EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/JUNIO-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. 8

3. Resultados del monitoreo ambiental. 10

4. Conclusiones. 25

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1- Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable en la zona metropolitana de Lima-Callao. 10

Fig. 2- Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable registrados en mayo y junio 2007 en Lima-Callao. 11

Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico Sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de junio del 2007. 13

Fig. 4- Concentración horaria de óxidos de nitrógeno. Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Junio 2007 14

Fig. 5- Concentración media horaria de óxidos de nitrógeno. Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Junio 2007 15

Fig. 6- Gráfico de Cajas semanales de las concentraciones de dióxido de Nitrógeno del Aire SENAMHI – Junio 2007 16

Fig. 7- Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez - Junio 2007. 19

Fig.8a- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de junio del 2007 en Ancón, Comas y El Callao. 20

Fig.8b- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de junio del 2007 en El Cercado, Jesús María y la Molina. 21

Fig.8c- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de junio del 2007 en Santiago de Surco. 22

Fig.9- Comportamiento de las temperaturas medias diarias en estaciones de Lima – Junio 2007 22

Fig.10- Comportamiento de las humedades relativas medias diarias en estaciones de Lima – Junio 2007 22

Fig.11a-Rosas de viento en las estaciones de Ancón, Comas, El Callao y El Cercado - Junio 2007. 23

Fig.11b-Rosas de viento en las estaciones de La Molina, Jesús María y y Surco - Junio 2007. 24

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 (NO2) – Junio 2007 15

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

RESUMEN

El boletín del mes de junio 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 66 % de las estaciones de muestreo superaron el valor referencial permisible de la OMS, con una concentración media de PAS para Lima-Callao de 10,4 t/km^2.mes, inferior a la del mes anterior. En cuanto al comportamiento de los óxidos de nitrógeno (NOx), el NO y NO_2, éstos presentaron sus mayores valores en horas asociadas principalmente a mayor actividad vehicular con concentraciones de 121,7 y 47,2 ppb, respectivamente; éste último valor representó el 45% del Estándar Nacional de Calidad del Aire (ECA) para una hora para el contaminante NO_2. La evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, presentó una fuerte intensificación del anticiclón del Pacífico sur con anomalías marcadas de 6 y 7 hPa en la primera y segunda década, respectivame y, si bién en la década el núcleo mostró un relativo relajamiento; sin embargo siempre propició la advección de aire frío hacia el norte, paralelo a la costa Peruana. En consecuencia, la inversión térmica está alcanzando su máxima intensidad dentro del ciclo anual lo que induce también que el afloramiento marítimo sea muy activo frente a la costa sudamericana (Chile y Perú), fenómenos que en conjunto y sus interacciones han ocasionado el incremento de nubosidad baja de tipo estratiforme durante todo el mes; descenso de la temperatura media del aire; vientos locales de intensidades débiles a moderadas y calmas; condiciones éstas que reducen el fenómeno de turbulencia y por lo tanto los procesos de resuspensión, lo que se manifiesta en una disminución del polvo atmosférico sedimentable, con perspectivas a mantenerse en similares niveles durante el mes de julio.

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

De acuerdo a lo citado por Silva *et al* (2004)1[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

[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.

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[2], establece los 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,

a). La protección de la calidad del aire es obligación de todos,
b). Las medidas de mejoramiento de la calidad del aire se basan en análisis costo-beneficio.
c). 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	1 hora	250	NE más de 24 veces/año	Quimiluminiscencia (método

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

nitrógeno				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 juniores riesgos para la salud de la población de la Zona Metropolitana de Lima y Callao[3]. 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 prematura[4].

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 junior 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 oculares[5].

En cuanto a contaminantes gaseosos, Godish[6] refiere que el NO y el NO_2 son los compuestos cuya dinámica juega un papel muy importante en la química de los contaminantes atmosféricos. Sus concentraciones se incrementan significativamente en la atmósfera como resultado de los aportes de la

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

actividad humana y además sirven como precursores de una gran variedad de reacciones atmosféricas debido a su rápida interconvertibilidad química. El término genérico para denominar estos compuestos es el de NO_x (que también incluyen al trióxido de nitrógeno -NO_3, sesquióxido de nitrógeno N_2O_3, tetróxido de nitrógeno -N_2O_4 y pentóxido de nitrógeno -N_2O_5).

De acuerdo a Seinfeld[7] la mayoría de NO_x producido por combustión es NO. Sin embargo, cierta cantidad de NO_2 es producido a partir del NO presente de acuerdo a:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

Por tanto, siempre habrá pequeñas cantidades de NO_2 presentes en una atmósfera urbana que contenga importantes concentraciones de NO. Cuando hayan bajas concentraciones de NO, dicha reacción de conversión es lenta (Godish, 1997).

De esta manera, la compleja dinámica química de los compuestos atmosféricos nitrogenados, principalmente de los óxidos de nitrógeno, debe ser estudiada en conjunto con otros compuestos asociados directamente o indirectamente a su formación y procesos de interconversión, sólo así seremos capaces de conocer las intrínsecas relaciones entre los diferentes contaminantes atmosféricos.

Los resultados de estudios en extramuros indican en forma consistente que niños expuestos por largo plazo a concentraciones ambientales de NO_2 exhiben síntomas respiratorios de larga duración y muestran un descenso en la función pulmonar. Sin embargo, estudios epidemiológicos intra y extramuros proveen poca evidencia que exposiciones de largo plazo de NO_2 están asociadas con efectos en la salud de adultos". [3]

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* [8] 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 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, Carabayllo, 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 Carabayllo: distrito de Carabayllo
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 junior 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 25,8ºC y entre 19,8 a 28,2ºC en los distritos del este. En el invierno varía entre los 15,5 a 18,3ºC en la zonas cercanas a la costa y entre 13,1 a 18,6ºC 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: automática Ancón, automática Collique (Comas), automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), automática Cercado II (El Cercado / lado este), automática Campo de Marte (Jesús María), 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.

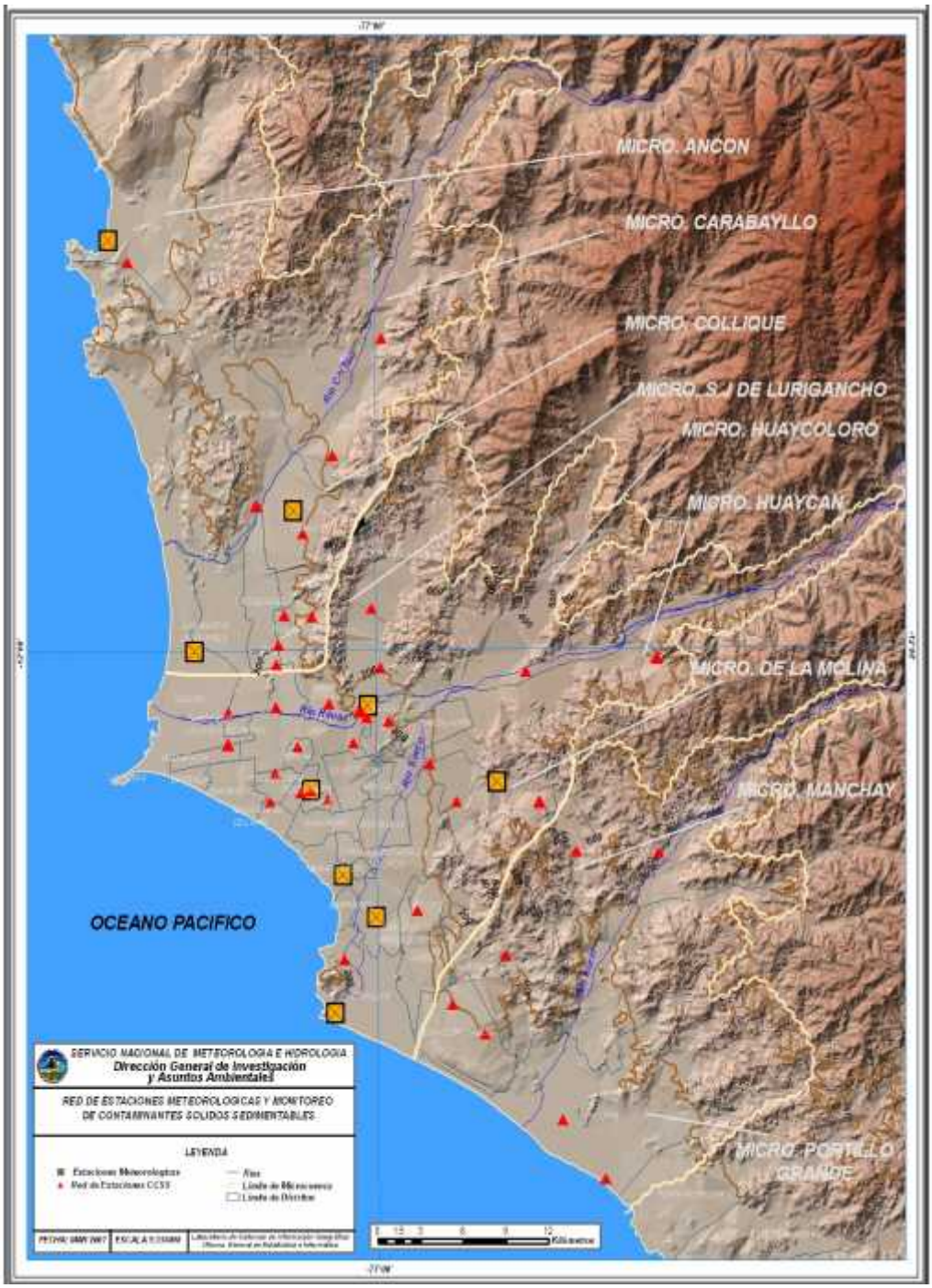


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la zona metropolitana de Lima-Callao

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 junio 2007, el 66 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km^2.mes, con una media de 10,4 t/km^2.mes, 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 junio fueron inferiores a los registrados el mes de mayo. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Lurigancho con 25,2 t/km^2.mes, y el mínimo de 2,7 t/km^2.mes en La Molina. La dirección predominante de los vientos de SSW y SW de intensidad predominantemente débil, en interacción con la rugosidad natural y artificial impuesta por las edificaciones, determinaron niveles 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: mayo y junio 2007 (t/km^2.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*			
Mayo 2007	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)
Junio 2007	38	66	25,0 (P. Piedra)	22,6 (El agustino, El Cercado; Lurigancho)	24,1 (Pachacamac)	20,9 (V.M.T.; Lurín)	10,4	25,2 (Lurigancho)	2,7 (La Molina)

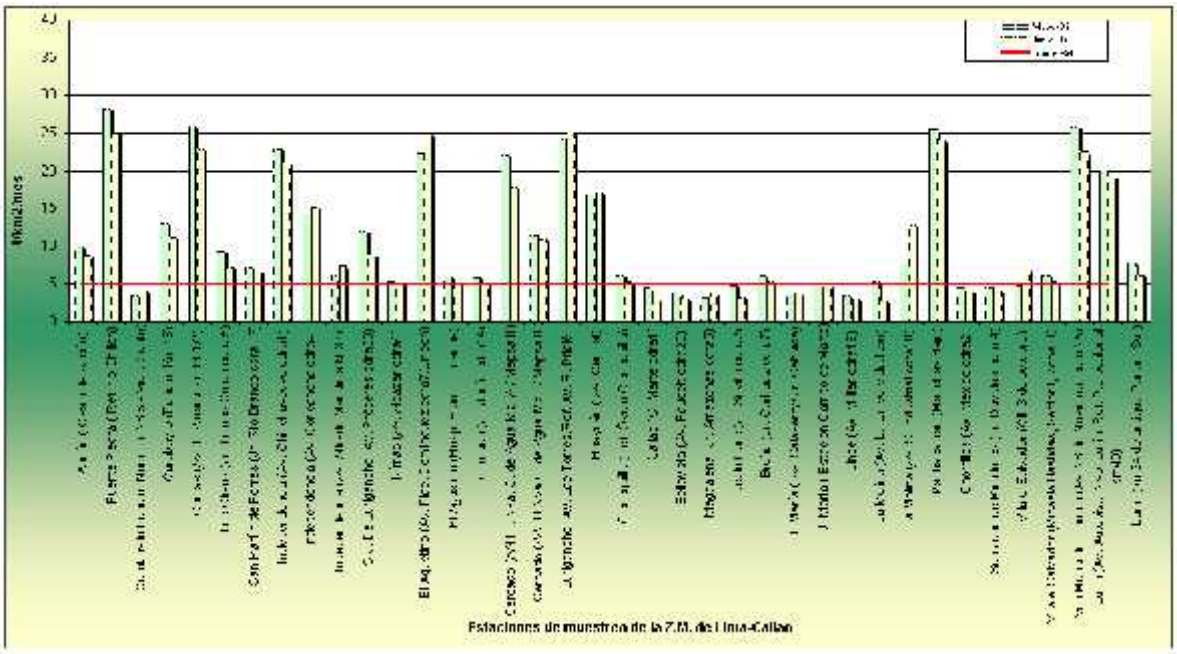


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en mayo y junio 2007 en Lima-Callao

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

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,

ello en interacción con las condiciones meteorológicas que se presentaron durante junio, facilitaron la configuración de persistentes zonas críticas de alta contaminación en Lima-Callao, con una media inferior a la del mes anterior, aunque con valores elevados en los núcleos. De acuerdo a lo descrito, en la **figura 3**, 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, Carabayllo, 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 25,0 t/km^2.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 24,9; 17,8; y 25,2 t/km^2.mes, respectivamente. El tercer centro ubicado en Lima sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de 24,1 t/km^2.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 22,5 y 19,3 t/km^2.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/km^2.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 junio 2007

3.2 Del monitoreo de contaminantes gaseosos: Óxidos de Nitrógeno

El término genérico para denominar al óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2) es el de óxidos de nitrógeno (NOx).

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 121,7 ppb y de NO_2 de 47,2 ppb, ocurridos el 28 de junio a las 22:00 horas; y mínimos horarios en horas de la madrugada. El valor medio del mes del gas dióxido de nitrógeno (NO_2) fue de 22,6 ppb, superior al mes de mayo de 18,3 ppb.

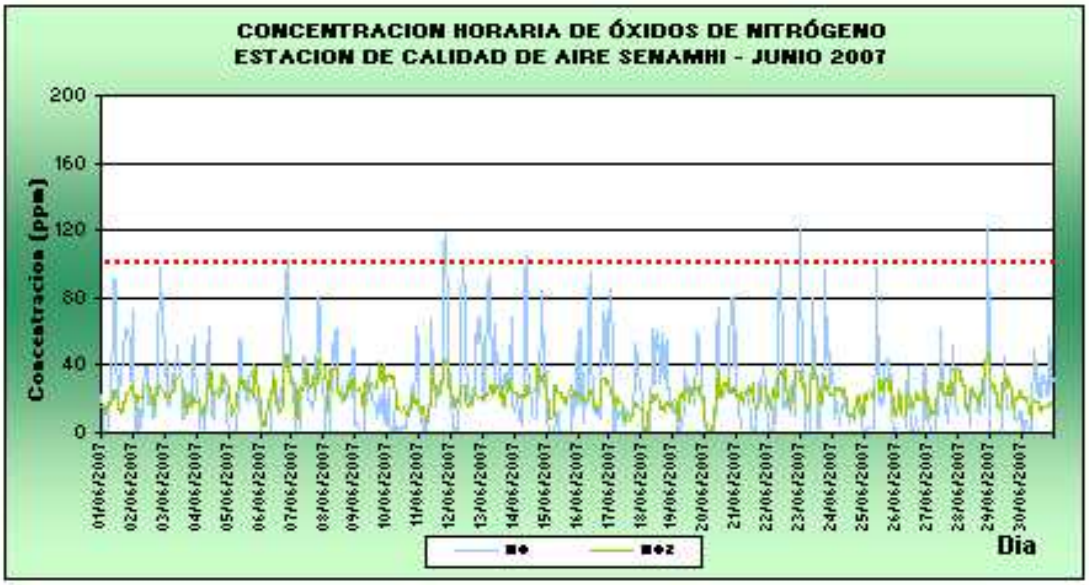


Figura 4.

El máximo valor horario registrado en el período de estudio para el NO_2 (47,2 ppb) correspondió al 45 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora, equivalente a 104,6 ppb (200 ug/m^3). Es importante saber que 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. De acuerdo a los registros horarios del mes de junio, el 84,6 % de los datos (716 horas) sobrepasaron los 15 ppb mencionados.

En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) presentadas en la **figura 5**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 48 ppb (08:00 horas) y 27,6 ppb (10:00 horas), respectivamente para cada gas; y de 44,8 ppb (20:00 horas) y 29,9 ppb (19:00 horas), coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular. Según se explicó, el NO_2 se forma a partir de las concentraciones de NO, que está estrechamente ligado al parque automotor, a través de un proceso de interconversión química; por ello, es que existe un desfase horario entre las concentraciones del NO y del NO_2 .

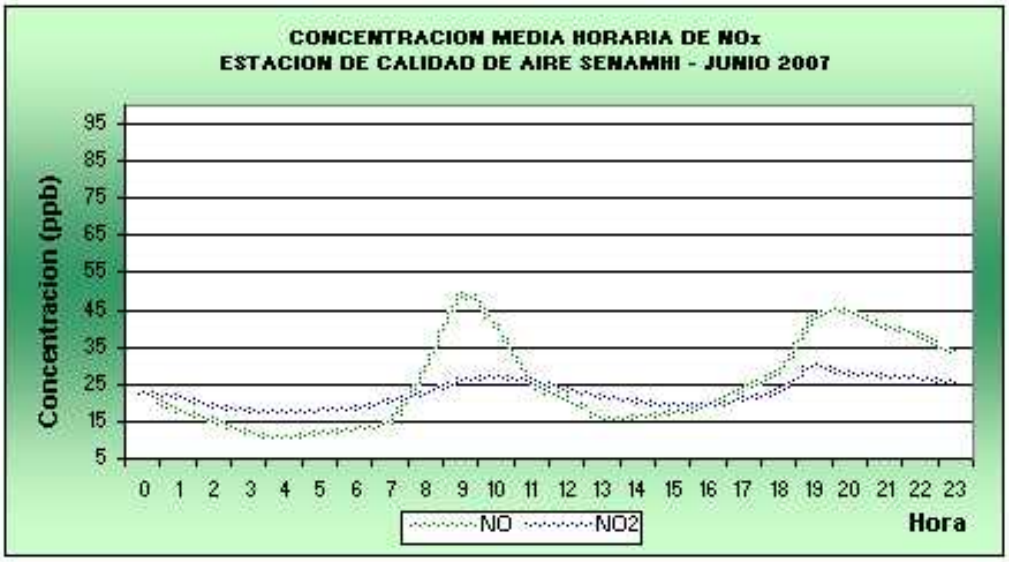


Figura 5.

En el **Cuadro N° 5** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de NO_2. Las mayores concentraciones se presentaron durante los días laborables, con máximos los días miércoles y jueves (46,6 y 47,2 ppb), respectivamente. Mientras que el día domingo se registró en promedio menores concentraciones (19,8 ppb).

Cuadro N° 5. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) – Junio 2007

Día	máximo	día	hora	mínimo	dia	hora	promedio
Lunes	43.6	11-Jun	08:00 p.m.	1.6	18-Jun	04:00 a.m.	21.1
Martes	38.7	05-Jun	08:00 p.m.	8.7	19-Jun	04:00 a.m.	21.7
Miércoles	46.6	06-Jun	09:00 p.m.	6.4	20-Jun	04:00 a.m.	22.1
Jueves	47.2	28-Jun	10:00 p.m.	8.7	07-Jun	04:00 a.m.	26.3
Viernes	38.4	08-Jun	08:00 a.m.	8.1	15-Jun	04:00 a.m.	23.9
Sábado	42.1	09-Jun	18:00 p.m.	9	30-Jun	06:00 a.m.	25
Domingo	35.3	10-Jun	02:00 a.m.	8.4	17-Jun	04:00 a.m.	19.8

Asimismo, en la **figura 6** se resume el comportamiento del dióxido de nitrógeno para cada uno de los días de la semana del mes de junio. En éste se observa que el valor representativo de la mediana del NO_2 es de 22, 8 ppb para toda la semana, según se explicó por, debajo del ECA Nacional. Así mismo, el rango intercuartílico (diferencia entre el percentil 75 y percentil 25) que está relacionado a la mayor o menor variabilidad de las concentraciones del NO_2, en este caso es mayor para los días lunes y miércoles (11,2 y 11,9 ppb); mientras que para el día sábado presenta una menor variabilidad con un rango intercuartílico de 6,8 ppb. Se observa además, que el comportamiento del NO_2 a lo largo de la semana no presenta tendencias, sino que es estacional, con variaciones diarias asociadas al aporte antropogénico y factores meteorológicos,

decreciendo al final de la semana propio del cese o reposo de actividades humanas concurrentes.

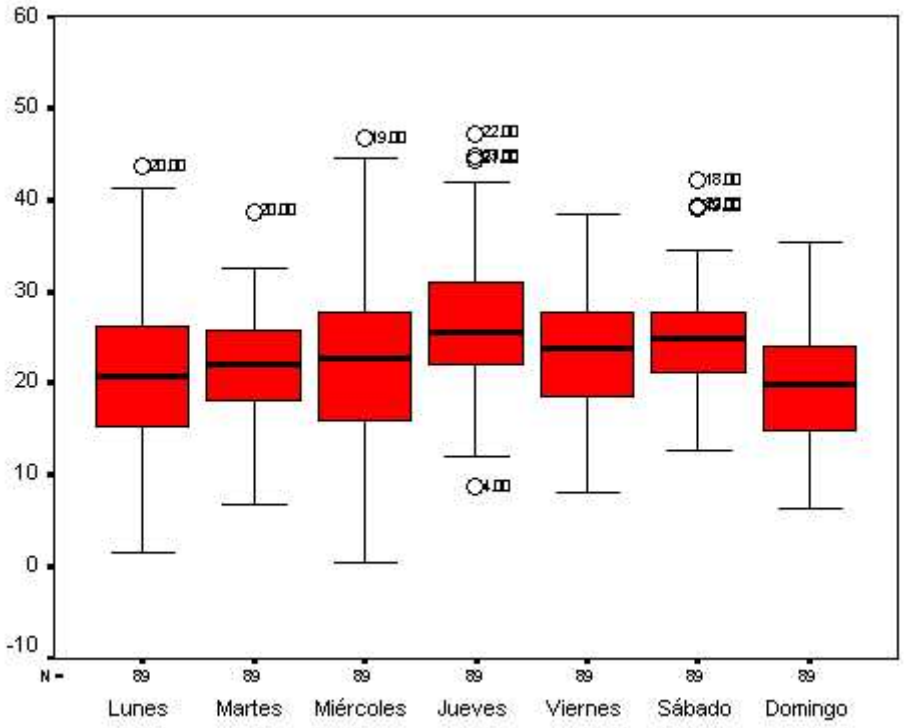


Figura 6. Gráfico de cajas semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno Junio 2007

3.3 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de junio 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 junio 2007 se caracterizó por la predominancia de nubosidad baja (500 a 1000 m.s.n.m), mostrando la influencia del fenómeno de subsidencia debido a la intensificación del Anticiclón del Pacífico sur y por lo tanto del afloramiento marítimo frente a la costa sudamericana (Chile y Perú), fenómenos que en conjunto inducen a la intensificación del fenómeno de inversión térmica con su base en promedio por sobre los 800 m.s.n.m., dando como resultado, la formación de la capa de nubosidad estratiforme por debajo de su base y las condiciones de cielo cubierto casi todos los días del mes en toda la Zona Metropolitana de Lima-

Callao, inclusive en los distritos del este y con fina garúa en horas de la mañana y al atardecer, con mayor frecuencia 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 %. Se mantuvo una sensación térmica de frío prevaleciente durante la mayor parte del mes, con escaso brillo solar algunos días 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 el día 1 de junio como el más cálido con una máxima media de 16,3 ° C y el día 30 como el más frío con un valor de 14,3° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 1 con la mínima media de 82 %, y el más húmedo el 13 de junio (90 %). Ver **Figuras 9** y **10**.

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de junio 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, con excepción de La Molina (Lima Este): así, en Ancón predominaron direcciones del WNW y W (25 y 16 %); Comas del SW, SSW y WSW (12, 57, 11 %); El Callao del S y W (26 y 16 %); El Cercado del SSW, SW y W (30, 31 y 11 %); Jesús María del SW, WSW (31 y 22 %); y Surco del S, WSW, y SSE (24, 22 y 15,3 %). Intensidades medias fuertes (= > 6,0 m/s) se registraron en La Molina, provenientes del WNW y W (56 y 31 %), respectivamente. Se registraron ocurrencias

de calmas superiores al 10% en El Callao (20 %), El Cercado (15 %) y Jesús María (33 %) .

Las distribuciones de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 11a**. Así, predominaron intensidades principalmente débiles, con excepción de 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, Jesús María, La Molina y Surco con vientos provenientes del SSW y SW (24 y 13 %), SW y WSW (33 y 18 %), S y SSW (28 y 4 %), SSW y SW (28 y 21 %), SW y WSW (16 y 11 %), del WNW, W y NW (29, 17 y 15 %) y del SSE y S (27 y 21 %). Ocurrencia significativa de calmas (> 10 %) se registraron, en el Callao (43 %), El Cercado (16 %) y Jesús María (57 %).

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

D. Del perfil de la troposfera

La evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, presentó una fuerte intensificación del anticiclón del Pacífico sur con anomalías marcadas de 6 y 7 hPa en la primera y segunda década, respectivame y, si bién en la tercera década el núcleo mostró un relativo relajamiento; sin embargo siempre propició la advección de aire frío hacia el norte, paralelo a la costa Peruana. En consecuencia, la inversión térmica está alcanzando su máxima intensidad dentro del ciclo anual con su base en promedio por sobre los 800 m.s.n.m. lo que induce también que el afloramiento marítimo sea muy activo frente a la costa sudamericana (Chile y Perú), fenómenos que en conjunto y sus interacciones han ocasionado el incremento de nubosidad baja de tipo estratiforme durante casi todos los días del mes y por lo tanto las condiciones de cielo cubierto en toda la Zona Metropolitana de Lima-Callao hasta en los distritos del este, inclusive, descenso de la temperatura media del aire, vientos locales de intensidades débiles a moderadas y calmas; fina garúa en horas de la mañana y al atardecer, con más frecuencia en los distritos costeros.

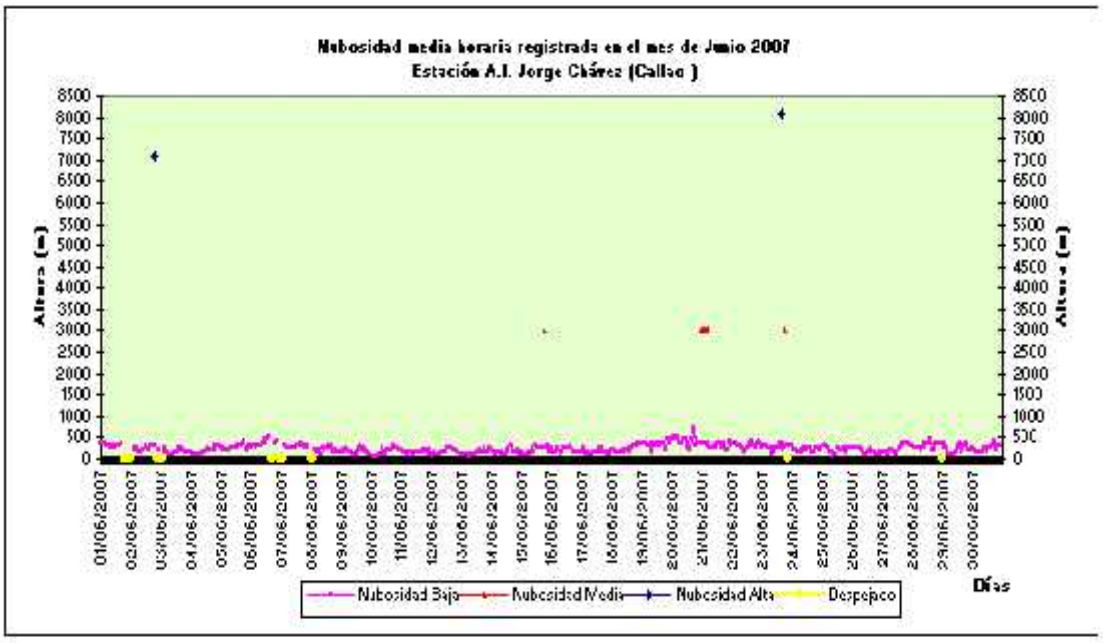
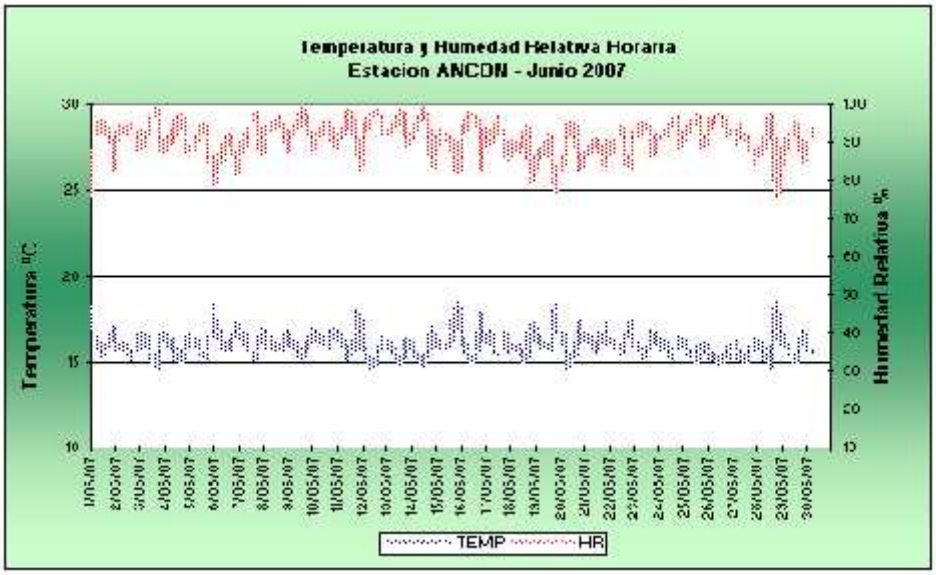
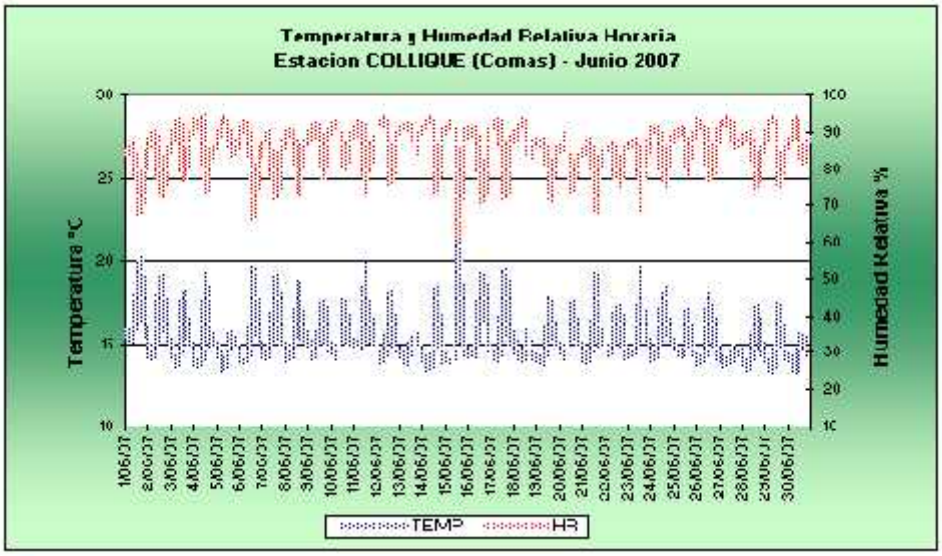


Figura 7. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez junio 2007

Las condiciones descritas y sus interacciones, influyeron sobre el campo de vientos locales dentro de la cuenca atmosférica de Lima-Callao; condiciones que en conjunto limitaron los fenómenos de turbulencia y por lo tanto la dispersión del polvo atmosférico suspendido y resuspendido, por lo que, las concentraciones del mismo fueron inferiores al mes anterior, con perspectivas a mantenerse en niveles similares durante el mes de julio.





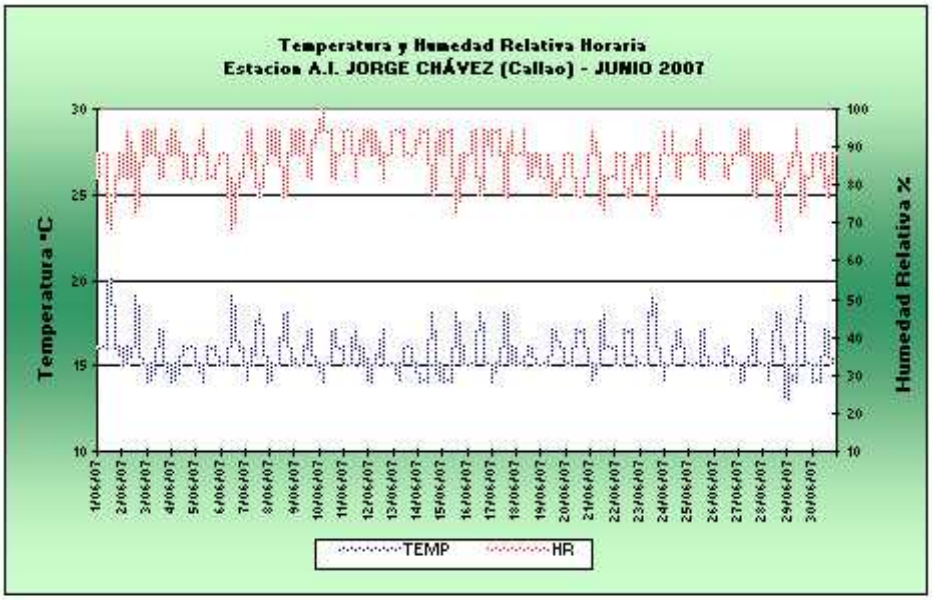


Figura 8a.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de junio del 2007 Ancón, Comas y El Callao

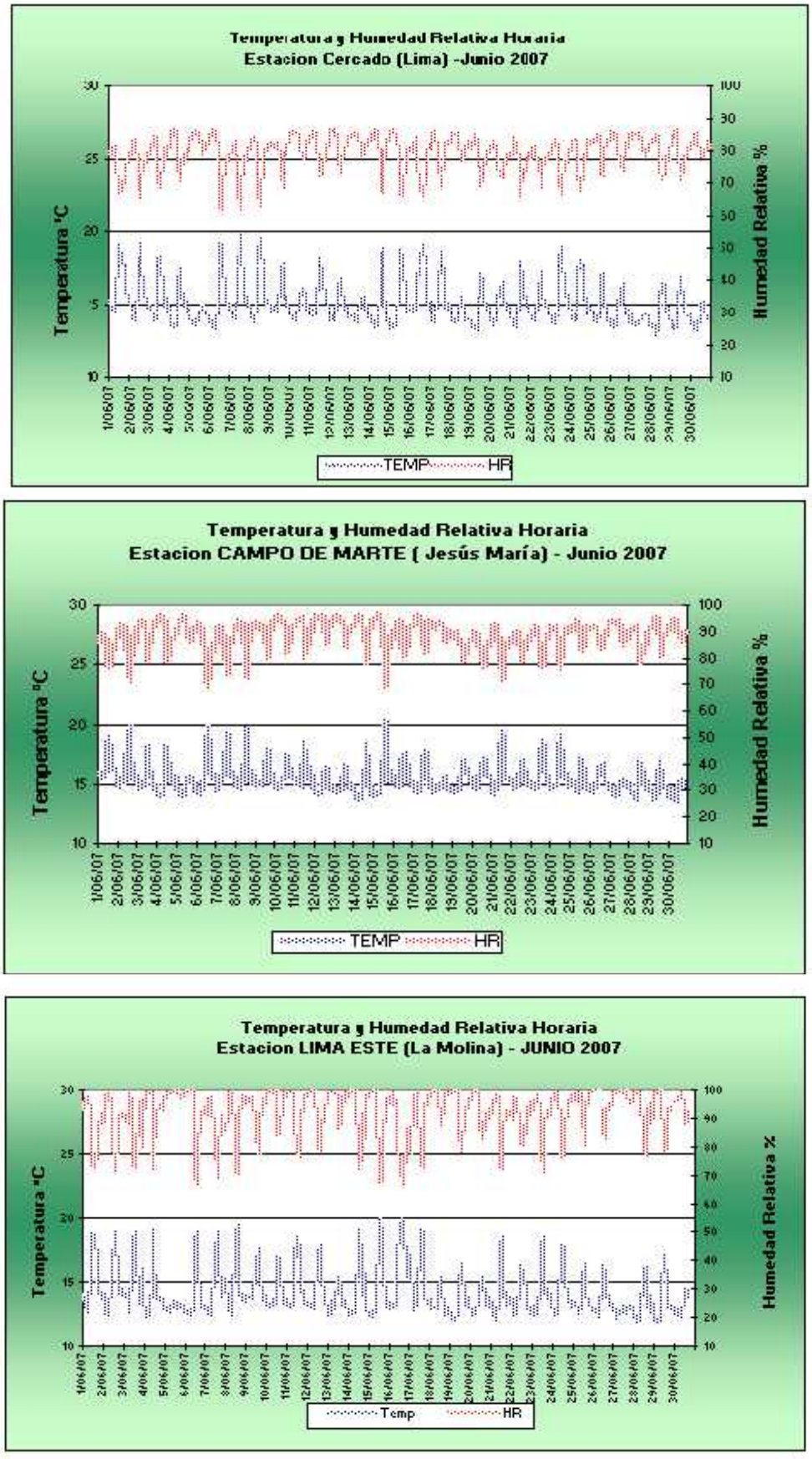


Fig.8b.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de junio del 2007 El Cercado, Jesús María y La Molina

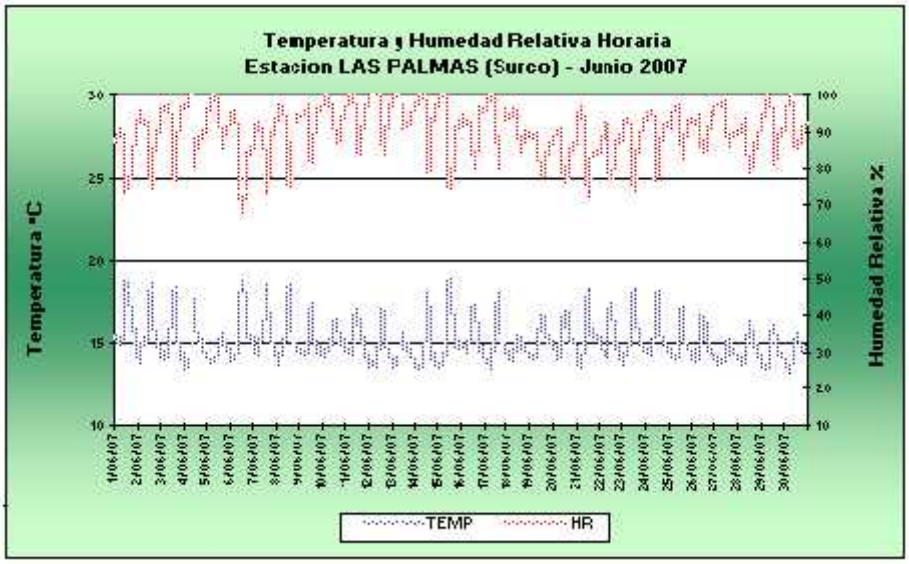


Fig.8c.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de junio del 2007 en Santiago de Surco

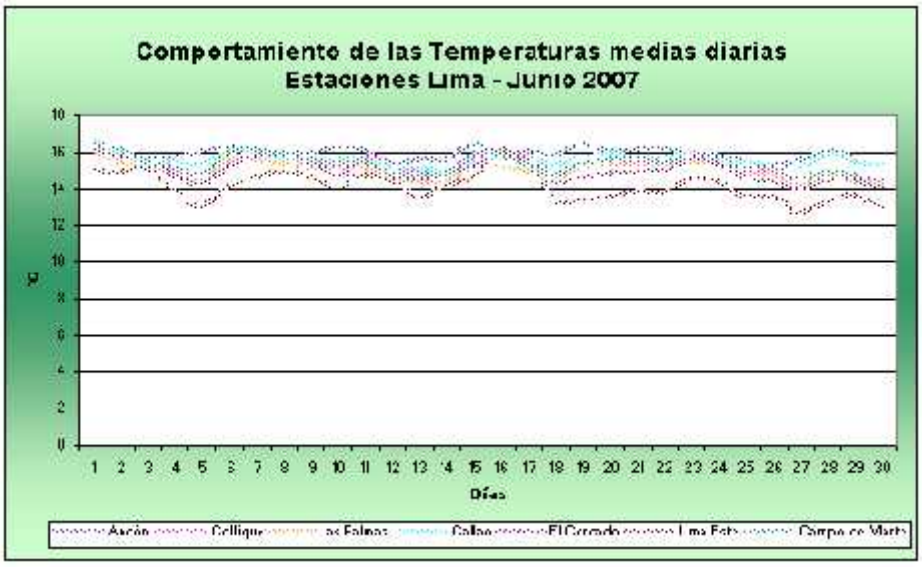


Figura 9.

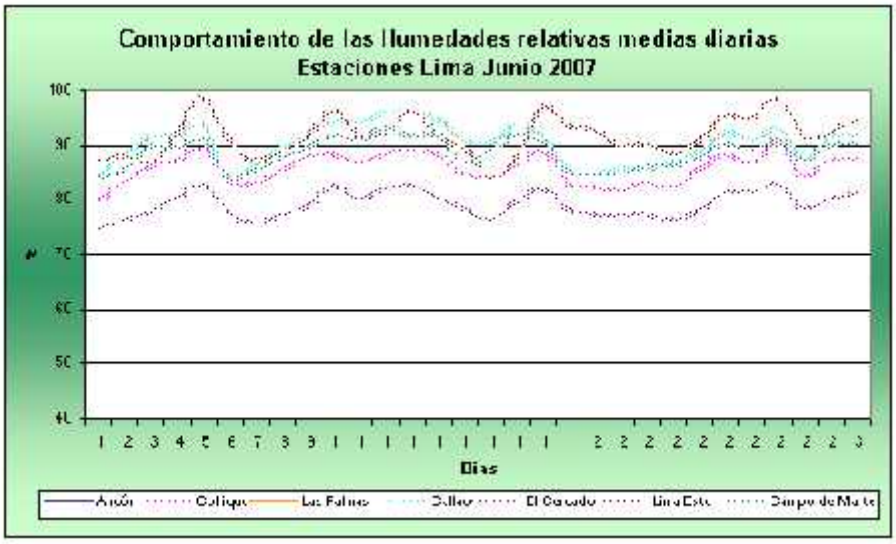
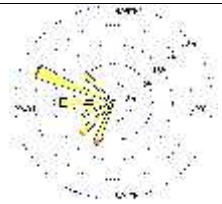
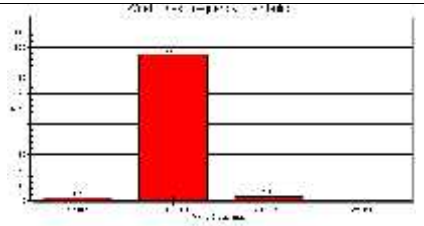
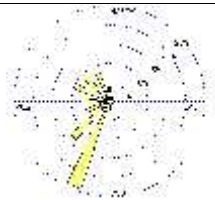
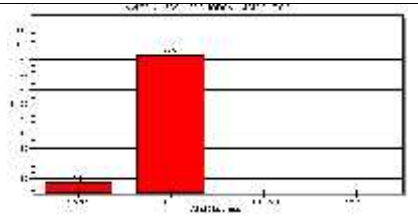
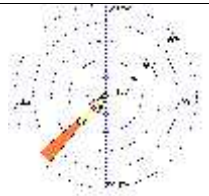
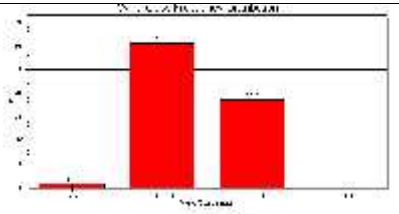
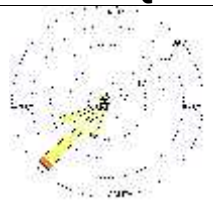
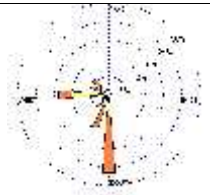
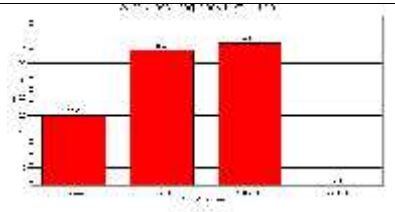
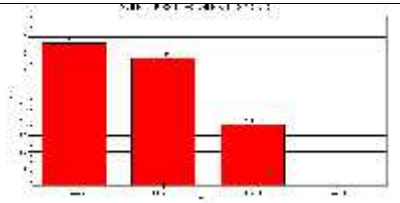
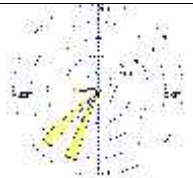
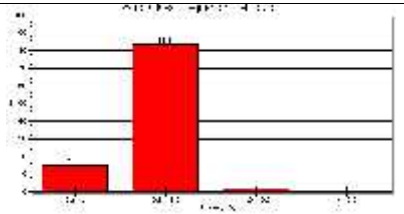
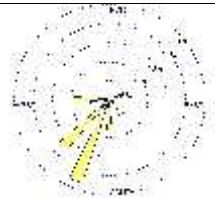
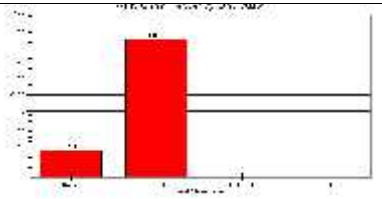


Figura 10.

ROSAS DE VIENTO DIURNAS		ROSAS DE VIENTO NOCTURNAS	
ESTACIÓN AUTOMÁTICA ANCÓN			
			
ESTACIÓN AUTOMÁTICA COLLIQUE			
			
ESTACIÓN AUTOMÁTICA SINÓPTICA Y DE RADIOSONDAJE A.I. JORGE CHÁVEZ			
			
ESTACIÓN AUTOMÁTICA EL CERCADO			
			

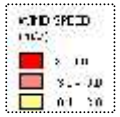
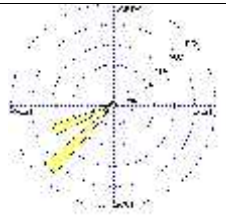
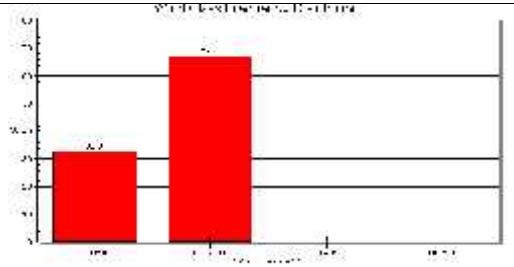
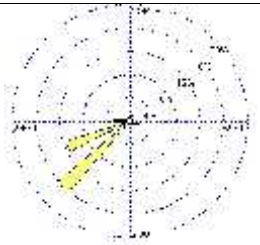
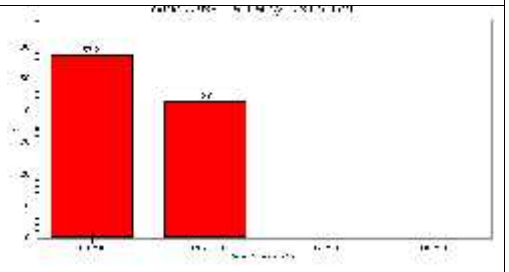
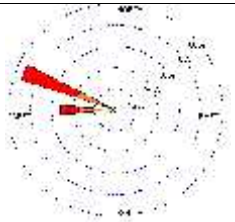
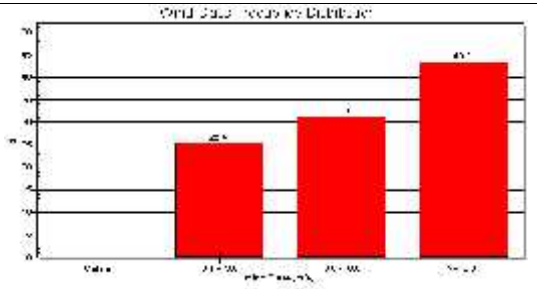
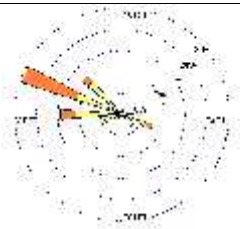
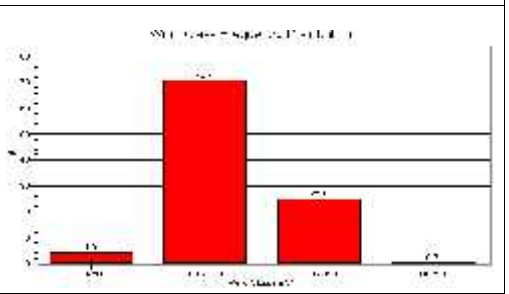
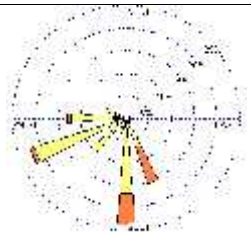
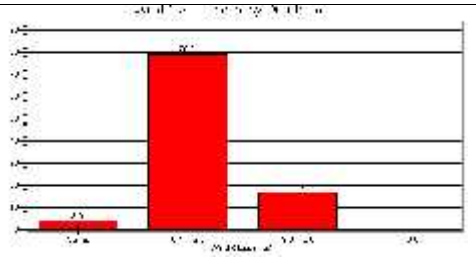
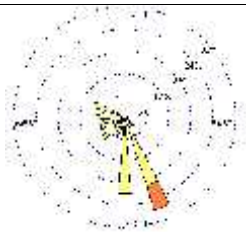
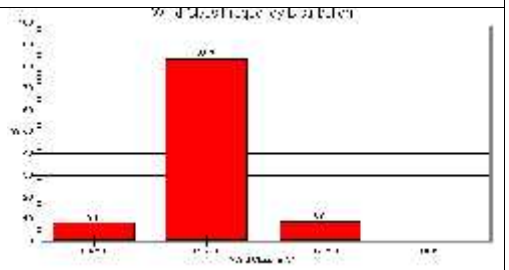


Fig11a – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Ancón, Comas, El Callao, El Cercado - Junio 2007

ROSAS DE VIENTO DIURNAS		ROSAS DE VIENTO NOCTURNAS	
ESTACIÓN AUTOMÁTICA CAMPO DE MARTE			
			
ESTACIÓN AUTOMÁTICA LIMA ESTE			
			
ESTACIÓN AUTOMÁTICA LAS PALMAS			
			

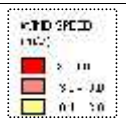


Fig11b – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesús María, La Molina y Surco - Junio 2007

4. Conclusiones

- ✓ Para el mes de junio, las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron inferiores en los principales núcleos a los registros del mes de mayo. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 25,0 t/km^2.mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 22,6 t/km^2.mes; el tercero en Lima sur-este con 24,1 t/km^2.mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 20,9 t/km^2.mes.

- ✓ El 66 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 10,4 t/km^2.mes, valor inferior al del mes anterior de 11,0 t/km^2.mes; el valor máximo registrado fue de 25,2 t/km^2.mes en Lurigancho y el mínimo de 2,7 t/km^2.mes en La Molina.

- ✓ Los óxidos de nitrógeno (NOx), correspondientes al NO y NO_2, presentaron una media horaria mensual de 22,6 ppb y un registro máximo horario de NO de 121,7 ppb y de NO_2 de 47,2 ppb ocurridos en horas de la noche; y mínimos en horas de la madrugada. El máximo valor horario NO_2 correspondió al 45 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora.

- ✓ La variación temporal de las concentraciones máximas medias horarias de NO y NO_2 tienen un patrón definido con dos picos horarios máximos de 48 y 27,6 ppb, respectivamente, en horas de la mañana; y de 44,8 y 29,9 ppb en horas de la noche; coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular, principalmente.

- ✓ En cuanto al comportamiento semanal del NO_2, los mayores valores se presentaron durante los días laborables, con máximos los días miércoles y jueves (46,6 y 47,2 ppb); mientras que los días lunes y miércoles presentaron una mayor variabilidad en sus concentraciones. El día domingo registró en promedio menores concentraciones (19,8 ppb).

- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, fue predominante la nubosidad baja, de tipo estratiforme, entre 500 y 1000 m.s.n.m, durante casi todos los días del mes. dando como resultante las condiciones de cielo cubierto en toda la Zona Metropolitana de Lima-Callao, alcanzando a los distritos del este, inclusive.

- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en junio fueron de 15,2 ° C y 88 %. Así mismo, el día más cálido fue el 1 de junio con una máxima media de 16,3 ° C; y el día 30 como el más frío con un valor de 14,3 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más

seco fue el 1 con la mínima media de 82 %, y el más húmedo el 13 de junio (90 %).

- ✓ 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 SW, con excepción de La Molina en donde fueron fuertes (> 6 m/s); mientras que en la noche se registraron intensidades débiles predominantemente del SSW y S.

- ✓ Durante el mes de junio, la inversión térmica por subsidencia está alcanzando su máxima intensidad y altura de su base en promedio por sobre los 800 m.s.n.m, debido a la intensificación del Anticiclón del pacífico sur y por lo tanto del afloramiento marítimo, con la resultante de ocasionar la entrada de vientos fríos del sur y propiciar densa nubosidad estratiforme que cubre toda la Zona Metropolitana de Lima-Callao, alcanzando a los distritos del este inclusive y fina garúa en horas de la mañana y al atardecer, con más frecuencia en los distritos costeros