

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/SETIEMBRE-2005

INDICE

1	INTRODUCCION	3
2	TEMA DE INTERÉS DEL MES: RELACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR PARTÍCULAS CON LOS EFECTOS SOBRE LA SALUD	3
3.	CUENCA ATMOSFERICA DE Z.M. DE LIMA-CALLAO	4
4.	METODOLOGÍA	6
5.	RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL	9
	5.1 Distribución espacial de la deposición seca (contaminantes sólidos sedimentables) durante el mes de setiembre del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	9
	5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno setiembre 2005	11
	5.3 Condiciones Meteorológicas durante el mes de setiembre	14
6.	CONCLUSIONES	19 - 20

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao	8
Fig. 2 -	Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de agosto y setiembre 2005 en Lima-Callao	10
Fig. 3 -	Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de setiembre del 2005	11
Fig. 4a-	Concentraciones horarias de NO y NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. setiembre 2005	12
Fig. 4b-	Concentraciones horarias máximas, medias y mínimas de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. setiembre 2005	12
Fig. 4c-	Percentiles de NO ₂ de la estación de calidad del aire –SENAMHI. Setiembre 2005	13
Fig. 4d-	Concentraciones máximas medias horarias de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. setiembre 2005	13

Fig. 5 - Variación horaria de la temperatura y humedad en el Callao y La Molina durante el mes de setiembre del 2005 en Lima	15
Fig. 6a - Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Comas y Jesús María durante el mes de setiembre del 2005 en Lima-Callao	15
Fig. 6b- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Chorrillos durante el mes de setiembre del 2005 en Lima-Callao	16
Fig. 7 – Rosas de viento Diurnas	17
Fig. 8 – Rosas de viento Nocturnas	18

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Concentraciones de los contaminantes sólidos sedimentables. Meses de agosto y setiembre 2005	9
--	---

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/SETIEMBRE-2005

Elaboración

Ing. José Silva Cotrina
Bach. Zarela Montoya Cabrera
SO3. FAP Juan López Malhaber

1. Introducción

Durante el mes de setiembre, personal profesional de la Dirección general de Investigación y Asuntos Ambientales – DGIA, en representación del SENAMHI, participó los días 8 y 9 en el Tercer Congreso Nacional de Prospectiva “Prospecta Perú 2005”, que tuvo lugar en la Pontificia Universidad católica del Perú, en el que como tema central se propuso la utilización de esta ciencia como herramienta indispensable de planeamiento estratégico para el desarrollo empresarial así como de la ciencia, tecnología e innovación tecnológica. Así mismo, el Servicio, a través de la DGIA, como coordinadora, y la Dirección General de Meteorología, participó el día 11 de setiembre en el Festival Expo Surco Ambiental organizado por la Municipalidad de Surco mediante la presentación de paneles y de una ponencia sobre calidad del aire y cambio climático al público asistente, quien se manifestó muy interesado en la situación ambiental del distrito.

El presente boletín muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico contaminante o sólidos sedimentables y contaminantes gaseosos (óxidos de nitrógeno) en la zona metropolitana de Lima-Callao en relación con las condiciones meteorológicas imperantes durante este mes. En términos generales, las concentraciones de polvo atmosférico fueron ligeramente superiores a las registradas en agosto, manteniendo un comportamiento propio de la temporada de invierno que se caracteriza por la menor turbulencia del aire y por lo tanto, procesos menos intensos de suspensión y resuspensión de las partículas.

2. Tema de Interés: Relación de la contaminación por partículas con los efectos sobre la salud

Existen estimaciones que refieren que el 48% de muertes prematuras a escala global se deben a material particulado en el ambiente y contaminación intradomiciliaria con un potencial de 500,000 muertes al año por la primera y 2,5 millones por la segunda. A ello se suma que el 20 a 30% de las enfermedades respiratorias se deben a la contaminación ⁽¹⁾.

Aproximadamente 1 400 millones de personas en el mundo están expuestas a niveles excesivos de humo y material particulado de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y 3 millones de personas mueren al año por los efectos de la contaminación del aire, lo que significa tres veces a la cantidad de muertes ocasionadas por los accidentes de tránsito. En ciudades en desarrollo, los contaminantes críticos del aire son las partículas y el plomo, si éste aún no ha sido retirado de la gasolina⁽¹⁾.

La contaminación del aire en ciudades de América Latina se constituye en un problema serio. Concentraciones elevadas en ciudades grandes como Sao Paulo o Ciudad de México muchas veces origina el cierre de industrias, restricciones vehiculares y el traslado de éstas a áreas más alejadas, todo ello cuando las herramientas legales favorecen la preservación del ambiente.

Sin embargo, las emisiones de material particulado, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, amoníaco y ozono, han aumentado progresivamente en décadas recientes.

En ciudades como Lima, de acuerdo a estudios desarrollado por el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), se estima que 4 de cada 100 muertes pueden ser atribuidas a la contaminación atmosférica por partículas ⁽²⁾. El aire de esta ciudad con casi 8 millones de habitantes, recibe el aporte de partículas tanto sólidas como líquidas de diferente forma y tamaño constituidas por aerosoles, vapores orgánicos y metálicos; microgotas de lluvia ácida, las provenientes de la quema de combustibles de baja calidad por las actividades del transporte, industria, comercio, doméstica e inadecuada disposición de la basura; polen de la fase de floración de las plantas; bacterias, quistes y virus del fecalismo al aire libre tanto de la población sin servicios básicos como de animales domésticos y fauna natural; y el polvo de las calles y avenidas con o sin asfalto ^(3, 4). Todas estas partículas son inyectadas a la atmósfera por la turbulencia originada naturalmente y por el movimiento urbano (ej. circulación vehicular) y por lo tanto están sometidas a un continuo proceso de suspensión y re-suspensión. Referencias estadísticas indican que evidentemente en la capital la incidencia de procesos respiratorios se ha incrementado y que están asociados a la contaminación; aproximadamente el 25% de las atenciones ambulatorias en la capital son por procesos respiratorios ⁽⁵⁾. Sin embargo, se han establecido medidas para la implementación de las revisiones técnicas de vehículos y la mejora en la calidad de los combustibles, con resultados esperados a mediano y largo plazo.

3. Cuenca atmosférica Lima-Callao

La cuenca atmosférica es una región geográfica, delimitada por los obstáculos topográficos de origen natural (líneas costeras, formaciones montañosas, etc.), 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 (capa límite de la atmósfera), 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 D.S. 074-2001-PCM sobre 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 reconocidas por el Decreto 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 ha identificado tres cuencas hidrográficas con sus respectivas microcuencas atmosféricas (ver **figura 1**) que son las siguientes:

3.1 Cuenca del río Chillón

La Cuenca del río Chillón abarca los distritos de Ancón, Santa Rosa, Ventanilla, Puente Piedra, Carabaylo, 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

3.2 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, San Juan de Lurigancho, Lurigancho, 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

3.3 Cuenca del río Lurín

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

Microcuenca de Manchay: Distrito de Pacahacamac

Microcuenca de Portillo Grande: Distrito de Lurín

Microcuenca por I.D. : Distrito de Pacahacamac

1 GTZ. 2002. Módulo 5. Manejo de la calidad del aire. Transporte Sostenible: texto de referencia para formulación de políticas públicas en ciudades en desarrollo. Extraído de www.cleanairnet.org/lac/1471/articles-58271_pdf.pdf

2 El Comercio. 2005. Edición del lunes 5 setiembre. Extraído de <http://www.elcomerciope.com.pe/EdicionOnline/Html/2005-07-10/onlPortada0335622.html>

3 Silva, J. 2001. Factores Meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación del aire de la ciudad de Lima. Lima, Perú.

4 Varios. 2000. Programa para mejorar la calidad del aire en Tijuana Rosarito 2000-2005. México D.F. México

5 MINSA. 2004. Análisis de Situación de Salud. Dirección de Salud V. Lima Ciudad. Lima, Perú.

El clima de la cuenca atmosférica de Lima –Callao, como consecuencia de la interacción de tres factores climáticos semipermanentes: a) el Anticiclón del océano Pacífico suroriental, b) la cordillera de los Andes y c) la corriente de Humboldt (fría), es de permanente aridez debido de lo siguiente:

-Establecimiento de un fenómeno de inversión térmica durante todo el año en los niveles bajos de la tropósfera de la costa peruana, por lo general con menor altitud, espesor e intensidad durante los meses de verano (la base a 255 msnm. y el tope a 596 msnm. y muy débil intensidad), evoluciona hasta alcanzar su mayor altitud, espesor e intensidad al final del invierno (con base a 675 msnm. y tope a 1490 msnm. e intensidad de 5°C).

-Temperatura anual multianual, durante el verano, en las zonas cercanas a la costa, oscila entre 20,2 a 25,8°C y entre 19,8 a 28,2°C en los distritos del este. En el invierno varía entre los 15,5 a 18,3°C en la zonas cercanas a la costa y entre 13,1 a 18,6°C en los distritos del este.

-Precipitación media mensual multianual que varía desde 10 mm/año cerca de la línea costera a 40 mm/año en los distritos del este.

-La velocidad del viento superficial varía entre 3 y 5 m/s con 4 a 8% de calmas, de direcciones S, SSW y SSE en la zona costera; en la parte central el viento varía entre 2 y 4 m/s, de direcciones SSW y WSW, con calmas entre 21 a 42%; y en el lado oriental el viento varía entre 3 y 5 m/s, de direcciones W, SSW y WSW con calmas en porcentaje de 20 y 40%.

-En la estación de verano los días tienen más de 50% de horas de sol; y en el periodo promedio desde inicios de otoño hasta finales de primavera, menos de 20%, debido a la nubosidad estratiforme que se debilita solamente durante la estación de verano.

4. Metodología

4.1 Monitoreo del polvo atmosférico ó contaminantes sólidos sedimentables (CSS)

La información empleada para el presente análisis corresponde a la obtenida de la red de muestreo de polvo atmosférico compuesta por 37 estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana de Lima-Callao (**figura 1**). De forma similar al trabajo que se viene ejecutando, se viene diseñando la ampliación de la red de muestreo en todo el ámbito de la cuenca atmosférica de tal forma de poder lograr una mejor definición de la configuración de las áreas críticas de los distritos. El método de muestreo pasivo desarrollado es el que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de gabinete:** Preparación y codificación del material que se lleva a campo para reemplazar las placas receptoras o de acumulación.

- **Fase de campo:** Mensualmente en cada una de las estaciones se reemplazan las placas receptoras impregnadas de contaminantes y se llevan al laboratorio para las evaluaciones respectivas. Observaciones tales como actividades de construcción cercana a la estación, manipulación por terceros, entre otras, son anotadas en una bitácora para la validación posterior de la calidad de la información.
- **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, salida de reportes preliminares, cuadros, mapas, gráficos y la elaboración del Boletín Mensual.

4.2 Monitoreo de contaminantes gaseosos

La evaluación mensual de los gases contaminantes del aire (CO, SO₂, O₃ y NO_x) 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:** Operación continua de analizadores automáticos de ozono troposférico modelo API 400A, monóxido de carbono API 300, dióxido de azufre API 100A, óxidos de nitrógeno API200E. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232, Ethernet (NO_x) y software API COM para analizadores. Se realiza el cambio de filtros cada 15 días en promedio y la inspección de fugas y limpieza en la línea de ingreso de muestra. Calibración según método aprobado por EPA
- **Fase de gabinete:** Involucra el procesamiento, análisis e interpretación de la información tomando como referencia el D.S. N°074 –PCM-2001 “Reglamento de Estándares nacionales de calidad ambiental del aire”.

4.3 Información Meteorológica

Evaluación de las condiciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima-Callao. Para el presente informe se ha utilizado la información proveniente de: Estación climatológica Collique (Comas), estación meteorológica automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación climatológica Campo de Marte (Jesús María), estación meteorológica automática Lima Este (La Molina) y estación climatológica Pantanos de Villa (Chorrillos), las mismas que son presentadas en la **figura 1**. La metodología de trabajo es la siguiente:

- **Fase de recopilación:** Involucra el proceso de obtención y concentración de la información meteorológica de las estaciones señaladas.
- **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, análisis e interpretación:** Involucra el procesamiento numérico, gráfico, análisis e interpretación de los resultados.

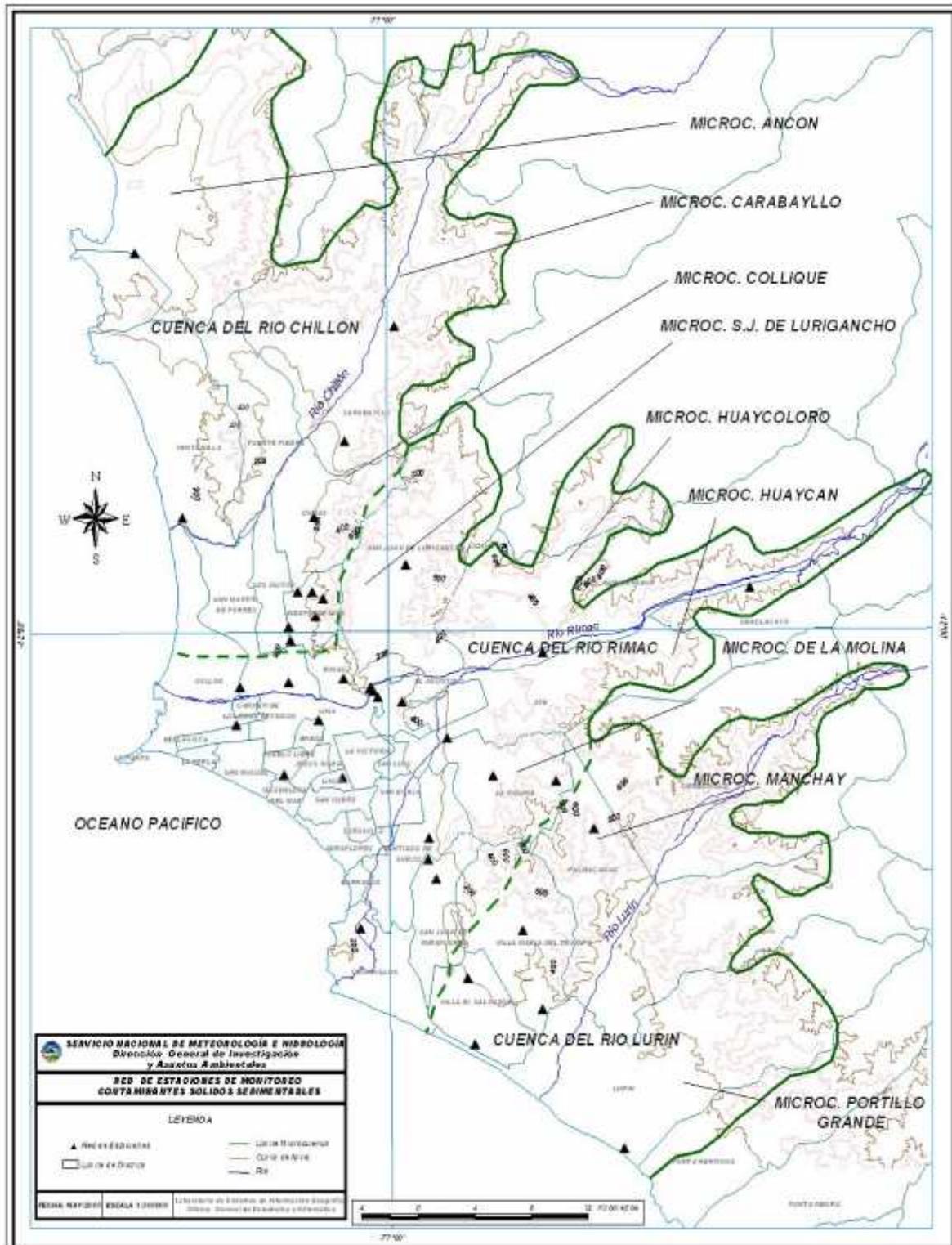


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

5. Resultados del monitoreo ambiental

5.1 Distribución espacial del polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS) durante el mes de Setiembre

En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS). Durante este mes, se ha recopilado información de 37 estaciones de muestreo instaladas en la mayor parte del ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao, y de las cuales el 67,6% excedió el límite referencial permisible recomendado por la OMS (equivalente a 5 t/km².mes). Los distritos de Comas y El Agustino presentaron los centros de mayor acumulación de polvo atmosférico de la capital, excediendo ambos aproximadamente en 5 veces el valor referencial permisible.

De acuerdo al **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación fueron tanto ligeramente superiores como inferiores a los registrados el mes anterior en sus principales núcleos. Asimismo, la concentración media de CSS para la Z.M. de Lima-Callao fue de 10,8 t/km².mes, relativamente mayor a la correspondiente media del mes anterior de 9,8 t/km².mes. Así mismo, en el presente mes se registró un valor máximo de 26,6 t/km².mes en el distrito de El Agustino y un mínimo de 2,6 t/km².mes en Lince. En la **figura 2** se muestran los registros de las 37 estaciones para los meses de agosto y setiembre.

Cuadro N°1. Concentraciones de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables): agosto y setiembre 2005

Concent t/km ² .mes	N° de estac.	%	Núcleos principales			
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur
agosto	37	61,2	25,0 (Independ.)	24,0 (El Agustino)	18,1 (Pachacamac)	19,2 (V.M.T.)
setiembre	37	67,6	24,0 (Independ.)	26,6 (El Agustino)	22,0 (Pachacamac)	20,0 (V.M.T.)

De acuerdo a lo observado, se mantienen los principales núcleos de acumulación de polvo atmosférico en la capital; aunque con un ligero incremento en la media y en el número de estaciones que sobrepasan el límite referencial, lo que significa que las condiciones invernales, aún prevalecientes, están llegando a su fin y por lo tanto los fenómenos de turbulencia del aire ligados a los procesos de suspensión y re-suspensión muestran un lento despertar.

La mayor o menor intensidad de los principales centros de contaminación varía tanto en función de los aportes in situ tales como del parque automotor desordenado y obsoleto que circula en avenidas principales; las emisiones fugitivas de pequeñas y medianas industrias formales e informales; comercio formal e informal; botaderos clandestinos de basura; fuentes de contaminación orgánica y biológica por deficiente gestión en el manejo de la población de canes y otras mascotas; entre otros, como de la acción dispersante de los flujos de viento locales que mantiene al polvo atmosférico en un continuo

proceso de suspensión y resuspensión, que es usual bajo condiciones climáticas de permanente aridez.

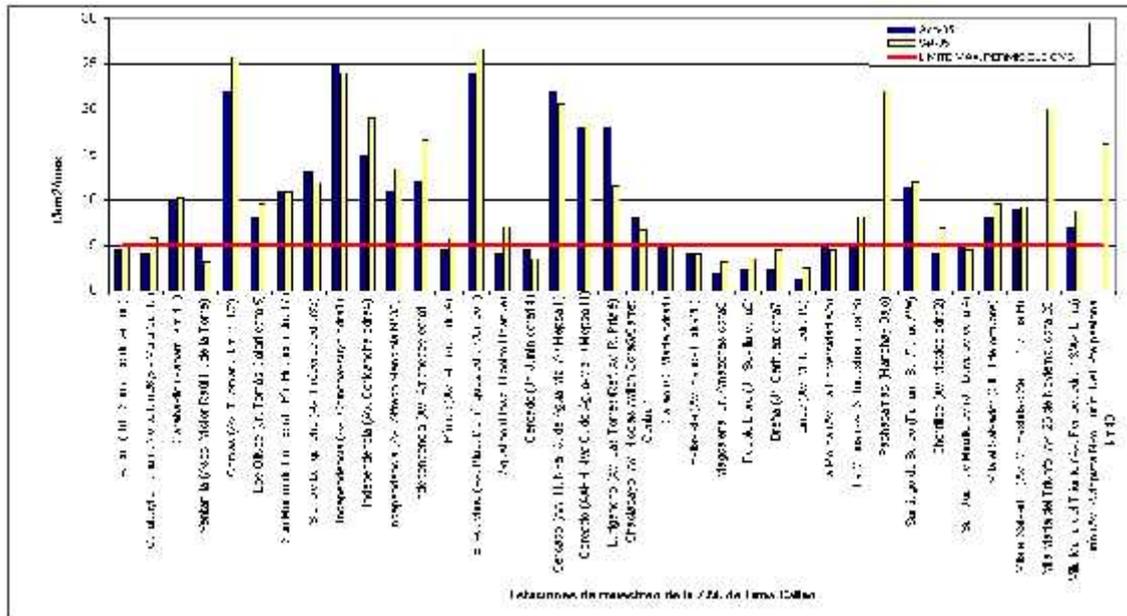


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de agosto y setiembre 2005 en Lima-Callao

En la **figura 3** se observa la distribución espacial de los contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao. La estrecha franja amarilla representa aquellas estaciones que se mantienen por debajo del límite (5 t/km².mes), y está constituido por los distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales favorecidos por la influencia de las brisas marinas que fluyen hacia el este permitiendo la dispersión y/o por la aplicación de políticas municipales que permiten mantener índices adecuados de vegetación de tal forma que el fenómeno de la re-suspensión se ve limitado. Las 4 principales zonas o áreas críticas de acumulación de este contaminante presentan la siguiente configuración: hacia el cono norte (cuenca del río Chillón) se observa el primer centro, extendiéndose hacia la jurisdicción de los distritos de Independencia, Comas, Carabayllo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Comas tiene un valor de 24,0 t/km².mes. El segundo centro abarca el cono centro-este (cuenca del río Rímac y microcuenca de San Juan de Lurigancho) y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Santa Anita, El Agustino, y el Cercado (lado este) con núcleo 26,6 t/km².mes en El Agustino, valor superior a todas las estaciones. El tercer centro ubicado en la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de 22,0 t/km².mes; mientras que el cuarto centro en el cono sur (en la zona de intercuenca Rímac-Lurín) que comprende los distritos de Villa El Salvador y Villa María del Triunfo, tiene un núcleo de 20,0 t/km².mes en este último.

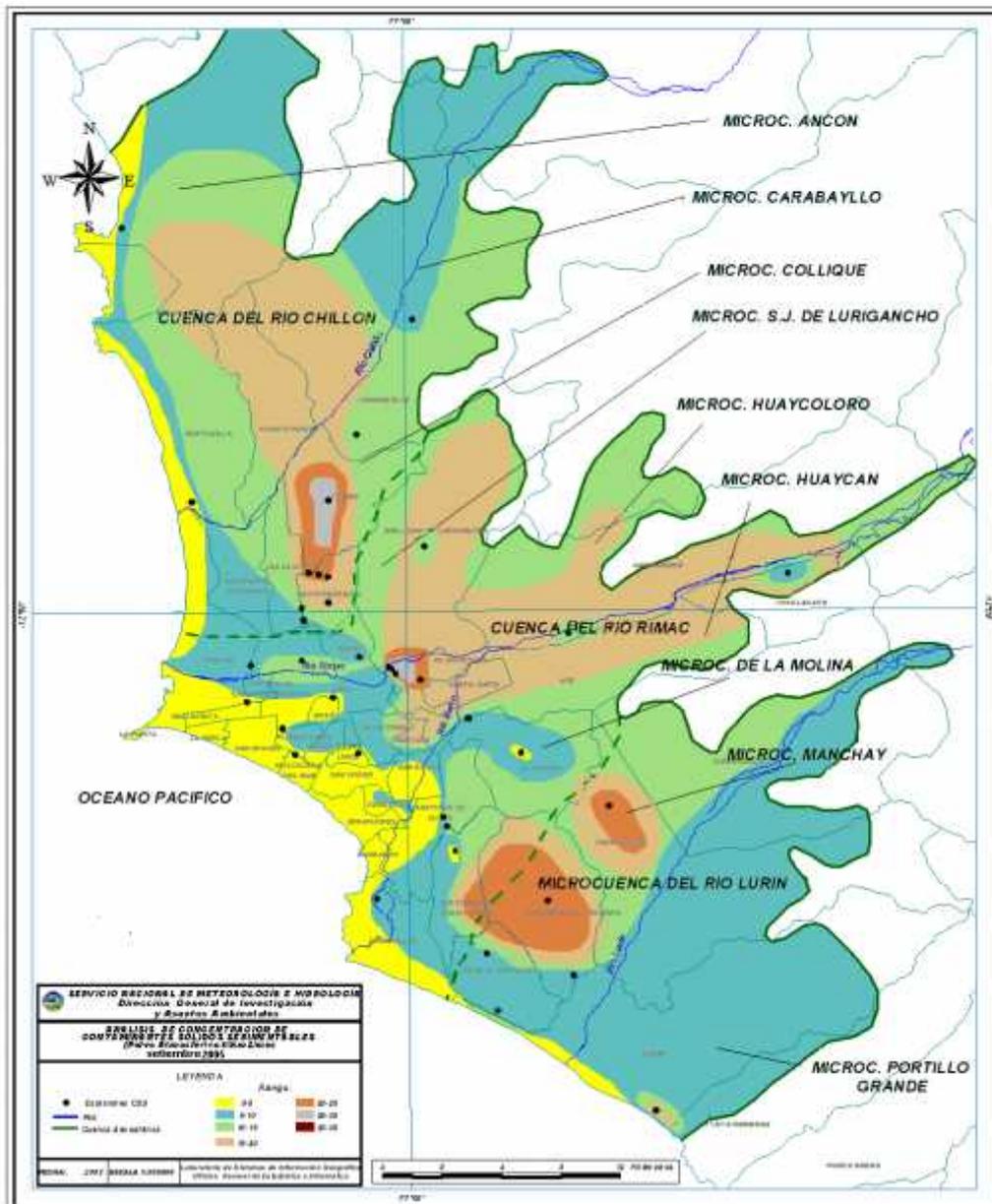


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico en el ámbito de la cuenca atmosférica de la z.m. de Lima-Callao durante el mes de Setiembre del 2005

5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno (NOx): óxido nítrico y dióxido de nitrógeno durante el mes de setiembre del 2005

La información registrada por el analizador modelo API 200E en la estación de calidad de aire de la sede central del SENAMHI según la **figura 4a**, muestra para el presente mes un registro máximo horario de NO de 94,6 ppb y de NO₂ de 50,9 ppb, ocurridos el día 14 de setiembre a las 9:00 horas y el día 27 a las 10:00 horas; y mínimos horarios de 8,8 y 0,4 ppb, el día 15 a las 02:00 horas y el día 5 a las 04:00 horas, respectivamente.

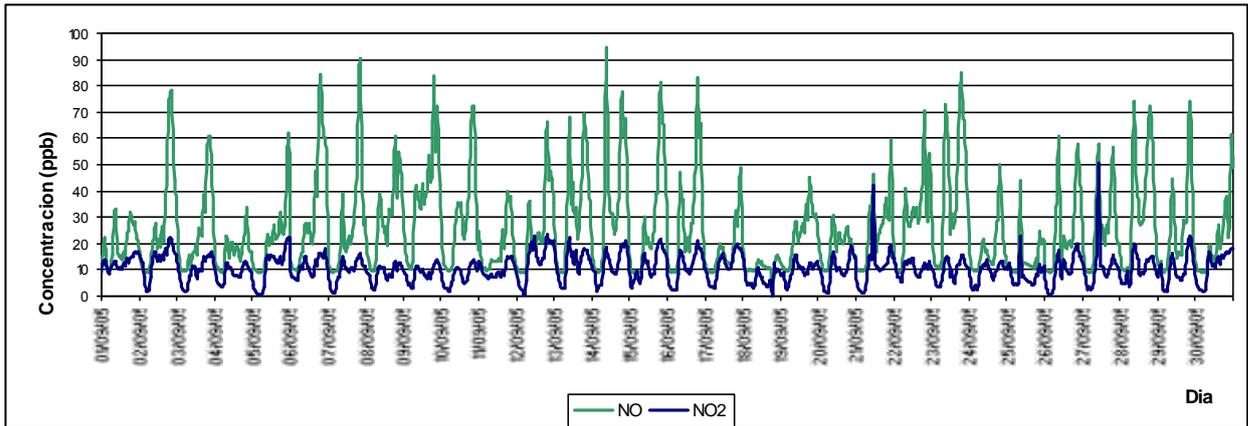


Fig.4a – Concentraciones horarias de NO y NO₂ registrados en la Estación de calidad del aire SENAMHI – setiembre 2005

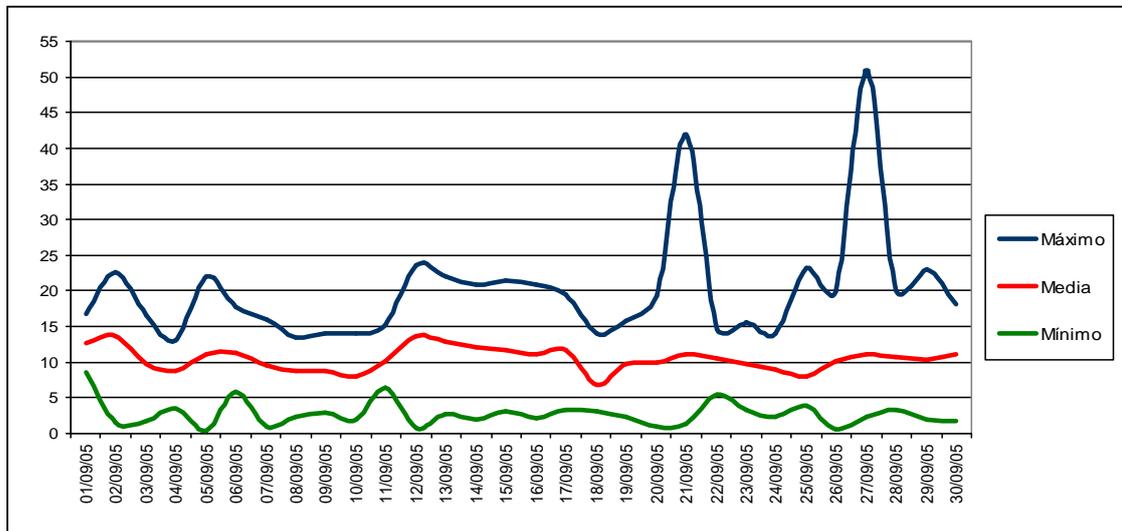


Fig.4b – Concentraciones máximas, medias y mínimas diarias de NO₂ registradas en la estación de calidad del aire SENAMHI – setiembre 2005

El valor máximo horario de NO₂ alcanzado el día 27 fue de 50,9 ppb (ver **figura 4b**) equivalente al 50% del estándar de calidad del aire de 104,6 ppb (200 ug/m³) señalado en el D.S. N°074-PCM-2001 “Reglamento nacional de estándares de calidad ambiental del aire”. El promedio diario de NO₂ durante el mes fue de 10,4 ppb. Ver **figura 4b**.

Es necesario mencionar siempre que no sobrepasar un valor estándar, no garantiza que la calidad del aire de los alrededores sea buena; es necesario realizar muchas observaciones y buscar siempre representar lo mejor posible la influencia de las fuentes de los contaminantes sobre la calidad del aire y el impacto sobre la salud de los receptores. Debido a que el mejor indicador de la significancia de las concentraciones de un contaminante en la atmósfera son los efectos sobre la salud, se puede tomar como referencia que sobrepasar los 15 ppb de dióxido de nitrógeno implica un 20% de riesgo adicional de enfermedad respiratoria (niños) y disminución de defensas ante infecciones pulmonares ⁽⁶⁾. De acuerdo a los registros horarios del presente mes, el 17,4%

de los datos (120 horas) sobrepasan los 15 ppb mencionados durante las primeras horas de la mañana y hacia el anochecer, más del doble del equivalente al mes anterior (8,4%).

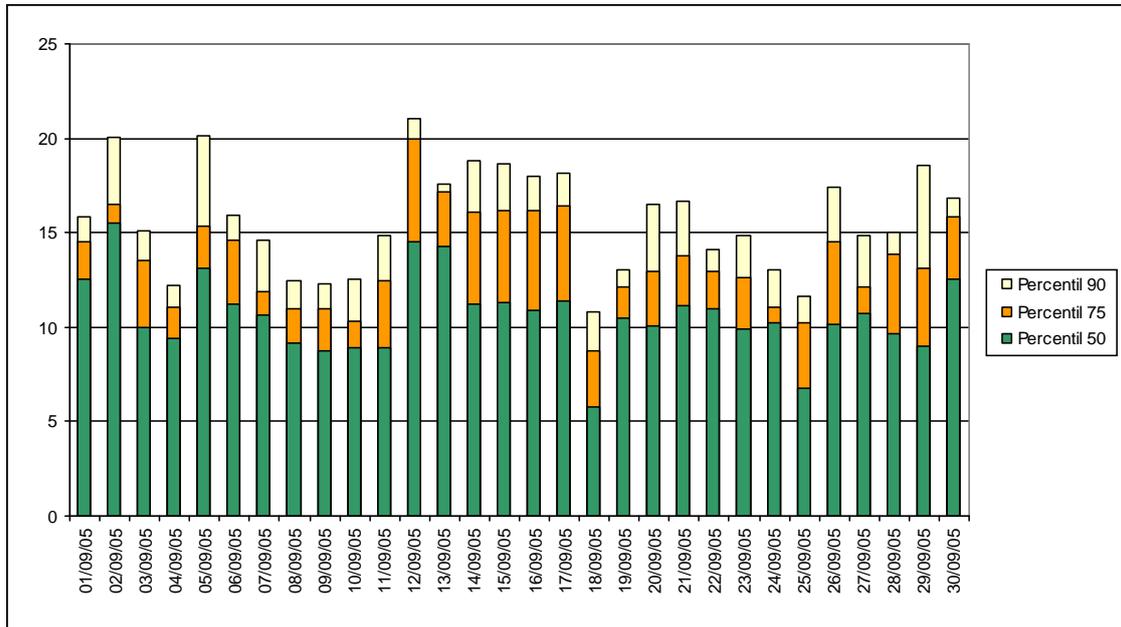


Fig.4c – Percentiles de NO₂ en la estación de calidad del aire SENAMHI – setiembre 2005

De acuerdo a lo observado en la **figura 4c**, en promedio el 50% de los datos de NO₂ se encuentran por debajo de 11 ppb, el 75% por debajo de 14 ppb y el 90% por debajo de 16 ppb. Los percentiles máximos para 50, 75 y 90 corresponden a 15,5, 20 y 21 ppb, respectivamente.

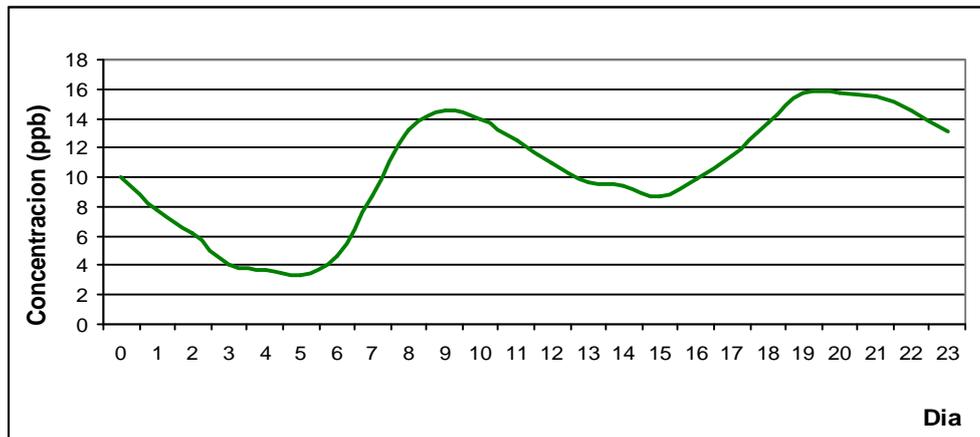


Fig.4d - Concentración máxima media horaria de Dióxido de Nitrógeno Estación de calidad de aire SENAMHI - Setiembre 2005

La variación horaria de las concentraciones máximas medias horarias de NO₂ presentadas en la **figura 4d**, refiere un patrón definido caracterizado por dos picos horarios máximos de 14,5 ppb (9:00 horas) y 15,7 ppb (19:00 y 20:00 horas), comportamiento inverso al del ozono troposférico cuyo máximo se presenta alrededor del medio día, ello debido a que los óxidos de nitrógeno son precursores en la formación del ozono de niveles bajos conjuntamente con los hidrocarburos y la radiación solar.

5.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de setiembre del 2005

Para el mes de setiembre, el análisis de las condiciones meteorológicas horarias y diarias para la zona metropolitana Lima-Callao se ha basado en la información de 5 estaciones meteorológicas, convencionales y automáticas, señaladas en el rubro 4.3. A continuación se desarrollan los análisis respectivos de la información meteorológica.

5.3.1. Análisis de temperatura y humedad relativa

- Del análisis de la variación temporal diaria de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) extremas se observa lo siguiente: La temperatura máxima fluctuó entre los valores de 13,5 (La Molina) a 22°C (Comas) y la mínima osciló entre 11,9°C (La Molina) a 15,4°C (Chorrillos); la temperatura media del mes fue de 15,6°C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 82 % (Callao) a 100% en Comas y La Molina; mientras que la mínima osciló entre 64 % en el Callao a 93% en Comas (ver **figuras 5 y 6a,b**); la humedad relativa media fue de 89,7%. En términos generales, durante el mes de setiembre han prevalecido las ocurrencias de lloviznas aisladas y días con brillo solar escasos.
- Con respecto al análisis horario de la información, los valores mínimos de la temperatura del aire se registraron de manera predominante entre las 4:00 y 6:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 14:00 y 17:00 hrs. Con respecto a las humedades relativas, la máxima se registró en forma muy variable pero predominantemente en los rangos de 4:00 a 5:00 am; similar comportamiento se presentó en las mínimas con registros entre las 12:00 y 17:00 pm.
- El análisis medio de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas, refiere que el día más cálido del mes fue el 13 de setiembre con una media de 19,7°C y el día más frío el 18 con un valor medio de 13,7°C. Con respecto a la humedad relativa, el 13 y 27 correspondió al día más seco con 77% y se alcanzó la saturación con 97,8% de humedad en promedio el día 16. En términos medios, considerando las estaciones del Callao y Jesús María, la temperatura ha presentado un ligero incremento en 0,05°C y la humedad en 8,9%, respecto al mes anterior, con valores de 16,7 y 90%.

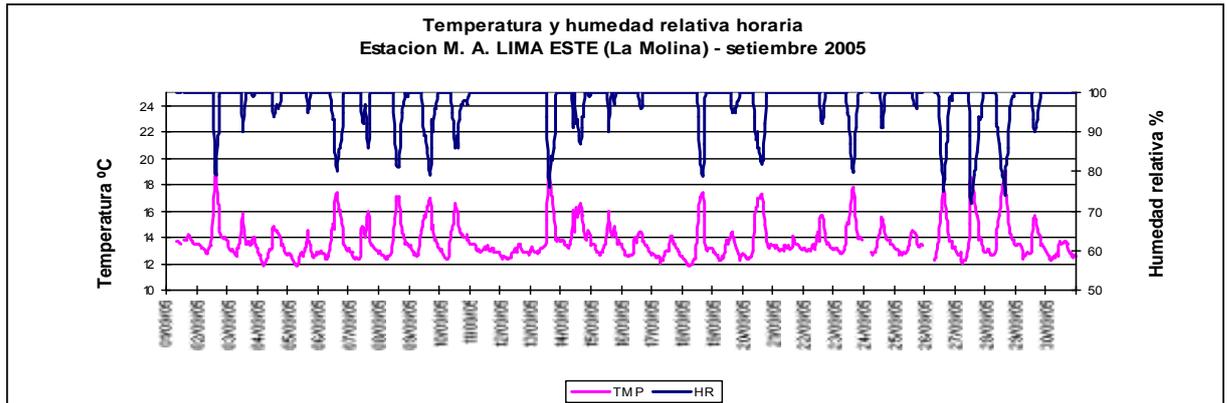
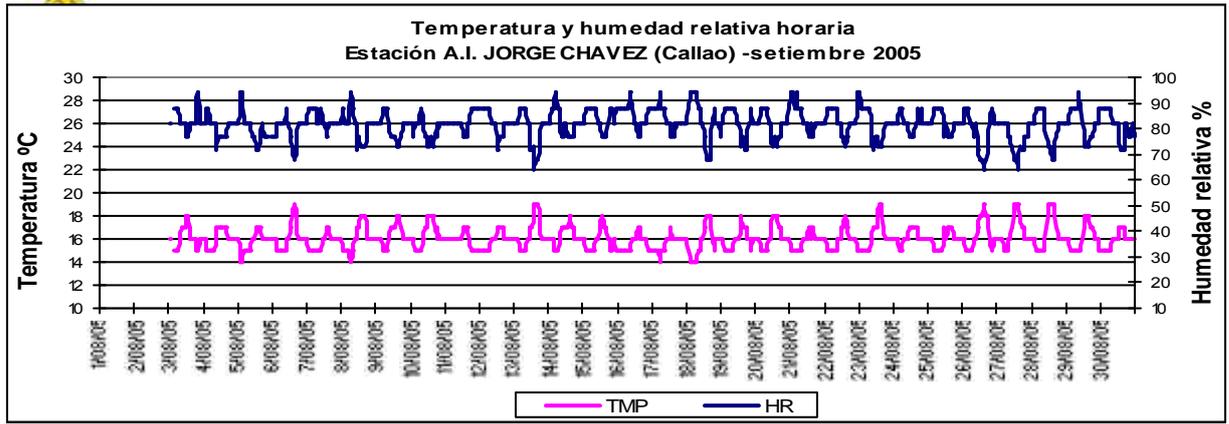


Fig.5.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2005 en el Callao y La Molina

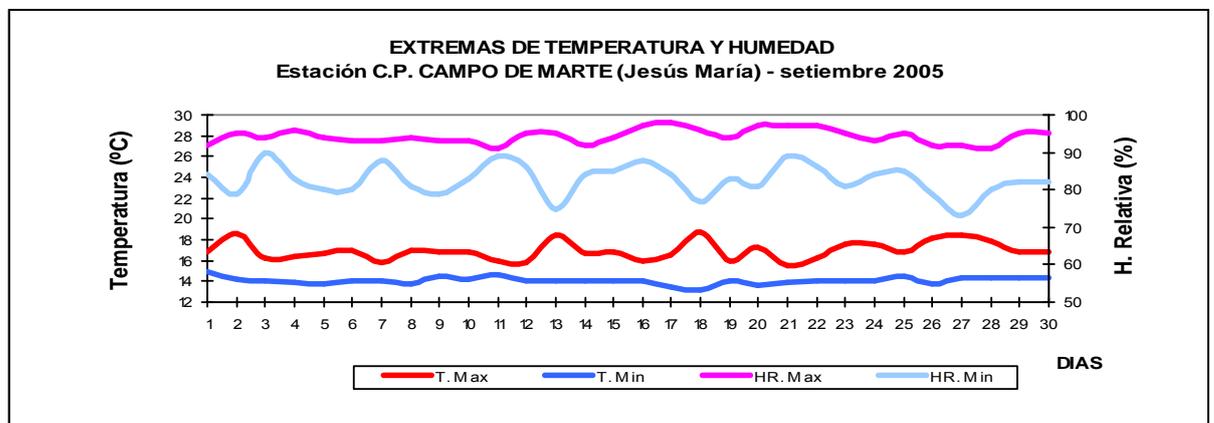
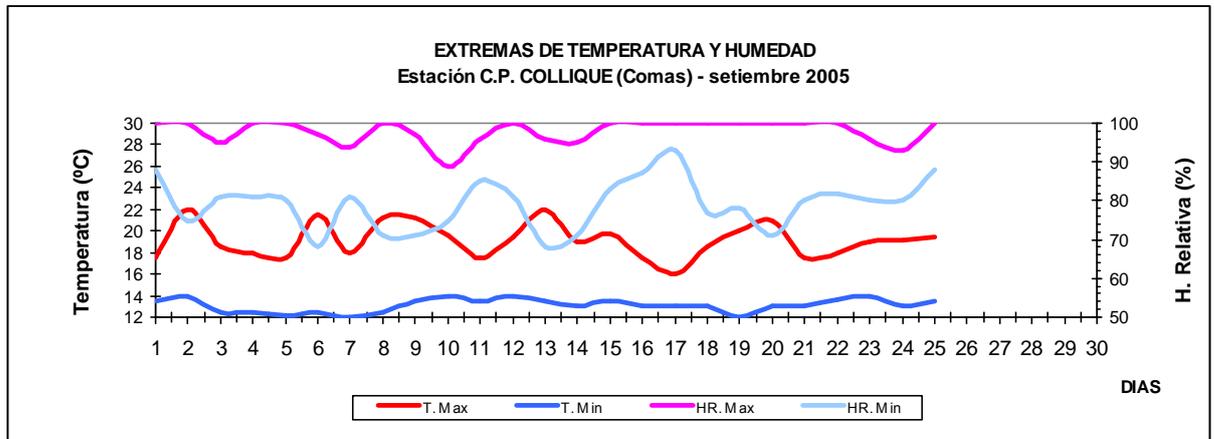


Fig.6a.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2005 en Comas y Jesús María

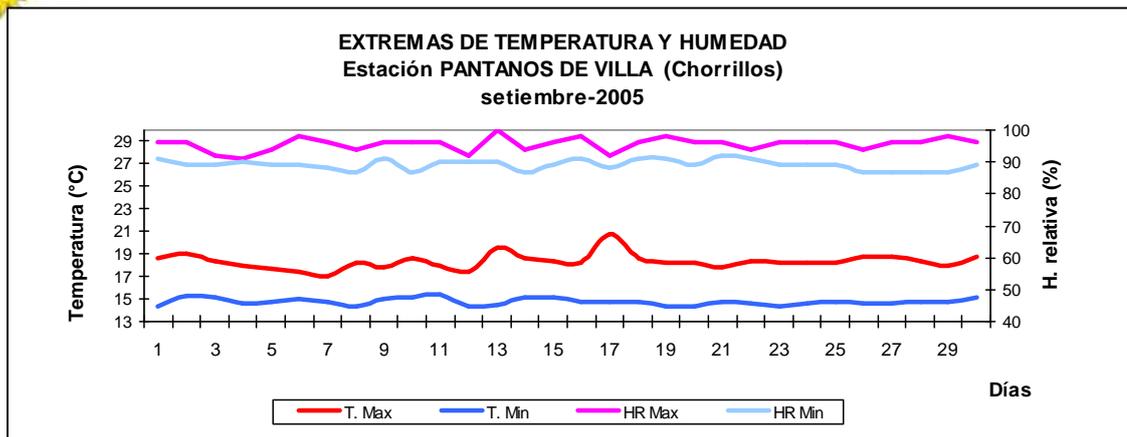


Fig.6b.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2005 en Chorrillos

5.3.2 Análisis del viento superficial en la zona metropolitana de Lima-Callao

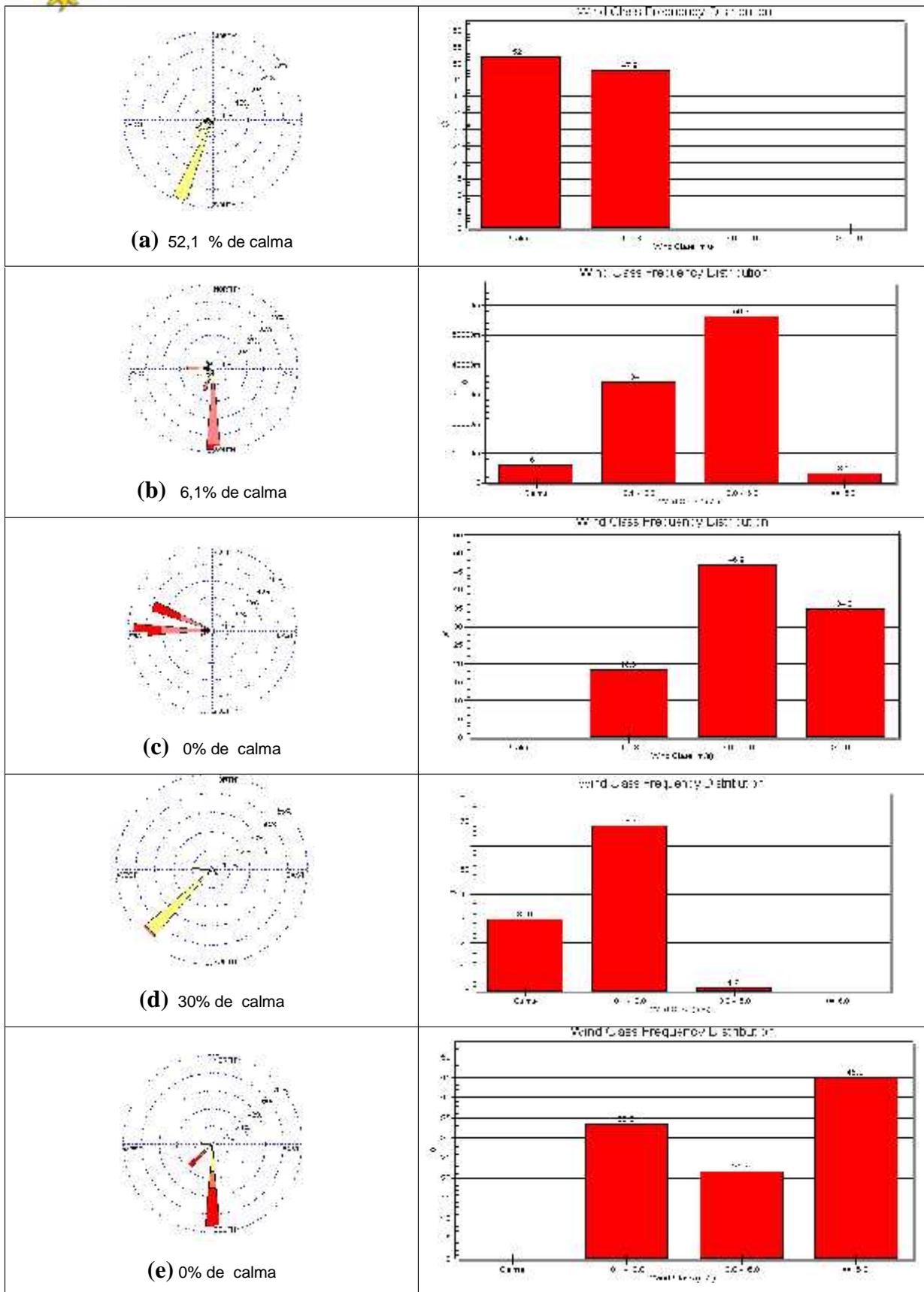
La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de setiembre es presentada en las **figuras 7 y 8** para el período diurno (07:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente.

- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), se presentaron vientos con intensidad media débil en Comas, Callao y Jesús María de dirección SSW (29%), S y W (43 y 14%) y del SW y W (52 y 12%), respectivamente. Intensidades moderadas se registraron hacia el este (La Molina) y sur de la ciudad con direcciones W y WNW (47 y 38%) y S y SW (65 y 10%), respectivamente.

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, hacia el cono norte de la ciudad (Comas) predominaron vientos débiles; hacia el litoral costero (norte-Callao), se reportaron vientos mayormente débiles y moderados; hacia el este de Lima, predominaron vientos moderados y fuertes; hacia el centro de la ciudad se presentaron vientos débiles principalmente; y hacia el sur, vientos entre fuertes y moderados.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se reportaron vientos de intensidad débil en la mayor parte de las estaciones observadas, en rango de 1,2 a 2,9 m/s; así, hacia Comas, el Callao, La Molina y Jesús María predominaron direcciones SSW y SW (54 y 21%), S (69 %), W y WNW (31 y 28%) y del SW (73%), respectivamente. Hacia el sur de la capital (Chorrillos), se observaron vientos de fuerte intensidad con dirección SW (41%).

La distribución de frecuencias de intensidades de viento son asimismo mostradas en la **figura 8**. En los distritos de Comas y Jesús María predominaron vientos débiles; en el Callao, vientos débiles y moderados; hacia el este de la ciudad (La Molina), se reportaron vientos predominantemente débiles y ligeramente moderados y hacia el sur vientos fuertes.



WIND SPEED (m/s)

- 0 - 0.0
- 3.0 - 0.0
- 0.1 - 3.0

Calma: 0.0%

Fig.7 – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia diurnas de las estaciones de (a)Comas,(b) Callao, (c) La Molina, d) Jesús María y e) Chorrillos. setiembre 2005

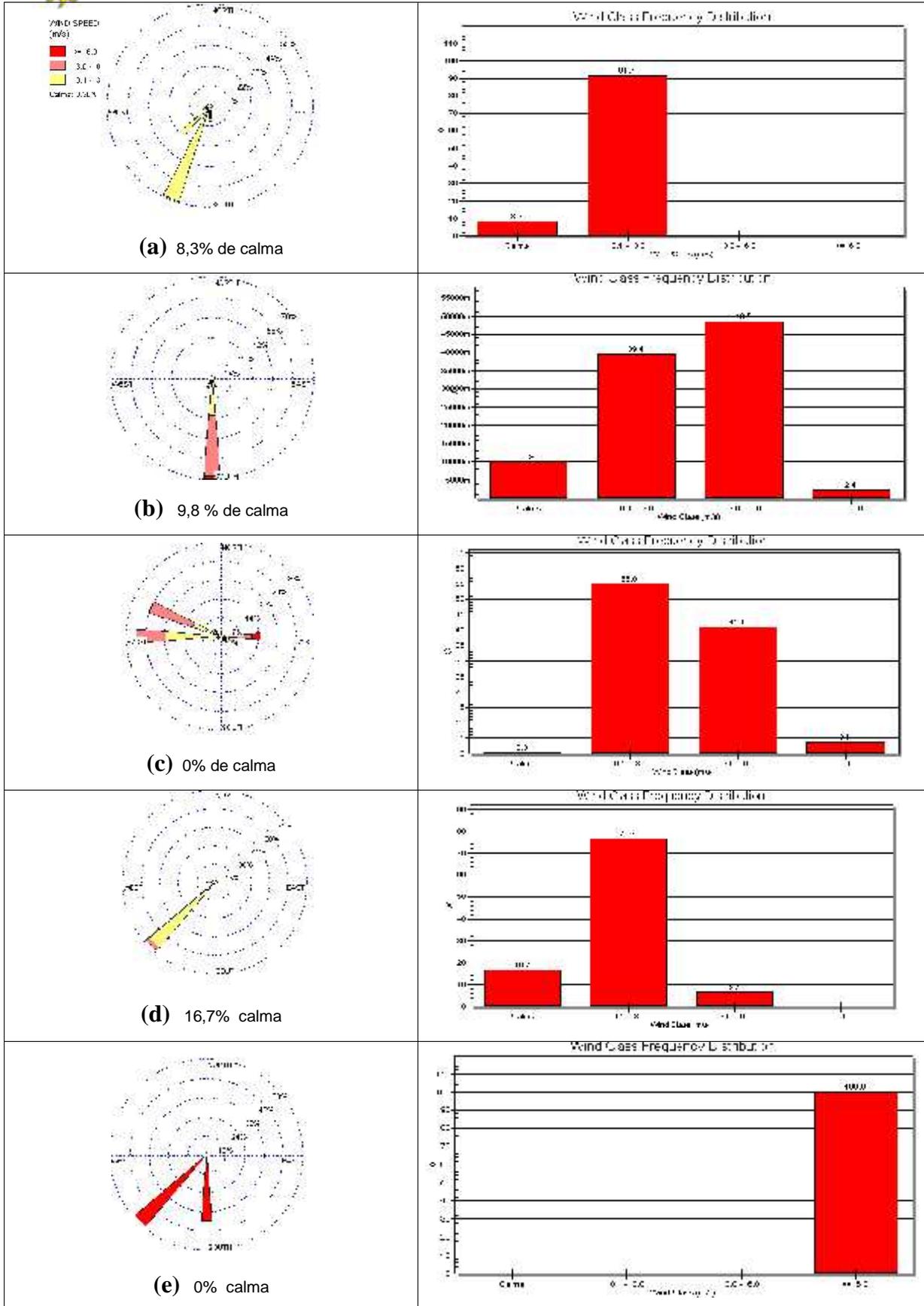


Fig.8 – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia nocturnas de las estaciones de (a)Comas,(b) Callao, (c) La Molina, d) Jesús María y e) Chorrillos - setiembre 2005

WIND SPEED (m/s)
 >= 6.0
 3.0 - 6.0
 0.1 - 3.0
 Calm: 0.0%

5.3.3 Análisis de la temperatura y vientos en el perfil de la tropósfera de la costa central del Perú durante el mes de setiembre del 2005

Durante el presente mes de setiembre, no se realizaron sondajes atmosféricos, pero las condiciones meteorológicas registradas en superficie permiten inferir que el comportamiento de la inversión térmica de subsidencia mostró un ligero debilitamiento con respecto al mes anterior, indicativo de que las condiciones invernales aún prevalecientes van llegando a su fin. Si bien ha ocurrido escaso brillo solar, éste ha sido de mayor intensidad dando la energía suficiente para que los procesos de turbulencia inicien su actividad, lo se refleja en un muy ligero incremento de las concentraciones del polvo atmosférico en el presente mes con una tendencia a incrementarse en el próximo mes.

6. Conclusiones

- ✓ Para el presente mes, las condiciones meteorológicas imperantes, conjuntamente con los aportes antropogénicos ya descritos, configuraron 4 centros importantes de alta contaminación: El primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con $24,0 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$; el segundo en el cono centro-este con un valor de $26,6 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$, el mayor valor del mes; el tercero en la zona sur-este (Pachacamac) con $22,0 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$; y el cuarto en el cono sur con una concentración de $20,0 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$ en Villa María del Triunfo.
- ✓ De la información de las 37 estaciones recopiladas para este mes, el 67,6% de ellas (superior en 6,4 % al mes anterior) sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las 37 estaciones fue de $10,8 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$, relativamente mayor a la correspondiente media del mes anterior. Así mismo, el valor máximo para setiembre fue de $26,6 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$ en El Agustino y el mínimo de $2,6 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$ en Lince.
- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo horario del dióxido de nitrógeno (NO_2) fue de 50,9 ppb, equivalente al 50 % del ECA correspondiente establecido por el D.S. 074-PCM-2001. Asimismo, se observaron dos picos horarios máximos en las horas de mayor circulación vehicular.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias de las estaciones observadas para el presente mes fueron de $15,6 \text{ }^\circ\text{C}$ y 89,7 %. Asimismo, el día más cálido fue el 13 con una media de $19,7^\circ\text{C}$; y el día más frío el 18 con un valor medio de $13,7^\circ\text{C}$. En cuanto a la humedad relativa, el 13 y 27 fueron los días más secos (77%) y se alcanzó la saturación (98%) el 16 de setiembre.
- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, para este mes en el período diurno se presentaron vientos débiles en los distritos de

Comas, Callao y Jesús María con direcciones SSW, SW y SW e intensidades moderadas provenientes del W en La Molina y del S en Chorrillos. Durante la noche, se reportaron vientos de intensidad media débil en las estaciones observadas con direcciones SSW, S, W y SW y en el sur de fuerte intensidad.

- ✓ Con respecto al análisis de la información meteorológica de altura, no hubieron sondajes meteorológicos durante el mes de setiembre, sin embargo, los registros meteorológicos de superficie permiten afirmar que las condiciones meteorológicas de persistente presencia de la inversión térmica y la formación de densa nubosidad estratiforme, han iniciado su proceso de muy lento debilitamiento, lo cual está relacionado al ligero incremento de la contaminación registrada durante el presente mes con tendencia a incrementarse durante el próximo mes.