

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

INDICE

1	INTRODUCCION	3
2	TEMA DE INTERÉS DEL MES: INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO	4
3.	CUENCA ATMOSFERICA DE Z.M. DE LIMA-CALLAO	5
4.	METODOLOGÍA	7
5.	RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL	10
	5.1 Distribución espacial de la deposición seca (contaminantes sólidos sedimentables) durante el mes de octubre del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	10
	5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno octubre 2005	12
	5.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de octubre	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 setiembre y octubre 2005 en Lima-Callao	11
Fig. 3	- Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de octubre del 2005	12
Fig. 4a-	Concentraciones horarias de NO y NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. octubre 2005	13
Fig. 4b-	Concentraciones máximas, medias y mínimas de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. octubre 2005	13
Fig. 4c-	Percentiles de NO ₂ de la estación de calidad del aire –SENAMHI. Octubre 2005	14
Fig. 4d-	Concentraciones máximas medias horarias de NO ₂ registradas en la estación de calidad del aire –SENAMHI. octubre 2005	14

Fig. 5 -. Variación horaria de la temperatura y humedad en Comas, Callao y Surco durante el mes de octubre del 2005 en Lima	16
Fig. 6 -. Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Jesús María y Chorrillos durante el mes de octubre del 2005 en Lima-Callao	17
Fig. 7 – Rosas de viento Diurnas	19
Fig. 8 – Rosas de viento Nocturnas	20

INDICE DE CUADROS

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

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

Elaboración

Ing. José Silva Cotrina
Bach. Zarela Montoya Cabrera
SO3. FAP Juan López Malhaber

1. Introducción

Durante el mes de octubre, la Dirección general de Investigación y Asuntos Ambientales – DGIA organizó los días 17 al 21 el curso “Modelo fotoquímico de la contaminación del aire” con el propósito de incrementar las capacidades del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología en el pronóstico de la contaminación del aire. Dicho curso fue dictado por el Dr. Héctor Jorquera, investigador de la Universidad Católica de Chile quien impartió los principales conceptos de química atmosférica y dio las pautas para la instalación del modelo de dispersión CAMX, el cual en el mediano plazo permitirá modelar la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Lima-Callao. En la misma línea, personal profesional de la DGIA asistió al curso “Aseguramiento y control de la calidad (AC/CC) en el monitoreo de la calidad del aire” organizado por el Programa Regional de Aire Limpio (PRAL) el cual tenía por objetivo el fortalecimiento de los conocimientos de profesionales de la región encargados de realizar los monitoreos de la calidad del aire en el proceso de aseguramiento y control de la calidad de la información.

De otro lado, personal profesional de la DGIA, participó los días 12 y 14 en reuniones interinstitucionales convocadas por el CONAM para dar cumplimiento a lo dispuesto en el Plan Operativo BIANUAL Zonificación Ecológica Económica (ZEE) agosto 2005-julio 2007, en lo que concierne a la formulación de la Directiva sobre la Metodología de la ZEE.

En lo que concierne a actividades de difusión de las capacidades técnicas y fortalezas del Servicio, el día 16 se participó en el Festival Aeronáutico Las Palmas a través de la presentación de instrumental de monitoreo meteorológico y ambiental, paneles informativos, y trípticos, dirigido al público asistente que manifestó su gran interés en el tema.

El presente boletín muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico contaminante o sólidos sedimentables y contaminantes gaseosos (óxidos de nitrógeno) en la zona metropolitana de Lima-Callao en relación con las condiciones meteorológicas imperantes durante el mes de octubre. En términos generales, las concentraciones de polvo atmosférico fueron superiores a las registradas en setiembre, en respuesta al lento 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.

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 estación; y contar con una organización operacional. Esto último es muy importante por cuanto implica disponer de la logística necesaria para operar la estación adecuadamente y de esta manera asegurar la sostenibilidad y calidad de la información.⁽¹⁾

(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.

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.

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 el 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 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 Zona Metropolitana 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 I.D. : Distrito de Pacahacamac

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.

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 37 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:** Preparación y codificación del material que se lleva a campo para reemplazar las placas receptoras o de acumulación.
- **Fase de campo:** Mensualmente en cada una de las estaciones se reemplazan las placas receptoras impregnadas de contaminantes y se llevan al laboratorio para las evaluaciones respectivas. 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 Collique (Comas), estación meteorológica automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación climatológica Campo de Marte (Jesús María), estación meteorológica automática Las Palmas (Surco) 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.

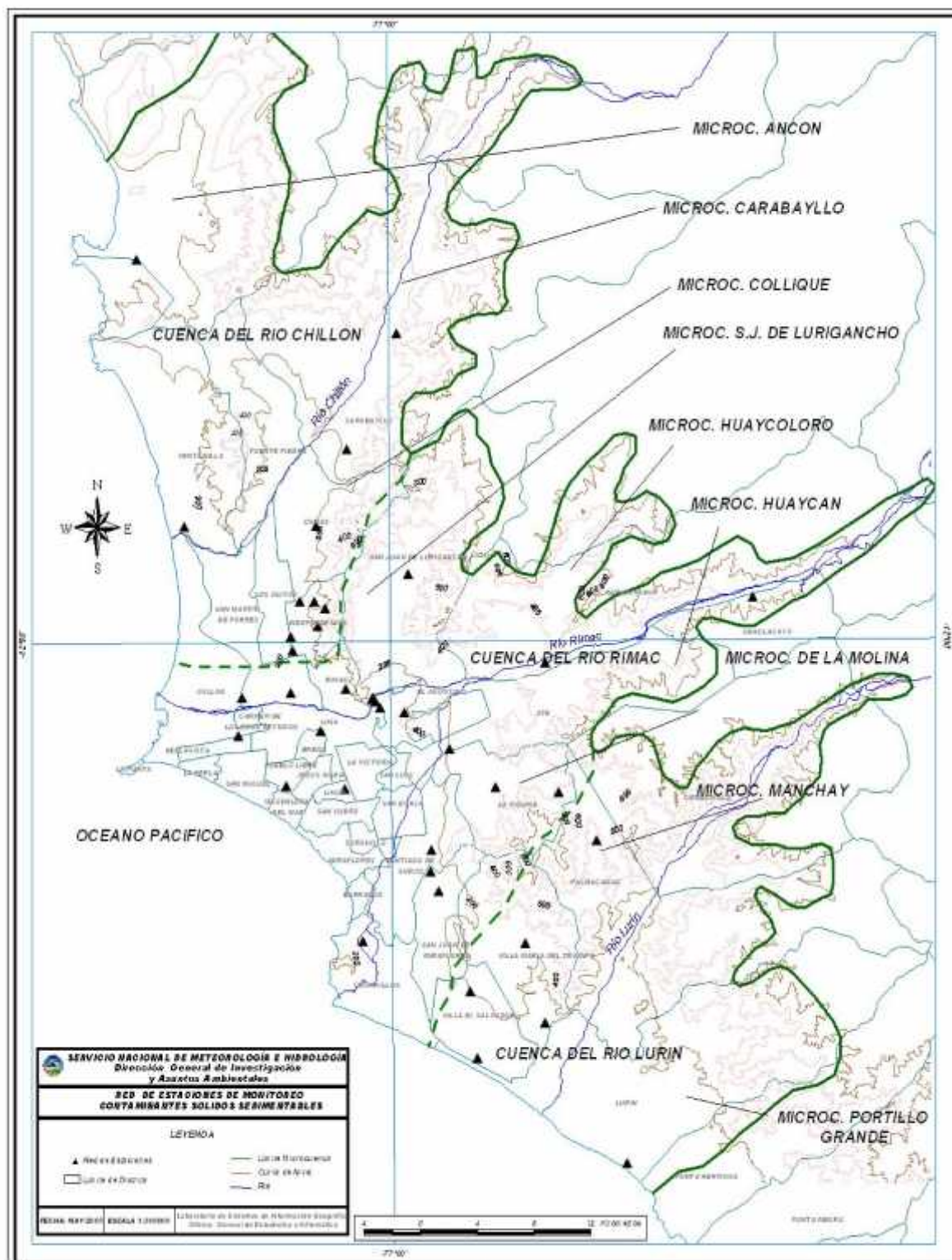


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

5. Resultados del monitoreo ambiental

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

En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS). En octubre 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 67,6% excedió el límite referencial permisible recomendado por la OMS (equivalente a 5 t/km².mes), de forma similar al mes anterior. Los dos máximos de las concentraciones del mes se presentaron en los distritos de Pachacamac y Comas, excediendo ambos en aproximadamente 6 veces el valor referencial permisible.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación fueron en promedio superiores a los registrados el mes anterior en sus principales núcleos, salvo en el distrito del Agustino. Asimismo, la concentración media de CSS para la Z.M. de Lima-Callao fue de 12,2 t/km².mes, mayor a la correspondiente media del mes anterior de 10,8 t/km².mes. El valor máximo registrado en octubre fue de 32,2 t/km².mes en el distrito de Pachacamac y el mínimo de 0,9 t/km².mes en Lince. En la **figura 2** se muestran los registros de las 37 estaciones para los meses de setiembre y octubre. Con respecto a los resultados obtenidos en octubre 2004, el núcleo de mayor contaminación fue identificado en el distrito de Villa María del Triunfo con un valor de 28,5 t/km².mes y 27,3 t/km².mes en El Cercado (lado este).

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

Concent t/km ² .mes	N° de estac.	%	Núcleos principales			
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur
setiembre	37	67,6	24,0 (Independ.)	26,6 (El Agustino)	22,0 (Pachacamac)	20,0 (V.M.T.)
octubre	37	67,6	28,6 (Comas)	24,1 (El Agustino)	32,2 (Pachacamac)	25,2 (V.M.T.)

En términos generales se mantienen los principales núcleos de acumulación de polvo atmosférico en la capital, y el número de las estaciones que superan el valor referencial; se observa además un incremento en la media, comportamiento propio del lento asentamiento de la estación primaveral que determina que los fenómenos de turbulencia del aire ligados a los procesos de suspensión y re-suspensión se manifiesten paulatinamente con tendencia al incremento.

La mayor o menor intensidad de los principales centros de contaminación varía tanto en función de los aportes in situ tales como del parque automotor desordenado y obsoleto que circula en avenidas principales; las emisiones fugitivas de pequeñas y medianas industrias formales e informales; comercio formal e informal; botaderos clandestinos de basura; fuentes de contaminación

Provincia	UPR	UDA	Frente Voz, Puntos de Encuentro
San Juan	10	10	10
San Pedro de Macoris	10	10	10
San Cristóbal	10	10	10
San José de Ocoa	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10
San Juan de los Rios	10	10	10

Elaboración de la autora de la UDA de Lima (2006)

En la **figura 3** se observa la distribución espacial de los contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao. 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 constituido 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, Carabayllo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Comas tiene un valor de $28,6 \text{ t/km}^2.\text{mes}$. El segundo centro abarca el cono centro-este (cuenca del río Rímac y microcuenca de San Juan de Lurigancho) y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Santa Anita, El Agustino, y el Cercado (lado este) con núcleo $24,1 \text{ t/km}^2.\text{mes}$ en El Agustino. El tercer centro ubicado en la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de $32,2 \text{ t/km}^2.\text{mes}$, superior a todos los centros; mientras que el cuarto centro en el cono sur (en la zona de intercuenca Rímac-Lurín) que comprende los distritos de Villa El Salvador y Villa María del Triunfo, tiene un núcleo de $25,2 \text{ t/km}^2.\text{mes}$ en este último.

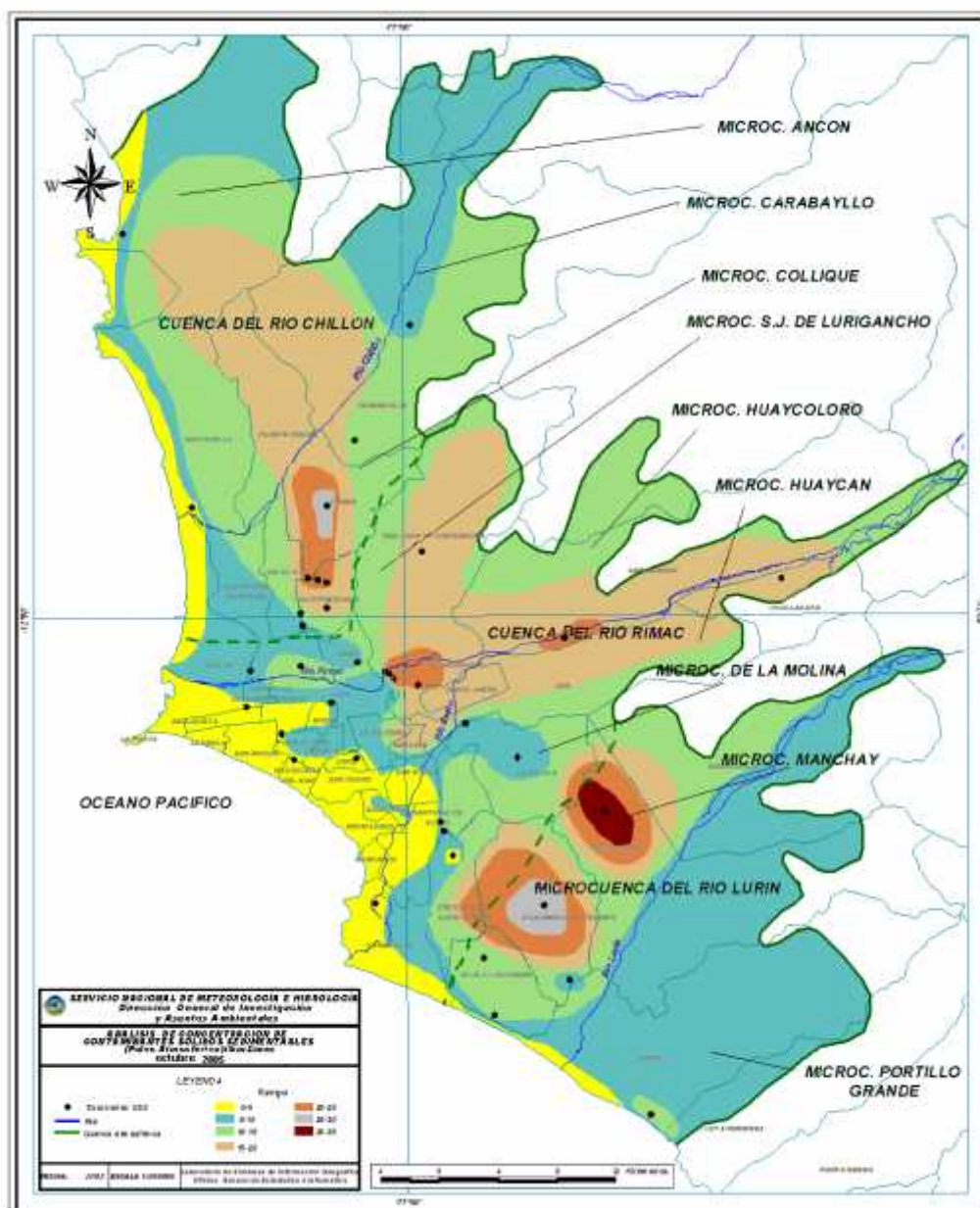


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico en el ámbito de la cuenca atmosférica de la z.m. de Lima-Callao durante el mes de Octubre del 2005

5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno (NOx): óxido nítrico y dióxido de nitrógeno durante el mes de octubre 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 98,6ppb y de NO₂ de 33,9 ppb, ocurridos el día 25 de octubre a las 20:00 horas y el día 6 a las 11:00 horas; y mínimos horarios de 8,4 y 0,4 ppb, el día 14 a las 04:00 horas y el día 13 a las 05:00 horas, respectivamente.

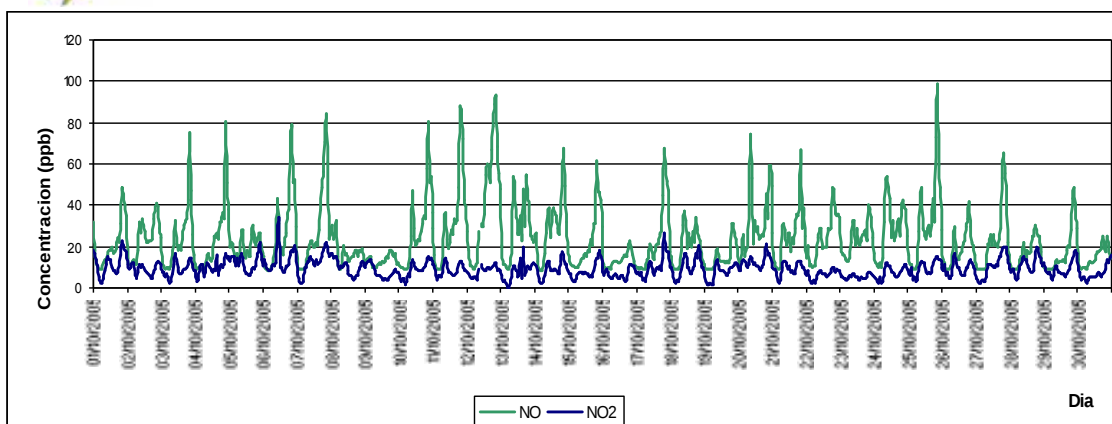


Fig.4a – Concentraciones horarias de NO y NO₂ registrados en la Estación de calidad del aire SENAMHI – octubre 2005

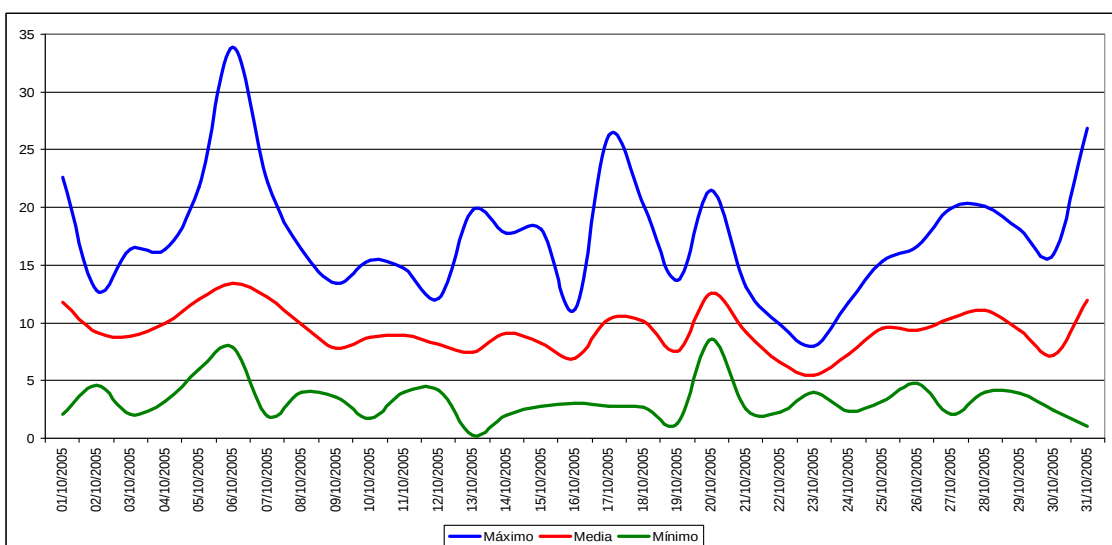


Fig.4b – Concentraciones máximas, medias y mínimas diarias de NO₂ registradas en la estación de calidad del aire SENAMHI – octubre 2005

El valor máximo diario de NO₂ alcanzado el día 6 fue de 33,9 ppb (ver **figura 4b**) equivalente al 32% 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 9,4 ppb, inferior en 1 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 14,8% de los datos (70 horas) sobrepasaron los 15 ppb mencionados durante las primeras horas de la mañana y hacia el anochecer, inferior en 3% al mes anterior

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

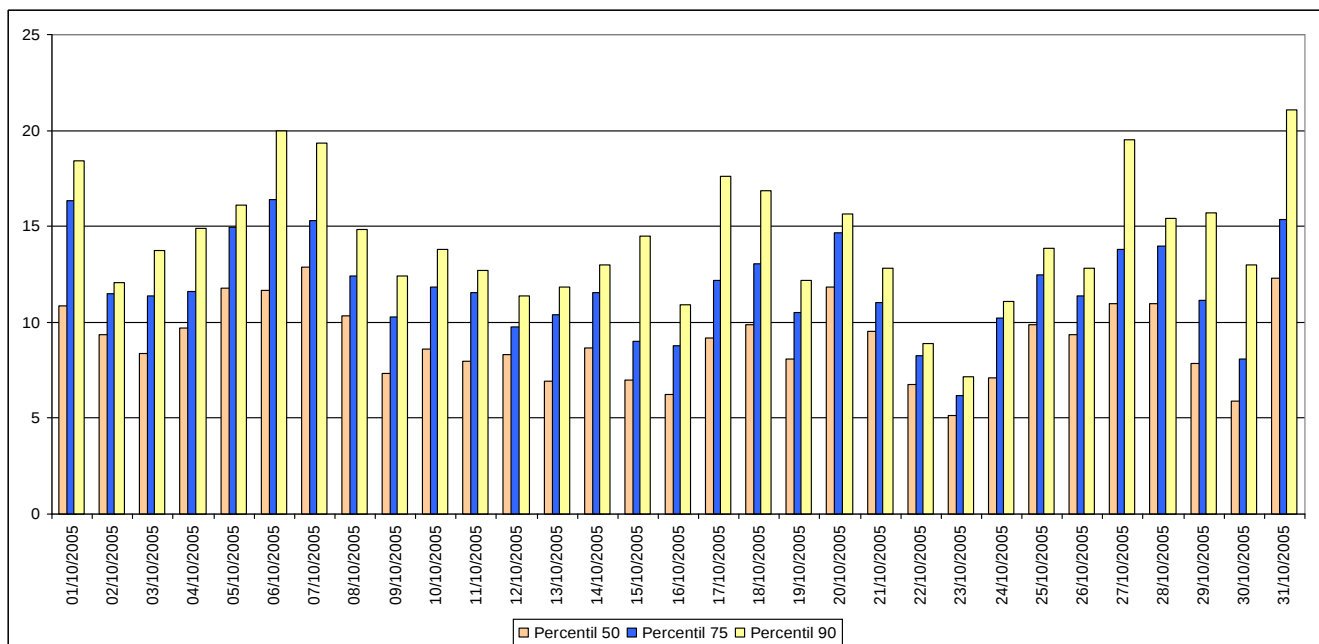


Fig.4c – Percentiles de NO_2 en la estación de calidad del aire SENAMHI – octubre 2005

De acuerdo a lo observado en la **figura 4c**, en promedio el 50% de los datos de NO_2 se encuentran por debajo de 9 ppb, el 75% por debajo de 12 ppb y el 90% por debajo de 14 ppb. Las máximas concentraciones para los percentiles de 50, 75 y 90 corresponden a 13, 16 y 21 ppb, respectivamente.

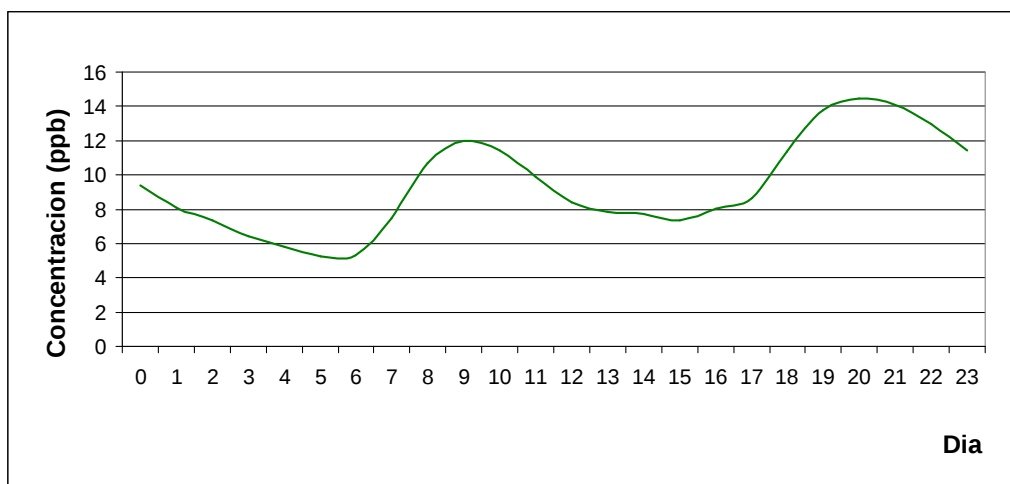


Fig.4d -. Concentración máxima media horaria de Dióxido de Nitrógeno Estación de calidad de aire SENAMHI - octubre 2005

La variación horaria de las concentraciones máximas medias horarias de NO_2 presentadas en la **figura 4d**, refiere un patrón definido caracterizado por dos picos horarios máximos de 12,0 ppb (09:00 horas) y 14,5 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.

5.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de octubre del 2005

Para el mes de octubre, el análisis de las condiciones meteorológicas horarias y diarias para la zona metropolitana Lima-Callao se ha basado en la información de 5 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 (Jesús María) a 21,3°C (Comas) y la mínima osciló entre 13,2°C (Jesús María) a 16°C (Callao); la temperatura media del mes fue de 16,5°C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 82 % (Callao y Surco) a 100% en Chorrillos; mientras que la mínima osciló entre 60 % en Comas a 92% en Chorrillos (ver **figuras 5 y 6**); la humedad relativa media fue de 83,7%. Durante este mes, han prevalecido condiciones de humedad atmosférica alta en horas de la mañana que en promedio no alcanzaron la saturación y a la vez días con brillo solar hacia horas de la tarde.
- Con respecto al análisis horario de la información, los valores mínimos de la temperatura del aire se registraron de manera predominante entre las 4:00 y 5:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 14:00 y 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 11 de octubre con una media de 20,1°C y el día más frío el 3 con un valor medio de 13,1°C. Con respecto a la humedad relativa, el 31 correspondió al día más seco con 69% y en promedio no se alcanzó la saturación (94,8%). En términos medios, considerando las estaciones del Callao, Jesús María y Chorrillos, la temperatura del aire ha presentado un ligero incremento de 0,6°C y la humedad de 5%, respecto al mes anterior, con valores de 16,6 y 82,8%.

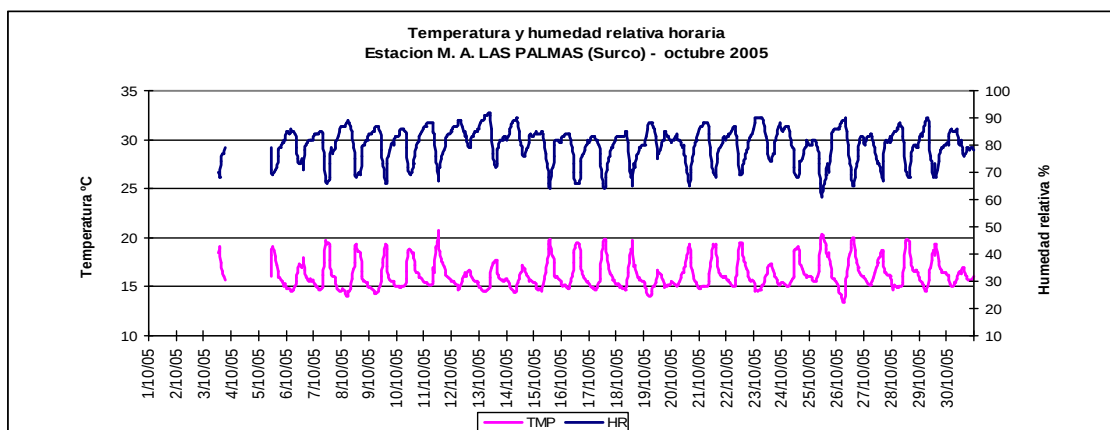
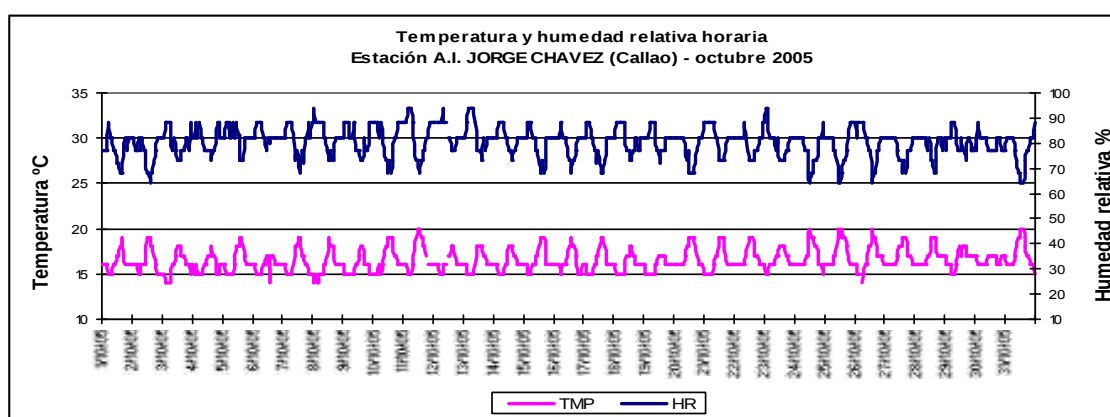
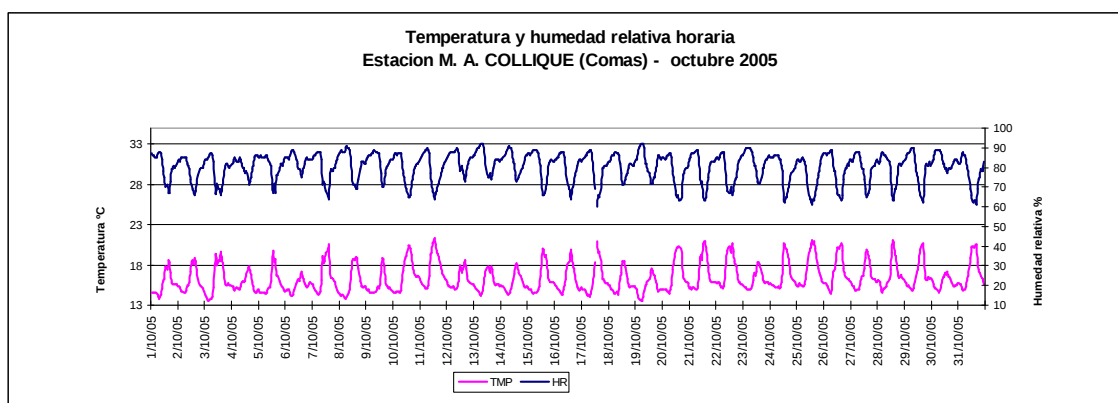


Fig.5.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de octubre del 2005 en Comas, el Callao y Surco

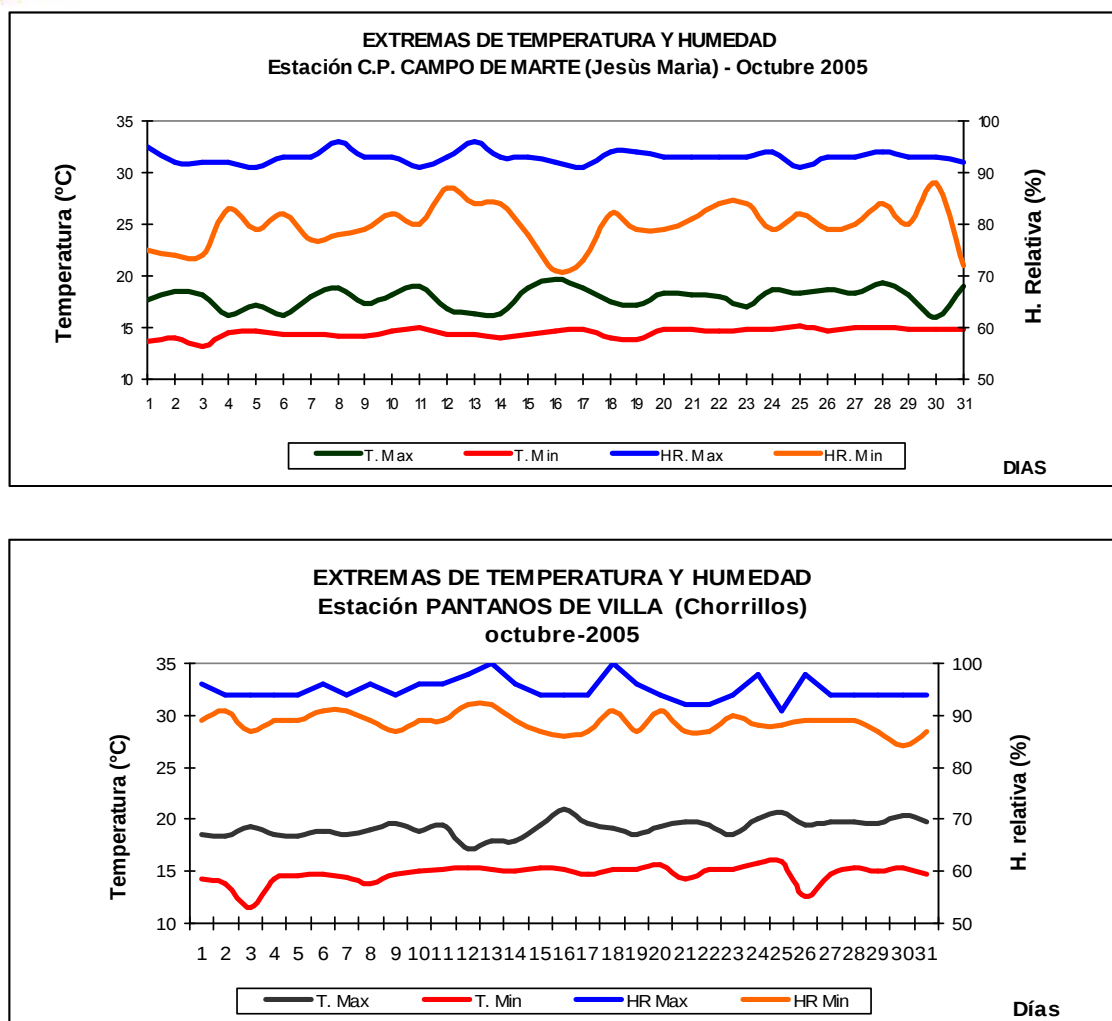


Fig.6.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de octubre del 2005 en Jesús María y Chorrillos

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

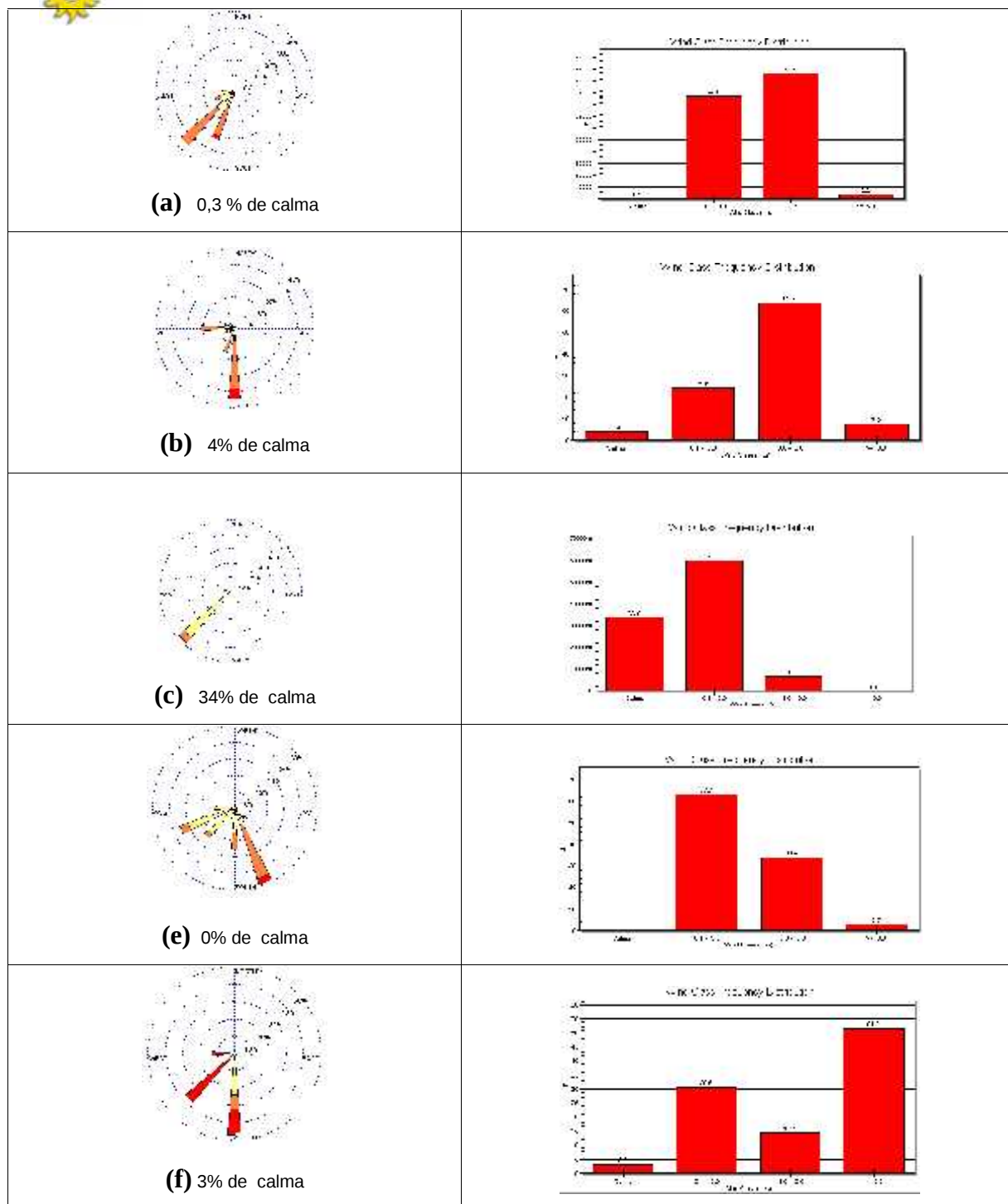
- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), se presentaron vientos con intensidad media débil (entre 1,1 y 3 m/s) en Jesús María y Surco de direcciones SW (58%) y SSE y WSW (29 y 21%), respectivamente. Intensidades moderadas se registraron hacia el norte (Comas), Callao y sur de la ciudad (Chorrillos) con direcciones SW y WSW (41 y 12%), S y W (40 y 19%) y S y SW (47 y 37%), respectivamente.

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, hacia el cono norte de la ciudad (Comas) predominaron vientos moderados; hacia el litoral costero (norte-Callao), se reportaron vientos mayormente débiles y moderados;

hacia el centro de la ciudad, 34% de ocurrencia de calmas y vientos débiles; y hacia el sur, vientos entre débiles a fuertes.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se reportaron vientos de intensidad débil en la mayor parte de las estaciones observadas, de forma similar al mes anterior; así, hacia Comas, el Callao, Jesús María y Surco, predominaron direcciones SSW y SW (37 y 34%), S y SSW (56 y 12%), SW (77%) y del SSE y SE (36 y 22%), respectivamente. En Chorrillos, se observaron vientos de fuerte intensidad con dirección SW.

La distribución de frecuencias de intensidades de viento son asimismo mostradas en la **figura 8**. Con excepción del distrito de Chorrillos al sur de la ciudad, en todas las estaciones predominaron vientos de intensidad media débil.



WIND SPEED
(m/s)

Red	>= 6.0
Light Red	3.0 - 6.0
Yellow	0.1 - 3.0

Calm: 0.0%

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

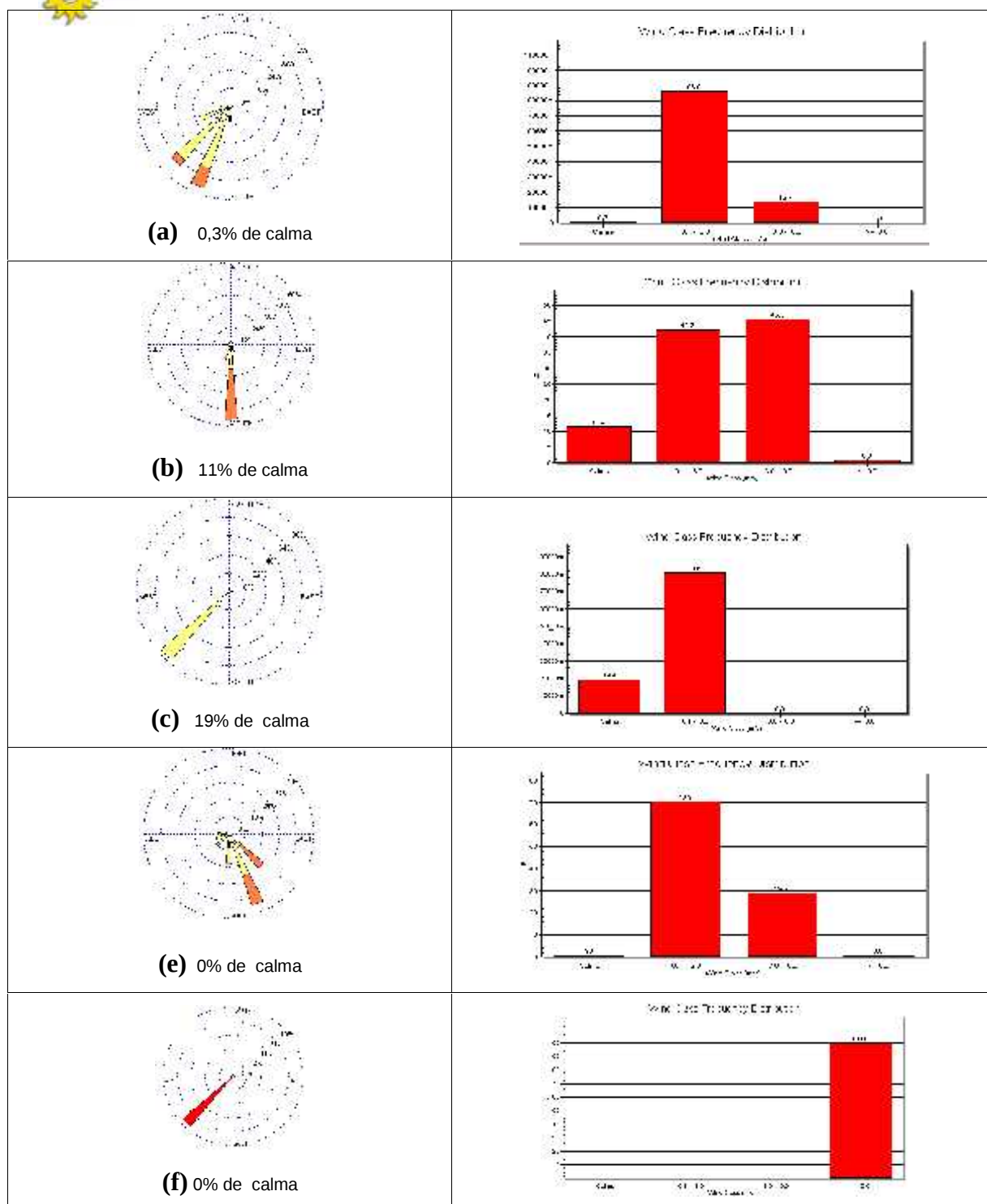


Fig. 8. Rosa de viento nocturnas de las estaciones de a) Comas b) Callao c) J. María d) Surco e) Chorrillos. Octubre 2005

WIND SPEED
(m/s)

- ≥ 6.0
- $3.0 - 6.0$
- $0.1 - 3.0$

Calm: 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 octubre del 2005

Durante el mes de octubre, 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 franco debilitamiento con respecto al mes anterior, indicativo de una plena manifestación de las condiciones primaverales. Si bien ha ocurrido escaso brillo solar, éste ha sido de mayor 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 noviembre.

6. Conclusiones

- ✓ Para el presente mes, las condiciones meteorológicas imperantes, conjuntamente con los aportes antropogénicos ya descritos, configuraron 4 centros importantes de alta contaminación: El primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con 28,6 t/km².mes; el segundo en el cono centro-este con un valor de 24,1 t/km².mes; el tercero en la zona sur-este (Pachacamac) con 32,2 t/km².mes; y el cuarto en el cono sur con una concentración de 25,2 t/km².mes en Villa María del Triunfo.
- ✓ De la información de las 37 estaciones recopiladas para este mes, el 67,6% de ellas sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las 37 estaciones fue de 12,2 t/km².mes. Así mismo, el valor máximo para octubre fue de 32,2 t/km².mes en Pachacamac y el mínimo de 0,9 t/km².mes en Lince.
- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo horario del dióxido de nitrógeno (NO₂) equivalió al 32% 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 (900 y 20:00 horas).
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias de las estaciones observadas para el presente mes fueron de 16,5°C y 83,7 %. Así mismo, el día más cálido fue el 11 con una media de 20,1°C; y el día más frío el 3 con un valor medio de 13,1°C. Con respecto a la humedad relativa, el 31 fue el día más seco (69%) y no se alcanzó la saturación (94,8% registrado el día 13).
- ✓ 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 WSW (58 y 21%), respectivamente; intensidades moderadas en Comas, el Callao y Chorrillos de direcciones SW, S y S (41, 40 y 47%), respectivamente.

Durante la noche, se reportaron vientos de intensidad media débil en las estaciones observadas con direcciones SSW, S, SW W y SSE (37, 56, 77, 34 y 36%), respectivamente; y en el sur (Chorrillos) de fuerte intensidad.

- ✓ Con respecto al análisis de la información meteorológica de altura, si bien no hubieron sondeos meteorológicos durante el mes de octubre, sin embargo, los registros meteorológicos de superficie permiten afirmar que el comportamiento de la inversión térmica de subsidencia en franco debilitamiento propio del asentamiento de las condiciones primaverales y el consiguiente incremento de las condiciones de turbulencia atmosférica, se refleja en el incremento de la media de las concentraciones del polvo atmosférico en el presente mes con posibilidades de incrementarse hacia noviembre.