

IV. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

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

*Elaborado por: Ing. José Silva Cotrina
Bach. Zarela Montoya Cabrera*

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; dichas concentraciones de polvo atmosférico fueron en promedio ligeramente inferiores a las registradas en diciembre, manteniéndose dentro del comportamiento propio del asentamiento de la estación de verano en donde la turbulencia del aire va en aumento y por lo tanto, también se incrementan los procesos de suspensión y resuspensión de las partículas, con una media mensual de 15,0 t/km².mes.

4.1 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:

4.1.1 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

4.1.2 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

4.1.3 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 Pachacamac

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 la zonas cercanas a la costa y entre 13,1 a 18,6°C en los distritos del este.

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

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

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

4.2 Metodología

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

La información empleada para el presente análisis corresponde a la obtenida de la red de muestreo de polvo atmosférico compuesta por 36 estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana de Lima-Callao (**figura 1**). Se ha dado inicio al proceso de ampliación de la red de polvo atmosférico, habiéndose instalado en el presente mes 3 estaciones de muestreo en los distritos de Ate Vitarte (Microcuenca de Huaycán), San Juan de Lurigancho y Lurín; zonas importantes para el diagnóstico de la calidad del aire en el ámbito de la Cuenca Atmosférica. 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.

4.2.2 Monitoreo de contaminantes gaseosos

La evaluación mensual de los gases contaminantes del aire (CO , SO_2 , O_3 y NO_x) en la Estación de Calidad de Aire ubicada en la Sede Central (**figura 1**) se realiza de acuerdo a la siguiente metodología:

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

4.2.3 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 Climatológica Collique (Comas), estación meteorológica 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.

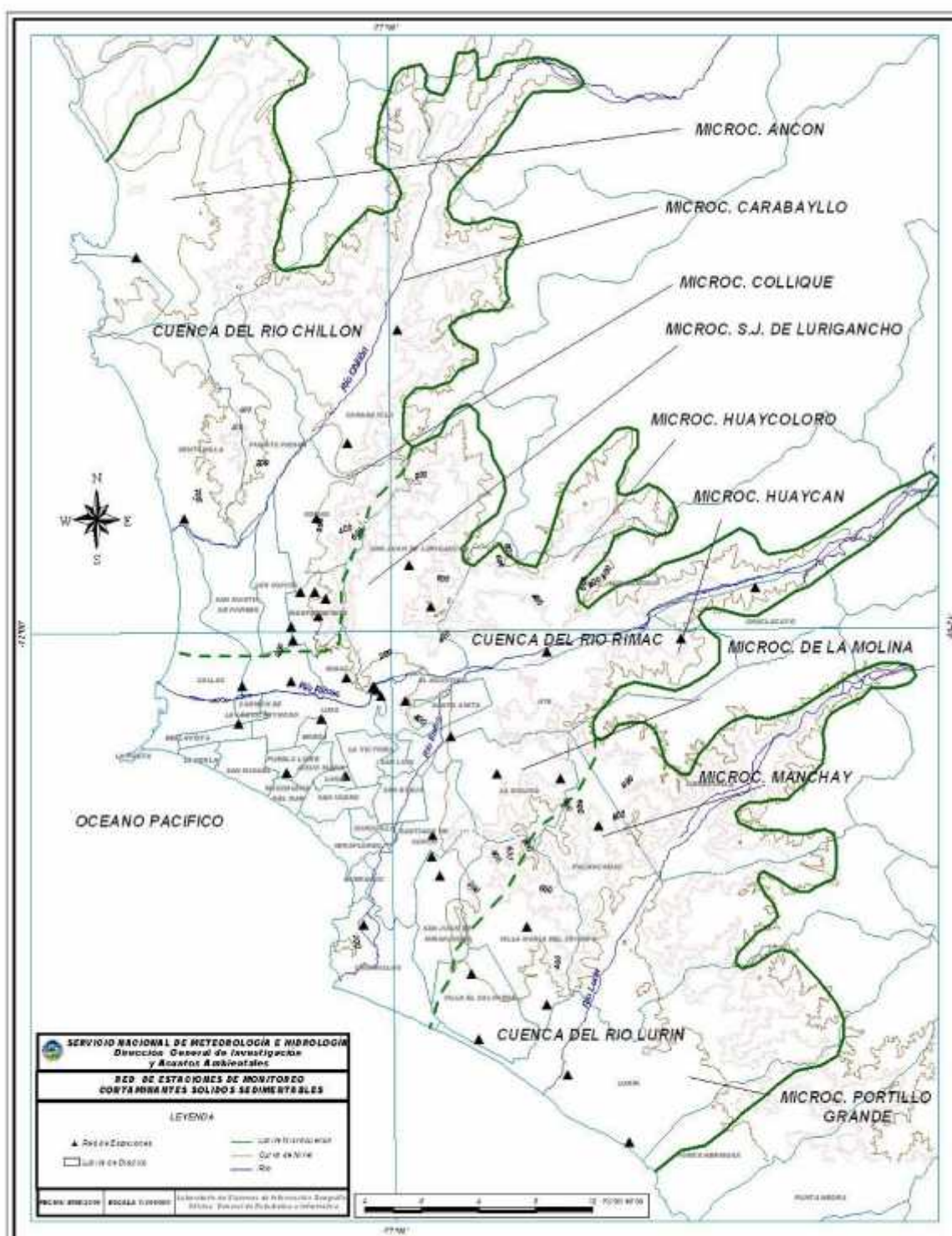


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

4.3 Resultados del monitoreo ambiental

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

En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS). Para el mes de enero 2006, se ha recopilado información de 33 estaciones de muestreo instaladas en la mayor parte del ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao, de las cuales el 87,9 % excedieron el valor referencial permisible recomendado por la OMS (5 t/km².mes). Las concentraciones máximas del mes se presentaron en los distritos de Comas y Villa María del Triunfo, conos norte y sur, de forma similar al mes anterior.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación en los principales núcleos fueron en promedio ligeramente inferiores a los registrados el mes de diciembre. La concentración media de CSS para la z.m. de Lima-Callao fue de 15,0 t/km².mes, menor a la media del mes de diciembre en 0,5 t/km².mes. Sin embargo, el hecho de que en el 87,9 % de las estaciones, las concentraciones hayan superado al nivel referencial permisible, nos lleva a asegurar que la contaminación estuvo más distribuida, debido a que las condiciones meteorológicas propias del verano están llegando a su máxima manifestación, el debilitamiento y ausencia de la inversión térmica por la subsidencia y la presencia de intensa insolación en la mayor parte de los días, generan procesos de turbulencia natural y antropogénica más generalizada en toda la cuenca atmosférica.

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

Concent t/km ² .mes	N° estac.	%	Núcleos principales			
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur
diciembre	34	77,8	32,6 (Independencia)	24,0 (El Cercado)	27,2 (Pachacamac)	31,8 (V.M.T.)
enero	33	87,9	30,0 (Independencia)	22,4 (El Cercado)	27,3 (Pachacamac)	29,5 (V.M.T.)

Así mismo, el máximo valor registrado fue de 30,0 t/km².mes en el distrito de Independencia y el mínimo de 4,4 t/km².mes en Pueblo Libre. En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de diciembre y enero.

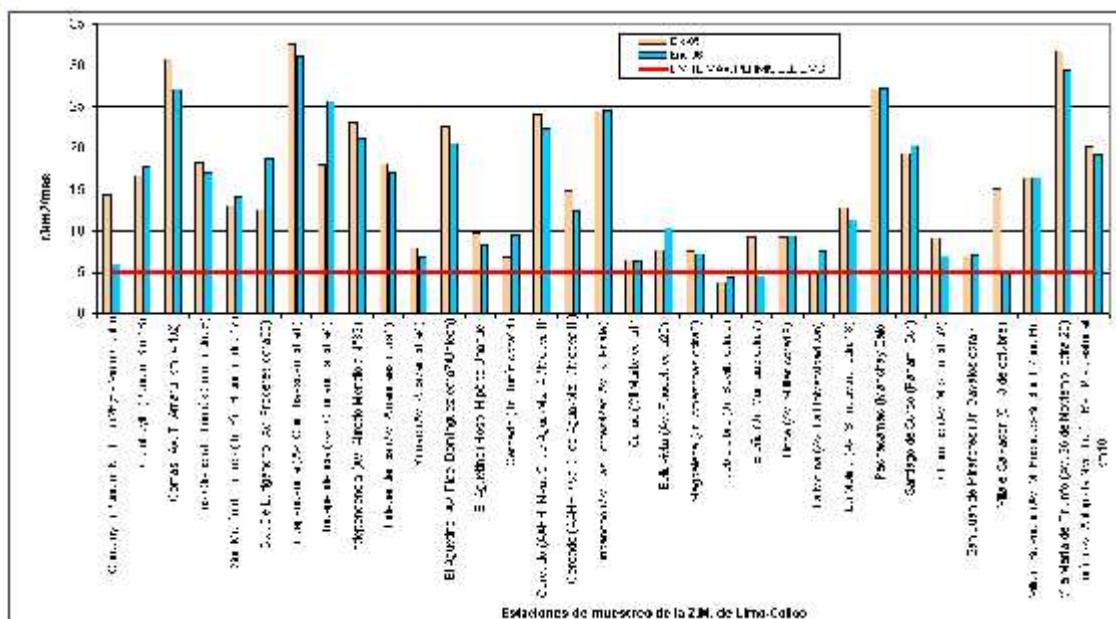


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de diciembre y enero 2006 en Lima-Callao

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. 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, Carabaylo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Independencia tiene un valor de $30,0 \text{ t/km}^2.\text{mes}$, valor más alto del mes. El segundo centro abarca el cono centro-este (cuenca del río Rímac y microcuenca de San Juan de Lurigancho) y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Sta. Anita, el Agustino, y el Cercado (lado este), con núcleo en éste último equivalente a $22,4 \text{ t/km}^2.\text{mes}$. El tercer centro ubicado en la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de $27,3 \text{ t/km}^2.\text{mes}$; mientras que el cuarto centro en el cono sur (en la zona de intercuenca Rímac-Lurín) comprende los distritos de Villa El Salvador y Villa María del Triunfo, tiene un núcleo de $29,5 \text{ t/km}^2.\text{mes}$ en este último.

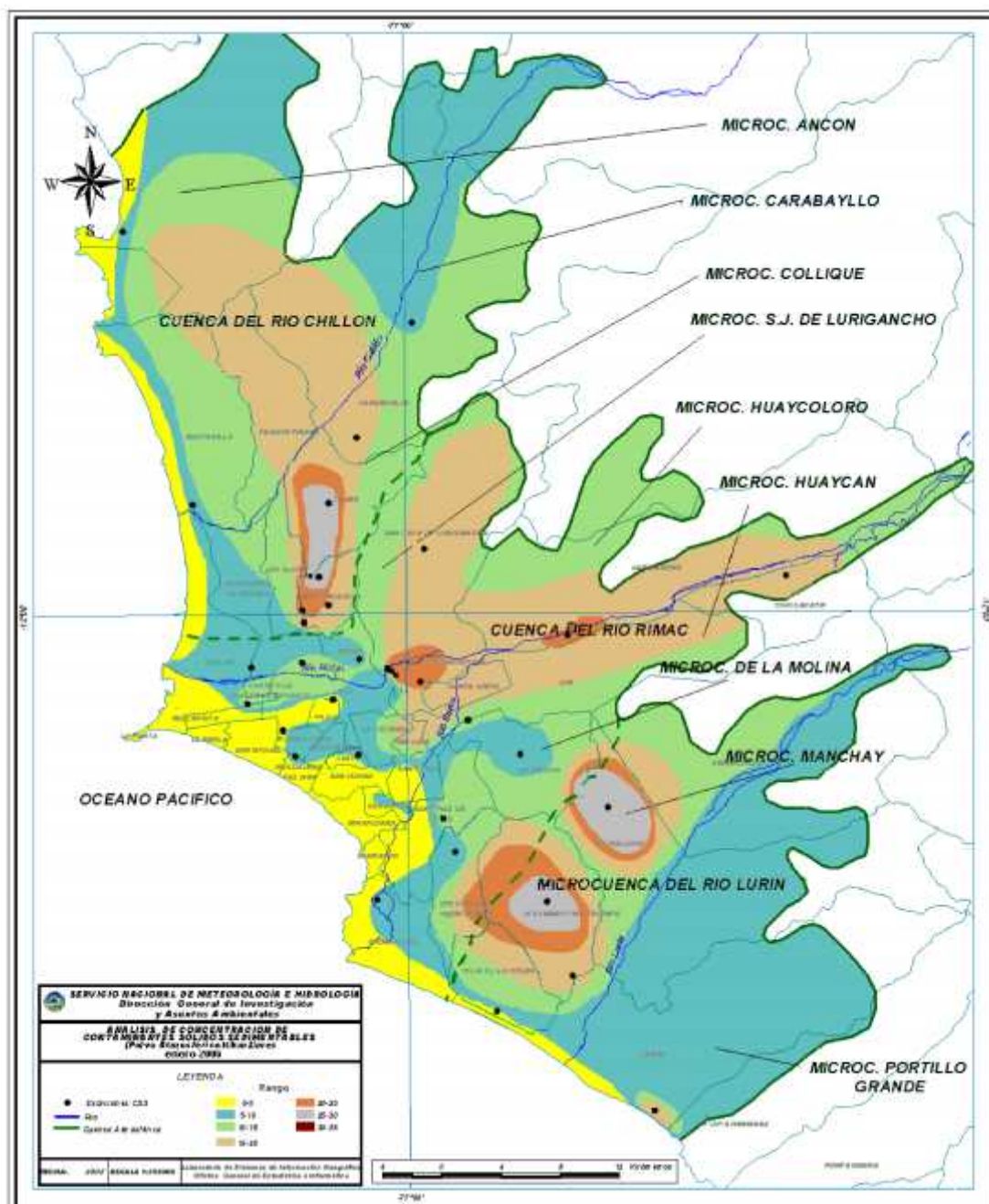


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico en el ámbito de la cuenca atmosférica de la z.m. de Lima-Callao durante el mes de enero del 2006

4.4 Condiciones meteorológicas durante el mes de enero del 2006

Para el mes de enero, 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.

4.4.1. 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 23,0 °C (Chorrillos) a 29,8 °C (Comas) y la mínima osciló entre 18,5 °C (Chorrillos) a 22,5 °C (Comas); la temperatura media del mes fue de 22,9 °C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 83 % (Callao) a 98 % (Comas); mientras que la mínima osciló entre 49 % (Comas) a 87 % (Chorrillos). Ver **figuras 5 y 6a,b**; la humedad relativa media fue de 79,4%. Durante el mes de enero, han prevalecido condiciones de brillo solar durante la mayor parte del mes, habiéndose presentado algunas lluvias de verano bien localizadas y de poca duración e intensidad en la segunda y tercera década. La sensación térmica de calor se ha ido incrementando paulatinamente.
- Con respecto al análisis horario de la información, los valores mínimos de la temperatura del aire se registraron de manera predominante entre las 4:00 y 6:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 14:00 y 17:00 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 en conjunto de las variables temperatura y humedad relativa de las 4 estaciones analizadas, señala el día 20 como el más cálido del con una media de 24,3 °C y los días 8, 24 y 25 como los más fríos con un valor medio de 22,1 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 5 con 74,1%, y en promedio no se alcanzó la saturación (inferior a 98%), con una máxima media de 86,3 % el día 31 de enero. En términos medios, analizando de forma comparativa las estaciones de El Callao y Jesús María, la temperatura del aire ha presentado un incremento de 2,0 °C (inferior al incremento de los meses anteriores) y la humedad un descenso de 1,4 %, respecto al mes anterior, con valores de 22, 6 °C y 77,5 %.

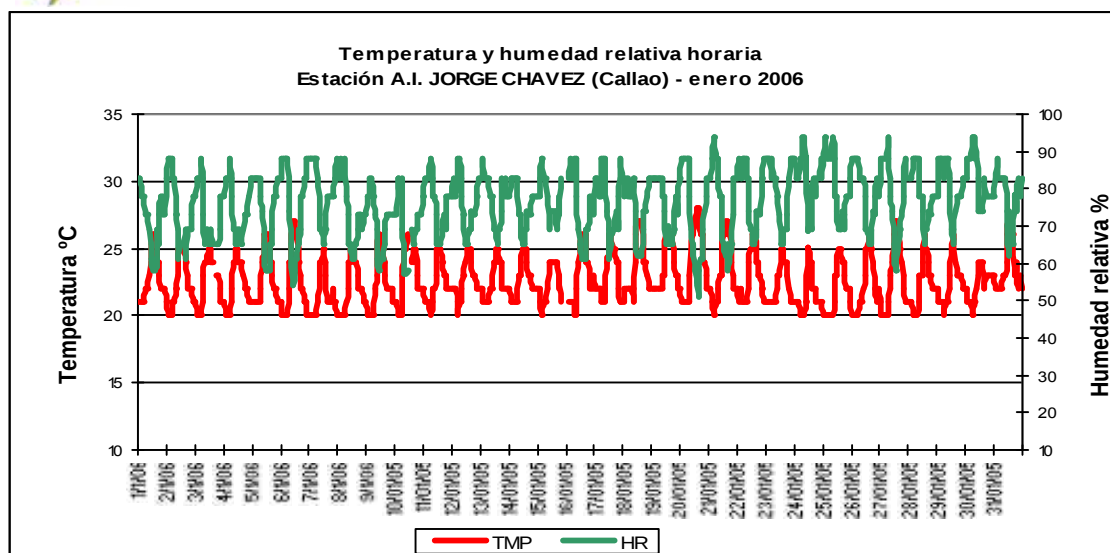


Fig.5.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de enero del 2006 en El Callao

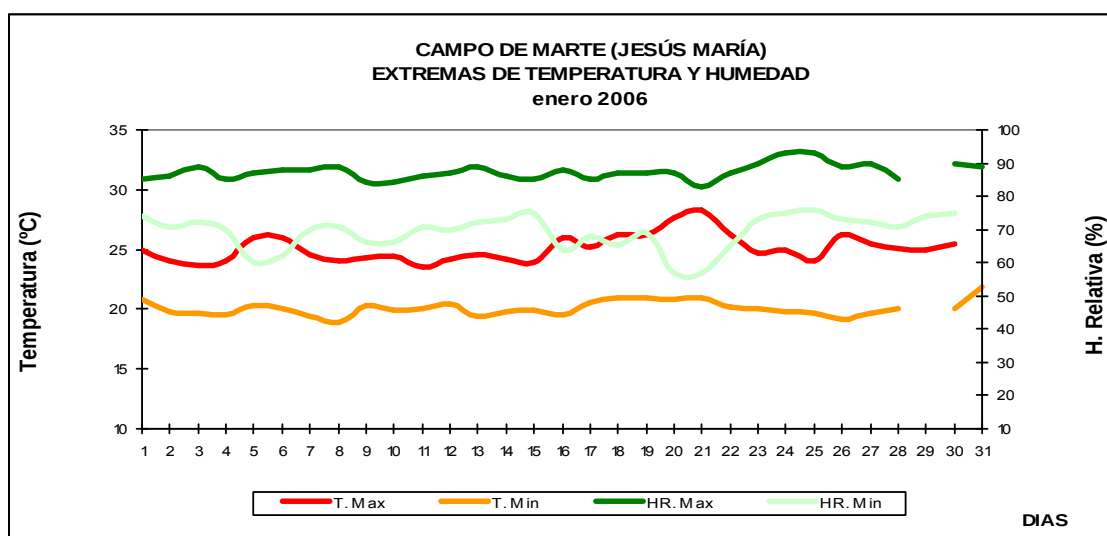
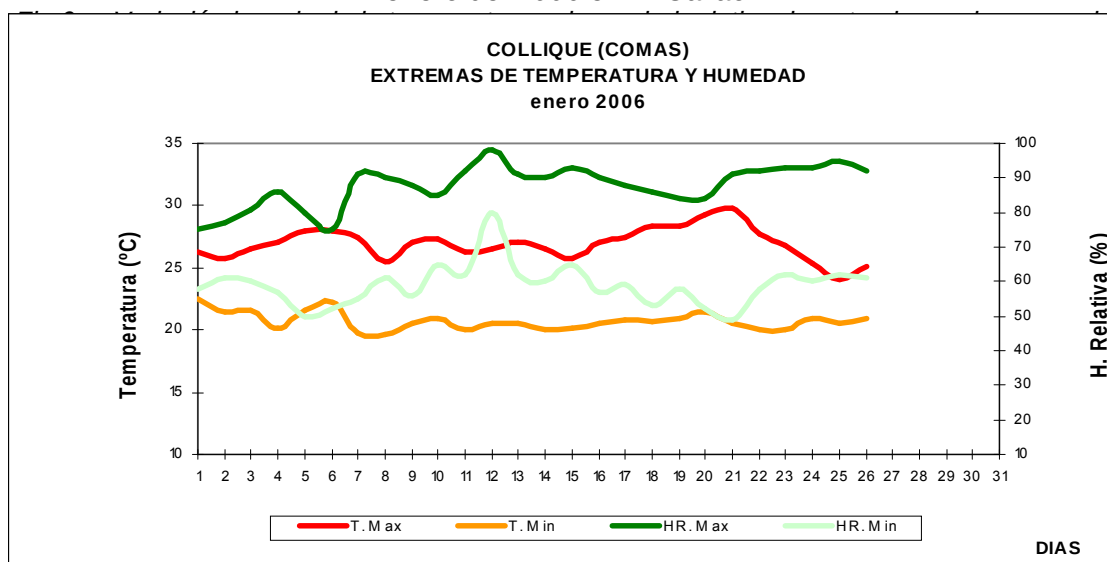


Fig 6a.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de enero del 2006 en Comas y Jesús María

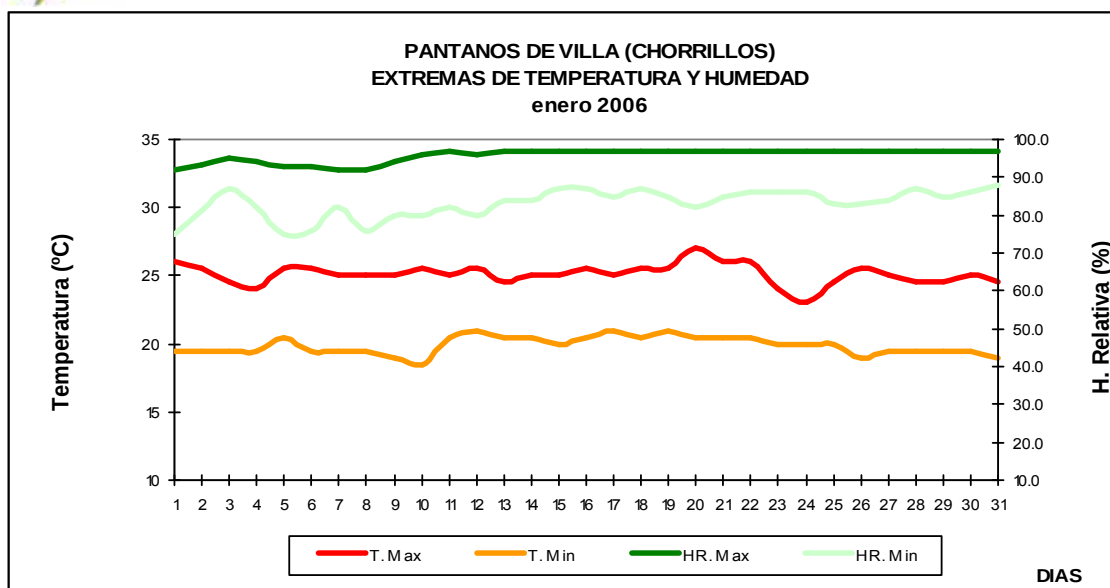


Fig 6b.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de enero del 2006 en Chorrillos

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

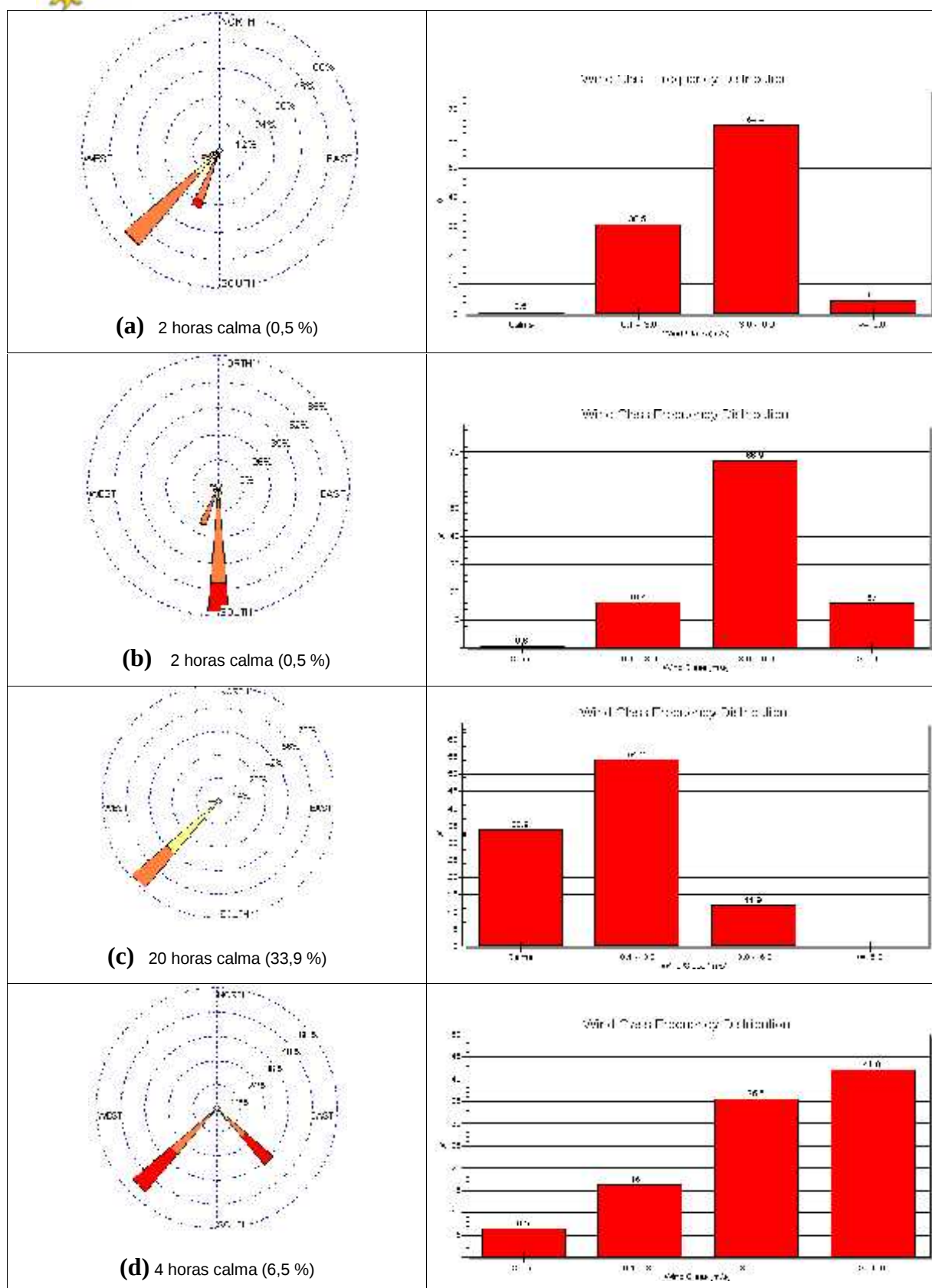
La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de enero es presentada en las **figuras 7 y 8** para el período diurno (07:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente.

- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), se presentaron vientos de intensidad media débil (1,3 m/s) en el distrito de Jesús María provenientes del SW y W (54 y 10 %). Así mismo, se reportaron ntensidades moderadas (3,6 – 4,7 m/s) hacia el norte (Comas), litoral costero (Callao) y sur de la ciudad (Chorrillos) provenientes del SW y SSW (55 y 27%); S y SSW (63 y 21 %); y del SW y SE (55 y 37 %), respectivamente. Se reportó ocurrencia de calmas en Jesús María (34 %).

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, en Comas y el Callao predominaron intensidades moderadas, débiles hacia Jesús María y fuertes en Chorrillos.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se reportaron vientos de intensidad débil (1,5 m/s) en Jesús María de dirección SW (73 %). Intensidades moderadas (2,7 a 4,8 m/s) se reportaron en Comas, El Callao y Chorrillos provenientes del SW y SSW, SSW y S y del SW y SE (30 y 25; 65 y 7; y 17 y 77%). Se reportó ocurrencia de calmas en Jesús María (19,2 %).

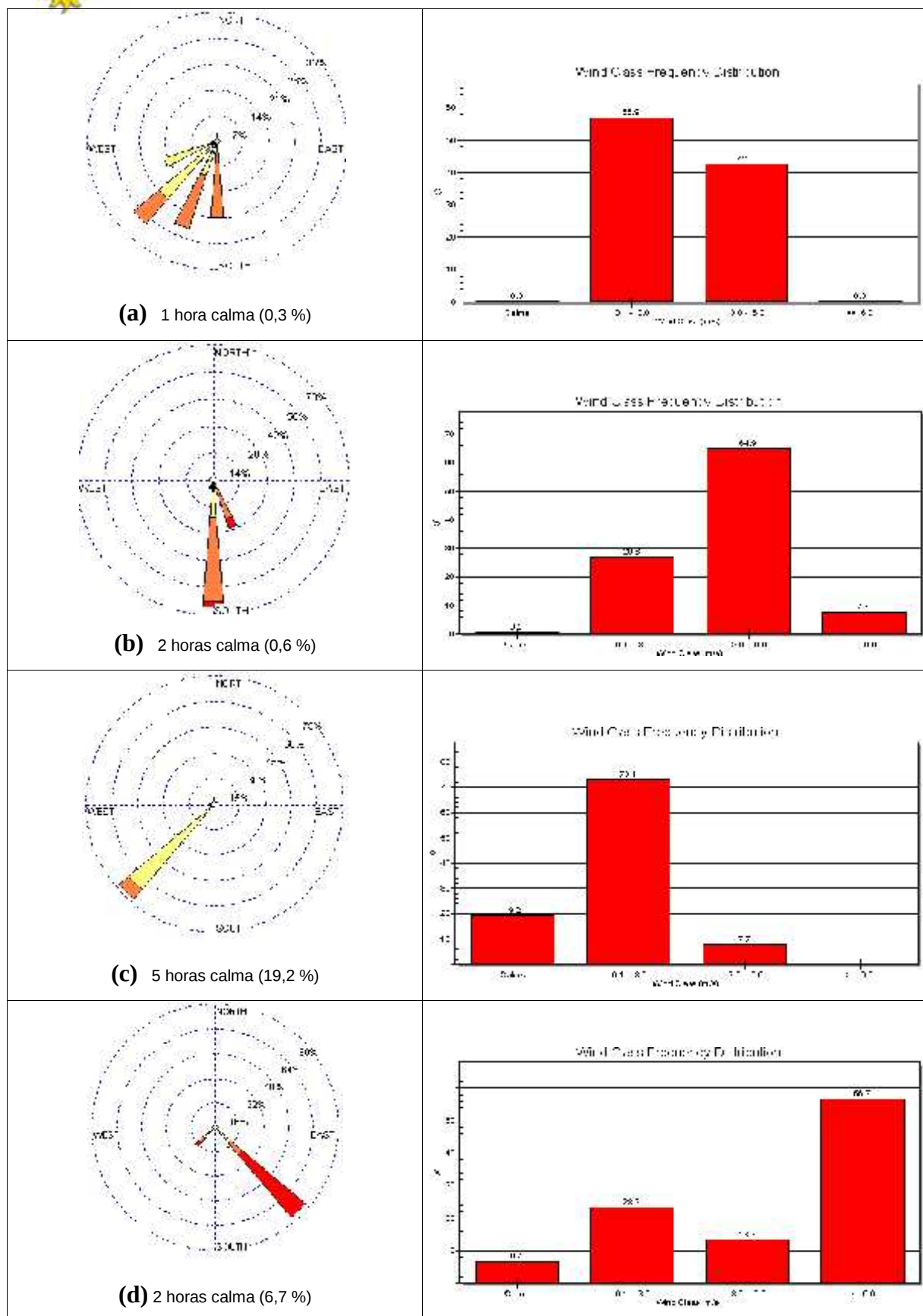
La distribución de frecuencias de intensidades de viento son asimismo mostradas en la **figura 8**. Se presentó similar comportamiento al registrado durante el día.



WIND SPEED
(m/s)

■ >= 6.0
■ 3.0 - 5.9
■ 0.1 - 2.9
Calma: 0.0 m/s

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



WIND SPEED
(m/s)

■ ≥ 6.0
■ $3.0 - 6.0$
■ $0.1 - 3.0$
Calma: 0.0

Fig. 8. Rosa de viento nocturnas de las estaciones de a) Comas b) Callao c) J. María d) Chorrillos. Enero 2006

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

Durante el mes de enero, de forma similar al segundo semestre del 2005, no se realizaron sondajes atmosféricos, pero las condiciones meteorológicas registradas en superficie permiten inferir que la estación de verano está llegando a su máxima manifestación, caracterizada por una intensa insolación en la mayor parte de los días que es un indicativo del máximo debilitamiento o no configuración de la inversión térmica de subsidencia, resulta 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, agravan la situación porque 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.

4.4. Conclusiones

- ✓ En el mes de enero, las concentraciones del polvo atmosférico disminuyeron ligeramente, dando lugar a la configuración de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con 30,0 t/km².mes; el segundo en el cono centro-este con un valor de 22,4 t/km².mes; el tercero en la zona sureste con 27,3 t/km².mes; y el cuarto en el cono sur con una concentración de 29,5 t/km².mes.
- ✓ El 87,9 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 15,0 t/km².mes. Así mismo, el valor máximo reportado fue de 30,0 t/km².mes en Independencia y el mínimo de 4,4 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 22,9 °C y 79,4 %. Así mismo, el día más cálido fue el 20 con una media de 24,3 °C; y los días , 24 y 25 como los más fríos con un valor medio de 22,1 °C. Con respecto a la humedad relativa, el 5 fue el día más seco (74,1 %) y no se alcanzó la saturación (86,3 %).
- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, en enero en Jesús María se reportaron vientos de intensidad media débil del SW; 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 Jesús María del SW; e intensidades moderadas en Comas, El Callao y Chorrillos provenientes del SW, SSW y SE. Ocurrencias de calmas se registraron en Jesús María en ambos períodos de análisis.

- ✓ A pesar de no haber registros de información meteorológica de altura, las condiciones meteorológicas de superficie permiten inferir que la estación de verano próxima a su máxima manifestación, caracterizada por intensa insolación en la mayor parte de los días que es un indicativo del máximo debilitamiento o no configuración de la inversión térmica de subsidencia, propician 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 agravan la situación porque 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.