

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

INDICE

1	INTRODUCCION	3
2	TEMA DE INTERÉS DEL MES: INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO	3
3.	CUENCA ATMOSFERICA DE Z.M. DE LIMA-CALLAO	4
4.	METODOLOGÍA	6
5.	RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL	10
	5.1 Distribución espacial de la deposición seca (contaminantes sólidos sedimentables) durante el mes de noviembre del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	10
	5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno noviembre 2005	13
	5.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de noviembre	15
6.	CONCLUSIONES	21

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 octubre y noviembre 2005 en Lima-Callao	11
Fig. 3	- Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de noviembre del 2005	12
Fig. 4a-	Concentraciones horarias de NO y NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. noviembre 2005	13
Fig. 4b-	Concentraciones máximas, medias y mínimas de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. noviembre 2005	13
Fig. 4c-	Percentiles de NO ₂ de la estación de calidad del aire –SENAMHI. Noviembre 2005	14
Fig. 4d-	Concentraciones máximas medias horarias de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Noviembre 2005	14

Fig. 5 -. Variación horaria de la temperatura y humedad en el Callao y La Molina durante el mes de noviembre del 2005 en Lima	16
Fig. 6 -. Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Jesús María y Surco durante el mes de noviembre del 2005 en Lima-Callao	17
Fig. 7 – Rosas de viento e histogramas de frecuencia diurnas	19
Fig. 8 – Rosas de viento histogramas de frecuencia nocturnas	20

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Concentraciones de los contaminantes sólidos sedimentables. Meses de octubre y noviembre 2005	10
---	----

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

1. Introducción

Durante el mes de noviembre, personal profesional de la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales – DGIA presentó 5 artículos científicos para ser evaluados por el comité organizador del Encuentro Científico Internacional ECI 2006 a llevarse a cabo los días 2 al 5 de enero del próximo año. Dichos artículos contribuyen al fortalecimiento de la presencia institucional en eventos científicos sobre temas de nuestra competencia, específicamente en el área de las ciencias ambientales.

En lo que concierne a actividades de difusión de las capacidades técnicas y fortalezas del Servicio, los días 6 y 7 de noviembre se participó en el Festival de Ciencia y Tecnología organizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC), en el que asistieron las instituciones conformantes del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación Tecnológica (SINACYT) con el objetivo de presentar a la comunidad las iniciativas e inquietudes de trabajos y avances en los diferentes campos de la investigación. Así mismo, los días 24 al 26 el SENAMHI participó en la ExpoSeguridad Internacional 2005 organizado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) que tuvo por objetivo la presentación de las principales medidas de seguridad ciudadana y de los aportes científicos a la comunidad de las instituciones públicas y privadas.

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 noviembre. En términos generales, las concentraciones de polvo atmosférico fueron superiores a las registradas en octubre, en respuesta al paulatino asentamiento de las condiciones primaverales en donde la turbulencia del aire va en aumento y por lo tanto, los procesos de suspensión y resuspensión de las partículas también van incrementándose; en cuanto a las concentraciones del dióxido de nitrógeno, éstas fueron en promedio menores a las del mes anterior, aunque el 8,5 % de los datos que excedieron los 15 ppb principalmente durante el atardecer son suficientes para esperar una alta probabilidad de afecciones respiratorias.

2. Tema de Interés: Introducción al diseño de redes de monitoreo.

Es por todos conocido que una red de monitoreo de características óptimas, requiere un mínimo número de estaciones con localizaciones precisas y determinadas adecuadamente. No es posible definir una red óptima capaz de ser aplicable universalmente a cualquier área urbana y para cualquier objetivo, ello debido a que la distribución de los contaminantes y los factores meteorológicos varían en el tiempo y en el espacio dentro de la zona de estudio. ⁽¹⁾

Por ello, diseñar una red de monitoreo es un proceso de prueba – error que se va realizando poco a poco y que en todo su desarrollo va aportando mejoras cualitativas de carácter significativo. Los criterios hasta ahora más utilizados en el diseño de una red de monitoreo son los siguientes: hacer uso de una cuadrícula, emplear un modelo estadístico, usar los criterios recomendados por los organismos competentes, basarse en las necesidades de diagnóstico ambiental en una cuenca, y en las zonas más críticas de una localidad identificadas previamente. En todo caso, deben estar bien definidos los objetivos que se pretendan alcanzar. Algunos de estos objetivos son los siguientes: ^(1,2)

- Establecer bases científicas para la toma de decisiones.
- Determinar el cumplimiento de los criterios establecidos por la ley.
- Estimar los efectos de los contaminantes en la población y ambiente.
- Diagnosticar el estado de la calidad del aire e informar a la comunidad.
- Identificar fuentes de contaminación y el riesgo de la misma.
- Evaluar tendencia a largo plazo.
- Evaluar los efectos de los planes de control.
- Estudiar el comportamiento químico de los contaminantes.
- Calibrar y evaluar modelos de dispersión.

Por citar un ejemplo, las ciudades de Tijuana y Rosarito en el estado de Baja California se encuentran ubicadas en un lugar estratégico en la frontera de México con los Estados Unidos y por lo tanto están ligadas a los movimientos económicos y sociales propios de una ciudad fronteriza; entonces, también están sujetas a las influencias ambientales de ambos entornos que condicionan sus niveles de vida. Por ello, en estas ciudades se han preparado programas destinados a caracterizar la situación de la calidad del aire e identificar y controlar las fuentes de contaminación en las mismas. El diseño del plan de monitoreo se basa en los objetivos señalados. ⁽³⁾

Con respecto a lo señalado, todo diseño de una red de monitoreo implicará una determinación de la escala a evaluar; una selección de los contaminantes que van a ser monitoreados; selección de los métodos de medición; determinación de los puntos de monitoreo; implementación de la red de estaciones; y contar con una organización operacional. Esto último es muy importante por cuanto implica disponer de la logística necesaria para operar la red adecuadamente y de esta manera asegurar la sostenibilidad y calidad de la información. ⁽¹⁾

3. 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.

(1) Martínez, A., Romieu, I.1997. Introducción al Monitoreo Atmosférico. México.

(2) Calvo A. 2005/ PRAL. Ponencia " Aseguramiento y Control de la Calidad en el Monitoreo y en laboratorio. Lima, Perú.

(3) SEMARNAP. 2000. Programa para mejorar la calidad del aire en Tijuana Rosarito 2000 – 2005. México D.F. México.

dispersion 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:

3.1 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

3.2 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

3.3 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.

4. Metodología

4.1 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**). De forma similar al trabajo que se

viene ejecutando meses atrás, se viene diseñando la ampliación de la red de muestreo en todo el ámbito de la cuenca atmosférica de tal forma de poder lograr una mejor definición de la configuración de las áreas críticas de los distritos. 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 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”.

4.3 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 y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación climatológica Campo de Marte (Jesús María), estación meteorológica automática Lima Este (La

Molina) y estación climatológica 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.

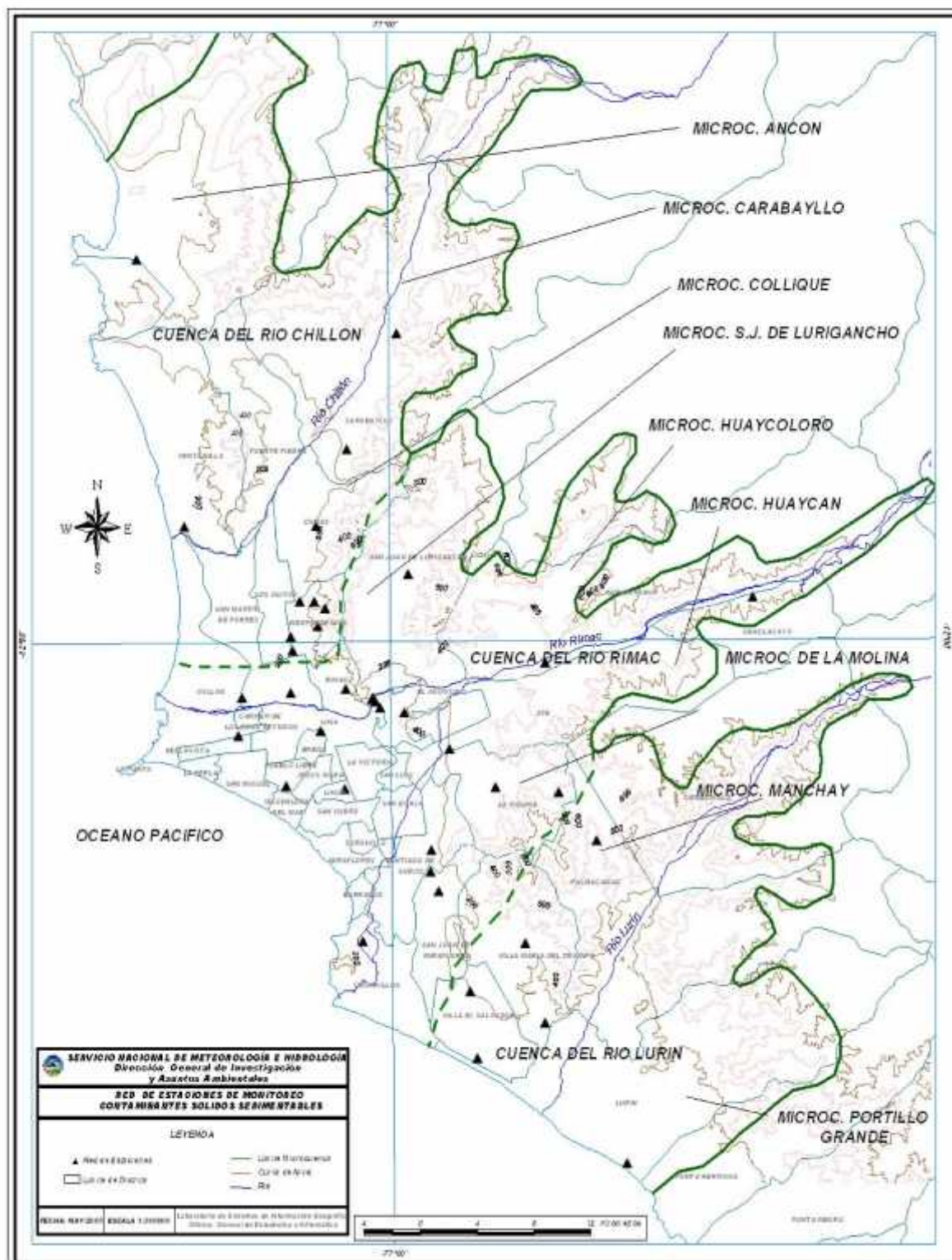


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

5. Resultados del monitoreo ambiental

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

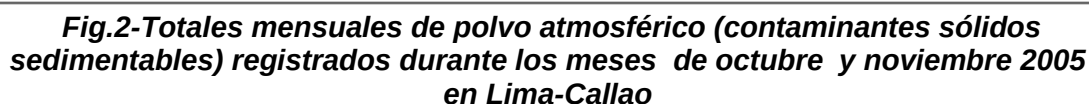
En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS). En noviembre se ha recopilado información de 36 estaciones de muestreo instaladas en la mayor parte del ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao, de las cuales el 72,2 % excedieron 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 Pachacamac.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación fueron en promedio ligeramente superiores a los registrados el mes anterior en sus principales núcleos, con algunas excepciones. Así mismo, la concentración media de CSS para la z.m. de Lima-Callao fue de 13,0 t/km².mes, mayor a la correspondiente media del mes anterior de 12,2 t/km².mes. El valor máximo registrado en noviembre fue de 30,2 t/km².mes en el distrito de Pachacamac y el mínimo de 1,9 t/km².mes en Lince. En la **figura 2** se muestran los registros de las 36 estaciones para los meses de octubre y noviembre. Con respecto a los resultados obtenidos en noviembre del 2004, el núcleo de mayor contaminación fue identificado en el distrito de Villa María del Triunfo con un valor de 25,5 t/km².mes y 29,0 t/km².mes en El Cercado (lado este).

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

Concent t/km ² .mes	N° estac.	%	Núcleos principales			
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur
octubre	37	67,6	28,6 (Comas)	24,1 (El Agustino)	32,2 (Pachacamac)	25,2 (V.M.T.)
noviembre	36	72,2	26,7 (Independencia)	24,3 (El Agustino)	30,2 (Pachacamac)	25,4 (V.M.T.)

Los registros de los principales núcleos de acumulación de polvo atmosférico en la capital se presentan en el orden de 5 a 6 veces el valor referencial permisible. Aunque hay ligeras diferencias en los registros y en sus núcleos, la tendencia es hacia el incremento dado que con el paulatino asentamiento de las condiciones primaverales, los fenómenos de turbulencia del aire ligados a los procesos de suspensión y re-suspensión van incrementándose.



11

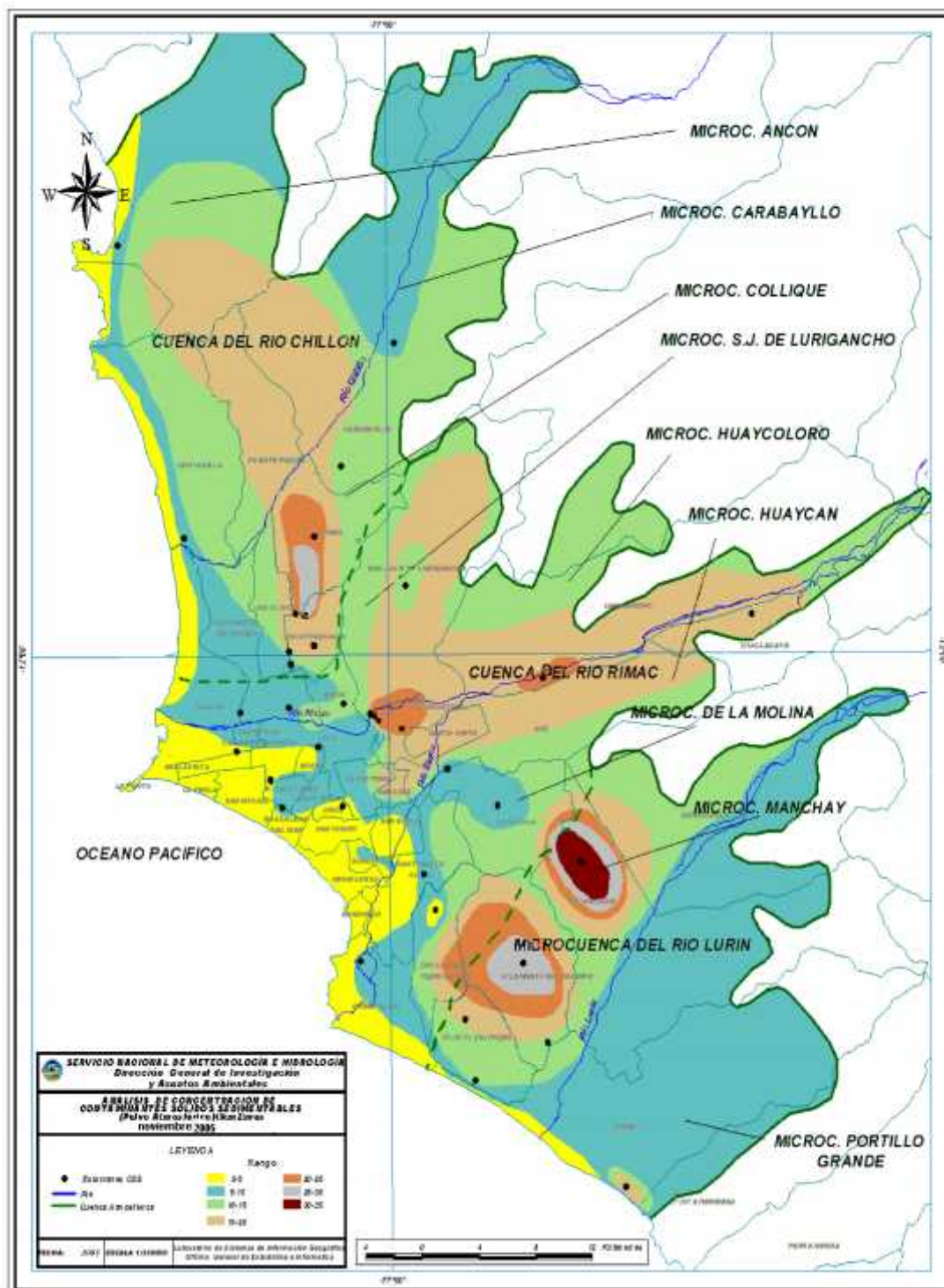


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico en el ámbito de la cuenca atmosférica de la z.m. de Lima-Callao durante el mes de noviembre del 2005

5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno (NOx): óxido nítrico y dióxido de nitrógeno durante el mes de noviembre 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 para el presente mes un registro máximo horario de NO de 87, 55 ppb (inferior al mes anterior en 11 ppb) y de NO₂ de 26,7 ppb (inferior en 7,2 ppb al mes de octubre), ocurridos el día 15 de noviembre a las 20:00 horas y el día 25 a las 21:00 horas; y mínimos horarios de 8,6 (superior en 0,2 ppb al registro de octubre) y 0,3 ppb (inferior en 0,1 ppb al mes de octubre) el día 24 a las 04:00 horas y el día 16 a las 04:00 horas, respectivamente.

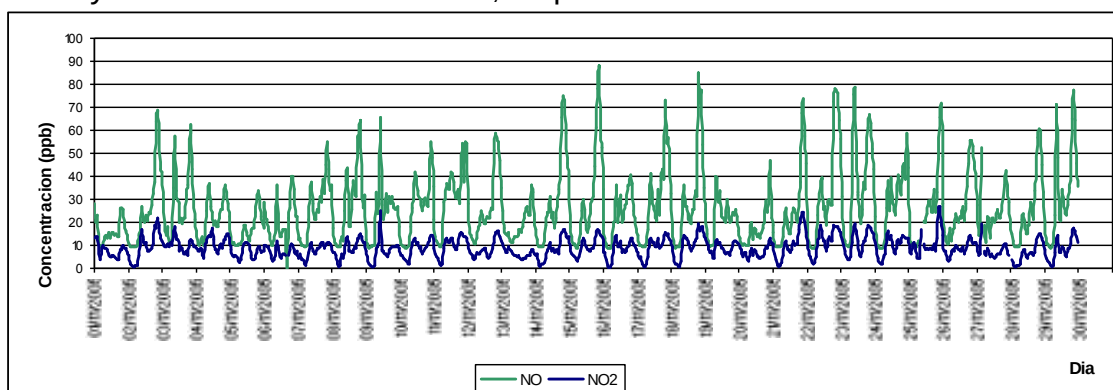


Fig.4a – Concentraciones horarias de NO y NO₂ registrados en la Estación de calidad del aire SENAMHI – noviembre 2005

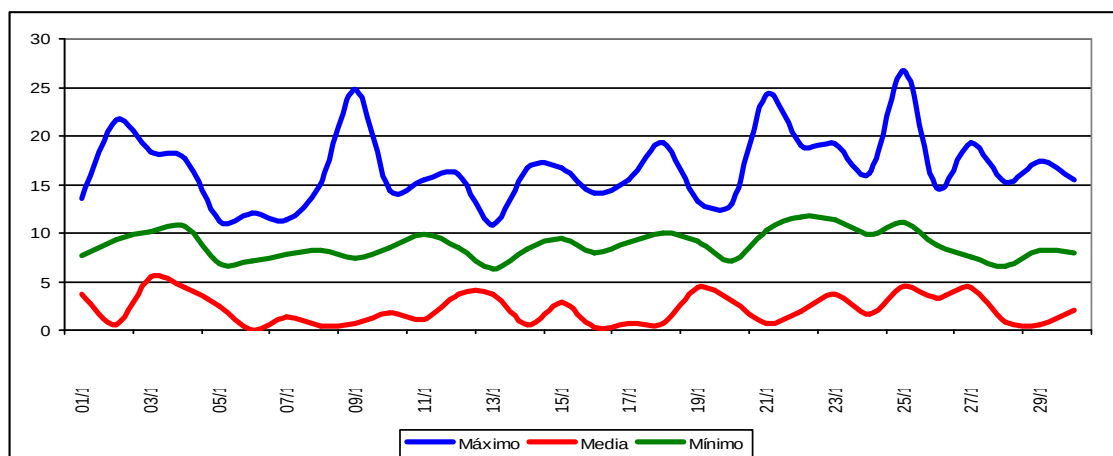


Fig.4b – Concentraciones máximas, medias y mínimas diarias de NO₂ registradas en la estación de calidad del aire SENAMHI – noviembre 2005

El valor máximo diario de NO₂ alcanzado el día 26 fue de 26,7 ppb (ver **figura 4b**) equivalente al 26 % 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 8,8 ppb, inferior en 0,6 ppb al mes anterior. Ver **figura 4b**.

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 ⁽⁴⁾. De acuerdo a los registros horarios del presente mes, el 8,5 % de los datos (59 horas) sobrepasaron los 15 ppb mencionados principalmente durante el atardecer.

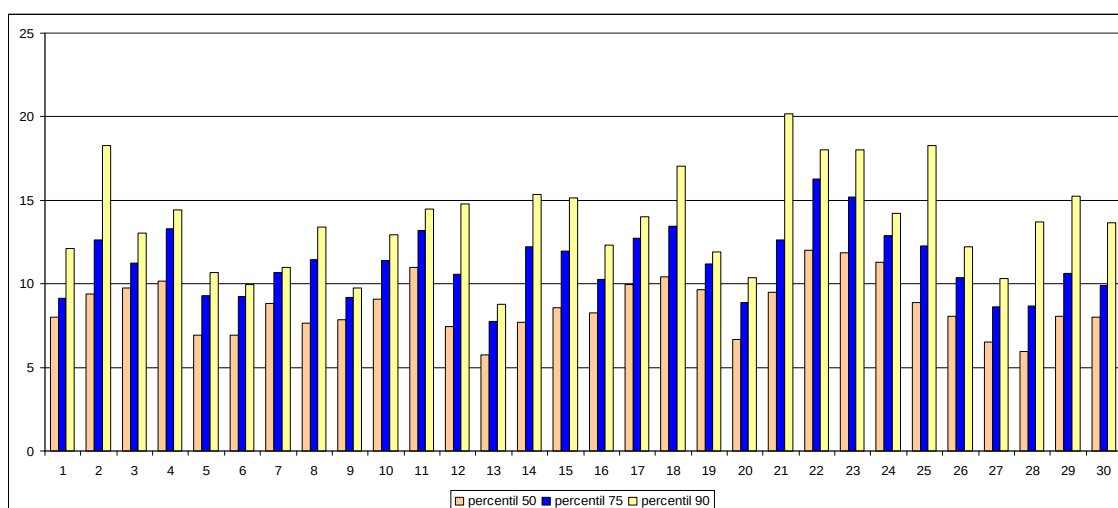


Fig.4c - Percentiles de NO₂ en la estación de calidad del aire SENAMHI - noviembre 2005

De acuerdo a lo observado en la **figura 4c**, en promedio el 50% de los datos de NO₂ se encuentran por debajo de 8,7 ppb, el 75% por debajo de 11,2 ppb y el 90% por debajo de 13,8 ppb. Las máximas concentraciones para los percentiles de 50, 75 y 90 corresponden a 12, 16 y 20 ppb, respectivamente.

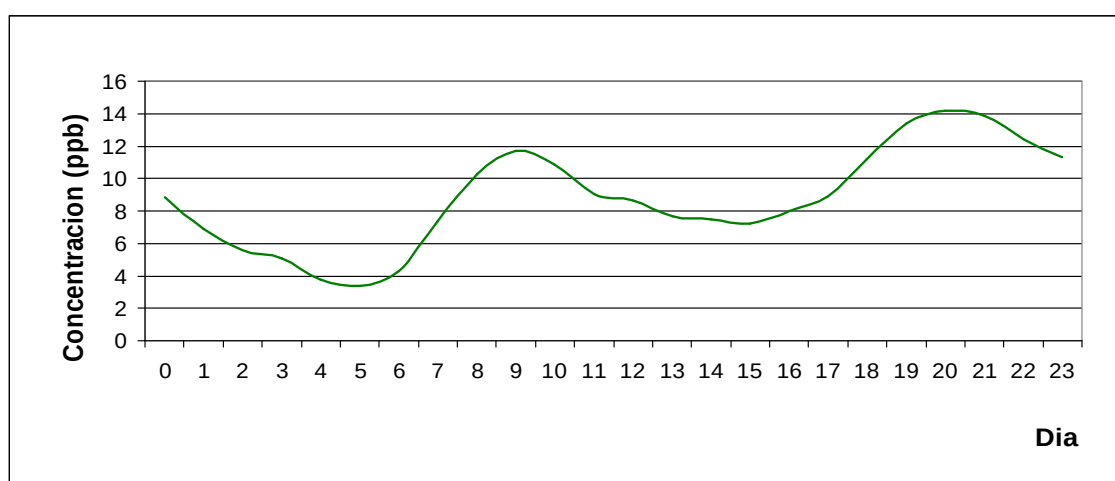


Fig.4d -. Concentración máxima media horaria de Dióxido de Nitrógeno Estación de calidad de aire SENAMHI - noviembre 2005

La variación horaria de las concentraciones máximas medias horarias de NO₂ presentadas en la **figura 4d**, refiere un patrón definido caracterizado por dos

(4) Jave, O. 2005. Ponencia sobre "Salud respiratoria y ambiente". Dirección de Salud de Lima Ciudad. Lima, Perú.

picos horarios máximos de 11,7 ppb (09:00 horas) y 14,2 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.

Las fluctuaciones de las concentraciones de los contaminantes monitoreados, se debe a la mayor o menor intensidad de los aportes provenientes del parque automotor de alta obsolescencia por la deficiente combustión de combustibles de baja calidad; del parque industrial formal e informal inmersos en la ciudad y que operan con equipamiento obsoleto, combustibles de baja calidad y deficiente control de sus emisiones, a los que se suma los residuos de la industria de la construcción; de las actividades de comercio, formal e informal; de la deficiente gestión de los residuos sólidos municipal e industrial; de la insipiente gestión de los efluentes domésticos, comerciales e industriales; de la ausencia de políticas para la atención y cuidado de animales domésticos como vectores biológicos de enfermedades contagiosas; y de la baja conciencia ambiental de la población; a todo ello se le suma la dinámica atmosférica, en donde la acción dispersante de los flujos de viento locales transportan los contaminantes a distancias considerables.

5.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de noviembre del 2005

Para el mes de noviembre, 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 **4.3**. A continuación se desarrollan los análisis respectivos de la información meteorológica.

5.3.1. 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 16,0 °C (La Molina) a 23,7 °C (Surco) y la mínima osciló entre 12,9 °C (La Molina) a 18 °C (Callao); la temperatura media del mes fue de 17,8 °C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 77 % (Callao) a 100 % en La Molina; mientras que la mínima osciló entre 50 % en el Callao a 95 % en La Molina (ver **figuras 5 y 6**); la humedad relativa media fue de 84 %. Durante este mes, han prevalecido condiciones de brillo solar principalmente durante la segunda década; así mismo, la sensación térmica de calor en horas de la madrugada se hizo más evidente.
- 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 medio de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas, refiere que el día más cálido del mes fue el 6 de noviembre con una media de 22,5 °C y el día más frío el 1 con un valor medio de 14,2 °C. Con respecto a la humedad relativa, el 23 correspondió al día más seco con 61% y en promedio no se alcanzó la saturación (96,3 %). En términos medios, considerando las estaciones del Callao, Jesús María y La Molina, la temperatura del aire ha presentado un incremento de 1,7 °C y la humedad un descenso de 3 %, respecto al mes anterior, con valores de 17,5 °C y 84 %.

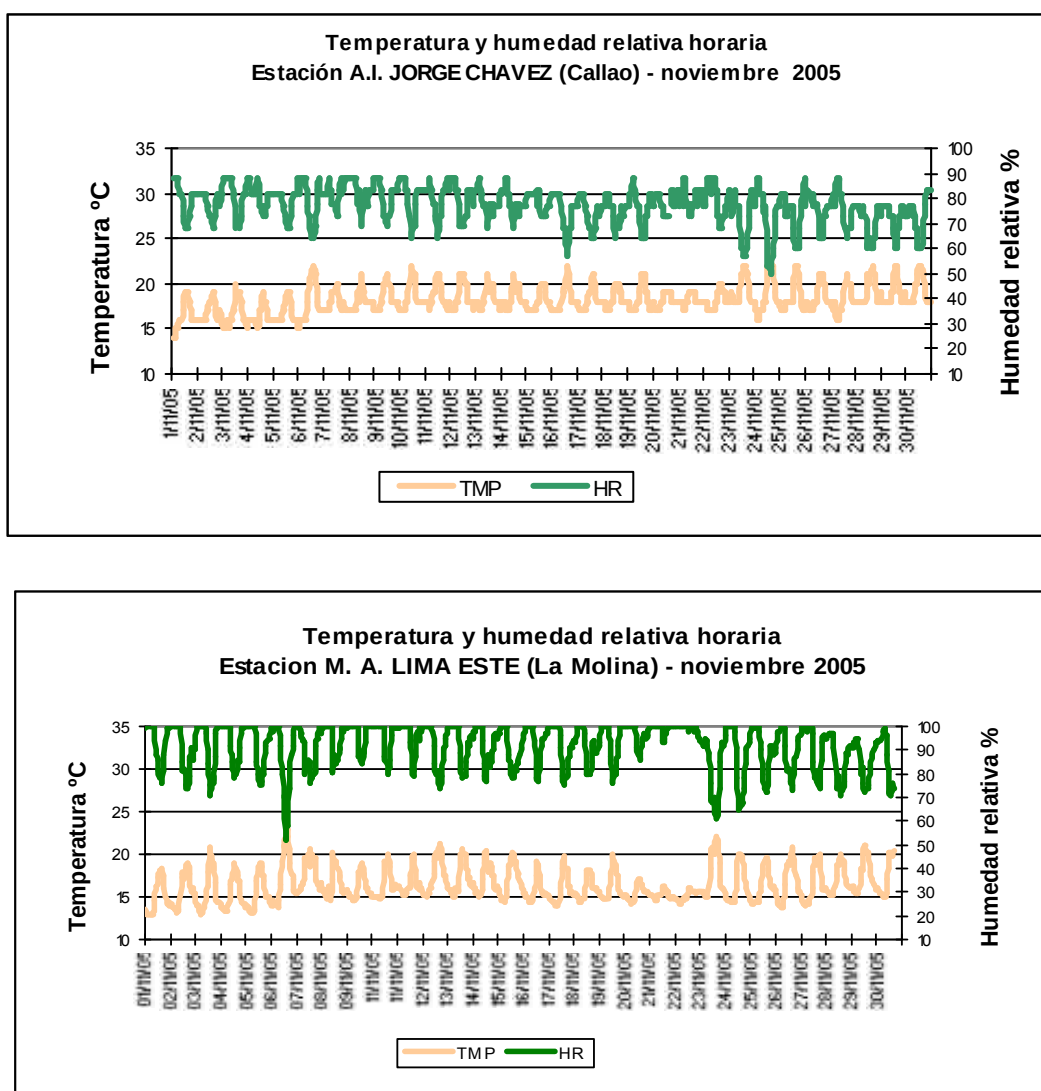


Fig.5.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de noviembre del 2005 en el Callao y La Molina

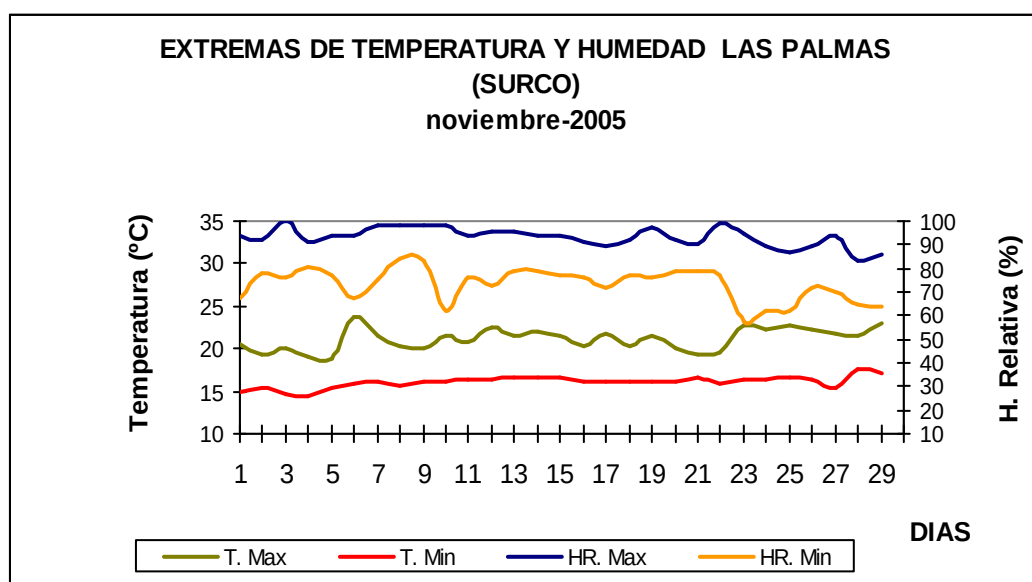
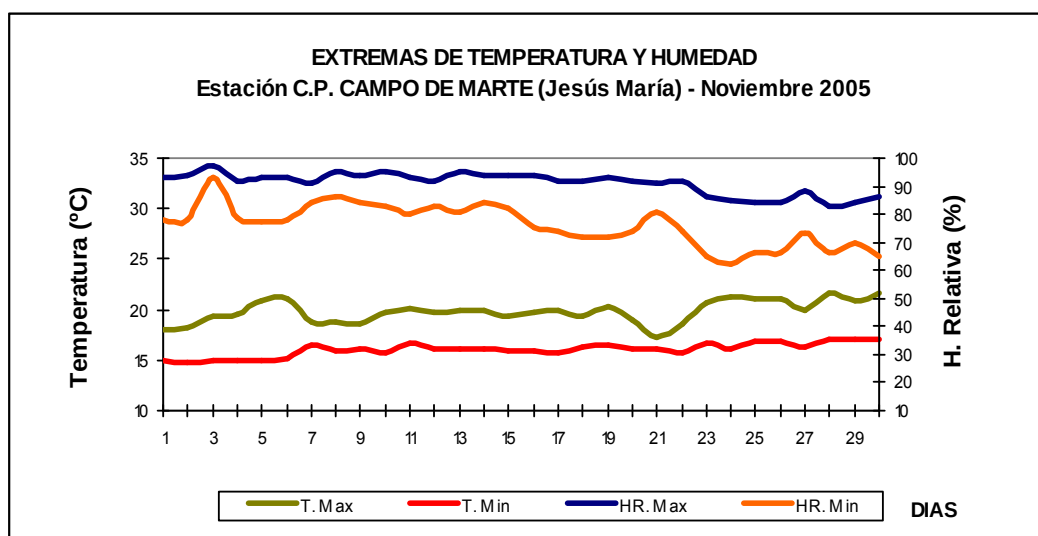


Fig.6.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de noviembre del 2005 en Jesús María y Santiago de Surco

5.3.2 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 noviembre es presentada en las **figuras 7 y 8** para el período diurno (07:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente.

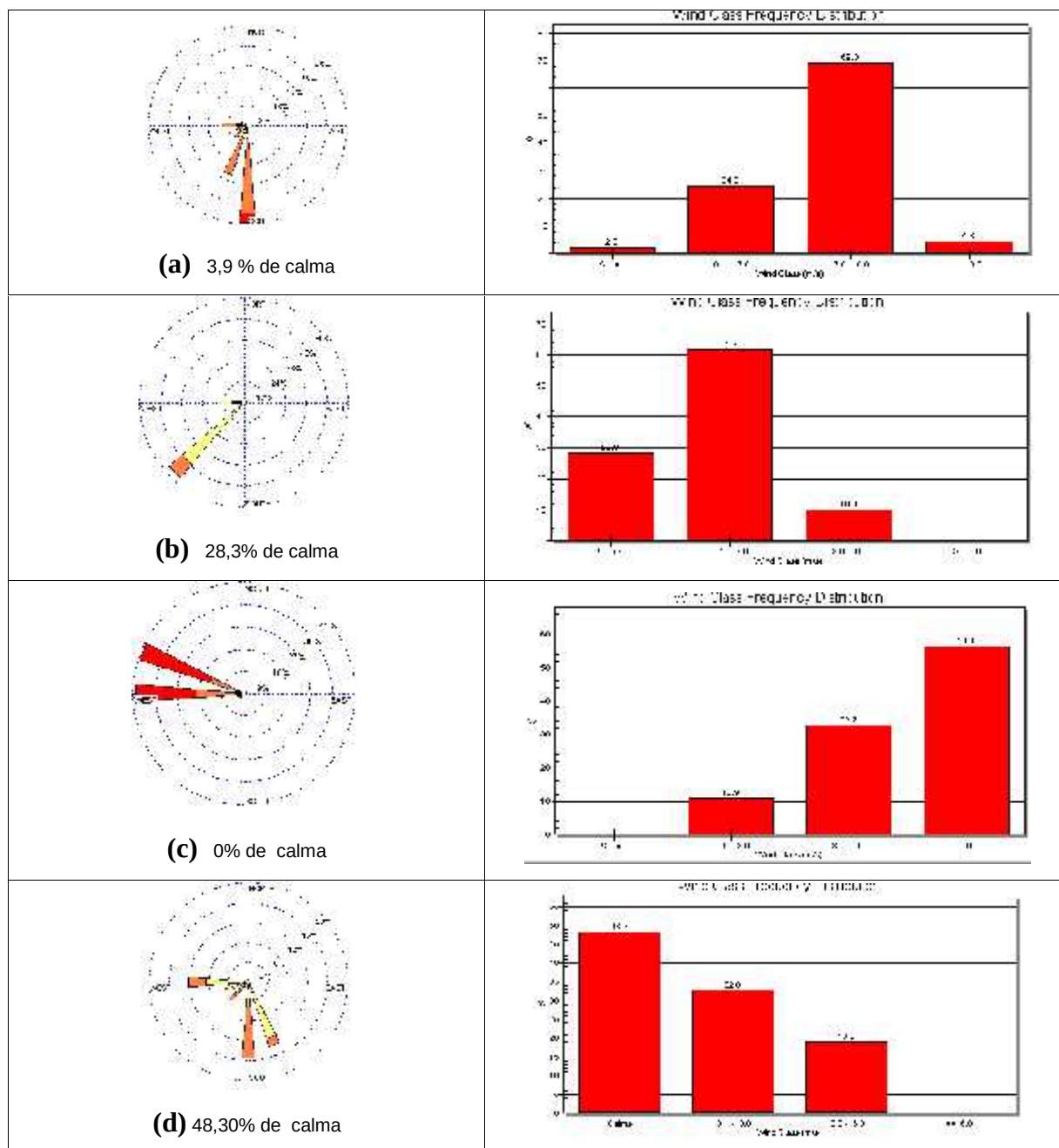
- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), se presentaron vientos con intensidad media débil en los distritos de Jesús María y Surco provenientes del SW y W (58 y 13 %) y del S y SSE (16 y 14 %), respectivamente. Intensidades moderadas se registraron hacia el litoral costero (Callao) de dirección S y W (40 y 19 %); mientras que hacia el

este de la ciudad (La Molina) la intensidad media fue fuerte de dirección W y WNW (44 y 44 %), respectivamente.

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, hacia el litoral costero (norte-Callao) predominaron vientos moderados; hacia el centro de la ciudad (Jesús María) predominaron intensidades débiles; hacia el este, vientos de fuerte intensidad; y hacia el sur, 48 % de ocurrencia de calmas y vientos débiles.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se reportaron vientos de intensidad débil en Jesús María y Surco, predominando direcciones del SW y W (73 y 10 %) y del SSE y SE (36 y 22 %), respectivamente. Intensidades moderadas se observaron en el Callao y La Molina del S y SSE (73 y 15 %) y del WNW y W (27 y 24 %), respectivamente.

La distribución de frecuencias de intensidades de viento son asimismo mostradas en la **figura 8**. Hacia el litoral costero (norte-Callao) y sur de la ciudad predominaron vientos de intensidad moderada; y hacia el centro y este de la ciudad, vientos de intensidad débil.



WIND SPEED
(m/s)

■ >= 6.0
■ 3.0 - 6.0
■ 0.1 - 3.0
 Calma: 0.0%

Fig. 7. Rosa de viento e histogramas de frecuencias diurnas de las estaciones de a) Comas b) Callao c) J. María d) Surco. Noviembre 2005

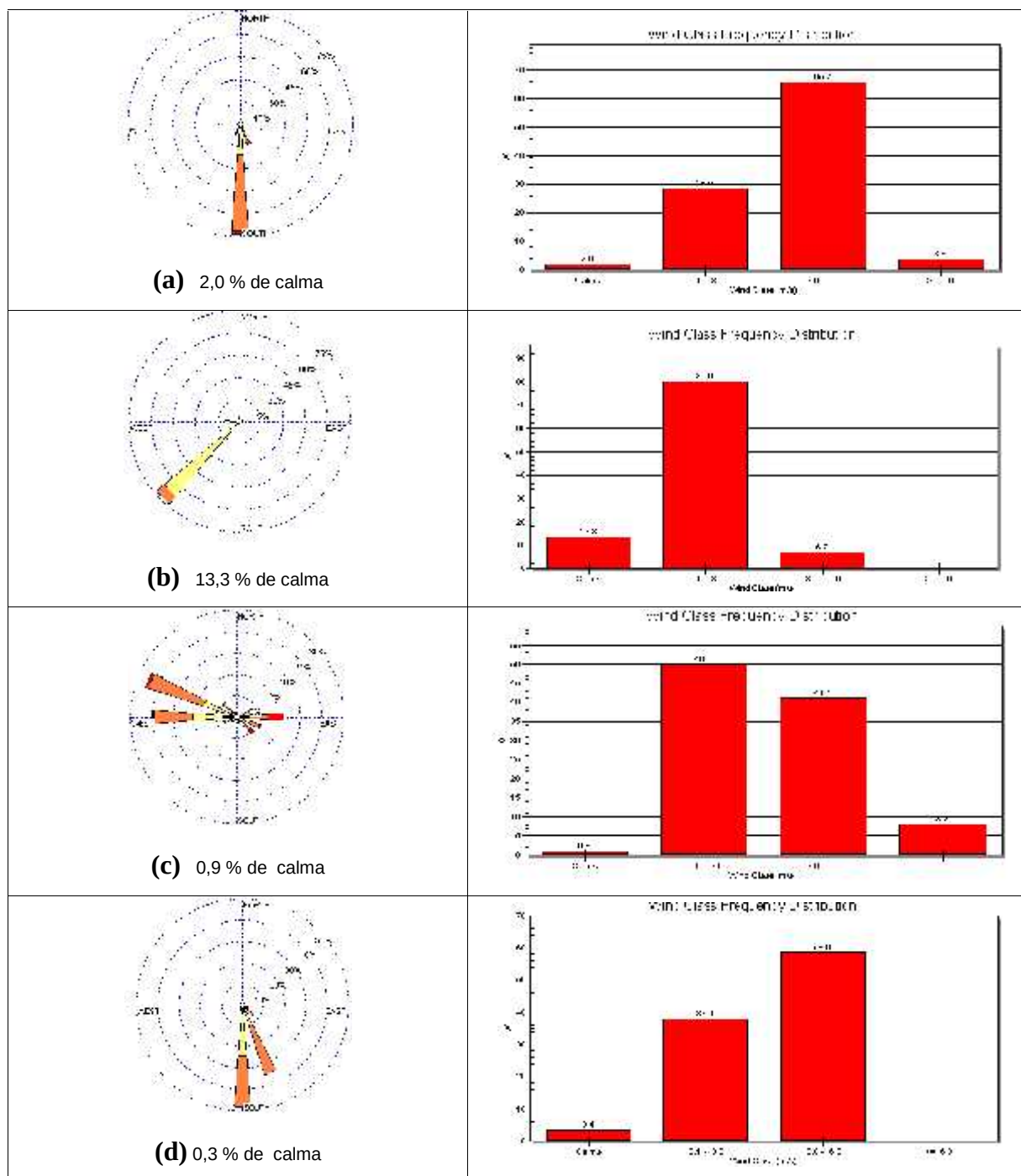


Fig. 8. Rosa de viento nocturnas de las estaciones de a) Comas b) Callao c) J. María d) Surco. Noviembre 2005

WIND SPEED
(m/s)

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

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

Durante el mes de noviembre, 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 las condiciones primaverales. Se ha incrementado el brillo solar en horas e intensidad, dando la energía suficiente para que los procesos de turbulencia continúen en incremento, lo que se refleja en el incremento de la media de las concentraciones del polvo atmosférico en el presente mes con posibilidades de incrementarse en diciembre.

6. Conclusiones

- ✓ En el mes de noviembre, el paulatino asentamiento de las condiciones primaverales que favorece los procesos de suspensión y re-suspensión de las partículas, aunado a los aportes antropogénicos ya referidos, configuraron 4 centros importantes de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con 26,7 t/km².mes; el segundo en el cono centro-este con un valor de 24,3 t/km².mes; el tercero en la zona sur-este con 30,2 t/km².mes; y el cuarto en el cono sur con una concentración de 25,4 t/km².mes.
- ✓ De la información de las 36 estaciones recopiladas para este mes, el 72,2 % de ellas sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las 36 estaciones fue de 13,0 t/km².mes. Así mismo, el valor máximo fue de 30,2 t/km².mes en Pachacamac y el mínimo de 1,2 t/km².mes en Lince.
- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo horario del dióxido de nitrógeno (NO₂) equivalió al 26% 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).
- ✓ El 8,4 % de los datos de dióxido de nitrógeno estuvieron por encima de los 15 ppb; por lo que se estima con una alta probabilidad de 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 17,8 °C y 84 %. Así mismo, el día más cálido fue el 6 con una media de 22,5 °C; y el día más frío el 1 con un valor medio de 14,2 °C. Con

respecto a la humedad relativa, el 23 fue el día más seco (61 %) y no se alcanzó la saturación (96,3 %).

- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, para este mes en el período diurno se presentaron vientos débiles en los distritos de Jesús María y Surco de direcciones SW y S, respectivamente; intensidades moderadas en el Callao provenientes del S; y reportes de intensidad fuerte en La Molina de dirección W. Durante la noche, se reportaron vientos de intensidad media débil en las estaciones de Jesús María y Surco con direcciones SW y SSE, respectivamente; e intensidades moderadas en El Callao y La Molina provenientes del S y WNW.
- ✓ Con respecto al análisis de la información meteorológica de altura, si bien no hubieron sondeos meteorológicos durante el mes de noviembre, los registros meteorológicos de superficie permiten afirmar que el comportamiento de la inversión térmica de subsidencia en debilitamiento propio del asentamiento de las condiciones primaverales y el consiguiente incremento de las condiciones de turbulencia atmosférica, es reflejado en el incremento de la media de las concentraciones del polvo atmosférico en el presente mes con altas posibilidades de incrementarse hacia noviembre.