

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

El presente boletín muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico contaminante o sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao en relación con las condiciones meteorológicas imperantes durante el mes de febrero. Las concentraciones de polvo atmosférico fueron superiores a las registradas en enero en sus principales núcleos, con el 91,9% de las estaciones que sobrepasaron el valor referencial permisible, evidenciando que durante la máxima evolución de la estación de verano, en donde se incrementa la turbulencia del aire y la capa de inversión térmica está ausente o debilitada, los procesos de suspensión y resuspensión de las partículas se manifiestan de forma importante con una media mensual de 15,5 t/km².mes, tres veces por encima del valor referencial referido.

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, 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 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 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. Metodología

2.1 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 39 estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana de Lima-Callao (**figura 1**). Se continúa con el proceso de ampliación de la red de polvo atmosférico, habiéndose instalado en el presente mes 3 estaciones en el distrito de Pachacamac, específicamente en Manchay, ámbito de estudio de especial importancia por cuanto su población se desarrolla en un medio escasamente urbanizado y con un parque vehicular en permanente tránsito. 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, 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 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”.

2.3 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 meteorológica automática Collique (Comas), estación automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación climatológica Campo de Marte (Jesús María) 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.

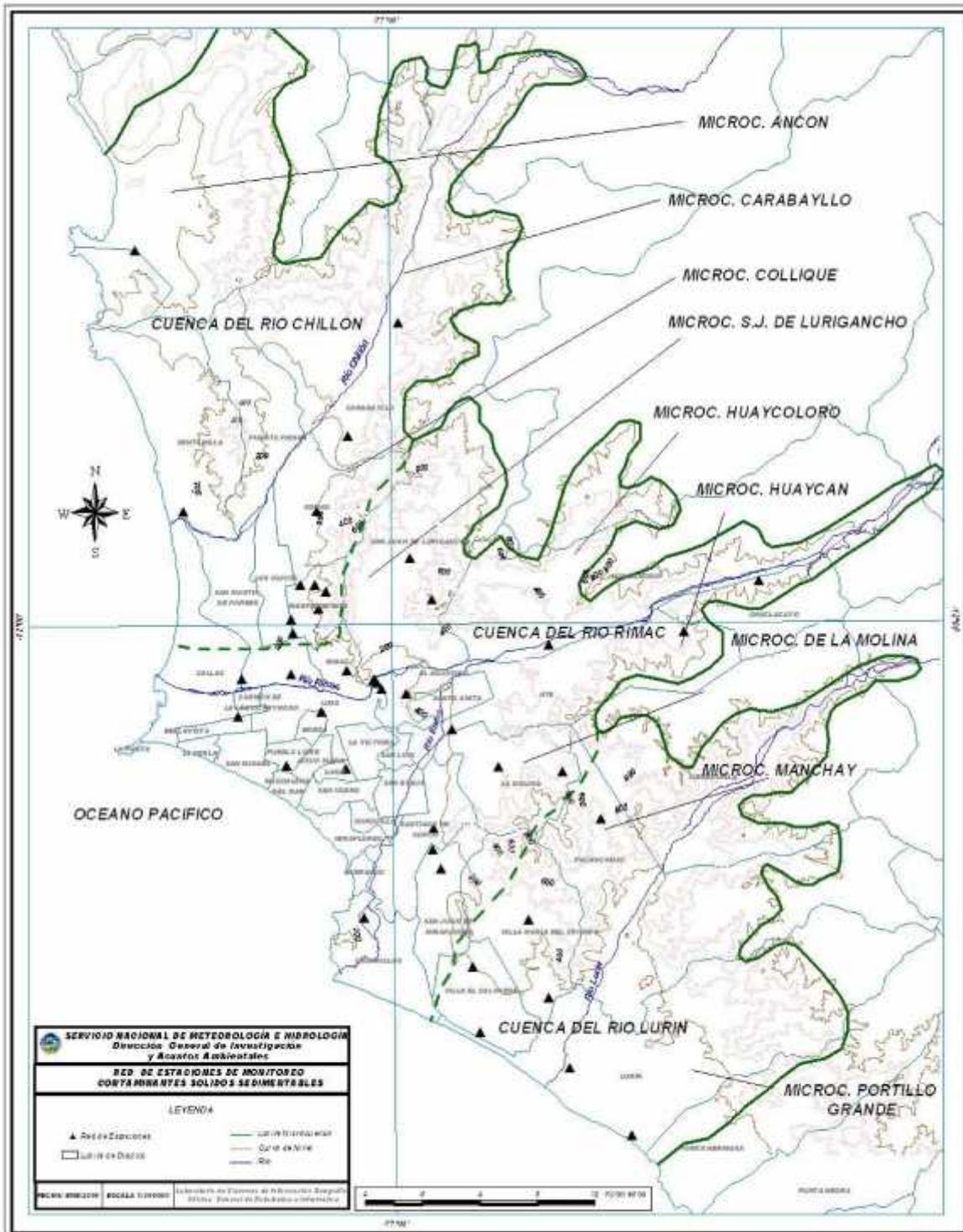


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

3. Resultados del monitoreo ambiental

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

En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS). Para el mes de febrero 2006, se ha recopilado información de 37 estaciones de muestreo instaladas en la mayor parte del ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao, de las cuales el 91,9 % excedieron el valor referencial permisible recomendado por la OMS (5 t/km².mes). Las concentraciones máximas del mes se presentaron en los distritos de Ate Vitarte, Villa María del Triunfo e Independencia, conos este, sur y norte, respectivamente, y que han sobrepasado 7 veces en su conjunto el valor referencial permisible.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación en los principales núcleos fueron en promedio superiores a los registrados el mes anterior. La concentración media de CSS para la z.m. de Lima-Callao fue de 15,5 t/km².mes. Debido a las condiciones de alta insolación y por ende alta turbulencia térmica, los procesos de suspensión y re-suspensión se han incrementado y la mayor parte de las estaciones han superado el nivel referencial, situación que reafirma que en la estación de verano los niveles de contaminación por sólidos sedimentables se incrementan, todo ello conjugado con el debilitamiento y ausencia de la inversión térmica por la subsidencia.

Cuadro N°1. Concentraciones de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables: enero y febrero (t/km².mes)

Concent t/km ² .mes	N° estac.	%	Núcleos principales (puntuales y promedios)			
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur
enero	33	87,9	30,0 (Independencia)	22,4 (El Cercado)	27,3 (Pachacamac)	29,5 (V.M.T.)
febrero	37	91,9	35,3 (Independencia)	28,1 (El Agustino; SJL; Lurigancho; A. Vitarte)	30,0 (Pachacamac)	33,9 (V.M.T.; Lurín)

Así mismo, el máximo valor registrado fue de 39,2 t/km².mes en el distrito de Ate Vitarte, aún referencial por ser el primer mes de muestreo, y el mínimo de 3,6 t/km².mes en Pueblo Libre. En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de enero y febrero 2006.

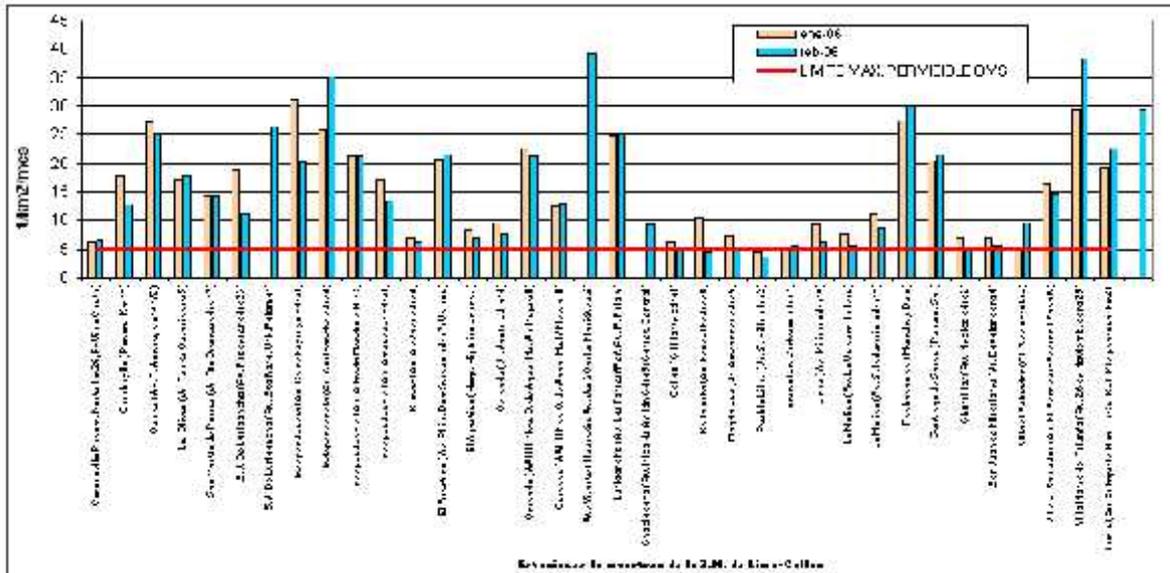


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de enero y febrero 2006 en Lima-Callao

En la **figura 3** se observa la distribución espacial de los contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao. En ella, sólo la estrecha franja amarilla representa aquellas estaciones cuyos registros de concentraciones de polvo atmosférico se mantienen 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 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 Independencia tiene un valor de $35,3 \text{ t/km}^2.\text{mes}$. 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, San Juan de Lurigancho, Lurigancho y Ate Vitarte (Huaycán) equivalentes a $21,5$; $26,5$; $25,2$; y $39,2 \text{ t/km}^2.\text{mes}$, respectivamente. El tercer centro ubicado en la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de $30,0 \text{ t/km}^2.\text{mes}$; 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 $38,2$ y $29,5 \text{ t/km}^2.\text{mes}$. El distrito de Lurín viene registrando concentraciones por encima del valor referencial a pesar de recibir la influencia de las brisas marinas, por cuanto a lo largo de la antigua carretera Panamericana Sur que lo recorre se concentran fuentes como camales, talleres mecánicos y lugares de incineración clandestinos, entre

otros que contribuyen con sus emisiones al deterioro de la calidad del aire en la zona.

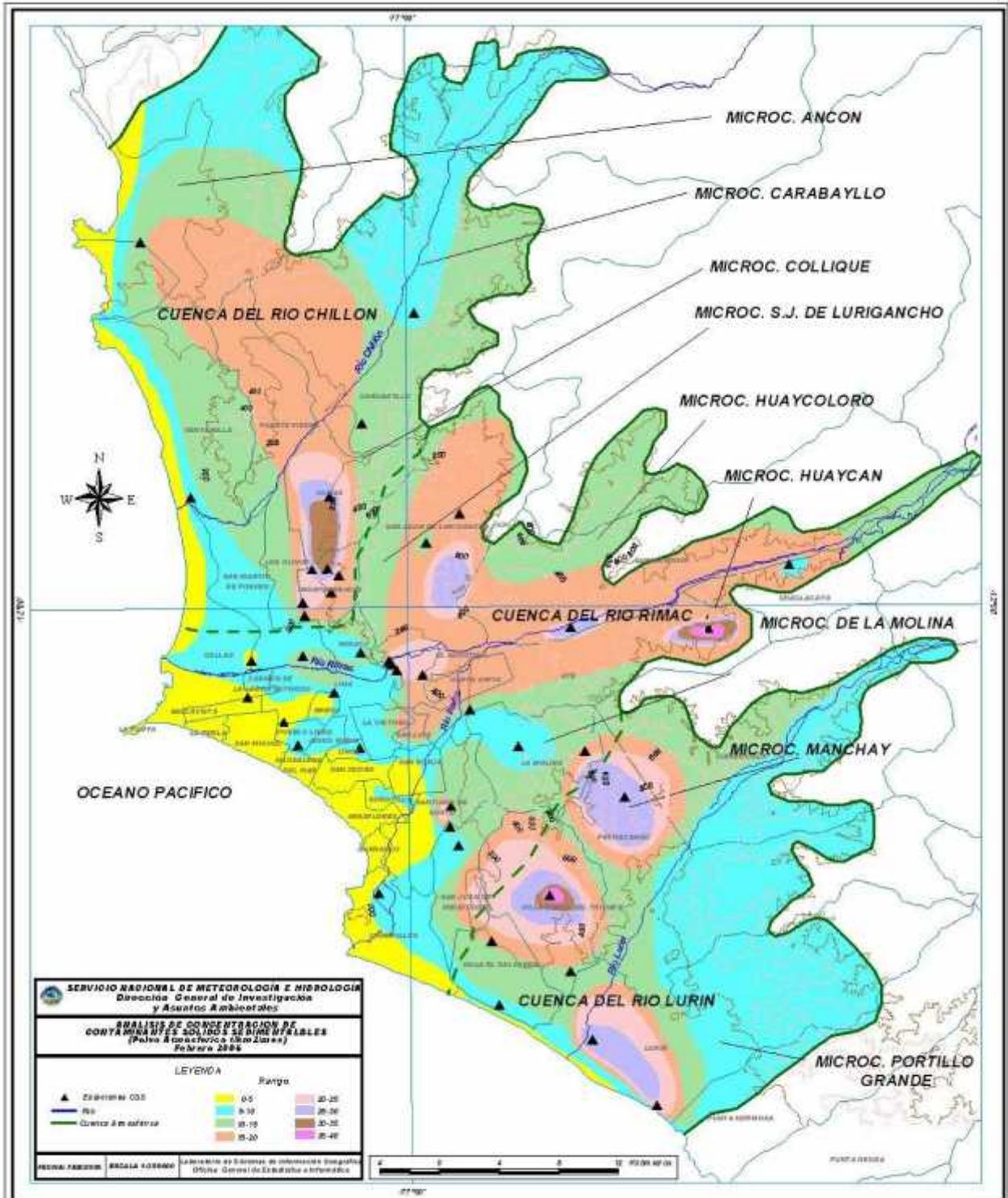


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico en el ámbito de la cuenca atmosférica de la z.m. de Lima-Callao durante el mes de febrero del 2006

4. Condiciones meteorológicas durante el mes de febrero del 2006

Para el mes de febrero, el análisis de las condiciones meteorológicas horarias y diarias para la zona metropolitana Lima-Callao se ha basado en la información de 4 estaciones meteorológicas, convencionales y automáticas, señaladas en el rubro correspondiente. A continuación se desarrollan los análisis respectivos de la información meteorológica.

4.1. 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 25 °C (Jesús María) a 30,1 °C (Comas) y la mínima osciló entre 19,8 °C (Comas y Jesús María) a 23,0 °C (Callao); la temperatura media del mes fue de 23,9 °C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 74 % (Comas) a 94 % (Callao); mientras que la mínima osciló entre 45 % (Comas) a 79 % (Jesús María). Ver **figuras (y 5a,b)**; la humedad relativa media fue de 78,3%. Febrero ha presentado condiciones de intenso brillo solar y alta sensación térmica de calor de forma predominante durante todo el mes.
- 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 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 en conjunto de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas, como son CO. Collique, Met. Sinópt. A.I. Jorge Chávez, CP. Campo de Marte y CO. Pantanos de Villa, señala el día 13 como el más cálido con una máxima media de 24,7 °C y el día 21 como el más frío con un valor de 22,9 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 23 con la mínima media de 73,2 %, y el más húmedo el 4 (aunque no se alcanzó la saturación) con 84,2 %. En términos medios, analizando de forma comparativa las estaciones de El Callao y Jesús María, la temperatura del aire ha presentado un incremento de 0,9 °C y la humedad un descenso de 0,9 %, respecto al mes anterior, con valores de 23,5 °C y 76,6%.

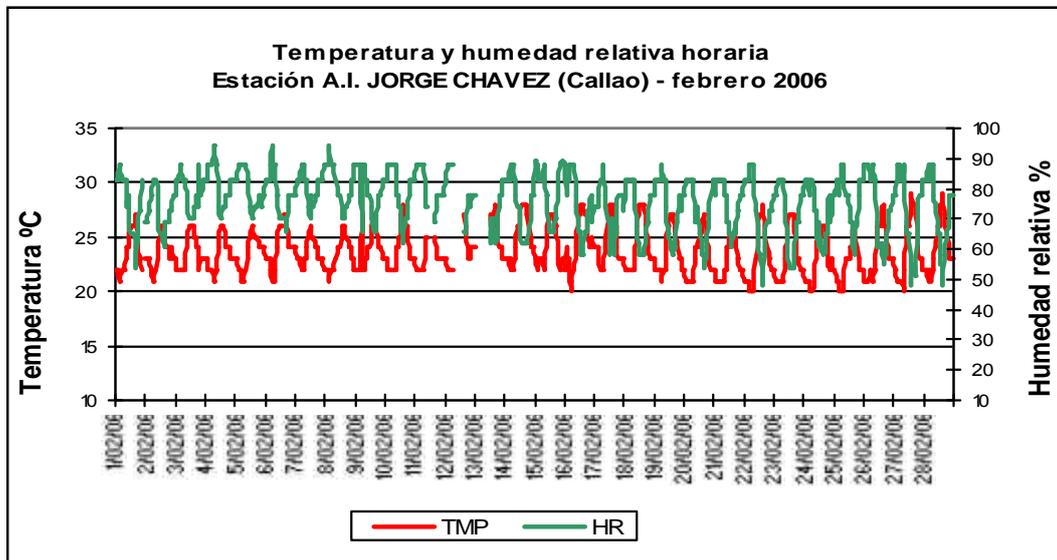
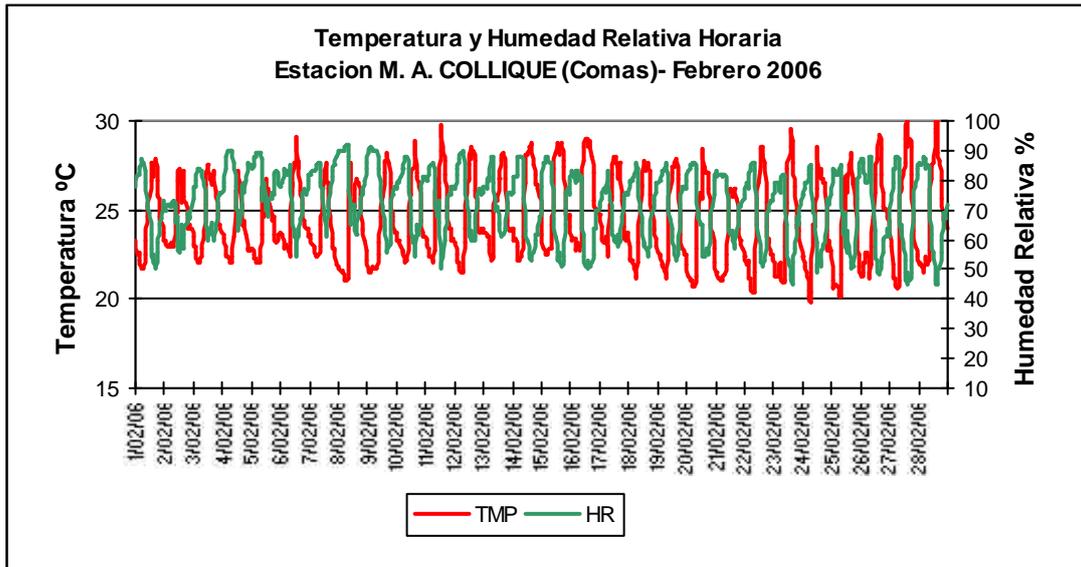


Fig.4.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de febrero del 2006 en El Callao

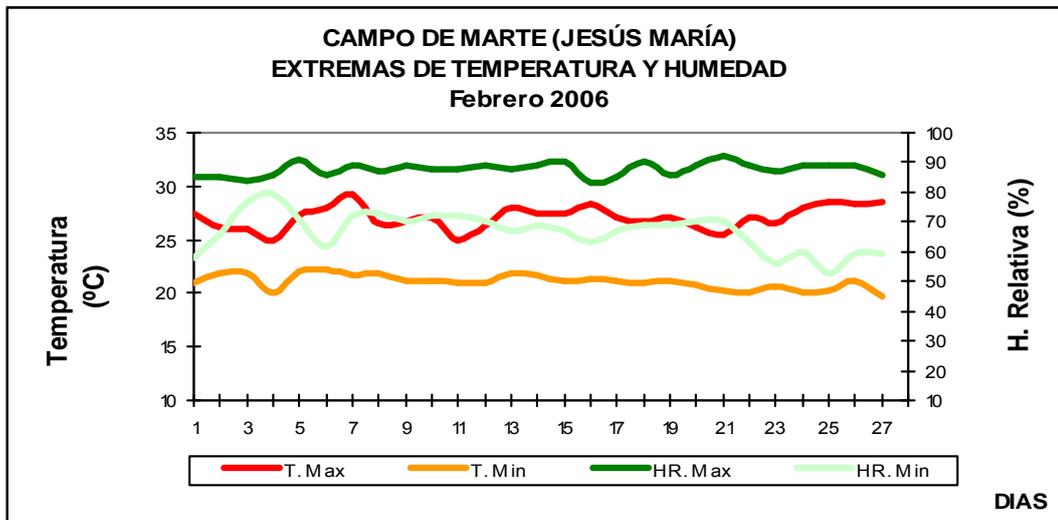


Fig.5a.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de febrero del 2006 en Jesús María

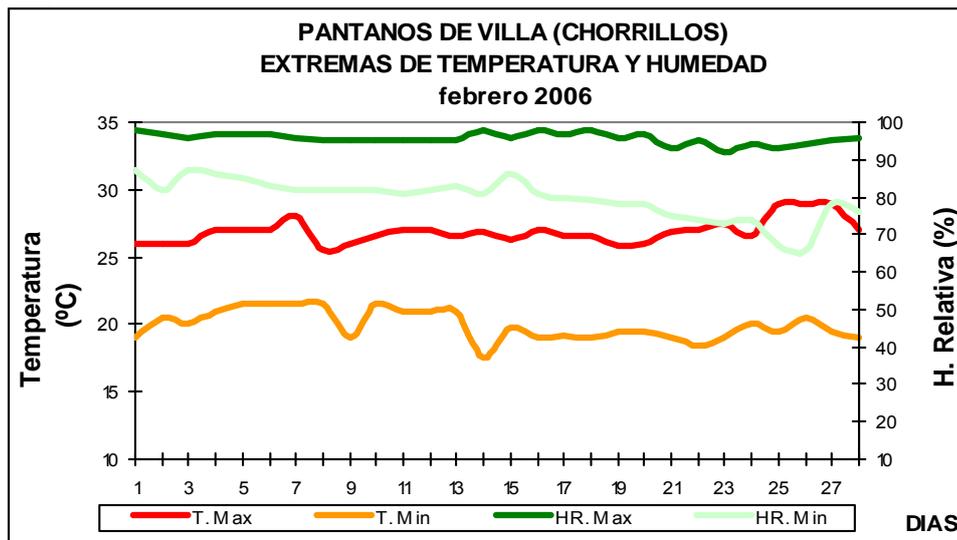


Fig 5b.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de febrero del 2006 en Chorrillos

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

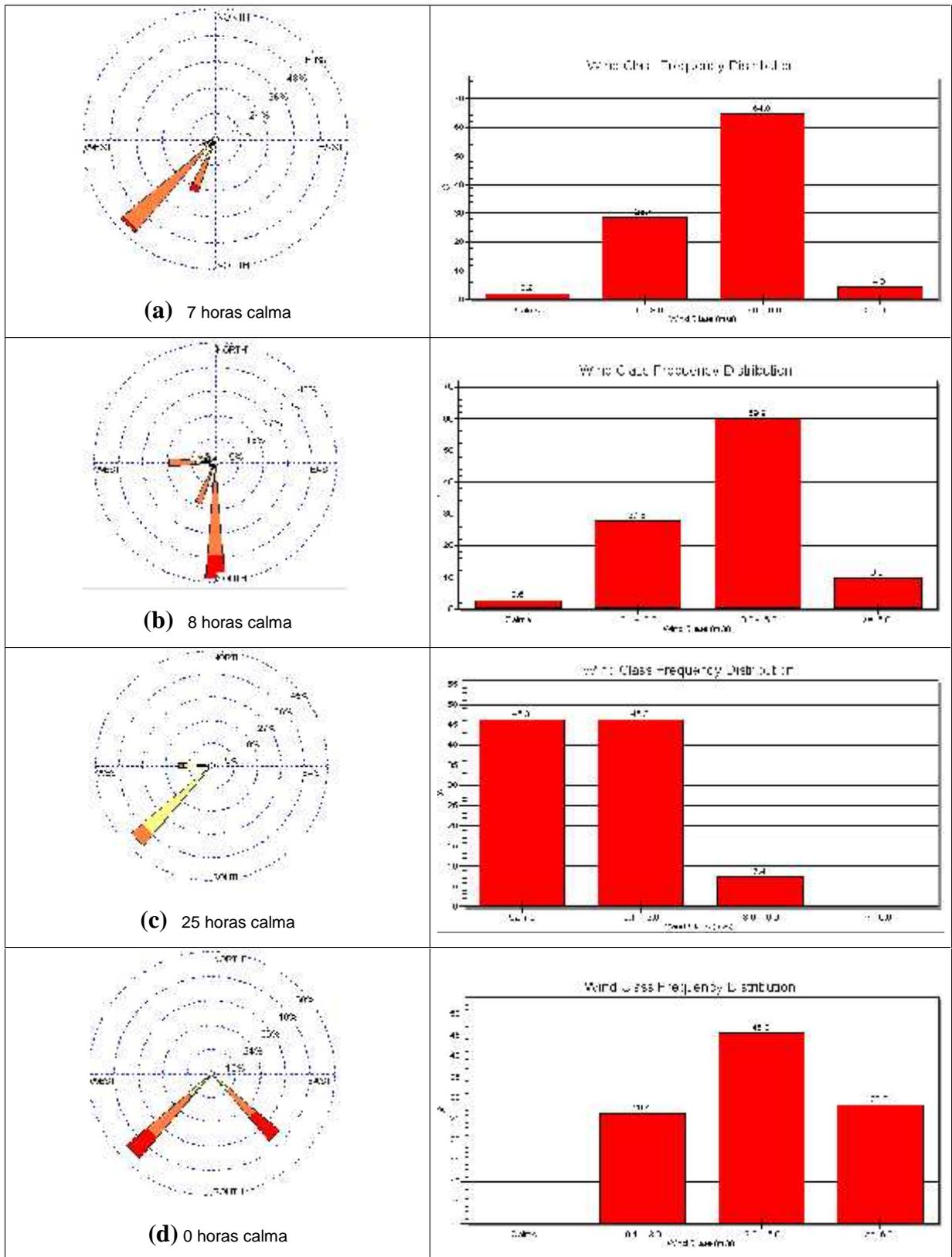
La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de febrero es presentada en las **figuras 6 y 7** para el período diurno (07:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente.

- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), predominaron vientos de intensidad media débil (1,1 m/s) en el distrito de Jesús María provenientes del SW y W (41 y 12 %). Así mismo, se reportaron intensidades moderadas (alrededor de 3,5 m/s) hacia el norte (Comas), y litoral costero norte (Callao) y sur de la ciudad (Chorrillos) provenientes del SW y SSW (56 y 26%); S y W (44 y 17 %); y del SW y SE (55 y 43 %), respectivamente. Se reportó ocurrencia de calmas en Comas (2,2%), Callao (2,6%) y Jesús María (46 %).

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, en Comas, el Callao y Chorrillos predominaron intensidades moderadas, e intensidades débiles hacia Jesús María, con un alto porcentaje de ocurrencia de calmas.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se reportaron vientos de intensidad débil en los distritos de Comas, Callao y Jesús María provenientes del SW y WSW (44 y 23%); del S y SSE (60 y 14%); y del SSW y W (85 y 4 %), respectivamente; y vientos de intensidad moderada enChorrillos provenientes del SE y SW (64 y 36%), respectivamente. Se reportó ocurrencia de calmas en Comas (1,5%), Callao (7,6%) y Jesús María (11 %).

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 8**. Predominaron intensidades débiles en las estaciones, con excepción de Chorrillos.

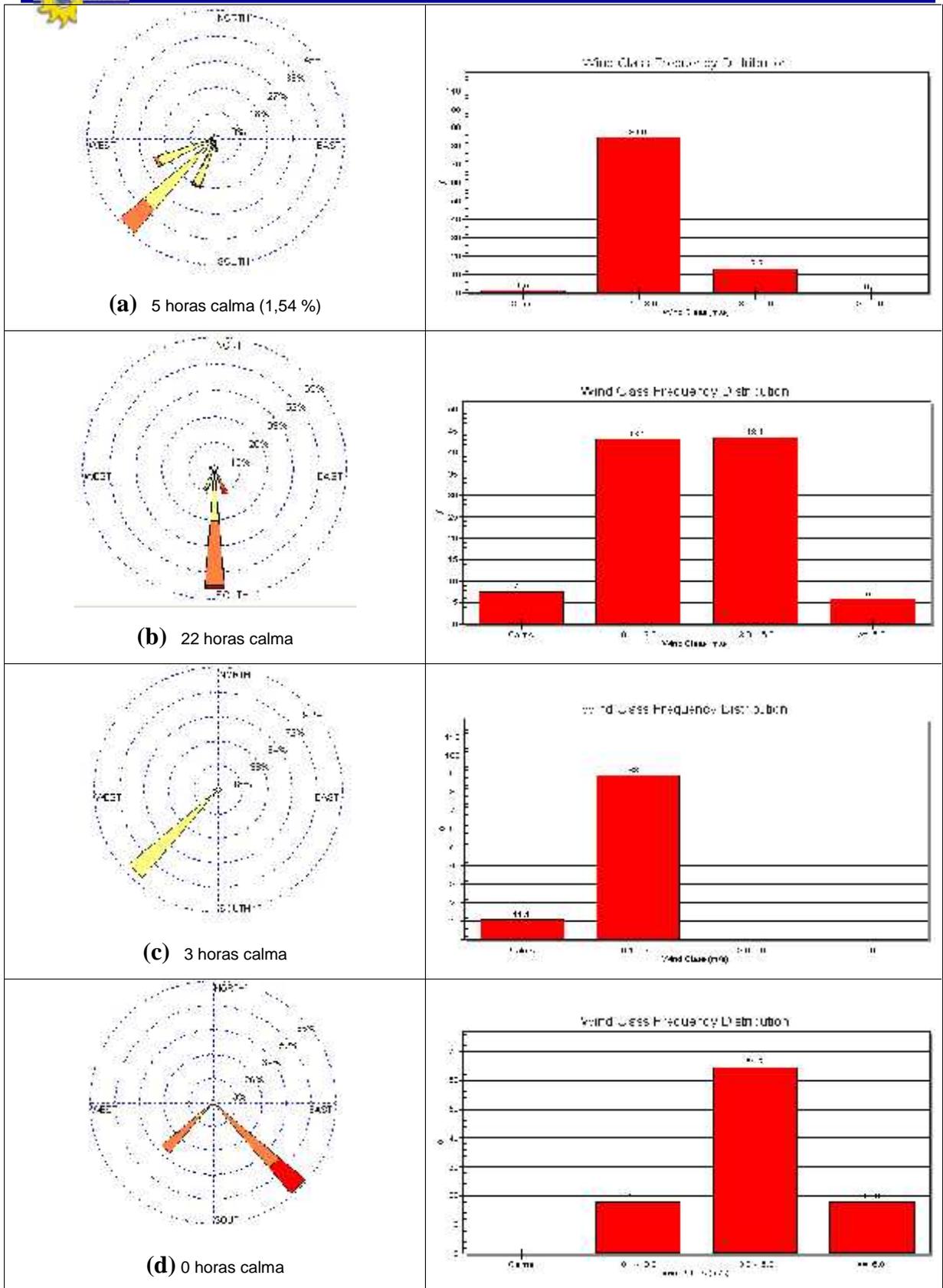


WIND SPEED (m/s)

- >= 6.0
- 3.1 - 6.0
- 0.1 - 3.0

Calma: 0.0 m

Fig. 6. Rosa de viento diurnas de las estaciones de a) Comas b) Callao c) J. María d) Chorrillos. febrero 2006



WIND SPEED (m/s)

- >= 6.0
- 3.0 - 6.0
- 0.1 - 3.0

Calma: 0.0 m/s

4.3

Fig. 7. Rosa de viento nocturnas de las estaciones de a) Comas b) Callao c) J. María d) Chorrillos. febrero 2006

4.3 Análisis de la temperatura y vientos en el perfil de la tropósfera de la costa central del Perú durante el mes de febrero del 2006

De forma similar a los meses anteriores, no se han realizado sondajes atmosféricos, pero las condiciones meteorológicas registradas en superficie refieren que la estación de verano se encuentra en su máxima manifestación, caracterizada por una intensa insolación en la mayor parte de los días que es un indicativo del máximo debilitamiento de la inversión térmica de subsidencia, constituyéndose en condiciones muy favorables para la difusión de los contaminantes gaseosos y partículas PM10 y PM2,5; sin embargo, para las partículas gruesas o polvo atmosférico sedimentable estas mismas condiciones son las más desfavorables porque la mayor dinámica de los procesos de turbulencia, dan paso a una continua actividad de suspensión y re suspensión, ampliando en área las zonas críticas identificadas en los conos de la capital que sobrepasan el nivel referencial.

5. Conclusiones

- ✓ Para el presente mes, las concentraciones del polvo atmosférico se incrementaron en sus principales núcleos. La configuración resultante da lugar a 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con 35,3 t/km².mes; el segundo en el cono centro-este con un valor de 28,1 t/km².mes; el tercero en la zona sur-este con 30,0 t/km².mes; y el cuarto en el cono sur con una concentración de 33,9 t/km².mes.
- ✓ El 91,9 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 15,5 t/km².mes, y el valor máximo registrado fue de 39,2 t/km².mes en Ate y el mínimo de 3,6 t/km².mes en Pueblo Libre.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias de las estaciones observadas para el presente mes fueron de 23,9 °C y 78 %. Así mismo, el día más cálido fue el 13 con 24,7 °C; y el 21 el más frío con 22,9 °C. Con respecto a la humedad relativa, el 23 fue el día más seco (73,2 %) y no se alcanzó la saturación (84,2 %).
- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, se reportaron vientos de intensidad media débil del SW en Jesús María; e intensidades medias moderadas en los distritos de Comas, el Callao y Chorrillos provenientes del SW, S y SW, respectivamente. Durante la noche, se reportaron vientos de intensidad media débil en la mayor parte de las estaciones, con excepción de Chorrillos. Se reportaron ocurrencia de calmas en ambos períodos de análisis.
- ✓ Si bien no hay registros de información meteorológica de altura, las condiciones meteorológicas de superficie permiten inferir que la



estación de verano en su máxima manifestación, favorece la acumulación de partículas gruesas o polvo atmosférico sedimentable, ampliando en área las zonas críticas identificadas en los conos de la capital.