

## EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/SETIEMBRE 2006

Por: *Ing. José Silva Cotrina*  
*Ing. Zarela Montoya Cabrera*  
*SO2 FAP Rigoberto Durán Montes*

### INDICE GENERAL

	RESUMEN	3
1.	CUENCA ATMOSFERICA DE Z.M. DE LIMA-CALLAO	3
2.	MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	5
3.	METODOLOGÍA	9
4.	RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL	12
	4.1 Distribución espacial de la deposición seca (contaminantes sólidos sedimentables) durante el mes de setiembre del 2006 en la Zona Metropolitana de Lima-Callao.	12
	4.2 Condiciones meteorológicas durante el mes de setiembre 2006.	14
5.	CONCLUSIONES	21

### INDICE DE FIGURAS

Fig. 1-.	Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao	11
Fig. 2 -.	Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados los meses de agosto 2006 y setiembre 2006 en Lima-Callao.	13
Fig. 3 -.	Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de setiembre del 2006.	14
Fig. 4 -.	Variación horaria de la temperatura y humedad en el Callao y La Molina en el mes de setiembre del 2006 en Lima-Callao.	16
Fig. 5 -.	Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Comas, Jesús María y Chorrillos durante el mes de setiembre del 2006 en Lima-Callao.	17
Fig. 6 -.	Variación temporal de la temperatura y humedad relativa en CP. Marte y A.I. Jorge Chávez. Invierno 2006-10-18	17



Fig. 7 -.	Rosas de viento e histogramas de frecuencia diurnas.	20
Fig. 8-.	Rosas de viento e histogramas de frecuencia nocturnas.	21

### INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire – ECA´s	6
Cuadro N° 2	Valores de tránsito – ECA´s	6
Cuadro N° 3	Valores referenciales – ECA´s	7
Cuadro N° 4	Concentraciones de los contaminantes sólidos sedimentables. Meses de julio y setiembre 2006.	12

## EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/SETIEMBRE-2006

### RESUMEN

El boletín mensual muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao, en relación a las condiciones meteorológicas imperantes durante setiembre. Las concentraciones del polvo atmosférico fueron superiores al valor referencial permisible de la OMS en el 71,4 % del total de estaciones de muestreo. La concentración media de CSS para la z.m. de Lima-Callao fue de 10,6 t/km<sup>2</sup>.mes, superior a la media del mes anterior que fue de 9,3 t/km<sup>2</sup>.mes. En cuanto a las condiciones meteorológicas, predominó cielo nublado y frecuentes lloviznas aisladas con sensación de alta humedad atmosférica, aunque con un incremento de los días con brillo solar, que determinaron que los procesos de turbulencia atmosférica y por lo tanto los fenómenos de suspensión y re-suspensión reinicien su intensificación.

#### 1. 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 dicho 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 zona metropolitana (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 z.m. de Lima-Callao se ha identificado tres cuencas hidrográficas con sus respectivas microcuencas atmosféricas (ver **figura 1**) que son las siguientes:

### 1.1 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

### 1.2 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, 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

### 1.3 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 identificar : distrito de Pachacamac

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 setiembre 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 las 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.

## 2. Monitoreo de la calidad del aire

De acuerdo a lo citado por Silva *et al* (2004), la calidad del aire puede definirse como las concentraciones de contaminantes que permiten caracterizar el aire de una región con respecto a concentraciones patrón, señaladas con el fin de preservar la salud y bienestar de las personas. Otras definiciones refieren que es el estado de la atmósfera con respecto a la presencia de contaminantes potenciales.

Una adecuada calidad del aire sólo podrá ser alcanzada a través de la aplicación de instrumentos de gestión ambiental comprendidos en la Ley general del Ambiente N° 28611, entre los que se disponen sistemas de gestión ambiental nacionales, sectoriales, regionales o locales; el ordenamiento territorial ambiental; la evaluación de impacto ambiental; la fiscalización de los estándares nacionales de calidad ambiental del aire; los sistemas de información ambiental; entre otros.

Para proteger la salud, el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, establece los estándares de calidad ambiental del aire y los lineamientos para alcanzarlos. Así mismo, dentro de los principios que considera la presente norma se encuentran que,

- a). La protección de la calidad del aire es obligación de todos,
- b). Las medidas de mejoramiento de la calidad del aire se basan en análisis costo-beneficio.
- c). La información y educación a la población respecto de las prácticas que mejoran o deterioran la calidad del aire serán constantes, confiables y oportunas.

En su Artículo 4 establece los estándares primarios de calidad del aire y los niveles de concentración máxima para los siguientes contaminantes criterio (ver **cuadros n° 1, 2 y 3**):

**Cuadro N ° 1. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire**

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis <sup>1</sup>
		Valor	Formato	
Dióxido de azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo IRND (método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	
Dióxido de nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (método automático)
Plomo	Anual <sup>2</sup>	0.5	Promedio aritmético mensual	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de hidrógeno	24 horas			Fluorescencia UV (método automático)

<sup>1</sup> O método equivalente aprobado <sup>2</sup> Determinado en el D.S. N° 069-2003-PCM

*Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001*

**Cuadro N ° 2. Valores de tránsito**

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis <sup>1</sup>
		Valor	Formato	
Dióxido de azufre	Anual	100	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
PM-10	Anual	80	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	200	NE más de 3 veces/año	
Dióxido de nitrógeno	1 hora	250	NE más de 24 veces/año	Quimiluminiscencia (método automático)
Ozono	8 horas	160	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (método automático)
Plomo	anual	1.0	Promedio aritmético mensual	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)

<sup>1</sup> O método equivalente aprobado

*Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001*

**Cuadro N ° 3. Valores referenciales**

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis <sup>1</sup>
		Valor	Formato	
PM-2.5	Anual	15		Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	65		

<sup>1</sup> O método equivalente aprobado

*Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001*

Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico, NE significa no exceder. El método de análisis puede también ser un método equivalente aprobado.

Los Estándares referidos son aplicados tanto a gases como partículas. Sin embargo, es necesario resaltar que para el caso de los contaminantes particulados de acuerdo a Silva *et al* (2000), dadas las características geográficas, climáticas de permanente aridez y condiciones de tiempo en interacción con la generación antrópica de contaminantes tan diversa, el aire de la ciudad de Lima se encuentra cada vez más contaminado por éstas tanto sólidas como líquidas y de diferente forma y tamaño constituidas por: aerosoles, vapores orgánicos y metálicos; micro gotas de lluvia ácida; partículas provenientes de la combustión en la actividad industrial, comercial, doméstica e inadecuada disposición de la basura; sales formadas en la atmósfera por reacciones fotoquímicas, hidrólisis o por oxidación; polen de la fase de floración de las plantas de las áreas verdes y del ambiente rural; pelos y escamas o células epiteliales muertas de todas las formas de vida animal que habitan en las ciudades; bacterias, quistes y virus del fecalismo al aire libre tanto de la población marginal (33 % de la población limeña) sin servicios básicos como de perros, gatos y otras mascotas, a cuyas deposiciones con alta carga de endoparásitos o agentes portadores de enfermedades contagiosas, se suman los restos y residuos de ectoparásitos y fauna natural, formando el material de partículas de composición muy heterogénea que se seca y pulveriza, para ser una y otra vez inyectado al aire por los fenómenos turbulentos de los niveles bajos de la atmósfera. Estas partículas contaminantes pueden ser sedimentables y en suspensión (que incluye a las PM 10 y 2.5, aunque por criterios de evaluación de impacto a la salud, se les trata como un capítulo aparte).

De acuerdo a Silva *et al* (2000), en la literatura se encuentran discrepancias al respecto, debido a que no existe un límite abrupto de tamaño entre ambas partículas; siendo éste más bien una región o límite muy difuso y comprendido entre 10 y 20  $\mu$ ..Así se tiene:

a. Partículas sedimentables: Comienzan a presentarse desde un diámetro mayor a 10  $\mu$  en adelante; desde las 20  $\mu$  todas ya son consideradas como tales con un tamaño y peso que se encuentra bajo la influencia de la fuerza de atracción gravitatoria terrestre, por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies para luego ser nuevamente incorporados al aire por flujos turbulentos formados en las zonas urbanas por la interacción tanto del movimiento de los vehículos con la forma de canal de calles y avenidas así como de la rugosidad de los terrenos que se oponen al flujo de

vientos cortantes generados por las inestabilidades efímeras originadas por el desigual calentamiento de las superficies.

b. Partículas Totales en Suspensión (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>): Del total de partículas incorporadas al aire, las que son de diámetro menor a 10  $\mu$  son las consideradas totalmente en suspensión. Estas partículas más que influenciadas por la gravedad lo son por los flujos turbulentos del aire dentro de la capa límite de la zona urbana y se constituyen como las más peligrosas para la salud por cuanto son más fácilmente inhalables. De acuerdo a Wark y Warner (1997), los daños a los órganos respiratorios pueden presentarse directamente ya que se ha estimado que más del 50% de las partículas con diámetro entre 0,01 y 0,1  $\mu$  que penetran al organismo se depositarán en las cavidades pulmonares.

La evaluación de las concentraciones de uno u otro contaminante es denominado monitoreo atmosférico, para el cual de acuerdo a Martínez *et al* (1997), significa disponer de una red de monitoreo óptima implica con un número mínimo de estaciones con localizaciones precisas, las mismas que deben permitir obtener un adecuado análisis de la distribución de la contaminación.

No hay criterios que sean universalmente aplicables a cualquier área urbana y para cualquier objetivo debido a que la distribución de contaminantes y los factores meteorológicos son fenómenos dinámicos que no sólo varían en el tiempo y en el espacio en un área dada de una misma zona urbana o de una región, sino que también varían de una región a otra. Por esta razón, el diseño de redes de monitoreo es un proceso de prueba y error que se va aplicando poco a poco partiendo de diversas metodologías como la de cuadrículas por ejemplo, o basándose en las zonas más críticas diagnosticadas.

De otro lado, otros programas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) refieren que antes del establecimiento de redes de monitoreo, se hagan muestreos previos en algunos puntos de la zona a evaluar. Adicionalmente a ello, los datos de emisiones de contaminantes (inventarios), información meteorológica y topográfica y la aplicación de modelos de difusión, permitirán la identificación de posibles sitios críticos o conocidos como *Hot Spots* en los cuales se debe localizar una estación de monitoreo. Esta es la tendencia más moderna para identificar sitios fijos para localizar estaciones de monitoreo.

Las redes fijadas a largo plazo permitirán documentar tendencias de la contaminación del área de estudio. Así mismo es posible la combinación de muestreadores pasivos, con activos y automáticos. Actualmente se le está dando bastante importancia al empleo de tubos de difusión (pasivos) para los diagnósticos preliminares de redes de monitoreo.

### 3. Metodología

#### 3.1 Monitoreo del polvo atmosférico ó contaminantes sólidos sedimentables (CSS)

La información empleada para el 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**). 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 de campo:** consiste en el reemplazo de las placas receptoras impregnadas de contaminantes por las que recién han sido pesadas, y su posterior evaluación en laboratorio. Observaciones tales como actividades de construcción cercana a la estación, manipulación por terceros, mantenimiento, paralización, 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.

#### 3.2 Monitoreo de contaminantes gaseosos

La evaluación horaria, diaria y mensual de los gases contaminantes del aire (CO, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>) 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<sub>x</sub>) 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”.

### 3.3 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 automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación climatológica Campo de Marte (Jesús María), estación 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.



#### 4. Resultados del monitoreo ambiental

##### 4.1 Distribución espacial del polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS) durante el mes de setiembre

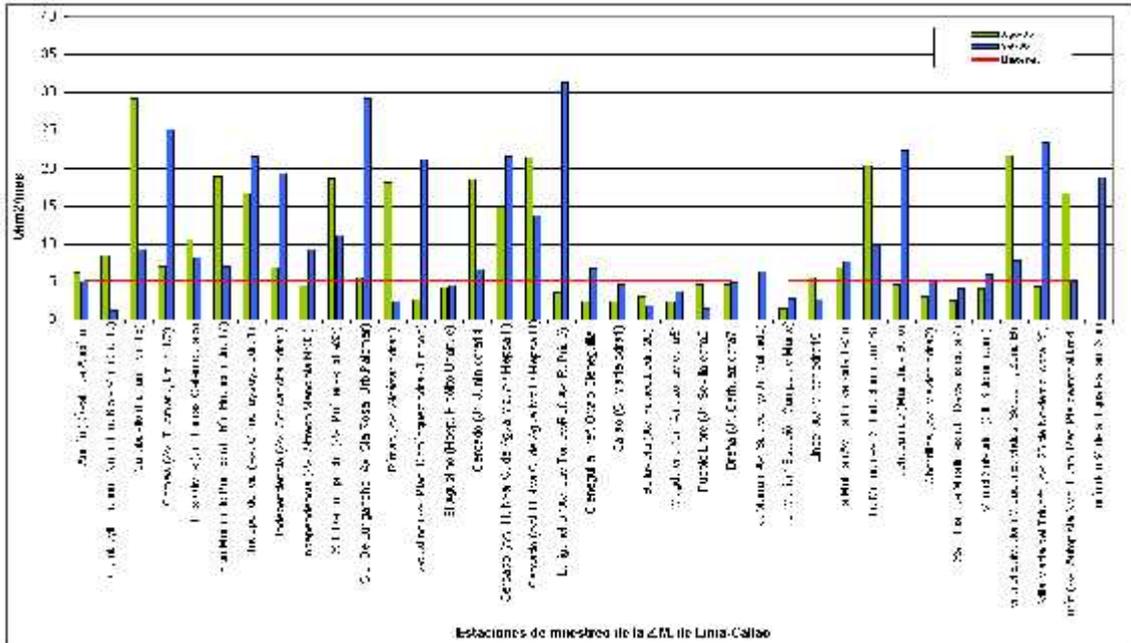
La red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS) es presentada en la **figura 1**. Para el presente mes el 71,4 % del total de las estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao excedieron el valor referencial permisible recomendado por la OMS (equivalente a 5 t/km<sup>2</sup>.mes). Las máximas concentraciones, se registraron en los conos este, nor este, norte, sur y sur este, con núcleos en los distritos de Lurigancho, San Juan de Lurigancho, Comas, Villa María del Triunfo y Pachacamac, respectivamente, y que han sobrepasado aproximadamente en 5 veces en promedio el valor referencial permisible.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 4**, los niveles de contaminación en los principales núcleos fueron en promedio de 10,6 t/km<sup>2</sup>.mes, es decir superiores a los registros del mes anterior (9,3 t/km<sup>2</sup>.mes).

**Cuadro N°4.** Concentraciones de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables: agosto y setiembre (t/km<sup>2</sup>.mes)

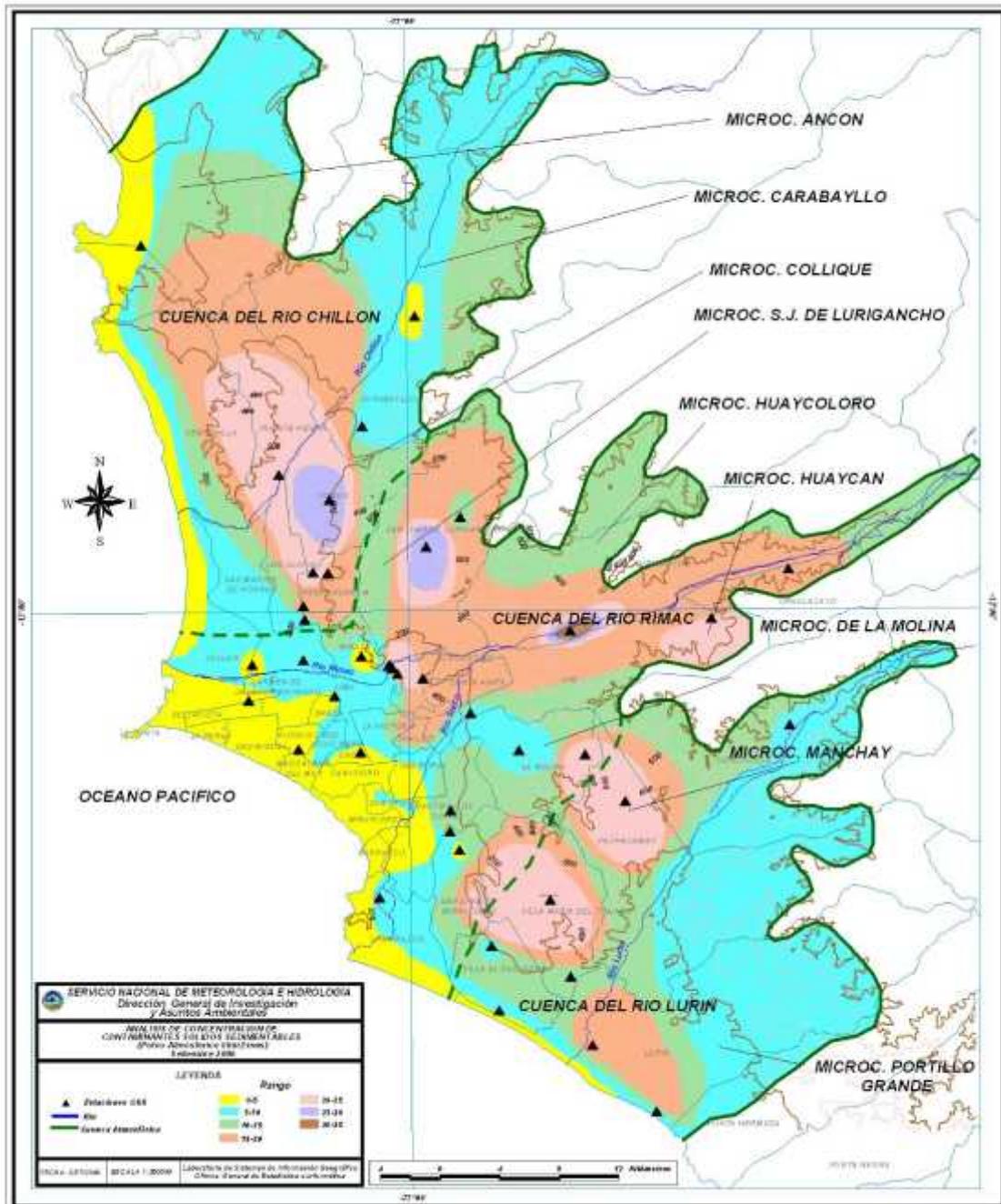
Concent t/km <sup>2</sup> .mes	N° estac	% de estaciones Sobrepasan nivel ref.	Núcleos principales ( puntuales y promedios)			
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur
agosto	35	54	29,4 (IComas)	19,2 (SJL; El agustino, El Cercado;Lurigancho)	20,4 (Pachacamac)	19,2 (V.M.T.; Lurín)
setiembre	37	71	25,0 (Comas)	25,6 (SJL; El agustino, El Cercado; Lurigancho)	22,3 (Pachacamac)	21,1 (V.M.T.; Lurín)

En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Lurigancho con 31,4 t/km<sup>2</sup>.mes, zona de interconexión vehicular de la carretera central, con afluencia de numerosos vehículos pesados que circulan desordenadamente sobre pistas en mal estado; y el mínimo de 1,2 t/km<sup>2</sup>.mes en Carabaylo ( vía a Canta). En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de agosto y setiembre 2006.



**Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en agosto y setiembre 2006 en Lima-Callao**

En la **figura 3** se observa la distribución espacial de los contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao, en donde sólo la estrecha franja amarilla señala aquellas estaciones cuyos registros de concentraciones de polvo atmosférico se mantuvieron por debajo del límite ( $5 \text{ t/km}^2.\text{mes}$ ), y está constituida 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 propiciando la dispersión y/o por la aplicación de políticas municipales que permiten mantener índices adecuados de vegetación, así como pistas y veredas en buen estado, adecuada gestión de los residuos sólidos, entre otros, de tal forma que el fenómeno de la re-suspensión se ve limitado. Para el presente mes, 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  $25 \text{ t/km}^2.\text{mes}$ . El segundo centro abarca el cono centro-este (cuenca del río Rímac y microcuenca de San Juan de Lurigancho y Huaycán) y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Sta. Anita, el Agustino, y el Cercado (lado este), con núcleos fraccionados en: El Agustino, El Cercado, San Juan de Lurigancho y Lurigancho equivalentes a  $21,1$ ;  $21,5$ ;  $29,1$ ; y  $31,4 \text{ t/km}^2.\text{mes}$ , respectivamente. El tercer centro ubicado en la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de  $22,3 \text{ t/km}^2.\text{mes}$ ; mientras que el cuarto centro en el cono sur que comprende los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y Lurín, se presenta también fraccionado en Villa María del Triunfo y Lurín con valores de  $23,4$  y  $18,8 \text{ t/km}^2.\text{mes}$ , respectivamente.



**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 2006**

#### 4.2 Condiciones meteorológicas durante el mes de setiembre del 2006

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 correspondiente ( 3.3 ). A continuación se desarrollan los análisis respectivos.

#### 4.2.1 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 15,4 °C en La Molina a 23,2 °C en Comas y la mínima fluctuó entre 12,5 °C en La Molina a 18,7 °C en La Molina; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 17,1°C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 82 % en el Callao a 100 % en Comas y la Molina; y la mínima osciló entre 60 % en el Callao a 98 % en Chorrillos. Ver **figuras 4 y 5**; la humedad relativa media fue de 86 %. El presente mes se ha caracterizado por presentar días con lloviznas aisladas bastante frecuentes y una sensación de alta humedad atmosférica, aunque con un incremento de los días con brillo solar hacia el mediodía.
- Con respecto al análisis horario de la información, los valores mínimos de la temperatura del aire se registraron de manera predominante entre las 3:00 y 5:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 14:00 y 16:00 horas. 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, como son CP. Collique, Met. Sinópt. A.I. Jorge Chávez, CP. Campo de Marte, Automática Lima Este y CO. Pantanos de Villa, señala el día 11 de setiembre como el más cálido con una máxima media de 20 °C y el día 13 como el más frío con un valor de 16,7 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 11 con la mínima media de 84 %, y el más húmedo el 3 y el 29 con 90 %.
- En cuanto al comportamiento presentado en la estación de invierno ( meses de junio, julio y agosto), se han analizado los registros de las estaciones de Campo de Marte ( Jesús María ) y A.I. Jorge Chavez ( Callao), Ver **figura 6**. En términos medios para este período, la temperatura fue de 18 °C y la humedad relativa de 82 %; la máxima y mínima temperatura se presentaron en el mes de junio en Jesús María ( 23,8 y 16,1°C); mientras que la humedad máxima fue de 100% en junio y la mínima de 56 % en julio en el Callao. La temperatura media diaria alcanzó sus valores máximos el día 4 de julio con 20,4 °C en Jesús María y el 8 de junio en el Callao con 21 °C; y las mínimas fueron el 22 de agosto de 16 °C en J. María y de 17 °C el día 12 de agosto en el Callao. Con respecto a las humedades relativas medias diarias, la máxima se alcanzó el 19 de julio ( 94%) en Jesús María y el 6 de junio en el Callao (90 %); en cuanto a los días más secos, éstos fueron de 86 % en Jesús María, y de 70% en el Callao el día 23 de julio.

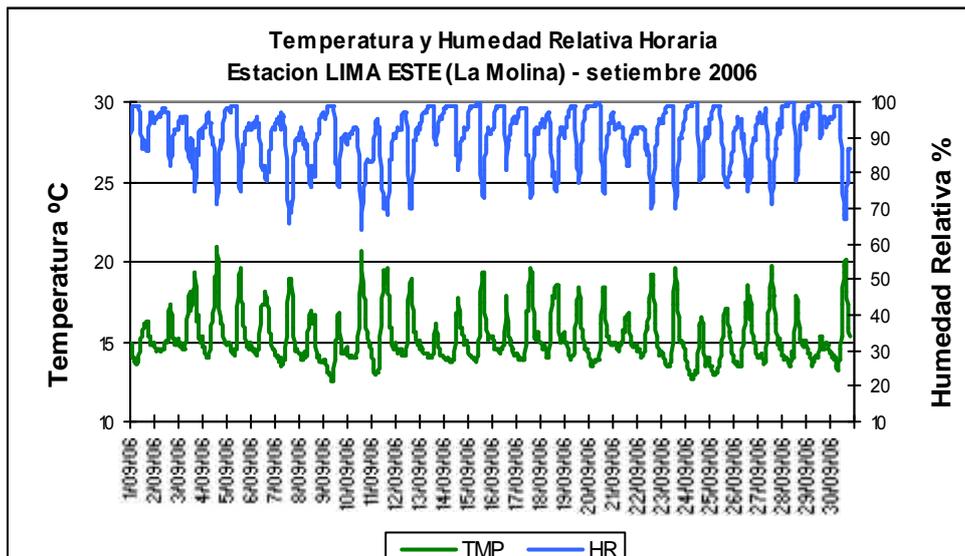
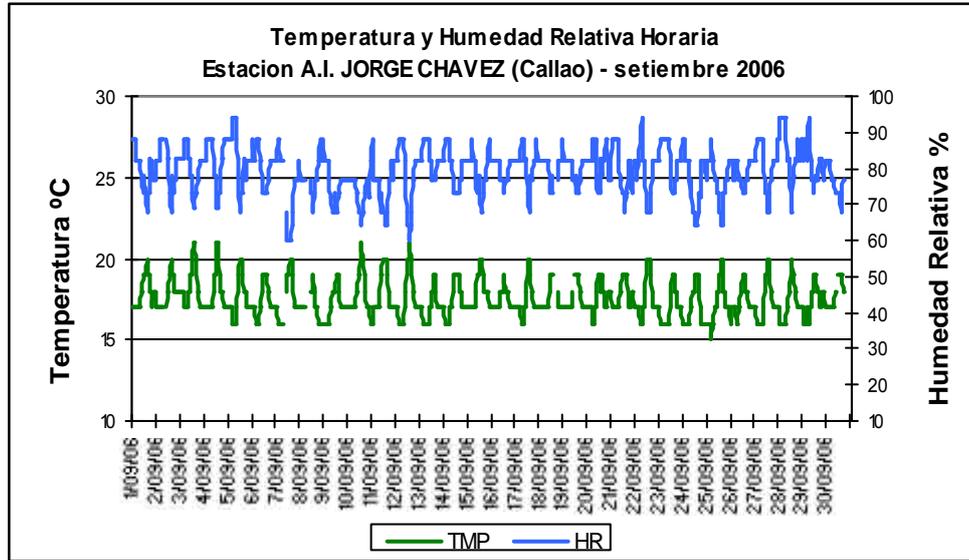


Fig.4.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2006 en El Callao y La Molina

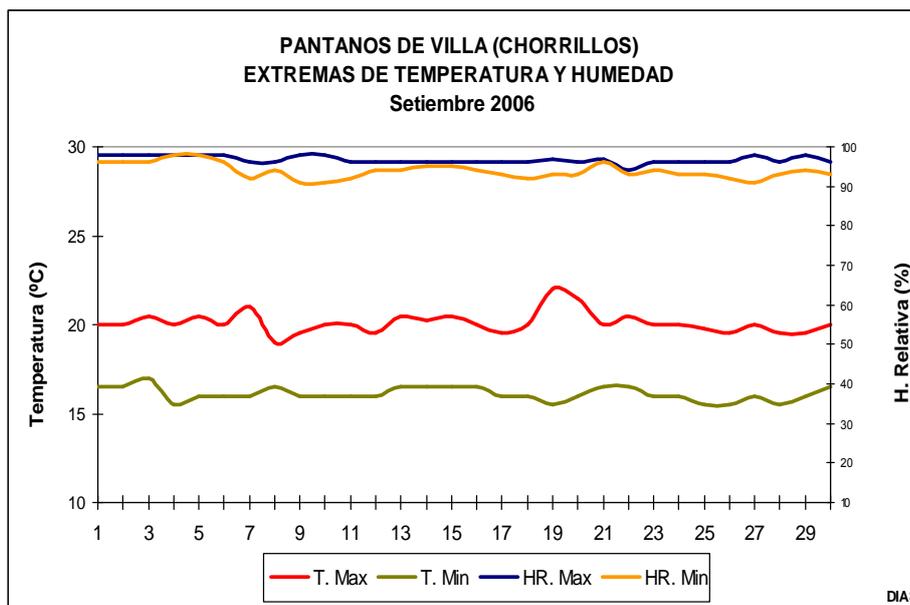
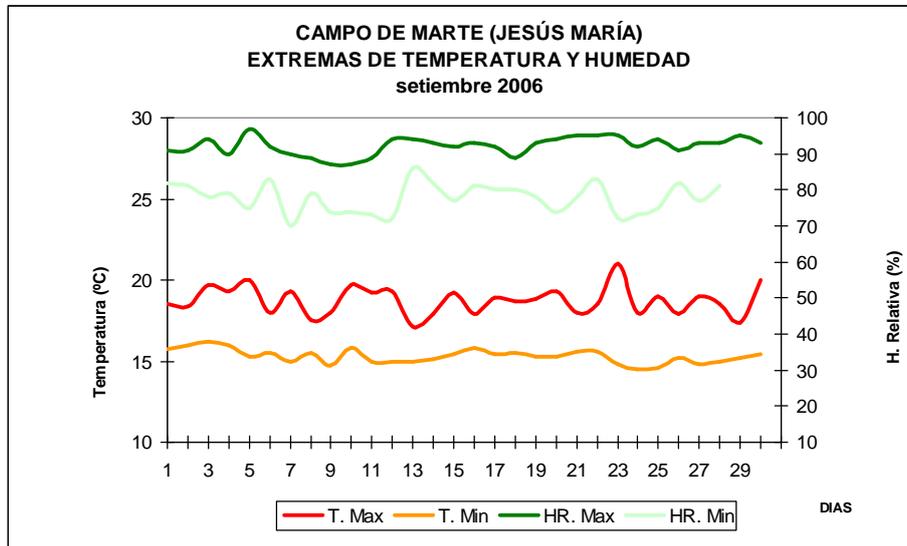
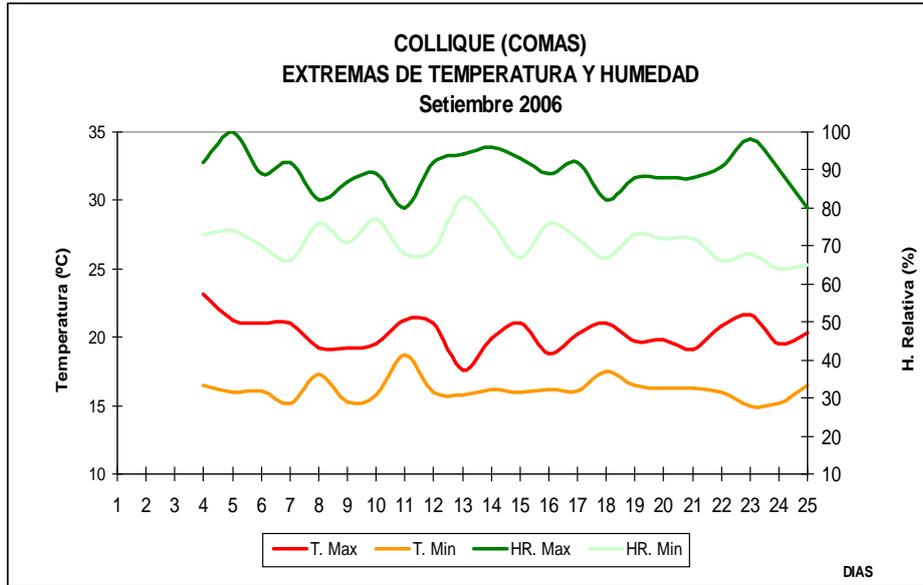


Fig.5.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2006 en Comas, Jesús María y Chorrillos

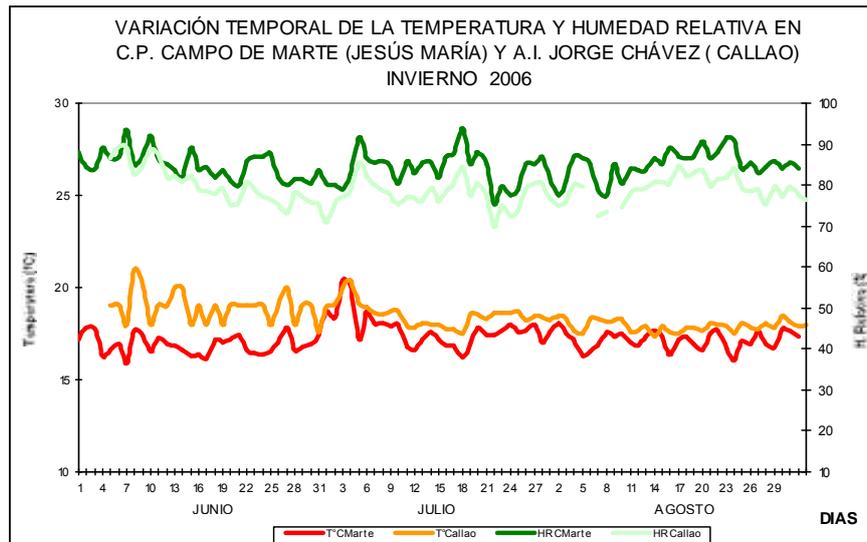


Fig 6.- Variación temporal de la temperatura y humedad relativa media diaria durante la estación de invierno del 2006 en Jesús María y el Callao

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

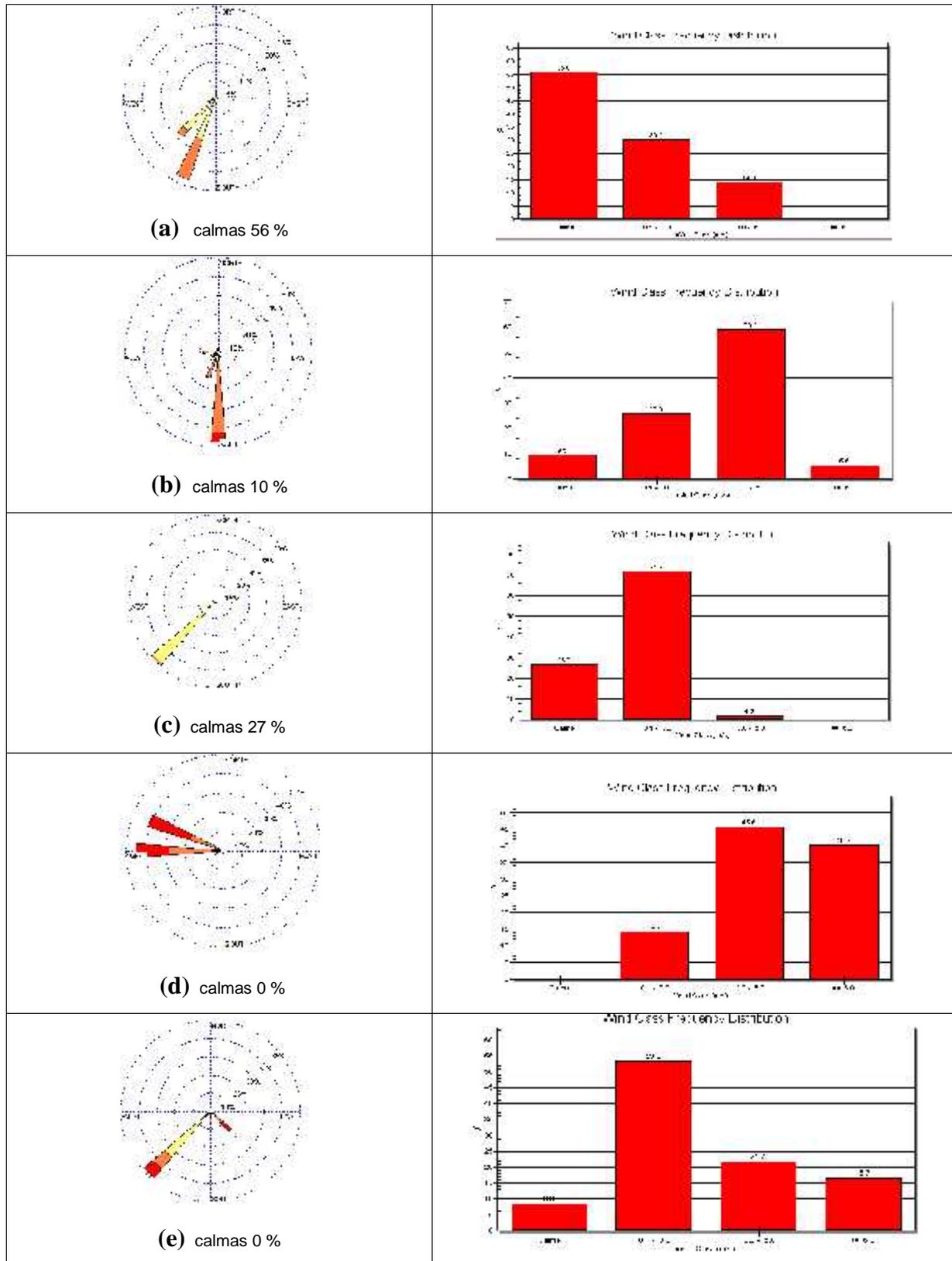
La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de setiembre es presentada en las **figuras 7 y 8** para el período diurno (07:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente.

- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), predominaron vientos de intensidad media débil a fuerte en las estaciones analizadas. Intensidades débiles en Comas y Jesús María ( media de 1,03 m/s) donde predominaron direcciones del SSW y SW ( 23 y 14 %) con ocurrencia de calmas de 56%; y del SW ( 68 %) con ocurrencia de calmas de 27%, respectivamente; moderadas en el Callao, La Molina y Chorrillos provenientes del S y SSW ( 47 y 15%); del W y WNW ( 45 y 41 %); y del SE, SW y S ( 35, 34 y 27 %), respectivamente.

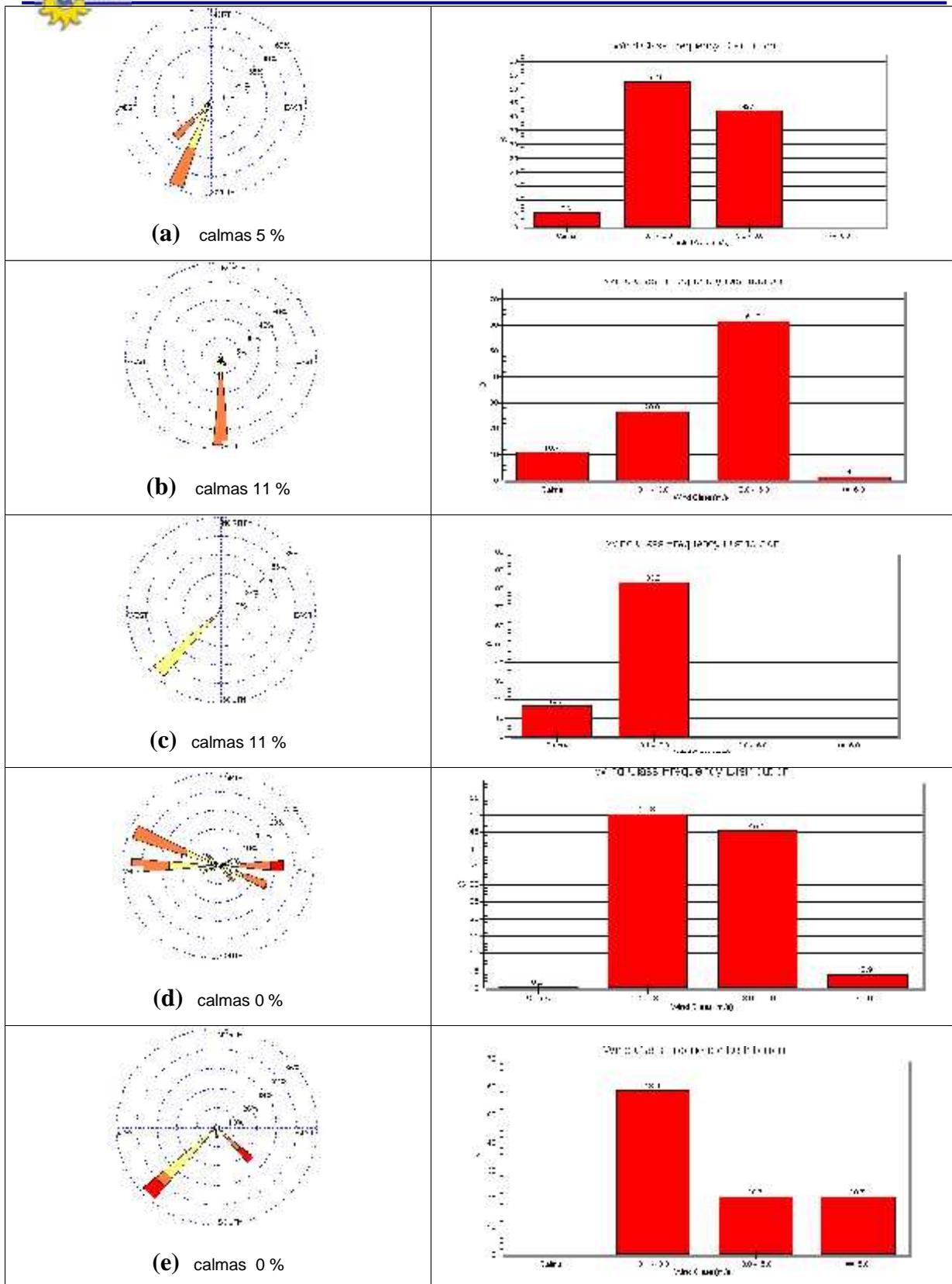
La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, predominaron intensidades débiles y moderadas en promedio en las estaciones, con un porcentaje de ocurrencia de calmas mayor en Comas ( Collique).

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se registraron vientos de intensidad media débil en Jesús María proveniente del SSW y S ( 58 y 32 %). Mientras que vientos de intensidad moderada se reportaron en Comas, el Callao, La Molina y Chorrillos de direcciones SW y SE ( 62 y 31 %); del S y SSW ( 72 y 6 %); del W y WNW ( 24 y 23 %); y del SW y SE ( 62 y 31 %), respectivamente.

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 8**. Predominaron intensidades en promedio débiles y moderadas en las estaciones analizadas.



**Fig.7 – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia diurnas de las estaciones de (a)Comas, (b) Callao,(c) Jesús María, (d) La Molina,(e) Chorrillos - Setiembre 2006**



WIND SPEED  
(m/s)

- $\geq 6.0$
- 3.0 - 6.0
- 0.1 - 3.0

Calms: 0.30%

**Fig.8 – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia nocturnas de las estaciones de (a) Comas, (b) Callao, (c) Jesús María, (d) La Molina, (e) Chorrillos - Setiembre 2006**

#### 4.2.3 Análisis de la temperatura y vientos en el perfil de la tropósfera de la costa central del Perú

Climáticamente en la Costa Central del Perú, la capa de inversión térmica por subsidencia correspondiente al mes de setiembre se mostró aún muy bien configurada en la mayor parte de los días con su base alrededor de los 800 m.s.n.m; sin embargo, en algunos días del mes ha mostrado debilitamiento en horas del medio día con el consiguiente rompimiento del techo nuboso estratiforme formado por debajo de la base de dicha inversión, lo que favoreció la entrada de radiación solar que se manifestó en un ligero incremento de las temperaturas e inicio y lenta intensificación de los procesos de turbulencia cerca de la superficie, relacionados directamente con los procesos de suspensión y re-suspensión; por lo que las concentraciones de polvo atmosférico de 10,6 t/km<sup>2</sup>.mes para el presente mes han mostrado un ligero incremento respecto al mes anterior donde fue de 9,3 t/km<sup>2</sup>.mes.

### 5. Conclusiones

- ✓ Para el presente mes, las concentraciones del polvo atmosférico fueron ligeramente superiores en los principales núcleos respecto a los registros del mes de agosto. La configuración resultante muestra 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con 25 t/km<sup>2</sup>.mes; el segundo en el cono centro-este con un valor medio de 25,6 t/km<sup>2</sup>.mes; el tercero en la zona sur-este con 22,3 t/km<sup>2</sup>.mes; y el cuarto en el cono sur de 21,1 t/km<sup>2</sup>.mes.
- ✓ El 71,4 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 10,6 t/km<sup>2</sup>.mes, ligeramente superior al mes de agosto; y el valor máximo registrado fue de 31,4 t/km<sup>2</sup>.mes en Lurigancho y el mínimo de 1,2 t/km<sup>2</sup>.mes en Carabaylo.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias de las estaciones analizadas en setiembre fueron de 17,1 °C y 86 %. Así mismo, el día más cálido fue el 11 con una máxima media de 20 °C; y el 13 el más frío con 16,7 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 11 con la mínima media de 84 % y no se alcanzó la saturación (90 %).
- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, tanto durante el día como durante la noche predominaron vientos de intensidad media débil, moderada y fuerte en las estaciones referidas con direcciones predominantemente del S, SW, WNW y SE. La mayor ocurrencia de calmas se registró en Comas durante la noche.
- ✓ El inicio en el lento debilitamiento de la inversión térmica desde fines de la estación de invierno, que permitió el ingreso de radiación solar y por lo tanto el lento incremento de la temperatura del aire, está



directamente relacionado a la lenta intensificación de los procesos de turbulencia y asimismo a los procesos de suspensión y re-suspensión por lo que las concentraciones de polvo atmosférico han mostrado un ligero incremento con respecto al mes anterior.