

CAPÍTULO

8

Calidad de aire

Este capítulo presenta el manejo de información asociado a la calidad del aire medido en diferentes estaciones de Santiago de Cali; los datos y la información se tomaron del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente de Cali, a través de su dirección electrónica www.dagmacali.gov.co. También se presenta el manejo de información de la calidad de aire de la ciudad de México, de su Sistema de Monitoreo Atmosférico de Ciudad de México – SIMAT, presentado en su página electrónica (www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm). Para los datos de Santiago de Cali se analizan los parámetros dióxido de azufre, material particulado y ozono.

El aire es una mezcla gaseosa compuesta en un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de gases como bióxido de carbono, ozono, argón, xenón y radón, entre otros. Se considera contaminación del aire a la adición de cualquier sustancia que altere sus propiedades físicas o químicas.

Debido a la contaminación atmosférica que se presenta principalmente en las ciudades, y con el fin de proteger la salud de sus habitantes, se necesita implementar acciones para mejorar la calidad del aire, y el primer paso es medir su calidad, determinando sus causas, y evaluar sus efectos y los problemas fundamentales que se presentan para diseñar un plan acorde con ellos.

Alrededor del mundo se ha encontrado que en los centros urbanos las fuentes móviles son las mayores contribuyentes de emisiones contaminantes a la atmósfera, siendo siempre más significativas, comparadas con las emisiones de fuentes fijas. Un menor aporte de emisiones es ocasionado por fenómenos asociados a las actividades de urbanización, tales como: deforestación, tala de árboles, apertura de vías, erosión de cerros, disposición de escombros, disposición de desechos sólidos y almacenamiento de combustibles, entre otros. A continuación se describen algunos parámetros de calidad de aire.

• *Dióxido de Azufre (SO₂)*

Es un gas incoloro de olor característico, constituido por un átomo de azufre y dos átomos de oxígeno en su estructura molecular. Se origina por la combustión o proceso de combustibles que contienen azufre (diésel y combustible) y la fundición de minerales ricos en sulfatos. Se genera principalmente por la industria, seguido de los vehículos automotores. Los compuestos que contienen azufre están presentes en la atmósfera natural no contaminada. Estas sustancias provienen de la descomposición bacteriana de la materia orgánica, de los gases volcánicos y otras fuentes. Sin embargo, su contribución en el balance total de SO₂ resulta muy pequeña en comparación con las producidas en los centros urbanos e industriales como resultado de las actividades humanas.

El SO₂ atmosférico puede oxidarse a SO₃ por diferentes medios y reaccionar con la humedad del entorno (H₂SO₄), los cuales se dispersan en el ambiente en forma de lluvia, niebla, nieve y rocío, dando origen a un proceso de acidificación de la tierra y cuerpos de lluvia (lluvia ácida).

En altas concentraciones, el dióxido de azufre puede ocasionar dificultad para respirar; humedad excesiva en las mucosas de las conjuntivas, irritación severa en vías respiratorias e incluso al interior de los pulmones por formación de partículas de ácido sulfúrico, ocasionando vulnerabilidad en las defensas.

El dióxido de azufre es causante de enfermedades respiratorias como broncoconstricción, bronquitis y traqueítis, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes y la muerte; si bien los efectos señalados dependen en gran medida de la sensibilidad de cada individuo, los grupos de la población más sensibles al dióxido de azufre incluyen a los niños y ancianos, a los asmáticos y aquellos con enfermedades pulmonares crónicas como bronquitis y enfisema.

La OMS recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 100 a 50 µg/m³ promedio de 24 horas, y de 40 a 60 µg/m³ en una media aritmética anual.

• **Material particulado o partículas (PM)**

En contaminación atmosférica se reconoce como partícula a cualquier material sólido o líquido con un diámetro que oscila entre 0,0002 y 500 micrómetros (μm). En conjunto se designan como partículas suspendidas totales o PST.

Las fuentes de emisión de partículas pueden ser naturales o antropogénicas. Entre las naturales se encuentran: viento, erosión del suelo, material biológico fraccionado, erupciones volcánicas, incendios forestales y polinización de plantas, entre otros. Entre las fuentes antropogénicas se encuentran: combustión de productos derivados del petróleo, quemas en campos agrícolas, fertilización y almacenamiento de granos, la industria de la construcción y diversos procesos industriales.

Las partículas pueden tener una composición fisicoquímica homogénea o estar constituidas por diversos compuestos orgánicos e inorgánicos. Entre los componentes orgánicos se encuentran: fenoles, ácidos, alcoholes y material biológico (polen, protozoarios, bacterias, virus, hongos, esporas y algas). Entre los compuestos inorgánicos se encuentran nitratos, sulfatos, polímeros, silicatos, metales pesados (hierro, plomo, manganeso, zinc o vanadio) y elementos derivados de pesticidas y plaguicidas. Las partículas se clasifican de acuerdo con su efecto en la salud humana, como producto derivado de un proceso natural o antropogénico y por sus características físicas:

Partículas sedimentables ($> 10\mu\text{m}$). Son partículas que por su peso tienden a precipitarse con facilidad, razón por la cual permanecen suspendidas en el aire en períodos cortos. Por lo general no representan riesgos significativos para la salud.

Partículas menores a 10 micrómetros ($\leq 10\mu\text{m}$) (PM_{10}). Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor a $10\mu\text{m}$. Se consideran perjudiciales para la salud debido a que no son retenidas por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio.

Partículas menores a 2,5 micrómetros ($\leq 2,5\mu\text{m}$). Son partículas de diámetro aerodinámico equivalente o menor que $2,5\mu\text{m}$. Representan un mayor riesgo para la salud humana, pueden ser un factor de muerte prematura en la población.

El material particulado puede tener efectos negativos en la salud y bienestar del hombre, ya que puede contribuir a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y agudizar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares. Así mismo, afecta la visibilidad y velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre.

El riesgo a la salud por partículas lo constituye su concentración y el tiempo de exposición en el aire, sin embargo, el tamaño es la característica física más importante

para determinar su toxicidad y efectos en la salud humana. Las partículas mayores a $10\ \mu\text{m}$ son retenidas básicamente en las vías respiratorias superiores y eliminadas en su mayor parte por el sistema de limpieza natural del tracto respiratorio, por lo que no son consideradas significativamente dañinas para la salud; sin embargo, la exposición continua a altas concentraciones puede causar irritación de garganta y mucosa.

Las PM_{10} (fracción respirable) no son retenidas en las vías respiratorias superiores, cerca de un tercio penetra hasta los pulmones. Su efecto depende de su composición química, pueden producir irritación de las vías respiratorias, agravar el asma y favorecer las enfermedades cardiovasculares. En el corto plazo la contaminación por PM_{10} puede causar deterioro de la función respiratoria y en el largo plazo se asocia con el desarrollo de enfermedades crónicas, el cáncer o la muerte prematura.

• *Ozono (O_3)*

El ozono es un gas altamente reactivo, de color azul pálido, constituido por tres átomos de oxígeno en su estructura molecular. Este se puede clasificar en dos grandes grupos: ozono estratosférico y ozono troposférico.

Ozono estratosférico. Se origina en forma natural en la estratosfera (entre 12 km y 50 km a partir del suelo) mediante la fotodisociación del oxígeno producida por la radiación solar ultravioleta; se concentra en una capa delgada denominada ozonósfera, la cual filtra y modera la radiación solar ultravioleta y otras partículas energéticas que inciden sobre la superficie terrestre. Esta acción protectora de la capa de ozono permite que se lleven a cabo diversos procesos en los ecosistemas naturales: en la célula evita que se rompan las moléculas de ADN y enlaces de carbono. En los últimos cincuenta años la emisión de clorofluorocarbano (CFC), usado en equipos de refrigeración, aire acondicionado, aerosoles y esponjas plásticas, ha provocado el deterioro y debilitamiento de la ozonósfera en un orden de 3% cada diez años.

Ozono troposférico. En la troposfera (de 0 km a 12 km a partir de la superficie terrestre) el ozono se produce por la reacción fotoquímica de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV's) derivados del uso de combustibles fósiles, los cuales se denominan precursores del ozono. La reacción fotoquímica se produce cuando los NO_x y los COV's reaccionan con la luz solar, lo que produce un átomo libre de oxígeno (O). Este átomo libre puede adicionarse a una molécula de oxígeno (O_2) y formar una molécula de ozono (O_3). El proceso es reversible y está condicionado por la intensidad de la radiación solar.

La OMS recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de ozono de 0,05 a 0,10 ppm (partes por millón) por hora, cada tres años.

El ozono se considera uno de los contaminantes de mayor preocupación en la actualidad, ya que es altamente oxidante y afecta los tejidos vivos, se asocia con diversos padecimientos en la salud humana. Los individuos que viven en zonas donde se registran regularmente concentraciones altas de ozono presentan diversos síntomas como: irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración profunda, dolor subesternal, opresión en el pecho, malestar general, debilidad, náusea y dolor de cabeza. Por otra parte, los daños por exposición al ozono dependen de la sensibilidad de cada individuo y del tipo de exposición. El ozono causa severos daños al follaje de algunas variedades de plantas y en otras reduce significativamente su crecimiento.

• *Otros indicadores de calidad de aire*

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro, que en concentraciones altas puede ser letal. La principal fuente antropogénica de monóxido de carbono es la quema incompleta de combustibles como la gasolina. Para que se complete el proceso de combustión es necesario que haya una cantidad adecuada de oxígeno. Cuando éste es insuficiente, se forma el monóxido de carbono y una manera de reducirlo es exigir que los automóviles sean sincronizados debidamente para asegurar la mezcla del combustible con el oxígeno. Por esta razón, los reglamentos de inspección de automóviles han sido útiles para controlar el monóxido de carbono.

El monóxido de carbono es especialmente problemático en zonas urbanas con gran número de automóviles. El volumen del tránsito y el clima local influyen sobre su concentración en el aire. Los efectos sobre la salud dependen de la concentración y duración de la exposición. El monóxido de carbono en los seres humanos afecta el suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo. La exposición al monóxido de carbono puede agudizar las enfermedades del corazón y del pulmón. El peligro es más evidente en nonatos, neonatos, ancianos y en quienes sufren enfermedades crónicas.

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases conformados por nitrógeno y oxígeno. El nitrógeno es el elemento más común y representa el 78% del aire que respiramos. Los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de estas dos sustancias. Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles.

El óxido nítrico es relativamente inofensivo, pero el dióxido de nitrógeno puede causar efectos en la salud. En el proceso de combustión, el nitrógeno en el combustible

y aire se oxidan para formar óxido nítrico y algo de dióxido de nitrógeno. Los óxidos nítricos emitidos en el aire se convierten en dióxido de nitrógeno mediante reacciones fotoquímicas condicionadas por la luz solar. El dióxido de nitrógeno daña el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las regiones más profundas de los pulmones. Así mismo, contribuye a la formación de la lluvia ácida.

• *Legislación ambiental*

El gobierno nacional, a través del Ministerio de Transporte y mediante normas como el Estatuto del Transporte para el transporte masivo (No. 3109 de 1997), ha contribuido a definir lineamientos necesarios para la correcta planificación, ejecución y control de dichos proyectos, centrandose su atención en las grandes ciudades que integran polos de desarrollo industrial y comercial. Para el análisis del comportamiento de la contaminación es preciso realizar una comparación de los valores registrados de cada contaminante con la norma nacional vigente para emisiones atmosféricas (D.L. 02/82). Para poder aplicar esta norma deben calcularse los valores específicos de acuerdo con la temperatura promedio y la presión atmosférica de cada ciudad. Los valores para Cali se muestran en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1 Normativa de calidad del aire para diversos parámetros.

Parámetro	Símbolo	Condición	Norma nacional o EPA ⁽¹⁾	Norma para condición local ⁽²⁾
Partículas menores de 10 micrómetros	PM ₁₀	La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 24 horas que se pueda sobrepasar por una sola vez en un período de 12 meses.	⁽³⁾ 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		La concentración promedio de una muestra recolectada en forma continua durante 24 horas que se pueda sobrepasar por una sola vez en un período de 12 meses.	⁽³⁾ 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Dióxido de azufre	SO ₂	El promedio aritmético de los resultados de todas las muestras diarias recolectadas en forma continua durante 24 horas en un intervalo de 12 meses, no debe exceder la norma.	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	34.22 ppb
		La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 24 horas que se puede sobrepasar por una sola vez en un período de 12 meses.	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	136.61 ppb
		La máxima concentración de una muestra tomada en forma continua durante 3 horas que se puede sobrepasar por sólo una vez en un período de 12 meses.		512.29 ppb

Continúa en la página siguiente

Viene de la página anterior

Parámetro	Símbolo	Condición	Norma nacional o EPA ⁽¹⁾	Norma para condición local ⁽²⁾
Monóxido de carbono	CO	La máxima concentración de una muestra recolectada en forma continua durante 8 horas.	15000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	11.72 ppm
		La máxima concentración de una muestra tomada en forma continua durante 1 hora que se puede sobrepasar por sólo una vez en un período de 12 meses.		39.06 ppm
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	El promedio aritmético de los resultados de todas las muestras diarias recolectadas en forma continua durante 24 horas, en un intervalo de 12 meses, no debe exceder la norma.	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	47.61 ppb
Ozono	O ₃	La máxima concentración de una muestra tomada en forma continua durante 1 hora que se puede sobrepasar por sólo una vez en un período de 12 meses.	170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	77.57 ppb

(1) 25°C y 1 atmósfera

(2) 25.2°C y 0.89 atmósfera

(3) Norma EPA

• Red de monitoreo de calidad del aire de Santiago de Cali

La red de monitoreo de Santiago de Cali está constituida por ocho estaciones automáticas, la ubicación de las estaciones fijas se ilustra en la Figura 8.1 y los parámetros medidos en cada una se consignan en la Tabla 8.2.

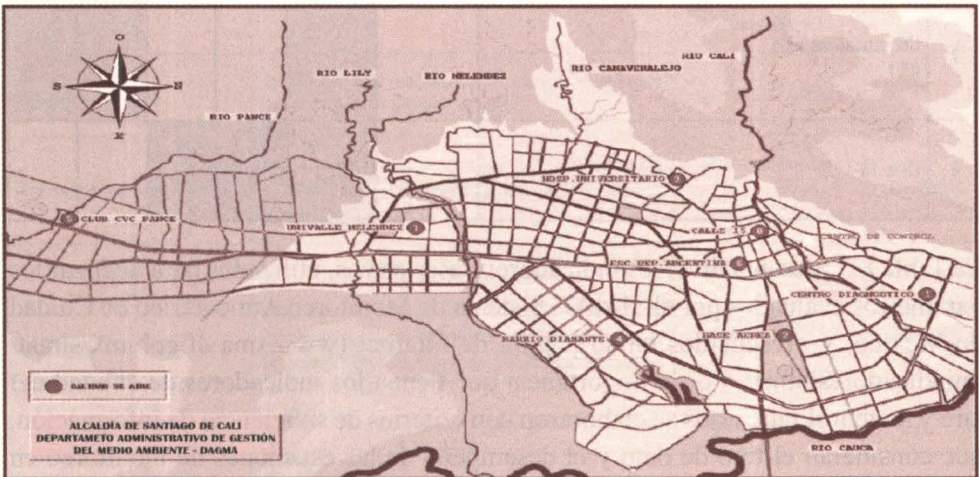


Figura 8.1 Ubicación geográfica de estaciones de monitoreo de calidad de aire en Santiago de Cali (www.dagmacali.gov.co).

Tabla 8.2 Ubicación de las estaciones de monitoreo y parámetros medidos en Santiago de Cali (www.dagmacali.gov.co).

	Identificación (Abreviatura)	Meteoro- logía	Parámetros medidos				
			PM ₁₀	NO _x	CO	SO ₂	O ₃
1	Centro Diagnóstico Automotor del Valle (CDAV)						
2	BA Marco Fidel Suárez (BA)						
3	Hospital Universitario del Valle (HUV)						
4	Polideportivo El Diamante (PPD)						
5	CVC Pance						
6	Escuela República Argentina (ERA)						
7	Universidad del Valle (UV)						
8	Calle 15						

La Tabla 8.3 presenta diversos indicadores descriptivos, utilizados para analizar los parámetros evaluados por el SIMAT, Sistema de Monitoreo Atmosférico de Ciudad de México, y presentados en su página de internet (www.sma.df.gob.mx/simat/prnindicadores.htm). Por la importancia que tienen los indicadores de calidad del aire y meteorología, estos se elaboraron con criterios de suficiencia de información, que consideran el tipo de dato y el desempeño de las estaciones de monitoreo en Ciudad de México.

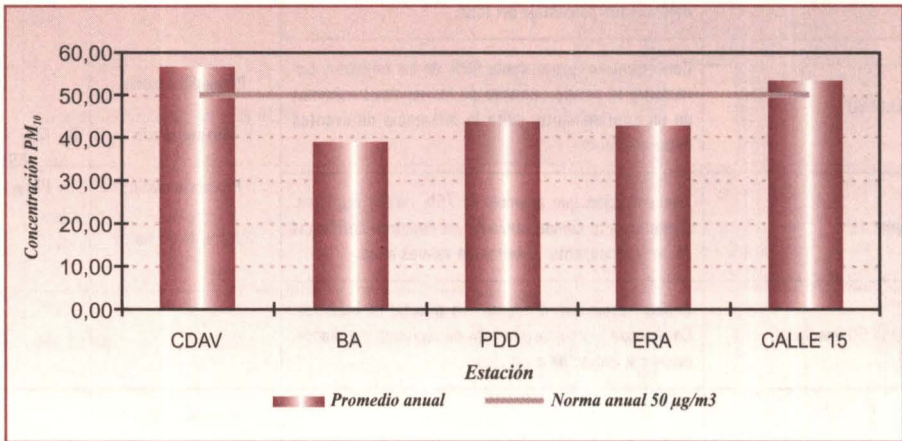
Tabla 8.3 Indicadores descriptivos para el resumen de datos de calidad de aire.
(www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm)

Indicador	Descripción	Tipo de dato	Parámetro
Máximo	Señala los eventos extremos. Es sensible a cualquier suceso extraordinario (incendios, desfogues industriales, eventos meteorológicos, etc.).	Máximo diario Colecta de 24 horas	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂ , PST, PM ₁₀
TOP 30	Señala los eventos extremos recurrentes, mitiga la influencia de sucesos extraordinarios.	Máximo diario	O ₃
Percentil	Al ordenar una población de datos de menor a mayor, un percentil señala la concentración que acumula un determinado porcentaje del total.		
Percentil 90	Concentración que acumula 90% de los registros. Caracteriza el comportamiento de los registros máximos de un contaminante, evita la influencia de eventos extraordinarios.	Promedio horario Máximo diario	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂ , PST, PM ₁₀
Percentil 75	Concentración que acumula el 75% de los registros. Caracteriza el comportamiento de registros cotidianos de un contaminante, al evitar los valores altos.	Promedio diario Colecta de 24 horas	
Percentil 50 (mediana)	Concentración que divide en dos al total de registros. Caracteriza el comportamiento de registros cotidianos, evidencia aumentos generales.		
Promedio	Permite evaluar el cumplimiento de normas de protección a la salud y el comportamiento anual de algunos parámetros. Es sensible a valores extremos.	Promedio diario Colecta de 24 horas Colecta semanal	SO ₂ , PST, PM ₁₀ , pH, NO ₃ , SO ₄
Promedio trimestral	Permite evaluar el cumplimiento de la norma de protección a la salud por concentración de plomo.	Colecta de 24 horas	Pb
Promedio superior a un límite	Indica indirectamente un nivel de riesgo por exposición a concentraciones superiores al valor de una norma de protección a la salud.	Promedio horario Colecta de 24 horas	O ₃ , PM ₁₀
Intervalos	Indica la frecuencia de valores de un contaminante en intervalos específicos, algunos se asocian a los límites permisibles definidos en las Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental.	Promedio horario Promedio móvil Colecta de 24 horas Colecta semanal	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂ , PST, PM ₁₀ , pH, NO ₃ , SO ₄
Comportamiento típico diario	Muestra el comportamiento de un contaminante en el transcurso del día. Permite asociar con la intensidad de las actividades antropogénicas	Promedio horario	O ₃ , NO ₂ , CO, SO ₂

8.1 Gráficos de estadísticas descriptivas

• *Material particulado, PM₁₀*

En la gráfica se presenta el promedio anual de material particulado menor de 10 micrómetros, PM₁₀, en relación con la norma anual de 50 µg/m³. Las estaciones Centro de Diagnóstico Automotor del Valle (CDAV) y Calle 15 reportan valores superiores a la norma anual definida, mientras que las estaciones Marco Fidel Suárez (BA), Polideportivo El Diamante (PPD) y Escuela República Argentina (ERA) están por debajo de la norma anual.



Gráfica de material particulado menor a 10 micrómetros.
(www.dagmacali.gov.co)

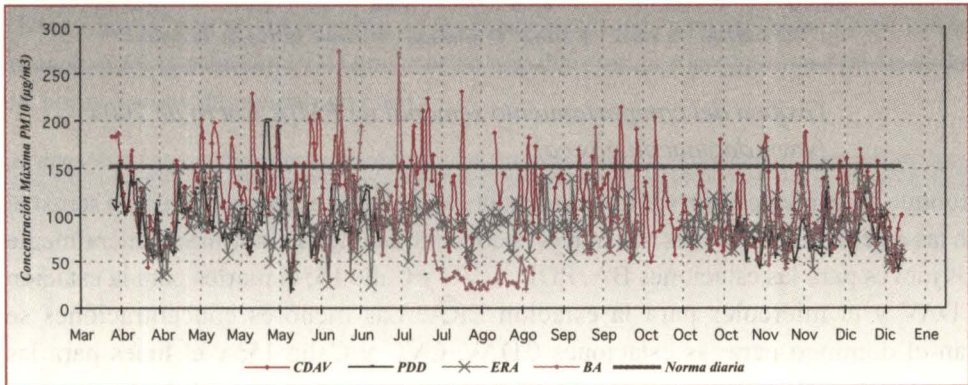
En la Tabla 8.4 se presentan las frecuencias para diversos intervalos de material particulado PM₁₀.

Tabla 8.4 Distribución promedio de material particulado en algunas estaciones de la ciudad de Santiago de Cali. Abril – noviembre de 2004.
(www.dagmacali.gov.co)

Intervalo	Distribución de frecuencias para promedio PM ₁₀ por Estación (Recuento de días)			
	CDAV	BA	PDD	ERA
< 50 µg/m ³	85 (19.5%)	87 (35.7%)	85 (36.6%)	181 (43.5%)
51-100 µg/m ³	132 (30.3%)	34(13.9%)	30 (12.9%)	27 (6.5%)
101 -150 µg/m ³	1 (0.2%)	1 (0.4%)	1 (0.4%)	0 (0.0%)
Total	218 (50.0%)	122 (50.0%)	116 (50.0%)	208 (50.0%)

Observando la tabla se concluye que valores menores de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se dan el 39% de las veces en la estación CDAV, el 71,3% en la estación BA, el 73,3% en la estación PDD y el 87% en la estación ERA. En el rango de $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se muestran el 60,5% de los datos en la estación CDAV; el 27,8% en la estación BA; el 25,8% en la estación PDD y el 13% en la estación ERA.

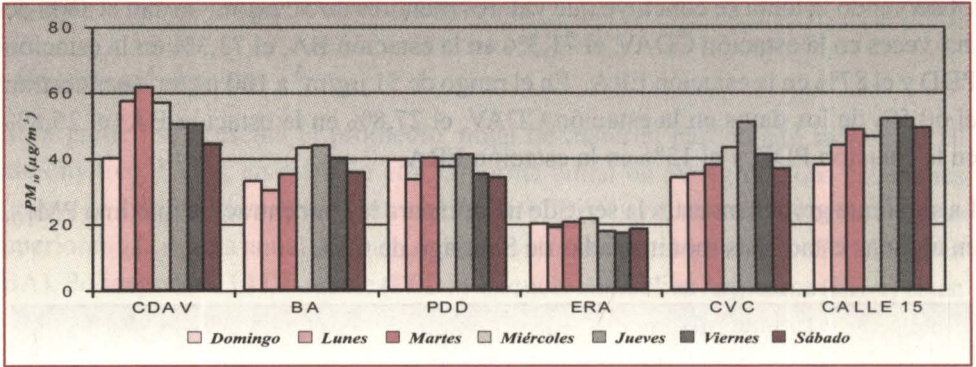
La siguiente gráfica muestra la serie de tiempo para la concentración máxima PM_{10} , en algunas estaciones monitoreadas de Santiago de Cali.



Gráfica de series de tiempo anual para concentración máxima de material particulado, PM_{10} (2004).

La serie de tiempo de la concentración máxima, PM_{10} , permite visualizar que en general la estación CDAV presenta muy frecuentemente valores por encima de la norma de PM_{10} , con valores más elevados en los meses de mayo y julio, disminuyendo sus niveles en los meses de octubre a diciembre. La estación PDD, en los meses monitoreados, muestra valores máximos por debajo de la norma, excepto en el mes de mayo; de igual forma la estación ERA reporta valores por debajo de la norma, excepto en octubre. La estación BA tiene los valores más altos de las estaciones graficadas en junio y julio, también evidencia los valores más bajos en julio y agosto.

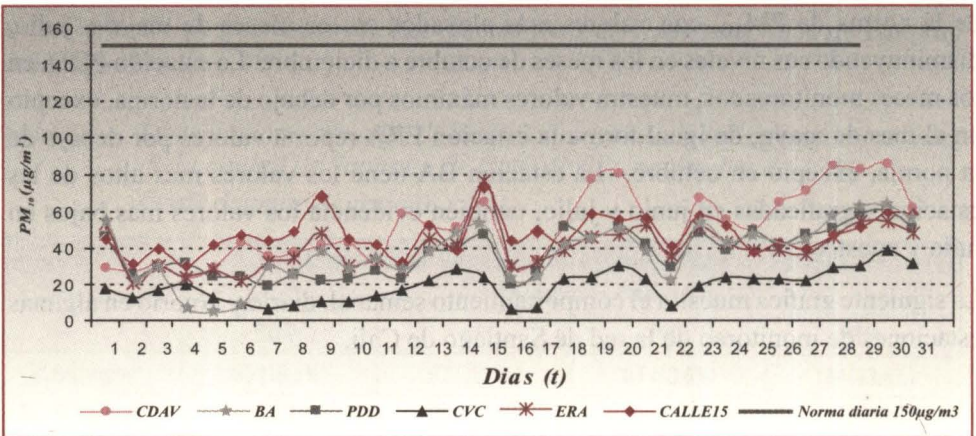
La siguiente gráfica muestra el comportamiento semanal, diario y horario en algunas estaciones de monitoreo de la red de Santiago de Cali.



Gráfica del comportamiento semanal de PM₁₀. Enero de 2004
(www.dagmacali.gov.co)

Aunque no se puede observar una tendencia general para el comportamiento semanal en las diferentes estaciones, las mayores concentraciones se muestran generalmente los jueves para las estaciones BA, PDD, CVC y Calle 15; el martes para la estación CDAV y el miércoles para la estación ERA. Las menores concentraciones se dan el domingo para las estaciones CDAV, CVC y Calle 15; y el lunes para las estaciones restantes (www.dagmacali.gov.co). La estación ERA muestra las menores concentraciones de material particulado en el mes graficado y las mayores concentraciones se dan en las estaciones CDAV y Calle 15.

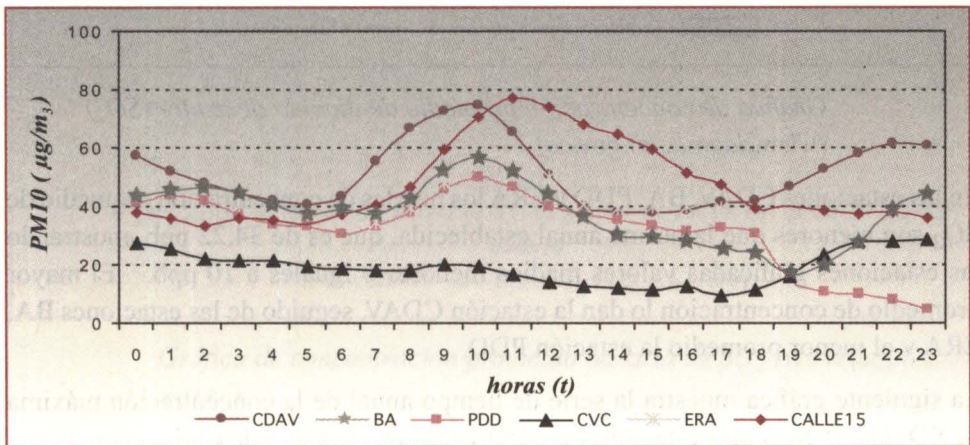
La siguiente gráfica presenta el comportamiento diario de PM₁₀ en enero, en algunas estaciones monitoreadas en la ciudad.



Gráfica del comportamiento mensual de PM₁₀. Enero de 2004.
(www.dagmacali.gov.co)

Se pueden apreciar concentraciones bajas y poco variables durante los primeros diez días del mes en las estaciones graficadas y un comportamiento variable que alcanza concentraciones mayores en la estación Calle 15 y CDAV, a partir del día 8 (www.dagmacali.gov.co). La estación que evidencia los menores valores de PM_{10} es la estación CVC, seguida por las estaciones PDD y ERA.

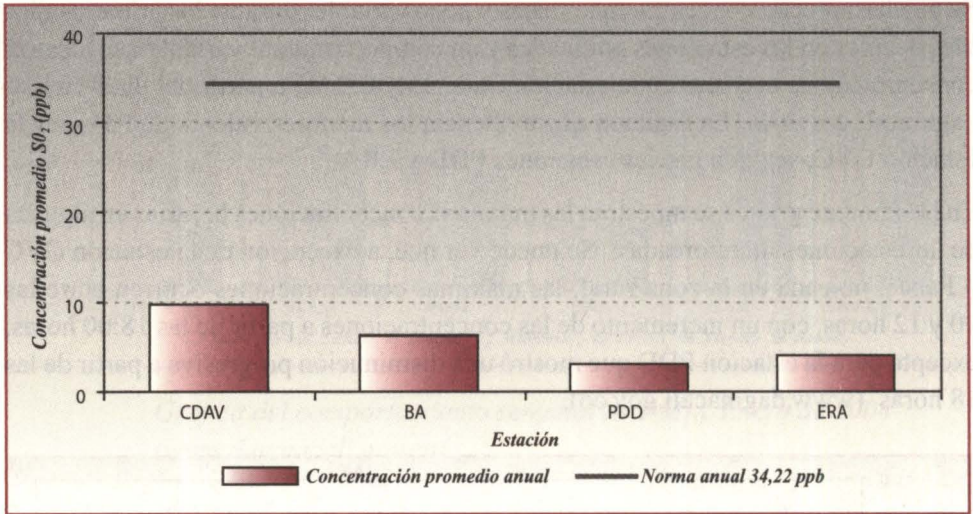
En la siguiente gráfica se muestran las máximas concentraciones horarias en algunas de las estaciones monitoreadas. Se puede ver que, a excepción de la estación CVC – Pance, ubicada en la zona rural, las máximas concentraciones ocurren entre las 10 y 12 horas, con un incremento de las concentraciones a partir de las 18:00 horas, excepto para la estación PDD que mostró una disminución progresiva a partir de las 18 horas (www.dagmacali.gov.co).



Gráfica del comportamiento horario promedio de PM_{10} . Enero de 2004 (www.dagmacali.gov.co).

• Dióxido de azufre (SO_2)

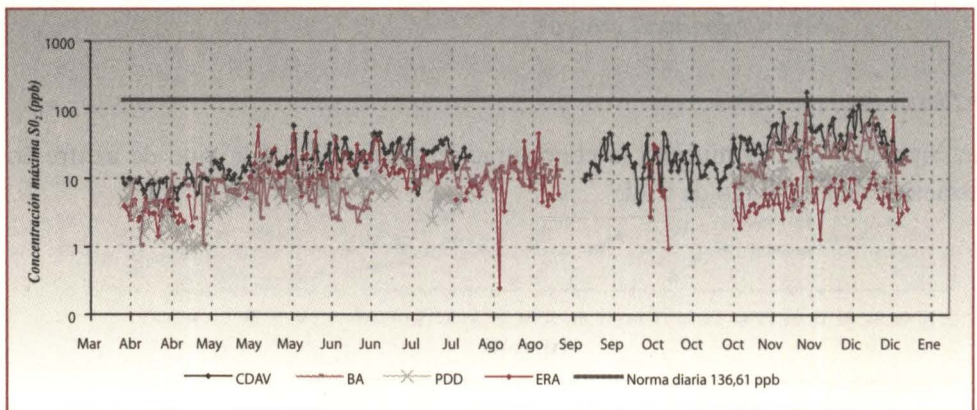
La siguiente gráfica muestra la concentración promedio de dióxido de azufre en estaciones de Santiago de Cali.



Gráfica de concentración promedio de dióxido de azufre (SO₂)
(www.dagmacali.gov.co)

En las estaciones CDAV, BA, PDD y ERA los niveles de concentración promedio de SO₂ son menores que la norma anual establecida, que es de 34,22 ppb, mostrando las estaciones graficadas valores medios menores o iguales a 10 ppb. El mayor promedio de concentración lo dan la estación CDAV, seguido de las estaciones BA, ERA y el menor promedio la estación PDD.

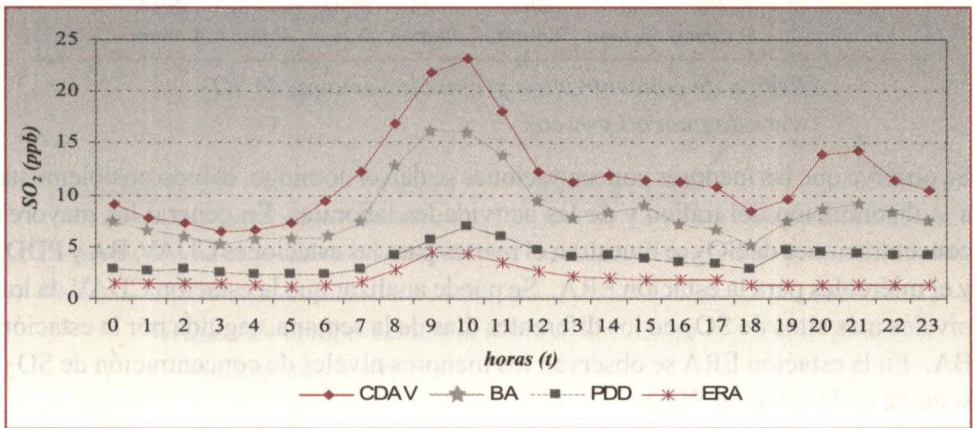
La siguiente gráfica muestra la serie de tiempo anual de la concentración máxima de SO₂ (ppb) en cuatro estaciones monitoreadas en Santiago de Cali.



Gráfica de series de tiempo anual para la concentración máxima de SO₂

Se puede apreciar que en general las estaciones graficadas están por debajo de la norma diaria establecida que es de 136,61 ppb, excepto la estación CDAV con un valor superior a la norma en noviembre. De marzo a julio la estación PDD evidenció en general las menores concentraciones máximas de SO_2 . De octubre a diciembre la estación que mostró los valores más altos fue la CDAV y la estación que dio los valores más bajos fue ERA.

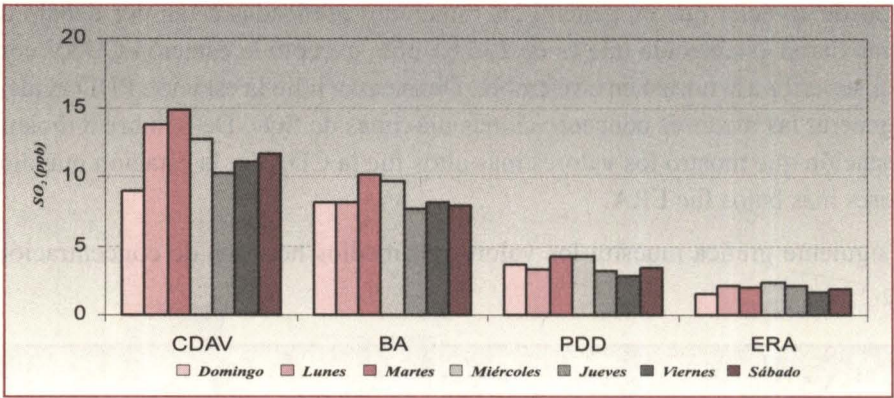
La siguiente gráfica muestra los valores promedios horarios de concentración de SO_2 .



Gráfica de concentración promedio horaria de SO_2 (www.dagmacali.gov.co)

Se observa que en el comportamiento horario para las concentraciones de SO_2 , en las diferentes estaciones, los valores máximos se dan entre las 9 y las 11 horas. Las estaciones CDAV y BA muestran un segundo valor máximo, más bajo que el primero, entre las 20 horas y las 21 horas, aproximadamente. Estos valores máximos coinciden con las horas de mayor densidad de tráfico. También se observa que la estación con mayor concentración es la CDAV, seguida de la BA y las menores concentraciones las tienen las estaciones PDD y ERA.

La siguiente gráfica muestra el comportamiento semanal, diario y horario, en algunas estaciones de monitoreo de la red de Santiago de Cali.

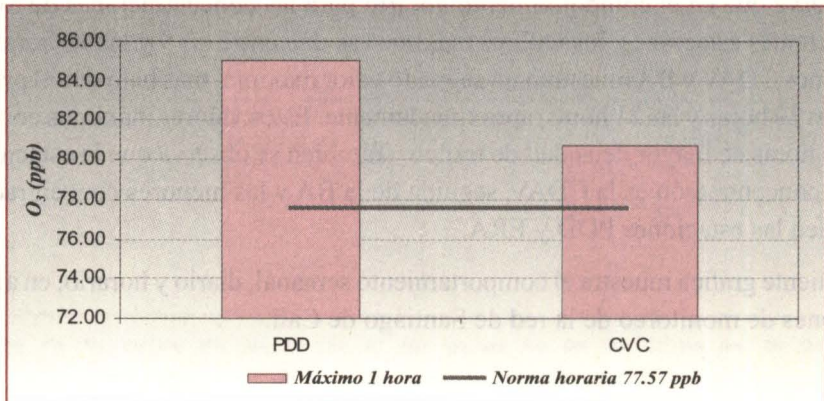


Gráfica de concentración promedio semanal de SO₂
(www.dagmacali.gov.co)

Se observa que las menores concentraciones se dan el domingo, debido posiblemente a la disminución del tráfico y de las actividades laborales. En general las mayores concentraciones de SO₂ se muestran el martes para las estaciones CDAV, BA y PDD; y el miércoles para la estación ERA. Se puede analizar que la estación CDAV da los niveles más altos de SO₂ en los diferentes días de la semana, seguida por la estación BA. En la estación ERA se observan los menores niveles de concentración de SO₂, seguida de la estación PDD.

• *Ozono (O₃)*

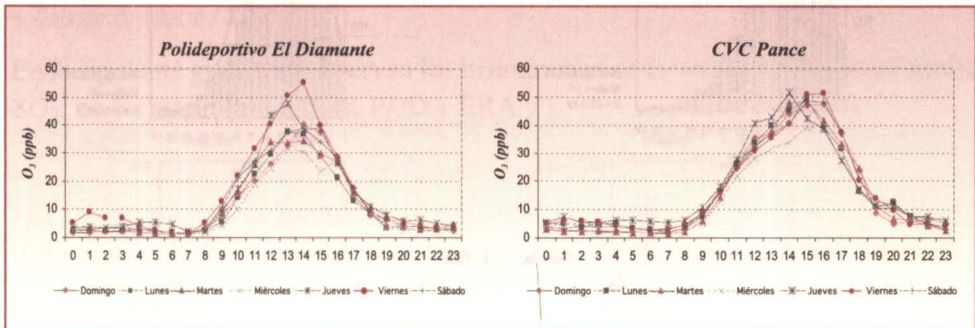
La siguiente gráfica presenta la máxima concentración horaria de ozono en dos estaciones monitoreadas: PDD y CVC.



Gráfica de máxima concentración horaria de ozono. Enero de 2004
(www.dagmacali.gov.co)

Se puede apreciar que, en el mes graficado, se excedió la norma horaria tanto en la estación PDD como en CVC zona rural (www.dagmacali.gov.co). En la estación PDD el valor máximo fue superior a 84 ppb de ozono y en la estación CVC la concentración máxima de ozono supera las 80 ppb.

En las siguientes gráficas se presenta el comportamiento horario de ozono en las estaciones Polideportivo El Diamante (PDD) y CVC Pance, para los diferentes días de la semana.



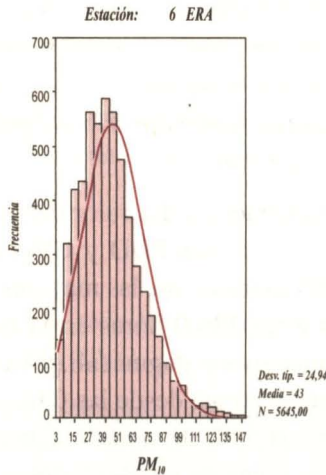
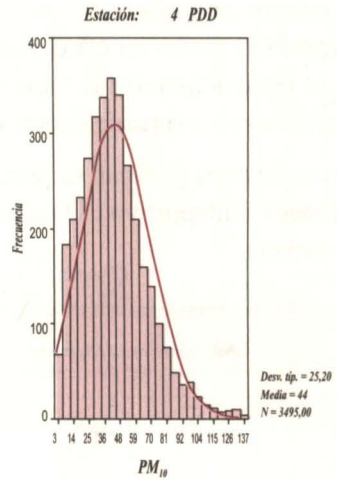
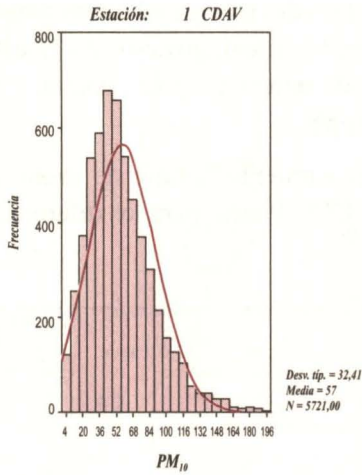
*Gráfica de comportamiento horario del ozono O_3 . Enero de 2004.
(www.dagmacali.gov.co)*

En la gráfica se observa que la tendencia del valor del ozono es similar en cada uno de los días analizados en las estaciones PDD y CVC-Pance. El comportamiento horario de O_3 en enero de 2004 muestra que las mayores concentraciones promedio de este contaminante se dan a las 13:00 horas en la estación PDD y a las 15:00 horas en la estación CVC- Pance (www.dagmacali.gov.co). Los menores valores de O_3 se evidencian en las primeras horas; desde las 0 hasta las 8 horas, a partir de lo cual se observa un incremento significativo hasta alcanzar el valor máximo de O_3 y disminuye nuevamente hasta alcanzar niveles bajos a partir de las 18 horas en la estación PDD y de las 20 horas para la estación CVC-Pance.

8.2 Histogramas

• *Material particulado, PM_{10}*

A continuación se observan los histogramas del material particulado, PM_{10} , en las estaciones CDAV, PDD y ERA, los cuales se comparan con la distribución normal.



Gráfica de frecuencias absolutas para material particulado (PM_{10})

En la estación CDAV se dan frecuencias en material particulado, PM_{10} , hasta $196 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con las mayores frecuencias en el rango de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así mismo se evidencia un buen ajuste de la distribución a la curva normal. El promedio en la estación es de $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y una desviación estándar de $32,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

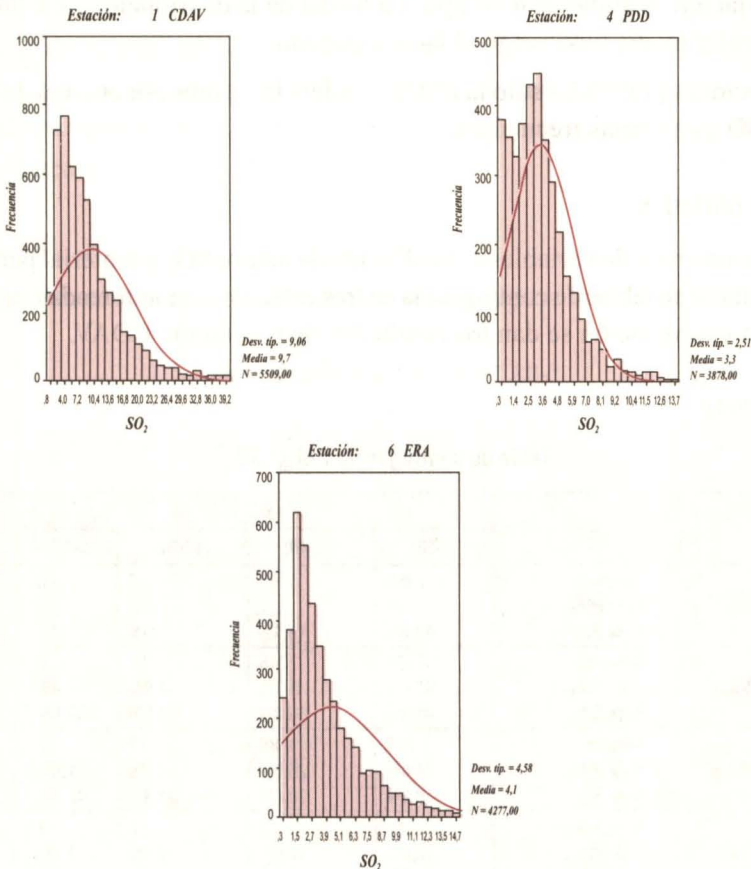
En la estación PDD se observan frecuencias hasta $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con las mayores frecuencias en el rango de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciándose un buen ajuste de la distribución a la curva normal. El valor promedio en esta estación es de $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una desviación estándar de $25,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la estación ERA se observan frecuencias hasta $147 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con su máxima concentración en el rango de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciándose un buen ajuste a la curva normal. El valor promedio es de $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una desviación de $24,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En general, las estaciones PDD y ERA evidencian la misma tendencia sin diferencias significativas en los valores promedios de PM_{10} . También se puede evidenciar que de las estaciones graficadas solo la CDAV muestra frecuencias por encima de la norma anual de PM_{10} , pero con pocas frecuencias en estos valores.

• **Dióxido de azufre (SO_2)**

En la siguiente gráfica se observan los histogramas de la variable dióxido de azufre, SO_2 , en las estaciones CDAV, PDD y ERA.



Gráfica de frecuencias absolutas para el dióxido de azufre (SO_2)

En la estación CDAV se muestran frecuencias de dióxido de azufre, SO_2 , hasta valores de $39,2 \text{ ppb}$; con concentración máxima de frecuencias en el rango entre $0,8 \text{ ppb}$ y

10,4 ppb; con un valor medio de 9,7 ppb y una desviación estándar de 9,06 ppb. La forma de la distribución se concentra en los valores menores a 13,6 ppb. A partir de este valor las frecuencias disminuyen sustancialmente, la gráfica de la distribución presenta sesgo hacia el lado izquierdo.

En la estación PDD se observan frecuencias hasta 13,7 ppb; con una concentración máxima de frecuencias en el rango entre 0,3 ppb y 4,8 ppb; con un valor medio de 3,3 ppb y una desviación estándar de 2,51 ppb. La forma de la distribución es asimétrica, concentrándose la mayoría de valores hacia la franja izquierda de la gráfica y muy pocos valores mayores a 7,0 ppb.

En la estación ERA se dan valores en la distribución hasta 14,7 ppb, con concentración de frecuencias en el rango entre 0,3 ppb y 3,9 ppb; con un valor medio de 4,1 ppb y una desviación estándar de 4,58 ppb. La forma de la distribución es asimétrica en cuanto al valor medio, con sesgo al lado izquierdo.

De las estaciones graficadas sólo la CDAV evidencia valores por encima de la norma anual de SO_2 , con bajas frecuencias.

8.3 Tablas cruzadas

Realizando un cruce de variables entre dióxido de azufre SO_2 y material particulado, PM_{10} , se muestran tablas de contingencia en tres estaciones monitoreadas en la ciudad de Cali. A continuación se dan los resultados de la estación CDAV.

• Estación CDAV

Tabla de contingencia $\text{PM}_{10} * \text{SO}_2^a$

		SO_2				Total	
		[0-20)	(20-40)	(40-60)	> 60		
PM_{10}	< 50	Recuento	2266	63	6	0	2335
		% de PM_{10}	97,0%	2,7	,3%	,0%	100,0%
		% de SO_2	49,8%	15,4%	11,8%	,0%	46,5%
	(50-100)	Recuento	1904	245	21	8	2178
		% de PM_{10}	87,4%	11,2%	1,0%	,4%	100,0%
		% de SO_2	41,9%	60,0%	41,2%	50,0%	43,4%
	(100-150)	Recuento	316	85	17	7	425
		% de PM_{10}	74,4%	20,0%	4,0%	1,6%	100,0%
		% de SO_2	6,9%	20,8%	33,3%	43,8%	8,5%
	> 150	Recuento	61	15	7	1	84
		% de PM_{10}	72,6%	17,9%	8,3%	1,2%	100,0%
		% de SO_2	1,3%	3,7%	13,7%	6,3%	1,7%
Total	Recuento	4547	408	51	16	5022	
	% de PM_{10}	90,5%	8,1%	1,0%	,3%	100,0%	
	% de SO_2	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	

a. Estación = CDAV

En esta estación el 46,5% de los datos muestreados del material particulado PM_{10} , da concentraciones menores a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 43,4% se encuentra entre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, en estos dos intervalos se halla el 89,9% de los datos de PM_{10} .

Para dióxido de azufre, SO_2 , se observa que 90,5% de los datos se encuentran en el rango de 0 ppb a 20 ppb y el 8,1% en el rango de 20 ppb a 40 ppb, es decir, en estos dos rangos se encuentra el 98,6% de los datos de SO_2 .

Cuando el PM_{10} se encuentra entre $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el 97% de los datos de SO_2 se da entre 0 ppb y 20 ppb y el 2,7% entre 20 ppb y 40 ppb.

Cuando el SO_2 se encuentra entre 0 ppb y 20 ppb, el 49,8% de los datos de PM_{10} se encuentra entre $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 41,9% entre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Del total de datos analizados, el 45,1% se encuentra entre 0 ppb y 20 ppb de SO_2 y entre $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , simultáneamente. El 37,9% de los datos toman valores entre 0 ppb y 20 ppb de SO_2 y entre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , simultáneamente.

• **Estación PDD**

A continuación se presenta la tabla de contingencia para la estación PDD.

Tabla de contingencia PM_{10} * SO_2 ^a

			SO_2		Total
			(0-20)	(20-40)	
PM_{10}	< 50	Recuento	2214	2	2216
		% de PM_{10}	99,9%	,1%	100,0%
		% de SO_2	65,6%	50,0%	65,6%
	(50-100]	Recuento	1065	2	1067
% de PM_{10}		99,9%	,2%	100,0%	
% de SO_2		31,6%	50,0%	31,6%	
(100-150)	Recuento	86	0	86	
	% de PM_{10}	100,0%	,0%	100,0%	
	% de SO_2	2,5%	,0%	2,5%	
> 150	Recuento	10	0	10	
	% de PM_{10}	100,0%	,0%	100,0%	
	% de SO_2	,3%	,0%	,3%	
Total		Recuento	3375	4	3379
		% de PM_{10}	99,9%	,1%	100,0%
		% de SO_2	100,0%	100,0%	100,0%

a. Estación = PDD

En esta estación el 65,6% de los datos muestreados del material particulado PM₁₀ presenta concentraciones menores a 50 µg/m³ y el 31,6% se encuentra entre 50 µg/m³ y 100 µg/m³, es decir, en estos dos intervalos se encuentra el 97,2% de los datos de PM₁₀.

Para dióxido de azufre, SO₂, se presenta que 99,9% de los datos se encuentran en el rango de 0 ppb a 20 ppb.

Cuando el PM₁₀ se halla entre 0 µg/m³ y 50 µg/m³, el 99,9% de los datos SO₂ se encuentra entre 0 ppb y 20 ppb.

Cuando el SO₂ se da entre 0 ppb y 20 ppb, el 65,6% de los datos de PM₁₀ se encuentra entre 0 µg/m³ y 50 µg/m³ y el 31,6% se encuentra entre 50 µg/m³ y 100 µg/m³.

Del total de datos analizados el 65,5% se encuentra entre 0 ppb y 20 ppb de SO₂ y entre 0 µg/m³ y 50 µg/m³ de PM₁₀, simultáneamente. El 31,5% de los datos toman valores entre 0 ppb y 20 ppb de SO₂ y entre 50 µg/m³ y 100 µg/m³ de PM₁₀, simultáneamente.

• Estación ERA

A continuación se presenta la tabla de contingencia para la estación ERA.

Tabla de contingencia PM₁₀ * SO₂^a

		SO ₂				Total	
		[0-20]	(20-40)	[40-60]	> 60		
PM ₁₀	< 50	Recuento	2406	5	1	2	2414
		% de PM ₁₀	99,7%	,2%	,0%	,1%	100,0%
		% de SO ₂	65,6%	14,7%	20,0%	50,0%	65,1%
	(50-100)	Recuento	1167	18	2	2	1189
		% de PM ₁₀	98,1%	1,5%	,2%	,2%	100,0%
		% de SO ₂	31,8%	52,9%	40,0%	50,0%	32,1%
	(100-150)	Recuento	88	11	1	0	101
		% de PM ₁₀	87,1%	10,9%	2,0%	,0%	100,0%
		% de SO ₂	2,4%	32,4%	40,0%	,0%	2,7%
	> 150	Recuento	4	0	0	0	4
		% de PM ₁₀	100,0%	,0%	,0%	,0%	100,0%
		% de SO ₂	,1%	,0%	,0%	,0%	,1%
Total	Recuento	3665	34	5	4	3708	
	% de PM ₁₀	98,8%	,9%	,1%	,1%	100,0%	
	% de SO ₂	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	

a. Estación = ERA

En esta estación el 65,1% de los datos muestreados del material particulado PM₁₀ evidencia concentraciones menores de 50 µg/m³ y el 32,1% entre 50 µg/m³ y

$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir, en estos dos intervalos se encuentra el 97,2% de los datos de PM_{10} .

Para dióxido de azufre, SO_2 , se observa que 98,8% de los datos se encuentra en el rango de 0 ppb a 20 ppb y el 0,9% en el rango de 20 a 40 ppb, es decir, en estos dos rangos se da el 99,7% de los datos de SO_2 .

Cuando el PM_{10} se da entre $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el 99,7% de los datos SO_2 se encuentran entre 0 ppb y 20 ppb.

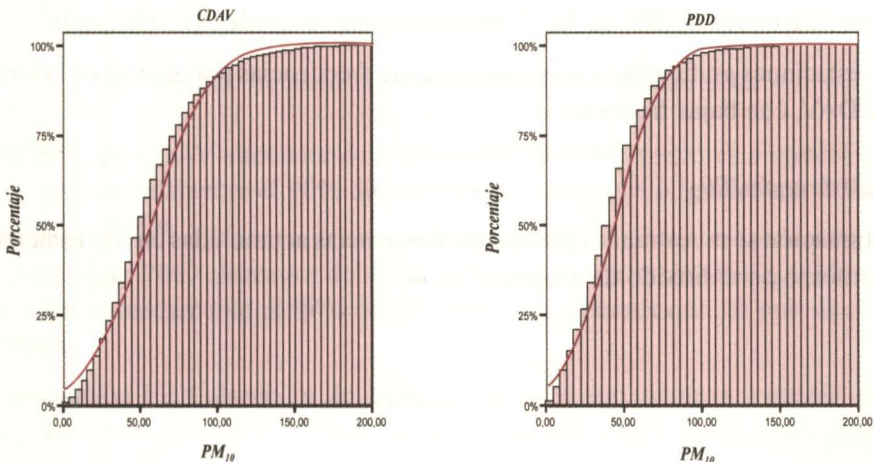
Cuando el SO_2 se halla entre 0 ppb y 20 ppb, el 65,6% de los datos de PM_{10} se encuentran entre $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 31,8% entre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Del total de datos analizados, el 64,9% se observa entre 0 ppb y 20 ppb de SO_2 y entre $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , simultáneamente. El 31,5% de los datos toman valores entre 0 ppb y 20 ppb de SO_2 y entre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , simultáneamente.

8.4 Gráficas de frecuencias acumuladas

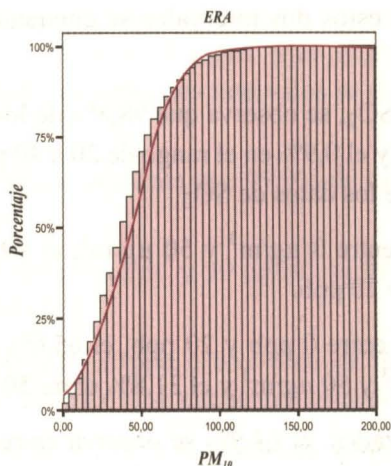
A continuación se presentan las frecuencias acumuladas para la variable dióxido de azufre SO_2 y material particulado, PM_{10} , en las estaciones monitoreadas CDAV, PDD y ERA.

• Material particulado, PM_{10}



Gráfica de frecuencias acumuladas para material particulado, PM_{10}

(Continúa en la página siguiente).



Gráfica de frecuencias acumuladas para material particulado, PM_{10}
(Viene de la página anterior)

En la estación CDAV alrededor del 50% de los datos toman valores menores o iguales a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado, PM_{10} y aproximadamente el 88% de los datos son menores o iguales que 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

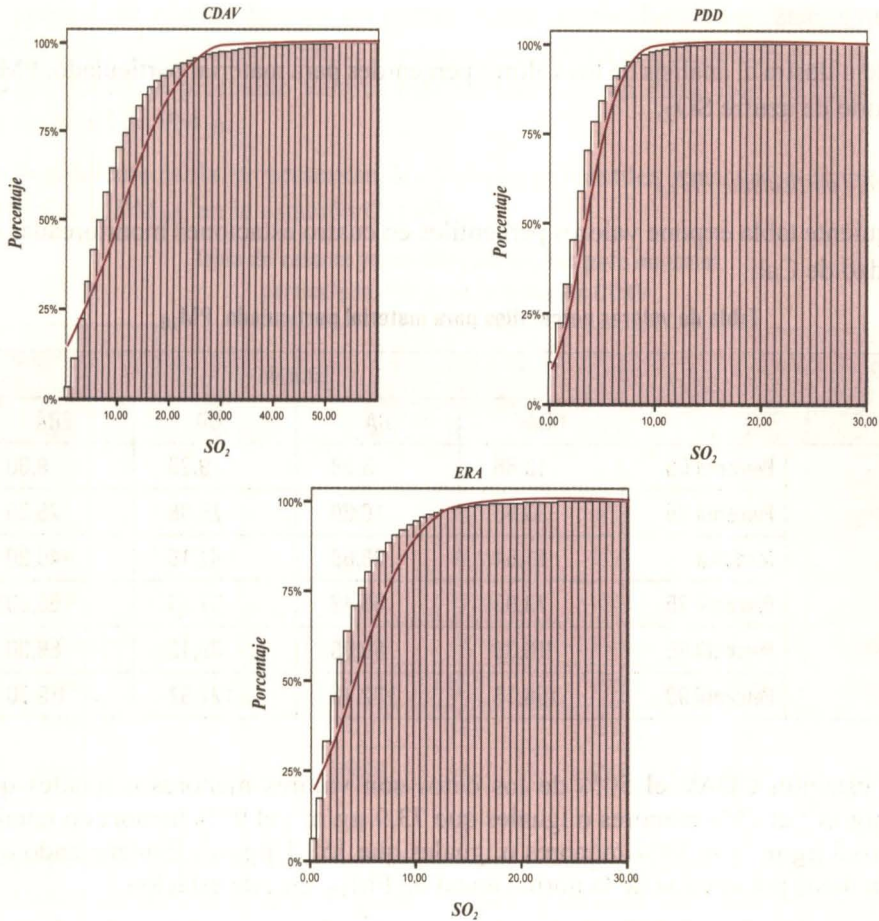
En la estación PDD cerca del 75% de los datos toman valores menores o iguales que 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y aproximadamente el 98% de los datos son menores o iguales que 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la estación ERA alrededor del 65% de los datos son menores o iguales que 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y aproximadamente el 98% de los datos son menores o iguales que 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

De las estaciones graficadas la única que muestra frecuencias por encima de la norma es la CDAV, con bajas frecuencias.

• Dióxido de azufre, SO_2

A continuación se muestran las gráficas de frecuencias acumuladas en tres estaciones de monitoreo para dióxido de azufre.



Gráfica de frecuencias acumuladas para dióxido de azufre, SO_2

En la estación CDAV alrededor del 75% de los datos son menores o iguales que 10 ppb y aproximadamente el 90% de los datos son menores o iguales que 20 ppb de dióxido de azufre.

En la estación PDD alrededor del 97% de los datos son menores o iguales que 10 ppb y aproximadamente el 99% de los datos son menores que 20 ppb de dióxido de azufre.

En la estación ERA alrededor del 95% de los datos son menores o iguales que 10 ppb y aproximadamente el 99% de los datos son menores o iguales que 20 ppb de dióxido de azufre.

De las estaciones graficadas la única que evidencia frecuencias por encima de la norma es la CDAV, con bajas frecuencias.

8.5 Percentiles

Este ítem ilustra el análisis de los valores percentiles para material particulado, PM_{10} y dióxido de azufre SO_2 .

• Material particulado, PM_{10}

La siguiente tabla expone valores percentiles en cuatro estaciones monitoreadas en la ciudad de Cali.

Tabla de valores percentiles para material particulado, PM_{10}

		Estación			
		CDAV	BA	PDD	ERA
PM_{10}	Percentil 05	13,66	3,98	9,25	9,00
	Percentil 25	33,96	16,80	25,88	25,00
	Mediana	51,54	36,68	41,15	40,20
	Percentil 75	73,93	56,49	57,13	56,80
	Percentil 95	116,30	89,05	89,12	89,00
	Percentil 99	158,16	122,15	127,37	119,70

En la estación CDAV el 50% de los datos son valores menores o iguales que $51,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 75% menores o iguales que $73,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 95% menores o iguales que $116,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 99% menores o iguales que $158,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Evidenciando que existen datos por encima de la norma anual de PM_{10} , en esta estación.

En la estación BA el 50% de los datos toma valores menores o iguales que $36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 75% menores o iguales que $56,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 95% menores o iguales que $89,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 99% menores o iguales que $122,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es decir, en esta estación se cumple la norma anual de PM_{10} en el periodo analizado.

En la estación PDD el 50% de los datos toma valores menores o iguales que $41,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 75% valores menores o iguales que $57,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 95% menores o iguales que $89,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 99% menores o iguales que $127,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lo cual indica que esta estación cumple la norma anual de PM_{10} en el periodo analizado.

En la estación ERA el 50% de los datos toma valores menores o iguales que $40,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 75% valores menores o iguales que $56,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 95% de los datos toma valores menores o iguales que $89,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 99% menores o iguales que $119,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Así, en esta estación se cumple la norma anual de PM_{10} en el periodo analizado.

En general, se puede observar un comportamiento similar en las estaciones BA, PDD y ERA, cumpliendo siempre la norma, contrario a lo que sucede en la estación CDAV, donde se presentan valores más elevados y con datos que no cumplen la norma anual de PM_{10} .

En la siguiente tabla se presentan los valores percentiles mensuales de material particulado, PM_{10} , en la estación CDAV.

Tabla de valores percentiles mensuales para material particulado, PM_{10} , en la estación CDAV

		PM_{10}					
		Percentil 05	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Percentil 95	Percentil 99
Mes	Abril	6,40	21,40	42,05	67,30	111,40	146,42
	Mayo	12,32	29,32	45,50	64,66	110,46	153,70
	Junio	5,02	17,55	36,90	61,52	111,82	160,00
	Julio	5,87	24,90	42,91	63,55	102,13	143,29
	Agosto	3,94	10,59	27,10	46,52	80,00	113,07
	Septiembre	11,80	28,20	43,49	59,55	95,44	138,33
	Octubre	8,88	26,12	42,21	61,62	95,00	127,59
	Noviembre	14,19	31,51	44,33	59,82	90,40	121,01
	Diciembre	18,92	34,99	49,87	67,00	98,29	126,26

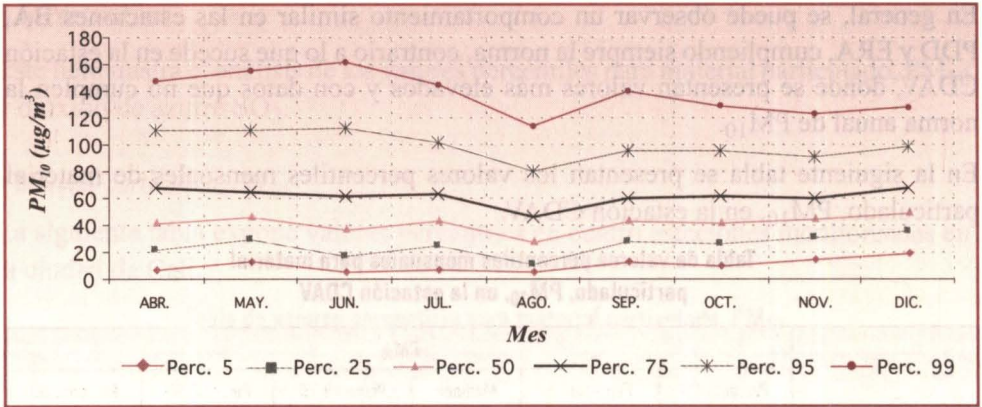
En mayo el 50% de los datos fueron menores o iguales que $45,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 75% de los datos son menores o iguales que $64,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y 95% de los datos son menores o iguales que $110,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En agosto se observó que el 50% de los datos son menores o iguales que $27,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 75% son menores o iguales que $46,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 95% menores o iguales que $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para el mes de diciembre el 50% de los datos son menores o iguales que $49,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$; el 75% son menores o iguales que $67,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el 95% de los datos son menores o iguales que $98,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En general, en el percentil 95, los meses con los valores más altos de material particulado se encuentran entre abril a julio, lo mismo sucede con el percentil 99.

La siguiente gráfica presenta los valores percentiles de material particulado, PM_{10} a través de los meses en la estación CDAV.



Gráfica de valores percentiles mensuales para material particulado, PM_{10} en la estación CDAV.

En la grafica de los percentiles se puede apreciar que los valores menores de PM_{10} se dan en agosto y los mayores valores en junio.

• Dióxido de azufre, SO_2

En la tabla siguiente se presentan valores percentiles para dióxido de azufre, SO_2 , en cuatro estaciones monitoreadas en Cali.

Tabla de valores percentiles para dióxido de azufre, SO_2

		Estación			
		CDAV	BA	PDD	ERA
SO_2	Percentil 05	1,63	1,13	,31	,53
	Percentil 25	3,96	2,59	1,53	1,64
	Mediana	7,41	4,71	2,90	2,87
	Percentil 75	12,48	8,06	4,36	5,16
	Percentil 95	24,79	15,78	7,90	11,08
	Percentil 99	42,82	26,19	11,96	21,38

En la estación CDAV el 50% de los datos son valores menores o iguales que 7,4 ppb; el 75% menores o iguales que 12,5 ppb; el 95% de los datos toma valores menores o iguales que 24,8 ppb y el 99% menores o iguales que 42,9 ppb. Por lo cual, esta estación cumple la norma anual de SO_2 en el período analizado.

En la estación BA el 50% de los datos toma valores menores o iguales que 4,7 ppb; el 75% valores menores o iguales que 8,1 ppb; el 95% valores menores o iguales que

15,8 ppb y el 99% menores o iguales que 26,2 ppb. De este modo, en esta estación se cumple la norma anual de SO_2 en el periodo analizado.

En la estación PDD el 50% de los datos toma valores menores o iguales que 2,9 ppb; el 75% valores menores o iguales que 4,4 ppb; el 95% de los datos toma valores menores o iguales que 7,9 ppb y el 99% menores o iguales que 11,9 ppb. Así, esta estación cumple la norma anual de SO_2 en el periodo analizado.

En la estación ERA el 50% de los datos toma valores menores o iguales que 2,9 ppb; el 75% de los datos toma valores menores o iguales que 5,2 ppb; el 95% de los datos toma valores menores o iguales que 11,1 ppb y el 99% son menores o iguales que 21,4 ppb. Es decir, en esta estación se cumple la norma anual de SO_2 en el periodo analizado.

En general, se puede observar un comportamiento similar en las estaciones ERA y PDD, con valores bajos de dióxido de azufre, seguidas de la estación BA, y por último con los valores más elevados la estación CDAV. Pero las estaciones cumplen la norma anual de SO_2 .

En la siguiente tabla se observan los valores percentiles mensuales de dióxido de azufre, SO_2 , en la estación CDAV.

Tabla de valores percentiles mensuales para dióxido de azufre, SO_2 , en la estación CDAV.

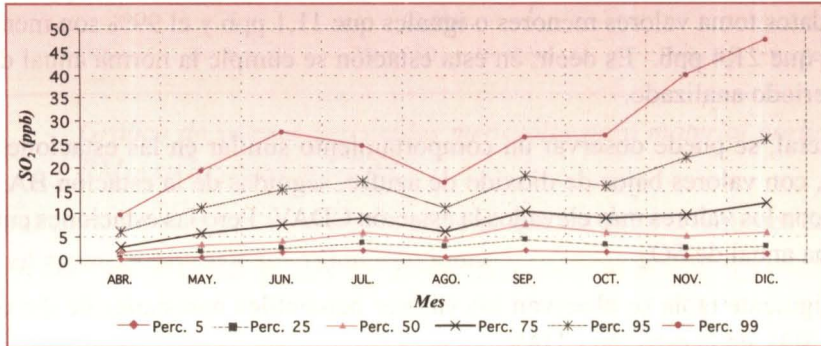
		SO_2					
		Percentil 05	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Percentil 95	Percentil 99
Mes	Abril	,15	,93	1,67	2,75	6,05	9,44
	Mayo	,47	1,94	3,34	5,65	11,34	18,73
	Junio	1,34	2,39	3,96	7,50	15,17	27,12
	Julio	1,91	3,60	5,94	8,95	17,11	24,21
	Agosto	,33	2,73	4,17	6,24	11,37	16,20
	Septiembre	1,89	4,37	7,50	10,60	18,07	26,00
	Octubre	1,36	3,44	5,62	8,89	15,80	26,46
	Noviembre	,90	2,60	5,08	9,84	21,95	39,42
	Diciembre	1,08	2,98	5,73	12,18	26,26	46,93

En mayo, el 50% de los datos son menores o iguales que 3,3 ppb, el 75% son menores o iguales que 5,7 ppb y el 95% son menores o iguales que 11,3 ppb de dióxido de azufre. En agosto, el 50% de los datos son menores o iguales que 4,2 ppb, el 75% son menores o iguales que 6,2 ppb y el 95% son menores o iguales que 11,4 ppb de dióxido de azufre.

Para diciembre, el 50% de los datos son menores o iguales que 5,7 ppb, el 75% son menores o iguales que 12,2 ppb y el 95% son menores o iguales que 26,3 ppb de dióxido de azufre.

En general, en el percentil 95 se observa que los meses con los valores más altos de dióxido de azufre se encuentran entre septiembre y diciembre.

En la siguiente gráfica se muestran los valores percentiles de dióxido de azufre a través de los meses, en la estación CDAV.



Gráfica de valores percentiles mensuales para dióxido de azufre, SO₂, en la estación CDAV

Analizando los valores percentiles de la gráfica, abril presenta los menores valores de SO₂, mientras en diciembre se observan los mayores valores.

8.6 Contaminación del aire en Ciudad de México

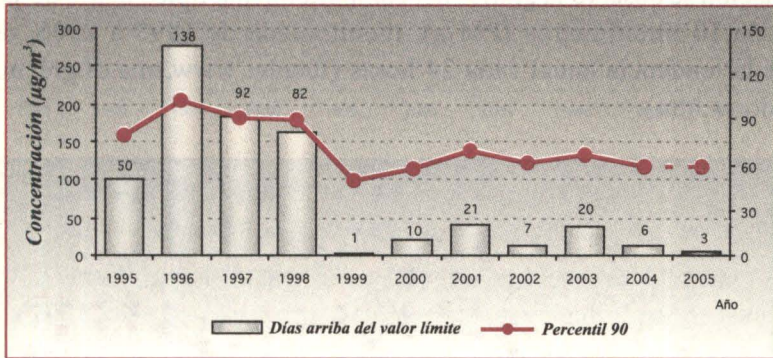
Este ítem muestra información gráfica de calidad de aire en Ciudad de México, los cuales fueron monitoreados por el SIMAT, Sistema de Monitoreo Atmosférico de Ciudad de México, y presentados en su página de Internet (www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm), monitoreados en el período 1996 a 2005 (hasta julio).

Una de las labores del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) es informar oportunamente el estado de la calidad del aire para proteger la salud de los habitantes de la zona metropolitana del valle de México.

El SIMAT tiene un boletín informativo de los eventos extraordinarios del incremento de las concentraciones de PM₁₀ y SO₂, principalmente. El boletín se emite cuando en determinada hora y en cualquier estación de monitoreo, las concentraciones horarias de PM₁₀ o SO₂ son mayores o iguales a 300 µg/m³ o 0,200 ppm, respectivamente. A continuación se observan las gráficas de diferentes parámetros analizados en Ciudad de México.

• **Material particulado, PM₁₀**

A continuación se observa la gráfica de los valores promedios diarios de partículas menores de 10 micrómetros (PM₁₀), monitoreada entre 1995 a 2005 (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).

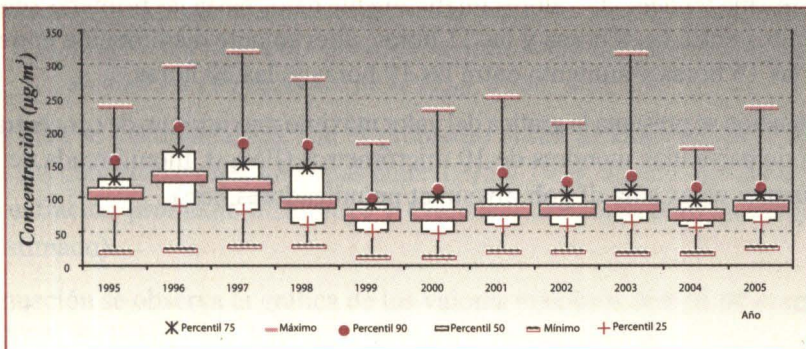


Gráfica de promedios diarios de partículas menores de 10 micrómetros (PM₁₀), 1995 – julio 2005

Se puede observar que el número máximo de días por encima del límite de PM₁₀ se presentó en 1996; entre 1995 a 1998 se dieron los valores más elevados del número de días por encima de la norma. Sin embargo, a partir de 1998, estos valores bajan considerablemente encontrándose valores bajos en los años de 1998 y 2005.

A continuación se muestra la gráfica de los valores promedios diarios de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), monitoreada de 1995 a 2005 (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).

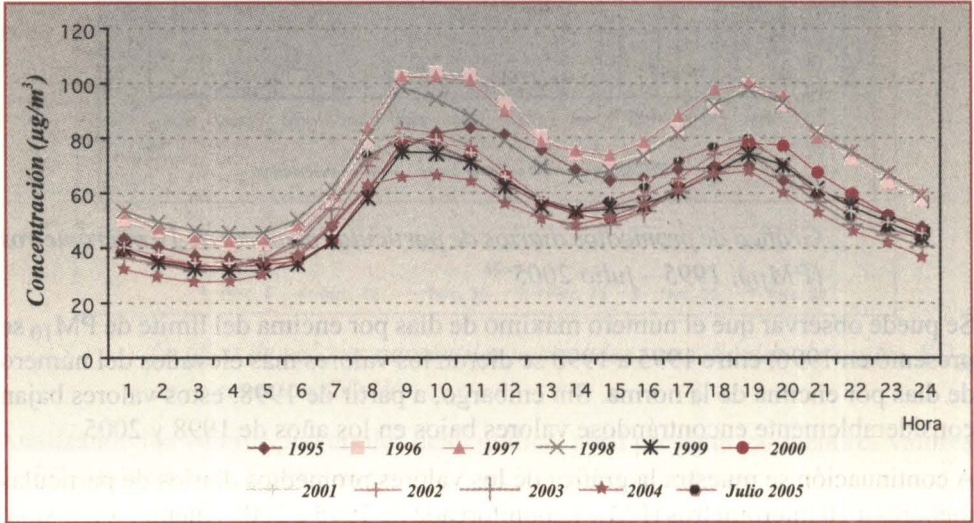
En el diagrama de cajas se observan los valores mínimos y máximos, así como los valores percentiles 25, 50, 75 y 90.



Gráfica de promedios diarios de partículas menores de 10 micrómetros (PM₁₀), 1995 – julio 2005

Se puede analizar que la mayor dispersión de los valores promedios diarios de PM_{10} , se dan entre 1997 y 2003. En el percentil 90 se puede observar que entre 1995 y 1998 se evidencian las mayores concentraciones promedio de PM_{10} , mientras que entre 1999 y 2005 estos valores son menores.

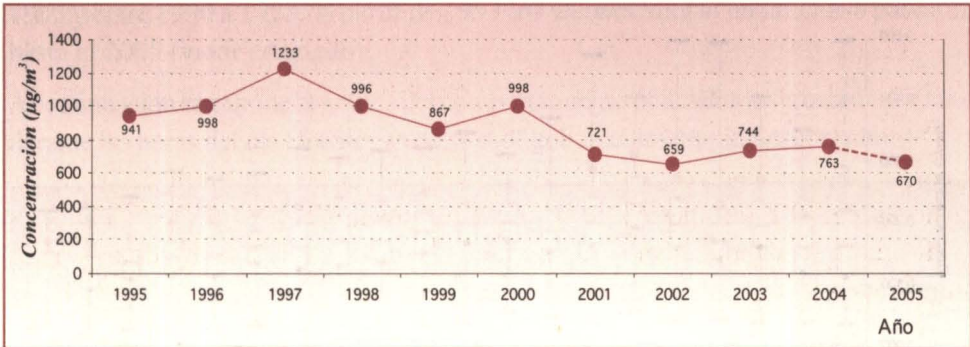
A continuación se observa la gráfica del comportamiento típico diario de partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10}), monitoreada de 1995 a 2005, donde se evidencia la tendencia anual cada 24 horas (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica del comportamiento típico diario de partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10}), 1995 – julio 2005

Se puede observar que a través de los años el comportamiento típico diario de PM_{10} sigue la misma tendencia; valores relativamente bajos hasta las primeras seis horas, valores altos entre las 8 horas y las 11 horas, nuevamente disminución entre las 13 horas y las 16 horas y aumento entre las 19 horas y las 20 horas.

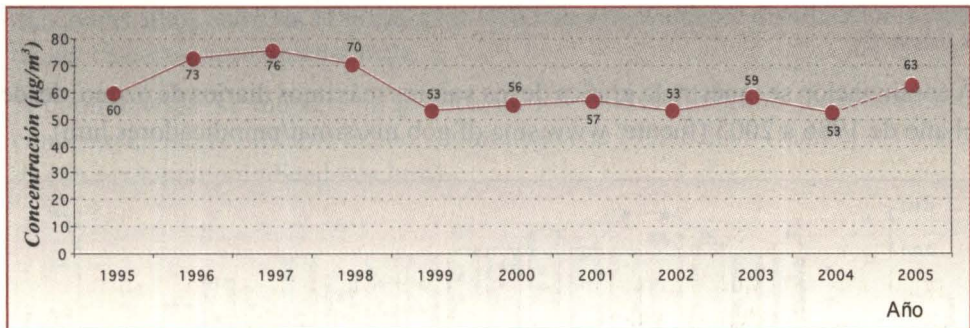
A continuación se presenta la gráfica del valor máximo maximorum de concentraciones horarias de partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10}), monitoreada de 1995 a 2005 (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica del máximo de concentraciones horarias de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), 1995, julio 2005

Entre 1997 a 2000 se evidencian valores más altos del valor máximo de PM₁₀, pero a partir de 2001 los valores máximos empiezan a disminuir y permanecer estables a través de los años.

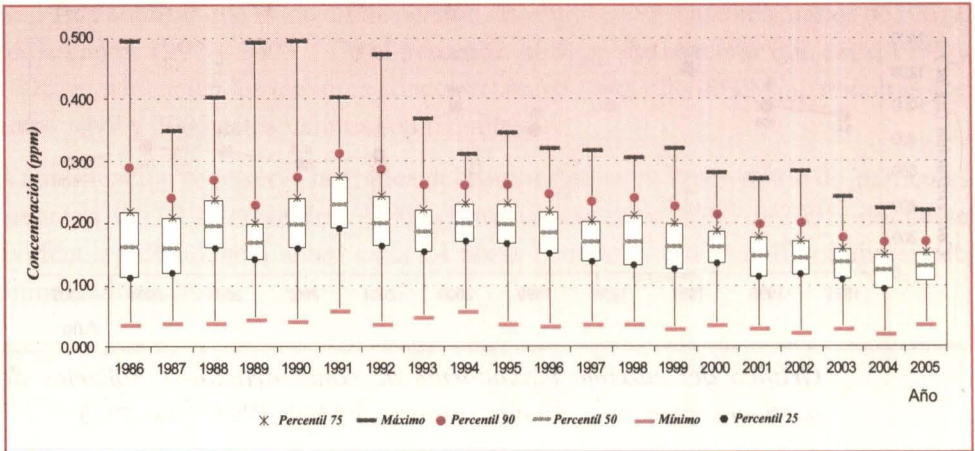
A continuación se observa la gráfica del promedio anual de concentraciones de partículas menores de 10 micrómetros (PM₁₀), monitoreada de 1995 a 2005 (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica del promedio anual de concentraciones horarias de partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), 1996, julio 2005

En la gráfica se puede analizar que el promedio anual de concentración de PM₁₀ muestra sus concentraciones máximas entre 1995 y 1999, a partir del 2000 el valor de concentración promedio disminuye y evidencia un incremento en el año 2005 (valor estimado).

A continuación se observa la gráfica de los valores máximos diarios de ozono entre 1986 a 2005. Se ilustran los diagramas de cajas y alambres, evidenciando los valores máximos y mínimos y los valores percentiles del 25, 50, 75 y 90% (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).

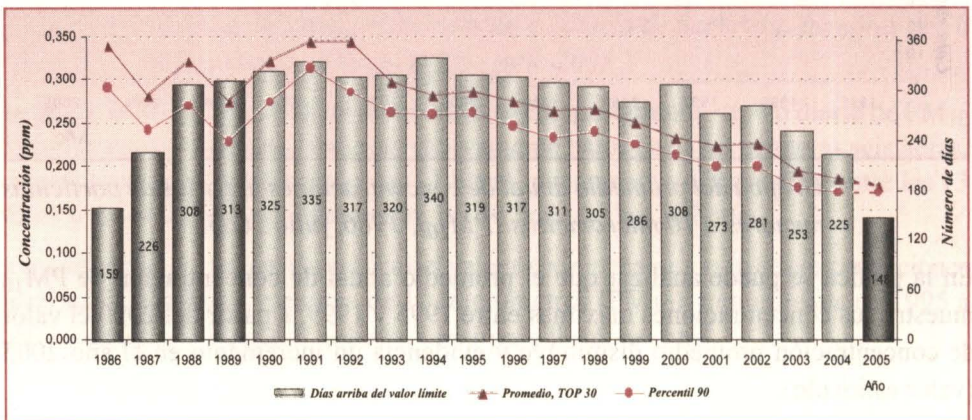


Gráfica de máximos diarios de ozono (O₃), 1986 – julio 2005

En general los valores máximos de ozono mostraron gran dispersión entre 1986 a 1992, a partir de lo cual la dispersión disminuye paulatinamente hasta el año 2005. Los valores más altos de los valores máximos se dan hasta 1992, a partir de lo cual disminuyen.

• Ozono, O₃

A continuación se muestra la gráfica de los valores máximos diarios de ozono, desde el año de 1986 a 2005 (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).

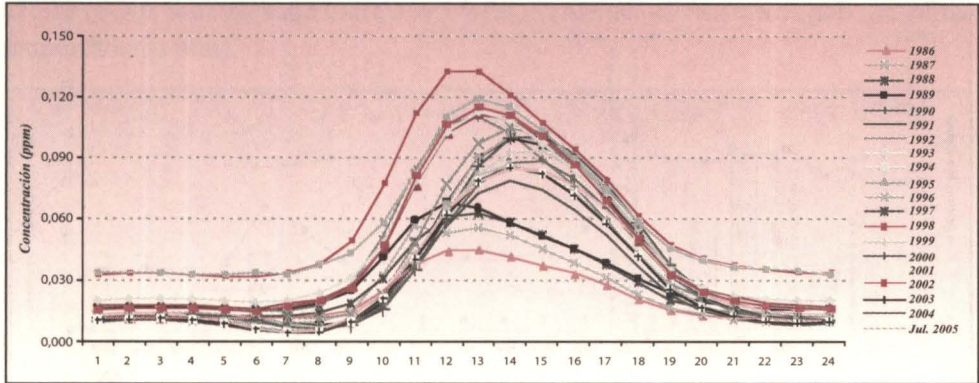


Gráfica de máximos diarios de ozono (O₃) 1986 – julio 2005

Se puede analizar que los valores máximos diarios de ozono mantienen la misma tendencia entre el valor promedio y el percentil 90. Los valores más altos se dan en

1986 y entre 1990 a 1993. A partir de 1993 los valores inician un descenso paulatino hasta el 2005 (valor estimado).

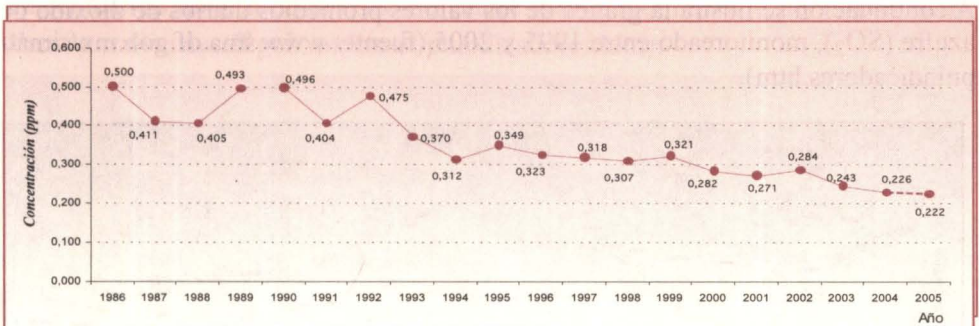
A continuación se expone la gráfica del comportamiento típico diario de ozono, por años, durante las horas del día (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica del comportamiento típico diario del ozono (O₃), 1986 - julio 2005

Se puede observar que a través de los años el comportamiento típico diario de ozono sigue la misma tendencia, es decir, valores relativamente bajos hasta las primeras diez horas, altos entre las 11 horas y las 16 horas y nuevamente disminución a partir de las 18 horas, aproximadamente.

A continuación se muestra la gráfica de los valores máximo maximorum de concentraciones horarias de ozono, monitoreada de 1995 a 2005 (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).

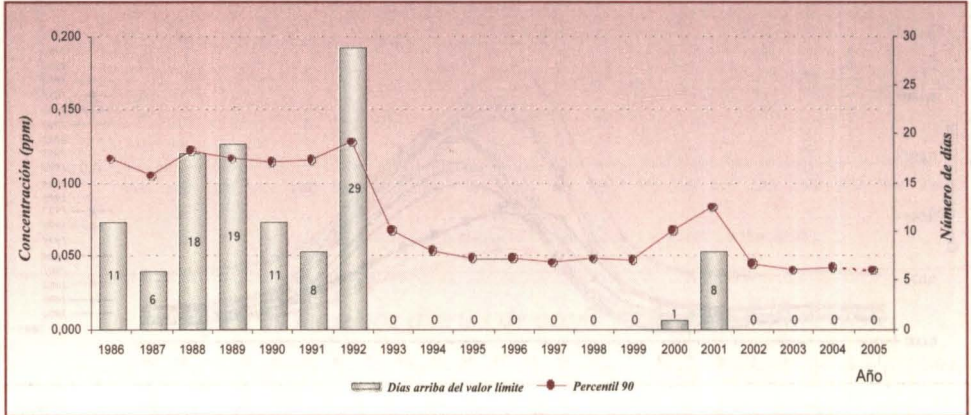


Gráfica de máximo maximorum de concentraciones horarias de ozono (O₃), 1986 - julio 2005

Se puede observar que los valores máximos maximorum son más elevados en el periodo de 1986 a 1992, a partir de este último año los niveles empiezan a disminuir, pero lentamente, hasta el 2005.

• *Dióxido de azufre, SO₂*

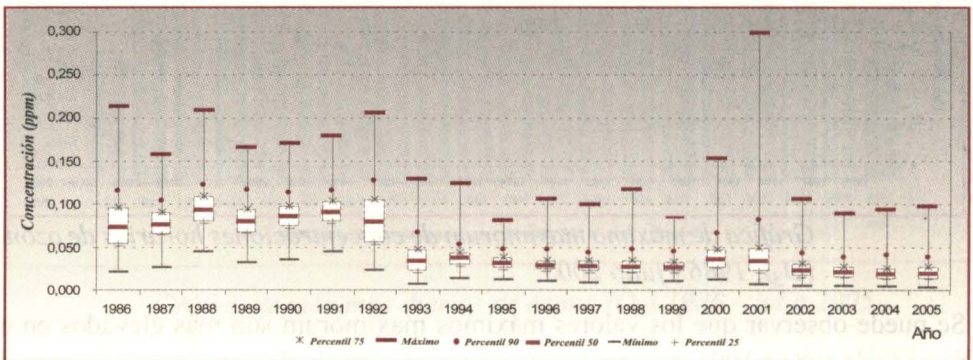
A continuación se observa la gráfica de los valores promedios diarios de dióxido de azufre (SO₂), monitoreada entre 1995 y 2005 (fuente: www.sma.df.gov.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica de promedios diarios de dióxido de azufre (SO₂), 1986 - julio 2005

Se puede observar que el número máximo de días por encima del límite de SO₂, se dio en 1992; entre 1986 a 1998 se encuentran los valores más elevados del número de días por encima de la norma. Sin embargo, a partir de 1993 estos valores bajan considerablemente con pocos datos por encima de la norma en el 2000 y 2001. El percentil 90 permite analizar cómo los niveles de concentración descienden a partir del año 1992, mostrando valores altos nuevamente en los años 2000 y 2001.

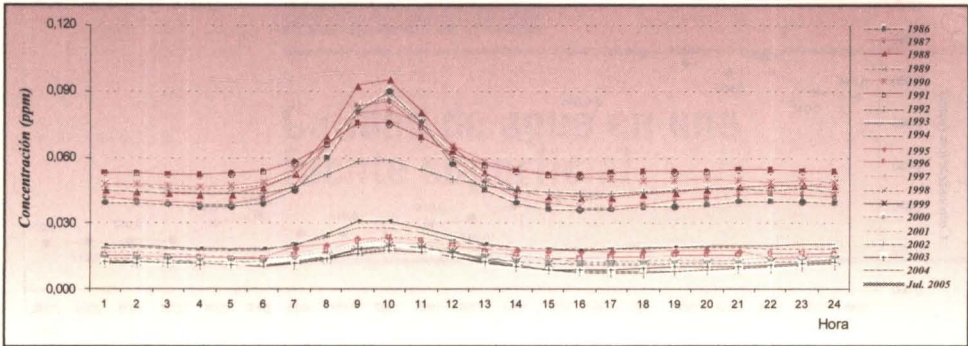
A continuación se ilustra la gráfica de los valores promedios diarios de dióxido de azufre (SO₂), monitoreado entre 1995 y 2005 (fuente: www.sma.df.gov.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica de promedios diarios de dióxido de azufre (SO₂), 1986 - julio 2005

Se puede analizar que la mayor dispersión de los valores promedio diarios de SO_2 se dan entre 1986 y 1992. A partir del año 1993, los valores medio, máximo y mínimo de los valores promedio de SO_2 empiezan a descender, excepto para el año 2001, cuando se observa la mayor dispersión de la base de datos analizada.

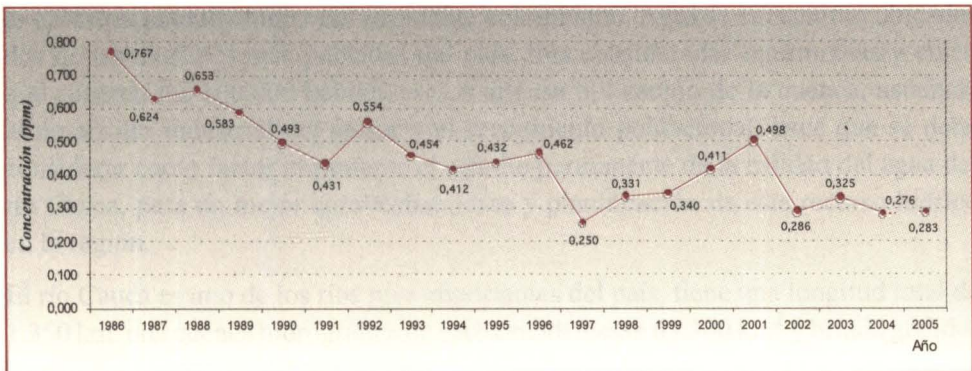
A continuación se muestra la gráfica de los valores promedio diarios de dióxido de azufre (SO_2), monitoreado entre 1995 y 2005 (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica del comportamiento típico diario del dióxido de azufre (SO_2), 1986 - julio 2005

Se puede observar que a través de los años el comportamiento típico diario del dióxido de azufre sigue la misma tendencia, es decir, valores relativamente bajos hasta las primeras ocho horas, valores altos entre las 9 horas y las 11 horas y nuevamente disminución a partir de las 14 horas, aproximadamente.

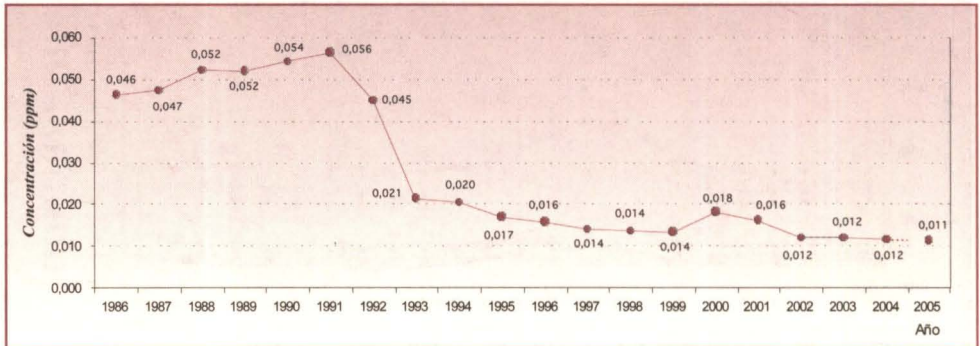
A continuación se muestra la gráfica de los valores máximo maximorum de concentración horaria de dióxido de azufre (SO_2), monitoreado de 1995 a 2005. (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica del máximo maximorum de concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO_2), 1986 - julio 2005

Se puede observar en general que los valores máximos maximorum tienden a disminuir a partir de 1986, con el valor más bajo en 1997 y el valor más alto en 1986.

A continuación se muestra la gráfica de los valores promedios anuales de la concentración horaria de dióxido de azufre (SO_2), monitoreado entre 1995 y 2005. (fuente: www.sma.df.gob.mx/simat/pnindicadores.htm).



Gráfica del promedio anual de concentraciones horarias de dióxido de azufre (SO_2), 1986 - julio 2005

En la gráfica se puede analizar que el promedio anual de concentración de SO_2 genera sus concentraciones máximas entre 1986 y 1992, a partir de 1993 el valor de concentración promedio disminuye.

CAPÍTULO

9

Calidad de agua en una fuente superficial

Este capítulo muestra un manejo descriptivo de datos relacionados con el estudio de la calidad de agua del río Cauca en su paso por el departamento del Valle del Cauca, en dos variables: oxígeno disuelto (OD) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Los datos fueron monitoreados por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

La cuenca hidrográfica del río Cauca ocupa dentro del contexto colombiano un lugar estratégico; en ella se localiza la industria azucarera, la mayor parte de la zona cafetera, las zonas de desarrollo minero y agropecuario, y un sector significativo de la industria manufacturera del occidente colombiano. Aquí se encuentran ubicadas dos de las ciudades más pobladas del país, tres consideradas intermedias y cinco que superan los 100.000 habitantes. La intensa utilización de la cuenca, asociada al desarrollo industrial del sector y el crecimiento poblacional, hace que se deba considerar como factor importante el estudio permanente de la calidad del agua del río Cauca, para un mejor aprovechamiento y planificación de este recurso hídrico en la región.

El río Cauca es uno de los ríos más importantes del país, tiene una longitud total de 1.350 km, una cuenca hidrográfica de aproximadamente 63.300 km² y brinda grandes beneficios a cerca de 183 municipios, localizados en los departamentos que recorre, permitiendo contabilizar aproximadamente diez millones de habitantes, es decir, el 25% de la población colombiana (Vélez, 2003).

El río Cauca es aprovechado de manera relativamente intensa para numerosos propósitos: generación de energía, extracción de materiales del lecho, captación de agua para consumo humano, riego, industria, pesca, recreación y como fuente receptora de vertimientos de aguas residuales industriales y aguas residuales de algunos de los municipios que se encuentran en su cuenca. Sin embargo, el manejo y las intervenciones sobre el río Cauca y sus ríos tributarios no han sido los más apropiados, originando serios problemas ambientales (Vélez, 2003).

Uno de los principales problemas de la calidad del agua del río Cauca es el agotamiento del oxígeno disuelto, como una consecuencia de las múltiples descargas de aguas residuales domésticas e industriales que se vierten a su cuenca. Por esta razón, la CVC desde su creación ha venido realizando grandes esfuerzos en generación de políticas, planes y proyectos para el mejoramiento de la calidad del agua del río y el control de los vertimientos; es así como la CVC ha implementado un programa de monitoreo sobre el río Cauca y sus ríos tributarios, con 19 estaciones en el departamento del Valle del Cauca, el cual se ilustra en la Figura 9.1

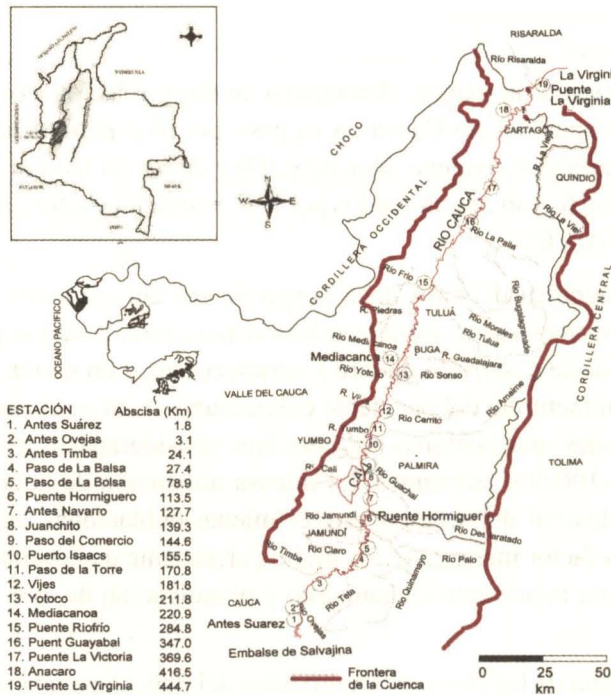


Figura 9.1 Estaciones de monitoreo sobre el río Cauca (Vélez, 2003).

A continuación se describen conceptualmente los parámetros analizados en este capítulo.

- *Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)*

Este parámetro es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica degradable bioquímicamente, presente en una muestra de agua, y se define como la cantidad de oxígeno requerida por microorganismos aerobios para oxidar la materia orgánica hasta formas inorgánicas estables, en un período de cinco días a 20°C. Si la materia orgánica se encuentra en gran cantidad, los microorganismos necesitarán también gran cantidad de oxígeno para estabilizar esa materia, lo cual indicaría una alta demanda bioquímica de oxígeno.

La DBO determina la cantidad de oxígeno requerida por la biota del sistema para oxidar completamente la materia orgánica biológicamente degradable. Esta cantidad corresponde a la suma del oxígeno consumido por: las bacterias (en su proceso de síntesis y respiración a medida que utilizan el sustrato), los consumidores (protozoarios cuando ingieren las bacterias como fuente de energía para realizar los procesos de crecimiento y respiración) y los procesos de autodestrucción de la biomasa, creada en los dos procesos anteriores.

La DBO, al igual que la demanda química de oxígeno (DQO), es usada para medir el grado de polución de las aguas residuales, la cual se basa en el principio químico que en medio ácido, agentes oxidantes fuertes, pueden oxidar con muy pocas excepciones la materia orgánica presente, transformándola en dióxido de carbono y agua. Por lo que los valores de la DQO serán siempre mayores que los de la DBO para una misma muestra, y esta diferencia puede hacerse más grande, cuanto más resistentes a la degradación biológica sean los materiales orgánicos existentes.

- *Oxígeno disuelto (OD)*

El oxígeno es esencial para las diferentes formas de vida acuática y tiene influencia en la mayoría de los procesos químicos y biológicos que ocurren dentro de un cuerpo de agua. La concentración de OD en el agua varía de acuerdo con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética de algas y plantas y la presión atmosférica. Vertimientos de aguas residuales ricos en materia orgánica y nutrientes traen consigo una disminución del OD, debido al incremento de la actividad microbial, vía respiración, que ocurre en la degradación de la materia orgánica.

En los desechos líquidos el oxígeno disuelto es el factor que determina si los cambios biológicos son efectuados por organismos aeróbicos o anaeróbicos. Los primeros usan el oxígeno para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica y originan productos finales inocuos, mientras que los últimos efectúan tales oxidaciones a través de la reducción de ciertas sales inorgánicas y los productos finales son a menudo perjudiciales.

La concentración de oxígeno en el agua es vital, tanto para organismos animales como para los vegetales. Influye particularmente en el metabolismo de los microorganismos

(bacterias) que causan la descomposición de los contaminantes en el agua. Dicha descomposición aerobia de los contaminantes en el agua consume oxígeno y una reducción de la concentración normal de oxígeno es, pues, un indicador de contaminación o presencia de sustancias consumidoras de oxígeno.

La cantidad de oxígeno disuelto es un factor importante para determinar el tipo de organismos que viven en el agua, puesto que algunos necesitan elevadas concentraciones de oxígeno disuelto para sobrevivir, mientras que otros son más tolerantes a concentraciones fluctuantes o bajas. La reducción en las cantidades de oxígeno disuelto, además de afectar directamente la respiración de organismos acuáticos, puede incrementar la toxicidad de agentes venenosos, como sales de cobre, zinc, plomo y fenoles, que son muy frecuentes en aguas residuales industriales.

La Tabla 9.1 muestra el rango admisible en algunos parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos para calidad de agua.

Tabla 9.1 Marco legal para el análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos (Colombia).

Parámetro	Unidad	Norma	Rango Admisible	Uso del recurso
pH	Unidades	Ac. 14 de la CVC/1976	6-9	Diversos Usos
Temperatura	°C	Ac. 14 de la CVC/1976	≤ 30	
Oxígeno disuelto	mg/l	Ac. 14 de la CVC/1976	> 4	
DBO	mg/l	RAS/1998	≤ 6	
DQO	mg/l	RAS/1998	≤ 6	
Color	(UPC)	RAS/1998	≤ 75	
Turbiedad	(UNT)	RAS/1998	≤ 150	
Sólidos Totales	mg/l	Dec.475/1998	≤ 1000	Tratabilidad Convencional para Agua Potable
Dureza	mg/l	Dec.475/1998	≤ 160	
Nitratos	mg/l	Dec.475/1998	≤ 10	
Nitritos	mg/l	Dec.475/1998	≤ 1	
Sulfatos	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 400	
Cadmio	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 0,01	Agrícola
Níquel	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 0,2	
Plomo	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 5,0	
Zinc	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 2,0	
Cobre	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 0,2	
Cromo	mg/l	Ac. 14 de la CVC/1976	≤ 0,05	Diversos Usos
Cloruros	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 250	Agrícola
Hierro	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 5	
Manganeso	mg/l	Dec.1594/1984	≤ 0,2	
Coliformes Totales	NMP/100 ml	Dec.1594/1984	≤ 4000	Tratabilidad Convencional para Agua Potable
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Dec.1594/1984	≤ 2000	

Fuente : RAS: Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento.

9.1 Estadísticas descriptivas

Se muestran a continuación las estadísticas descriptivas para los parámetros demanda bioquímica de oxígeno y oxígeno disuelto, analizados en las diferentes estaciones monitoreadas del río Cauca, en el Valle del Cauca.

• Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

En la siguiente tabla se observan estadísticas descriptivas para la variable demanda bioquímica de oxígeno (DBO), en las estaciones monitoreadas del río Cauca en el Valle del Cauca.

Tabla de estadísticas descriptivas para demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Estadístico Estación	Medidas de tendencia central						Medidas de dispersión			
	Mínimo (mg/l)	Media (mg/l)	Máximo (mg/l)	Moda (mg/l)	Mediana (mg/l)	Media Geométrica (mg/l)	Rango (mg/l)	Varianza (mg/l) ²	Desviación Estándar (mg/l)	Coef. de Variación (%)
1. A. Suárez	0,10	1,88	7,80	0,60	1,40	1,38	7,70	2,28	1,51	80,5%
2. A. Ovejas	0,10	1,51	7,00	1,20	1,20	1,11	6,90	1,39	1,18	78,2%
3. A. Timba	0,10	1,46	4,70	0,70	1,15	1,19	4,60	0,83	0,91	62,4%
4. P. Balsa	0,20	1,55	4,80	0,90	1,30	1,25	4,60	1,04	1,02	65,7%
5. P. Bolsa	0,10	1,94	5,30	1,90	1,90	1,49	5,20	1,54	1,24	63,8%
6. Hormiguero	0,20	2,18	6,30	2,50	2,00	1,78	6,10	1,64	1,28	58,7%
7. A. Navarro	0,60	2,64	13,50	2,10	2,30	2,27	12,90	3,23	1,80	68,1%
8. Juanchito	0,30	2,48	5,70	2,20	2,25	2,20	5,40	1,32	1,15	46,2%
9. P. Comercio	0,60	4,61	18,40	4,20	3,80	3,93	17,80	8,76	2,96	64,2%
10. Pto. Isaacs	1,30	4,44	16,70	2,80	3,72	3,96	15,40	6,29	2,51	56,6%
11. P. La Torre	0,77	5,05	14,80	3,00	4,48	4,43	14,03	7,42	2,72	53,9%
12. Vijos	0,86	6,40	18,50	5,30	5,15	5,33	17,64	16,64	4,08	63,7%
13. Yotoco	0,80	5,08	16,50	2,80	4,10	4,15	15,70	11,58	3,40	66,9%
14. Mediacañoa	1,20	4,77	13,20	2,00	3,95	4,04	12,00	8,23	2,87	60,1%
15. Pte. Riofrío	0,68	4,79	14,60	1,90	3,80	3,75	13,92	11,42	3,38	70,5%
16. Pte. Guayabal	0,85	4,16	13,20	3,80	3,71	3,45	12,35	7,10	2,66	64,0%
17. La Victoria	0,50	3,53	11,60	2,50	3,05	2,99	11,10	4,56	2,14	60,4%
18. Anacaro	0,70	3,85	13,90	1,80	2,64	3,06	13,20	8,10	2,85	74,0%
19. Pte. Virginia	1,12	3,36	10,80	2,40	2,60	2,94	9,68	4,07	2,02	60,0%

Considerando el marco legal para el análisis de parámetros físico-químicos y bacteriológicos, se observa que en el valor medio de DBO las estaciones monitoreadas cumplen la norma admisible, menor que 6 mg/l, excepto la estación Vijes donde el valor medio es de 6,4 mg/l. Sin embargo, en los valores máximos todas las estaciones superan el valor admisible de DBO, excepto las estaciones: Antes Suárez, Paso de la Balsa, Paso de la Bolsa y Juanchito. Los valores más críticos se dan en el tramo Paso del Comercio a la estación Yotoco. Así mismo, en este tramo se observa la mayor variación del conjunto de datos, evidenciándose esta situación con las medidas de dispersión; rango y desviación estándar.

El coeficiente de variación es un indicador de la relación relativa entre la desviación estándar y la media y permite analizar en forma porcentual la relación entre estas dos medidas. Analizando el coeficiente de variación para la DBO se puede observar que este valor es alto en cada una de las estaciones evaluadas, con un valor mínimo de 46,2% en la estación Juanchito y valor máximo de 80,5% en la estación Antes Suárez. Las estaciones con mayores valores en el coeficiente de variación son: Antes Suárez y Antes Ovejas, con valores de 80,5% y 78,2%, respectivamente.

• *Oxígeno disuelto (OD)*

En la tabla de estadísticas descriptivas para la variable oxígeno disuelto (OD), en las estaciones monitoreadas, se puede evidenciar que considerando un valor admisible de oxígeno disuelto mayor a 4 mg/l, para diversos usos, se da que el río Cauca en su paso por el Valle del Cauca cumple este criterio en el valor medio hasta la estación Puente del Comercio.

A partir de la estación Puente del Comercio los valores medios de oxígeno disuelto disminuyen considerablemente, encontrándose valores de 1,51 mg/l en la estación de Yotoco y de 1,65 mg/l en la estación Media Canoa. Así mismo y de forma dramática, los valores mínimos en las estaciones evaluadas no superan la norma admisible (>4 mg/l), alcanzándose valores mínimos entre 0,1 mg/l y 0,2 mg/l, en el tramo Paso de la Torre a Mediacanoa.

En cuanto a variación, en el tramo Antes Timba a Paso del Comercio, se encuentran coeficientes menores al 30%, es decir, los datos varían relativamente poco en relación con el valor de la media, mientras en el tramo Paso de la Torre a Mediacanoa se dan coeficientes de variación en el rango de 54% a 70%, indicando una gran dispersión del conjunto de datos, respecto al valor medio de oxígeno disuelto.

Tabla de estadísticas descriptivas para oxígeno disuelto (OD)

Estadístico Estación	Medidas de tendencia central						Medidas de dispersión			
	Mínimo (mg/l)	Media (mg/l)	Máximo (mg/l)	Moda (mg/l)	Mediana (mg/l)	Media Geométrica (mg/l)	Rango (mg/l)	Varianza (mg/l) ²	Desviación Estándar (mg/l)	Coef. de Variación (%)
1. A. Suárez	0,70	4,64	8,00	4,80	4,70	4,20	7,30	3,19	1,79	38%
2. A. Ovejas	0,90	5,09	8,00	6,20	5,30	4,74	7,10	2,57	1,60	32%
3. A. Timba	0,70	6,23	7,91	7,20	6,45	5,92	7,21	1,80	1,34	22%
4. P. Balsa	1,60	6,28	8,00	7,20	6,60	6,11	6,40	1,43	1,19	19%
5. P. Bolsa	0,40	5,95	7,27	6,40	6,30	5,71	6,87	1,38	1,17	20%
6. Horniguero	1,60	5,76	7,80	6,10	5,96	5,60	6,20	1,19	1,09	19%
7. A. Navarro	0,80	5,52	7,50	5,90	5,90	5,31	6,70	1,38	1,17	21%
8. Juanchito	3,10	5,19	8,20	5,30	5,30	5,12	5,10	0,76	0,87	17%
9. P. Comercio	1,20	4,50	8,10	4,20	4,60	4,30	6,90	1,47	1,21	27%
10. Pto. Isaacs	0,50	3,55	5,80	3,00	3,70	3,26	5,30	1,55	1,24	35%
11. P. La Torre	0,10	2,14	6,30	0,20	2,12	1,49	6,20	2,14	1,46	69%
12. Vijos	0,20	1,71	4,60	0,70	1,60	1,29	4,40	1,44	1,20	70%
13. Yotoco	0,20	1,51	4,30	1,20	1,35	1,22	4,10	0,92	0,96	64%
14. Mediacanoa	0,10	1,65	4,10	1,30	1,50	1,39	4,00	0,81	0,90	54%
15. Pte. Riofrío	0,60	2,21	4,30	2,10	2,15	2,05	3,70	0,67	0,82	37%
16. Pte. Guayabal	0,30	2,40	4,60	2,40	2,40	2,23	4,30	0,66	0,81	34%
17. La Victoria	0,70	2,75	5,00	3,10	2,80	2,65	4,30	0,49	0,70	25%
18. Anacaro	1,20	2,92	6,40	3,20	2,85	2,84	5,20	0,51	0,71	24%
19. Pte. Virginia	2,20	3,55	6,00	3,80	3,60	3,48	3,80	0,49	0,70	20%

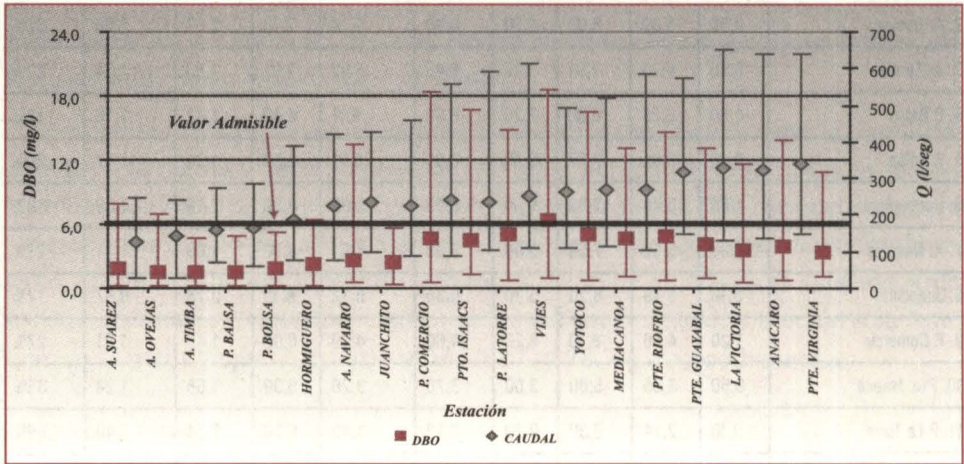
9.2 Presentación gráfica

En este ítem se observan diversos tipos de gráficas que permiten analizar la tendencia de la demanda bioquímica de oxígeno y oxígeno disuelto. Se analizan gráficas de valores máximos, mínimos, medios y gráficas de series de tiempo a través de los años y meses.

• Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

A través de la gráfica de valores mínimos, máximos y media se puede evidenciar que las estaciones monitoreadas cumplen con el valor admisible de 6 mg/l en los valores

mínimos y medios de DBO, excepto en la estación Vijos. Sin embargo, los valores máximos superan el valor admisible en los siguientes tramos: Antes Suárez a Antes Ovejas, Hormiguero a Antes Navarro, Paso del Comercio a Puente La Virginia, es decir, cerca del 85% de las estaciones evaluadas no cumplen la norma de DBO en los valores máximos, aunque el 95% sí la cumple en el valor medio.



Gráfica de mínimos, máximos y valores medios para demanda bioquímica de oxígeno

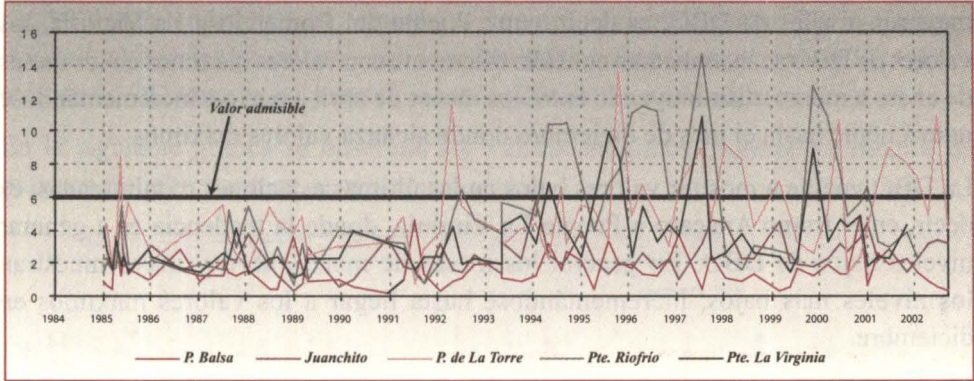
Los valores más elevados de DBO se encuentran en las estaciones Paso del Comercio y Vijos, con valores superiores a 18 mg/l, los valores máximos por debajo de 6 mg/l se dan en el tramo Antes Timba a Paso de la Bolsa, y la estación Juanchito, y en estas estaciones es donde se cumple con el valor admisible de DBO, en los valores mínimos, medio y los valores máximos.

La tendencia general de DBO es tener valores bajos hasta la estación Hormiguero, y a partir de ahí se inicia un ascenso de los valores máximos hasta la estación Yotoco, luego bajan los niveles hasta Puente La Virginia, pero sin alcanzar los valores admisibles.

En la gráfica no se evidencia una relación directa entre los niveles de caudal y los valores de DBO en las estaciones evaluadas, pues los niveles de caudal medio tienden a aumentar a través de las estaciones, no siendo esta la tendencia del valor medio o el valor máximo de la DBO.

A continuación se observa la gráfica de series de tiempo para la DBO, desde el año 1984 al año 2002, en cinco estaciones monitoreadas sobre el río Cauca, donde se evidencia que las estaciones Paso de la Balsa y Juanchito tienen, a través de los años, valores menores al valor admisible.

La estación Punte La Virginia evidencia hasta el año 1994 valores por debajo de la norma y valores superiores al valor admisible en 1994, 1995, 1997 y 2000.

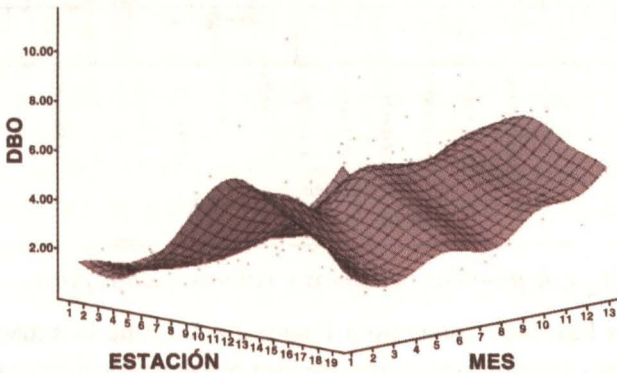


Gráfica de series de tiempo para DBO en estaciones sobre el río Cauca

La estación Punte Riofrío tiene valores menores al valor admisible hasta el año 1994, a partir de esta fecha tienden a incrementar los valores, alcanzando máximos superiores a 14 mg/l en 1997 y superiores a 12 mg/l en 2001. En 1998 y 1999 bajan los niveles.

La estación Paso de la Torre tiene un comportamiento estable, con valores menores al valor admisible, hasta 1995, excepto en 1985 y 1992. En el período 1996 a 2002 se observan valores superiores al valor admisible.

La siguiente gráfica muestra la relación espacio-temporal de la variable DBO, donde se relacionan las estaciones (numeradas), los meses del año (numerados) y los valores de DBO.



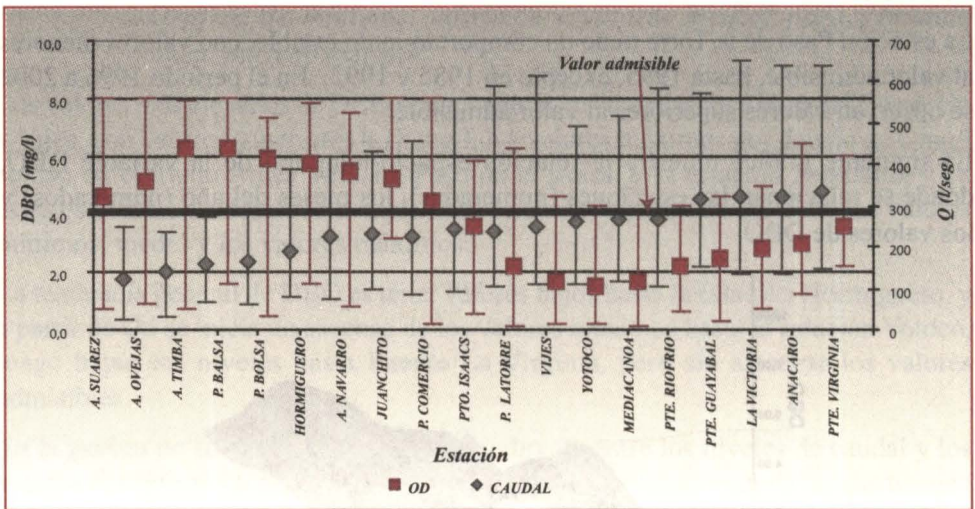
Gráfica espacio-temporal para demanda bioquímica de oxígeno

Se puede evidenciar que en las primeras estaciones, desde Antes Suárez hasta Juanchito, los valores de DBO son menores al valor admisible de 6 mg/l, en cada uno de los meses del año. Sin embargo, en las estaciones centrales se observan los mayores niveles de DBO, es decir, entre Puente del Comercio y La Victoria, los valores de DBO se incrementan considerablemente con valores máximos en los meses de enero a marzo, disminuyendo entre los meses de abril a mayo e incrementándose nuevamente hasta el mes de diciembre donde alcanza valores máximos.

La DBO vuelve a mostrar valores bajos en las últimas estaciones monitoreadas, es decir, en el tramo Anacaro a Puente La Virginia, donde la tendencia es a generar niveles bajos de DBO. En general los meses de marzo, abril y mayo muestran los niveles más bajos, incrementándose hasta llegar a los valores máximos en diciembre.

• *Oxígeno disuelto (OD)*

En la gráfica de valores mínimos, máximos y media se puede evidenciar que en el primer tramo de monitoreo del río, desde Antes Suárez a Paso del Comercio, el valor medio de OD cumple con el valor admisible, pero en este tramo el valor mínimo no cumple con el valor deseado de OD.

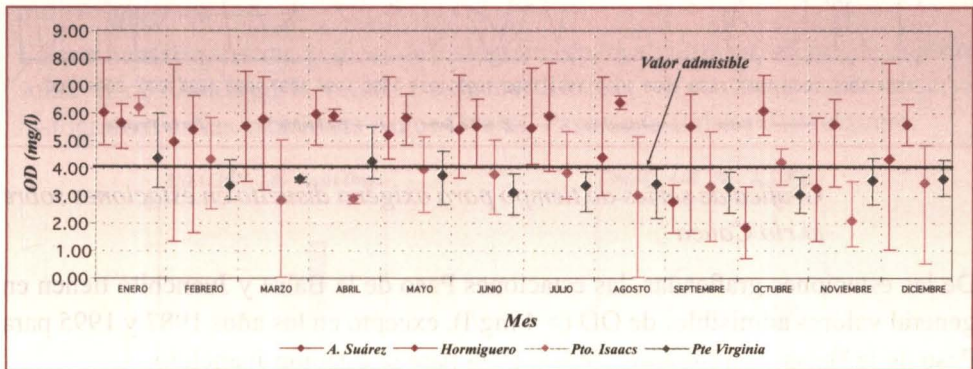


Gráfica de mínimos, máximos y valores medios para oxígeno disuelto

Entre la estación Paso del Comercio a Puente La Virginia la situación del río se vuelve crítica, pues el valor medio siempre está por debajo del valor deseable y sus valores mínimos también están en esta condición, siendo el tramo más crítico desde Paso de La Torre a Puente Guayabal.

Gráficamente se evidencia una relación inversa entre los niveles medios de OD y los valores medios de caudal, pues en el tramo Antes Suárez a Puente del Comercio los valores medios de OD tienen tendencia hacia valores bajos y los valores medios de caudal tienen tendencia a incrementarse, mientras que en el tramo Puerto Isaacs a Puente La Virginias los valores medios de caudal tienden a incrementarse y los valores medios de OD muestran fluctuación con tendencia a tomar valores mínimos.

En la siguiente gráfica se observan los valores máximos, mínimos y medios de oxígeno disuelto por mes en cuatro estaciones.



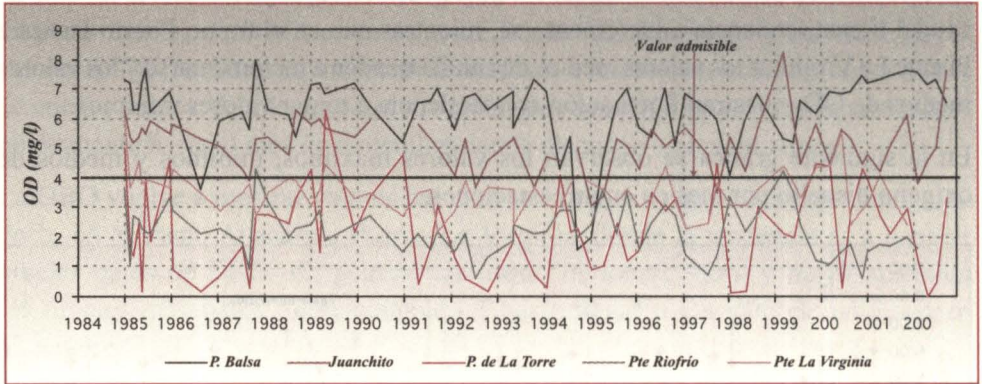
Gráfica de valores mínimos, máximos y medios mensuales para oxígeno disuelto

En la estación Antes Suárez los valores medios de OD cumplen la norma admisible, pero solo hasta agosto, incluyendo diciembre, y de septiembre a noviembre el valor medio está por debajo de 4 mg/l. Sin embargo, en los valores mínimos esta estación tiene valores admisibles sólo en enero, abril y julio.

En la estación Hormiguero en general se cumple con la norma admisible de OD, en los valores medios, máximos y mínimos, excepto en los valores mínimos en febrero, marzo, septiembre y noviembre, mientras en la estación Puerto Isaacs se observa que sólo en enero se cumplen con los valores deseados de oxígeno disuelto (> 4 mg/l), tanto en el valor medio como en los valores máximos y mínimos. En los otros meses los valores medios en general son menores a 4 mg/l con valores demasiado bajos, menores a 1 mg/l, en marzo y agosto.

En la estación Puente La Virginia los meses donde se observan valores medios deseados de oxígeno disuelto son enero y abril; en el resto de meses los valores medios y mínimos son menores a 4 mg/l. En enero, febrero, abril, mayo, noviembre y diciembre los valores máximos son menores a 4 mg/l, considerándose esto como una situación crítica.

La siguiente gráfica muestra la serie de tiempo para oxígeno disuelto desde el año 1984 al año 2002 en cinco estaciones monitoreadas sobre el río Cauca.

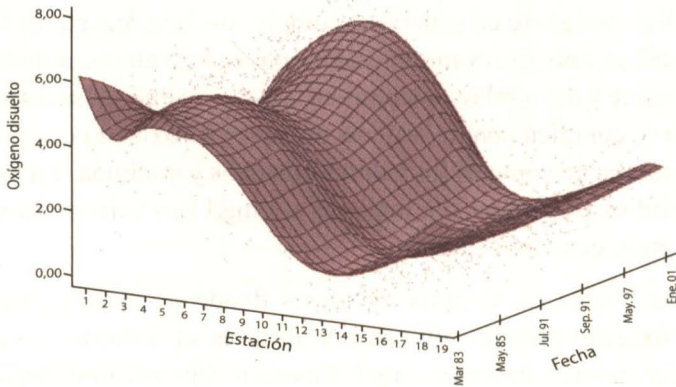


Gráfica de series de tiempo para oxígeno disuelto en estaciones sobre el río Cauca

De las estaciones graficadas, las estaciones Paso de la Balsa y Juanchito tienen en general valores admisibles de OD (> 4 mg/l), excepto en los años 1987 y 1995 para Paso de la Balsa y en los años 1996 y 1998 para la estación Juanchito.

Las estaciones Paso de la Torre, Puente Riofrío y Puente La Virginia en general muestran valores por debajo del valor admisible de OD, excepto en 1989 y 1991 para la estación Paso de la Torre y en 1985, 1989 y 2000 para Puente la Virginia.

La siguiente gráfica muestra la relación espacio-temporal de la variable OD, donde se relacionan las estaciones (numeradas), los meses del año (numerados) y los valores de OD.



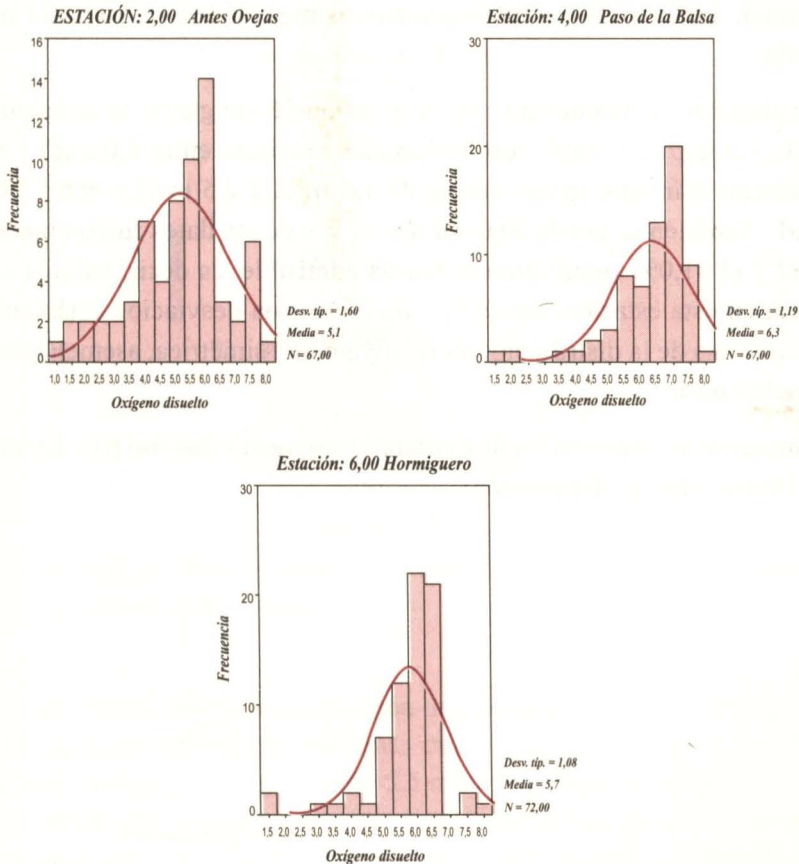
Gráfica espacio-temporal para oxígeno disuelto

Se puede evidenciar que en las primeras estaciones, desde Antes Suárez hasta Juanchito, los valores de OD son mayores al valor admisible de 4 mg/l, en cada uno de los meses del año. Sin embargo, en las estaciones centrales se observan los menores niveles de OD; entre Puente del Comercio y La Victoria los valores de OD disminuyeron considerablemente, con valores mínimos en los meses de enero a marzo.

La OD vuelve a generar valores altos en las últimas estaciones monitoreadas, es decir, en el tramo Anacaro a Puente La Virginia, donde la tendencia es a evidenciar niveles altos de OD.

9.3 Histogramas

En este ítem se muestran gráficas de histogramas para algunas estaciones de muestreo sobre el río Cauca en la variable oxígeno disuelto. A continuación se observan histogramas en las estaciones Antes Ovejas, Paso de la Balsa y Hormiguero.



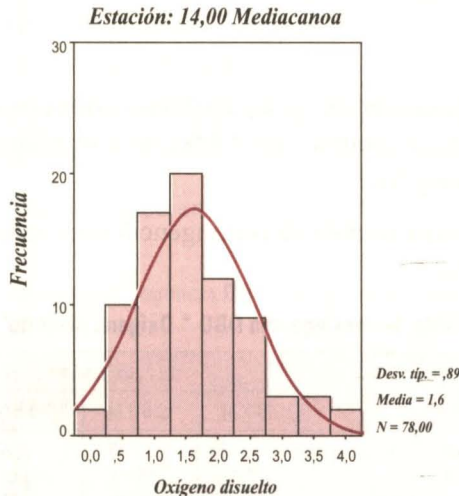
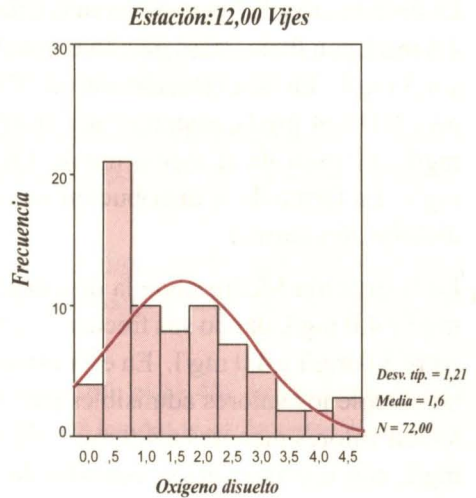
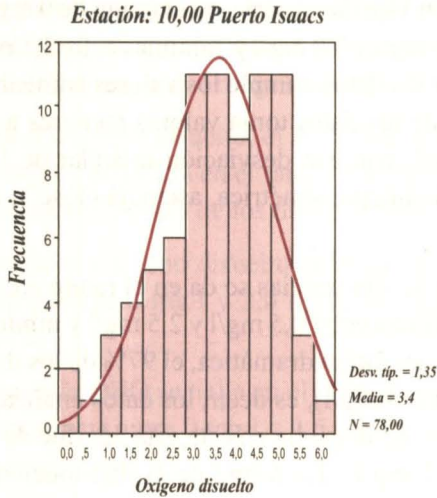
Gráfica de histogramas en estaciones de monitoreo sobre el río Cauca para oxígeno disuelto.

La distribución de frecuencias en la estación Antes Ovejas, para OD, se encuentra en el rango de 1 mg/l a 8 mg/l, evidenciando sus frecuencias máximas entre 5,0 mg/l y 6,0 mg/l y mínimas en datos menores a 3,0 mg/l. También se puede analizar que el 28,3% de los datos fueron menores a 4,0 mg/l y el 71,6% cumplieron la norma admisible, es decir, valores > 4 mg/l. La media en esta estación fue de 5,1 mg/l, con una desviación estándar de 1,6 mg/l. La forma de la distribución se asemeja a la curva normal.

En la estación Paso de la Balsa se observa la distribución de frecuencias en el rango de 1,5 mg/l a 8,0 mg/l, con frecuencias máximas entre 6,5 mg/l y 7,5 mg/l y mínimas entre 1,5 mg/l y 5,0 mg/l, obteniéndose que el 6% de los datos toman valores menores que 4,0 mg/l y el 94% cumple el valor admisible ($> 4,0$ mg/l). La media en esta estación fue de 6,3 mg/l, con una desviación estándar de 1,2 mg/l. La forma de la distribución es asimétrica con sesgo hacia la margen izquierda.

La distribución de frecuencias en la estación Hormiguero se encuentra en el rango de 1,5 mg/l a 8 mg/l, con frecuencias máximas entre 6,0 mg/l y 6,5 mg/l y frecuencias mínimas en los rangos de 1,5 mg/l a 4,5 mg/l y entre 7,0 mg/l y 8,0 mg/l. También se puede analizar que el 9% de los datos fueron menores que 4,0 mg/l y el 91,0% cumplieron la norma admisible, es decir, valores > 4 mg/l. La media en esta estación fue de 5,7 mg/l, con una desviación estándar de 1,08 mg/l. La forma de la distribución es relativamente simétrica, asemejándose a una distribución normal.

A continuación se muestran los histogramas en oxígeno disuelto para las estaciones Puerto Isaacs, Vijes y Mediacanoa.



Gráfica de histogramas en estaciones de monitoreo sobre el río Cauca para oxígeno disuelto

En la estación Puerto Isaacs la distribución de frecuencias se da en el rango entre 0 mg/l y 6,0 mg/l, con frecuencias máximas entre 3,0 mg/l y 5,0 mg/l y frecuencias mínimas entre 0 mg/l y 1,5 mg/l y entre 5,5 mg/l y 6,0 mg/l. También se evidencia que el 45% de los datos, en esta estación, cumple los valores admisibles para OD (>4 mg/l), mientras que el 55% de los datos toma valores menores a 4,0 mg/l. El valor de la media en esta estación fue de 3,4 mg/l y la desviación estándar de 1,4 mg/l. La forma de la distribución puede considerarse cercana a una curva normal.

La distribución de frecuencias en la estación Vijes se observa en el rango de 0 mg/l a 4,5 mg/l, con frecuencias máximas entre 0,5 mg/l y 3,0 mg/l y mínimas entre 3,5 mg/l y 4,5 mg/l. En esta estación sólo el 7% de los datos cumple los valores admisibles para OD (>4 mg/l), mientras que el 97% de los datos toma valores menores a 4,0 mg/l. El valor de la media fue de 1,6 mg/l, con una desviación estándar de 1,21 mg/l. La forma de la distribución es relativamente simétrica, asemejándose a una distribución normal.

En la estación Mediacaño la distribución de frecuencias se da en el rango entre 0 mg/l y 4,0 mg/l, dando sus frecuencias máximas entre 0,5 mg/l y 2,5 mg/l y mínimas entre 3,0 mg/l y 4,0 mg/l. En esta estación, en forma dramática, el 97% de los datos no cumple los valores admisibles para OD (>4 mg/l), es decir, los datos analizados toman valores menores a 4,0 mg/l. El valor de la media en esta estación fue de 1,6 mg/l, con una desviación estándar de 1,21 mg/l. La forma de la distribución es relativamente simétrica y se asemeja a la curva normal.

9.4 Tablas cruzadas

Considerando rangos de calidad de agua para oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, se muestran a continuación tablas de contingencia para las estaciones Antes Suárez, Juanchito y Vijes.

A continuación se observa la tabla de contingencia entre rangos de DBO y OD, en la estación Antes Suárez.

Tabla de contingencia DBO * Oxígeno disuelto^a

			Oxígeno disuelto				Total
			[0-2.5]	(2.5-3.5]	(3.5-5.5]	5.5-8.0]	
DBO	(0-2.0]	Recuento	5	8	17	14	44
		% de DBO	11,4%	18,2%	38,6%	31,8%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	62,5%	80,0%	70,8%	66,7%	69,8%
	(2.0-3.0]	Recuento	1	2	2	5	10
		% de DBO	10,0%	20,0%	20,0%	50,0%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	12,5%	20,0%	8,3%	23,8%	15,9%
	(3.0-5.0]	Recuento	2	0	3	0	5
		% de DBO	40,0%	,0%	60,0%	,0%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	25,0%	,0%	12,5%	,0%	7,9%
> 5.0		Recuento	0	0	2	2	4
		% de DBO	,0%	,0%	50,0%	50,0%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	,0%	,0%	8,3%	9,5%	6,3%
Total		Recuento	8	10	24	21	63
		% de DBO	12,7%	15,9%	38,1%	33,3%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

a. Estación - Antes Suárez

En esta estación se puede apreciar que el 69,8% de los datos de DBO se encuentran en el rango 0 mg/l a 2,0 mg/l y el 15,9% se dan en el rango de 2,0 mg/l a 3,0 mg/l, es decir, en estos dos rangos se halla el 85,7% de los datos de DBO.

Para el oxígeno disuelto, el 33,3% de los datos se encuentra en el rango 5,5 mg/l a 8,0 mg/l y el 38,1% en el rango 3,5 mg/l a 5,5 mg/l, es decir, en estos dos rangos se encuentra el 71,4% de los datos de OD.

Cuando el oxígeno disuelto se encuentra entre 5,5 mg/l y 8,0 mg/l; la DBO toma valores entre 0 mg/l y 2,0 mg/l; el 66,7% de las veces y entre 2,0 y 3,0 mg/l el 23,8%.

Cuando la DBO se halla en el rango 0 mg/l a 2,0 mg/l; el 11,4% de los datos de OD se encuentra entre 0 mg/l y 2,5 mg/l y el 18,2% de los datos se da entre 2,5 mg/l y 3,5 mg/l.

Del total de datos analizados, el 22% se hallan entre 5,5 mg/l a 8,0 mg/l de OD y entre 0 mg/l y 2,0 mg/l de DBO, simultáneamente. El 27% de los datos se encuentra entre 3,5 mg/l y 5,5 mg/l de OD y entre 0 mg/l y 2,0 mg/l de DBO, simultáneamente.

En esta tabla se puede evidenciar que valores menores de DBO están asociados a valores altos de OD, valores altos de DBO repercuten en una disminución de la OD.

La siguiente tabla muestra el cruce entre oxígeno disuelto y DBO, en la estación Juanchito.

Tabla de contingencia DBO * Oxígeno disuelto^a

			Oxígeno disuelto			Total
			(2.5-3.5]	(3.5-5.5]	(5.5-8.0]	
DBO	[0-2.0]	Recuento	0	20	11	31
		% de DBO	,0%	64,5%	35,5%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	,0%	39,2%	44,0%	39,2%
	(2.0-3.0]	Recuento	1	17	6	24
		% de DBO	4,2%	70,8%	25,0%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	33,3%	33,3%	24,0%	30,4%
	(3.0-5.0]	Recuento	2	13	8	23
		% de DBO	8,7%	56,5%	34,8%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	66,7%	25,5%	32,0%	29,1%
	> 5.0	Recuento	0	1	0	1
		% de DBO	,0%	100,0%	,0%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	,0%	2,0%	,0%	1,3%
Total	Recuento	3	51	25	79	
	% de DBO	3,8%	64,6%	31,6%	100,0%	
	% de Oxígeno disuelto	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	

a. Estación = Juanchito

En esta estación, el 39,2% de los datos de DBO se encuentra en el rango de 0 mg/l a 2,0 mg/l, el 30,4% en el rango de 2,0 mg/l y 3,0 mg/l y el 29,1% entre 3,0 mg/l y 5,0 mg/l, es decir, en estos tres intervalos se da el 98,7% de los datos de DBO.

Para el OD, el 31,6% de los datos se da en el rango 5,5 mg/l y 8,0 mg/l y el 64,6% entre 3,5 mg/l a 5,5 mg/l, es decir, en estos dos rangos se halla el 96,2% de los datos de OD.

Cuando el OD se encuentra entre 3,5 mg/l y 5,5 mg/l; el 39,2% de los datos de DBO se halla entre 0 mg/l a 2,0 mg/l; el 33,3% entre 2,0 mg/l a 3,0 mg/l y el 25,5% entre 3,0 mg/l a 5,0 mg/l.

Cuando la DBO se da entre 3,0 mg/l y 5,0 mg/l; el OD se halla entre 2,5 mg/l y 3,5 mg/l el 8,7% de las veces; el 56,5% se da entre 3,5 mg/l y 5,5 mg/l y el 34,8% entre 5,5 mg/l y 8,0 mg/l de OD.

Del total de datos analizados, el 25,3% de los datos está entre 3,5 mg/l y 5,5 mg/l de OD y entre 0 mg/l a 2,0 mg/l de DBO, simultáneamente. El 16,5% de los datos se da entre 3,5 mg/l y 5,5 mg/l de OD y entre 3,0 mg/l y 5,0 mg/l de DBO, simultáneamente.

A continuación se muestra la tabla de contingencia entre rangos de DBO y oxígeno disuelto, en la estación Vijes.

Tabla de contingencia DBO * Oxígeno disuelto^a

		Oxígeno disuelto			Total	
		[0-2.5]	(2.5-3.5]	(3.5-5.5]		
DBO	[0-2.0]	Recuento	2	1	0	3
		% de DBO	66,7%	33,3%	,0%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	3,6%	10,0%	,0%	4,2%
(2.0-3.0)		Recuento	5	2	3	10
		% de DBO	50,0%	20,0%	30,0%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	9,1%	20,0%	42,9%	13,9%
(3.0-5.0%]		Recuento	11	5	2	18
		% de DBO	61,1%	27,8%	11,1%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	20,0%	50,0%	28,6%	25,0%
> 5.0		Recuento	37	2	2	41
		% de DBO	90,2%	4,9%	4,9%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	67,3%	20,0%	28,6%	56,9%
Total		Recuento	55	10	7	72
		% de DBO	76,4%	13,9%	9,7%	100,0%
		% de Oxígeno disuelto	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

a. Estación - Vijes

En esta estación el 4,2% de los datos de DBO se dan entre 0 mg/l y 2,0 mg/l, el 13,9% entre 2,0 mg/l y 3,0 mg/l y el 25,0% entre 3,0 mg/l y 5,0 mg/l, es decir, en estos tres intervalos se halla el 43,1% de los datos de DBO.

En OD, el 76,4% de los datos se encuentra en el rango 0 mg/l a 2,5 mg/l, el 13,9% entre 2,5 mg/l y 3,5 mg/l y el 9,7% entre 3,5 mg/l y 5,5 mg/l.

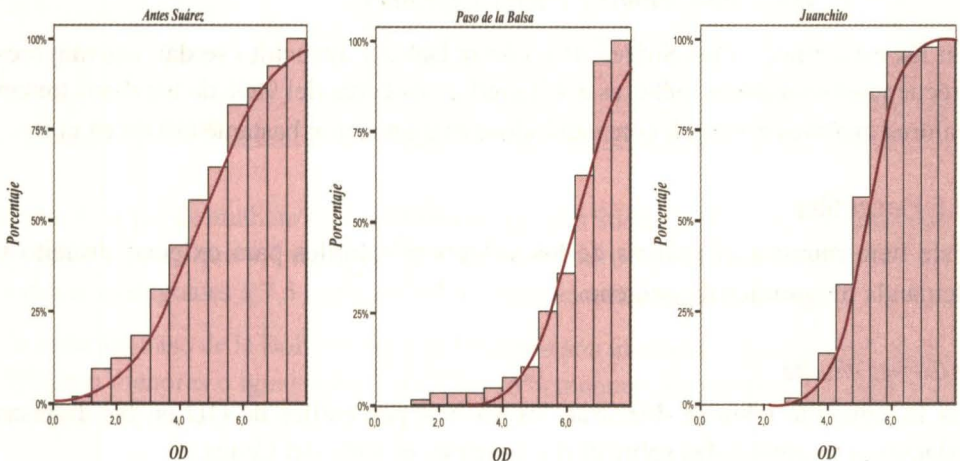
Cuando el OD se halla entre 2,5 mg/l y 3,5 mg/l; el 10% de los datos de DBO está en el rango de 0 mg/l a 2,0 mg/l; el 20% entre 2,0 mg/l y 3,0 mg/l y el 50% entre 3,0 mg/l a 5,0 mg/l.

Cuando la DBO se da entre 3,0 mg/l y 5,0 mg/l; el OD se halla entre 0 mg/l y 2,5 mg/l el 61,1% de las veces; entre 2,5 mg/l y 3,5 mg/l el 27,8% y el 11,1% entre 3,5 y 5,5 mg/l de OD.

Del total de datos analizados, el 51,4 % de los datos se da entre 0 mg/l y 2,5 mg/l de OD y $> 5,0$ mg/l de DBO, simultáneamente. El 15,3% de los datos se ubica entre 0 mg/l y 2,5 mg/l de OD y entre 3,0 mg/l y 5,0 mg/l de DBO, simultáneamente.

9.5 Frecuencias acumuladas

A continuación se observan las gráficas de frecuencias acumuladas para oxígeno disuelto en las estaciones Antes Suárez, Paso de la Balsa y Juanchito.

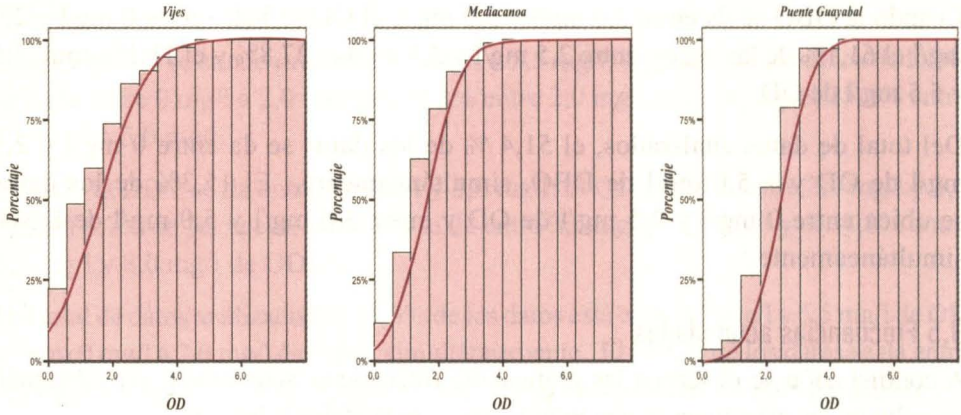


Gráfica de frecuencias acumuladas en oxígeno disuelto, en las estaciones Antes Suárez, Paso de la Balsa y Juanchito

De la gráfica se puede analizar que en la estación Antes Suárez alrededor del 43% de los datos toma valores menores a 4,0 mg/l, es decir, el 57% cumplió el valor admisible. En la estación Paso de la Balsa alrededor del 5% de los datos son menores a 4 mg/l, y el 95% de los datos cumple el valor admisible. En la estación Juanchito alrededor del 12% muestra valores menores a 4 mg/l y el 88% toma valores admisibles. Lo

anterior evidencia que en estas estaciones se tienen pocas frecuencias en datos menores o iguales a 4 mg/l, que es el estado deseable del río.

La siguiente gráfica ilustra las frecuencias acumuladas de las estaciones Vijos, Mediacanoa y Puente Guayabal.



Gráfica de frecuencias acumuladas en oxígeno disuelto en las estaciones Vijos, Mediacanoa y Puente Guayabal

En las estaciones Antes Suárez, Paso de la Balsa y Juanchito se dan sus mayores frecuencias en valores menores a 4,0 mg/l, pues cerca del 98% de los datos toman valores menores a 4 mg/l, considerándose esta situación bastante crítica en el río.

9.6 Percentiles

Este ítem muestra el análisis de los valores percentiles para oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno.

- *Oxígeno disuelto*

En la siguiente tabla se muestran los valores percentiles de OD en las diversas estaciones monitoreadas sobre el río Cauca en el Valle del Cauca.

Tabla de percentiles para oxígeno disuelto en estaciones del río Cauca

Estación	OD					
	Percentil 05	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Percentil 95	Percentil 99
Antes Suárez	1,3	3,5	4,7	5,8	7,5	8,0
Antes Ovejas	1,8	4,1	5,3	6,1	7,5	8,0
Antes Timba	4,3	6,0	6,5	7,1	7,4	7,9
Paso de la Balsa	4,1	5,7	6,6	7,1	7,6	8,0
Paso de la Bolsa	3,8	5,7	6,3	6,7	7,1	7,3
Hormiguero	3,3	5,5	6,0	6,4	6,7	7,8
Antes Navarro	1,7	5,2	5,9	6,2	6,5	7,5
Juanchito	3,7	4,7	5,3	5,7	6,3	8,0
Paso del Comercio	1,9	3,6	4,6	5,3	5,9	8,0
Puerto Isaacs	,8	2,7	3,7	4,6	5,3	5,8
Paso de la Torre	,1	,7	2,0	3,0	4,6	6,3
Vijes	,2	,6	1,4	2,4	4,0	4,6
Yotoco	,2	,8	1,3	1,8	3,5	4,3
Mediacanoa	,3	1,0	1,5	2,0	3,7	4,1
Puente Riofrío	,9	1,6	2,2	2,7	3,6	4,3
Puente Guayabal	1,0	1,8	2,4	2,8	3,6	4,6
Puente La Victoria	1,7	2,3	2,8	3,1	3,8	5,0
Anacaro	2,1	2,5	2,8	3,2	3,9	6,4
Puente La Virginia	2,4	3,1	3,6	3,9	4,5	6,0

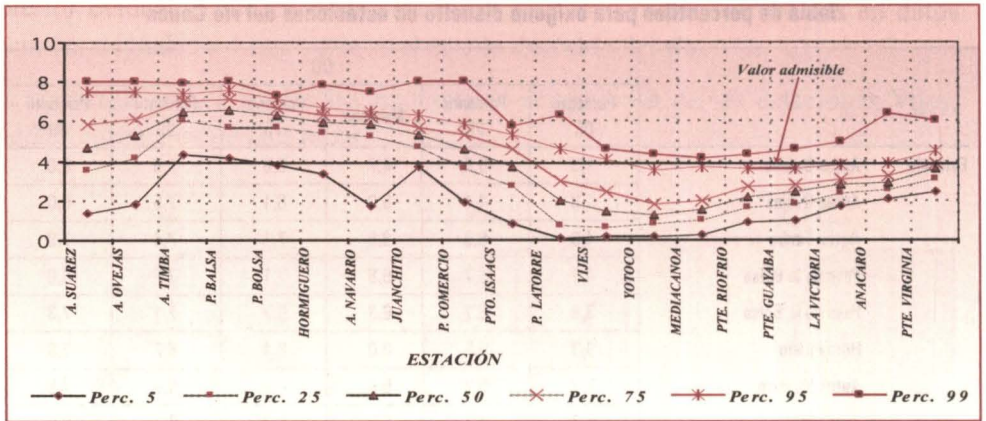
De la tabla se puede analizar que en la estación Antes Suárez el 50% de los datos son menores o iguales que 4,7 mg/l; el 75% son menores o iguales a 5,8 mg/l; el 95% son menores o iguales a 7,5 mg/l y el 99% son menores o iguales a 8 mg/l.

En la estación Paso de la Bolsa el 50% de los datos son menores o iguales a 6,3 mg/l; el 75% son menores o iguales a 6,7 mg/l; el 95% menores o iguales a 7,1 mg/l y el 99% son menores o iguales a 7,3 mg/l.

En la estación Paso de la Torre el 50% de los datos son menores o iguales a 2,0 mg/l; el 75% son menores o iguales a 3,0 mg/l; el 95% son menores o iguales a 4,6 mg/l y el 99% son menores o iguales a 6,3 mg/l.

En la estación Yotoco el 50% de los datos son menores o iguales a 1,3 mg/l; el 75% menores o iguales a 1,8 mg/l; el 95% menores o iguales a 3,5 mg/l y el 99% menores o iguales a 4,3 mg/l.

Los percentiles en forma gráfica se observan a continuación.



Gráfica de valores percentiles para oxígeno disuelto en estaciones del río Cauca

Analizando en general los valores percentiles se tiene que las estaciones con mejor reporte de datos en OD son Antes Timba y Paso de la Balsa, pues sólo el 5% (percentil 05) de sus datos son menores o iguales a 4,3 mg/l y 4,1 mg/l, respectivamente. Le siguen las estaciones Antes Ovejas y Juanchito, pues el 25% de los datos son menores a 4.1 mg/l y 4,7 mg/l, respectivamente.

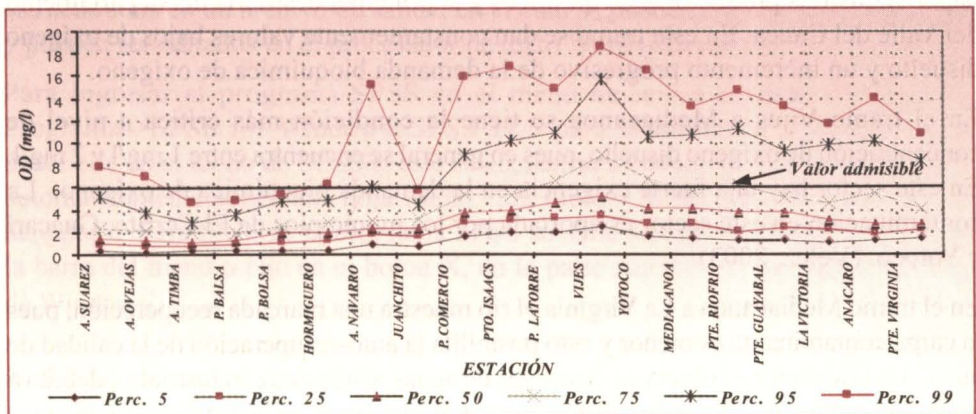
Las estaciones con valores críticos se encuentran en el tramo Vijes a Puente Guayabal, pues el 99% de los datos (percentil 99) son menores o iguales a 4,6 mg/l. Otras estaciones con datos críticos son Paso de la Torre, considerando que el 95% de los datos son menores a 4,6 mg/l y la estación Puerto Isaacs, pues el 75% de los datos son menores a 4,6 mg/l, similarmente la estación Paso del Comercio, con el 50% de los datos menores de 4,6 mg/l.

A continuación se observa la tabla de valores percentiles de DBO en las estaciones monitoreadas sobre el río Cauca. De la tabla se puede deducir que en la estación Antes Timba se observa que el 50% de los datos toman valores menores o iguales a 1,2 mg/l; el 75% son menores o iguales a 2,0 mg/l; el 95% son menores o iguales a 2,9 mg/l y el 99% datos menores o iguales a 4,7 mg/l.

Tabla de percentiles para demanda bioquímica de OD en estaciones sobre el río Cauca

		DBO					
		Percentil 05	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Percentil 95	Percentil 99
Estación	Antes Suárez	,4	,9	1,4	2,4	5,1	7,8
	Antes Ovejas	,2	,8	1,2	2,1	3,7	7,0
	Antes Timba	,3	,8	1,2	2,0	2,9	4,7
	Paso de la Balsa	,3	,9	1,3	1,9	3,6	4,8
	Paso de la Bolsa	,3	1,1	1,9	2,5	4,9	5,3
	Hormiguero	,3	1,3	2,0	2,8	4,8	6,3
	Antes Navarro	1,0	1,8	2,3	3,1	6,0	15,1
	Juanchito	,8	1,6	2,3	3,2	4,4	5,7
	Paso del Comercio	1,5	2,8	3,8	5,4	9,0	15,9
	Puerto Isaacs	1,9	3,0	3,9	5,4	10,1	16,7
	Paso de la Torre	1,9	3,2	4,6	6,6	10,9	14,8
	Vijes	2,5	3,4	5,2	9,0	15,7	18,5
	Yotoco	1,6	2,7	4,1	6,8	10,5	16,5
	Mediacaño	1,5	2,7	4,1	5,7	10,8	13,2
	Puente Riofrío	1,3	2,0	3,8	6,3	11,2	14,6
	Puente Guayabal	1,2	2,3	3,7	5,2	9,3	13,2
	Puente La Victoria	1,1	2,2	3,1	4,6	9,8	11,6
	Anacaro	1,3	1,8	2,7	5,5	10,1	13,9
	Puente La Virginia	1,5	2,2	2,6	4,2	8,4	10,8

En la estación Hormiguero el 50% de los datos son menores o iguales a 2,0 mg/l; el 75% son menores o iguales a 2,8 mg/l; el 95% menores o iguales a 4,8 mg/l y el 99% son menores o iguales a 6,3 mg/l. En la estación Vijes el 50% de los datos son menores o iguales a 5,2 mg/l; el 75% son menores o iguales a 9 mg/l; el 95% son menores o iguales a 15,7 mg/l y el 99% son menores o iguales a 18,5 mg/l. Los percentiles en forma gráfica se muestran a continuación.



Gráfica de valores percentiles para DBO en estaciones del río Cauca

Analizando en general los valores percentiles para DBO, se da que las estaciones con mejor desempeño son: Antes Timba, Paso de la Balsa, Paso de la Bolsa, Hormiguero y Juanchito, pues el 99% de los datos son menores o iguales a 4,7, 4,8, 5,3, 6,3 y 5,7 mg/l, respectivamente.

Le siguen las estaciones Antes Suárez, Antes Ovejas y Antes Navarro, debido a que el 95% de los datos son menores o iguales a 5,1, 3,7 y 6,0 mg/l, respectivamente.

Las estaciones con valores críticos en DBO son Paso de la Torre, Vijes y Yotoco, debido a que el 50% de los datos son menores a 4,6, 5,2 y 4,1 mg/l, respectivamente.

De los resultados descriptivos desarrollados en este capítulo, la presentación gráfica de los datos y consideraciones de carácter técnico se pueden generar los siguientes análisis generales:

En el tramo Antes Suárez a río Ovejas se dan aumentos leves en la concentración de oxígeno disuelto y una disminución leve de la demanda bioquímica de oxígeno; el río en este tramo inicia un proceso de recuperación, recibiendo una reaireación que es utilizada para la degradación de la materia orgánica.

En el tramo Antes río Ovejas a Hormiguero el río recibe aguas de tres ríos afluentes: río Ovejas, río Timba y río Palo, aumentando considerablemente los niveles de caudal del río Cauca, lo cual permite una estabilización de la demanda bioquímica de oxígeno y el incremento en la concentración de oxígeno disuelto, considerando que los ríos Timba y Ovejas aportan un caudal importante con altas concentraciones de oxígeno disuelto y valores bajos de demanda bioquímica de oxígeno.

En el tramo Hormiguero a Vijes se observa la mayor contaminación del río por materia orgánica, debido a que en este tramo recibe las descargas de la ciudad de Cali, Palmira y el corredor industrial Cali-Yumbo, donde se encuentra gran parte de los ingenios azucareros, la mayoría de las industrias de producción de pulpa de papel, industrias productoras de químicos y la principal destilería del departamento del Valle del Cauca. En este tramo se dan constantemente valores bajos de oxígeno disuelto y un incremento progresivo de la demanda bioquímica de oxígeno.

En el tramo Vijes a Mediacanoa se tiene la condición más crítica a nivel de concentración de oxígeno disuelto, pues en general se encuentra entre 1 mg/l y 2 mg/l. En este sector hay una fuerte exigencia en la demanda bioquímica de oxígeno. La contaminación en este sector es aportada por los municipios de El Cerrito, Guacarí y Yotoco. (Vélez, 2003).

En el tramo Mediacanoa a La Virginia el río muestra una marcada recuperación, pues la carga contaminante es menor y esto posibilita la auto-recuperación de la calidad de agua. En este sector se observan descargas de aguas residuales e industriales, debido a los ingenios, beneficiaderos de café e industrias alimenticias, así como de los municipios de Buga, Tuluá, Riofrío, Bugalagrande, Cartago y Caicedonia. (Vélez, 2003).