

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

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

INDICE GENERAL

RESUMEN	3
1. CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO	3
2. METODOLOGÍA	7
3. RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL	10
4. CONCLUSIONES	23

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1-. Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao	9
Fig. 2 -. Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de setiembre 2006 y noviembre 2006 en Lima-Callao.	10
Fig. 3a -.Variación horaria de la temperatura y humedad en Ancón, Comas y El Callao en el mes de noviembre del 2006 en Lima-Callao.	13
Fig. 3b -.Variación horaria de la temperatura y humedad en Jesús María, La Molina y Santiago de Surco en el mes de noviembre del 2006 en Lima-Callao.	14
Fig. 4 -. Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Chorrillos durante el mes de noviembre del 2006 en Lima-Callao.	15
Fig. 5a -.Rosas de viento e histogramas de frecuencia: Ancón y Comas.	16
Fig. 5b-.Rosas de viento e histogramas de frecuencia: Callao y J. María.	17
Fig. 5c-.Rosas de viento e histogramas de frecuencia: La Molina, Surco y Chorrillos.	18
Fig. 6 -. Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de noviembre del 2006.	22

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire – ECA's	4
Cuadro N° 2 Valores de tránsito – ECA'S	4
Cuadro N° 3 Valores referenciales – ECA'S	5
Cuadro N° 4 Concentraciones de los contaminantes sólidos sedimentables. Meses de octubre y noviembre 2006.	10

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

RESUMEN

El boletín del mes de noviembre 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. El 78 % de las estaciones superaron el valor referencial permisible de la OMS, con concentraciones en promedio superiores a las del mes anterior. La concentración media de CSS para la z.m. de Lima-Callao fue de 11,4 t/km².mes, superior a la media de octubre que fue de 11,2 t/km².mes. Respecto a la evaluación meteorológica, se observó el gradual debilitamiento de la inversión térmica, incremento paulatino de la temperatura del aire y de las brisas marinas, condiciones que se manifestaron en ligero incremento de los procesos de turbulencia atmosférica y por lo tanto los fenómenos de suspensión y re-suspensión, por lo que las concentraciones del polvo atmosférico mostraron un incremento con respecto al mes de octubre.

1. Calidad del aire en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

De acuerdo a lo citado por Silva *et al* (2004)¹, 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-PCM², 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

¹ Silva J.; Concepción, E.; Montoya, Z. 2004. Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima-Callao. Boletín Meteorológico e Hidrológico del SENAMHI. Cap. IV. Ambiente. Lima, Perú.

² CONAM. 2001. Reglamento Nacional de Estándares de la Calidad Ambiental del Aire. Lima, Perú.

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 ¹
		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 ²	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)

¹ O método equivalente aprobado ² 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 ¹
		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)

¹ 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 ¹
		Valor	Formato	
PM-2.5	Anual	15		Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	65		

¹ 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.

La actividad antropogénica conjugada con los factores naturales climáticos de permanente aridez de la costa peruana donde se ubica geográficamente la capital, han ocasionado que la calidad del aire, se haya convertido en uno de los mayores riesgos para la salud de la población de la Zona Metropolitana de Lima y Callao³. Así, la primera de las 10 causas de atención hospitalaria en Lima-Callao, corresponde a las infecciones respiratorias agudas. Se ha establecido que la contaminación por partículas aún en mínimas concentraciones causa a corto y largo plazo, disminución de la función pulmonar, lo que ocasiona la presencia de enfermedades crónicas respiratorias y la muerte prematura⁴.

Es importante conocer que dependiendo de su tamaño, las partículas pueden sedimentar o flotar. Los contaminantes sólidos sedimentables, polvo atmosférico o deposición ácida seca incluyen al grupo de partículas de hasta un diámetro de aproximadamente 100u, considerando que el polvo de mayor tamaño tiende a sedimentar rápidamente; de este grupo, las partículas más finas, son las más peligrosas ya que tienen una mayor penetración en el sistema respiratorio. Abundantes trabajos de investigación demuestran la relación directa entre el polvo atmosférico y partículas respirables con enfermedades respiratorias, digestivas, dermatológicas, reumáticas, nerviosas y oculares⁵.

La evaluación de las concentraciones de uno u otro contaminante es denominado monitoreo atmosférico, para el cual de acuerdo a Martínez *et al* (1997)⁶, 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.

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

³ Silva J. 2000 Factores meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación del aire en la ciudad de Lima. Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima. Vol.N°113:2000. Lima, Perú.

⁴ 10González, A. ; Vega, F.; Abarca, S. 2000. Programa para mejorar la Calidad del Aire. Tijuana Rosarito. 2000-2005. México D.F.

⁵ Vizcarra Andreu, M. 1992. Tecnósfera. La Atmósfera contaminada y sus relaciones con el público. 246pp. Lima, Perú.

⁶ Martínez, A. Romieu, I. 1997. Introducción al Monitoreo atmosférico. 217pp. México D.F., México.

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:

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

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

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 noviembrer 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.

2. Metodología

2.1 Del monitoreo de los contaminantes sólidos sedimentables

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.

2.2 De la 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 automática Ancón (Ancón), automática Collique (Comas), estación automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación automática Campo de Marte (Jesús María), automática Lima Este (La Molina), estación automática Las Palmas (Surco) y 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.

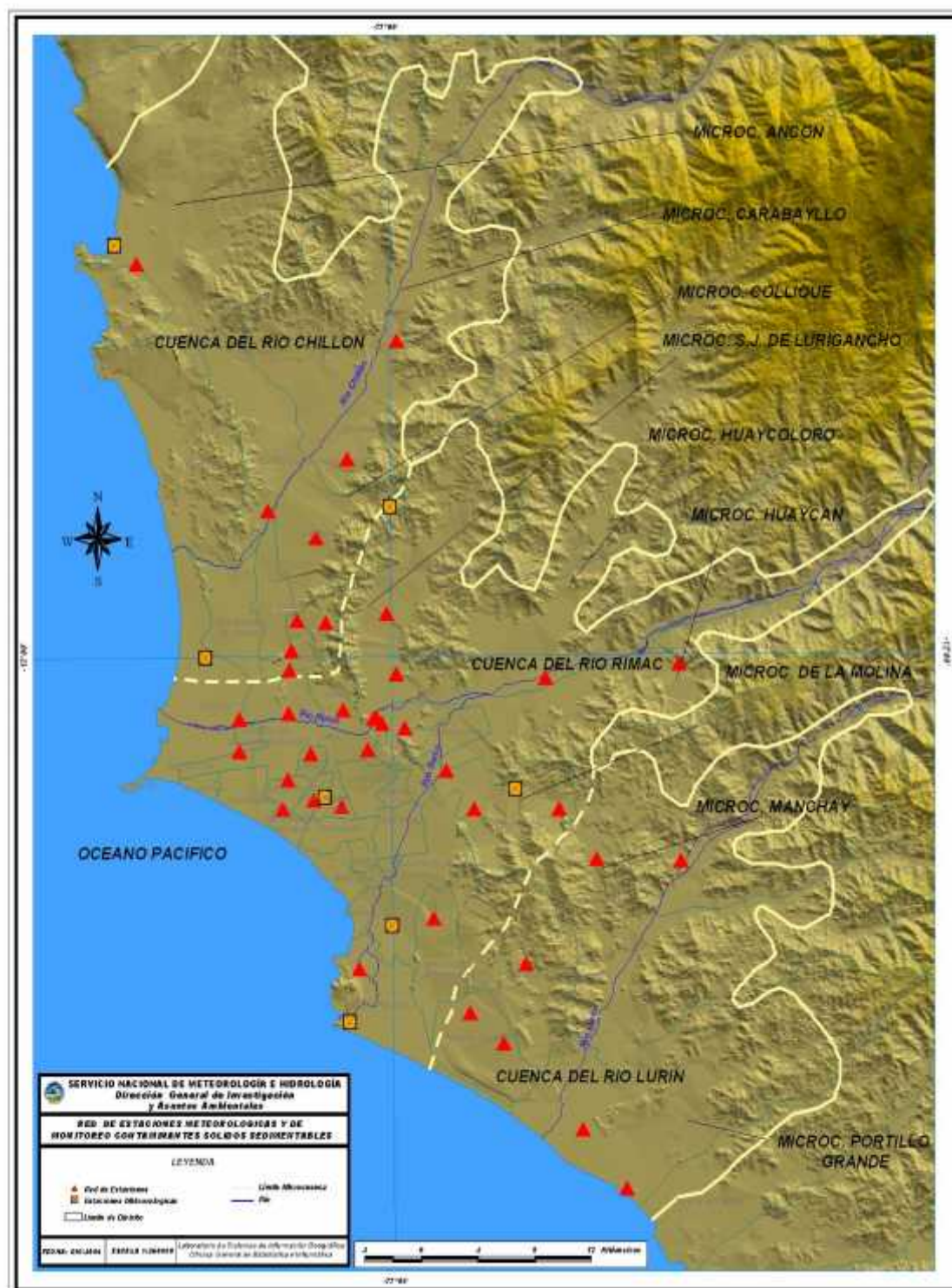


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

3. Resultados del monitoreo ambiental

La evaluación del polvo atmosférico o contaminante sólido sedimentable se realiza en el ámbito de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana de Lima-Callao. La red de estaciones de monitoreo es presentada en la **figura 1**.

Durante el mes de noviembre, el 78 % de estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km².mes, con una media de 11,4 t/km².mes, superior a la del mes anterior.

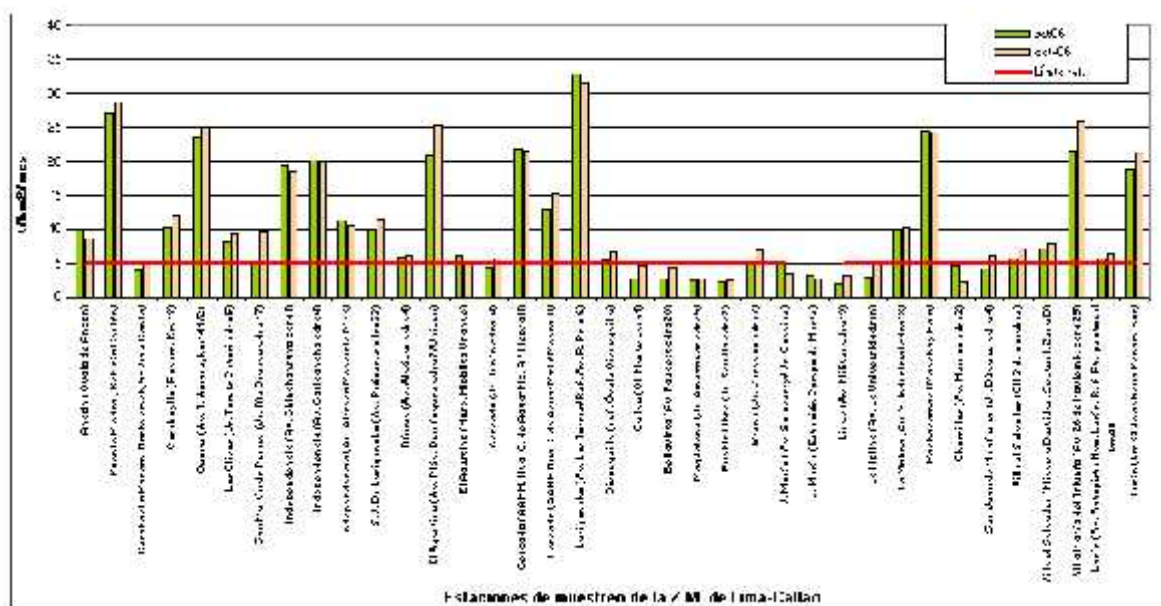
De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 4**, los niveles de contaminación en los principales núcleos fueron relativamente superiores a los registros del mes de octubre. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Lurigancho con 31,4 t/km².mes, y el mínimo de 2,3 t/km².mes en Chorrillos. La dirección predominante de los vientos y su intensidad (mayor en el litoral costero) propiciaron la mayor acumulación hacia el lado este (carretera central) aunado a la compleja topografía urbana y contaminación local.

Cuadro N°4. Concentraciones de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables: octubre y noviembre (t/km².mes)

Conc t/km ² .mes	N° est.	% de estaciones Sobrepasan nivel ref.	Núcleos principales (puntuales y promedios)				X t/km ² .mes	Máx t/km ² . mes	Mín t/km ² . mes
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur			
octubre	37	73	27,0 (Pte. Piedra)	26,3 (S.J.L.; El agustino, El Cercado; Lurigancho)	24,5 (Pachacamac)	20,2 (V.M.T.; Lurín)	11,2	32,8 (Lurig.)	2,1 (lince)
noviembre	37	78	28,6 (Pte. Piedra)	26,1 (El agustino, El Cercado; Lurigancho)	24,2 (Pachacamac)	23,7 (V.M.T.; Lurín)	11,4	31,4 (Lurig.)	2,3 (Chorr.)

En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de octubre y noviembre 2006.

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



Las condiciones meteorológicas se manifestaron en un gradual debilitamiento y ausencia de la inversión térmica durante un mayor número de días respecto al mes anterior; condiciones que se manifestaron en un paulatino incremento de la temperatura superficial, brisas marinas y de los procesos de turbulencia y éstos a su vez en una lenta intensificación de los procesos de suspensión y re-suspensión, por lo que las concentraciones del polvo atmosférico mostraron un incremento con respecto al mes de octubre. El comportamiento meteorológico registrado es el siguiente:

a. De la 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 18,3 °C en La Molina a 25,0 °C en Comas, Jesús María y Chorrillos y la mínima fluctuó entre 14,1 °C en La Molina a 19,8 °C en Ancón; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 19,3 °C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 83 % en el Callao a 100 % en La Molina y Chorrillos; y la mínima osciló entre 54 % en el Callao y Surco a 95 % en Chorrillos. Ver **figuras 3 a, b; y 4**; la humedad relativa media fue de 83 %. Este mes se ha caracterizado por el incremento de días con brillo solar desde tempranas horas de la mañana, por lo tanto un incremento gradual de la temperatura del aire, con excepción de los últimos días en donde se presentó mayor la cobertura nubosa en la capital.

- 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 5:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 14:00 y 15:00 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 13:00 y 16:00 pm.
- El análisis medio de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas, como son Automática Ancón, automática Collique, Met. Sinópt. A.I. Jorge Chávez, automática Campo de Marte, automática Lima Este, automática Las Palmas y C.P. Pantanos de Villa señala el día 26 de noviembre como el más cálido con una máxima media de 20,5 °C y el día 1 como el más frío con un valor de 17,8 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 23 con la mínima media de 79 %, y el más húmedo el 21 de noviembre (87%).

b. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de noviembre es presentada en las **figuras 5 a,b,c** 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), en los distrito de Ancón, Comas, Jesús María, Surco y Chorrillos, predominaron vientos de intensidad media débil (< 3 m/s) proveniente del SW y WSW (27 y 14 %); SW y SSW (55 y 22 %); WSW y SW (64 y 21 %); S y WSW (25 y 24 %); y del SW y S (77 y 8 %), respectivamente. Viento de intensidad media moderada se registró en El Callao de direcciones S y SSW (51 y 14%); mientras que intensidad fuerte se reportó en La Molina proveniente del W y WNW (57 y 36 %). Ocurrencia de calmas se reportó principalmente en Ancón (6,5 %), El Callao (6,5 %) y Chorrillos (5 %).

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 5**. Así, predominaron intensidades débiles y moderadas en promedio en las estaciones.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se registraron vientos de intensidad media débil en todas las estaciones analizadas, provenientes del SSW y SW (24 y 20 %) en Ancón; SW y WSW (45 y 19 %) en Comas; S y SSE (68 y 11 %) en El Callao; WSW y SW (44 y 14 %) en Jesús María; WNW y W (31 y 27 %) en La Molina; SSE y S (52 y 17 %) en Surco; y del SW y SE (73 y 14 %) en Chorrillos. Ocurrencia de calmas se reportó principalmente en Ancón (27,3 %), El Callao (10,5 %) y Jesús María (4,2 %), principalmente.

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 5**. Predominaron intensidades en promedio débiles en las estaciones analizadas.

C. De la temperatura y vientos en el perfil de la tropósfera

Climáticamente, en la Costa Central del Perú, la base de la capa de inversión térmica por subsidencia, en el mes de noviembre se configura alrededor de los 600 msnm y con claro debilitamiento con respecto a los meses de invierno. Así, en el presente mes, muestra un gradual debilitamiento y ausencia en gran parte de un mayor número de días con respecto al mes anterior; condiciones meteorológicas que al limitar y en el mejor de los casos impedir la formación del techo nuboso estratiforme, se manifestaron en mayor heliofanía, paulatino incremento de la temperatura del aire cerca a la superficie, entrada de las brisas marinas, procesos de turbulencia y de los procesos de suspensión y resuspensión, con el consiguiente incremento de las concentraciones del Polvo Atmosférico Sedimentable.

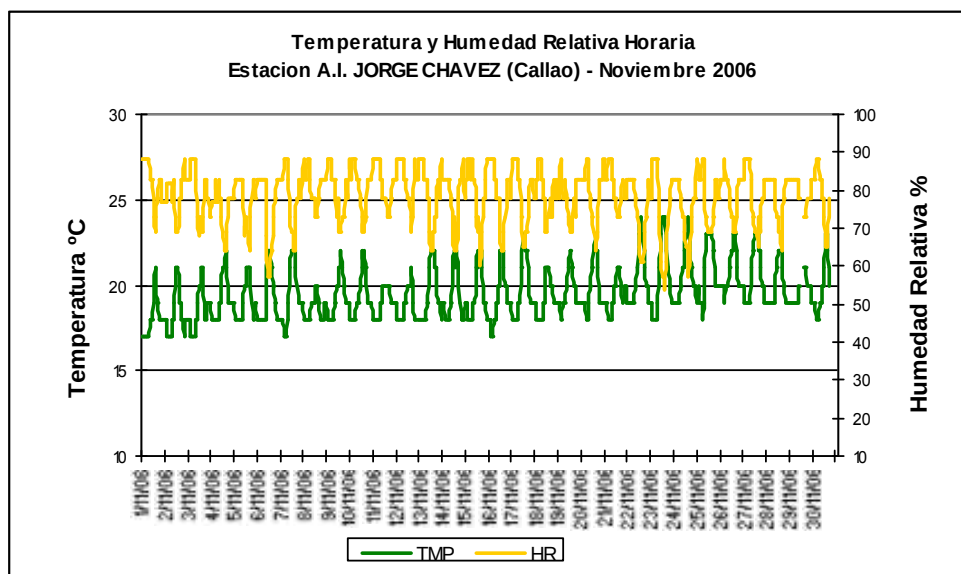
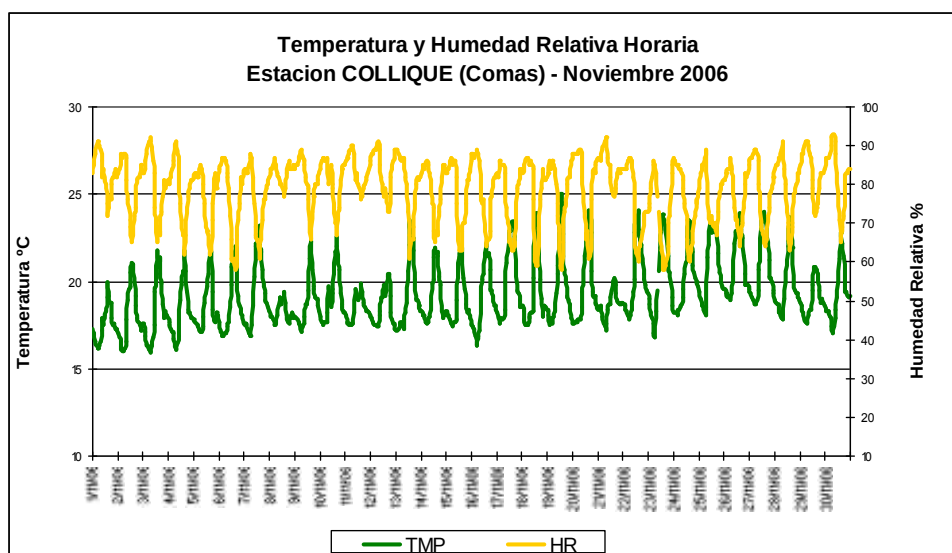
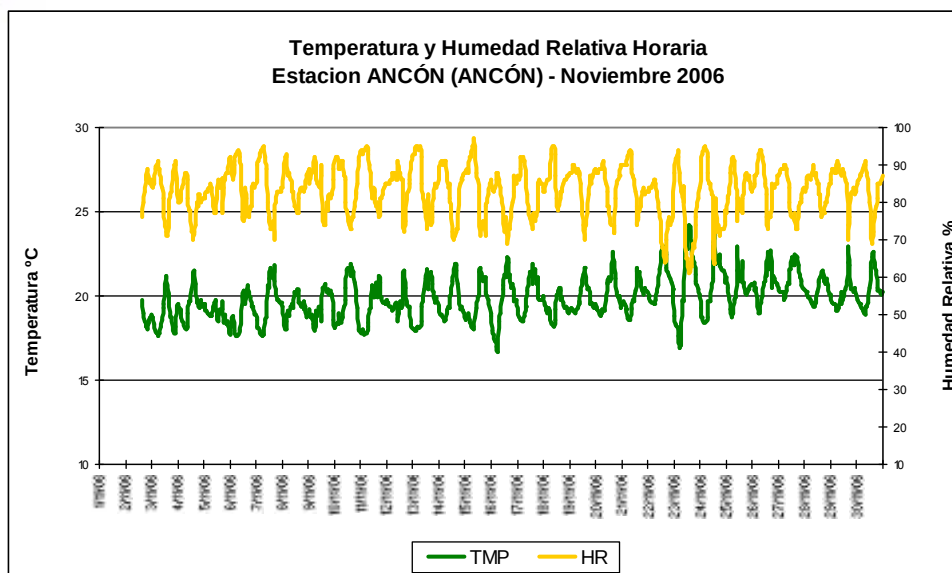


Fig.3a.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de noviembre del 2006 en Ancón, Comas y El Callao

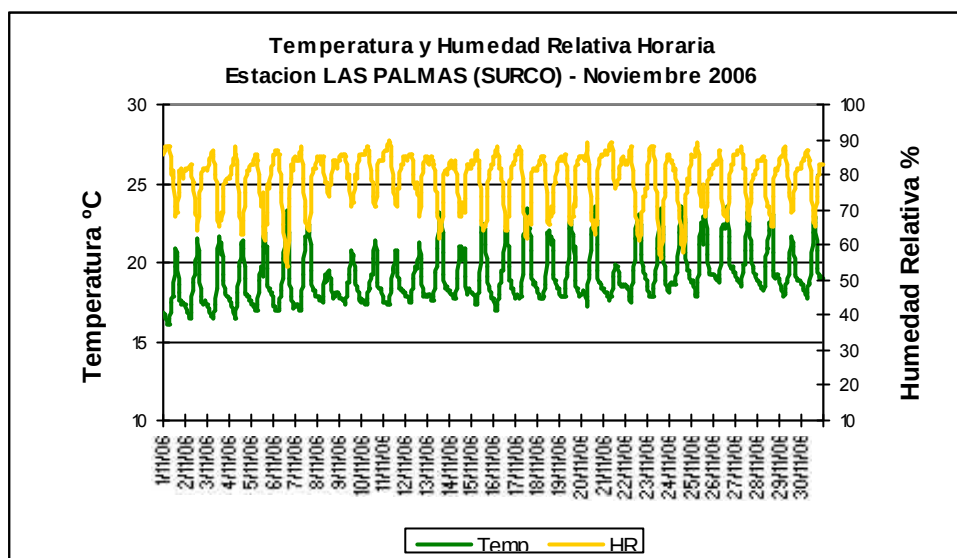
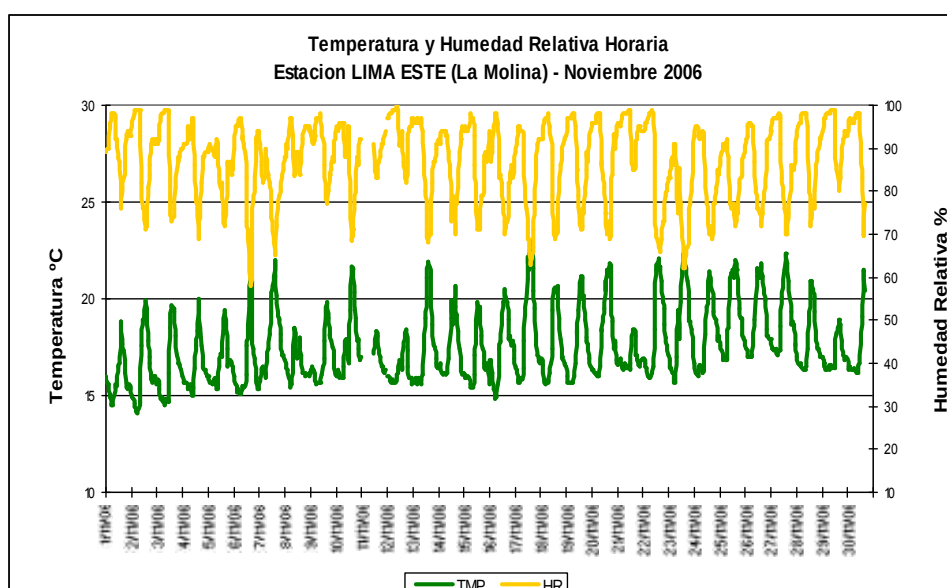
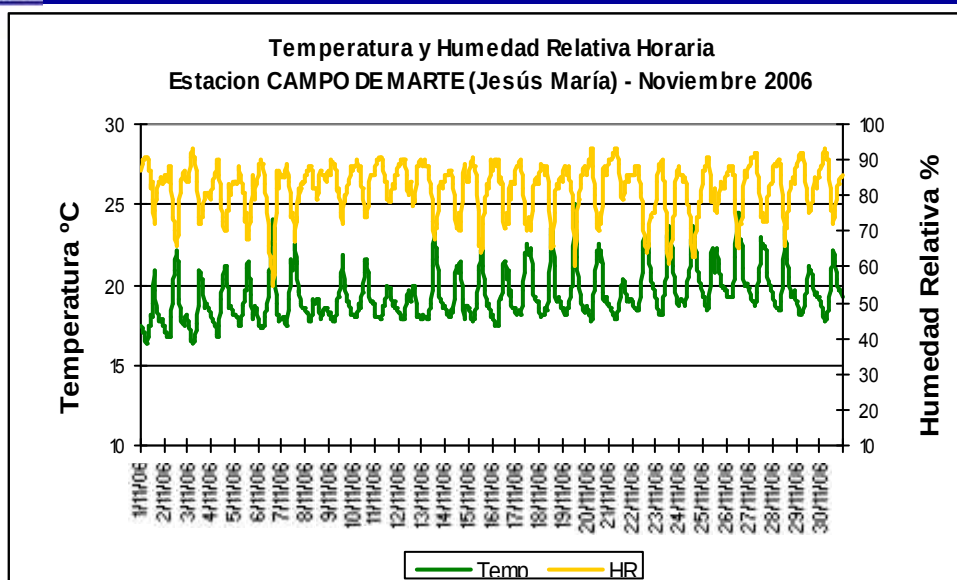


Fig.3b.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de noviembre del 2006 en Jesús María, La Molina y Surco

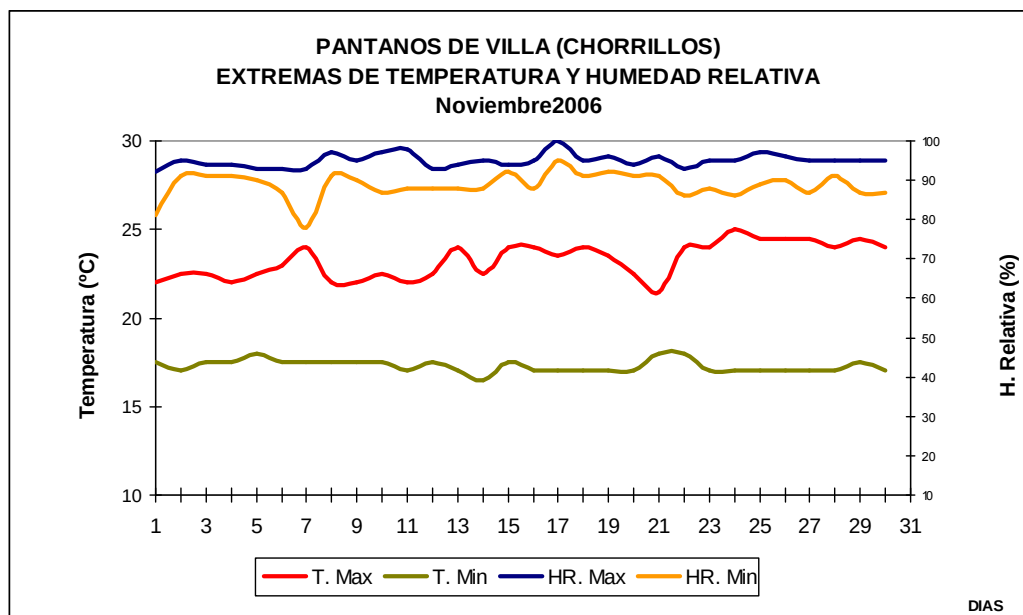


Fig.4- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de noviembre del 2006 en Chorrillos

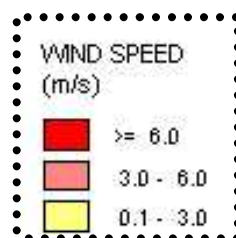
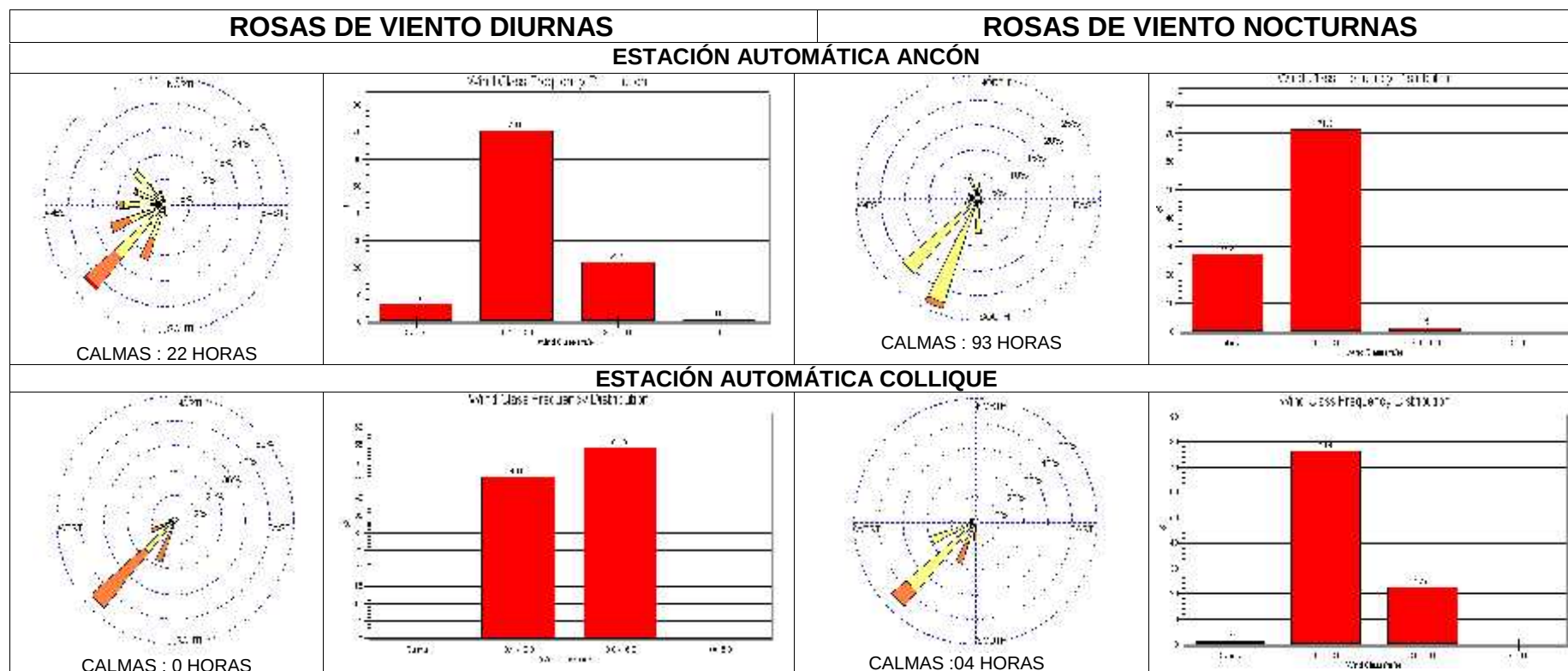


Fig.5a – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia de las estaciones de Ancón y Comas, Noviembre 2006

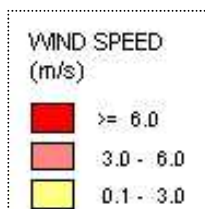
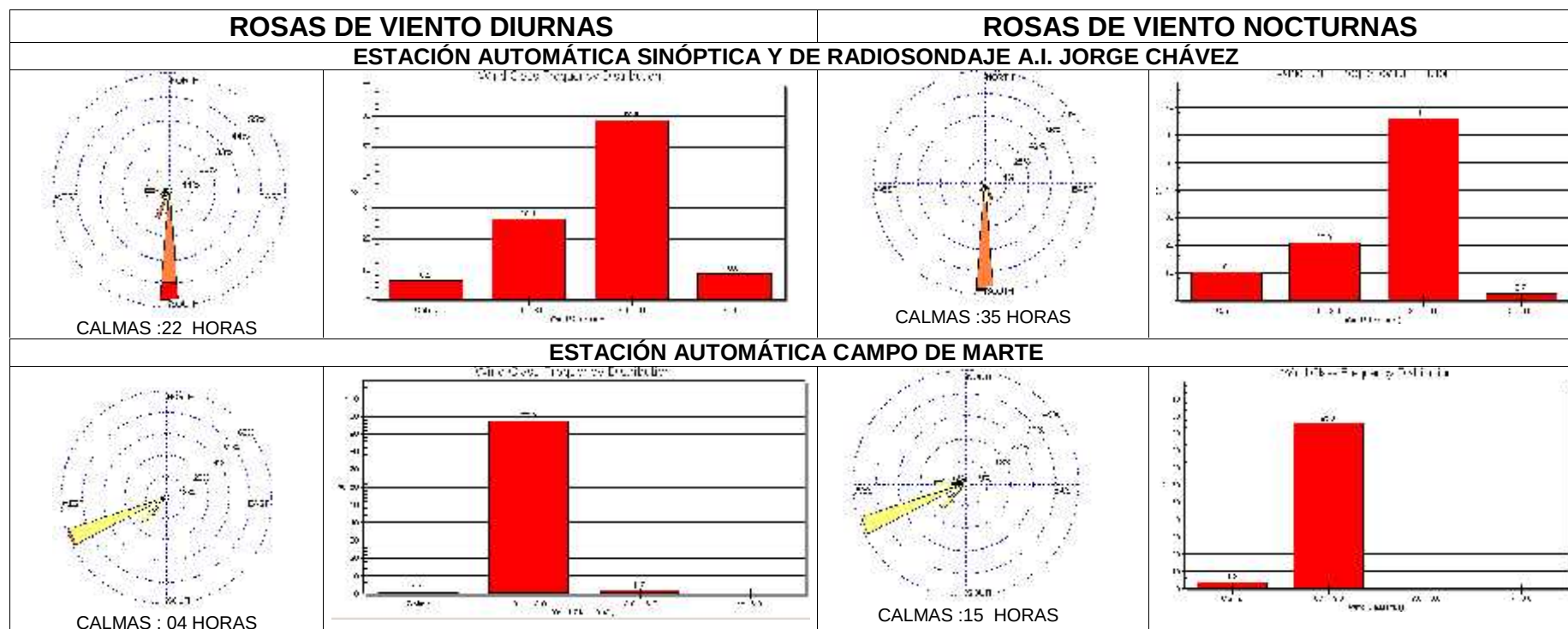


Fig.5b – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia diurnas de las estaciones de El Callao y Jesús María - Noviembre 2006

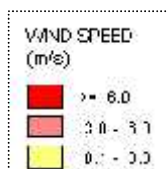
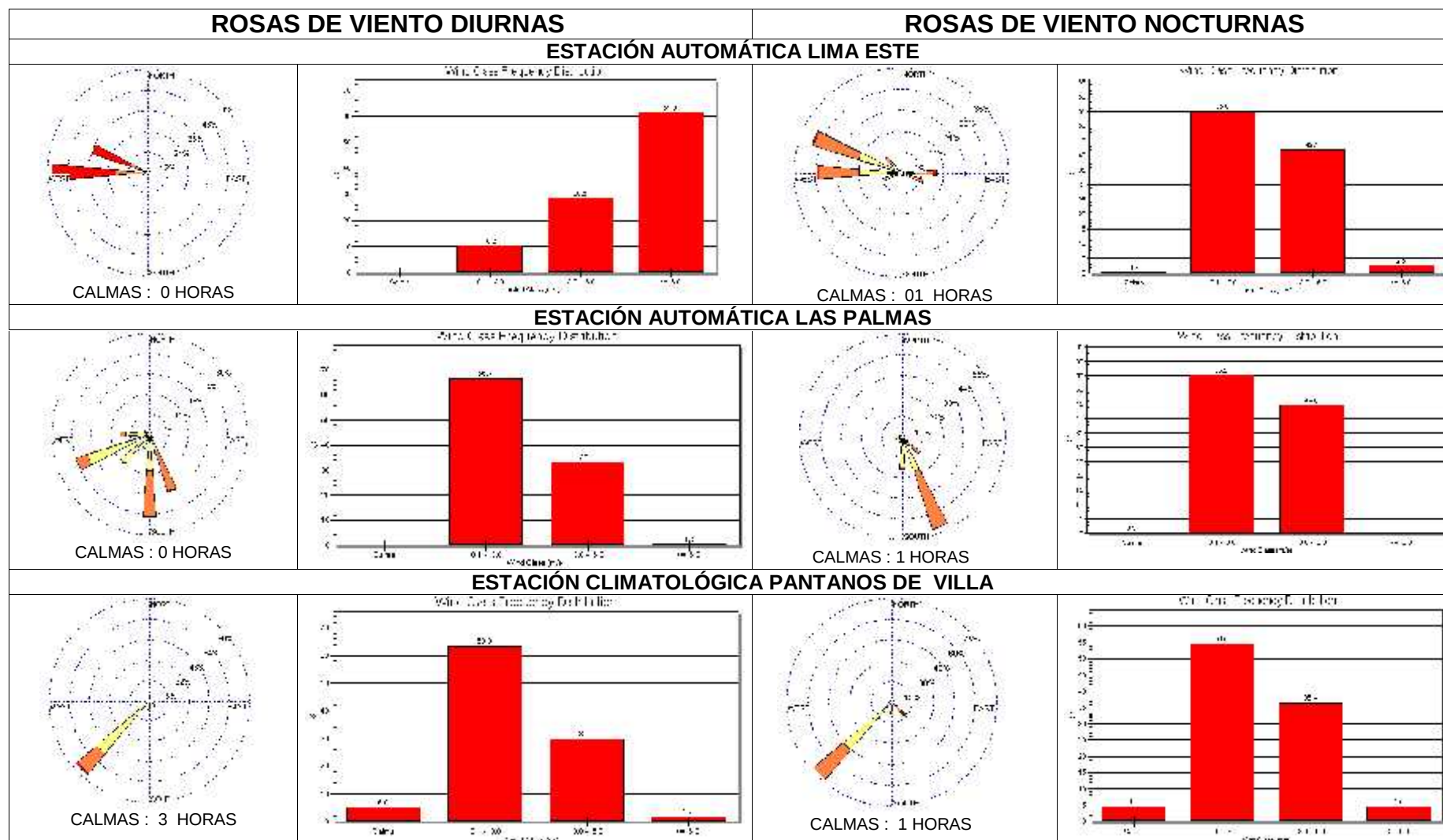


Fig.5c – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia diurnas de las estaciones de La Molina, Santiago de Surco y Chorrillos - Noviembre 2006

La configuración urbana local, la concentración de las fuentes puntuales de contaminación (comerciales e industriales), el transporte vehicular, antiguo y desordenado, y las condiciones meteorológicas descritas, entre los principales, dan lugar a la configuración de zonas de contaminación críticas en Lima-Callao. De acuerdo a lo descrito, en la **figura 6**, para el mes de noviembre, las 4 principales zonas o áreas críticas son: hacia el cono norte (cuenca del río Chillón) se observa el primer centro, extendiéndose hacia la jurisdicción de los distritos de Independencia, Comas, Carabaylo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Puente Piedra tiene un valor de $28,6 \text{ t/km}^2.\text{mes}$. 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 y Lurigancho equivalentes a $25,4$; $24,2$; 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 $24,2 \text{ t/km}^2.\text{mes}$; 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 $25,9$ y $21,5 \text{ t/km}^2.\text{mes}$, respectivamente. Los distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales, comprendidos dentro de la estrecha franja amarilla, se mantuvieron por debajo del límite ($5 \text{ t/km}^2.\text{mes}$), favorecidos por la influencia de las brisas marinas y políticas de gestión municipal saludables.



Fig.6 - 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 noviembre del 2006

4. Conclusiones

- ✓ Para el mes de noviembre, las concentraciones del polvo atmosférico fueron relativamente superiores en los principales núcleos respecto a los registros del mes de setiembre. La configuración resultante muestra 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con 28,6 t/km².mes; el segundo en el cono centro-este con un valor medio de 26,1 t/km².mes; el tercero en la zona sur-este con 24,2 t/km².mes; y el cuarto en el cono sur de 23,7 t/km².mes.
- ✓ El 78 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 11,4 t/km².mes, ligeramente superior al mes de octubre; y el valor máximo registrado fue de 31,4 t/km².mes en Puente Piedra y el mínimo de 2,3 t/km².mes en Chorrillos.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias de las estaciones analizadas en noviembre fueron de 19,3 °C y 83 %, superiores a las del mes anterior. Así mismo, el día más cálido fue el 26 con una máxima media de 20,5 °C; y el 1 el más frío con una mínima media de 17,8 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 23 con la mínima media de 78 %, y el más húmedo el día 21 (87 %).
- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, la intensidad media de los vientos fue débil (< 3 m/s), moderada (3 – 6 m/s), y fuerte en La Molina (período nocturno) con direcciones predominantemente del S, SW, SSW, WNW, W y SSE. La mayor ocurrencia de calmas se registró en Ancón y El Callao.
- ✓ El gradual debilitamiento de la inversión térmica durante noviembre como mes típico de primavera y transicional a la estación de verano, está facilitando el ingreso de mayor insolación e incremento de la temperatura del aire cerca de la superficie; condiciones meteorológicas que se manifiestan en una paulatina intensificación de los procesos de turbulencia y por lo tanto de suspensión y re suspensión, por lo que las concentraciones medias de polvo atmosférico continúan en aumento. Así, en noviembre, fue de 11,4 t/km².mes en relación al mes anterior (11,2 t/km².mes).