

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

*José Silva Cotrina
Zarela Montoya Cabrera
Juan López Malhaber*

INDICE GENERAL

	RESUMEN	3
1.	CUENCA ATMOSFERICA DE Z.M. DE LIMA-CALLAO	3
2.	METODOLOGÍA	4
3.	RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL	5
	3.1 Distribución espacial de la deposición seca (contaminantes sólidos sedimentables) durante el mes de diciembre del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	8
	3.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno diciembre 2005	11
	3.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de diciembre	13
4.	CONCLUSIONES	19

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1-	Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao	7
Fig. 2 -.	Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de noviembre y diciembre 2005 en Lima-Callao	9
Fig. 3 -.	Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de diciembre del 2005	10
Fig. 4a-	Concentraciones horarias de NO y NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. diciembre 2005	11
Fig. 4b-	Distribución estadística de las concentraciones de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. diciembre 2005	11
Fig. 4c-	Concentraciones máximas, medias y mínimas de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. diciembre 2005	12
Fig. 4d-	Percentiles de NO ₂ de la estación de calidad del aire –SENAMHI. Diciembre 2005	13

Fig. 4e- . Concentraciones máximas medias horarias de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. diciembre 2005	13
Fig. 5a - . Variación horaria de la temperatura y humedad en Comas, Callao y Surco durante el mes de diciembre del 2005 en Lima	15
Fig. 5b - . Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Jesús María durante el mes de diciembre del 2005 en Lima-Callao	16
Fig. 6 - . Rosas de viento Diurnas	17
Fig. 7- . Rosas de viento Nocturnas	18

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Concentraciones de los contaminantes sólidos sedimentables. Meses de noviembre y diciembre 2005	8
---	---

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

RESUMEN

El presente boletín muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico contaminante o sólidos sedimentables y contaminantes gaseosos (óxidos de nitrógeno, principalmente dióxido de nitrógeno) en la zona metropolitana de Lima-Callao en relación con las condiciones meteorológicas imperantes durante el mes de diciembre. Para el presente mes, las concentraciones de polvo atmosférico fueron en promedio superiores a las registradas en noviembre, comportamiento propio de la manifestación 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 15,5 t/km².mes; con respecto a las concentraciones del dióxido de nitrógeno, éstas fueron en promedio menores a las del mes anterior, con máximos horarios de 9,9 y 11,9 ppb en las horas de mayor circulación vehicular, en forma inversa al comportamiento del ozono troposférico.

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 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 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**). A partir del próximo mes se dará inicio al proceso de ampliación de la red de estaciones de sólidos sedimentables en todo el ámbito de la cuenca atmosférica luego de la identificación en gabinete de posibles áreas críticas de los distritos de la capital y que permitirán enriquecer el diagnóstico existente. 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 (Coma), estación meteorológica automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación climatológica Campo de Marte (Jesús María) y estación meteorológica automática Las Palmas (Surco), 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.

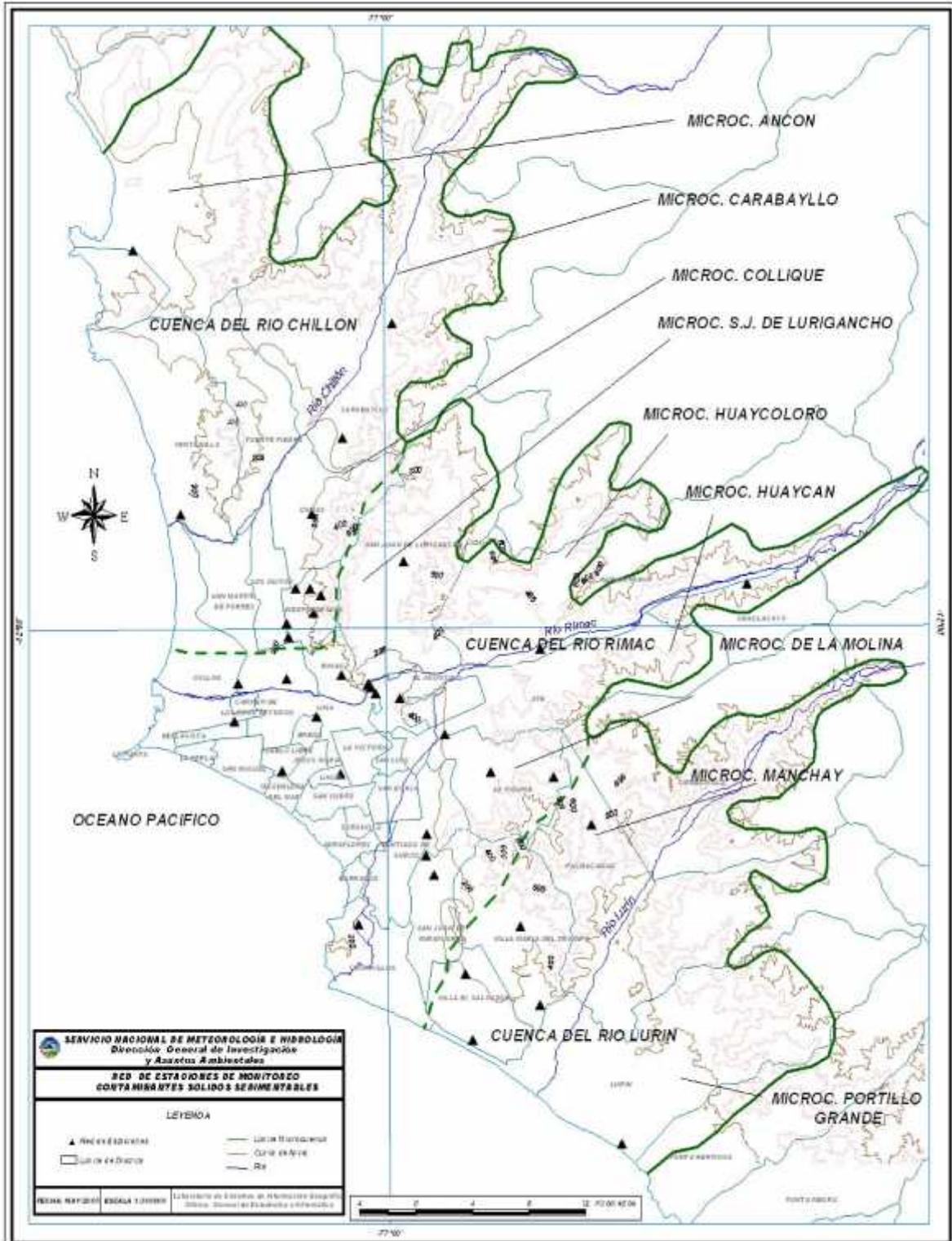


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

3 Resultados del monitoreo ambiental

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

En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS). En diciembre se ha recopilado información de 34 estaciones de muestreo instaladas en la mayor parte del ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao, de las cuales el 77,8 % excedieron el valor referencial permisible recomendado por la OMS (5 t/km².mes). Las concentraciones máximas del mes se presentaron en los distritos de Independencia y Villa María del Triunfo.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación en los principales núcleos fueron en promedio tanto superiores como ligeramente inferiores a los registrados el mes de noviembre. La concentración media de CSS para la z.m. de Lima-Callao fue de 15,5 t/km².mes, mayor a la correspondiente media del mes anterior de 13,0 t/km².mes (considerando las 34 estaciones en ambos casos). Así mismo, el máximo valor registrado en diciembre fue de 32,6 t/km².mes en el distrito de Independencia y el mínimo de 3,8 t/km².mes en Pueblo Libre. En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de noviembre y diciembre.

Cuadro N°1. Concentraciones de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables: noviembre y diciembre 2005 (t/km².mes)

Concent t/km ² .mes	N° estac.	%	Núcleos principales			
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur
noviembre	36	72,2	26,7 (Independencia)	24,3 (El Agustino)	30,2 (Pachacamac)	25,4 (V.M.T.)
diciembre	34	77,8	32,6 (Independencia)	24,0 (El Cercado)	27,2 (Pachacamac)	31,8 (V.M.T.)

Los registros de los principales núcleos de acumulación de polvo atmosférico en la capital se presentaron en el orden de 5 a 6 veces el valor referencial permisible. Con la mejor definición del comportamiento estacional, los fenómenos de turbulencia del aire ligados a los procesos de suspensión y re-suspensión del polvo atmosférico han ido en aumento favoreciendo el incremento de los niveles de contaminación en el área de estudio.

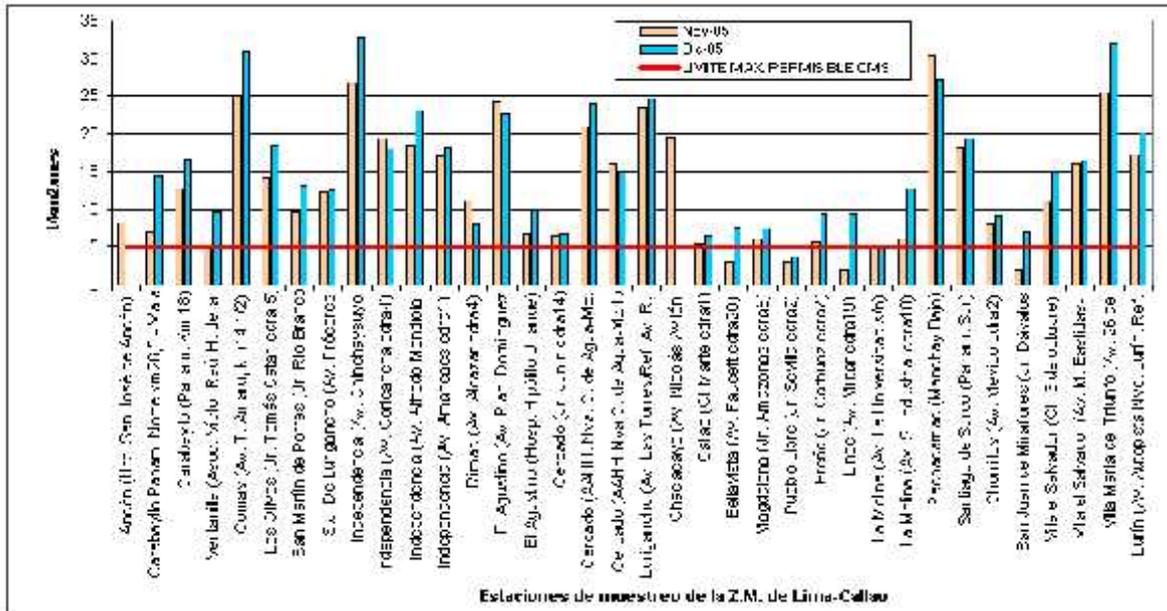


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de noviembre y diciembre 2005 en Lima-Callao

En la **figura 3** se observa la distribución espacial de los contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao. En ella, sólo la estrecha franja amarilla representa aquellas estaciones cuyos registros de concentraciones de polvo atmosférico se mantienen por debajo del límite ($5 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$), 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 permitiendo la dispersión y/o por la aplicación de políticas municipales que permiten mantener índices adecuados de vegetación de tal forma que el fenómeno de la re-suspensión se ve limitado. Las 4 principales zonas o áreas críticas de acumulación de este contaminante presentan la siguiente configuración: hacia el cono norte (cuenca del río Chillón) se observa el primer centro, extendiéndose hacia la jurisdicción de los distritos de Independencia, Comas, Carabayillo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Independencia tiene un valor de $32,6 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$, 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 de $24,0 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$ en éste último. El tercer centro ubicado en la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de $27,2 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$; 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 $31,8 \text{ t/km}^2 \cdot \text{mes}$ en este último.

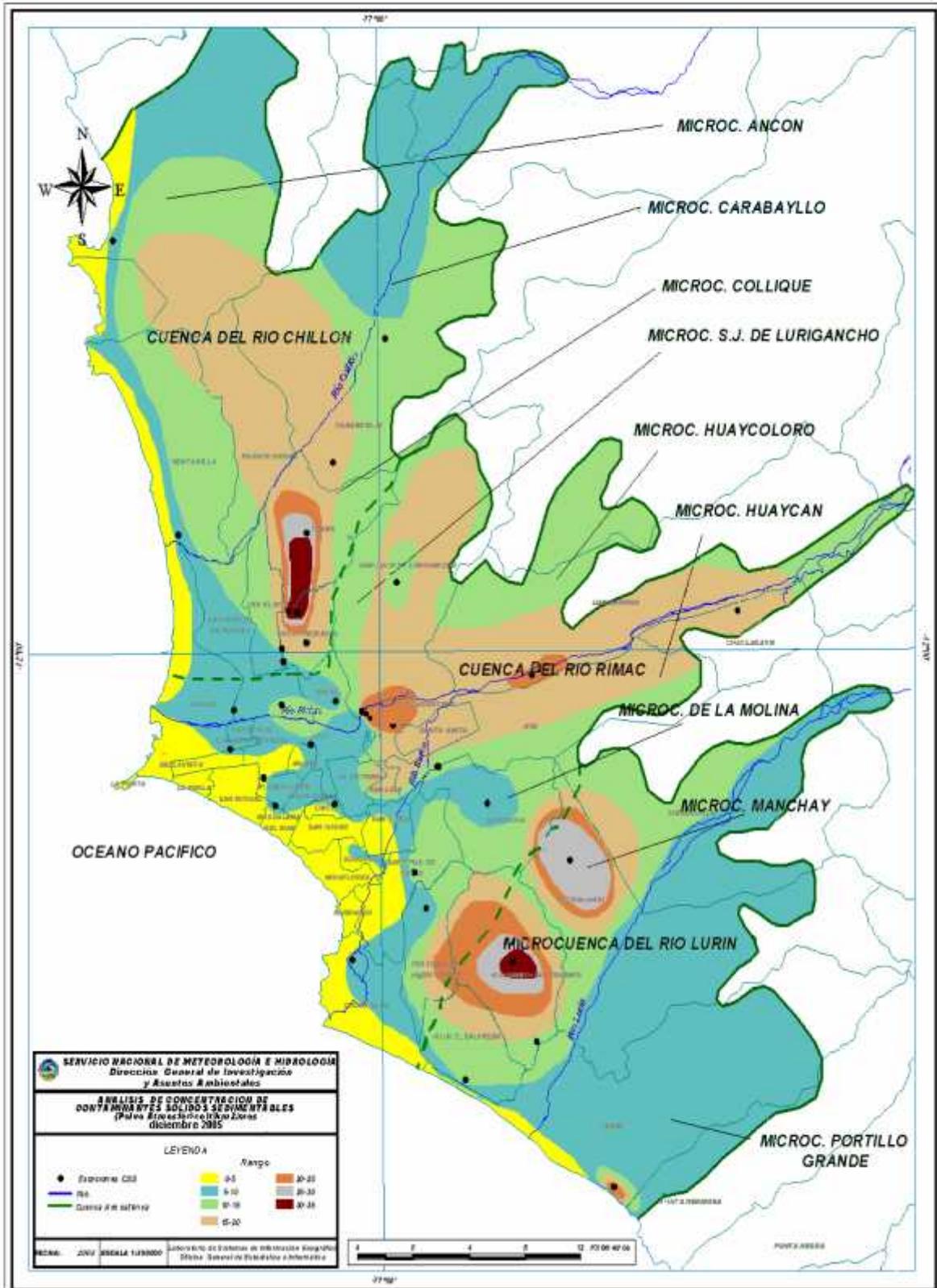


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico en el ámbito de la cuenca atmosférica de la z.m. de Lima-Callao durante el mes de diciembre del 2005

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

La información registrada por el analizador modelo API 200E en la estación de calidad de aire de la sede central del SENAMHI según la **figura 4a**, muestra en diciembre un registro máximo horario de NO de 87, 55 ppb y de NO₂ de 23,5 ppb, ocurridos el día 5 de diciembre a las 19:00 horas y el día 6 a las 20:00 horas; y mínimos horarios de 8,4 y 0,4 ppb el día 16 a las 05:00 horas y el día 5 a las 04:00 horas, respectivamente.

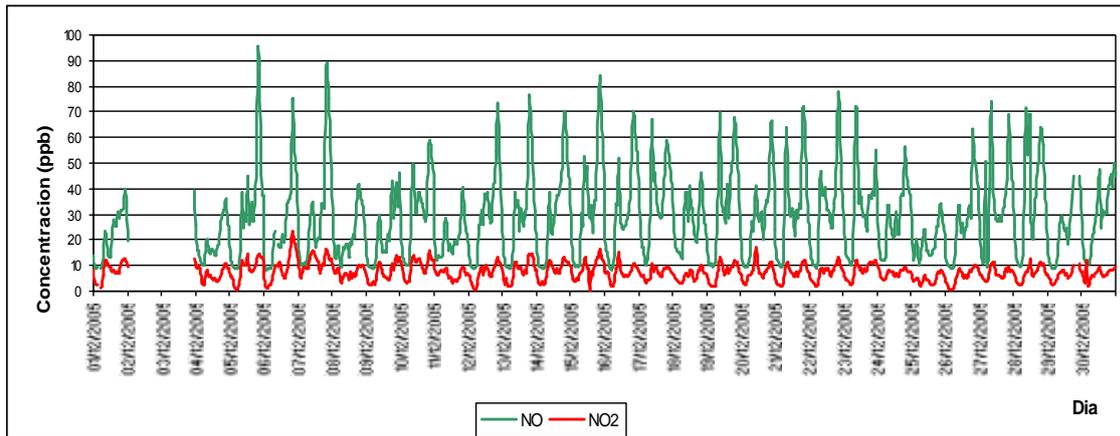


Fig.4a – Concentraciones horarias de NO y NO₂ registradas en la Estación de calidad del aire SENAMHI – diciembre 2005

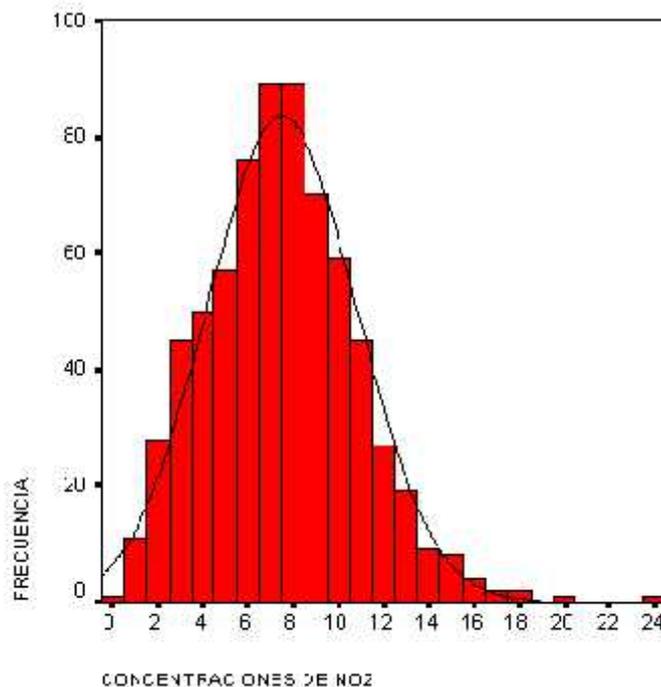


Fig. 4b – Distribución estadística de las concentraciones de NO₂ registradas en la Estación de calidad del aire SENAMHI – diciembre 2005

En la **figura 4b** se observa la distribución de las concentraciones de dióxido de nitrógeno para el mes, las cuales presentan un comportamiento muy cercano a la curva normal. La mayor frecuencia de las concentraciones corresponde aproximadamente a 8 ppb de una muestra de 693 datos/ hora registrados durante el mes.

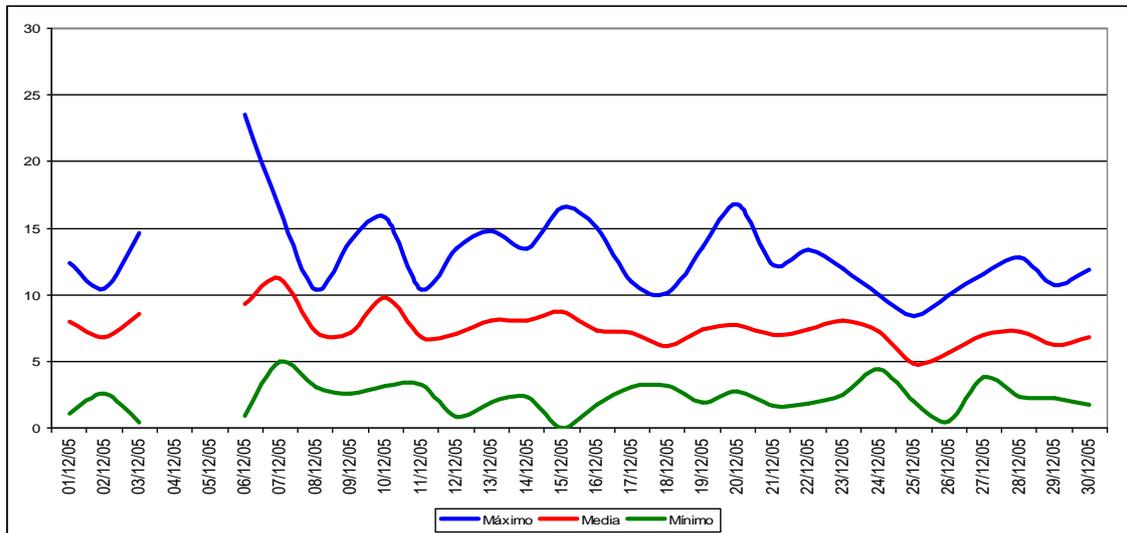


Fig.4c – Concentraciones máximas, medias y mínimas diarias de NO₂ registradas en la estación de calidad del aire SENAMHI – diciembre 2005

El valor máximo diario de NO₂ alcanzado el día 6 fue de 23,5 ppb (ver **figura 4c**) equivalente al 22 % del estándar de calidad del aire de 104,6 ppb (200 ug/m³) señalado en el D.S. N°074-PCM-2001 “Reglamento nacional de estándares de calidad ambiental del aire”. El promedio diario de NO₂ durante el mes fue de 7,5 ppb, inferior en 1,3 ppb al mes anterior.

Vale recalcar que no sobrepasar un valor estándar, no garantiza que la calidad del aire de los alrededores sea buena; es necesario realizar muchas observaciones y buscar siempre representar lo mejor posible la influencia de las fuentes de los contaminantes sobre la calidad del aire y el impacto sobre la salud de los receptores. Debido a que el mejor indicador de la significancia de las concentraciones de un contaminante en la atmósfera son los efectos sobre la salud, se puede tomar como referencia que sobrepasar los 15 ppb de dióxido de nitrógeno implica un 20% de riesgo adicional de enfermedad respiratoria (niños) y disminución de defensas ante infecciones pulmonares ⁽¹⁾. De acuerdo a los registros horarios del mes de diciembre, sólo el 1,7 % de los datos (12horas) sobrepasaron los 15 ppb mencionados.

(1) Jave, O. 2005. Ponencia sobre “Salud respiratoria y ambiente”. Dirección de Salud de Lima Ciudad. Lima, Perú.

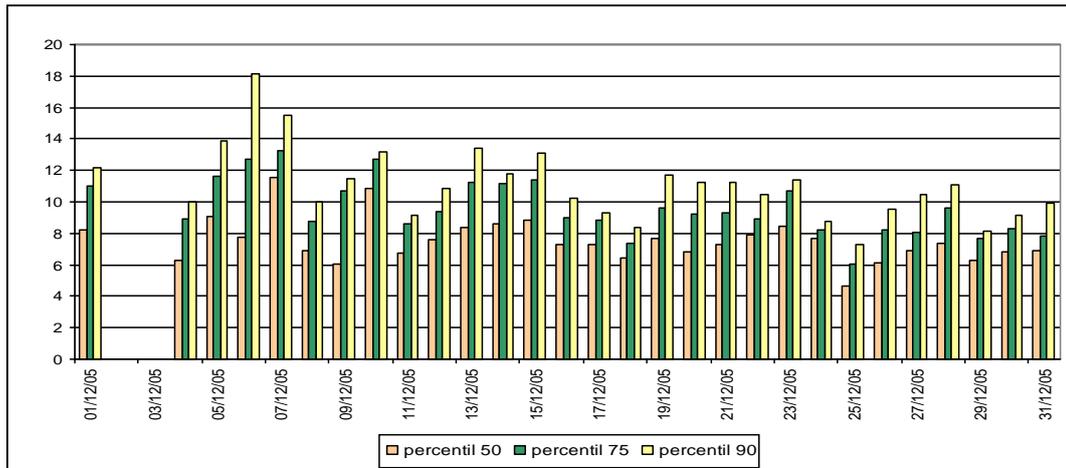


Fig.4d – Percentiles de NO₂ en la estación de calidad del aire SENAMHI – diciembre 2005

De acuerdo a lo observado en la **figura 4d**, en promedio el 50% de los datos de NO₂ se encontraron por debajo de 7,5 ppb, el 75% por debajo de 9,6 ppb y el 90% por debajo de 11,1 ppb. Las máximas concentraciones para los percentiles de 50, 75 y 90 corresponden a 11,5, 13,2 y 18,1 ppb, respectivamente.

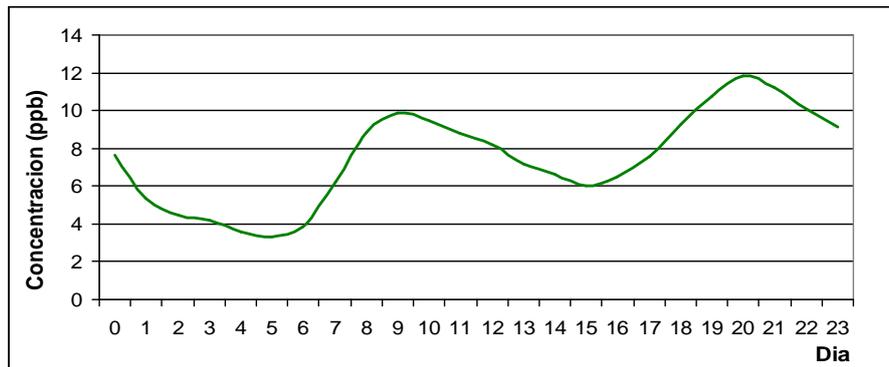


Fig.4e - Concentración máxima media horaria de dióxido de nitrógeno Estación de calidad de aire SENAMHI - diciembre 2005

La variación horaria de las concentraciones máximas medias horarias de NO₂ presentadas en la **figura 4e**, refiere un patrón definido caracterizado por dos picos horarios máximos de 9,9 ppb (09:00 horas) y 11,8 ppb (20:00 horas), comportamiento inverso al del ozono troposférico cuyo máximo se presenta alrededor del medio día; ello debido a que los óxidos de nitrógeno son precursores en la formación del ozono de niveles bajos conjuntamente con los hidrocarburos y la radiación solar.

3.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de diciembre del 2005

Para el mes de diciembre, 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.

3.3.1 Análisis de temperatura y humedad relativa

- Del análisis de la variación temporal diaria de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) extremas se observa lo siguiente: la temperatura máxima fluctuó entre los valores de 20,1 °C (Jesús María) a 26,9 °C (Comas) y la mínima osciló entre 15,7 °C (Comas) a 21 °C (Comas y El Callao); la temperatura media del mes fue de 20,6 °C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 78 % (Callao) a 92 % (Comas); mientras que la mínima osciló entre 55 % en Comas a 86 % en Jesús María (ver **figuras 5a y b**); la humedad relativa media fue de 78 %. Durante el mes de diciembre, han prevalecido condiciones de brillo solar durante la mayor parte del mes y la sensación térmica de calor se ha ido incrementando en horas de la noche, definiéndose de esta manera más evidentemente la transición a la estación de verano.
- 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 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 medio de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas, señala el día 31 como el más cálido del con una media de 26,0 °C y el día 7 como el más frío con un valor medio de 16,1°C. Con respecto a la humedad relativa, los días más secos fueron el 28 y 31 con 61%, y en promedio no se alcanzó la saturación (91,5 %). En términos medios, considerando las estaciones de El Callao y Jesús María, la temperatura del aire ha presentado un incremento de 2,6 °C y la humedad un descenso de 1,6 %, respecto al mes anterior, con valores de 20,6 °C y 78,9 %.

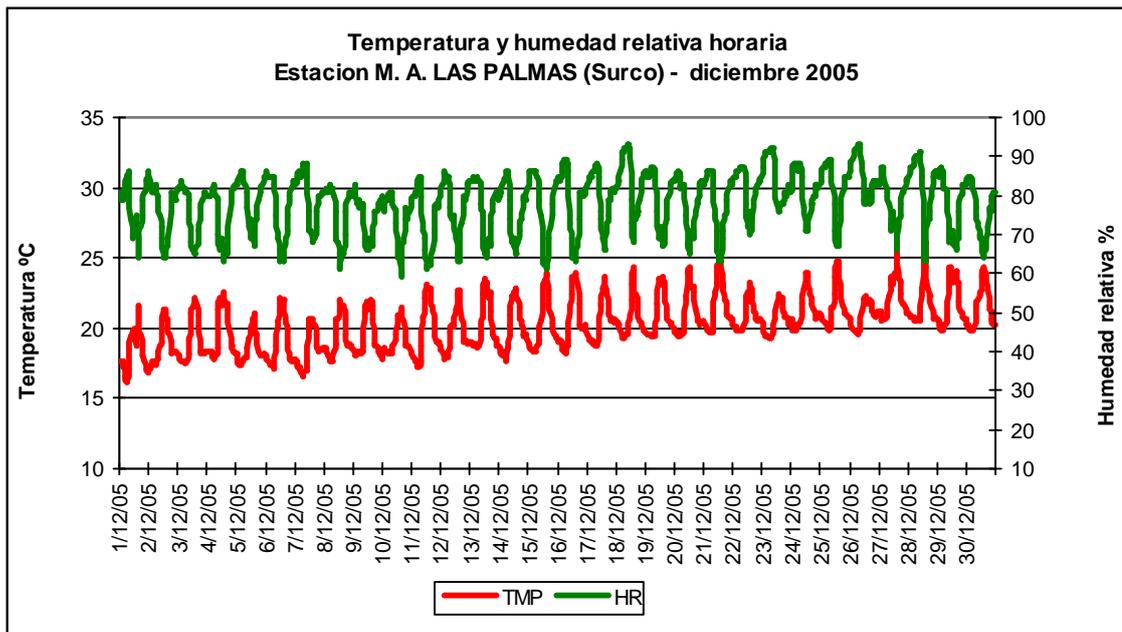
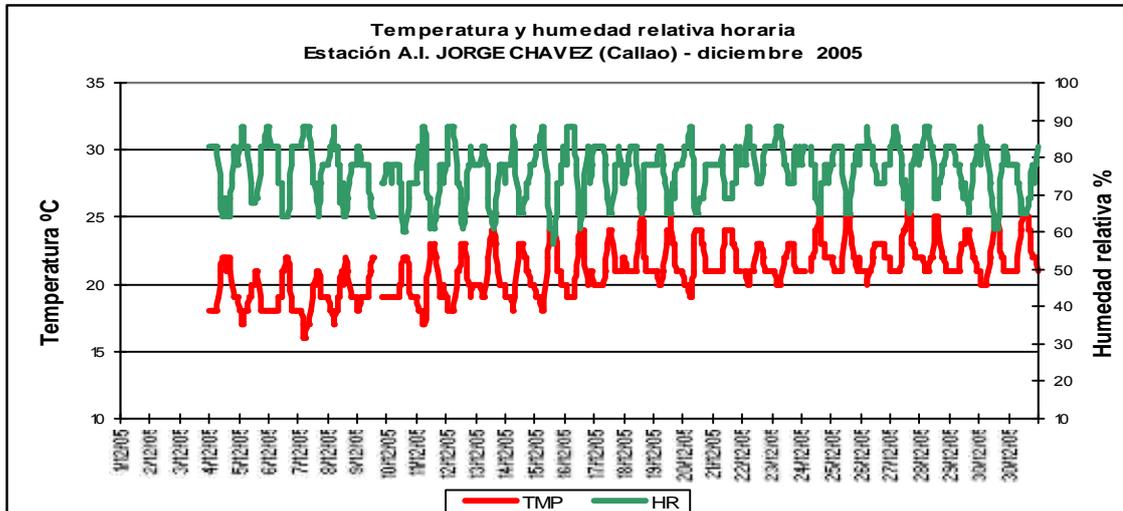
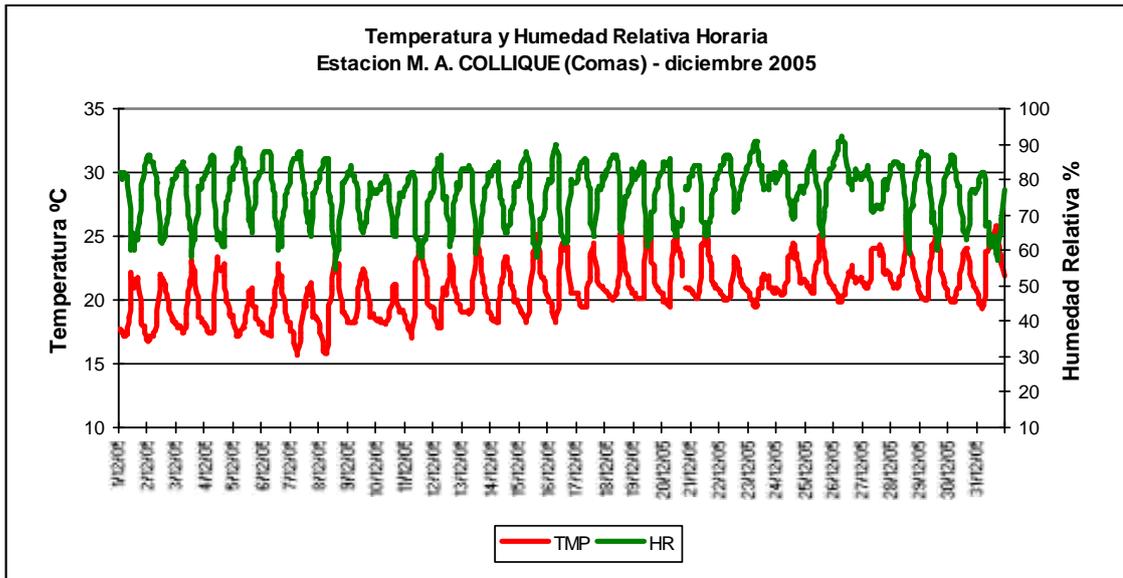


Fig.5a.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2005 en Comas, El Callao y Santiago de Surco

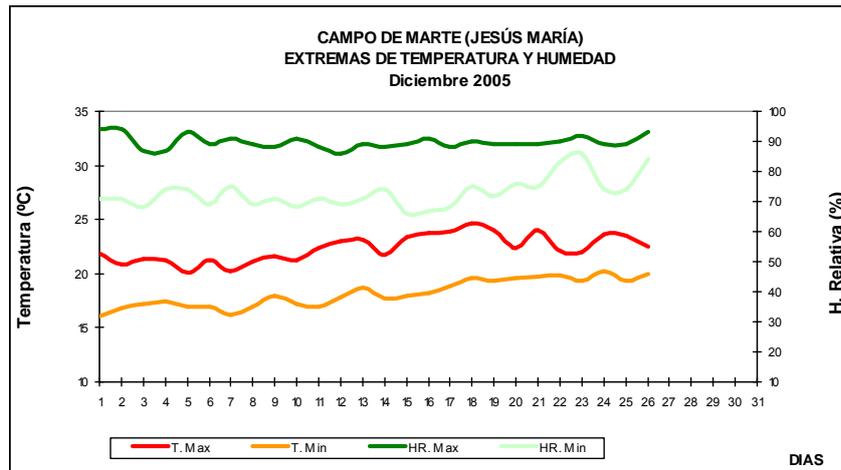


Fig.5b.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2005 en Jesús María

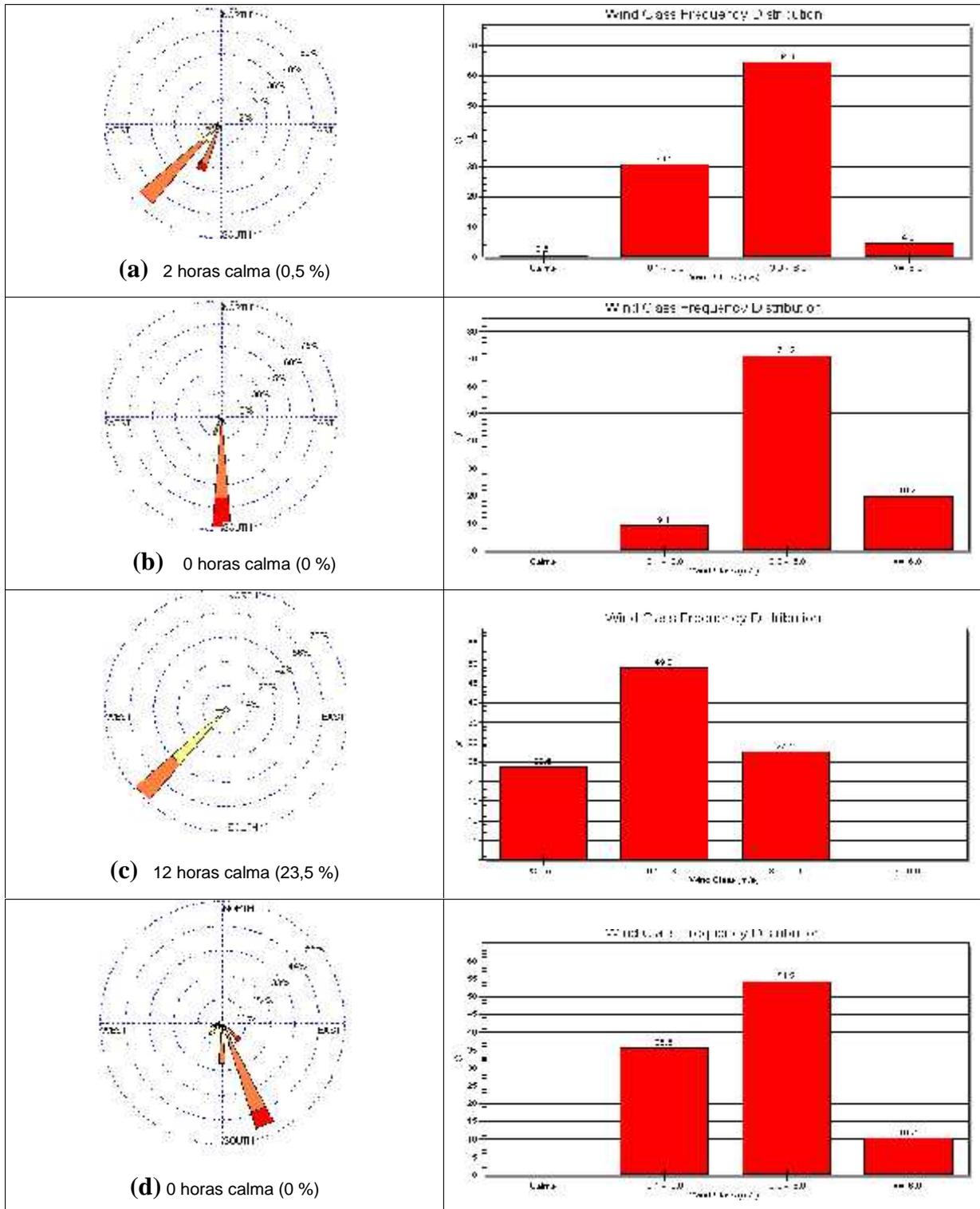
3.3.2 Análisis del viento superficial en la zona metropolitana de Lima- Callao

La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de diciembre 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), vientos de intensidad media débil (1,8 m/s) se registraron en el distrito de Jesús María provenientes del SW (69%). Intensidades moderadas (6,6 – 4,3 m/s) se reportaron hacia el norte (Comas), litoral costero (Callao) y sur de la ciudad (Surco) de direcciones SW y SSW (55 y 27%); S y SSW (72 y 13 %); y del SSE y S (50 y 20 %), respectivamente. Se reportó ocurrencia de calmas en Jesús María (23,5 %).

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 6**. Así, hacia el norte de la ciudad (Comas), litoral costero (norte-Callao) y sur (Surco) predominaron vientos de intensidad moderada; mientras que hacia el centro (Jesús María) de intensidad débil.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se reportaron vientos de intensidad débil (inferior a 3 m/s) en los distritos de Comas y Jesús María con direcciones del SW y SSW (30 y 25%), principalmente; y del SW (73 %), respectivamente. Intensidades moderadas (alrededor de 3,5 m/s) se reportaron en El Callao y Las Palmas provenientes del S y SSE (58 y 40 %); y del SE y SSE (63 y 26 %), respectivamente. Se reportó ocurrencia de calmas en Jesús María (19,2 %).
- La distribución de frecuencias de intensidades de viento son asimismo mostradas en la **figura 7**. Hacia el norte y centro de la ciudad predominaron vientos e intensidad débil; mientras que hacia el litoral costero (norte-Callao) y sur de la ciudad de intensidad moderada.

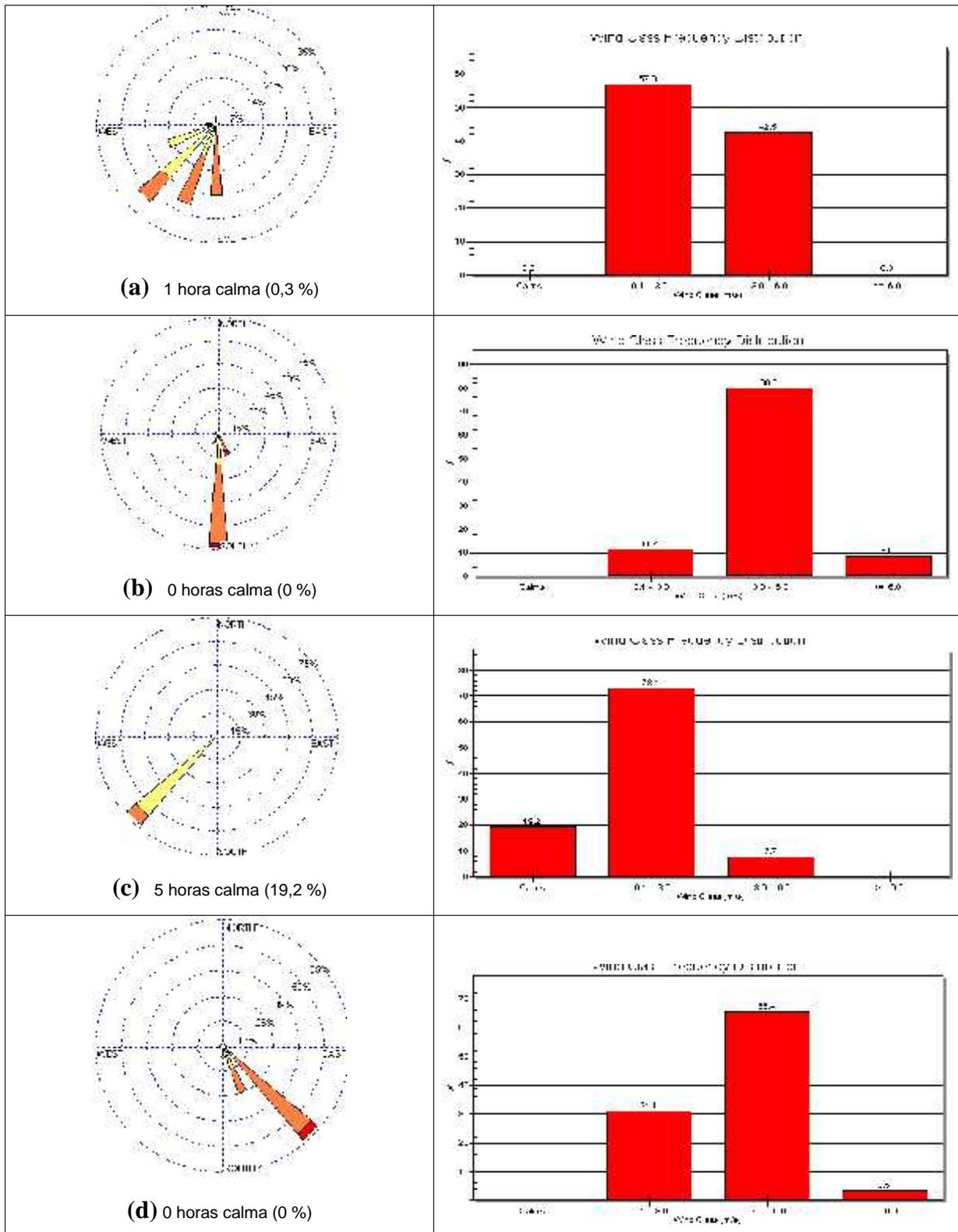


WIND SPEED (m/s)

- >= 5.0
- 3.0 - 5.0
- 0.1 - 3.0

Calma: 0.0 m/s

Fig. 6. Rosa de viento diurnas de las estaciones de a) Comas b) Callao c) J. María d) Surco. Diciembre 2005



WIND SPEED (m/s)

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

Calm: 0.0%

Fig. 7. Rosa de viento nocturnas de las estaciones de a) Comas b) Callao c) J. María d) Surco. Diciembre 2005

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

Durante el mes de diciembre, de forma similar a los últimos meses, no se realizaron sondajes atmosféricos, pero las condiciones meteorológicas registradas en superficie permiten inferir que el comportamiento de la inversión térmica de subsidencia mostró que continúa en debilitamiento, indicativo de una plena manifestación de la estación de verano. La creciente presencia de brillo solar es un indicativo del total debilitamiento en esas horas de la inversión térmica, lo cual propicia mayor dispersión; sin embargo, la interrupción de la intensa insolación en horas de la mañana o en las tardes, propicia la formación de inversiones por irradiación muy cerca de la superficie, limitando la dispersión y empeorando el fenómeno de la contaminación que en promedio tenderá a incrementarse en enero.

4. Conclusiones

- ✓ En el mes de diciembre, propio del asentamiento de la estación de verano, las concentraciones se incrementaron de forma importante. Se configuraron 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con 32,6 t/km².mes; el segundo en el cono centro-este con un valor de 24,0 t/km².mes; el tercero en la zona sur-este con 27,2 t/km².mes; y el cuarto en el cono sur con una concentración de 31,8 t/km².mes.
- ✓ De la información de las 34 estaciones recopiladas para este mes, el 77,8 % de ellas sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las 36 estaciones fue de 15,5 t/km².mes. Así mismo, el valor máximo fue de 32,6 t/km².mes en Independencia y el mínimo de 3,8 t/km².mes en Pueblo Libre.
- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo horario del dióxido de nitrógeno (NO₂) equivalió al 22% del ECA correspondiente establecido por el D.S. 074-PCM-2001. Asimismo, se observaron dos picos horarios máximos en las horas de mayor circulación vehicular (9:00 y 20:00 horas) corespondientes a 9,9 y 11,8 ppb, respectivamente.
- ✓ Sólo el 1,7 % de las concentraciones de dióxido de nitrógeno estuvieron por encima de los 15 ppb, a diferencia del 8,4% del mes anterior. Sin embargo, se estima con una alta probabilidad ocurrencia de impactos negativos en la salud asociados a afecciones respiratorias.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias de las estaciones observadas para el presente mes fueron de 20,6 °C y 78 %. Así mismo, el día más cálido fue el 31 con una media de 26,0 °C; y el día más frío el 7 con un valor medio de 16,1 °C. Con

respecto a la humedad relativa, el 28 y 31 fueron los días más secos (61 %) y no se alcanzó la saturación (91,5 %).

- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, en diciembre en Jesús María se reportaron vientos de intensidad débil del SW; e intensidades moderadas en los distritos de Comas, el Callao y Surco provenientes del SW, S y SSE, respectivamente. Durante la noche, se reportaron vientos de intensidad media débil en las estaciones de Comas y Jesús María, ambos del SW; e intensidades moderadas en El Callao y Surco provenientes del S y SE.
- ✓ Con respecto al análisis de la información meteorológica de altura, si bien no hubieron sondajes meteorológicos durante el mes de diciembre, los registros meteorológicos de superficie permiten afirmar que la creciente presencia de brillo solar es un indicativo del total debilitamiento en esas horas de la inversión térmica, lo cual propicia mayor dispersión; sin embargo, la interrupción de la intensa insolación en horas de la mañana o en las tardes, propicia la formación de inversiones por irradiación muy cerca de la superficie, limitando la dispersión y empeorando el fenómeno de la contaminación que en promedio tenderá a incrementarse en enero.