



**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
SENAMHI**

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y ASUNTOS AMBIENTALES

DIRECCIÓN DE PROYECTOS DE DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
ESTACIONAL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE
EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO,
2004”**



RESPONSABLES:

**JOSE SILVA COTRINA
ZARELA MONTOYA CABRERA**

DICIEMBRE 2005

LIMA, PERU

Copias te (Lima)

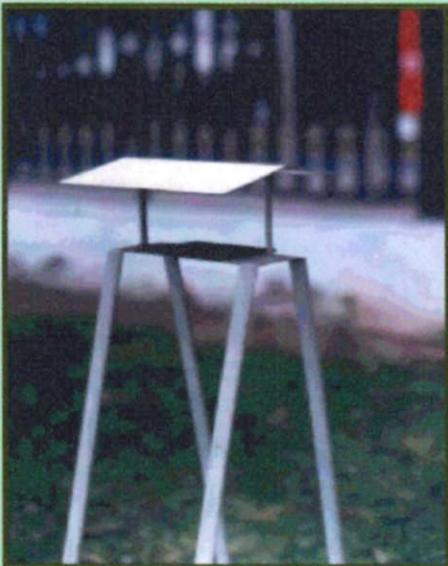


**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
SENAMHI**

DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y ASUNTOS AMBIENTALES

DIRECCIÓN DE PROYECTOS DE DESARROLLO Y MEDIO AMBIENTE

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
ESTACIONAL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE
EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO,
2004”**



**RESPONSABLES: JOSE SILVA COTRINA
ZARELA MONTOYA CABRERA**

DICIEMBRE 2005

LIMA, PERU



**SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
SENAMHI**

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
ESTACIONAL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE
EN LA ZONA METROPOLITANA DE
LIMA-CALLAO, 2004”**

**Mayor Gral. FAP JUAN OVIEDO MOTTA
Jefe del SENAMHI**

**Mayor Gral. FAP JOSÉ AMES RUÍZ
Director Técnico del SENAMHI**

**MSc. IRENE TREBEJO VARILLAS
Directora General de Investigación y Asuntos Ambientales**

**Ing. JOSÉ SILVA COTRINA
Director de Proyectos de Desarrollo y Medio Ambiente**

RESPONSABLES DE LA ELABORACIÓN

**Ing. JOSE SILVA COTRINA : Especialista en Meteorología
Bach. ZARELA MONTOYA CABRERA: Especialista Ambiental**

DICIEMBRE 2005

LIMA, PERU

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO, 2004

INDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCION	1
II.	CUENCA ATMOSFÉRICA LIMA-CALLAO	2
	2.1 Cuenca del río Chillón	2
	2.2 Cuenca del río Rimac	3
	2.3 Cuenca del río Lurín	3
III.	MARCO TEÓRICO	3
IV.	METODOLOGÍA	6
	4.1 Contaminantes Sólidos Sedimentables	6
	4.2 Contaminantes Gaseosos	7
	4.3 Información Meteorológica	7
V.	RESULTADOS	9
	5.1 Análisis del comportamiento estacional de los contaminantes atmosféricos y las condiciones meteorológicas asociadas durante el año 2004	9
	5.1.1 Análisis del comportamiento de los Contaminantes Sólidos Sedimentables (CSS)	9
	5.1.1.1 Distribución espacial-estacional	9
	a. Estación de verano (febrero)	10
	b. Estación de otoño (abril)	11
	c. Estación de invierno (agosto)	11
	d. Estación de primavera (noviembre)	12
	5.1.1.2 Distribución media anual (2004)	19
	5.1.2. Análisis del comportamiento de los contaminantes gaseosos	22
	a. Estación de verano (febrero)	22
	b. Estación de otoño (abril)	26
	c. Estación de invierno (agosto)	27

d. Estación de primavera (noviembre)	27
5.1.3. Condiciones meteorológicas	29
a. Estación de verano (febrero)	29
b. Estación de otoño (abril)	30
c. Estación de invierno (agosto)	31
d. Estación de primavera (noviembre)	31
VI. CONCLUSIONES	38
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

RELACIÓN DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Gráfico 1. Diámetro aerodinámico de las partículas	4
Gráfico 2. Efectos causados en el hombre por exposición a CO	5
Gráfico 3. Reacciones Químicas conducentes a la formación de Ozono Troposférico	6
Figura 1. Red de estaciones meteorológicas y de Contaminantes sólidos sedimentables en la Z. M. de Lima - Callao	8
Figura 2a. Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados en la estación de verano 2004 (febrero)	13
Figura 3a. Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados en la estación de otoño 2004 (abril)	13
Figura. 4a. Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados en la estación de invierno 2004 (agosto)	14
Figura 5a. Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados en la estación de primavera 2004 (noviembre)	14
Figura 2b. Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima -Callao – verano (febrero 2004)	15
Figura 3b. Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima -Callao – otoño (abril 2004)	16
Figura 4b. Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima -Callao – invierno (agosto 2004)	17
Figura 5b. Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima -Callao – primavera (noviembre 2004)	18

Figura 6a. Totales anuales de concentración de polvo atmosférico registrados en Lima - Callao 2004	20
Figura 6b. Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima - Callao – Promedio 2004	21
Figura 7a. Variación temporal de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) durante el mes de febrero del 2004 - Estación C.A. SENAMHI	23
Figura 7b. Variación temporal máxima de la media móvil (8 horas) de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) - mes de febrero del 2004 Estación C.A. SENAMHI	23
Figura 7c. Variación media horaria de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) mes de febrero del 2004 - Estación C.A. SENAMHI	24
Figura 7d. Variación temporal de la concentración de Monóxido de Carbono (ppm) durante el mes de febrero del 2004	25
Figura 7e. Variación media horaria de la concentración de Monóxido de Carbono (ppm) durante el mes de febrero 2004 - Estación C.A. SENAMHI	25
Figura 7f. Variación temporal máxima de la media móvil (8 horas) de la concentración de Monóxido de Carbono (ppm) durante el mes de febrero 2004 - Estación C.A. SENAMHI	25
Figura 8a. Variación temporal de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) durante el mes de abril del 2004 - Estación C.A. SENAMHI	26
Figura 8b. Variación temporal máxima de la media móvil (8 horas) de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) - mes de abril del 2004 Estación C.A. SENAMHI	26
Figura 8c. Variación media horaria de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) - mes de abril del 2004 - Estación C.A. SENAMHI	27
Figura 9a. Variación temporal de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) durante el mes de noviembre del 2004 - Estación C.A. SENAMHI	28
Figura 9b. Variación media horaria de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) durante el mes de noviembre del 2004 - Estación C.A. SENAMHI	28
Figura 9c. Variación temporal máxima de la media móvil (8 horas) de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) durante el mes de noviembre del 2004 - Estación C.A. SENAMHI	29
Figura10 a, b, c, d.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa Estación A.I. Jorge Chávez	33
Figura 11. Rosas de viento (m/s) diurnas: Verano (a), Otoño (b), Invierno (c), Primavera (d)	34
Figura 12. Rosas de viento (m/s) nocturnas: Verano (a), Otoño (b), Invierno (c), Primavera (d)	34



Figura 13. Radiosondaje mensual promedio durante febrero (a) y abril (b) - 2004 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)	36
Figura 14. Radiosondaje mensual promedio durante agosto (a) y noviembre (b) - 2004 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)	37

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro N° 1: Valores Máximos registrados de contaminantes Sólidos Sedimentables durante cada estación del año 2004 en las zonas críticas de Lima - Callao	10
Cuadro N° 2. Estaciones de muestreo de Contaminantes Sólidos Sedimentables (polvo atmosférico)	20
Cuadro N° 3. Concentraciones atmosféricas de Ozono troposferico y Monóxido de carbono - 2004	22
Cuadro N° 4a,b,c,d. Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú	35

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTACIONAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO, 2004

I. INTRODUCCIÓN

El gobierno del Perú, consciente que el crecimiento y desarrollo socioeconómico está ocasionando desequilibrios ambientales en muchos de sus ecosistemas, entre ellos el deterioro de la calidad del aire para la salud de la población de la Zona metropolitana de Lima y Callao, crea en 1994 el Consejo Nacional del Ambiente para coordinar las actividades ambientales a nivel nacional, regional y local que realizan los diferentes sectores y niveles del gobierno, entidades y empresas privadas y la comunidad civil organizada.

Para el caso específico de la calidad del aire de la zona metropolitana de Lima-Callao, el gobierno creó por Resolución Suprema N° 768-98-PCM del 31 de diciembre de 1998, el Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima y Callao. Así mismo, el 22 de junio de 2001 se publicó el D.S. N° 074-2001-PCM sobre el nuevo Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, por constituir parte de los instrumentos de gestión ambiental generado por consenso entre el sector productivo, autoridades del sector público y la sociedad civil organizada. También por Decreto Supremo N°047-2001-MTC se establecen en diciembre del 2001 los Límites Máximos Permisibles de Emisiones Contaminantes para vehículos automotores que circulan en la red vial, como una herramienta de prevención y control de la contaminación generada y su efectos en la salud de la población.

Dentro del contexto anterior, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI, a través de su Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales y de sus Direcciones Regionales, es miembro del Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima y Callao y de cada uno de los Grupos de Estudio Técnico Ambiental (GESTAs) o Gestas Zonales de Aire establecidos en cada una de las 13 Zonas de Atención Prioritaria, reconocidas en el país por el D.S. N° 074-2001-PCM por sus altos niveles de contaminación. Dentro del Comité de Aire Limpio y Grupos de Estudio Técnico Ambiental, el SENAMHI tiene la coordinación del grupo de trabajo encargado a corto plazo del monitoreo y análisis meteorológico para los estudios de línea base; así también, a mediano y largo plazo del modelamiento de la dispersión atmosférica de la contaminación con fines de predicción de futuros estados críticos de la calidad del aire, en armonía con la visión y objetivos estratégicos como institución gubernamental, rectora de las actividades meteorológicas e hidrológicas y áreas conexas en el país. Actualmente, es la institución coordinadora del grupo de trabajo para la implementación de la red de monitoreo y del sistema de pronóstico de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Lima-Callao.

En la Zona Metropolitana de Lima y Callao, el SENAMHI viene desarrollando desde 1990 actividades de monitoreo de la contaminación del aire por material particulado sedimentable (polvo atmosférico) a través de una red de 24 estaciones de muestreo mensual que actualmente se viene ampliando; asimismo, con fines de investigación viene implementando una estación automática de monitoreo de calidad del aire ubicada en la sede central, con la cual se viene registrando concentraciones horarias de monóxido de carbono, dióxido de azufre, ozono troposférico y óxidos de nitrógeno.

El presente estudio muestra los resultados de la evaluación de las condiciones meteorológicas que influyen en la distribución espacial de la contaminación atmosférica por material particulado sedimentable (polvo atmosférico) y contaminantes gaseosos como son el monóxido de carbono y ozono troposférico en la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el año 2004.

II. CUENCA ATMOSFÉRICA LIMA-CALLAO

La cuenca atmosférica es una región geográfica, delimitada por los obstáculos topográficos de origen natural (líneas costeras, formaciones montañosas, etc hasta la capa límite de la atmósfera), divisiones políticas y uso de la tierra, de tal manera que dentro de ésta se modifica la circulación general de la atmósfera sobre la superficie dando lugar a la formación de un campo de vientos locales, diferentes del flujo de la atmósfera libre. Este campo de vientos es el responsable de los procesos de transporte y dispersión de los contaminantes del aire dentro de la cuenca.

Dentro de la implementación del Plan Nacional "A Limpiar el Aire", el SENAMHI, en cumplimiento a lo establecido en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, lideró y concluyó los trabajos de delimitación de la Cuenca Atmosférica para cada una de las 13 Zonas de Atención Prioritaria a nivel nacional señaladas dentro del marco de elaboración del Diagnóstico de Línea Base, el cual contempla el monitoreo de la calidad del aire, inventario de emisiones y estudios epidemiológicos.

La delimitación de la Cuenca Atmosférica de la Z.M. de Lima-Callao se ha realizado en base al comportamiento de los flujos de viento locales y a las configuraciones topográficas, teniendo como límites la curva de nivel de 800 msnm y en la cuenca del Rímac la de 1000 msnm considerando el criterio de crecimiento poblacional hasta esa altitud.

En la Zona Metropolitana de Lima-Callao se han identificado tres cuencas hidrográficas con sus respectivas microcuencas atmosféricas (ver **Figura 1**) que son las siguientes:

2.1 Cuenca del río Chillón

La Cuenca del río Chillón abarca los distritos de Ancón, Santa Rosa, Ventanilla, Puente Piedra, Carabayllo, Comas, zona norte-centro de San Martín de Porres,

Los Olivos, Independencia y norte del distrito del Callao. Dentro de la cuenca, se configuran las siguientes microcuencas atmosféricas:

Microcuenca de Ancón: Distrito de Ancón

Microcuenca de Carabaylo: Distrito de Carabaylo

Microcuenca de Collique: Distrito de Comas

2.2 Cuenca del río Rímac

La Cuenca del río Rímac se extiende a los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, zona centro-sur del Callao, Carmen de la Legua Reynoso, Bellavista, La Punta, Cercado de Lima, Rímac, Ate Vitarte, El Agustino, Santa Anita, Breña, Pueblo Libre, Jesús María, La Victoria, San Luis, Lince, La Perla, San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, San Borja, La Molina, Miraflores, Surquillo, Santiago de Surco, Barranco, Chorrillos, San Juan de Miraflores y zona noroeste del distrito de Villa María del Triunfo. Las microcuencas atmosféricas que han sido determinadas son:

Microcuenca de San Juan de Lurigancho: Distrito de San Juan de Lurigancho.

Microcuenca de Huaycoloro: Distrito de Lurigancho

Microcuenca de Huaycán: Distrito de Ate Vitarte

Microcuenca de La Molina: Distrito de La Molina

2.3 Cuenca del río Lurín

La Cuenca del río Lurín abarca los distritos de Cieneguilla, Pachacamac, Villa María del Triunfo, Villa El Salvador, Lurín, noroeste de Punta Hermosa, considerando las microcuencas de:

Microcuenca de Manchay: Distrito de Pachacamac

Microcuenca de Portillo Grande: Distrito de Lurín

Microcuenca por identificar: Distrito de Pachacamac

III. MARCO TEÓRICO

Los contaminantes sólidos sedimentables, polvo atmosférico o deposición ácida seca, incluyen al grupo de partículas del tamaño de hasta un diámetro de 100μ aproximadamente, considerando que el polvo de mayor tamaño tiende a sedimentar rápidamente (SwissContact, 2001). En el **gráfico 1** se muestra la distribución según tamaño y origen del polvo.

De acuerdo a Hedin L. y Likens G. (1996), el polvo atmosférico contiene compuestos químicos conocidos como bases, las cuales neutralizan la acidez de los contaminantes del aire que causan la lluvia ácida. Las emisiones industriales y las actividades agrícolas (tales como el arado y el transporte sobre terrenos no pavimentados), contribuyen a la generación de polvo atmosférico. Las fuentes naturales incluyen a los incendios forestales y la erosión causada por el viento, principalmente. Los contaminantes ácidos se derivan principalmente de la combustión de los combustibles fósiles en fábricas, vehículos y en los hogares. Un beneficio adicional de las partículas es

que ellas transportan numerosos nutrientes para los bosques y la vegetación; sin embargo, el deterioro ambiental que ocasiona (como es la disminución de la visibilidad atmosférica) influye a su vez sobre la calidad de vida de las personas.

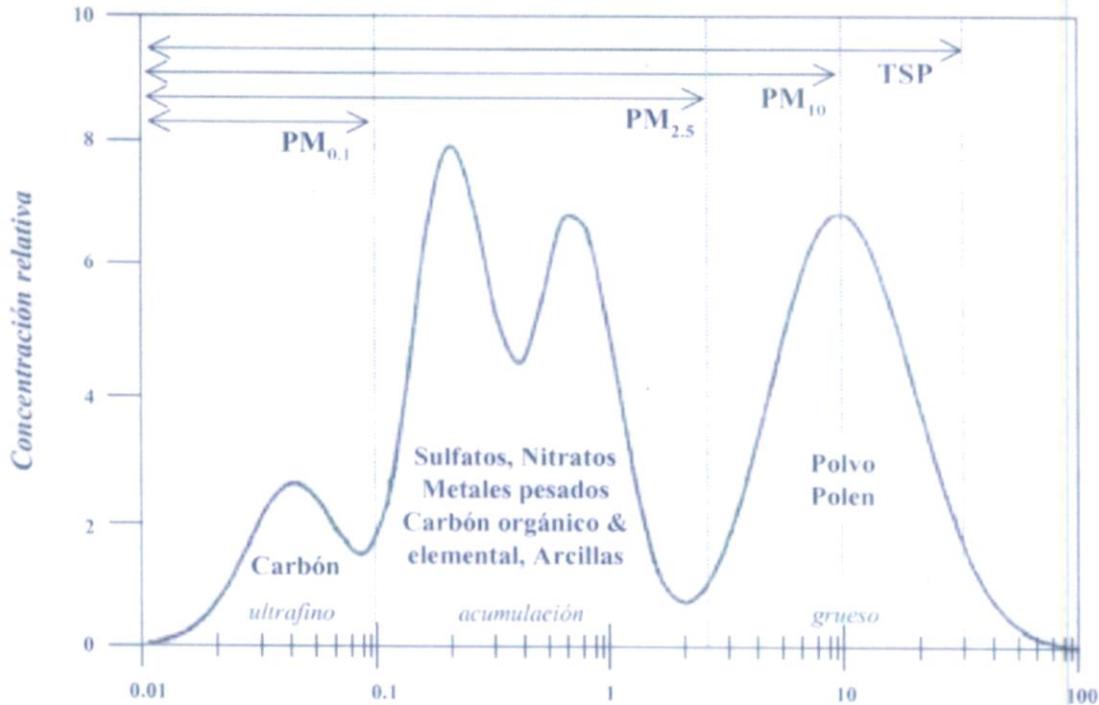


Gráfico 1. Diámetro aerodinámico de las partículas

Fuente: Manual de Laboratorio -proyecto Monitoreo del aire. Programa de Aire Puro para Centroamérica SwissContact

Con respecto a los contaminantes gaseosos, el monóxido de carbono (CO) es un gas venenoso incoloro e inodoro, formado como producto de la combustión incompleta del carbón presente en el combustible fósil. Este contaminante proviene de procesos industriales y combustión en calderos e incineradores y principalmente de emisiones vehiculares. Estas últimas son originadas cuando el índice aire-combustible es menor al ideal para la combustión completa, lo cual sucede durante el encendido de los vehículos o a elevada altitud.

El monóxido de carbono ingresa al torrente sanguíneo formando la carboxihemoglobina (COHb), una sustancia que inhibe y reduce el transporte de oxígeno en la sangre hacia las diferentes partes del cuerpo. La exposición al monóxido de carbono se hace más crítica para aquellos que sufren problemas cardiovasculares (Ver **gráfico 2**). De acuerdo a Goldsmith y Landaw (1968), los niveles típicos de CO en zonas urbanas oscilan entre 5 y 100 ppm; sin embargo, se ha demostrado experimentalmente que bajos niveles de CO en la sangre pueden afectar la habilidad para estimar intervalos de tiempo, disminuir tiempos de reacción y reducir la sensibilidad visual en la oscuridad.

El monóxido de carbono, sin embargo, no es un contaminante acumulativo dado que la carboxihemoglobina es dissociable; una vez que la exposición cesa, la hemoglobina revierte en oxihemoglobina y el CO es eliminado a través de los

alveolos pulmonares. La vida biológica del CO en la sangre para adultos sedentarios es de 2-5 horas y la eliminación es lenta, conforme la concentración de CO decrece; sólo una mínima fracción de CO es convertido a CO₂ (Beard y Wertheim, 1967).

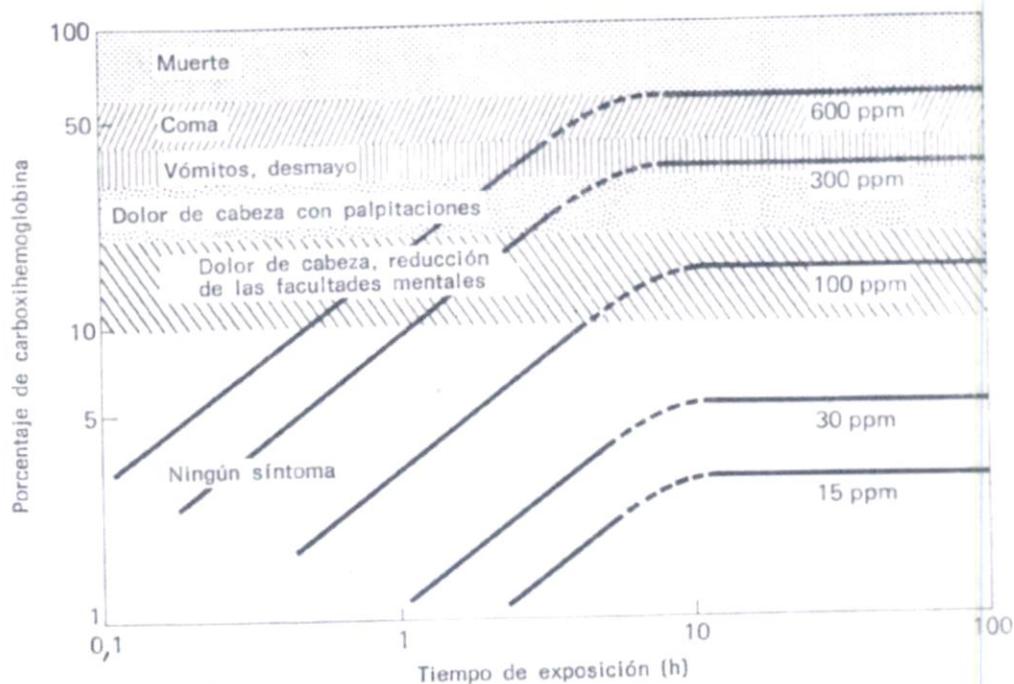


Gráfico 2. Efectos causados en el hombre por exposición a CO

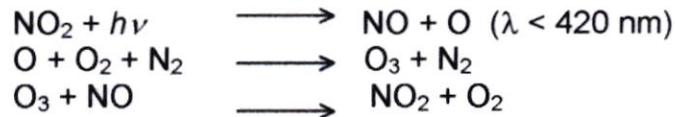
Fuente: Seinfeld, J. 1986

En la tropósfera, el CO es eliminado mediante una reacción con radicales oxidrilo (OH)⁻ siendo su permanencia promedio de 0,1 a 0,5 años.



Con respecto al origen del ozono troposférico, se sabe que el constante incremento de la densidad vehicular es la mayor de las causas de que grandes cantidades de óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) sean enviados a la atmósfera, compuestos precursores del ozono. Todo proceso de combustión a alta temperatura da como resultado la formación de monóxido de nitrógeno así como menores cantidades de dióxido de nitrógeno.

El ciclo de la formación de ozono troposférico inicia su camino con la descomposición de dióxido de nitrógeno (NO₂) a NO y O por la radiación solar incidente específicamente por debajo de los 420 nm. El átomo de oxígeno generalmente reacciona con gas oxígeno y forma ozono (O₃), además se considera que el NO en presencia de ozono vuelve a formar NO₂ y Oxígeno (O₂) produciendo más NO₂ que vuelve a ser excitado en presencia de luz solar para dissociar un átomo de oxígeno repitiendo el ciclo, de acuerdo a la siguiente reacción:



El ciclo rápido es manejado por la intensidad de la irradiación solar como un primer paso. Si existen hidrocarburos o llamados compuestos orgánicos volátiles (COV) en el aire, estos manifiestan reacciones similares que se describen en el **gráfico 3**.

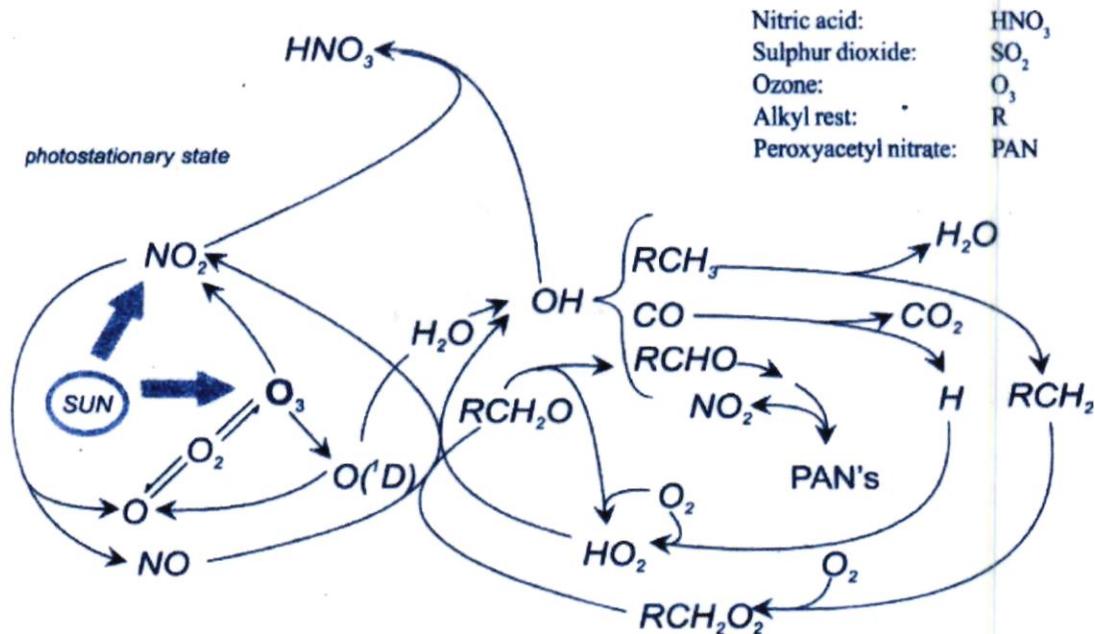


Gráfico 3. Reacciones químicas conducentes a la formación de Ozono Troposférico

Fuente: Formation of Surface Layer ozone and Development of Summer Smog
 Franz Fiedle

Sus efectos en la salud humana por exposición continua se inician desde valores de 80 a 120 ppb, en el cual hay manifestaciones como tos y dolor de cabeza; se considera que una exposición desde 120 a 240 ppb por más de una hora disminuye la función pulmonar en niños y adultos. La población de mayor riesgo son los enfermos, ancianos, así como los neonatos y nonatos. Además cuando se le compara con los otros contaminantes, es el que más daña a las plantas. Se ha comprobado que a niveles de 30 ppb y una exposición mínima de 4 horas retarda su crecimiento y provoca decoloración. (Hindawi, 1970)

IV. METODOLOGÍA

4.1 Contaminantes Sólidos Sedimentables (polvo atmosférico)

La información empleada corresponde a la red de muestreo de Contaminantes Sólidos Sedimentables (polvo atmosférico) compuesta por 24 estaciones distribuidas en la Zona Metropolitana de Lima-Callao (**figura 1**). El método de muestreo pasivo desarrollado es el que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de gabinete:** consiste en la preparación en laboratorio de las placas receptoras que serán empleadas en campo.
- **Fase campo:** se reemplazan las placas receptoras impregnadas de contaminantes y se llevan al laboratorio para las evaluaciones respectivas. En la bitácora de campo se anotan las observaciones respectivas.
- **Fase de laboratorio:** por el método gravimétrico se determinan las concentraciones correspondientes a cada una de las estaciones de observación.
- **Fase de gabinete:** involucra el procesamiento, análisis e interpretación de la información, preparación de cuadros, mapas, gráficos y la elaboración del informe respectivo.

4.2 Contaminantes Gaseosos

La evaluación mensual de los gases contaminantes del aire (CO, SO₂ y O₃) en la Estación de Calidad de Aire ubicada en la sede central (**figura 1**) se realiza de acuerdo a la siguiente metodología:

- **Fase de campo:** basado en la operación continua de analizadores automáticos de ozono troposférico modelo API 400A, monóxido de carbono API 300, dióxido de azufre API 100A y estación meteorológica automática. Descarga de la información in situ.
- **Fase de gabinete:** involucra el procesamiento, análisis e interpretación de la información, salida de reportes preliminares, cuadros, mapas, gráficos y la elaboración del respectivo informe.

4.3 Información Meteorológica

Evaluación de los registros meteorológicos de la red de estaciones de la Z.M. de Lima-Callao. Para el presente informe se ha analizado la información proveniente de la estación automática y de radiosondaje Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao). La metodología de trabajo es la siguiente:

- **Fase de recopilación:** involucra el proceso de obtención y concentración de la información meteorológica de las estaciones de interés.
- **Fase de control de calidad y consistencia:** involucra la revisión de los datos, eliminación de inconsistencias y completación de la data a través de herramientas estadísticas.
- **Fase de procesamiento y análisis:** involucra el procesamiento numérico, gráfico, análisis e interpretación de la información.

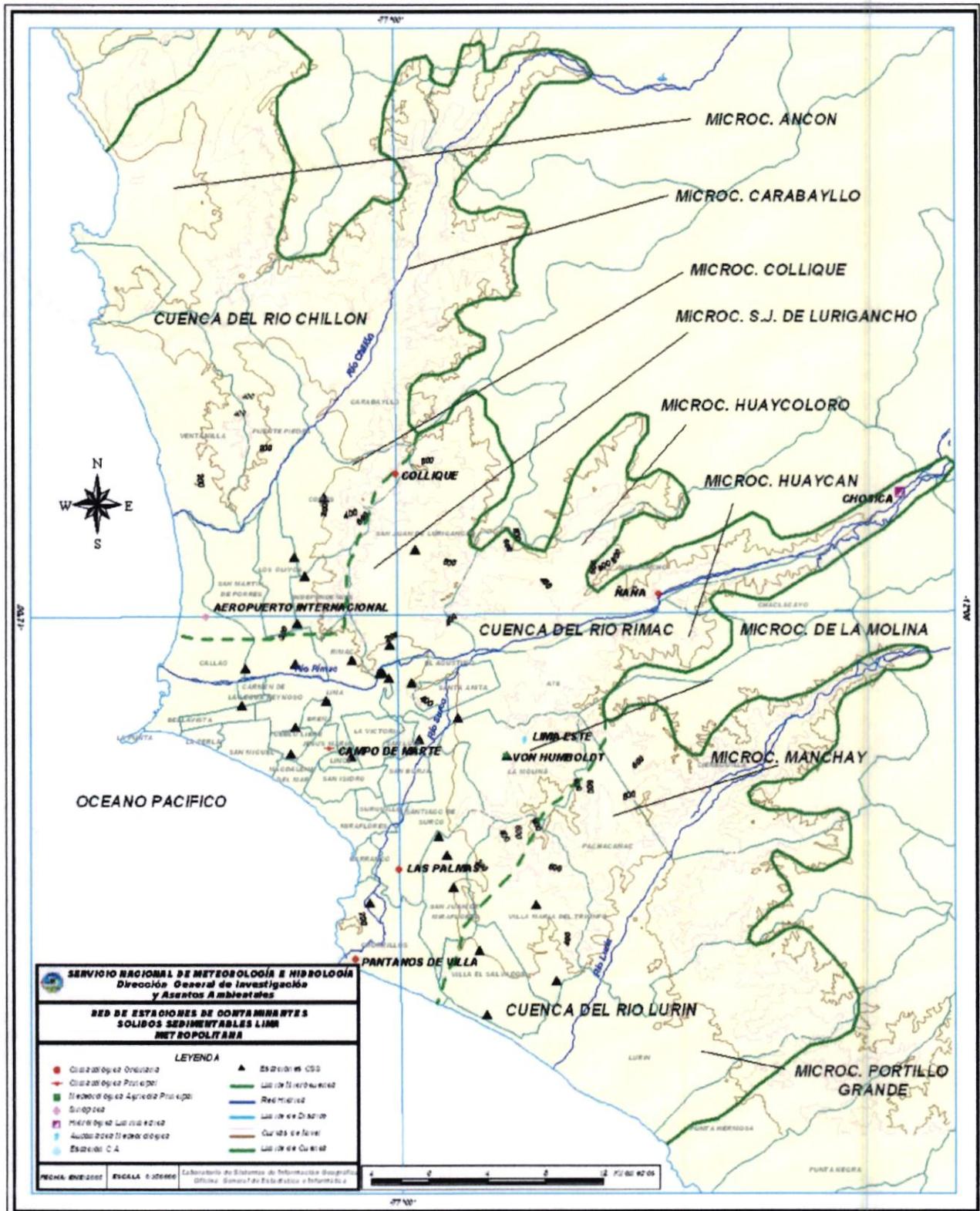


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

V. RESULTADOS

5.1 Análisis de comportamiento estacional de los contaminantes atmosféricos y de las condiciones meteorológicas asociadas durante el año 2004

Dentro del Programa de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica se realiza el muestreo mensual de los contaminantes sólidos sedimentables (polvo atmosférico) a través de una red de 24 estaciones de muestreo instaladas en la zona metropolitana de Lima-Callao y el monitoreo de contaminantes gaseosos en la estación de calidad del aire (Jesús María) a través de analizadores automáticos que en forma horaria registran las concentraciones de los gases monóxido de carbono, dióxido de azufre y ozono troposférico. De acuerdo a los resultados obtenidos, los contaminantes sólidos sedimentables sobrepasan en varias veces el límite referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud (equivalente a $5\text{t}/\text{km}^2/\text{mes}$), siendo el cono norte en el que se dan las mayores concentraciones; con respecto a los contaminantes gaseosos, de acuerdo a las evaluaciones realizadas, los estándares nacionales de calidad del aire no son superados en el ámbito de influencia de la estación de calidad del aire.

5.1.1 Análisis del comportamiento de los contaminantes sólidos sedimentables (CSS)

5.1.1.1 Distribución espacial-estacional

Como se puede observar en la segunda columna del **Cuadro N°1**, el mayor número de estaciones (81%) que superan el límite referencial de $5\text{t}/\text{km}^2/\text{mes}$ de la OMS, corresponde al verano y el mínimo (62%) al invierno. Así mismo, en la última columna, considerando las 24 estaciones que componen la red de muestreo, se observa que la Zona Metropolitana de Lima-Callao, soporta en promedio mayores niveles de contaminación en el verano ($11,02\text{t}/\text{km}^2/\text{mes}$) y los mínimos ($8,79\text{t}/\text{km}^2/\text{mes}$) en el invierno. Lo descrito está en estrecha relación con la altura media de la base de la Capa de Inversión Térmica por subsidencia, que como se puede observar en el **Cuadro N°4**, es menor en el verano, lo cual limita los procesos de dispersión, comparado con las condiciones que se presentaron en el invierno donde la base de la inversión está a mayor altitud.

Cuadro N° 1: Valores máximos registrados de contaminantes sólidos sedimentables durante cada estación del año 2004 en las zonas críticas de Lima-Callao.

Estación del año	% Estaciones Muestreo que superan el LMP	Cono Norte (t/km ² /mes)	Cono C-Este (t/km ² /mes)	Cono Sur (t/km ² /mes)	Prom. 24 estaciones muestreo (t/km ² /mes)
Verano (Feb.)	81,0	37,7	22,6	25,0	11,02
Otoño (Abr)	65,0	30,6	17,5	25,0	10,66
Invierno (Ago)	62,0	20,7	18,3	25,0	8,79
Primavera (Nov)	78,0	23,0	29,0	25,5	10,53
Media Anual	71,5	28	21,85	25,06	10,25

En la Zona Metropolitana de Lima-Callao, los principales centros de acumulación de los contaminantes sólidos sedimentables (polvo atmosférico) a lo largo de las 4 estaciones del año son los conos norte, centro-este y sur. El centro del cono norte (microcuenca atmosférica del río Chillón) comprende los distritos de Comas, Independencia, Los Olivos, San Martín de Porras, Ventanilla, Puente Piedra, Santa Rosa, Ancón y Carabayllo; el del centro-este (microcuencas atmosféricas del Rímac y San Juan de Lurigancho) que abarcan los distritos de El Cercado (extremo este), El Agustino, San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate Vitarte y Santa Anita; y el centro del cono sur (microcuenca atmosférica del río Lurín) que se extiende hacia Villa María del Triunfo, Villa El Salvador, San Juan de Miraflores y Pachacamac, cuyas concentraciones varían mes a mes en respuesta a los procesos meteorológicos de transporte y dispersión y a la mayor o menor intensidad de los aportes locales. Dichos aportes comprenden el parque automotor de alta obsolescencia por la deficiente combustión de combustibles de baja calidad; el parque industrial formal e informal inmersos en la ciudad y que operan con equipamiento obsoleto, combustibles de baja calidad y deficiente control de sus emisiones, a los que se suma los residuos de la industria de la construcción; las actividades de comercio, formal e informal; la deficiente gestión de los residuos sólidos municipal e industrial; la insipiente gestión de los efluentes domésticos, comerciales e industriales; la ausencia de políticas para la atención y cuidado de animales domésticos como vectores biológicos de enfermedades contagiosas; y la baja conciencia ambiental de la población.

A continuación, se describe el comportamiento estacional del polvo atmosférico.

a. Estación de verano (febrero):

Durante el mes de febrero, mes representativo de la estación de verano, el núcleo del centro cono norte se encontró en el distrito de Comas, con el valor más alto del mes equivalente a 37,7 t/km²/mes. El segundo centro importante de contaminación (cono centro-este) tuvo su núcleo en el distrito de El Agustino, con una concentración de 22,6 t/km²/mes. Mientras que el tercer

centro ubicado en el cono sur, se situó cerca al límite de los distritos de Villa María del Triunfo y Villa el Salvador con un valor alrededor de 25 t/km²/mes.

Del total de estaciones, el 81% sobrepasó el valor referencial de la OMS de 5 t/km²/mes, mientras que las zonas adyacentes al litoral costero y algunos distritos residenciales se mantuvieron por debajo de dicho valor. Este comportamiento de alta contaminación por polvo atmosférico se debe a la débil configuración de la capa de inversión y por lo tanto a la mayor turbulencia cerca de la superficie originada por las diferencias bruscas en el calentamiento de las superficies contiguas que originan pequeños tornados o remolinos que son los agentes impulsores de la suspensión y re-suspensión.

El promedio de contaminantes sólidos sedimentables (polvo atmosférico) para el mes fue de 11,02 t/km²/mes. La figura 2a muestra los totales de los sólidos sedimentables y la figura 2b la variación espacial para este mes.

b. Estación de otoño (abril):

Hacia el cono norte el núcleo se ubicó en el distrito de Independencia con un valor de 30,6 t/km²/mes. El segundo centro importante (cono centro-este) tuvo su núcleo en el distrito de El Agustino, con un valor de 17,5 t/km²/mes. Mientras que el tercer centro ubicado en el cono sur, se situó cerca al límite de los distritos de Villa María del Triunfo y Villa el Salvador con valores cercanos a 25 t/km²/mes. El 65% de las estaciones de muestreo superaron el valor referencial de la OMS, en tanto que las zonas adyacentes al litoral costero y parte de algunos distritos residenciales permanecieron por debajo del mismo por la influencia de los vientos que circulan paralelos a la costa, las brisas marinas y los índices de áreas verde por habitante. El promedio de contaminantes sólidos sedimentables (polvo atmosférico) fue de 10,66 t/km²/mes. La figura 3a muestra los totales de los sólidos sedimentables y la figura 3b la variación espacial para este mes. La relativa menor contaminación con respecto al verano se debe a que el fenómeno de turbulencia cerca de la superficie va disminuyendo y por lo tanto el fenómeno de la re-suspensión.

c. Estación de invierno (agosto):

Hacia el cono norte, el núcleo se presentó en el distrito de Independencia con 20,7 t/km²/mes, valor más alto del mes. El segundo centro importante de contaminación que abarca el cono centro-este, tuvo su núcleo en el Agustino con 18,3 t/km²/mes. Mientras que el tercer centro ubicado en el cono sur, se situó cerca al límite de los distritos de Villa María del Triunfo y Villa el Salvador con valores alrededor de 25 t/km²/mes. Del total de estaciones, el 62% sobrepasó el valor referencial de la OMS de 5 t/km²/mes, mientras que las zonas adyacentes al litoral costero y algunos distritos residenciales se mantuvieron por debajo del valor referencial de la OMS. El promedio de sólidos sedimentables para este mes fue de 8,79 t/km²/mes. Ver figuras 4a y 4b. Se puede observar que durante el invierno se registran los valores mínimos de contaminación debido a la mayor altitud de la base de la inversión, que bien puede favorecer una mayor dispersión; también la presencia de los fenómenos de turbulencia cerca de la superficie (pequeños tornados) que son

muy esporádicos dependiendo de las condiciones meteorológicas, implica que el fenómeno de suspensión y re-suspensión también sea mínimo.

d. Estación de primavera (noviembre):

Hacia el cono norte la mayor concentración de polvo atmosférico se presentó en el distrito de Independencia con un valor de 23,0 t/km²/mes. El segundo centro (cono centro-este) tuvo su núcleo en el distrito de El Cercado (lado este) con 29,0 t/km²/mes, valor a su vez más alto del mes. Mientras que el tercer centro ubicado en el cono sur (en la zona de intercuenca Rímac-Lurín) tuvo su núcleo en el distrito de Villa María del Triunfo con un valor equivalente a 25,5 t/km²/mes. El promedio de concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) fue de 10,53 t/km²/mes. El 78,3% del total de estaciones sobrepasó el límite referencial permisible establecido por la OMS de 5 t/km²/mes, mientras que las zonas aledañas al litoral costero y algunas partes de distritos residenciales se mantuvieron por debajo del mismo. Ver **figuras 5a y 5b**. La mayor contaminación registrada respecto al invierno y menor respecto al verano, se debe a que en esta estación, la inversión térmica entra en proceso de debilitamiento, el número de días de insolación va en aumento y por lo tanto el fenómeno de turbulencia cerca de la superficie también está en aumento, lo que propicia una mayor suspensión y re-suspensión que alcanza el máximo en verano donde los tornados pequeños (o tornaditos) son muy frecuentes.

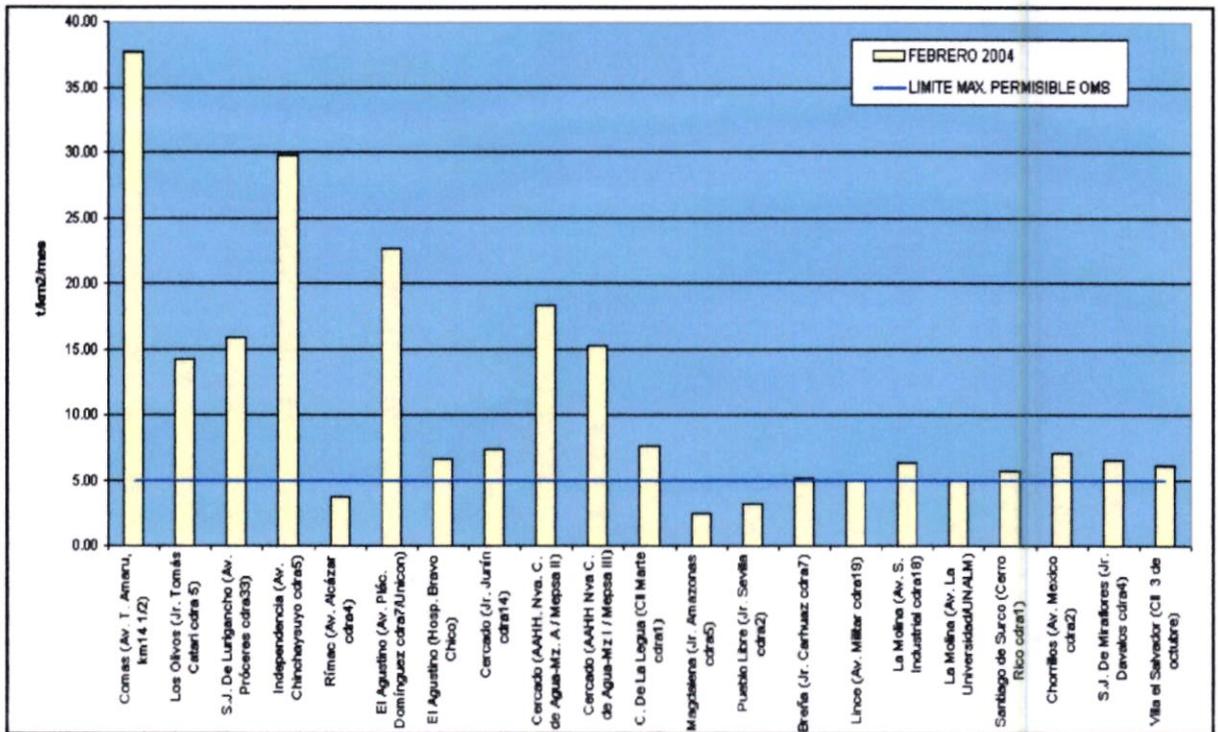


Fig. 2a. Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados en la estación de verano 2004 (febrero). Lima-Callao

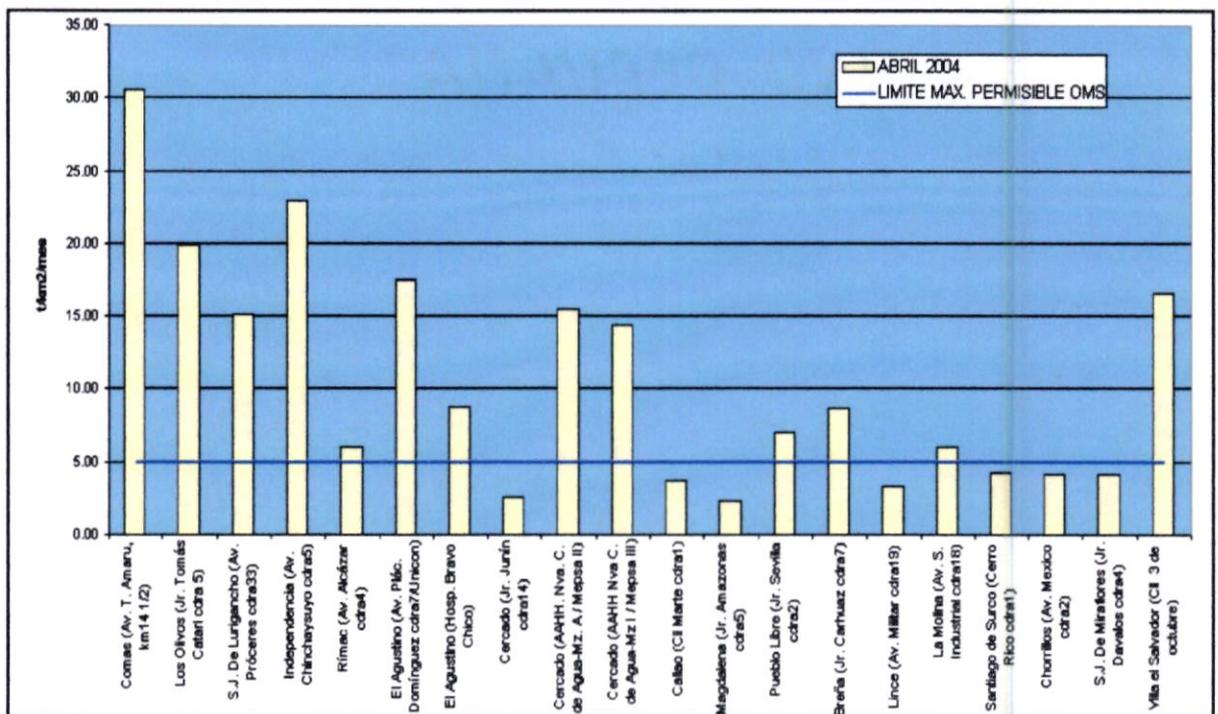


Fig. 3a. Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados en la estación de otoño 2004 (abril). Lima-Callao

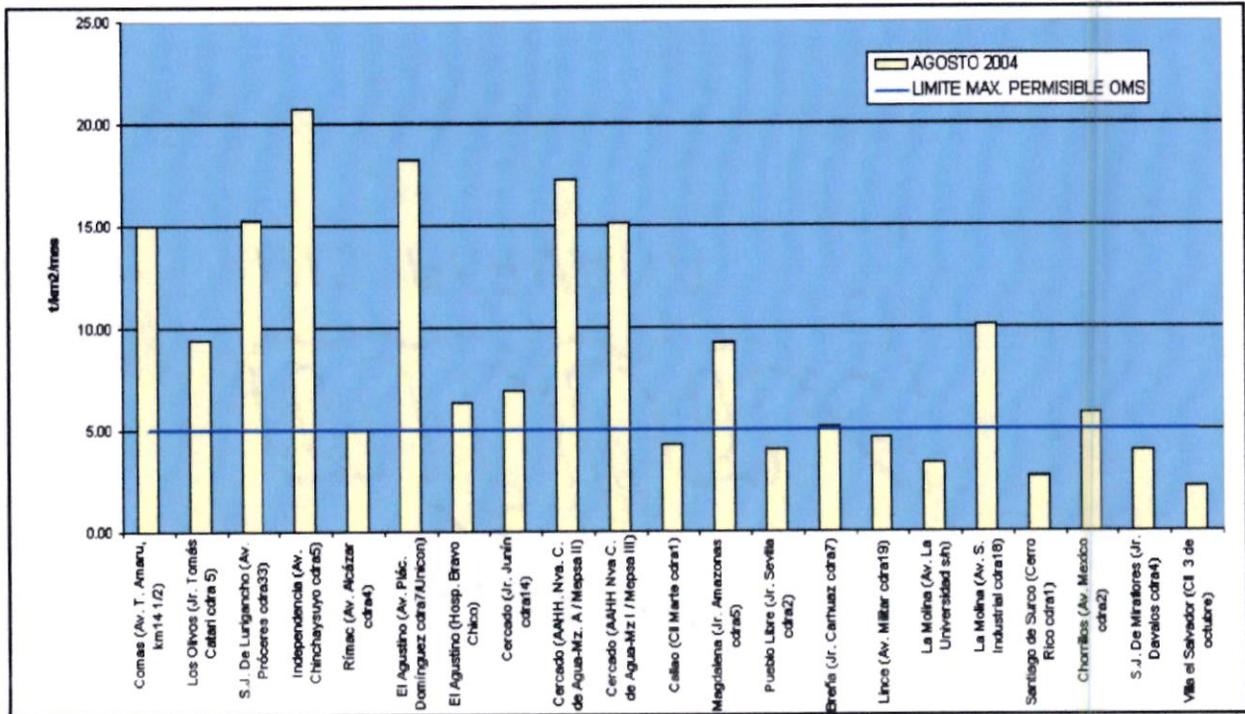


Fig. 4a. Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados en la estación de invierno 2004 (agosto). Lima-Callao

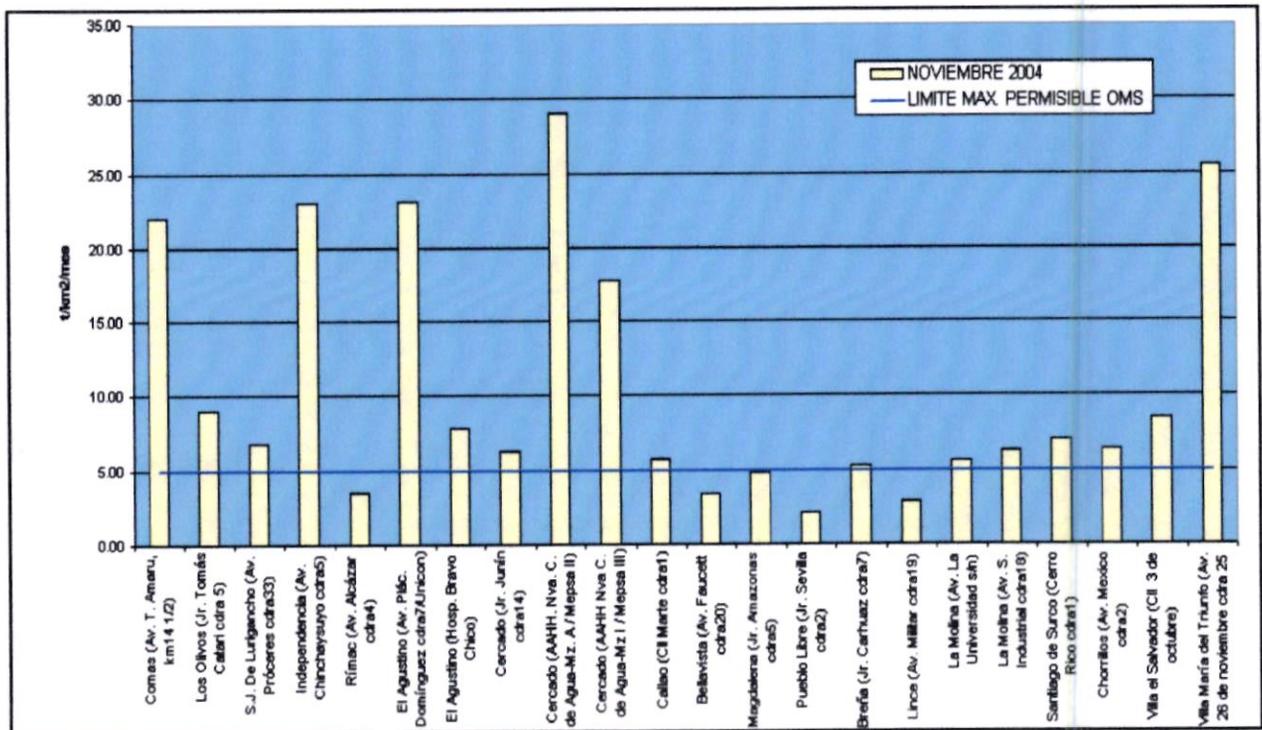


Fig. 5a. Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados en la estación de primavera 2004 (noviembre). Lima-Callao

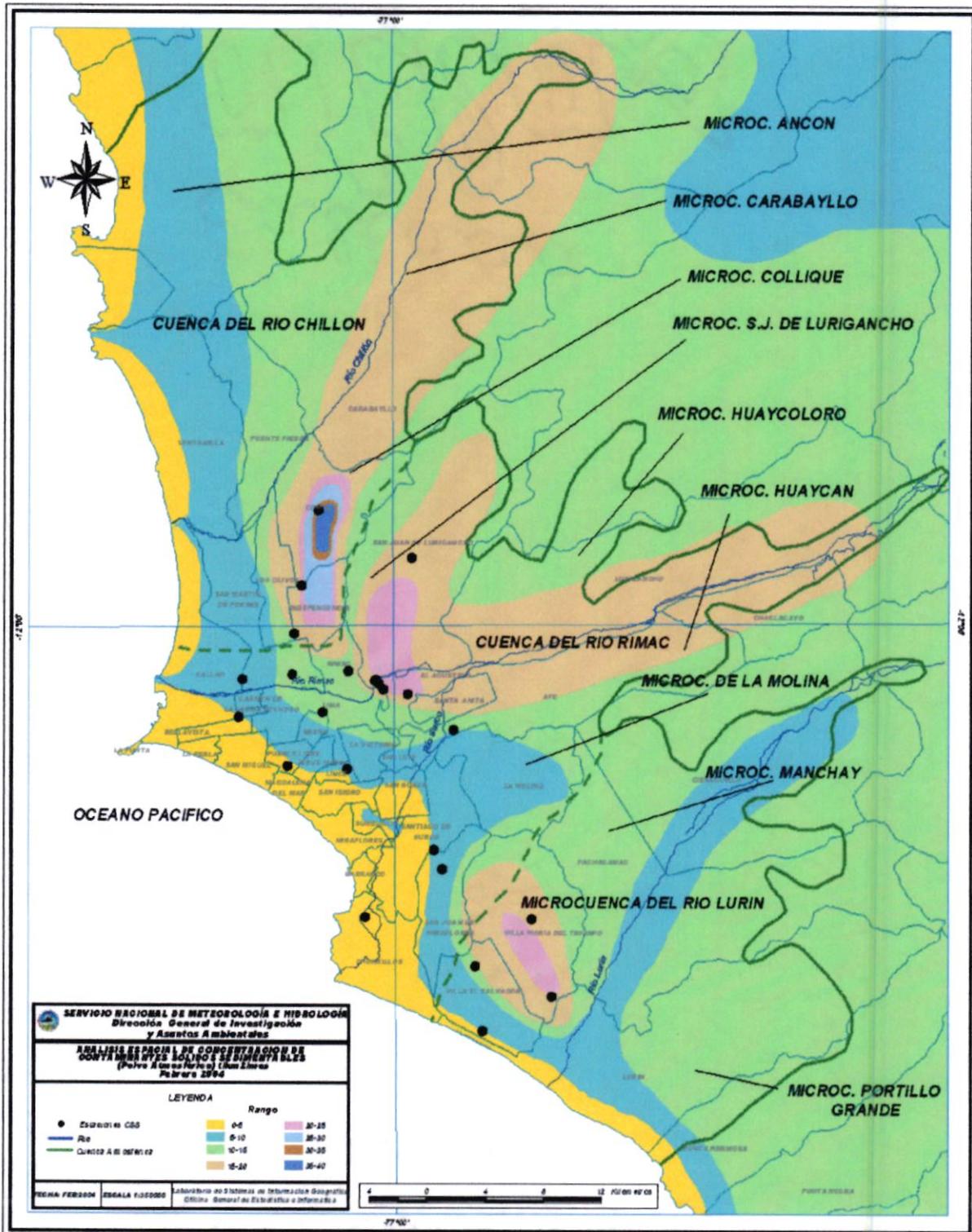


Fig. 2b - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima-Callao en la estación de verano (febrero) del 2004

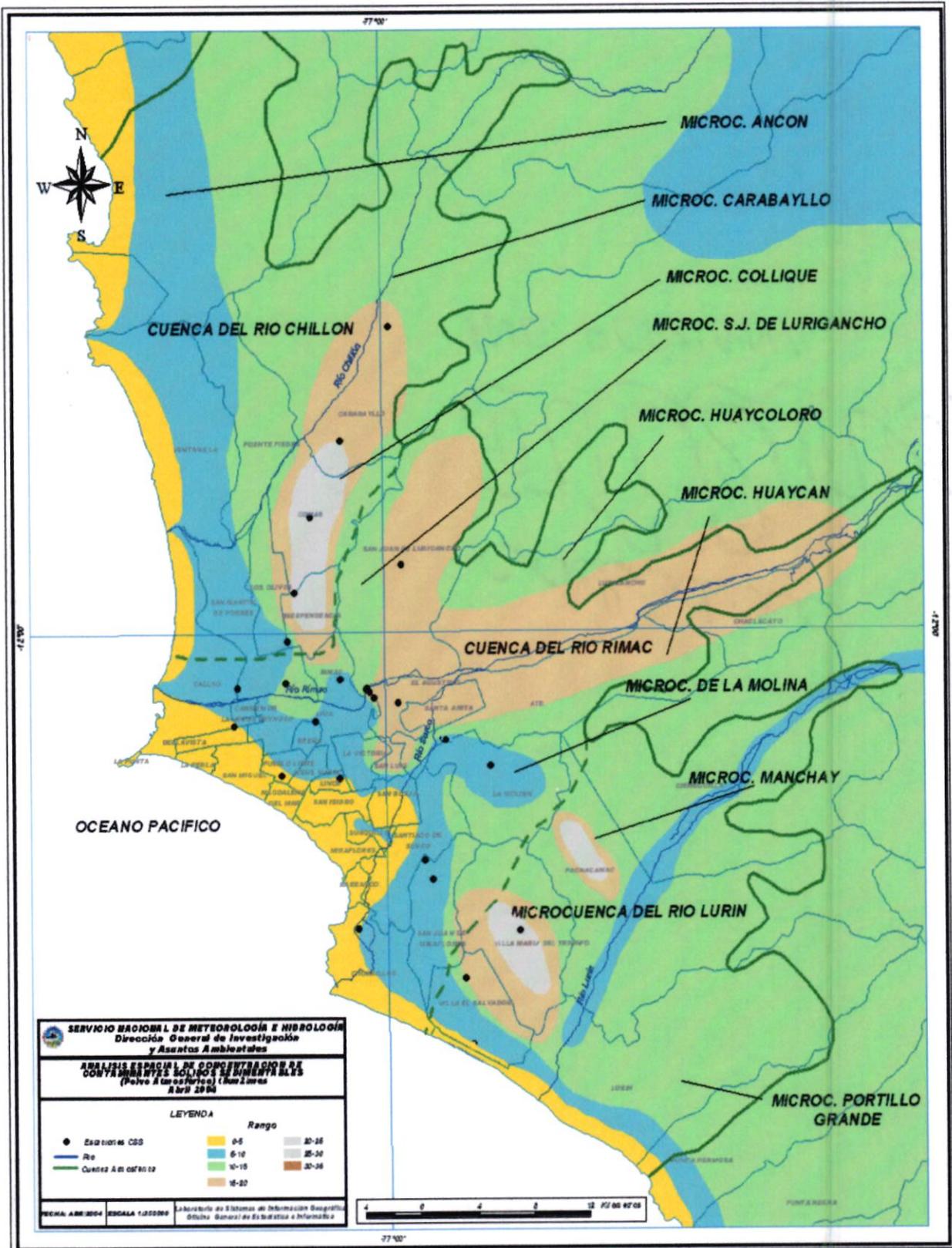


Fig. 3b - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima-Callao en la estación de otoño (abril) del 2004

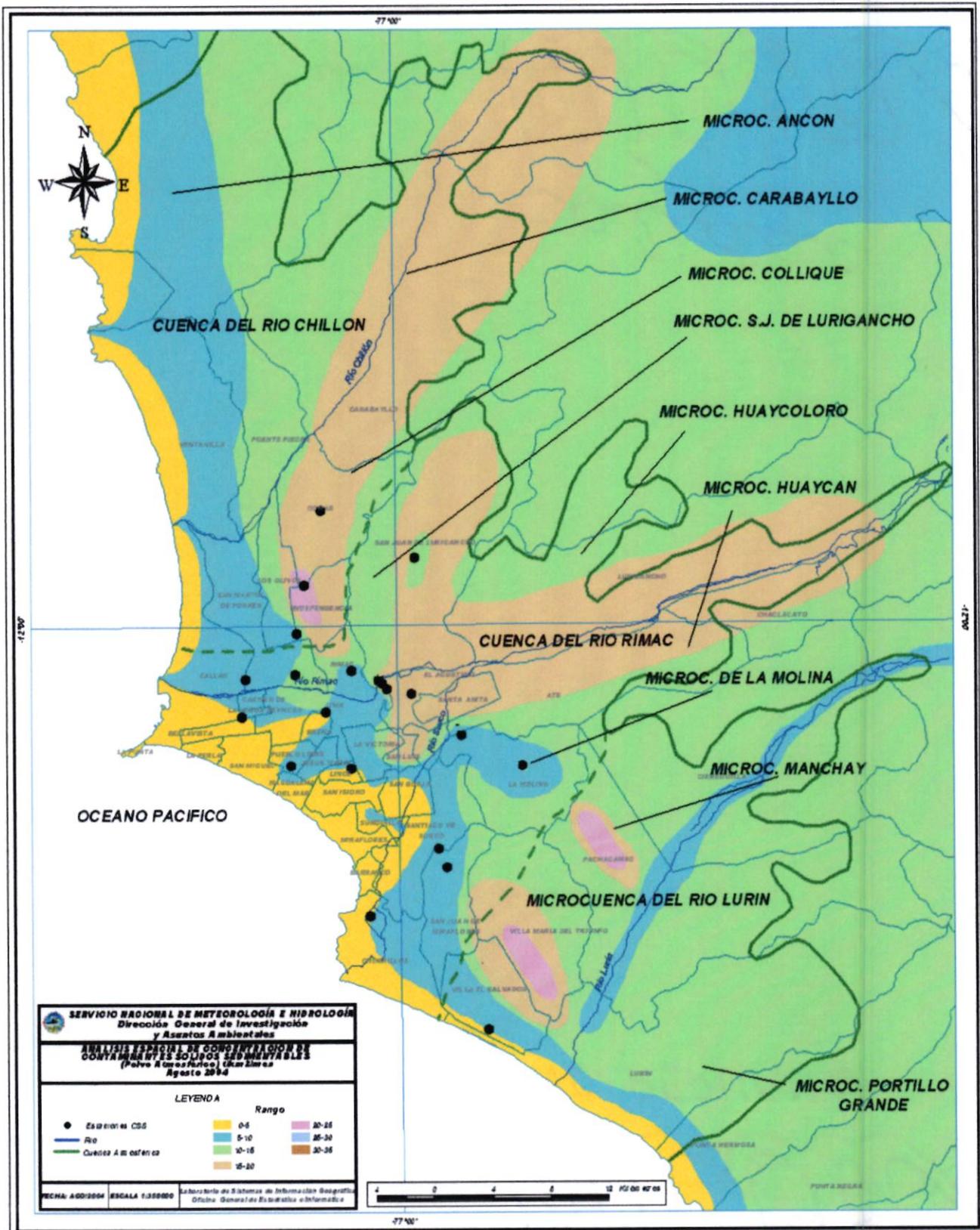


Fig. 4b - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima-Callao en la estación de invierno (agosto) del 2004

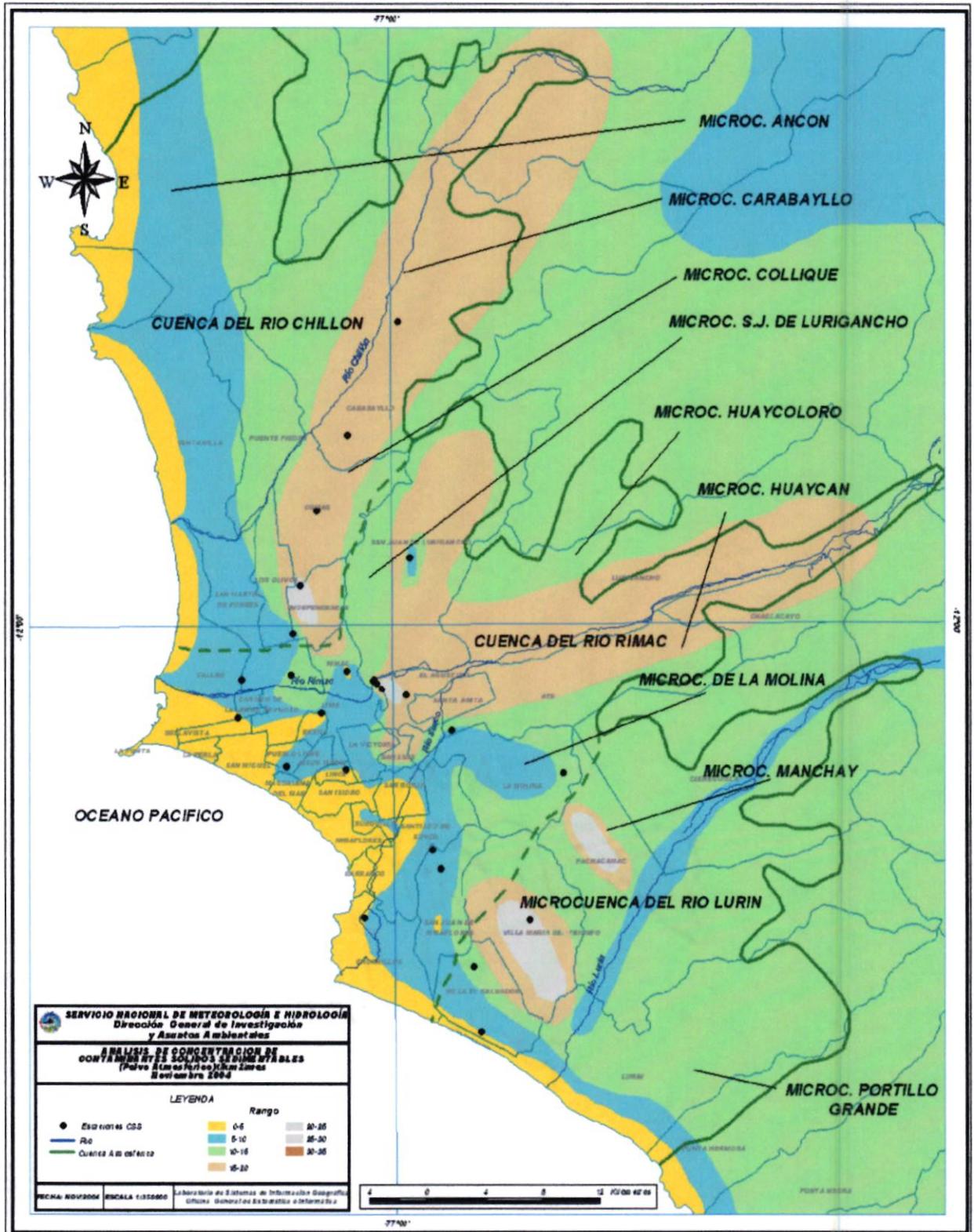


Fig.5b - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima-Callao en la estación de primavera (noviembre) del 2004

5.1.1.2 Distribución media anual (2004)

La concentración media de polvo atmosférico durante el año 2004 fue de 10,3 t/km²/mes, con el 84% del total de estaciones que sobrepasaron el valor referencial de la OMS. Así, a nivel anual, el cono norte presentó el valor más alto del año con 23,2 t/km²/mes en el distrito de Independencia; hacia el cono centro este, el distrito de El Agustino refirió un valor bastante alto de 21,4 t/km²/mes; mientras que hacia el sur las concentraciones en promedio se mantuvieron en el rango de 15 a 25 t/km²/mes.

Los elevados niveles de contaminación por polvo atmosférico en los centros identificados son explicados en la intensa actividad vehicular a lo largo de importantes avenidas, en la diversificada actividad comercial que acapara pistas y veredas, en la operación ininterrumpida de empresas no sujetas a un estricto control de sus emisiones, a los botaderos de basura, por mencionar sólo algunas. Todas estas características son sostenidas en débiles políticas municipales que dificultan la preservación y mantenimiento de las áreas verdes, cuya presencia resulta imprescindible en la medida en que no sólo matizan de color y proporcionan recreación y descanso visual a sus habitantes, sino que proporcionan el O₂ vital para los seres vivos y captan el CO₂.

Las zonas adyacentes al litoral costero y algunos distritos residenciales se mantuvieron por debajo del valor referencial de la OMS ya que sus políticas municipales incentivan índices adecuados de vegetación que reducen el fenómeno de resuspensión de CSS y las brisas marinas que fluyen hacia el Este favorecen la dispersión, por lo que no exceden el valor referencial establecido por la OMS. Ver **figuras 6 a y 6b**.

En el **Cuadro N° 2** siguiente, se presenta un resumen estadístico de las observaciones efectuadas durante el año 2004. Las concentraciones se encuentran en el rango de 37,5 t/km²/mes (distrito de Comas) a 3,67 t/km²/mes (distrito de Bellavista).

Cuadro N° 2. Estaciones de muestreo de Contaminantes Sólidos Sedimentables (polvo atmosférico)- 2004

N°	Estación	Valor Máximo	Valor Mínimo	Media	Desv. Estándar
1	Comas (Av. T. Amaru, km14 1/2)	37.65	14.97	22.11	6.88
2	Los Olivos (Jr. Tomás Catari cdra 5)	20.41	6.21	11.88	4.59
3	San Martín de Porres (Jr. Río Branco cdra 17) ⁽¹⁾	13.85	9.18	11.07	2.04
4	S.J. De Lurigancho (Av. Próceres cdra33)	19.24	6.77	13.76	3.65
5	Independencia (Av. Chinchaysuyo cdra5)	29.83	18.5	23.16	3.31
6	Rímac (Av. Alcázar cdra4)	7.95	3.46	5.82	1.45
7	El Agustino (Av. Plác. Domínguez cdra7/Unicon)	26.8	16.56	21.37	3.42
8	El Agustino (Hosp. Hipólito Unanue)	16.19	4.68	8.62	1.53
9	Cercado (Jr. Junín cdra14)	8.2	2.58	6.11	1.8
10	Cercado (AAHH. Nva. C. de Agua-Mz. A / Mepsa II)	29.03	14.02	19.91	5.39
11	Cercado (AAHH Nva C. de Agua-Mz I / Mepsa III)	17.8	10.5	14.42	2.2
12	Callao (CII Marte cdra1)	7.54	3.73	5.4	1.06
13	Bellavista (Av. Faucett cdra20) ⁽¹⁾	3.67	2.58	3.19	0.51
14	Magdalena (Jr. Amazonas cdra5)	7.15	1.21	3.33	1.58
15	Pueblo Libre (Jr. Sevilla cdra2)	9.86	2.04	4.69	2.67
16	Breña (Jr. Carhuaz cdra7)	6.87	3.35	5.2	0.92
17	Lince (Av. Militar cdra19)	7.16	2.04	3.74	1.37
18	La Molina (Av. La Universidad s/n)	10.12	2.87	5.69	1.81
19	La Molina (Av. S. Industrial cdra18)	11.18	2.19	5.79	2.67
20	Santiago de Surco (Cerro Rico cdra1)	7.47	2.21	5.13	1.57
21	Chorrillos (Av. México cdra2)	8.98	2.74	5.17	1.72
22	San Juan de Miraflores (Jr. Dávalos cdra 4)	10.02	3.78	5.67	1.86
23	Villa el Salvador (CII 3 de octubre)	16.54	6.1	9.51	3.03
24	Villa María del Triunfo (Av. 26 de noviembre cdra 25) ⁽¹⁾	28.5	20.95	25.76	3.48

(1). Estaciones con menos de 5 meses

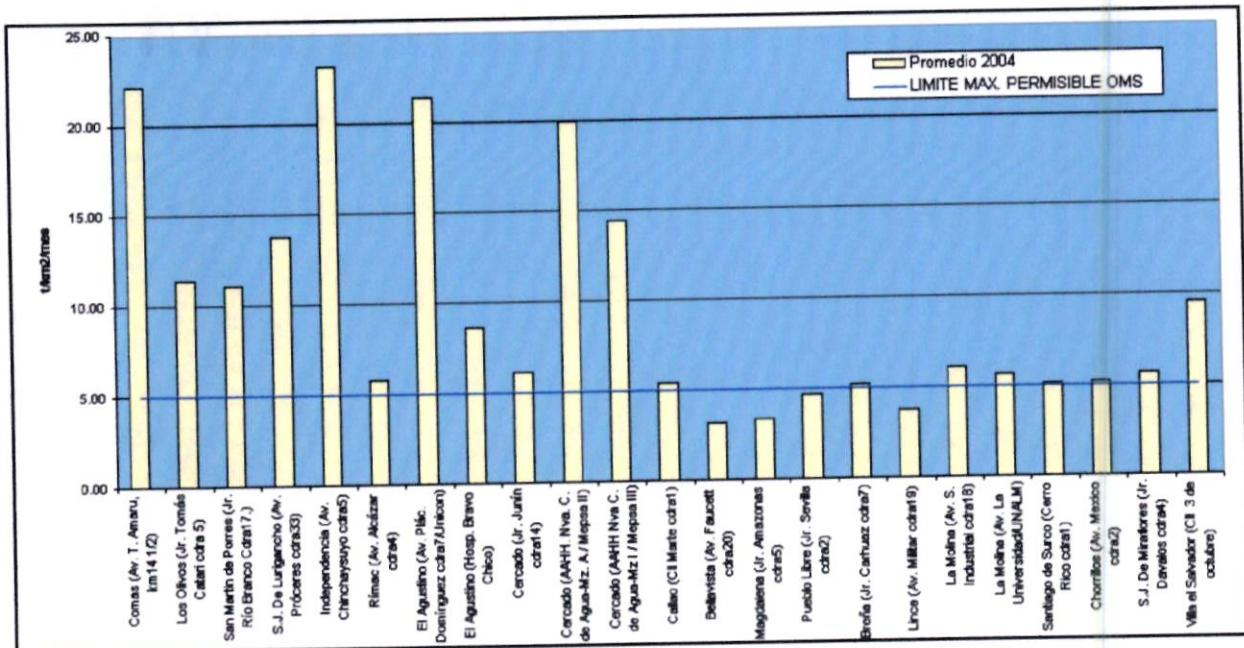


Fig. 6a - Totales anuales de concentración de contaminantes sólidos sedimentables (polvo atmosférico) registrados en Lima-Callao- 2004

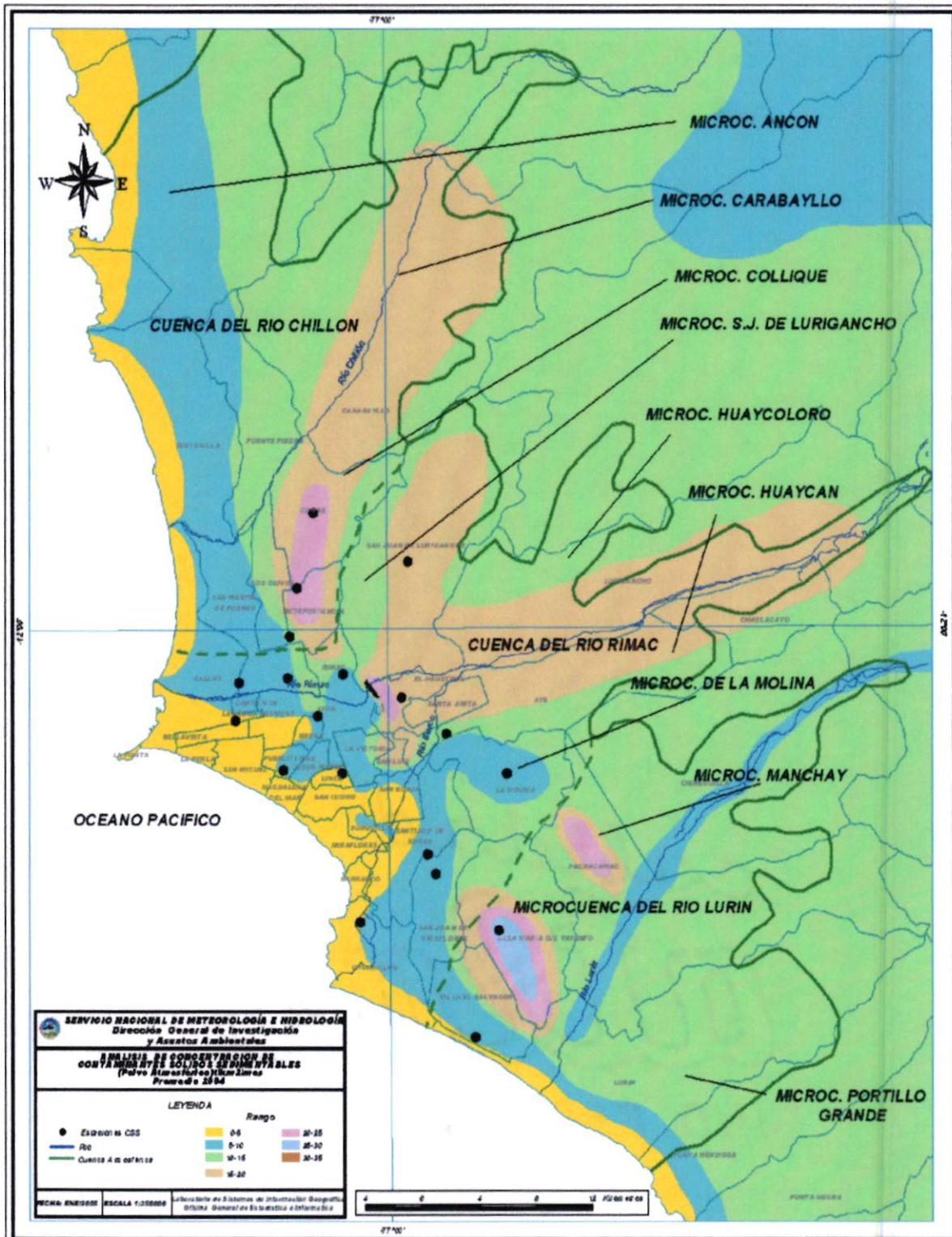


Fig. 6b - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables (polvo atmosférico) en Lima-Callao – Promedio 2004

5.1.2. Análisis del comportamiento de los contaminantes gaseosos.

En el Cuadro N° 3 se presentan los resultados de las mediciones de ozono troposférico y monóxido de carbono realizadas en la estación de calidad del aire SENAMHI y su comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire establecidos por D.S. N° 074 PCM-2001.

Cuadro N° 3. Concentraciones atmosféricas de Ozono troposférico y Monóxido de carbono-2004

Estación del año	Verano (E-F-M) <i>febrero</i>	Otoño (A-M-J) <i>abril</i>	Invierno (J-A-S) <i>agosto</i>	Primavera (O-N-D) <i>noviembre</i>	ECA Nacional
Horario					
Ozono Troposférico (ppb)	15,1	20,8	S/D	20,1	90 ppb(*)
Monóxido de Carbono (ppm)	3,5	S/D	S/D	S/D	25,8 ppm (30000ug/m ³)
8 horas					
Ozono Troposférico (ppb)	13,4	11,3	S/D	12,6	60 ppb (120ug/m ³)
Monóxido de Carbono (ppm)	2,1	S/D	S/D	S/D	8,6 ppm (10000ug/m ³)

(*) Estándar del Estado de California

De acuerdo a los resultados presentados, en ninguno de los casos éstos sobrepasan los Estándares Nacionales ni la norma horaria más exigente para el Estado de California. Ello puede deberse a que los niveles de contaminación por gases todavía no alcanzan los niveles críticos, por lo menos en el ámbito de influencia de la estación cuya ubicación no es la más adecuada debido a que sobre los criterios técnicos predomina el criterio de seguridad de los equipos.

a. Estación de verano (febrero)

Para el presente análisis se ha considerado el monitoreo de los contaminantes gaseosos monóxido de carbono y ozono troposférico en la estación de verano (mes de febrero) registrados en la estación de calidad del aire con sede en el SENAMHI.

-Ozono Troposférico (O₃)

La información registrada por el analizador modelo API 400A en la estación de calidad de aire con sede en el SENAMHI según la **figura 7a**, muestra para el mes de febrero un registro máximo horario de 15,1 ppb ocurrido el día 14 a las

12:00 pm, el cual guarda relación directa con la tendencia del índice UV de este mes, donde alcanzó un máximo de 11.

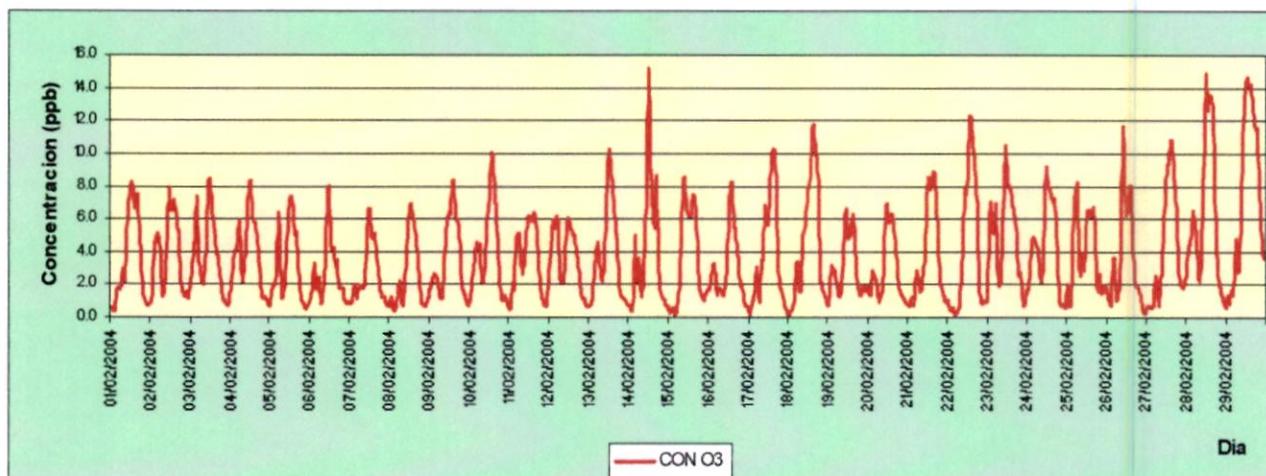


Fig. 7a – Variación temporal horaria de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) durante el mes de febrero del 2004 – Estación de Calidad del Aire SENAMHI

Así mismo, el promedio de las 8 horas alcanzó un valor máximo de 13,4 ppb el día 29, representando un 22% del ECA correspondiente, establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 60,1 ppb (120 ug/m³). Ver **figura 7b**.

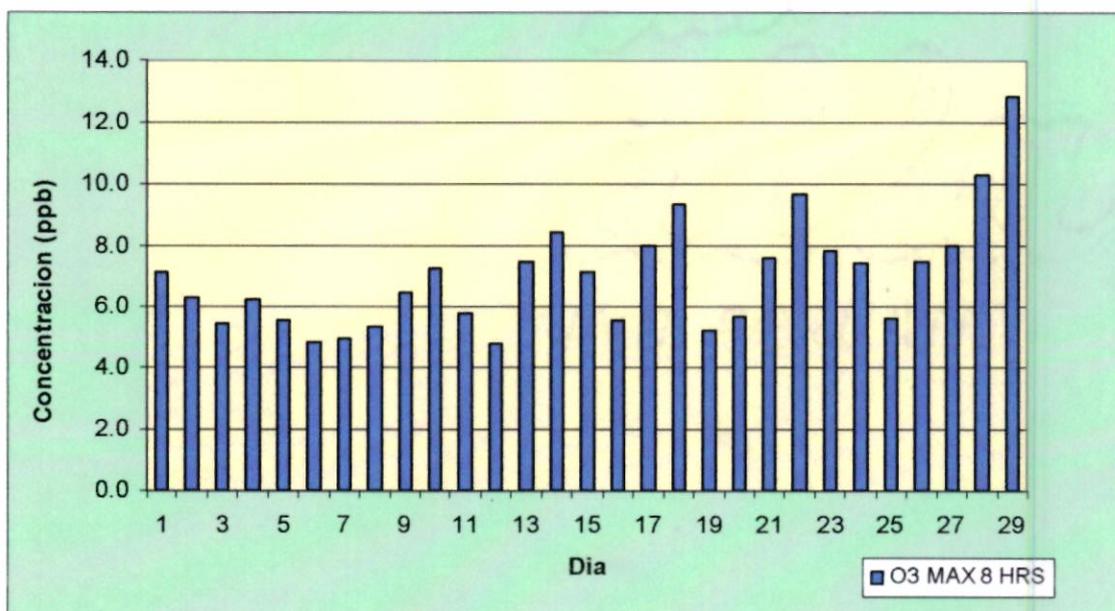


Fig. 7b – Variación temporal máxima de la media móvil (8 horas) de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) - mes de febrero del 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

En una comparación de la variación media horaria (**figura 7c**) con períodos reportados en informes anteriores, se observa la repetición de episodios nocturnos de ozono troposférico en horas de la mañana (entre 3:00 a 6:00 a.m.). El valor máximo horario alcanzado fue de 15,1 ppb.

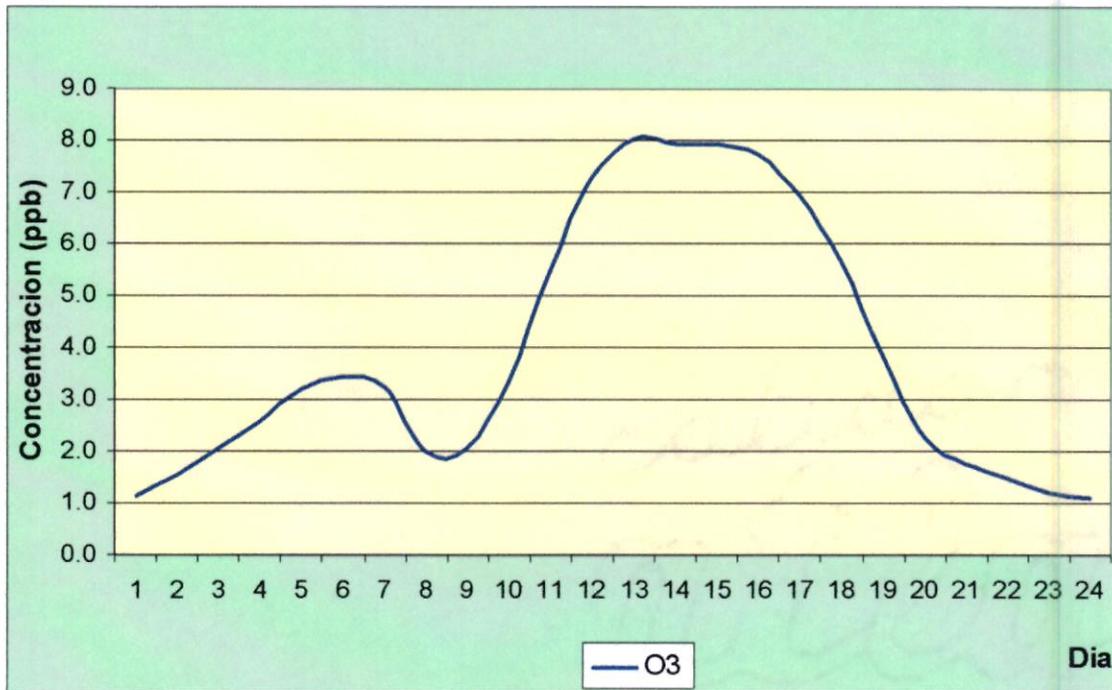


Fig. 7c – Variación media horaria de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) - mes de febrero del 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

-Monóxido de Carbono (CO)

La información registrada por el analizador modelo API 300 en la estación de calidad de aire instalada de la sede central del SENAMHI correspondiente al mes de febrero, se muestra en la **figura 7d** en la forma de variación temporal horaria. Los mayores valores de contaminación se presentan durante las horas de mayor carga vehicular; siendo el valor máximo promedio horario para el período de 3,5 ppm, alcanzado el día 11 a las 9:00 horas. Esto corresponde a un 13,6% del ECA (25,8 ppm) establecido por la norma nacional para una hora. La variación media horaria (**figura 7e**) muestra dos picos predominantes durante el día, los cuales varían en magnitud e importancia, predominando el pico de la noche debido probablemente a la disminución del control policial lo que da paso al incremento de la congestión por la competencia en el recojo de pasajeros.

El máximo del promedio cada 8 horas para el período (**figura 7f**) según establece el D.S. 074-PCM-2001 para el monóxido de carbono, se obtuvo el día 20 a las 22:00 h, correspondiendo a un valor de 2,1 ppm que representa el 24% del ECA Nacional para las 8 horas (8,6 ppm).

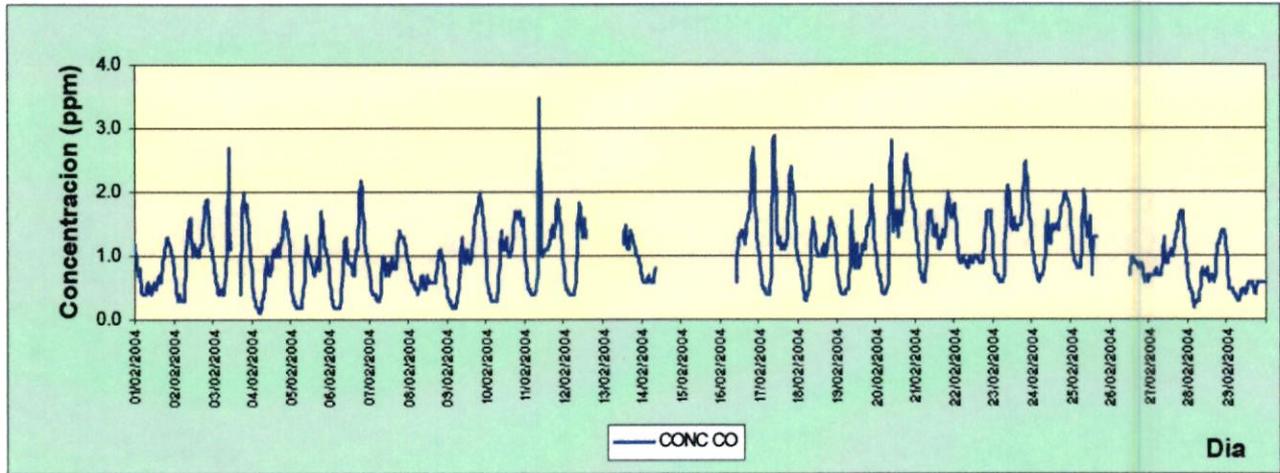


Fig. 7d - Variación temporal horaria de la concentración de Monóxido de Carbono (ppm) durante el mes de febrero del 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

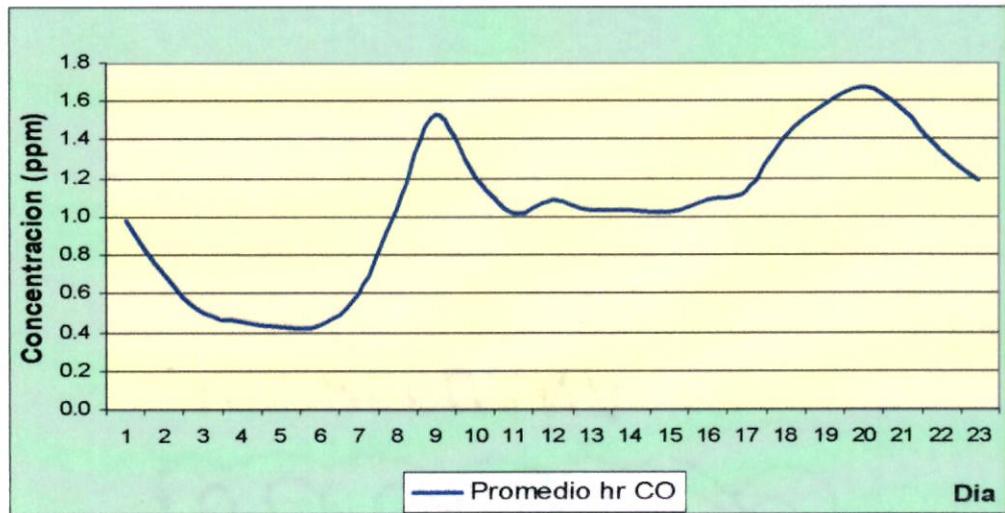


Fig. 7e - Variación media horaria de la concentración de Monóxido de Carbono (ppm) durante el mes de febrero 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

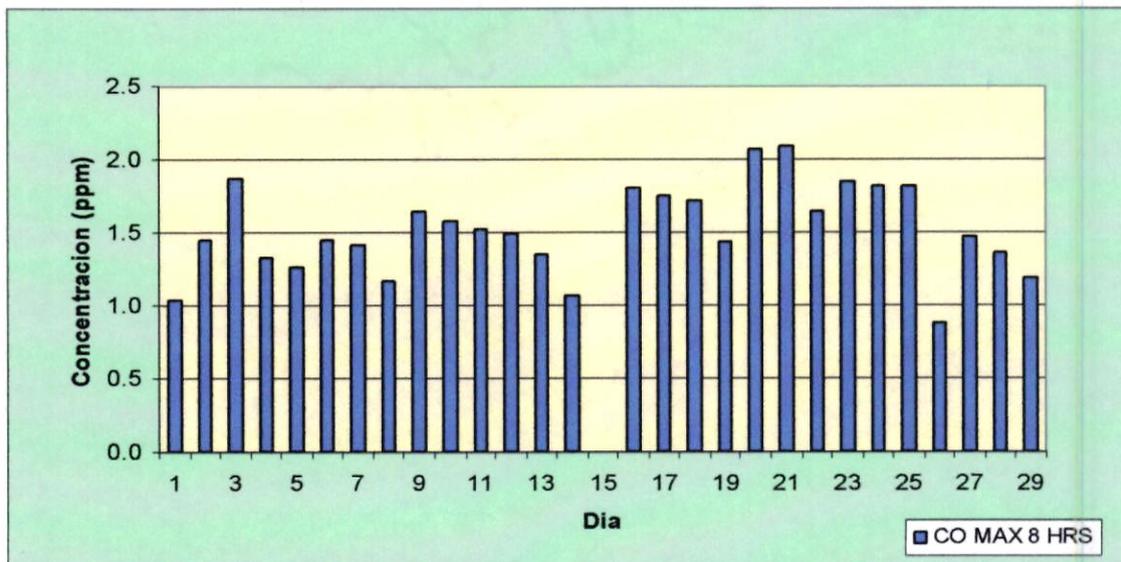


Fig. 7f - Variación temporal máxima de la media móvil (8 horas) del Monóxido de Carbono (ppm) durante el mes de febrero 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

b. Estación de otoño (abril)

Para el presente análisis se ha considerado el monitoreo del contaminante gaseoso ozono troposférico en la estación de otoño (mes de abril) registrado en la estación de calidad del aire con sede en el SENAMHI.

La información registrada por el analizador modelo API 400A en la estación de calidad de aire según la **figura 8a**, muestra para el presente mes un registro máximo horario de 20,8 ppb ocurrido el día 02 a las 12:00 pm, el cual guarda relación directa con la tendencia del índice UV para el mes, donde alcanzó un máximo de 12 instantáneo y 8,2 en promedio.

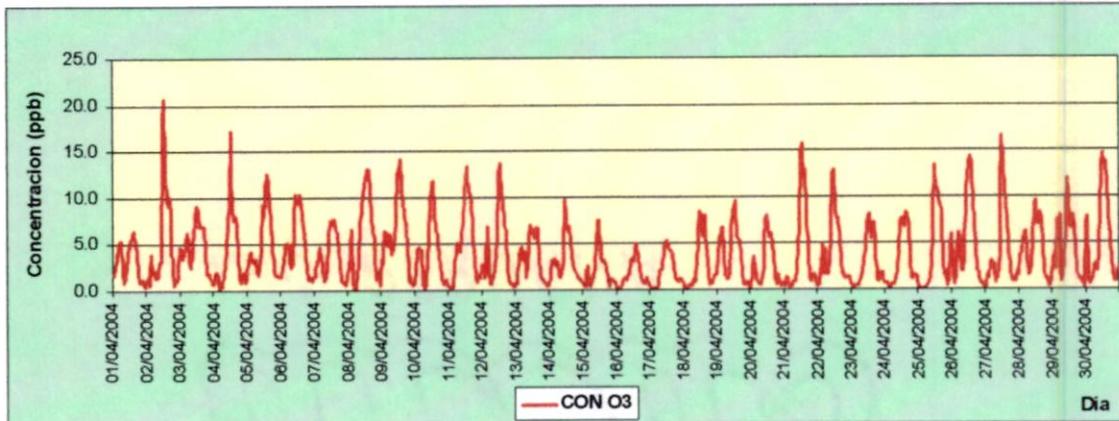


Fig. 8a – Variación temporal horaria de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) durante el mes de abril del 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

Asimismo, el promedio de las 8 horas alcanzó un valor máximo de 11,3 ppb el día 02, representando un 18,8% del ECA correspondiente, establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 60,1 ppb ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ver **figura 8b**

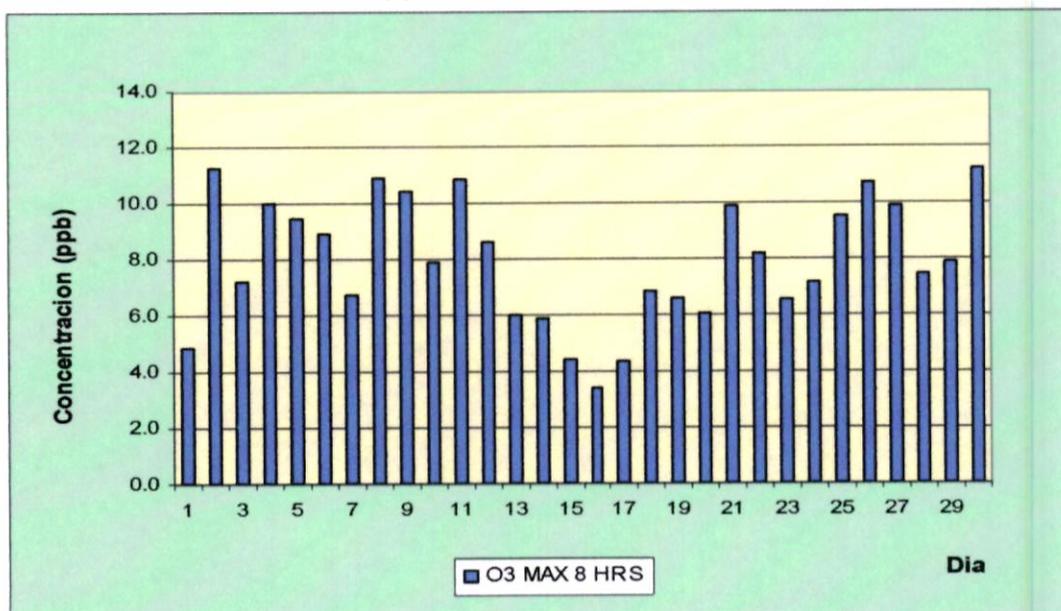


Fig. 8b Variación temporal máxima de la media móvil (8 horas) de la concentración de Ozono Troposférico (ppb), mes de abril del 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

En una comparación de la variación media horaria (**figura 8c**) con períodos reportados en los boletines anteriores, se observa la repetición de episodios nocturnos de ozono troposférico en horas de la mañana (entre 3:00 a 6:00 a.m.). El valor máximo horario alcanzado de 20,8 ppb fue menor al observado en marzo (49,6 ppb).

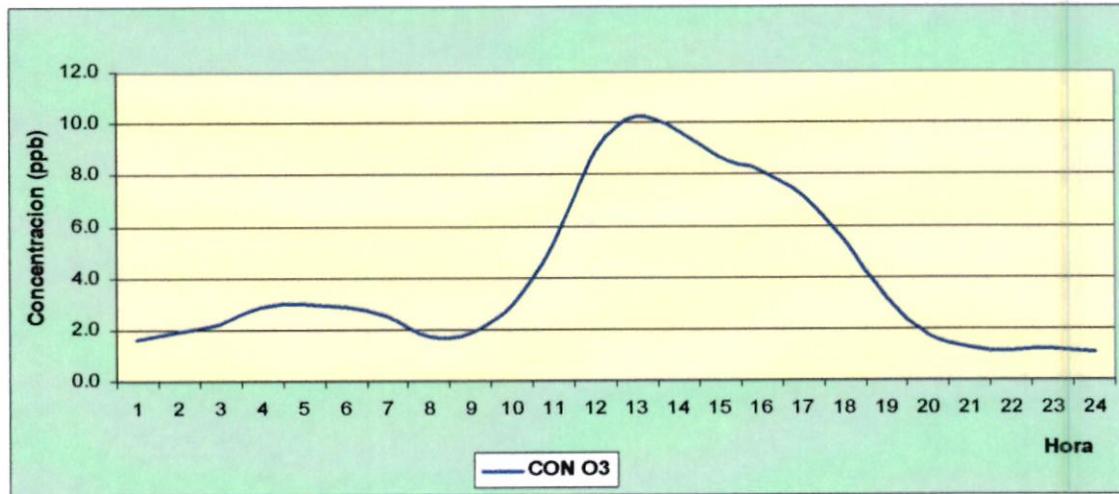


Fig. 8c – Variación media horaria de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) - mes de abril del 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

c. Estación de invierno (agosto)

No se registraron datos. Estación en mantenimiento.

d. Estación de primavera (noviembre)

Para el presente análisis se ha considerado el monitoreo de las concentraciones del contaminante gaseoso ozono troposférico en la estación de primavera (mes de noviembre) registradas en la estación de calidad del aire con sede en el SENAMHI.

Para este mes se observa un registro máximo horario de 20,1 ppb ocurrido el día 24 a las 12:00 pm, en directa relación con la tendencia del índice de radiación ultravioleta para noviembre, donde alcanzó un máximo de 13. Las concentraciones registradas por el analizador ligeramente sobrepasaron los 20 ppb, siendo para esta zona y época del año, inferiores a la norma horaria más exigente correspondiente al Estado de California de 90 ppb. Ver **figura 9a**.

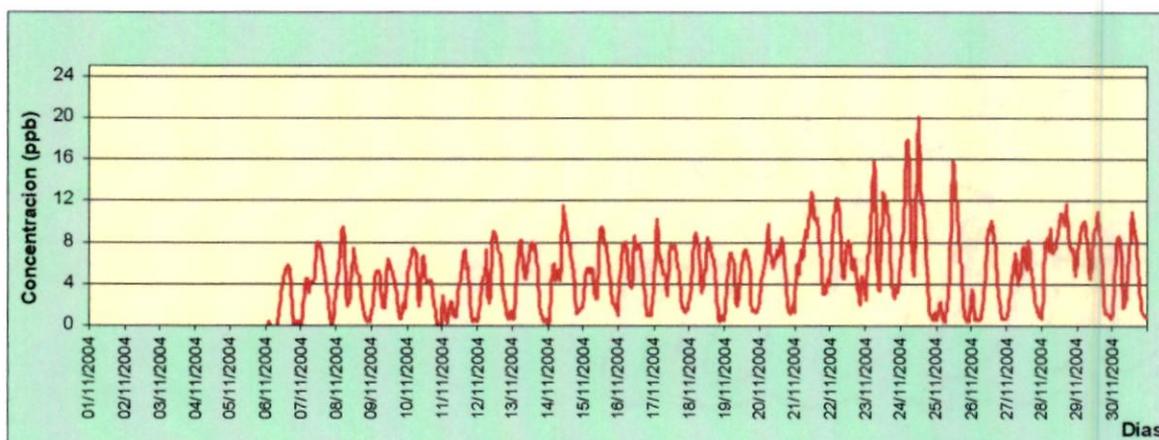


Fig. 9a – Variación temporal de la concentración de Ozono Troposférico durante el mes de noviembre del 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

La variación temporal media horaria de la concentración de Ozono Troposférico se presenta en la **figura 9b**, en donde se puede observar episodios de ozono en horas de la mañana (aproximadamente entre las 3:00 a 6:00 a.m.), el valor máximo horario alcanzado a las 12:00 pm (8,9 ppb) y el valor mínimo entre las 20:00 y 22:00 horas (1,4 ppb).

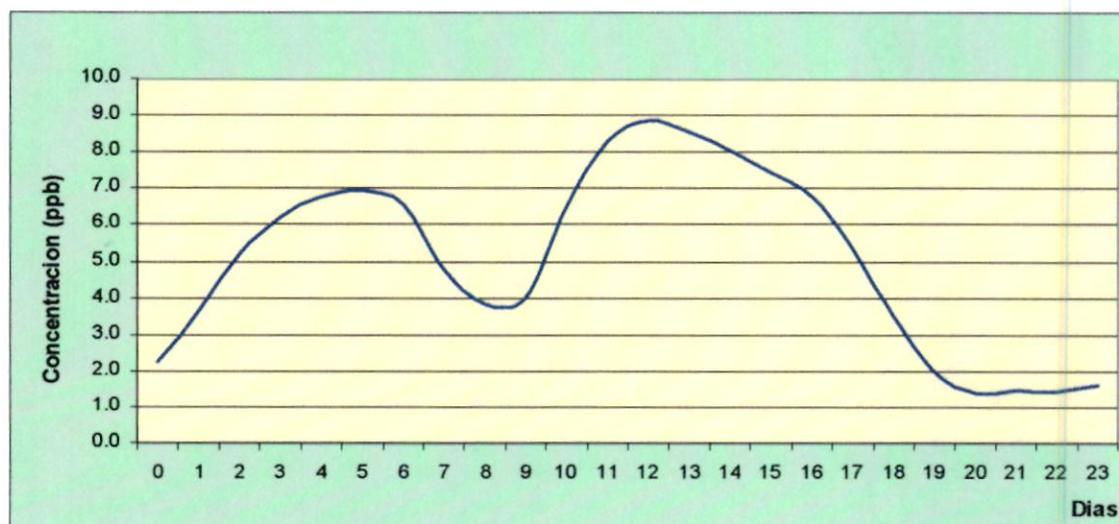


Fig. 9b – Variación media horaria de la concentración de Ozono Troposférico durante el mes de noviembre del 2004 - Estación de Calidad del Aire SENAMHI

Así mismo, el promedio de las 8 horas alcanzó un valor máximo de 12,6 ppb el día 24 a las 17 horas, representando un 21% del ECA correspondiente, establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 60,1 ppb (120 ug/m³). Ver **figura 9c**.

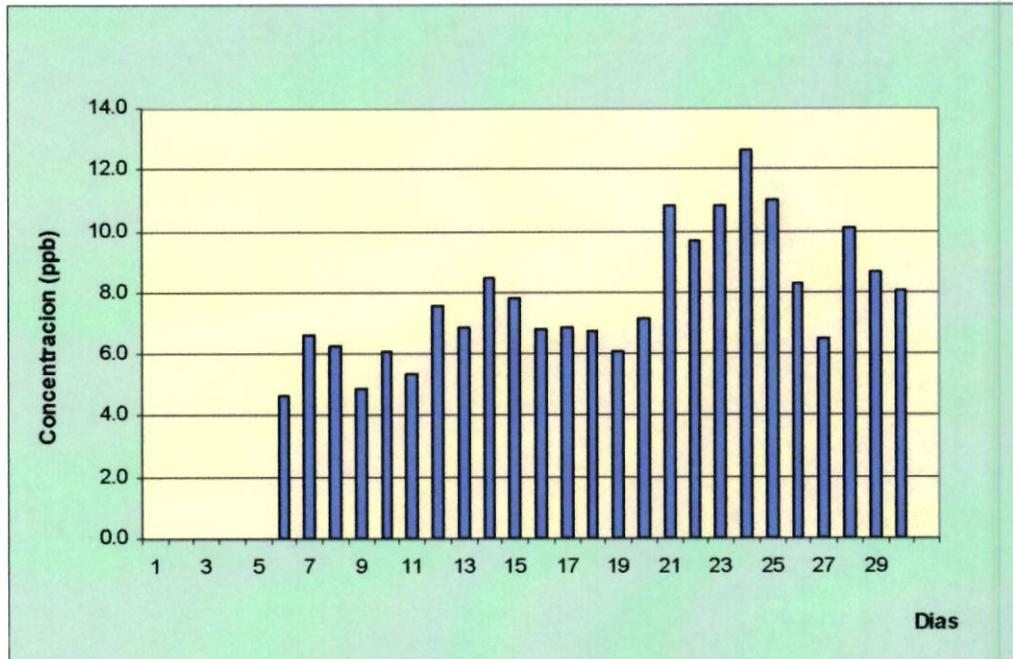


Fig. 9c – Variación temporal máxima de la media móvil (8 horas) de la concentración de Ozono Troposférico (ppb) durante el mes de noviembre del 2004 Estación de Calidad del Aire SENAMHI

5.1.3. Condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas diarias y horarias para la Zona Metropolitana de Lima y Callao se ha basado en la información de la estación automática y de radiosondaje Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao). Ver **figura 1**.

a. Estación de verano (febrero)

-Del análisis de la variación temporal diaria de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) en la estación A.I. Jorge Chávez, se destaca lo siguiente: La temperatura máxima fluctuó entre los valores de 23° y 29 °C, mientras que la mínima osciló entre 19 y 22 °C con una temperatura promedio de 23 °C; en cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 88 a 100% y la mínima entre 55 a 78%, con una media de 82%. Propio de la estación de verano, las temperaturas mostraron un comportamiento ascendente y pese a ser el mes típico de verano, la humedad alcanzó la saturación. Ver **figura 10a**.

-El análisis del viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) para las horas comprendidas entre el día (07:00 – 18:00) y la noche (19:00 – 06:00) es el siguiente (**figuras 11a y 12a**):

- Durante el día (7:00 a 18:00 horas), hacia el litoral costero se registraron vientos de intensidad moderada (4,5 m/s) con dirección S (46%) y SSW (27%).
- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas), se presentaron intensidades moderadas (4,0m/s) del SSE y S (50 y 45%), respectivamente.

- Dada la temporal interrupción de las actividades de sondaje atmosférico en la Zona Metropolitana de Lima-Callao desde setiembre a febrero 2004, se utilizó la información de sondaje del mes de febrero 2003 para evaluar el comportamiento de la temperatura y viento en el perfil de la troposfera de la costa central del Perú, el cual muestra la persistencia de condiciones relativamente inestables, manifestadas en promedio por la débil presencia durante el mes del fenómeno de la inversión térmica, que disminuye de 23 a 10 °C entre superficie y los 700 hPa. De acuerdo a las características descritas en el **Cuadro N° 4a** y la **figura 13a**, la altura media de la base de inversión fue de 669,7 m con una gradiente de 0,9 °C/100m; mientras que los vientos en la estructura vertical se presentaron de direcciones S y WSW con velocidad media de 5 a 10 m/s entre superficie y los 700 hPa. En los niveles medios de la tropósfera los vientos cambiaron a dirección SE, progresaron con la altitud a ESE hasta vientos del E en los 200 hPa con velocidades medias variando entre 10 a 25 m/s.

b. Estación de otoño (abril)

-Del análisis de la variación temporal horaria de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) extremas, se desprende lo siguiente: La temperatura máxima fluctuó entre los valores de 21 a 26,0 °C; mientras que la mínima osciló entre 15,7 a 20 °C, con un promedio para el mes de 20,4 °C; en cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 94 a 100% y la mínima osciló entre 65 a 83%, y el promedio mensual fue de 85%. Las condiciones descritas refieren el paulatino descenso de las temperaturas recién a mediados de la estación otoñal (mes de abril). Ver **figura 10b**.

-Con respecto al análisis del viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) para las horas comprendidas entre el día (07:00 – 18:00) y la noche (19:00 – 06:00) se describe lo siguiente (**figuras 11b y 12b**):

- Durante el día (7:00 a 18:00 horas), se registraron viento de intensidad moderada (4,0 m/s) con dirección predominante del S y SSW (40 y 17%).
- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) se mantuvieron intensidades de viento moderadas (3,5 m/s) con direcciones S (59%) y SSE (27%).

-Con respecto al análisis de la temperatura y viento en el perfil de la troposfera de la costa central del Perú, en la **figura 13b** se muestra el sondaje promedio para el mes de abril y en el **Cuadro N° 4b** se describen sus características. Así, la base media de la inversión estuvo en 293,9 m, con un gradiente de 0,9 °C/100m. Los

vientos desde superficie hasta 300 hPa oscilaron entre SW a SE con intensidades de 5 a 10 m/s. En los niveles superiores los vientos fueron de NW.

c. Estación de invierno (agosto)

-La variación temporal horaria de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) extremas es como sigue: los valores de la temperatura máxima fluctuaron de 17 a 21 °C, mientras que la mínima fue de 14° a 16 °C, con una temperatura promedio de 16,5 °C; con respecto a las humedades relativas, la máxima se presentó entre 88% a 100%, y la mínima osciló entre 64 a 82%, con una humedad media para el mes de 84%. Durante el mes, los días se presentaron nublados parciales a despejados con brillo solar hacia el mediodía y con ligeras precipitaciones en horas de la noche principalmente durante la segunda quincena. Ver **figura 10c**.

-El análisis de la información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) para el día (07:00 – 18:00) y la noche (19:00 – 06:00) es el siguiente (**figuras 11 y 12c**):

- Durante el día (7:00 a 18:00 horas) el viento fue de intensidad moderada (3,3 m/s) con direcciones provenientes del S y SSW (37 y 19%), respectivamente.
- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) las intensidades también se presentaron moderadas (3,11 m/s) con direcciones S y SSE (51 y 30%), respectivamente.

-En la **figura 14a** se muestra el sondaje meteorológico promedio para el mes de agosto. Al analizar la información recopilada durante cada sondaje, se observó que la capa de inversión térmica en la costa central de Perú estuvo presente durante los 24 días en que se realizaron observaciones, con características descritas en el **Cuadro N° 4c**. Los vientos entre superficie y 500 hPa fluctuaron entre SE, S y SW con intensidades de 2,5 a 10 m/s. Desde los 400 hPa hacia arriba, los vientos fueron del W con intensidades de 12,5 a 25 m/s.

Las características de la Inversión térmica muestran una altura de base de 848 m e intensidad o gradiente de 2 °C/ 100 m, que es la más intensa estabilidad atmosférica, por debajo de la cual la alta humedad relativa en 9 de los 24 días con observaciones (38%) ocasionó garúas principalmente en los distritos adyacentes al litoral.

d. Estación de primavera (noviembre)

-Del análisis de la variación temporal diaria de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) extremas se observa lo siguiente: los valores de la temperatura máxima fluctuaron de 21 a 24 °C y la mínima de 17 a 19 °C, con una media de 19,4 °C, resaltando el ingreso de las condiciones primaverales; con respecto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 88 a 94% y la mínima de 65 a 73%, con una media de 82% (ver **figura 10d**). Durante el mes de noviembre, las condiciones primaverales se fortalecieron en la última quincena, con

presencia de brillo solar hacia el mediodía y extendiéndose hacia horas de la tarde.

-El análisis de la información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente a noviembre presentado en las **figuras 11 y 12 d**, para el día (07:00 – 18:00) y la noche (19:00 – 06:00) es el siguiente:

- Durante el día (7:00 a 18:00 horas), prevalecieron condiciones de viento de intensidad moderada (3,7 m/s) con direcciones provenientes del S y SSW (47 y 21%), respectivamente.
- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) se registraron vientos moderados con direcciones S y SSE con frecuencias de 59 y 31%, respectivamente.

-En la **figura 14b** se muestra el sondaje meteorológico promedio para el mes de noviembre. Del análisis realizado, se observó que la capa de inversión térmica en la costa central de Perú estuvo presente durante los 13 días en que se realizaron observaciones, con características descritas en el **Cuadro N° 4d**.

Desde superficie hasta nivel de 600 hPa, los vientos presentaron direcciones predominantes del SW con intensidades de hasta 10 m/s. Entre los 600 hPa a 300 hPa, los vientos fluctuaron desde SW hasta SSW con intensidades de 10 a 15 m/s; desde los 300 hPa hacia niveles superiores, los vientos fueron del NW con intensidades de hasta 25 m/s.

Para este mes, en promedio, la altura de la base de la Inversión fue de 868,1 m y su intensidad o gradiente fue de 1,3 °C/100m.

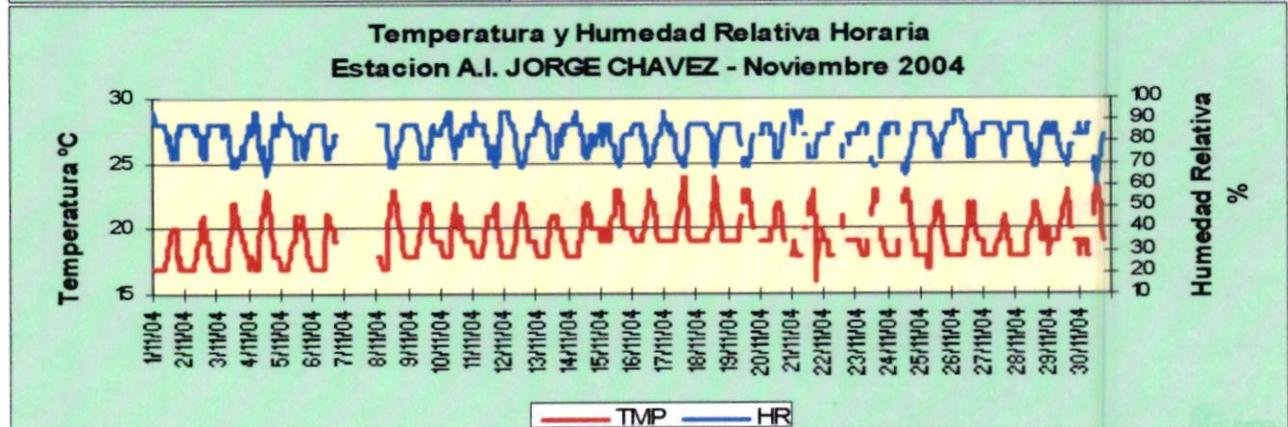
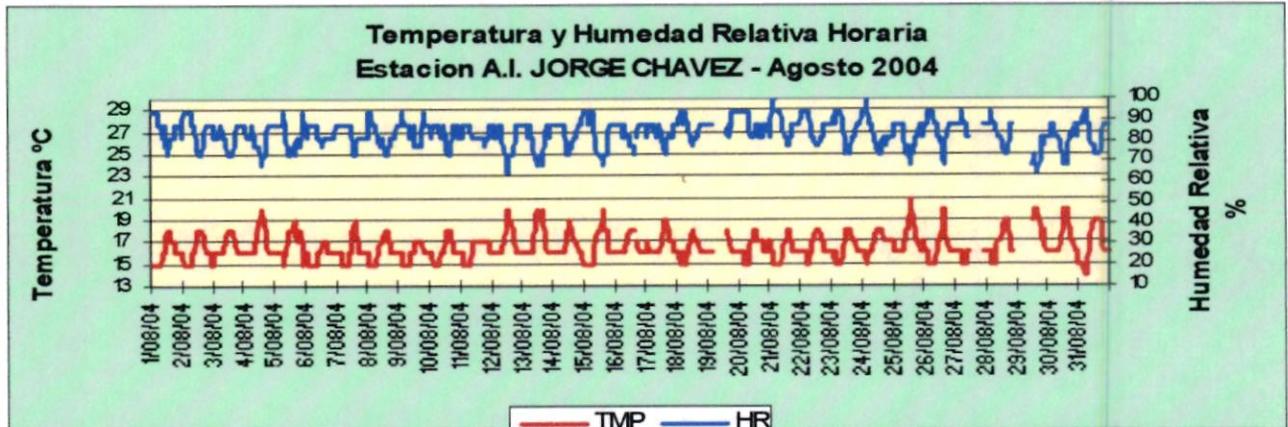
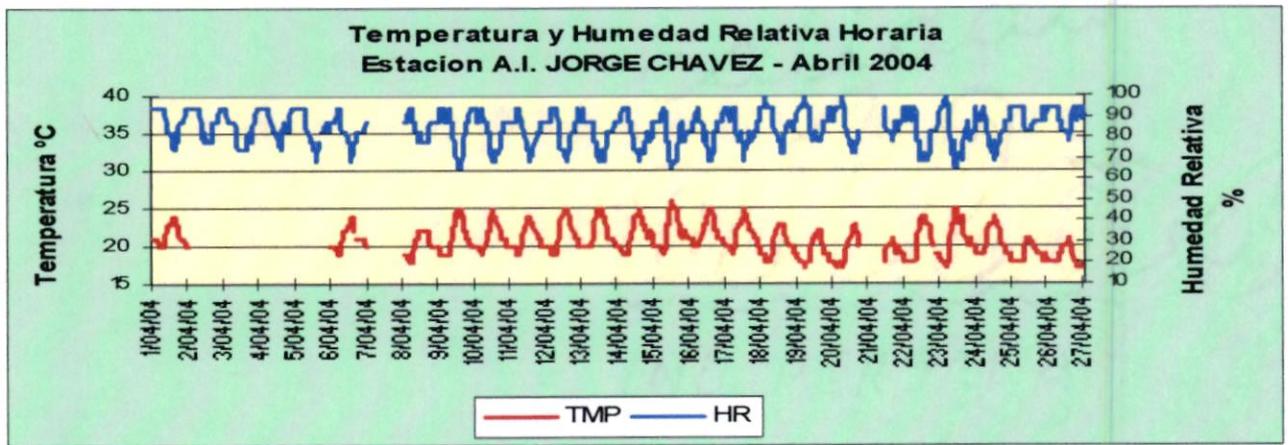
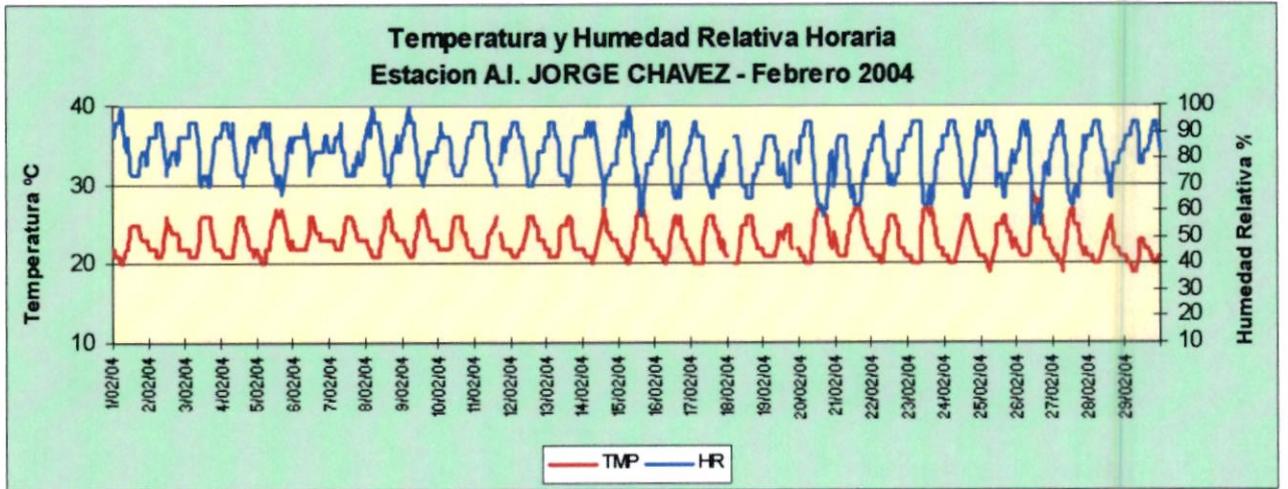


Fig.10a, b, c, d.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa - J. Chávez

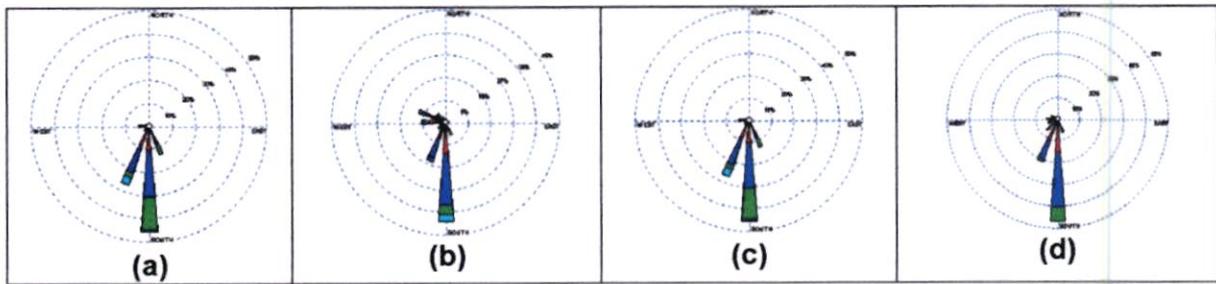


Fig. 11 – Rosas de viento (m/s) diurnas: Verano (a), Otoño (b), Invierno (c), Primavera (d)

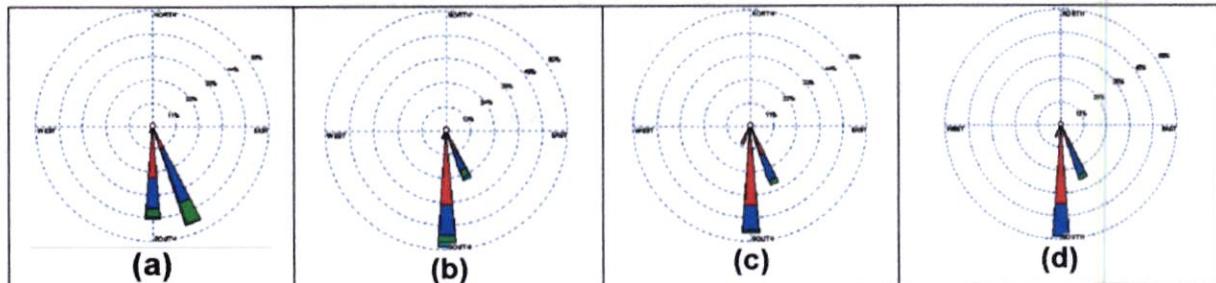


Fig. 12 – Rosas de viento (m/s) nocturnas: Verano (a), Otoño (b), Invierno (c), Primavera (d)

Cuadro N° 4: Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú

a). Estación de Verano (febrero)

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metros	482	día 23	17	día 26	162,3
Altura Base	metros	3051	día 3	13	días 7,9,13,16,17,20,26	669,7
Altura Tope	metro	3302	día 3	30	día 26	832,0
T Base	° C	22,0	día 13	8,4	día 3	18,8
T Tope	° C	22,8	día 9,28	11,8	día 3	20,1
Gradiente	°C /100metros	3,2	día 25	0,2	día 3	0,9
H.R. Base	%	100	día 11	67	día 1	93,4
H.R. Tope	%	95	día 19	21	día 18	75,7

b). Estación de Otoño (abril)

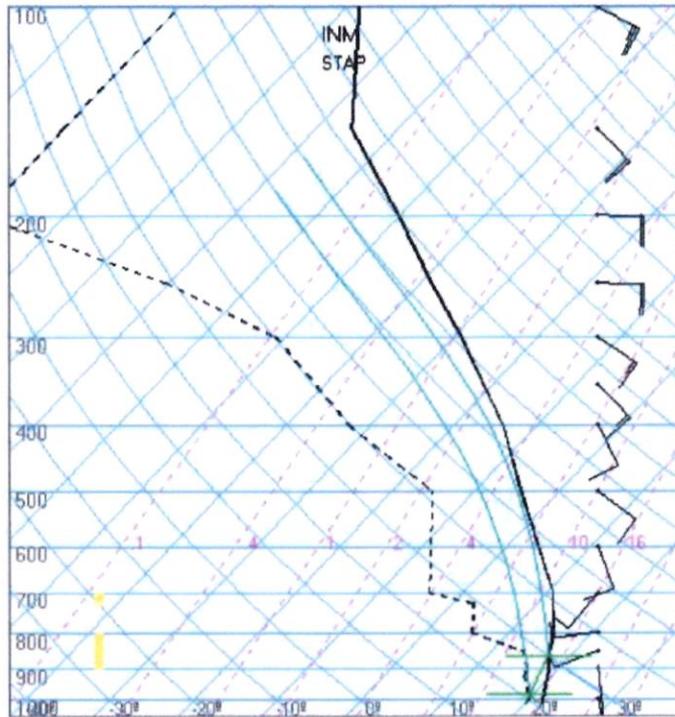
PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metros	1593	día 28	152	día 11	536,7
Altura Base	metros	772	día 21	13	día 8,9,12,15,17,22,23,24,28,29	293,9
Altura Tope	metros	1939	día 30	256	día 17	830,6
T Base	° C	19,4	días 4,10,13,17	13,2	día 30	17,4
T Tope	° C	24,0	día 17	18,4	día 21	20,8
Gradiente	°C /100metros	3,2	día 25	0,2	día 3	0,9
H.R. Base	%	99	días 4,9,28	77	día 27	95,5
H.R. Tope	%	88	día 11	28	día 2	60,0

c). Estación de Invierno (agosto)

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metros	946	día 4	239	día 3	584
Altura Base	metros	1317	día 2	361	día 31	848
Altura Tope	metros	1867	día 5	796	día 31	1432
T Base	°C	12,8	día 31	7,4	día 2	9,7
T Tope	°C	25,2	día 21	17,2	día 3	20,2
Gradiente	°C /100metros	4,3	día 2	0,9	día 4	2,0
H.R. Base	%	98	días 4,6,9,13,18,19,25,29	95	día 30	94
H.R. Tope	%	40	días 2,31	2	día 10	17

d). Estación de Primavera (noviembre)

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metros	1119	día 09	112	día 16	516,7
Altura Base	metros	1344	día 10	293	día 04	868,1
Altura Tope	metros	2006	día 09	783	día 15	1377,4
T Base	°C	18,4	día 5	10,6	día 10	12,9
T Tope	°C	20,6	día 4	15,0	día 15	17,9
Gradiente	°C /100metros	6,4	día 16	0,4	día 14	1,3
H.R. Base	%	99	días 18	67	día 7	89,5
H.R. Tope	%	67	día 25	5	día 1	47,8



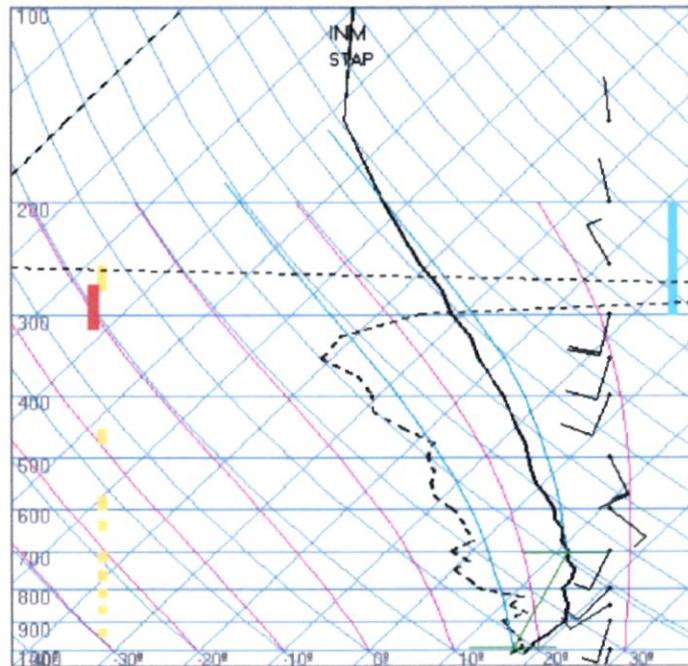
Callao
28-02-0312z
12z

TT: 40
K : 20

Agua Prec.(mm)
(SF-85): 22
(85-70): 12
(70-50): 7
(50-20): 2
(Total): 44
T=0 : 5065 m
Tu=0: 4072 m

Pres.ini: 1011
NCC: 1357 m
Tc= 30.7 °C

NCA: 247 m
LI= 4.8
NCL=***
EL=***



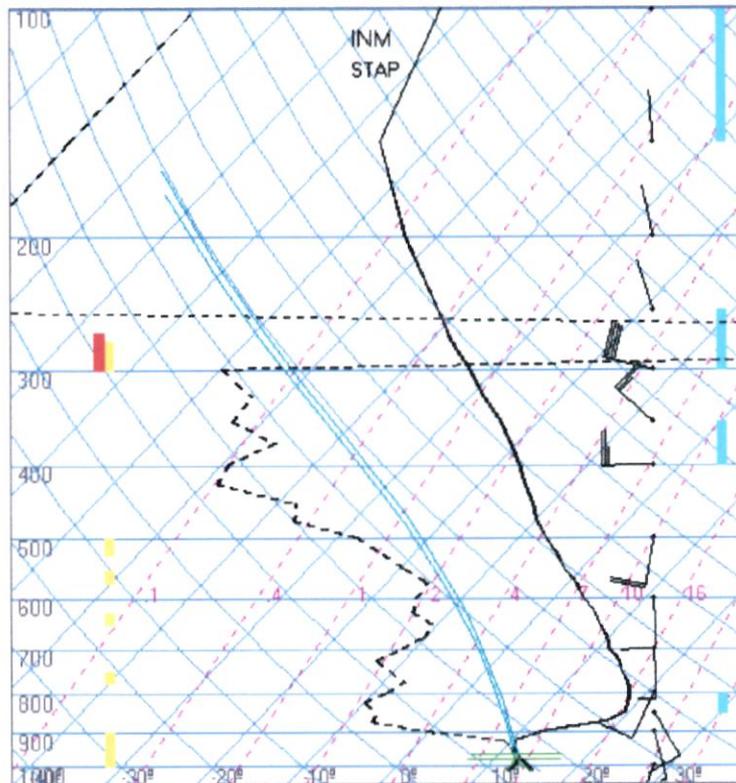
Lima
04-04-12z
12z

TT: 38
K : 20

Agua Prec.(mm)
(SF-85): 19
(85-70): 12
(70-50): 8
(50-20): 30
(Total): 68
T=0 : 5002 m
Tu=0: 4269 m

Pres.ini: 1011
NCC: 3076 m
Tc= 42.3 °C
EL= 12569 m
NCA: 221 m
LI= 9.9
NCL=***
EL=***

Fig. 13. - Radiosondaje mensual promedio durante febrero (a) y abril (b) 2004 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)

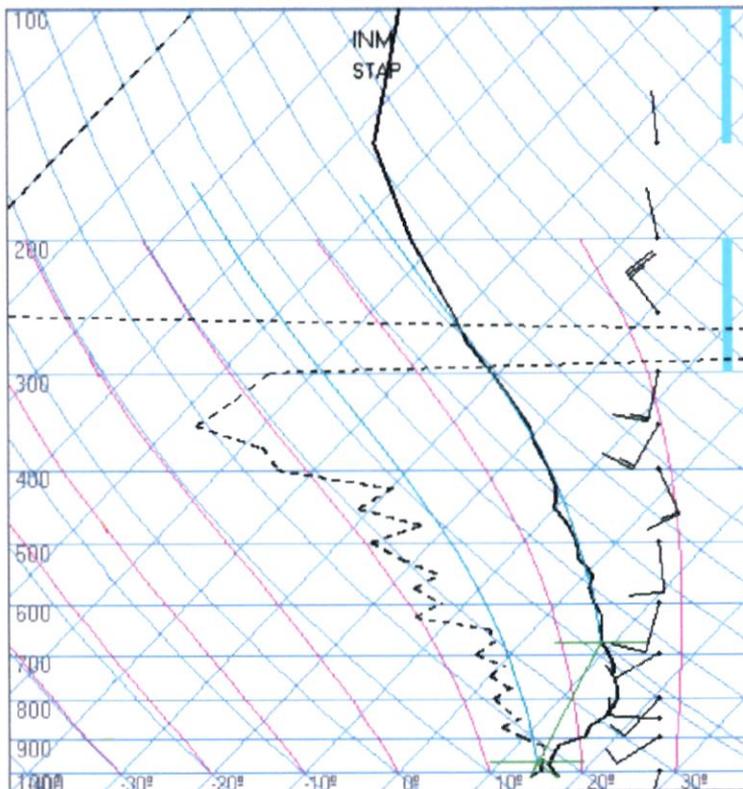


Lima
agosto0406z
06z

TT: 26
K : -4

Agua Prec. (mm)
(SF-85): 12
(85-70): 4
(70-50): 4
(50-20): -175
(Total): -156
T=0 : 4879 m
Tw=0: 3852 m

Pres. ini: 1014
NCC: 441 m
Tc= 16.3 °C
EL= 693 m
NCA: 340 m
LI= 14.3
NCL=***
EL=***



Lima
noviembre12z
12z

TT: 33
K : 14

Agua Prec. (mm)
(SF-85): 16
(85-70): 10
(70-50): 6
(50-20): 566
(Total): 598
T=0 : 5188 m
Tw=0: 3956 m

Pres. ini: 1013
NCC: 3437 m
Tc= 43.4 °C
EL= 3558 m
NCA: 401 m
LI= 13.4
NCL=***
EL=***

Fig. 14. - Radiosondaje mensual promedio durante agosto (a) y noviembre (b) 2004 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)

VI. CONCLUSIONES

-Ciudades como Lima Metropolitana que experimentan un crecimiento urbano desordenado, informalidad en el uso de la tierra, frecuentes casos de falta de especificación de límites distritales por cuestiones de tributación, intensos aportes de contaminantes de las actividades socioeconómicas, etc, se caracterizan por presentar severos problemas de contaminación ambiental que deterioran seriamente la calidad de vida de la población.

-Las principales fuentes de contaminación *in situ* identificadas son atribuidas a la intensa actividad vehicular a lo largo de importantes avenidas de conexión interdistrital, a las actividades comerciales formales e informales, a las emisiones fugitivas de complejos industriales, a los botaderos de basura, a la quema de residuos sólidos, al importante déficit de áreas verdes y a la baja conciencia ambiental de la población.

-La mayor o menor concentración de contaminantes en un área determinada, depende no sólo de los aportes *in situ* sino también de los provenientes de otros lugares y que son transportados por el principal agente dispersor, el viento.

-El Programa de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima-Callao ha permitido realizar un diagnóstico de las principales áreas críticas de la capital por acumulación de contaminantes sólidos sedimentables (polvo atmosférico) y contaminantes gaseosos a través de la red de muestreo con el método pasivo de placas y la estación automática de calidad del aire.

-El comportamiento de los contaminantes sólidos sedimentables (polvo atmosférico) monitoreado a través de una red de 24 estaciones, está sujeto a las variaciones estacionales. Así, en la estación de verano la concentración media es la máxima y en invierno la mínima; y durante las estaciones de transición se va delineando la tendencia respectiva, los mínimos en abril hacia los máximos en noviembre.

-La concentración media de polvo atmosférico para el año 2004 fue de 10,3 t/km²/mes, en donde el 84% de las estaciones superaron el valor referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud equivalente a 5t/km²/mes. En general, durante todos los meses se supera el valor referencial en más del 50% de las estaciones, con excepción de las áreas costeras y parte de algunos distritos residenciales.

-La evaluación de los resultados del monitoreo automático de los contaminantes gaseosos monóxido de carbono y ozono troposférico en la estación de calidad del aire sito en SENAMHI, refiere que no se sobrepasan los estándares de calidad ambiental del aire establecidos por D.S. N° 074 – PCM-2001 en ninguno de los meses observados, probablemente debido a que los niveles de contaminación por gases todavía no alcanzan los niveles críticos, por lo menos en el ámbito de influencia de la estación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beard; Wertheim. 1967. Behavioural Impairment Associated with Small Doses of Carbon Monoxide. A.J Pub. Health.
- Consultora SwissContact. 2001. Manual de Laboratorio - Proyecto Monitoreo del aire. Programa de Aire Puro para Centroamérica. Lima, Perú.
- Goldsmith; Landaw. 1968. Carbon Monoxide and Human Health. Journal of Science. USA
- Grupo de Estudio Técnico Ambiental para los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire: Decreto Supremo N° 074-2001-PCM; El Peruano del 21.06.01. Lima, Perú.
- Hedin, L.; Likens, G. 1996. Atmospheric dust and acid rain. Published in Scientific American. USA.
- Hindawi, I. 1970. Air Pollution Injury to Vegetation. U.S. Department Health, Education and Welfare.
- Silva, J.; Concepción, E.; Montoya, Z. 2004. Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima-Callao. Boletín Meteorológico e Hidrológico del Perú. Parte IV. Año IV, N° 2; 4; 8;11. SENAMHI. Lima, Perú.
- Seinfeld, J. Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution. 1986. USA.