

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/MAYO-2007

Por: *Ing. José Silva Cotrina*
Ing. Zarela Montoya Cabrera
SO1 FAP Rigoberto Durán Montes

INDICE GENERAL

RESUMEN

1.	Calidad del aire en la Zona Metropolitana de Lima-Callao.	3
2.	Metodología.	7
3.	Resultados del monitoreo ambiental.	9
4.	Conclusiones.	24

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1-	Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable en la Zona Metropolitana de Lima-Callao.	9
Fig. 2-	Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable registrados en abril y mayo 2007 en Lima-Callao.	10
Fig. 3-	Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico Sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de mayo del 2007.	12
Fig. 4-	Concentración horaria de óxidos de nitrógeno. Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Mayo 2007	13
Fig. 5-	Concentración media horaria de óxidos de nitrógeno. Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Mayo 2007	14
Fig. 6-	Concentraciones de dióxido de nitrógeno en el aire durante los días de la semana en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Mayo 2007	15
Fig. 7-	Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez - Mayo 2007.	19
Fig.8a-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de mayo del 2007 en Ancón y Comas.	19
Fig.8b-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de mayo del 2007 en El Callao, El Cercado y La Molina.	20
Fig.8c-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de mayo del 2007 en Santiago de Surco.	21
Fig.9-	Comportamiento de las temperaturas medias diarias en estaciones de Lima - Mayo 2007	21

Fig.10- Comportamiento de las humedades relativas medias diarias en estaciones de Lima – Mayo 2007	21
Fig.11a-Rosas de viento en las estaciones de Ancón, Comas y El Callao Mayo 2007.	22
Fig.11b-Rosas de viento en las estaciones de La Molina, y Surco Mayo 2007.	23

NDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.	4
Cuadro N ° 2. Valores de tránsito.	4
Cuadro N ° 3. Valores referenciales.	5
Cuadro N ° 4. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: mayo y junio 2007.	11
Cuadro N ° 5. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO ₂) – Mayo 2007	14

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/MAYO-2007

RESUMEN

El boletín del mes de mayo muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico sedimentable (PAS) y del contaminante gaseoso óxidos de nitrógeno en la zona metropolitana de Lima-Callao, en relación a las condiciones meteorológicas registradas en la red automática. Así, el 71 % de las estaciones de muestreo superaron el valor referencial permisible de la OMS, con una concentración media de PAS para la z.m. de Lima-Callao de 11 t/km².mes. En cuanto a los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), éstos presentaron sus mayores valores en horas asociadas principalmente a mayor movimiento vehicular (168,1 y 60,9 ppb); 60,9 ppb representa el 58 % de ECA Nacional para una hora. La evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, permitió observar, una gradual intensificación del anticiclón del Pacífico sur con valores de la presión atmosférica oscilando alrededor de sus normales; gradual intensificación de la inversión térmica que en interacción con el afloramiento activo generó incremento de nubosidad baja de tipo estratiforme; descenso de la temperatura media del aire; vientos locales de intensidades débiles a moderadas y calmas; condiciones éstas que, propiciaron que las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueran solamente ligeramente inferiores a las registradas en el mes anterior, y con perspectivas a continuar la misma tendencia de ligero descenso en el próximo mes de junio pero siempre muy por encima de los niveles permisibles de 5 t/km².mes.

1. Calidad del aire en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

De acuerdo a lo citado por Silva *et al* (2004)¹, la calidad del aire puede definirse como las concentraciones de contaminantes que permiten caracterizar el aire de una región con respecto a concentraciones patrón, señaladas con el fin de preservar la salud y bienestar de las personas. Otras definiciones refieren que es el estado de la atmósfera con respecto a la presencia de contaminantes potenciales.

Una adecuada calidad del aire sólo podrá ser alcanzada a través de la aplicación de instrumentos de gestión ambiental comprendidos en la Ley general del Ambiente N ° 28611, entre los que se disponen sistemas de gestión ambiental nacionales, sectoriales, regionales o locales; el ordenamiento territorial ambiental; la evaluación de impacto ambiental; la fiscalización de los estándares nacionales de calidad ambiental del aire; los sistemas de información ambiental; entre otros.

Para proteger la salud, el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM², establece los

¹ Silva J.; Concepción, E.; Montoya, Z.2004. Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima-Callao. Boletín Meteorológico e Hidrológico del SENAMHI. Cap. IV. Ambiente. Lima, Perú.

² CONAM. 2001. Reglamento Nacional de Estándares de la Calidad Ambiental del Aire. Lima, Perú.

estándares de calidad ambiental del aire y los lineamientos para alcanzarlos. Así mismo, dentro de los principios que considera la presente norma se encuentran que,

- La protección de la calidad del aire es obligación de todos,
- Las medidas de mejoramiento de la calidad del aire se basan en análisis costo-beneficio.
- La información y educación a la población respecto de las prácticas que mejoran o deterioran la calidad del aire serán constantes, confiables y oportunas.

En su Artículo 4 establece los estándares primarios de calidad del aire y los niveles de concentración máxima para los siguientes contaminantes criterio (ver **cuadros n ° 1, 2 y 3**):

Cuadro N ° 1. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis ¹
		Valor	Formato	
Dióxido de azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo IRND (método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	
Dióxido de nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (método automático)
Plomo	Anual ²	0.5	Promedio aritmético mensual	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de hidrógeno	24 horas			Fluorescencia UV (método automático)

¹ O método equivalente aprobado ² Determinado en el D.S. N° 069-2003-PCM

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001

Cuadro N ° 2. Valores de tránsito

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis ¹
		Valor	Formato	
Dióxido de azufre	Anual	100	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
PM-10	Anual	80	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	200	NE más de 3 veces/año	
Dióxido de nitrógeno	1 hora	250	NE más de 24 veces/año	Quimiluminiscencia (método automático)
Ozono	8 horas	160	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (método automático)
Plomo	anual	1.0	Promedio aritmético mensual	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)

¹ O método equivalente aprobado

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001

Cuadro N ° 3. Valores referenciales

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis ¹
		Valor	Formato	
PM-2.5	Anual	15		Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	65		

¹ O método equivalente aprobado

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001

Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico, NE significa no exceder. El método de análisis puede también ser un método equivalente aprobado.

La actividad antropogénica conjugada con los factores naturales climáticos de permanente aridez de la costa peruana donde se ubica geográficamente la capital, han ocasionado que la calidad del aire, se haya convertido en uno de los mayores riesgos para la salud de la población de la Zona Metropolitana de Lima y Callao³. Así, la primera de las 10 causas de atención hospitalaria en Lima-Callao, corresponde a las infecciones respiratorias agudas. Se ha establecido que la contaminación por partículas aún en mínimas concentraciones causa a corto y largo plazo, disminución de la función pulmonar, lo que ocasiona la presencia de enfermedades crónicas respiratorias y la muerte prematura⁴.

Es importante conocer que dependiendo de su tamaño, las partículas pueden sedimentar o flotar. Los contaminantes sólidos sedimentables, polvo atmosférico o deposición ácida seca incluyen al grupo de partículas de hasta un diámetro de aproximadamente 100u, considerando que el polvo de mayor tamaño tiende a sedimentar rápidamente; de este grupo, las partículas más finas, son las más peligrosas ya que tienen una mayor penetración en el sistema respiratorio. Abundantes trabajos de investigación demuestran la relación directa entre el polvo atmosférico y partículas respirables con enfermedades respiratorias, digestivas, dermatológicas, reumáticas, nerviosas y oculares⁵.

La evaluación de las concentraciones en el aire de uno u otro contaminante es denominado monitoreo atmosférico, para el cual de acuerdo a Martínez *et al* (1997)⁶, significa disponer de una red de monitoreo óptima implica con un número mínimo de estaciones con localizaciones precisas, las mismas que deben permitir obtener un adecuado análisis de la distribución de la contaminación.

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

³ Silva J. 2000 Factores meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación del aire en la ciudad de Lima. Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima. Vol.N°113:2000. Lima, Perú.

⁴ 10González, A. ; Vega, F.; Abarca, S. 2000. Programa para mejorar la Calidad del Aire. Tijuana Rosarito. 2000-2005. México D.F.

⁵ Vizcarra Andreu, M. 1992. Tecnósfera. La Atmósfera contaminada y sus relaciones con el público. 246pp. Lima, Perú.

⁶ Martínez, A. Romieu, I. 1997. Introducción al Monitoreo atmosférico. 217pp. México D.F., México.

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:

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

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

Cuenca del río Lurín

La cuenca del río Lurín abarca los distritos de Cieneguilla, Pachacamac, V. María del Triunfo, Villa El Salvador, Lurín, noroeste de Punta Hermosa, considerando las microcuencas de:

Microcuenca de Manchay: distrito de Pachacamac
Microcuenca de Portillo Grande: distrito de Lurín
Microcuenca por identificar: distrito de Pachacamac

El clima de la cuenca atmosférica de Lima- Callao, como consecuencia de la interacción de tres factores climáticos semipermanentes: a) el Anticiclón del océano Pacífico suroriental, b) la cordillera de los Andes y c) la corriente de Humboldt (fría), es de permanente aridez debido de lo siguiente:

- Establecimiento de un fenómeno de inversión térmica durante todo el año en los niveles bajos de la tropósfera de la costa peruana, por lo general con menor altitud, espesor e intensidad durante los meses de verano (la base a 255 msnm. y el tope a 596 msnm. y muy débil intensidad), evoluciona hasta alcanzar su mayor altitud, espesor e intensidad al final del invierno (con base a 675 msnm. y tope a 1490 msnm. e intensidad de 5°C).
- Temperatura anual multianual, durante el verano, en las zonas cercanas a la costa, oscila entre 20,2 a 25,8°C y entre 19,8 a 28,2°C en los distritos del este. En el invierno varía entre los 15,5 a 18,3°C en las zonas cercanas a la costa y entre 13,1 a 18,6°C en los distritos del este.
- Precipitación media mensual multianual que varía desde 10 mm/año cerca de la línea costera a 40 mm/año en los distritos del este.
- La velocidad del viento superficial varía entre 3 y 5 m/s con 4 a 8% de calmas, de direcciones S, SSW y SSE en la zona costera; en la parte central el viento varía entre 2 y 4 m/s, de direcciones SSW y WSW, con calmas entre 21 a 42%; y en el lado oriental el viento varía entre 3 y 5 m/s, de direcciones W, SSW y WSW con calmas en porcentaje de 20 y 40%.
- En la estación de verano los días tienen más de 50% de horas de sol; y en el periodo promedio desde inicios de otoño hasta finales de primavera, menos de 20%, debido a la nubosidad estratiforme que se debilita solamente durante la estación de verano.

2. Metodología

2.1 Del monitoreo de los contaminantes sólidos sedimentables

La información empleada para el análisis corresponde a la obtenida de la red de muestreo de polvo atmosférico compuesta por 38 estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana de Lima-Callao (**figura 1**). 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, mantenimiento, paralización, 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 horaria, diaria y mensual de los gases contaminantes del aire (óxidos de nitrógeno) 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 analizador automático óxidos de nitrógeno API200E en la estación de calidad del aire SENAMHI. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232, Ethernet (NO_x) y software API COM. 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 De la Información Meteorológica

Para la evaluación de las condiciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima-Callao en el presente informe se ha utilizado la información proveniente de los siguientes lugares de observación: estación automática Ancón (Ancón), automática Collique (Comas), automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), automática Cercado II (El Cercado / lado este), automática Lima Este (La Molina), y 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.

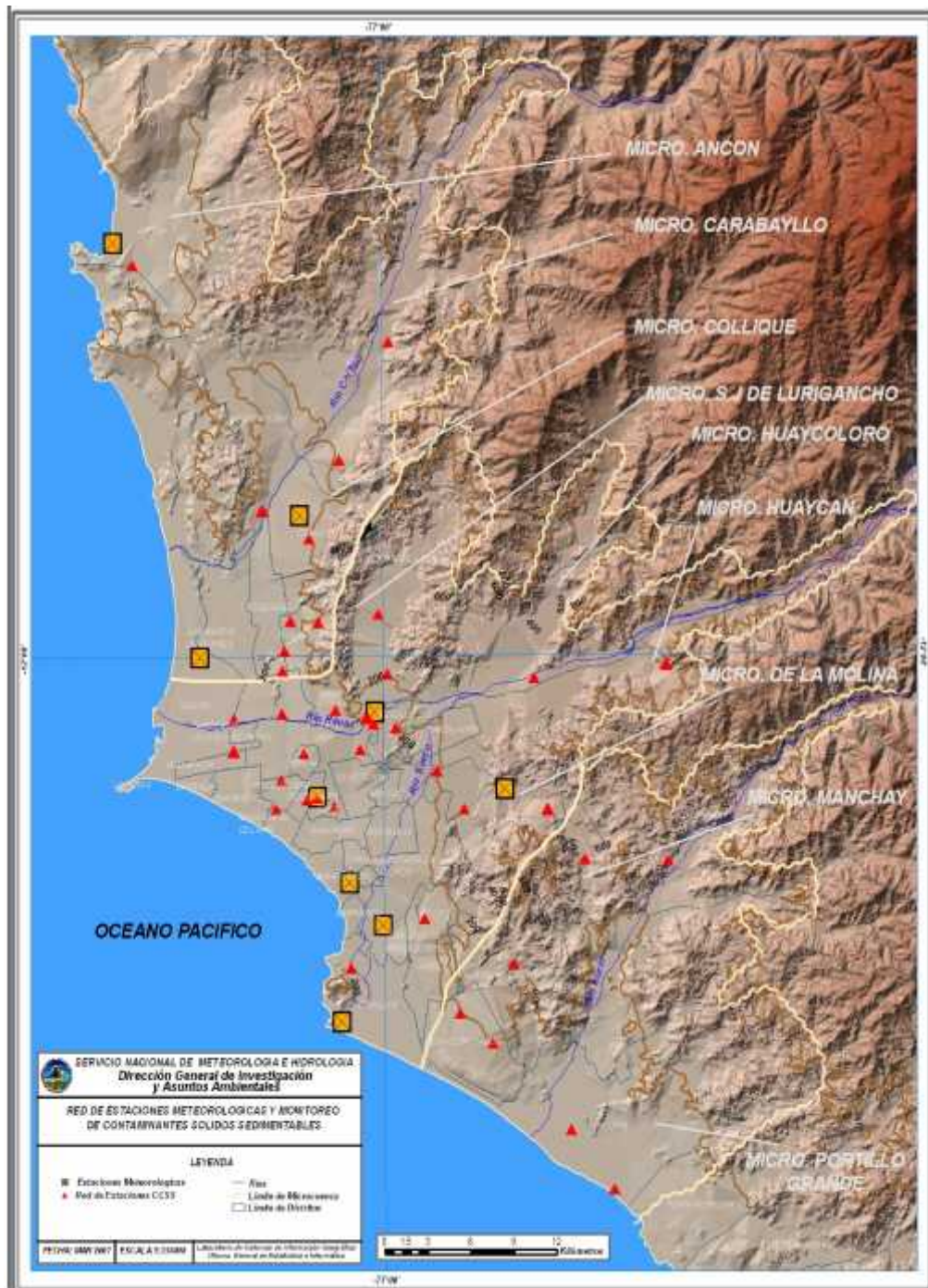


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la zona metropolitana de Lima-Callao

3. Resultados del monitoreo ambiental

3.1 Del Polvo Atmosférico Sedimentable

La evaluación del polvo atmosférico sedimentable se realiza en el ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao. La red de 38 estaciones de muestreo es presentada en la **figura 1**.

Durante el mes de mayo 2007, el 71 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km².mes, con una media de 11,0 t/km².mes, muy ligeramente inferior a la del mes anterior.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 4**, los niveles de contaminación en los principales núcleos durante el mes de mayo fueron en promedio inferiores a los registrados el mes de abril. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Puente Piedra con 28,2 t/km².mes, y el mínimo de 3,2 t/km².mes en Magdalena. La dirección predominante de los vientos de SSW y S de intensidad predominantemente débil, en interacción con la rugosidad natural y artificial impuesta por las edificaciones, determinaron niveles muy ligeramente inferiores a los registrados el mes anterior, pero siempre muy por encima del nivel permisible.

Cuadro N°4. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: abril y mayo 2007 (t/km².mes)

Conc t/km ² .mes	N° est.	% de estaciones Sobrepasan nivel ref.	Núcleos principales (puntuales y promedios)				X t/km ² .mes	Máx t/km ² .mes	Mín t/km ² .mes
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur			
<i>Abril 2007</i>	38	76	32,9 (Pte. Piedra)	23,3 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	25,1 (Pachacamac)	25,1 (V.M.T.; Lurín)	11,3	32,9 (P. Piedra)	3,0 (Callao)
<i>Mayo 2007</i>	38	71	28,2 (Pte. Piedra)	22,9 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	25,4 (Pachacamac)	22,9 (V.M.T.; Lurín)	11,0	32,9 (P. Piedra)	3,2 (Magdalena)

En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de abril y mayo 2007.

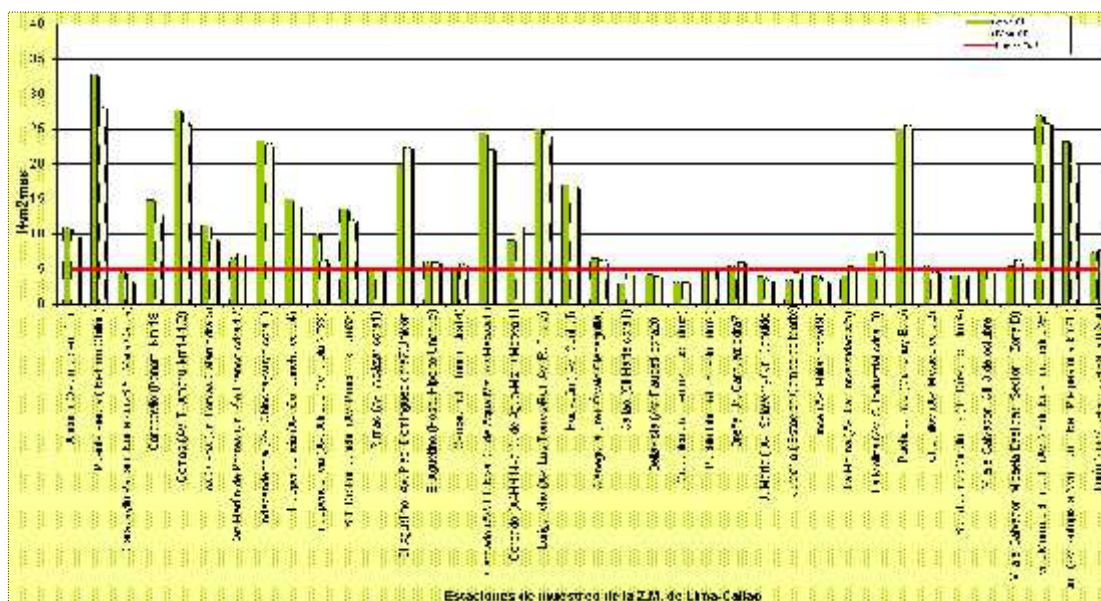


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en abril y mayo 2007 en Lima-Callao

La configuración urbana local, el incremento tanto del tráfico vehicular y de una red vial con deficiente mantenimiento, así como de las actividades industriales, comerciales y de servicios sin una política nacional de ordenamiento territorial, en interacción con las condiciones meteorológicas que se presentaron durante mayo, facilitaron la configuración de persistentes zonas críticas de alta contaminación en Lima-Callao, mostrando en el presente mes, una media inferior a la del mes anterior, aunque con valores elevados en los núcleos. De acuerdo a lo descrito, en la **figura 3**, para mayo, las 4 principales zonas críticas son: hacia Lima norte (cuenca del río Chillón) se observa el primer centro, extendiéndose hacia la jurisdicción de los distritos de Independencia, Comas, Carabaylo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Puente Piedra tiene un valor de 28,2 t/km².mes. El segundo centro abarca Lima centro-este (cuenca del río Rímac y microcuencas de San Juan de Lurigancho y Huaycán, y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Sta. Anita, el Agustino, y el Cercado (lado este), con núcleos fraccionados en: El Agustino, El Cercado y Lurigancho equivalentes a 22,4; 22,1; y 24,2 t/km².mes, respectivamente. El tercer centro ubicado en Lima sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de 25,4 t/km².mes; mientras que el cuarto centro en Lima sur que comprende los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y Lurín, se presenta también fraccionado en Villa María del Triunfo y Lurín con valores de 25,7 y 20,1 t/km².mes, respectivamente. Los distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales, comprendidos dentro de la estrecha franja amarilla, se mantuvieron por debajo del límite (5 t/km².mes), favorecidos por la influencia de las brisas marinas y políticas de gestión municipal saludables.



Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de mayo 2007

3.2 Del monitoreo de contaminantes gaseosos: Óxidos de Nitrógeno

El término genérico para denominar al óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) es el de óxidos de nitrógeno (NO_x). Los óxidos de nitrógeno son los compuestos cuya dinámica juega un papel muy importante en la química de los contaminantes atmosféricos, con concentraciones que se incrementan significativamente en la atmósfera como resultado de los aportes de la actividad humana y que además sirven como precursores de una gran variedad de reacciones atmosféricas debido a su rápida interconvertibilidad química⁷.

7 Godish, Thad. 1997. Air Quality. Third Edition. Lewis Publisher. New York. USA.

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 4**, muestra un registro máximo horario de NO de 168,1 ppb y de NO₂ de 60,9 ppb, ocurridos el 24 de mayo a las 20:00 horas y el día 31 de mayo a las 08:00 horas; y mínimos horarios de 0,1 y 3 ppb ocurridos en horas de la madrugada. El valor medio del mes de dióxido de nitrógeno (NO₂) fue de 18,3 ppb.

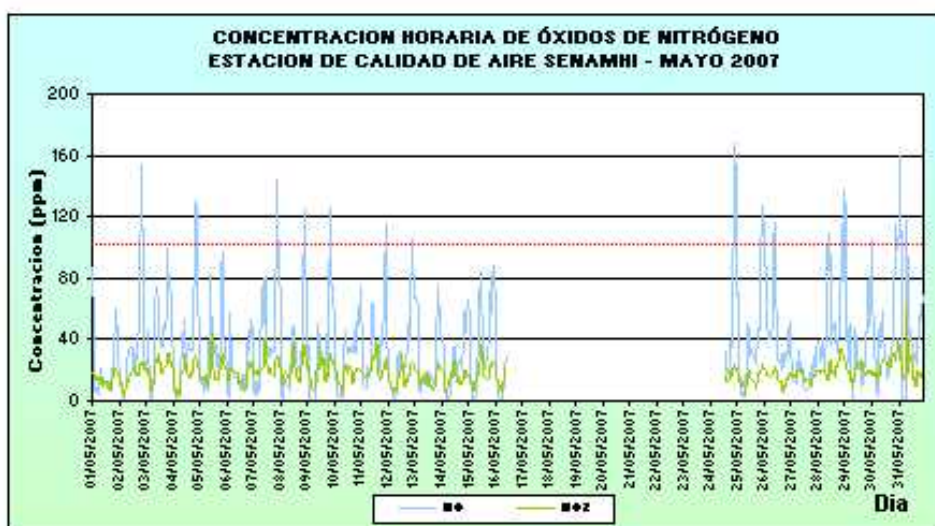


Figura 4.

El máximo valor horario registrado en el período de estudio del NO₂ (60,9 ppb) corresponde al 58 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora, equivalente a 104,6 ppb (200 ug/m³). Sin embargo, no sobrepasar un valor estándar, no garantiza que la calidad del aire de los alrededores sea buena si se analiza el ámbito de estudio; 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; de esta manera, 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 mayo, el 69,6 % de los datos (550 horas) sobrepasaron los 15 ppb mencionados.

La variación temporal de las concentraciones máximas medias horarias de NO₂ presentadas en la **figura 5**, refiere un patrón claramente definido caracterizado por dos picos horarios máximos de 23,1 ppb (10:00 am) y 23,7 ppb (21:00 horas), coincidiendo de esta manera mes a mes con las horas de mayor actividad vehicular. Este contaminante se forma a partir de las concentraciones de NO, que está estrechamente ligado al parque automotor, es decir en un proceso de interconversión química. A su vez, las altas concentraciones al atardecer puede estar relacionado con la disminución de la capa de mezcla que tiene lugar por las noches así

mismo, este comportamiento es inverso al del contaminante gaseoso ozono troposférico, que se presenta en las capas bajas de la atmósfera y que es resultado de las reacciones de los óxidos de nitrógeno conjuntamente con los hidrocarburos en presencia de radiación solar con máximos alrededor del mediodía.

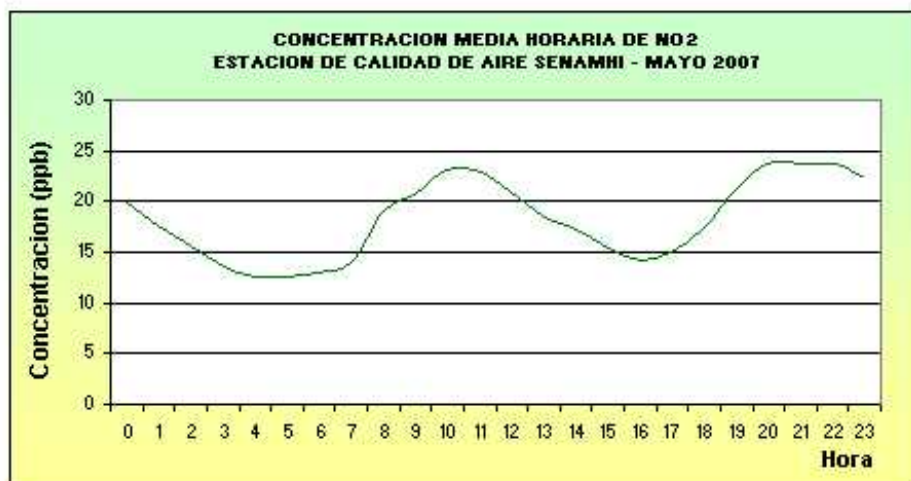


Figura 5.

En el **Cuadro N° 5** se observa el comportamiento de las concentraciones de NO₂ durante los días de la semana. Los mayores valores se presentaron durante los días laborales, con máximos el día lunes (41 ppb) y jueves (60,9 ppb). El día domingo se registró en promedio menores concentraciones (16 ppb).

Cuadro N° 5. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) – Mayo 2007

Semana	máximo	día	hora	minimo	día	hora	promedio
Lunes	41.0	07-May	09:00 a.m.	4.3	14-May	03:00 a.m.	20.1
Martes	37.4	08-May	10:00 a.m.	6.4	15-May	03:00 a.m.	18.3
Miércoles	36.1	09-May	10:00 a.m.	4.4	02-May	05:00 a.m.	20
Jueves	60.9	31-May	10:00 a.m.	3.5	10-May	05:00 a.m.	19.1
Viernes	38.1	11-May	12:00 m	3.8	25-May	06:00 a.m.	18.2
Sábado	30.6	12-May	11:00 a.m.	6	12-May	04:00 a.m.	16.8
Domingo	25.6	12-May	08:00 p.m.	7.5	13-May	03:00 p.m.	16

Asimismo, en la **figura 6** se resume el comportamiento horario del dióxido de nitrógeno para cada una de los días de la semana. Obsérvese los dos picos hacia las 8:00 am y 10:00 horas de la mañana y entre las 19 a 20 horas de la noche; para el día domingo, no laborable, las concentraciones son considerablemente menores a las registradas durante los otros días de la semana.

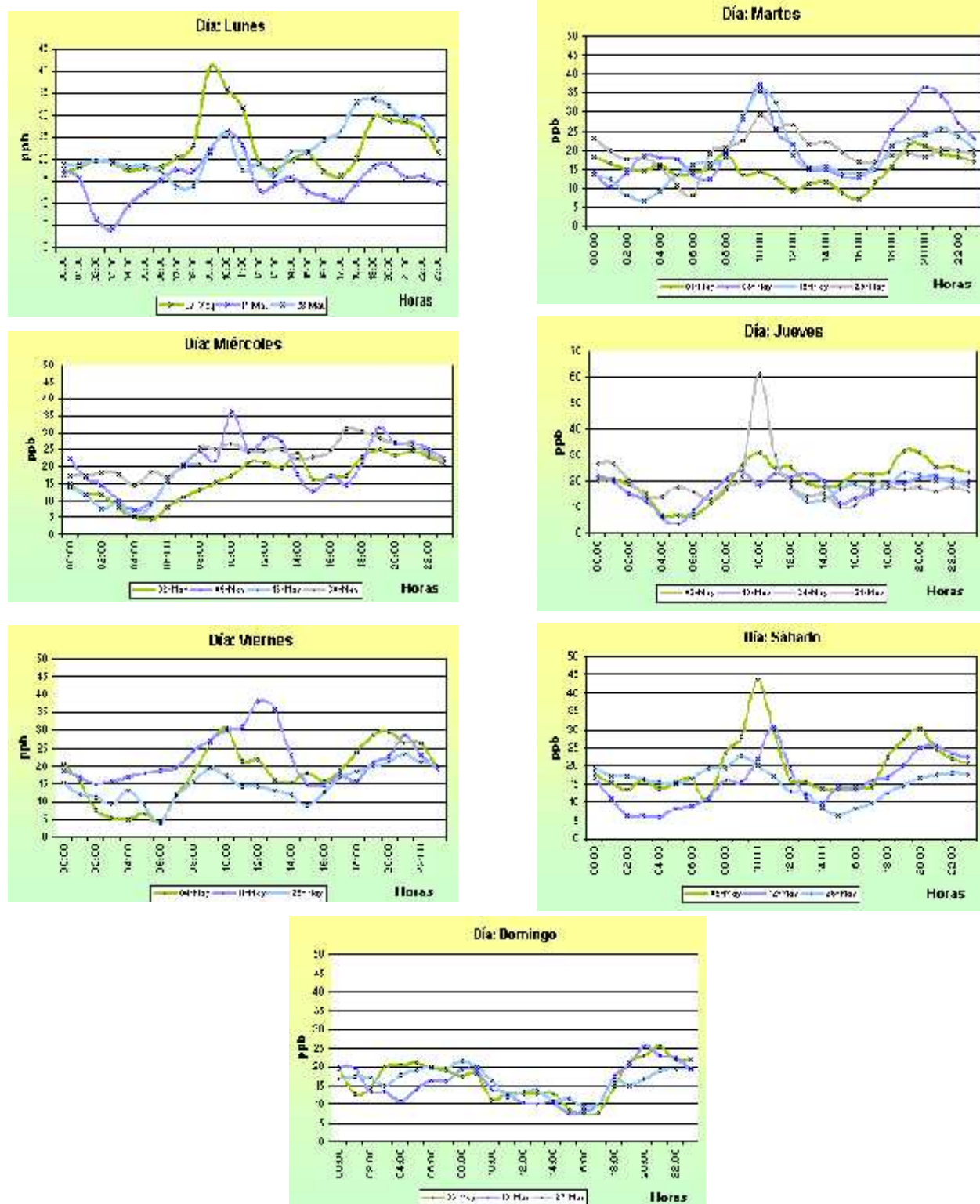


Figura 6. Concentraciones de dióxido de nitrógeno durante los días de la semana – Mayo 2007

3.3 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la zona metropolitana de Lima-Callao durante el mes de mayo 2007, se ha realizado en base a información derivada disponible sobre la evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central, y de la información recopilada de la red de estaciones automáticas descrita en el acápite **2.3**. A continuación se presentan las variables analizadas durante el período de muestreo del polvo atmosférico sedimentable.

a. De la Nubosidad

De acuerdo a lo presentado en la **figura 7**, el mes de mayo 2007 se inicia con días despejados y durante la segunda parte de la primera década predomina la nubosidad media (3000 y 5500 m.s.n.m). Después del día 11 si bien la nubosidad media se disipa como indicativo del final del periodo lluvioso; sin embargo, la nubosidad baja de tipo estratiforme se incrementa mostrando la influencia del fenómeno de subsidencia y por lo tanto la configuración y gradual intensificación del fenómeno de inversión térmica con su base aproximadamente en los 600 m.s.n.m., dando como resultado, días con nublado parcial, nubes dispersas a despejado en los distritos del este; cubierto hasta antes del mediodía a nublado parcial en las tardes en los distritos de la franja central norte-sur de la ciudad; y cubierto con fina garúa en horas de la mañana y al atardecer, y nublado al medio día en los distritos costeros.

b. De la 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 16,7 °C en Surco a 25,1 °C en El Cercado y la mínima fluctuó entre 12,7 °C en La Molina a 18,1 °C en Ancón; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 17,7 °C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 78 % en El Cercado a 100 % en La Molina; y la mínima osciló entre 54 % en El Cercado a 90 % en Ancón (ver **figuras 8 a, b y c**); la humedad relativa media fue de 83 %. Las temperaturas máximas se presentaron principalmente durante la primera década del mes de mayo; las menores temperaturas se registraron en la quincena con temperaturas cercanas a los 15 ° C a menos, con una sensación térmica de frío prevaleciente durante la mayor parte día y con días con escaso brillo solar en 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 6:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 12:00 y 15:00 horas. Con respecto a las humedades relativas, la máxima se registró en forma muy variable pero predominantemente en los rangos de 4:00 a 6:00 am; similar comportamiento se presentó en las mínimas con registros entre las 12:00 m. y 17:00 pm.

- El análisis medio de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas: automática Ancón, automática Collique, automática sinóptica y de radiosondaje A.I. Jorge Chávez, automática El Cercado II, automática Lima Este, y automática Las Palmas, señala los días 2,3 y 4 de mayo como los más cálidos con una máxima media de 19,3 ° C y el día 30 como el más frío con un valor de 15,7° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 10 con la mínima media de 71 %, y el más húmedo el 30 de mayo (85 %). Ver **Figuras 9 y 10**.

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de mayo es presentada en las **figuras 11 a y b** para el período diurno (07:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente.

- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), predominaron vientos de intensidad media débil (< 3 m/s) en la mayoría de las estaciones analizadas: así, en Ancón provenientes del NW y WNW (31 y 26 %); Comas del SW y SSW (65 y 15 %); Callao del S y SSW (35 y 15 %); Cercado del SSW y SW (54 y 28 %); y Surco del WSW y S (32 y 19 %), e intensidades medias fuertes (= > 6,0 m/s) en La Molina, provenientes del WNW y W (60 y 28 %), respectivamente. Se registraron ocurrencias de calmas superiores al 10%, en El Callao (16 %).

Las distribuciones de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 11**. Así, predominaron intensidades principalmente débiles, con excepción de Comas (moderadas) y La Molina (fuertes).

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se registraron vientos de intensidad media débil en todas las estaciones analizadas como son Ancón, Comas, El Callao, El Cercado, La Molina y Surco con vientos de componentes NNW y NW (19 y 14 %), SW y WSW (36 y 26 %), S y SSE (51 y 6 %), SSW y SW (53 y 13 %), WNW y NW (23 y 16 %) y del SSE y S (43 y 23 %). Ocurrencia significativa de calmas (> 10 %) se registraron, en Ancón (14%), El Callao (33 %), El Cercado (23 %).

Las distribuciones de frecuencias de intensidades del viento superficial se presentan también en la **figura 11**. Predominaron intensidades en promedio débiles en las estaciones analizadas.

D. Del perfil de la tropósfera

Climáticamente, en la Costa Central del Perú, la base de la capa de inversión térmica por subsidencia, correspondiente al mes de mayo se configura muy débilmente en horas de la mañana alrededor de los 500 m.s.n.m y desaparece desde antes del mediodía. Sin embargo, durante el presente mes de mayo 2007, de acuerdo a información disponible sobre la evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, se observó una gradual intensificación del anticiclón del Pacífico sur y por lo

tanto la intensificación del fenómeno de subsidencia con cierta mayor intensificación en algunos días como para ocasionar la presencia de vientos Paracas y un afloramiento marítimo siempre activo. La consecuencia inmediata de lo descrito es la configuración y gradual intensificación de la inversión térmica con su base aproximadamente en los 600 m.s.n.m., dando como resultado, días con nublado parcial, nubes dispersas a despejado en los distritos del este; cubierto hasta antes del mediodía a nublado parcial en las tardes en los distritos de la franja central norte-sur de la ciudad; y cubierto con fina garúa en horas de la mañana y al atardecer con nublado al medio día en los distritos costeros. Por otro lado, la temperatura del aire, en las capas de la atmósfera cerca al suelo ha descendido ostensiblemente en promedio desde los 20.6° C en abril hasta los 17.7° C en mayo, con el consiguiente incremento de la humedad relativa a valores superiores al 90 %. Las condiciones descritas y sus interacciones, influyeron sobre el campo de vientos locales dentro de la cuenca atmosférica de Lima-Callao que se caracterizó por presentar intensidades predominantemente débiles a moderadas con calmas menores a 10 % en el día y de hasta 33 % en la noche; condiciones que en conjunto limitaron la dispersión del polvo atmosférico suspendido y resuspendido mayormente por la turbulencia mecánica debido al movimiento vehicular, por lo que, las concentraciones del mismo fueron tanto en los núcleos de las zonas críticas y en el promedio solamente ligeramente inferiores al mes anterior, con perspectivas a seguir esa misma tendencia de ligero descenso en el próximo mes de junio.

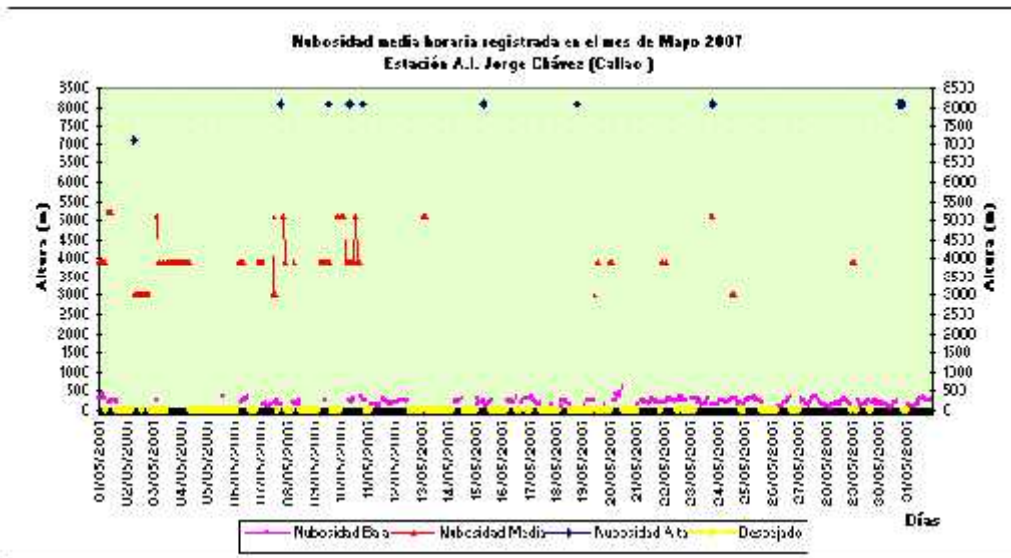


Figura 7. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez mayo 2007

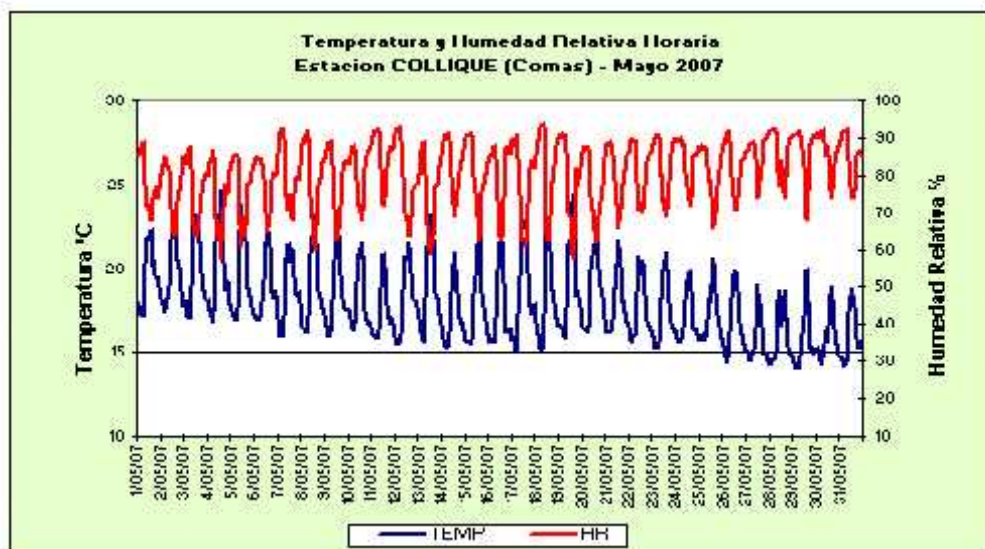
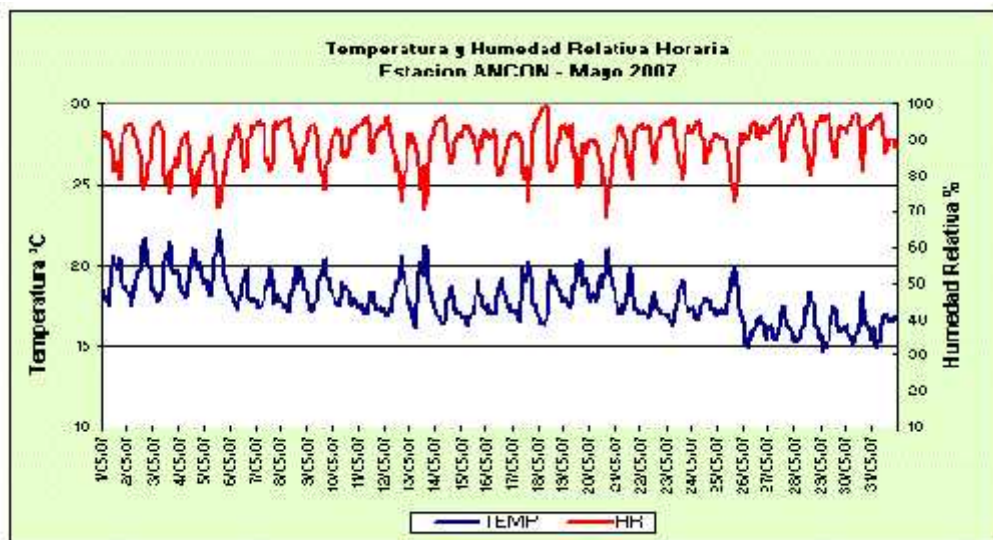


Figura 8a.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de mayo del 2007 Ancón y Comas

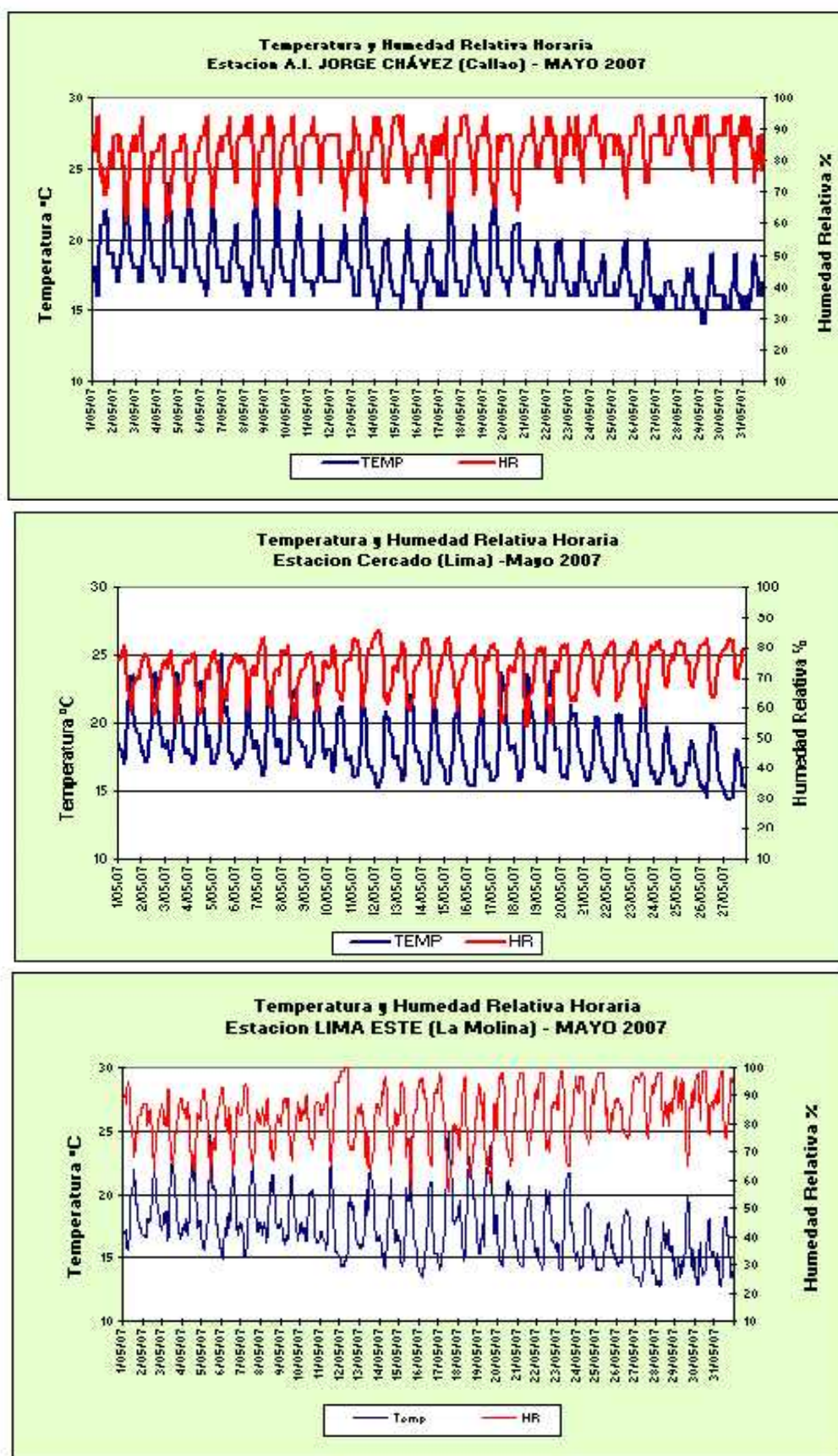


Fig.8b.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de mayo del 2007 El Callao, El Cercado y la Molina

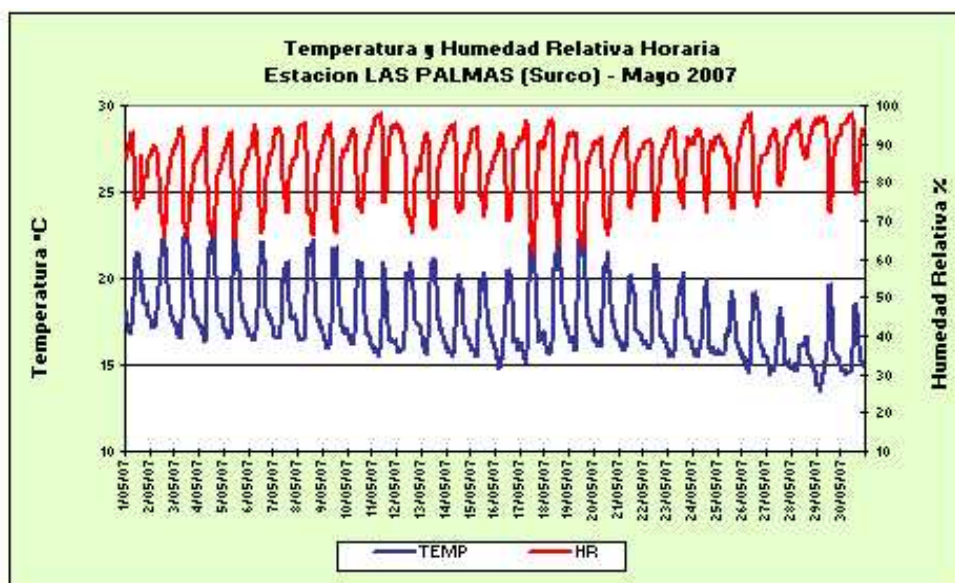


Fig.8c.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de mayo del 2007 en Santiago de Surco

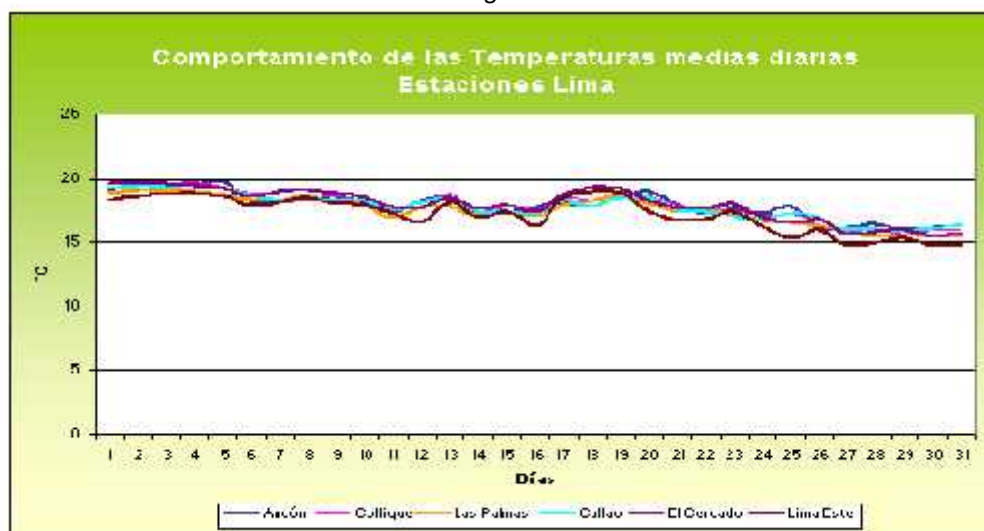


Figura 9.

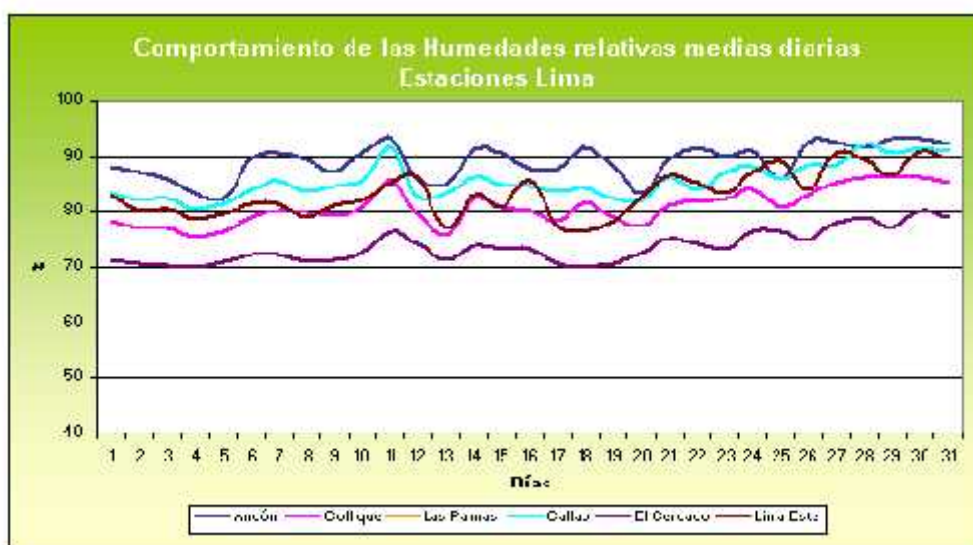
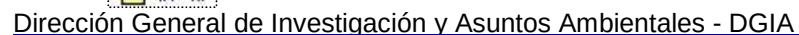


Figura 10.



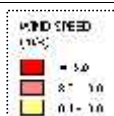
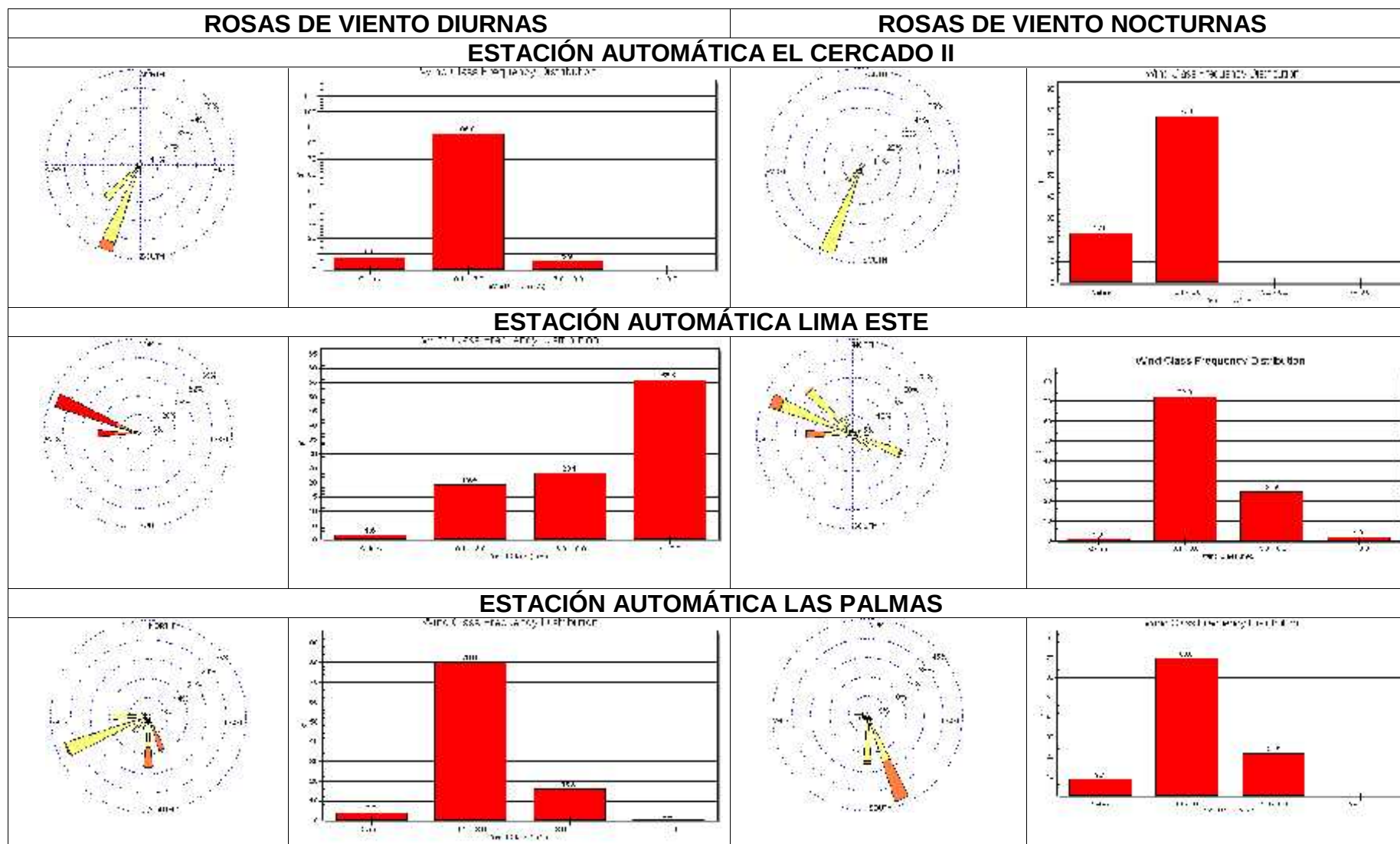


Fig11b – Rosas de viento (m/s) en las estaciones del Cercado, La Molina y Surco - Mayo 2007

4. Conclusiones

- ✓ Para el mes de mayo, las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron muy ligeramente inferiores en los principales núcleos a los registros del mes de abril. La configuración resultante muestra 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 28,2 t/km².mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 22,9 t/km².mes; el tercero en Lima sur-este con 25,4 t/km².mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 22,9 t/km².mes.
- ✓ El 71 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 11,0 t/km².mes, valor muy ligeramente inferior al del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 28,2 t/km².mes en Puente Piedra y el mínimo de 3,2 t/km².mes en Magdalena.
- ✓ Los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) presentaron una media diaria mensual de 18,3 ppb y un registro máximo horario de NO de 168,1 ppb y de NO₂ de 60,9 ppb ocurridos en horas punta de la mañana y noche; y mínimos entre 1 y 3 en horas de la madrugada. El máximo valor horario NO₂ corresponde al 58 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora; y el 69,6 % de los datos horarios sobrepasaron los 15 ppb mencionados.
- ✓ La variación temporal de las concentraciones máximas medias horarias de NO₂ tienen un patrón claramente definido caracterizado por dos picos horarios máximos de 23,1 ppb (10:00 horas) y 23,7 ppb (21:00 horas), coincidiendo de esta manera mes a mes con las horas de mayor actividad vehicular, principalmente.
- ✓ En cuanto al comportamiento diario del gas, los mayores valores se presentaron durante los días laborales, con máximos el día lunes (41 ppb) y jueves (60,9 ppb); mientras que el día domingo se registró en promedio menores concentraciones (16 ppb).
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en mayo fueron de 17,7 °C y 83 %. Así mismo, los días más cálidos fueron el 2, 3 y 4 de mayo con una máxima media de 19,3 °C y el día 30 como el más frío con un valor de 15,8 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 10 con la mínima media de 71 %, y el más húmedo el 30 de mayo (85 %).
- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, fue predominante la nubosidad baja, de tipo estratiforme, alrededor de 500 m.s.n.m, y la nubosidad media de tipo stratocúmulos con clara tendencia a su disipación;

favoreciendo condiciones de cielo desde nublado parcial a nubes dispersas en los distritos del este a cubierto con fina garúa en los distritos del litoral.

- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial en los períodos analizados, la intensidad media de los vientos fue principalmente débil ($< 3,0$ m/s) en el día y de componente predominantemente del SSW, con excepción de La Molina en donde fueron fuertes (> 6 m/s); mientras que en la noche se registraron intensidades débiles predominantemente del sur (S).
- ✓ La evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, permitió observar, una gradual intensificación del anticiclón del Pacífico sur con valores de la presión atmosférica oscilando alrededor de sus normales; gradual intensificación de la inversión térmica que en interacción con el afloramiento activo generó incremento de nubosidad baja de tipo estratiforme; descenso de la temperatura media del aire; vientos locales de intensidades débiles a moderadas y calmas; condiciones que propiciaron que las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueran solamente ligeramente inferiores a las registradas en el mes anterior y con perspectivas a continuar la misma tendencia de ligero descenso en el próximo mes de junio.