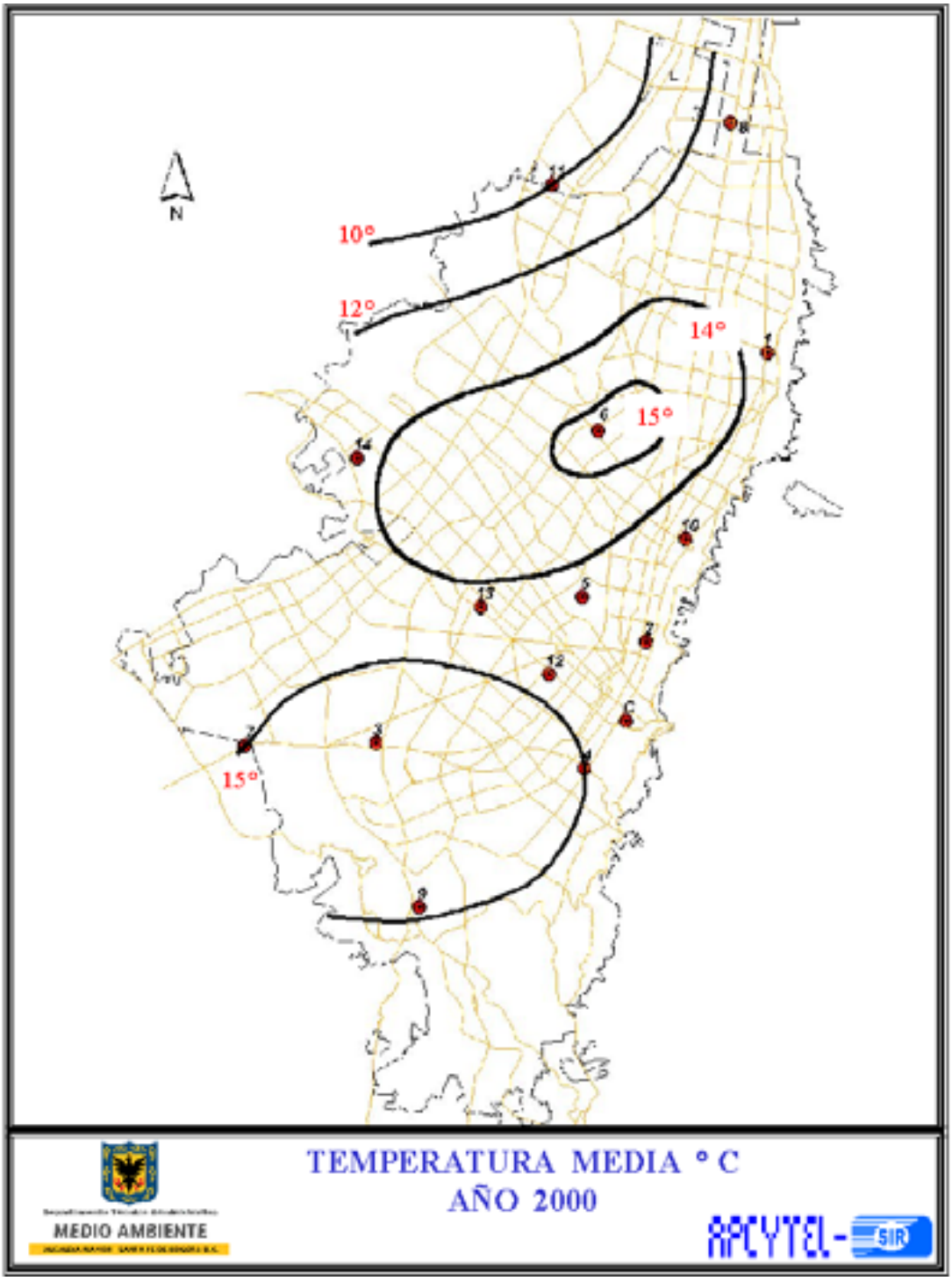
		PROMEDIOS MENSUALES												PROMEDIO	MAXIMO		MINIMO	
ESTACION	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	ANUAL	FECHA	ANUAL	FECHA
	1998	11.4	12.4	12.5	12.9	12.2	11.4	10.9	10.7	10.9	11.1	11.2	10.7	11.5	23.5	19/2/98 14:00	0.2	9/8/98 6:00
CORPAS	1999	-	10.6	10.9	11.1	11.0	10.6	10.2	10.4	10.3	10.5	11.1	11.0	10.7	20.3	22/12/99 11:00	0.6	8/3/99 7:00
	2000	10.2	10.5	-	10.9	11.2	11.0	10.2	10.3	10.3	10.8	10.9	10.2	10.6	21.0	15/3/00 14:00	-0.9	8/2/00 6:00
	1998	13.4	14.0	14.1	14.3	13.5	12.4	11.8	12.1	12.6	12.8	12.8	12.6	13.0	22.3	25/2/98 15:00	4.2	25/1/98 6:00
MEZCLAS	1999	-	-	12.7	-	12.2	12.1	11.4	11.7	11.9	12.0	12.9	12.7	12.2	21.3	1/4/99 14:00	4.4	10/7/99 6:00
	2000	12.2	-	-	16.2	16.4	16.3	-	15.6	15.7	16.0	15.8	15.8	15.6	25.6	13/12/00 13:00	3.3	14/1/00 6:00
	1998																	
ARREFOU	1999																	
	2000			16.3	15.9	16.0	16.0	15.2	15.2	15.2	15.6	15.7	15.1	15.6	24.8	15/3/00 14:00	6.9	13/12/00 6:00
	1998																	
MERCK **	1999																	
	2000	13.8	13.9	-	-	-	14.6	13.7	14.0	13.7	14.3	14.4	14.0	14.0	22.3	9/4/00 14:00	5.9	22/12/00 6:00
	1998																	
ONTIBON *	1999																	
	2000	13.2	13.3	13.7	13.8	14.0	14.1	13.3	13.5	13.2	13.8	13.8	13.3	13.6	21.9	15/3/00 13:00	4.7	13/1/00 7:00
	1998	14.9	15.6	15.8	16.3	15.8	15.2	14.4	14.3	14.3	14.5	14.6	14.2	15.0	26.5	29/4/98 17:00	1.0	25/1/98 7:00
ENGATIVA	1999	-	14.4	14.4	14.7	14.6	14.2	14.0	13.9	13.6	14.1	14.7	-	14.3	25.2	23/5/99 15:00	3.7	8/3/99 6:00
	2000																	

* Transladada a Carrefour - Calle 80 en diciembre de 1999
** Instaladas en Noviembre de 1999

INVERSIONES TERMICAS: Las Inversiones se producen cuando por encima de la superficie del terreno, la temperatura del aire aumenta con la altura. Las Inversiones se producen típicamente durante la noche o primeras horas de la mañana, debido al calentamiento y posterior enfriamiento de la superficie de la tierra. Generalmente las inversiones van acompañadas con velocidades débiles del viento, por lo tanto representan períodos de tiempo donde está limitada la dispersión horizontal y vertical. Las Inversiones Térmicas constituyen una condición limitante para la dispersión de los contaminantes, porque reducen el volumen efectivo de aire en que estos se emiten y posteriormente se diluyen. Los principales factores que influyen en la dispersión de los contaminantes son la velocidad y dirección horizontal del viento y la estructura vertical de la atmósfera (estabilidad atmosférica)

La tabla N° 4.5 muestra el número de horas en las cuales se presentaron inversiones térmicas de superficie en los años 1998, 1999 y 2000, en la estación Escuela de Ingeniería, elaborada con base en los datos de los sensores de temperatura colocados a 2 y 20 metros de altura. Generalmente la inversión se inicia a las 7 de la noche y termina a las 7 de la mañana, esta condición implica que por la noche y madrugada, a pesar de disminuir la actividad industrial y el tráfico vehicular, se dificulta la dispersión de los contaminantes emitidos durante el día.

MAPA 4.3 ISOTERMAS AÑO 2000



De acuerdo con los pronósticos del IDEAM, la altura de la Capa de Mezcla varía en promedio entre 200 metros (a las 5 horas) y 1200 metros (a las 17 horas), y la estabilidad se presenta como convectiva entre las 8 y las 16 horas (en promedio); en el resto del día se presenta estabilidad.

TABLA N° 4.5 HORAS CON INVERSIONES TERMICAS DESDE SUPERFICIE

AÑOS 1998 - 1999 - 2000

ESTACION: ESCUELA DE INGENIERIA

AÑO	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.
1998	733	362	672	280	696	278	720	299	744	248	720	312
1999	0	0	0	0	469	179	719	238	739	310	650	303
2000	723	244	663	196	736	269	705	296	742	295	720	362

AÑO	JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.	N° DATOS	N° INVERS.
1998	744	297	641	288	618	284	580	240	682	270	620	246
1999	743	327	743	310	701	293	419	123	711	215	713	267
2000	656	369	580	281	530	186	62	23	0	0	0	0

AÑO	TOTAL AÑO	
	TOTAL DATOS	TOTAL INVERSIONES
1998	8170	3404
1999	6607	2565
2000	6117	2541

RADIACION :

FIG. N° 4.12 PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACION
ESTACION Nº 9 CENTRAL DE MEZCLAS

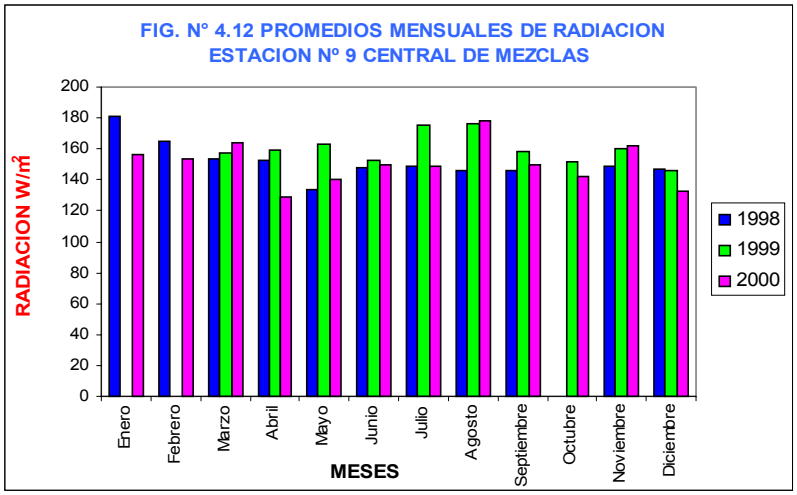
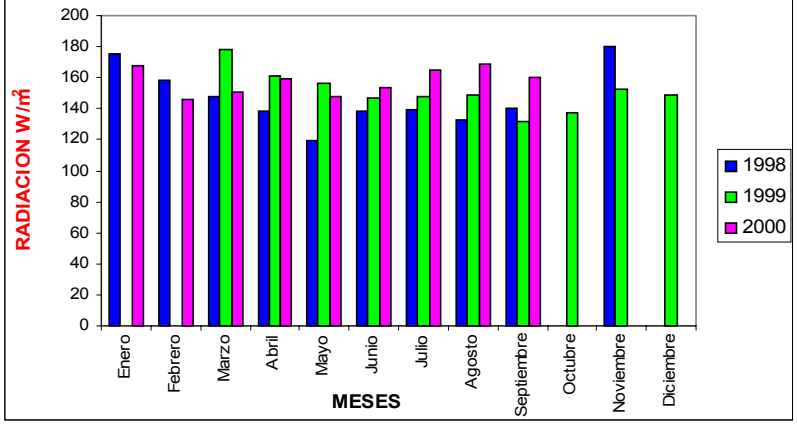


FIG. N° 4.13 PROMEDIOS MENSUALES DE RADIACION
ESTACION Nº 8 ESCUELA DE INGENIERIA



Este parámetro solo se mide en las estaciones Central de Mezclas (sur de la ciudad) y Escuela de Ingeniería (norte de la ciudad).

En las figuras Nº 4.12 y 4.13 se presentan los valores medios mensuales para los años 1998, 1999 y 2000. En la estación Central de Mezclas se presentan unos promedios ligeramente superiores a los de Escuela de Ingeniería.

En general el comportamiento anual presentó “máximos” en los meses con mínimas de precipitaciones; la gran cantidad de radiación registrada en la ciudad favorece la formación del ozono troposférico a partir de la reacción fotoquímica de los óxidos de nitrógeno.

5 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE CALIDAD DEL AIRE

5.1 DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando los paquetes estadísticos S-PLUS y SAS, los archivos se trasladaron de Excel a cada uno de los paquetes después de una adecuada depuración.

5.1.1 Conceptos Estadísticos del Informe

Denotemos por x_1, K, x_n las medidas de cierto contaminante tomadas durante un cierto período de tiempo. Las tablas de distribución de frecuencias que aparecen en el informe proporcionan información sobre medidas de localización y dispersión de las medidas. Entre las medidas de localización es útil calcular alguna medida de centralización. De estas últimas, la más, importante es la media. Las otras medidas de localización que se presentan son algunos percentiles. La medida de dispersión más importante es la desviación estándar.

La Media es la suma de las observaciones dividida por el número de datos. Es decir

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}.$$

La Desviación Estándar es una medida de variabilidad basada en las desviaciones de las medidas respecto de la media.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{X})^2}{n-1}}.$$

Los Percentiles son valores que nos proporcionan información sobre la distribución de las medidas a través del conjunto de datos. El percentil *p* es el valor *x* tal que la proporción *p* de datos es menor o igual que *x*. Por ejemplo, cuando decimos que el percentil 25 de las medidas de NO_2 tomadas en la estación del Bosque en 1998 es 6, estamos diciendo que el 25% de las medidas tomadas son menores o iguales que 6. El percentil 75 para el mismo conjunto de datos es 17. Esto significa que el 75% de los datos es menor o igual que 17.

El Coeficiente de Correlación es una medida de asociación entre dos variables X y Y. Si los datos los representamos por medio de las duplas $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \mathrm{K}\ (x_n, y_n)$ entonces el coeficiente de correlación se define de la siguiente manera:

$$r_{X,Y} = \frac{\sum (x_i - \overline{X})(y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\left[\sum (x_i - \overline{X})^2\right]}\sqrt{\left[\sum (y_i - \overline{Y})^2\right]}}.$$

$r_{X,Y}$ es un número que varía entre –1 y 1. Valores positivos indican que existe una relación lineal positiva entre las variables. Valores negativos indican una relación lineal negativa entre las variables. Valores cercanos a cero indican que no existe relación lineal entre las variables bajo estudio.

5.2 ESTADÍSTICAS DATOS DE CALIDAD DEL AIRE

PARAMETRO	SO_2	CO	NO_X	O_3	PM_{10}
Distribución Frecuencia, Horaria		*	*	*	
Distribución Frecuencia, 8-h		*		*	
Distribución Frecuencia, 3-h	*				
Distribución Frecuencia, 24-h	*				*
Maximo Horario		*	*	*	
Maximo Promedios de 3-h	*				
Maximo Promedios de 8-h		*		*	
Maximo Promedios de 24-h	*				*
Promedio Aritmetico Anual	*		*		*
Desviación Standard valores de 1-h		*	*	*	
Porcentaje de datos disponibles, 1-h		*	*	*	
Porcentaje de datos disponibles, 3-h promedios	*				
Porcentaje de datos disponibles, 8-h promedios		*		*	
Porcentaje de datos disponibles, 24-h promedios	*		*		*

5.2.1 Análisis de los resultados del procesamiento estadístico de los datos de la Red (1998-2000).

El análisis de los resultados del procesamiento estadístico de los datos de la Red para el período 1998-2000 se presente enseguida. La síntesis de los datos se puede consultar en el Anexo N° 1 - Percentiles.

PM_{10}: El análisis de los percentiles que muestran la frecuencia de distribución de las concentraciones diarias de PM_{10} indican los siguiente:

En el año 98, por lo menos el 75% de los datos fue superior a la concentración de 50 $\mu g/m^3$ en el sector *suroccidental* de la ciudad, y el 5% de los datos superaron aproximadamente los 100 $\mu g/m^3$. En el 99, el porcentaje de datos que excedieron estas concentraciones disminuyeron pero en el 2000 la estación Merck, ubicada en este sector mostró que el 75% de los datos correspondían a concentraciones superiores a cerca de 70 $\mu g/m^3$.

Para el año 200, en la estación Ministerio del Medio Ambiente (sector central), el porcentaje de datos que superan los 50 $\mu g/m^3$ es inferior al 25% y otro tanto ocurre en la estación Juan N. Corpas, en el norte de la ciudad.

SO_2: El valor máximo del percentil 99 de los datos calculado en la Red en los tres últimos años es de 123 ppb–*3 horas,* es decir, apenas el 21.2% con respecto a la norma. Las concentraciones promedio más altas de la Red sólo representan el 5% de la concentración máxima permitida. En el sector suroccidental se detectan, en general, las concentraciones más altas de óxidos de azufre, y en la zona central las más bajas.

Con referencia a las concentraciones máximas para el percentil 99-*24 horas* se encontró un valor de 115 ppb en Fontibón, que representa el 75% de la concentración permitida. No obstante, la segunda concentración en importancia a este nivel (99%) sólo alcanza los 79 ppb (Sony), es decir muy cercana al 50% de la norma.

NO_2: En todas las estaciones de los sectores suroccidental y central se presentaron concentraciones *máximas horarias* superiores a la norma, durante el trienio analizado. Sin embargo, si se observa la distribución de frecuencias de las concentraciones, se identifica que el 99% de los datos cumplen la norma horaria, siendo la concentración máxima de este percentil de 95 ppb, inferior a la norma (107 ppb). En otras palabras, el conjunto de datos que incumplen la norma se ubica en menos del 1% del universo de datos evaluados.

CO: En general los valores *promedio horarios* son inferiores al 10% de la norma, en todas las estaciones de la Red.

Los intervalos de variación de las concentraciones máximas muestran una tendencia decreciente en los dos últimos años analizados, mientras que en los valores promedio, aunque los mínimos son inferiores, los máximos no varían sustancialmente, como se indica enseguida:

Año	**Intervalo de concentraciones** *Máximas, ppm*	**Intervalo de concentraciones** *promedio, ppm*
1998	9.9 - 24.3	1.4 - 4.3
1999	9.6 - 16.9	1.4 - 3.6
2000	3.4 - 15.5	0.7 - 3.9

O_3: En primera instancia se observa que en todas las estaciones de la Red, durante los últimos tres años, se presentaron concentraciones máximas que excedieron la *norma horaria*. Contrario a lo que sucede en el comportamiento de los óxidos de nitrógeno, en el percentil del 99% sí se detectan concentraciones superiores a la norma horaria, aunque en el nivel 95% las concentraciones decaen a un valor máximo de 65 ppb, que es 25% inferior al máximo permitido.

En relación con la distribución de las concentraciones en 8 horas se encontró que éstas también superan la norma en el percentil-99 pero en el nivel 95 las concentraciones están por debajo del 20% del límite permisible.

5.3 CORRELACIONES ENTRE CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES Y LOS FACTORES METEOROLÓGICOS

Inicialmente se propuso realizar un análisis estadístico para determinar las posibles correlaciones entre los grupos de parámetros conformados por las variaciones de las concentraciones de las sustancias contaminantes y el comportamiento de los factores meteorológicos, así:

Grupo 1: Ozono, temperatura, NO_2, humedad relativa, precipitación
Grupo 2: PM_{10}, humedad relativa, precipitación

Los resultados de este análisis no mostraron coeficientes de correlación que pudieran considerarse aceptables para estos conjuntos de variables, a excepción de la correlación resultante entre las concentraciones de ozono y la radiación, ya que está es la que produce la oxidación de los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, precursores de la producción de ozono. Algunos ejemplos se presentan en el Anexo N° 2 - Correlaciones

En forma alternativa se analizaron las condiciones meteorológicas predominantes (velocidad del viento, dirección del viento y precipitación) cuando ocurrieron las 10 concentraciones máximas para los contaminantes de mayor interés (PM_{10}, NO_2, O_3) en cada una de las estaciones, durante los tres últimos años. Estas concentraciones se refieren a los registros puntuales tomados directamente de la base de datos y no a los promedios que se utilizan para otro tipo de evaluaciones (ver anexo N° 3 – Máximos Horarios). Los resultados de este análisis son los siguientes:

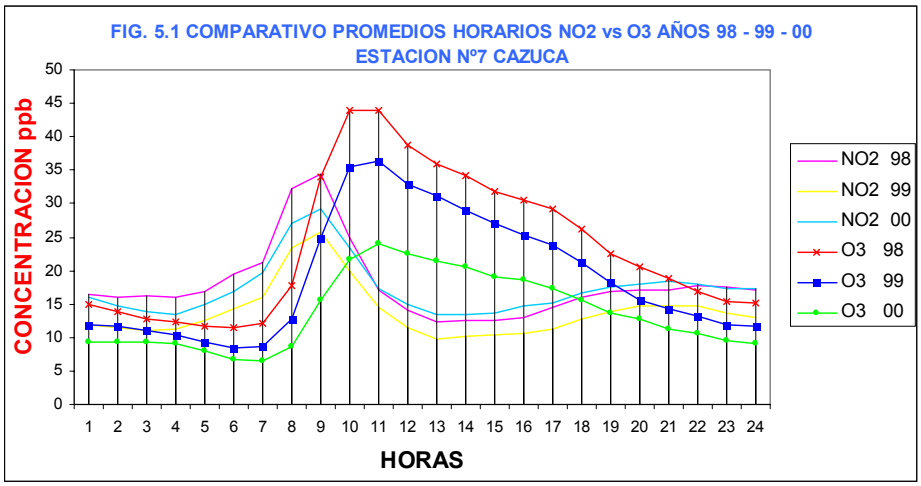
PM_{10}: En general las máximas concentraciones de PM_{10} ocurren en las horas de la mañana en la ciudad, siendo más frecuente su ocurrencia entre las 8 y las 10 horas.

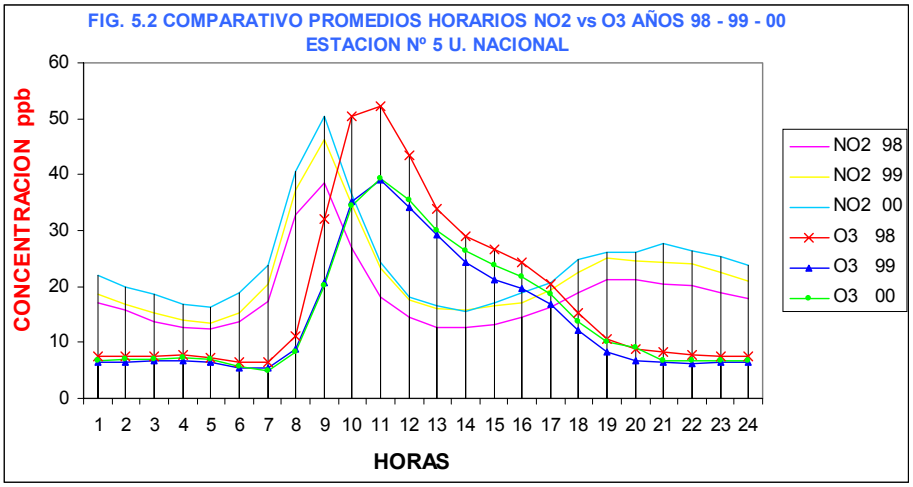
Se observa que las velocidades del viento asociadas a estos máximos son muy bajas, casi siempre por debajo de 1 m/s. Los cuadrantes desde donde sopla el viento cuando ocurren las máximas concentraciones de PM_{10} varían de acuerdo con el sector de la ciudad, pero los más frecuentes son: Noreste, sureste, noroeste y suroeste.

Con respecto a las lluvias, indiscutiblemente las máximas concentraciones de PM_{10} coinciden con los registros de ausencia total de precipitaciones.

NO_2 / O_3: El análisis comparativo de estos parámetros permite evidenciar el comportamiento sincrónico entre los picos de la concentración de NO_2 que ocurren usualmente entre las 8 y

las 9 horas y los picos de las concentraciones de Ozono que ocurren entre las 10 y 12 horas, fenómeno que confirma la química de las reacciones fotoquímicas para la formación del ozono en las cuales los óxidos de nitrógeno actúan, junto con los hidrocarburos, como los reactivos precursores catalizados por la intensidad de la luz solar que se intensifica en el período de ocurrencia de las máximas concentraciones de ozono registradas. En las Figuras N° 5.1 y 5.2 se ilustran para dos sitios de medición el comportamiento comentado de las máximas concentraciones de los óxidos de nitrógeno y de ozono.





La mayoría de las concentraciones máximas de óxidos de nitrógeno y de ozono ocurren cuando el viento sopla desde los cuadrantes Noroccidente y Noreste y las velocidades son bajas, aunque un poco mayores que las observadas en el análisis del comportamiento de PM_{10}, un buen número de registros entre 1 y 2 m/s, lo cual es explicable dado que a medida que avanza el día se incrementa la velocidad del viento por el efecto convectivo del calentamiento de las capas de aire.

5.4 ANÁLISIS DE EXCEDENCIAS

El objetivo de este análisis es el de presentar el comportamiento de las concentraciones de los contaminantes analizados en la Red frente a las normas adoptadas como referencia para la ciudad de Bogotá. Los datos que se utilizan para este análisis se pueden consultar en el anexo N° 4 - Síntesis

de Resultados. Así mismo se indica la excedencia del 50% de la norma dado que se considera este valor como una referencia adecuada para observar qué tan lejos o qué tan cerca se encuentran las concentraciones medidas con respecto a las normas.

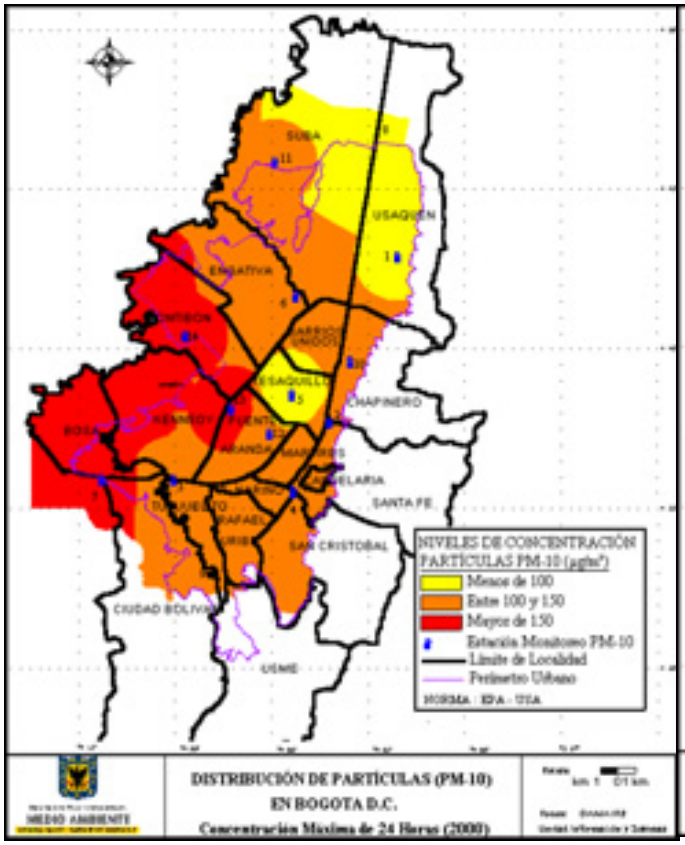
PM_{10}: La excedencia de la norma diaria muestra un comportamiento bastante irregular en los tres últimos años. En términos del porcentaje de excedencia, que se considera más representativo que el número de datos que sobrepasa la norma dado que se han instalado nuevas estaciones para medir la concentración de PM_{10}, en el 98 se presentó una excedencia del 0.23%, en el 99 tan sólo fue de 0.02% y en el 2000 se incrementó esta cifra a 0.61%.

El sector suroccidental de la ciudad, en donde se concentran las actividades industriales y una alta intensidad del tráfico vehicular pesado y liviano, muestra los mayores valores de excedencia de la norma diaria de PM_{10}. El otro sector más afectado de la ciudad por las concentraciones de PM_{10} es el noroccidental.

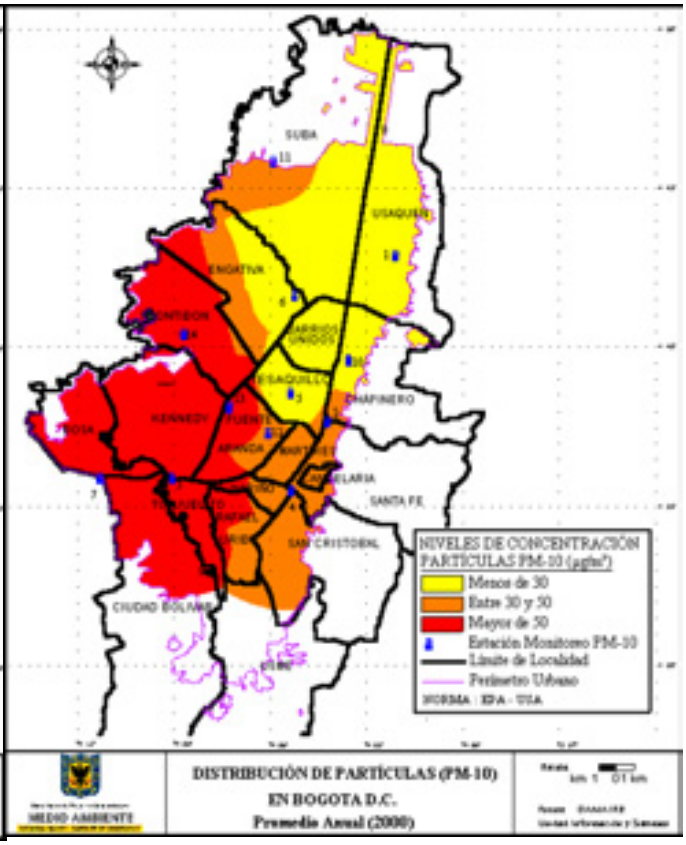
En el mapa 5.1 se puede observar la distribución espacial de las concentraciones máximas en 24 horas para las partículas menores a 10 micras (PM_{10}), para el año 2000.

El mapa 5.2 indica la variación espacial de la concentración de PM_{10} con base en los valores promedio de las concentraciones medidas en todo el período de análisis (año 2000).

MAPA 5.1 PARTICULAS PM_{10} – 24 HORAS



MAPA 5.2 PARTICULAS PM_{10} – ANUAL



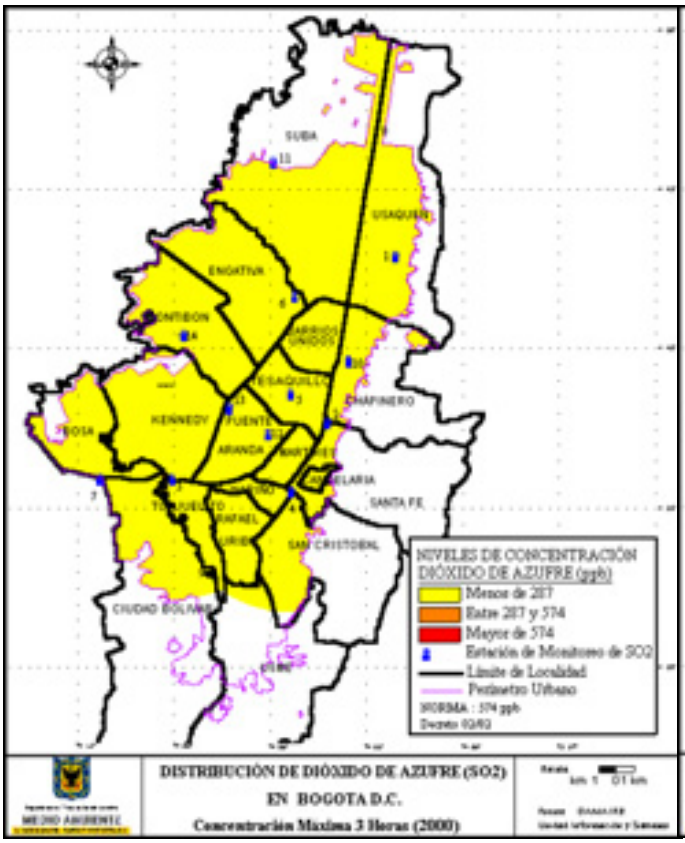
SO_2: En ninguno de los tres años objeto de análisis se presentó excedencia de las normas de 3 horas ni de 24 horas en la ciudad.

La excedencia del 50% de la norma de 3 horas fue nula, mientras que para la norma de 24 horas en el 98 fue del 0.14%, en el 99 del 0.004% y en el 2000 de 0.31%.

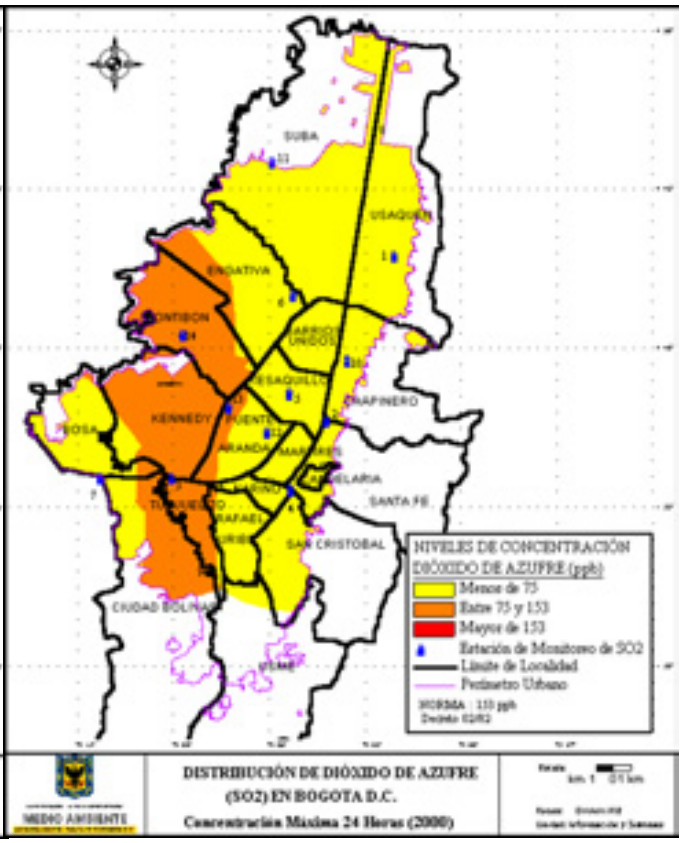
El mapa 5.3 representa la distribución espacial de las concentraciones máximas en 3 horas para dióxido de azufre (SO_2)

El mapa 5.4 representa la distribución espacial de las concentraciones máximas en 24 horas para dióxido de azufre (SO_2)

MAPA 5.3 SO_2 - 3 HORAS

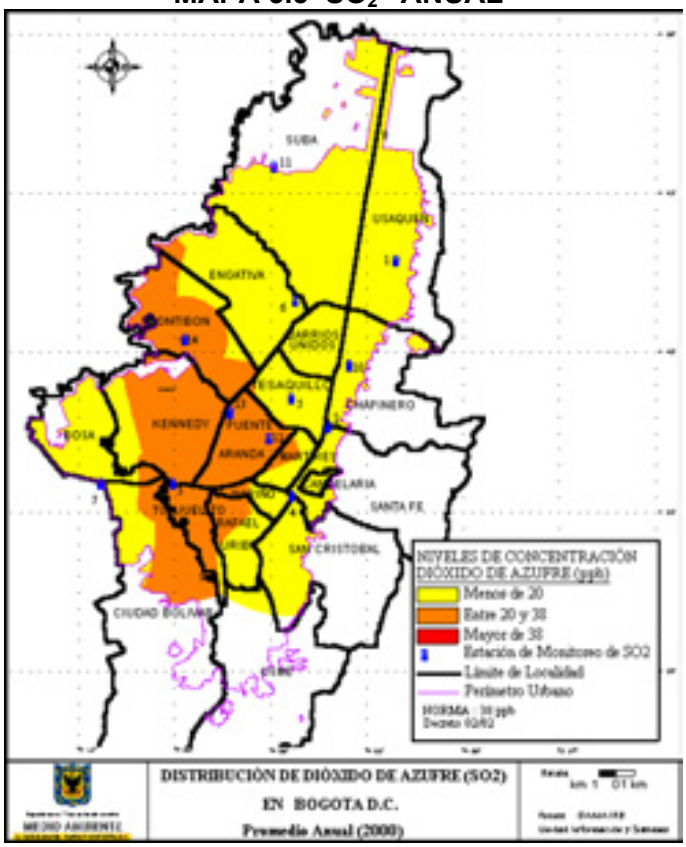


MAPA 5.4 SO_2 - 24 HORAS



En el mapa 5.5 se indica la variación espacial de la concentración de SO_2 con base en los valores promedio de las concentraciones medidas en todo el período de análisis (año 2000).

MAPA 5.5 SO_2 - ANUAL



NO_2: La variación del porcentaje de datos que excedieron la norma horaria de NO_2 se mantuvo en un intervalo entre 0.1 y 0.17% en los tres últimos años. En el 98, el número de datos que excedió la norma fue de 103, representados por 62 datos del sector central, 29 datos del suroccidental y 12 datos del suroriental. En el 99 se presentaron 116 datos que excedieron la norma horaria de NO_2 los cuales representaron el 0.17% del total de datos para ese año y la totalidad de los mismos se registraron en los sectores suroriental y central de la ciudad, principalmente en la estación MMA (58 datos). En el 2000, el sector central fue también el más afectado por la excedencia de la norma horaria de NO_2, (42 datos por fuera de la norma), no obstante se presentaron excedencias adicionales en el sector suroccidental.

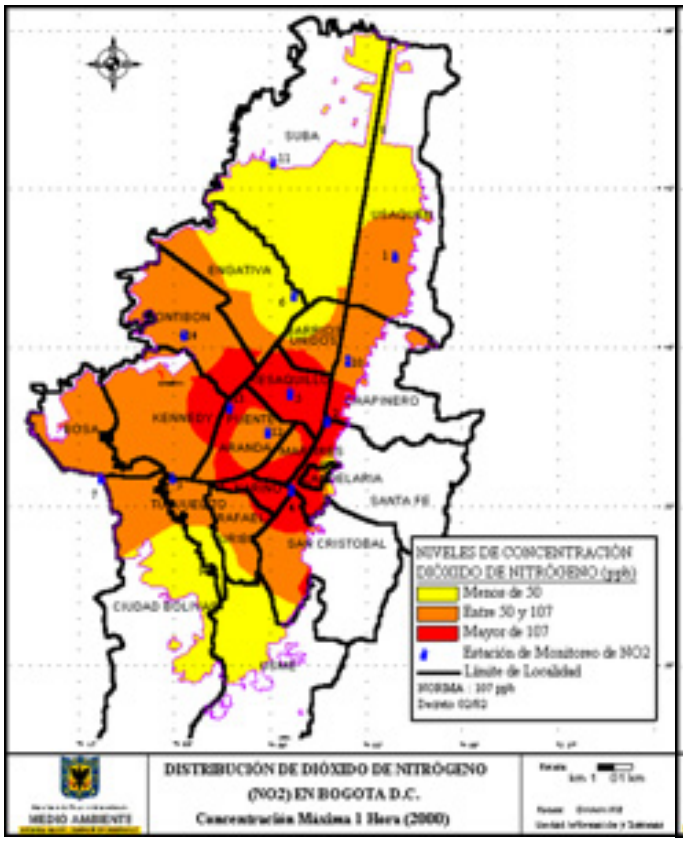
El mapa 5.6 es una representación espacial de las concentraciones máximas en 1 hora para dióxido de nitrógeno (NO_2)

En el mapa 5.7 se indica la variación espacial de la concentración de NO_2 con base en los valores promedio de las concentraciones medidas en todo el período de análisis (año 2000).

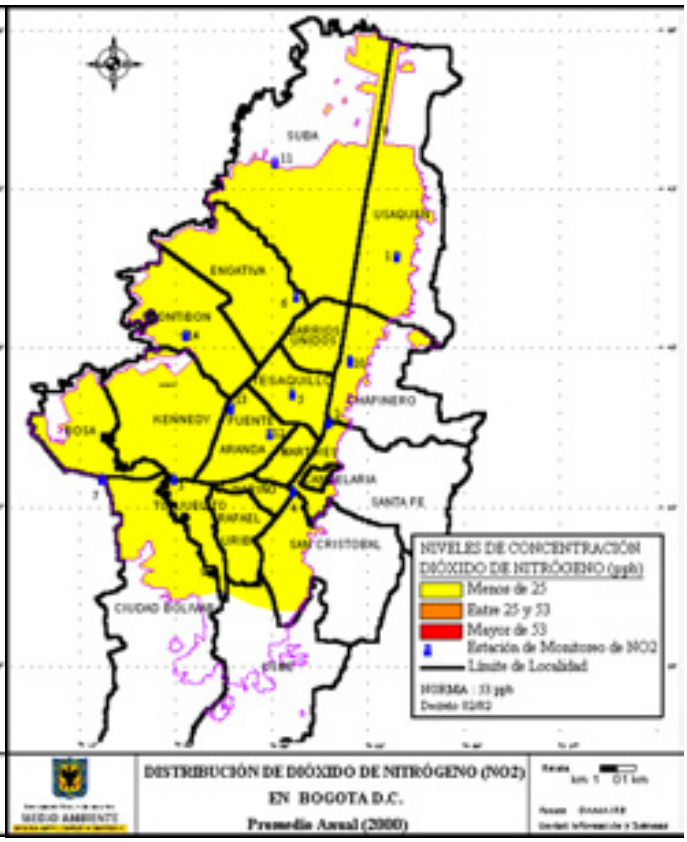
CO: En relación con este parámetro no se registró ningún dato en los 3 últimos años que excediera la norma horaria en la ciudad.

La norma para ocho horas tampoco fue excedida en ningún sitio de la ciudad, aunque sí se presentaron excedencias para el 50% de la norma, así: En el 98, 1.86% de los datos; en el 99, 0.85% y en el 2000, 0.65%.

MAPA 5.6 NO_2 - 1 HORA



MAPA 5.7 NO_2 - ANUAL



El mapa 5.8 representa la distribución espacial de las concentraciones máximas en 1 hora para monóxido de carbono (CO) y en el mapa 5.9 se representa la distribución espacial de las concentraciones máximas en 8 horas para monóxido de carbono (CO)

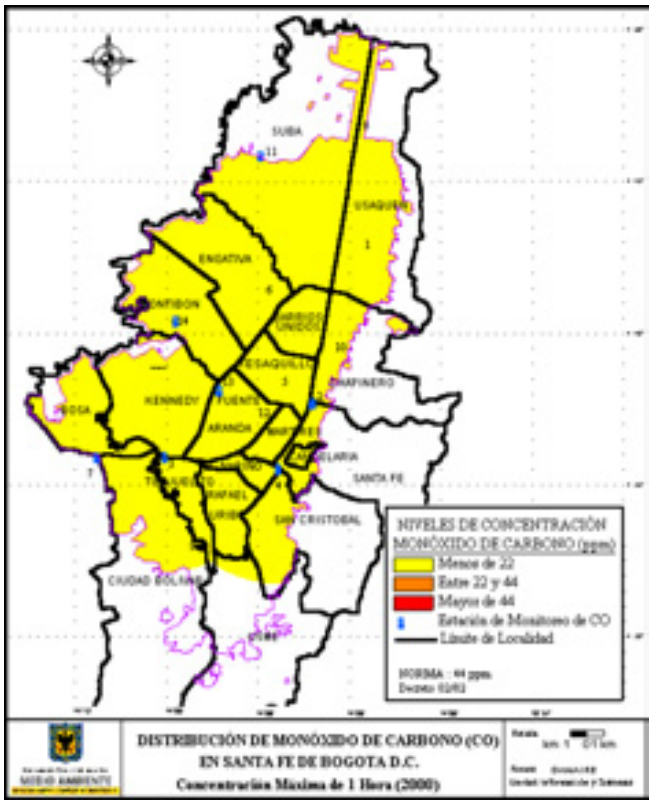
O_3: En el 98 el porcentaje de datos que excedió la norma horaria de ozono fue de 1.24%, éste valor se redujo en el 99 a 0.69% y en el 2000 a 0.61%. En forma consistente también el porcentaje de datos que ha superado el 50% de la norma horaria descendió desde 6.55% en el 98, a 5.1% en el 99 y 4.8% en el 2000.

En relación con la norma de ozono para ocho horas se detectaron excedencias del 0.96% en el año 98, 0.29% en el 99 y 0.47% en el 2000. Con respecto al 50% de la norma éste valor fue excedido en 12.7% en el año 98, 8.6% en el 99 y en 9.1% en el 2000.

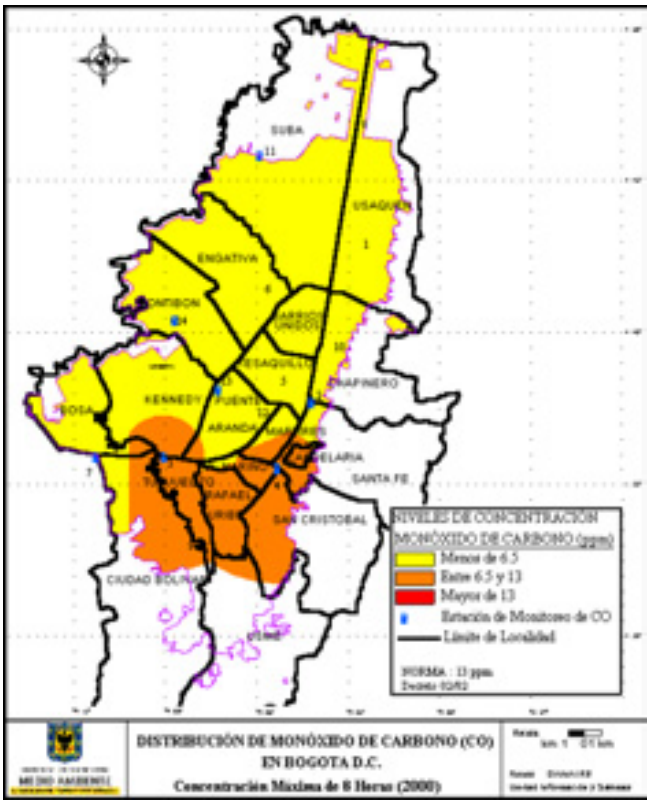
Desde el punto de vista de la distribución de las concentraciones de ozono, puede decirse que ésta muestra un comportamiento homogéneo en los sectores central, suroriental y suroccidental de la ciudad, puesto que a excepción de la estación Olaya, en todos los demás sitios se encontraron concentraciones máximas que superaron las normas para una y ocho horas .

El mapa 5.10 muestra la distribución espacial de las concentraciones máximas en 1 hora para el ozono (O_3) y en el mapa 5.11 se muestra la distribución espacial de las concentraciones máximas en 8 horas para el ozono (O_3)

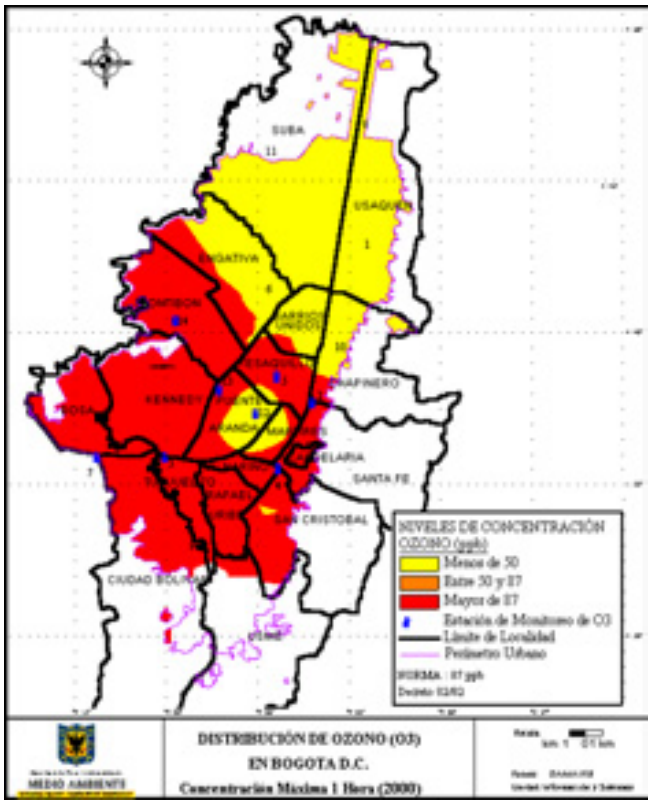
MAPA 5.8 CO - 1 HORA



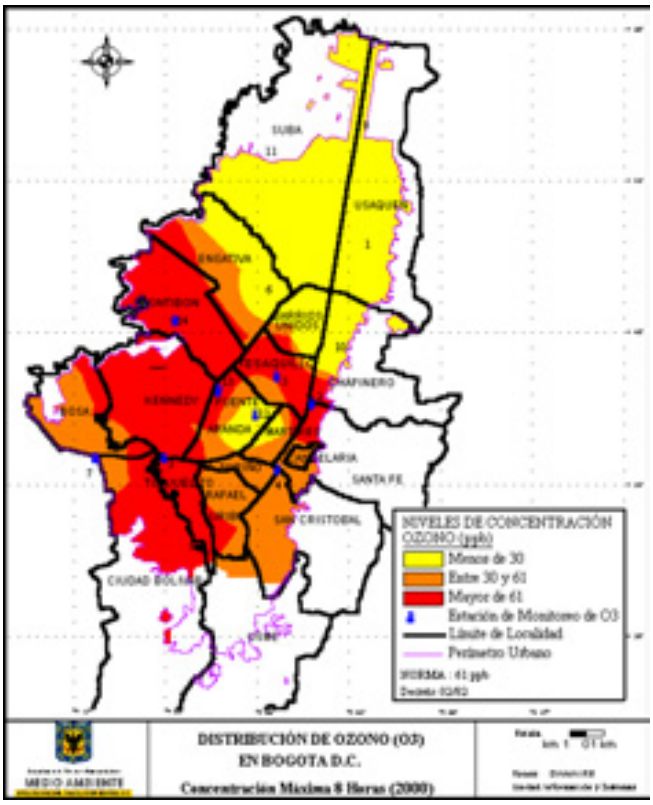
MAPA 5.9 CO - 8 HORAS



MAPA 5.10 O_3 - 1 HORA



MAPA 5.11 O_3 - 8 HORAS



5.5 INDICE BOGOTANO DE CALIDAD DEL AIRE - IBOCA

5.5.1 Síntesis del objetivo y método de cálculo

El Indice Bogotano de Calidad del Aire – IBOCA es una expresión que permite sintetizar el comportamiento de la calidad del aire en la ciudad y comunicar de una manera sencilla, al público en general, las implicaciones de su deterioro asociadas a la salud y bienestar de la población. El método de cálculo del IBOCA se basa en el siguiente procedimiento:

1. A partir de los datos de las concentraciones de CO, SO_2, PM_{10}, NO_2 y O_3, se establece el IBOCA para cada contaminante, el cual resulta de ponderar cada contaminante así:

$$\mathbf{IBOCA = (Ci / Ni) \ast 10}$$

Donde,

IBOCA: Indice Bogotano de la Calidad del Aire
I: Parámetro a evaluar (PM_{10}, SO_2, CO, NO_2 y O_3)
N: Número de estaciones que registran el parámetro a evaluar (PM_{10}, SO_2, CO, NO_2 y O_3)
Ci: Concentración a evaluar para cada contaminante en cada una de las estaciones
N: Norma para cada contaminante

2. Las normas de cada contaminante son las siguientes:

NORMA		
PARAMETRO	**PERIODO**	**VALOR**
PM_{10}	24 horas	150 µg/m3
SO_2	24 horas	153 ppb
CO	1 hora	44 ppm
NO_2	1 hora	107 ppb
O_3	1 hora	87 ppb

3. La ecuación simplificada para hallar el IBOCA por contaminante es:

IBOCA PM_{10} = PM_{10} (Promedio 24 horas)$\ast$ 0.067
IBOCA SO_2 = SO_2 (Promedio 24 horas) $\ast$ 0.065
IBOCA CO = CO (Máximo 1 hora en las 24 horas anteriores)$\ast$ 0.227
IBOCA NO_2 = NO_2 (Máximo 1 hora en las 24 horas anteriores)$\ast$ 0.093
IBOCA O_3 = O_3 (Máximo 1 hora en las 24 horas anteriores)$\ast$ 0.115

4. Con base en lo anterior, se definen las categorías de IBOCA correspondientes a sus intervalos de variación y el significado epidemiológico del Indice, así:

IBOCA	DESCRIPTOR	CALIFICACION EPIDEMIOLOGICA	COLOR
0 – 1.25	Bueno	Ningún efecto	VERDE
1.26 – 2.50	Moderado	Ningún efecto para la salud de la población en general	AMARILLO
2.51 – 7.50	Regular	Aumento de molestias en personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares; aparición de ligeras molestias en la población en general.	NARANJA
7.51 - 10.0	Malo	Agravamiento significativo de la salud en personas con enfermedades cardiacas o respiratorias. Afectación de la población sana.	ROJO
> 10.1	Peligroso	Alto riesgo para la salud de la población. Aparición de efectos al nivel de daño.	MARRON

5. El IBOCA de cada sector será el contaminante crítico por cada sector, o sea el que de el mayor IBOCA, referenciandose el contaminante.

6. El IBOCA general de la ciudad de Bogotá será:

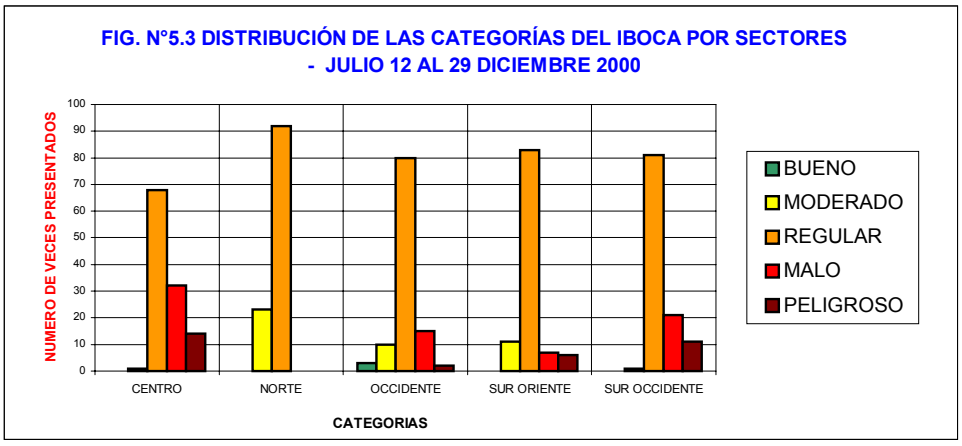
IBOCA GENERAL = (ΣIBOCAi) mayor, referenciandose el (los) contaminante (s), que generan la concentración.

Donde,

IBOCA i = IBOCA por contaminante i (PM_{10}, SO_2, CO, NO_2 y O_3)

5.5.2 Resultados de aplicación del IBOCA

Hasta la fecha se ha calculado el IBOCA para 115 días, en los cinco sectores en que se ha dividido la ciudad, lo cual resulta en 572 datos. La distribución de las categorías de IBOCA para cada uno de los sectores se muestra en la Fig. N° 5.1



Del análisis de la distribución de los IBOCA en los diferentes sectores de la ciudad se infiere lo siguiente:

- Unicamente se obtuvieron 3 datos de IBOCA en la categoría “BUENO”, es decir el 0.5% de los datos, todos correspondientes al sector Occidente. En la categoría “BUENO” no se espera ningún efecto en la salud pública.

- La categoría de IBOCA que ocurre con mayor frecuencia es la de “REGULAR”. En efecto, de los 561 datos calculados, 464 datos, que representan el 82.7%, corresponden a esta categoría. De acuerdo con la calificación epidemiológica asociada a los valores de IBOCA, se infiere que durante la ocurrencia de la categoría “REGULAR” puede ocurrir un aumento de molestias en personas con padecimientos respiratorios y cardiovasculares y aparición de ligeras molestias en la población en general.

- La segunda categoría de IBOCA más frecuente (13.3% de los datos) es la de “MALO”. En el único sector de la ciudad en donde no se presenta esta categoría de IBOCA es el Norte. Los sectores que muestran una mayor ocurrencia de IBOCA en la categoría “MALO” son: Centro (32 datos), Suroccidente (21) y Occidente (15). Cuando el IBOCA cae en la categoría de “MALO” se espera que pueda ocurrir un agravamiento significativo de la salud en personas con enfermedades cardiacas o respiratorias y afectación de la población sana.

- En la categoría de “PELIGROSO”, la cual está asociada a un alto riesgo para la salud de la población y a la aparición de efectos al nivel de daño, se encontraron 33 datos (5.9% del total) que afectan principalmente a los sectores del Centro y Suroccidente de la ciudad. En el único sector en donde no se presenta esta categoría es el del Norte.

- Finalmente, en los sectores Norte, Suroriente y Occidente se presentó la frecuencia más alta de IBOCA en la categoría “MODERADO” para la cual no se espera ningún efecto en la salud de la población en general.

6 CONCLUSIONES

6.1 METEOROLOGÍA

La ciudad presenta un gran **potencial de contaminación:** vientos débiles, inversiones de carácter radiactivo, con base en la superficie, espesor restringido de la capa de mezcla e irregular distribución de la precipitación a lo largo del día y gran cantidad de radiación; ésta última ocasiona oxidación de los contaminantes. La ocurrencia de eventos con altas concentraciones de los contaminantes se presentan asociadas con estás condiciones meteorológicas.

El **potencial de contaminación** está definido en términos de variables meteorológicas solamente y **es una medida** de asimilación o dilución de la atmósfera.

6.2 CALIDAD DEL AIRE

Las conclusiones relacionadas con el análisis de los datos obtenidos durante la operación de la Red de monitoreo de Bogotá, en los últimos tres años están orientadas a revisar los siguientes aspectos: Nivel de importancia de los contaminantes en atención a su riesgo potencial y a la magnitud de las concentraciones encontradas; identificar las áreas que presentan mayor tendencia al deterioro de la calidad del aire y comparar las tendencias de los resultados obtenidos en el trienio objeto de análisis.

Definitivamente existen tres contaminantes que revisten interés en cuanto a su influencia en el deterioro de la calidad del aire en la ciudad: el material particulado (PM_{10}), los óxidos de nitrógeno y el ozono. Los otros dos contaminantes que tienen definidas norma (monóxido de carbono y óxidos de azufre) no se consideran, en las condiciones actuales, motivo de preocupación por que las concentraciones encontradas son bastante inferiores a los límites permitidos.

- **Material particulado (PM_{10})**

Es indudable que las mayores concentraciones de PM_{10} se presentan en el sector suroccidental de la ciudad. No obstante la probabilidad de excedencia de la norma se ubica en el 1% o menos, de los datos (percentil 99). En realidad solamente para las estaciones Cazucá en 1998 y Merck en el 2000, este percentil arrojó una concentración mayor que la norma (150 $\mu g/m^3$).

Si se observa esta distribución de frecuencias con respecto, por ejemplo al 75% de la norma, es decir a una concentración de 112.5 $\mu m/m^3$, se encuentra que sólo un 5% de los datos superó este valor en dos estaciones en el año 98 (Sony y Cazucá) y en el 2000 también en Cazucá y Merck; todas ubicadas en el sector suroccidental de la ciudad.

En al Fig. N° 6.1, se indica el comportamiento de las concentraciones máximas frente a la norma diaria durante los últimos tres años.

Fig. N° 6.1 Ocurrencia de concentraciones máximas que exceden la norma diaria de PM_{10} en Bogotá

SECTOR	ESTACION	AÑO	Cmáx > Norma diaria
SUROCCIDENTE	SONY	98	
		99	
		00	
	CAZUCA	98	
		99	
		00	
	CADE	98	
		99	
		00	
	MERCK	98	
		99	
		00	
SURORIENTE	OLAYA	98	
		99	
		00	
CENTRO	MMA	98	
		99	
		00	
	U.NACIONAL	98	
		99	
		00	
	U.TOMAS	98	
		99	
		00	
NORTE	BOSQUE	98	
		99	
		00	
	CORPAS	98	
		99	
		00	
NOROCCIDENTE	CARREFOUR - CALLE 80	98	
		99	
		00	
	FONTIBÓN	98	
		99	
		00	

	Año 1998
	Año 1999
	Año 2000

NOTA: EN U.NACIONAL NO EXISTE MEDIDOR DE PM_{10}. MERCK, CARREFOUR Y FONTIBÓN SON LAS MÁS RECIENTES.

- **Óxidos de nitrógeno (NO_2)**

El análisis de los valores máximos en toda la Red indican que en el sector central de la ciudad y en el suroriental durante los tres últimos años se presentaron concentraciones que excedieron la norma. Sin embargo la probabilidad de esta excedencia es inferior al 1%. En la fig. N° 6.2 se muestra el comportamiento de las concentraciones máximas frente a la norma horaria durante los últimos tres años.

Fig. N° 6.2 Ocurrencia de concentraciones máximas que exceden la norma horaria de óxidos de nitrógeno en Bogotá

SECTOR	ESTACION	AÑO	Cmáx > Norma
SUROCCIDENTE	SONY	98	
		99	
		00	
	CAZUCA	98	
		99	
		00	
	CADE	98	
		99	
		00	
	MERCK	98	
		99	
		00	
SURORIENTE	OLAYA	98	
		99	
		00	
CENTRO	MMA	98	
		99	
		00	
	U.NACIONAL	98	
		99	
		00	
	U.TOMAS	98	
		99	
		00	
NORTE	BOSQUE	98	
		99	
		00	
	CORPAS	98	
		99	
		00	
NOROCCIDENTE	CARREFOUR – CALLE 80	98	
		99	
		00	
	FONTIBÓN	98	
		99	
		00	

	Año 1998
	Año 1999
	Año 2000

NOTA: NO SE MIDIO EL CONTAMINANTE O NO EXISTE UN NÚMERO REPRESENTATIVO DE DATOS EN LAS ESTACIONES MERCK, CORPAS, CARREFOUR Y FONTIBÓN (AÑO 98); CARREFOUR (99) NI U.TOMÁS, CAZUCA, CORPAS EN EL 2000.

Ozono - O_3

Como se observa en la Fig. N° 6.3, en la totalidad de las estaciones en las que se midió la concentración de ozono, las concentraciones máximas superaron la norma horaria durante el trienio 1998-2000. Con respecto a la excedencia de la norma para ocho horas, a excepción de Hospital Olaya (99) y Cazucá y Hospital Olaya en el 2000, en las demás estaciones se superó también la norma. El análisis de la distribución de probabilidades de excedencia muestra que éstas ocurren solamente en el 1% de los casos.

Fig. N° 6.3 Ocurrencia de concentraciones máximas que exceden las normas de ozono en Bogotá

SECTOR	ESTACION	AÑO	Cmáx > Norma horaria	Cmáx > Norma 8 hora
SUROCCIDENTE	SONY	98		
		99		
		00		
	CAZUCA	98		
		99		
		00		
	CADE	98		
		99		
		00		
	MERCK	98		
		99		
		00		
SURORIENTE	OLAYA	98		
		99		
		00		
CENTRO	MMA	98		
		99		
		00		
	U.NACIONAL	98		
		99		
		00		
	U.TOMAS	98		
		99		
		00		
NORTE	BOSQUE	98		
		99		
		00		
	CORPAS	98		
		99		
		00		
NOROCCIDENTE	CARREFOUR – CALLE 80	98		
		99		
		00		
	FONTIBÓN	98		
		99		
		00		

	Año 1998
	Año 1999
	Año 2000

NOTA: EN EL 98 SOLO SE MIDIO EL OZONO EN SONY, CAZUCÁ, OLAYA, MMA Y U.NACIONAL. EN EL 99 SE ADICIONARON MERCK Y FONTIBÓN.

BIBLIOGRAFÍA

R. E. Munn y H. Rodhe. 1990. Química Atmosférica y Meteorología de la Contaminación del Aire. Nota Técnica N° 364 de la OMM – Ginebra, Suiza

Wark, K., Warner, C.F. 1992. *Contaminación del aire. Origen y control*. Editorial Limusa. México, D.F.

Ministerio de Salud. 1982. *Decreto 02 sobre emisiones atmosféricas*. Bogotá.

Ministerio del Medio Ambiente. 1995. *Decreto 948/95, Res.898/95, Res. 1351/95, Res.005/96.*

http://www. Dama.gov.co