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

Por: Ing. José Silva Cotrina
Ing. Zarela Montoya Cabrera
SO1 FAP Rigoberto Duránd 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 junio y julio 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 julio del 2007. 12

Fig. 4- Concentración horaria de óxidos de nitrógeno. Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Julio 2007 13

Fig. 5- Concentración media horaria de óxidos de nitrógeno. Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Julio 2007 14

Fig. 6- Gráfico de Cajas semanales de las concentraciones de dióxido de Nitrógeno del Aire SENAMHI – Julio 2007 15

Fig. 7- Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez - Julio 2007. 18

Fig.8a- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2007 en Ancón, Comas y El Callao. 19

Fig.8b- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2007 en El Cercado, Jesús María y la Molina. 20

Fig.8c- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2007 en Santiago de Surco. 21

Fig.9- Comportamiento de las temperatura y humedad relativa durante El mes de Julio 2007 de Lima - Callao 21

Fig.11a-Rosas de viento en las estaciones de Ancón, Comas, El Callao y El Cercado - Julio 2007. 22

Fig.11b-Rosas de viento en las estaciones de Jesús María, La Molina y Surco - Julio 2007. 23

NDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: junio y julio 2007. 10

Cuadro N ° 2. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO2) – Julio 2007 14

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

RESUMEN

El boletín del mes de julio muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico sedimentable (PAS) y del contaminante gaseoso óxidos de nitrógeno, en relación a las condiciones meteorológicas registradas en la red automática en la zona metropolitana de Lima-Callao. Así, el 58 % de las estaciones de muestreo superaron el valor referencial permisible de la OMS, con una concentración media de PAS para Lima-Callao de 9,7 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 144,6 y 35,4 ppb, respectivamente; éste último valor representó el 34 % del Estándar Nacional de Calidad del Aire (ECA) para una hora para el contaminante NO_2. De acuerdo a la vigilancia sinóptica, la evolución de los sistemas meteorológicos y sus interacciones que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el anticiclón del Pacífico suroriental continuó intensificándose con una anomalía en promedio de +8 hPa para el mes de julio. El comportamiento presentado por el mencionado anticiclón implica la persistente advección de aire frío paralelo a la costa peruana y por lo tanto la intensificación del afloramiento marino. En consecuencia, la inversión térmica ha alcanzado su máxima intensidad dentro del ciclo anual lo que indujo también al incremento de nubosidad baja de tipo estratiforme durante todo el mes; descenso de la temperatura media del aire y disminución de su oscilación diaria; vientos locales de intensidades débiles y calmas, alta humeda relativa y complementados con persistente presencia de fina garúa; condiciones éstas que limitaron el fenómeno de turbulencia y por lo tanto los procesos de resuspensión, lo que se manifiestó en una disminución del polvo atmosférico sedimentable, con perspectivas a mantenerse en similares niveles durante el mes de agosto.

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

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS)[1], la contaminación del aire es un problema de salud ambiental importante que afecta a países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo. En una escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases y partículas potencialmente nocivas, lo cual deteriora la calidad del aire, afectando la salud humana. Asimismo, daña los recursos necesarios para el desarrollo sostenible del planeta largo plazo.

Silva *et al* (2004)1[2] refiere que 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

[1] OMS. 1999. Guías para la Calidad del Aire. Ginebra, Suiza.

[2] 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.

es el estado de la atmósfera con respecto a la presencia de contaminantes atmosféricos potenciales.

Dichos contaminantes por lo general, se clasifican en partículas suspendidas (polvos, gases, neblinas, humos), contaminantes gaseosos (gases y vapores) y olores. La OMS[1] señala que por lo general, las partículas finas y gruesas tienen fuentes y mecanismos de formación distintos, si bien puede haber alguna superposición. El material biológico tales como bacterias, polen y esporas también puede encontrarse en las partículas gruesas. Generalmente, las partículas finas y gruesas se comportan de manera diferente en la atmósfera y estas variaciones deben considerarse al interpretar los valores que se monitorean en un sitio específico. Por lo general, las partículas finas tienen más tiempo de vida en la atmósfera (días a semanas) que las partículas gruesas y tienden a ser más uniformes cuando se dispersan en un área urbana o región geográfica grande. Con frecuencia, las partículas más grandes se depositan más rápido que las partículas pequeñas; como resultado, la masa total de partículas gruesas es menos uniforme en concentración que la de partículas finas a lo largo de una región.

La dinámica del comportamiento del polvo atmosférico sedimentable (de diámetro mayor a 20 micras) está dentro de la influencia de la fuerza de atracción gravitatoria terrestre (gravedad), por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies (edificios y objetos en general de exteriores e interiores, áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto), desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas originados tanto por la interacción del movimiento de vehículos con la forma de canal de calles y avenidas, como por la interacción de la rugosidad de las superficies urbanas y los desiguales procesos de calentamiento de las mismas. [3]

Es necesario resaltar que la importancia de monitorear el polvo atmosférico sedimentable radica en que en los centros urbanos de zonas áridas se convierten en los contaminantes del aire de mayor trascendencia debido a la ausencia de precipitación pluvial que realice un lavado de la atmósfera por lo que su presencia se hace permanente siendo indicadores del deterioro ambiental de un lugar; así mismo, en el ciclo continuo de deposición y resuspensión, el polvo sedimentable van experimentando al mismo tiempo procesos físico químicos de meteorización dando paso a la aparición de partículas más finas del rango de las totales en suspensión.

En cuanto a contaminantes gaseosos, Godish[4] 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 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 ahí que la importancia de estudiar a los NOx no sólo radica en que son importantes indicadores de la calidad del aire en las zonas urbanas, sino también en su implicación en la química de la atmósfera a nivel troposférico, especialmente en el papel titular que desempeñan en la formación de contaminantes secundarios perjudiciales para el ser humano, tales como ozono y ácido nítrico.[5]

Los NOx diferencian una química diurna y una química nocturna. La fuente dominante de los óxidos de nitrógeno en el aire son los procesos de combustión, en su mayor forma como monóxido de nitrógeno (NO). Éste es oxidado a dióxido de nitrógeno, según la reacción siguiente:

$$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$$

La tasa de esta reacción es fuertemente dependiente de la concentración de NO, de tal modo que para valores altos de NO, situados principalmente en focos de emisión, la conversión a NO_2 es rápida, pero si los niveles de NO son bajos la tasa de reacción disminuye notablemente.

Así mismo, bajo condiciones troposféricas, la reacción señalada no es significativa, constituyendo la reacción entre NO y ozono (O_3) la vía principal de producción de NO_2: $NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$

Durante las horas de luz diurnas, el NO_2 sufre un proceso de reconversión a NO, como resultado de la fotólisis, permitiéndose en igual manera la generación de O_3:

$$NO_2 + h\nu\ (290\ nm < \lambda < 430\ nm)\ NO + O^*$$

$$O^* + O_2 \longrightarrow O_3$$

donde:
O* oxígeno atómico
M corresponde con una tercera molécula (nitrógeno molecular, N_2, oxígeno molecular, O_2).

Las concentraciones necesarias de dióxido de nitrógeno para la producción de ozono, son 0,02 ppb y 0,03 ppb de NO_2.

Aunque la mayoría de los procesos oxidativos son iniciados por la presencia de la luz solar, existen procesos oxidativos significativamente potenciales que pueden ocurrir durante la noche. Estos procesos no pueden generar O_3, pero generan otra serie de contaminantes secundarios, incluido H_2O_2.

Una vez generado NO_2, éste en el ciclo nocturno no es capaz de fotodisociarse por ausencia de luz solar, según la reacción y ni de reaccionar con ozono,

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 Godish, Thad. 1997. Air Quality. Third Edition. Lewis Publisher. New York. USA.
5 Galán M, D., et al; 2006. Implicación de los NOx la química atmosférica. Madrid, España.

debido a sus bajos niveles, según la reacción. Por tanto, el NO_2 en el ciclo nocturno, reacciona con el NO_3 para generar pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5), el cuál reacciona con agua para generar ácido nítrico (HNO3), componente importante de la lluvia ácida.

$$NO_3 + NO_2 \rightarrow N_2O_5$$

$$N_2O_5 + H_2O \rightarrow 2HNO_3$$

Las concentraciones locales de los contaminantes del aire dependen de la magnitud de las fuentes y la eficiencia de la dispersión. Así, las variaciones cotidianas en las concentraciones están más afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud de las fuentes, principalmente por la variable viento, toda vez que la temperatura tiene un efecto considerable sobre la salud, pero la humedad no ejerce una influencia considerable sobre la toxicidad de los contaminantes gaseosos. De otro lado, a mayor altitud, la presión parcial de oxígeno se reduce y la inhalación se incrementa como compensación. Para partículas, esta mayor inhalación conducirá a una mayor ingesta de partículas transmitidas por el aire. Por otro lado, para contaminantes gaseosos, no se espera ningún aumento en los efectos respecto a aquellos esperados en el nivel del mar.

En términos generales, 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* [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.

Actualmente, el monitoreo se realiza en sitios seleccionados como representativos de la localidad de tal manera que cubren características de área urbana, industrial, residencial, comercial, de exposición de la población o áreas de influencia.

De otro lado, otros programas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) refieren que antes del establecimiento de redes de monitoreo, se hagan muestreos previos en algunos puntos de la zona a evaluar. Adicionalmente a ello, los datos de emisiones de contaminantes (inventarios), información meteorológica y topográfica y la aplicación de modelos de difusión, permitirán la identificación de posibles sitios críticos o conocidos como Hot Spots en los cuales se debe localizar una estación de monitoreo. Esta es la tendencia más moderna para identificar sitios fijos para localizar estaciones de monitoreo.

Las redes fijadas a largo plazo permitirán documentar tendencias de la contaminación del área de estudio. Así mismo es posible la combinación de muestreadores pasivos, con activos y automáticos. Actualmente se le está dando bastante importancia al empleo de tubos de difusión (pasivos) para los diagnósticos preliminares de redes de monitoreo.

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

[6] Martínez, P., et al. 2004. Introducción al monitoreo atmosférico. México.

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.

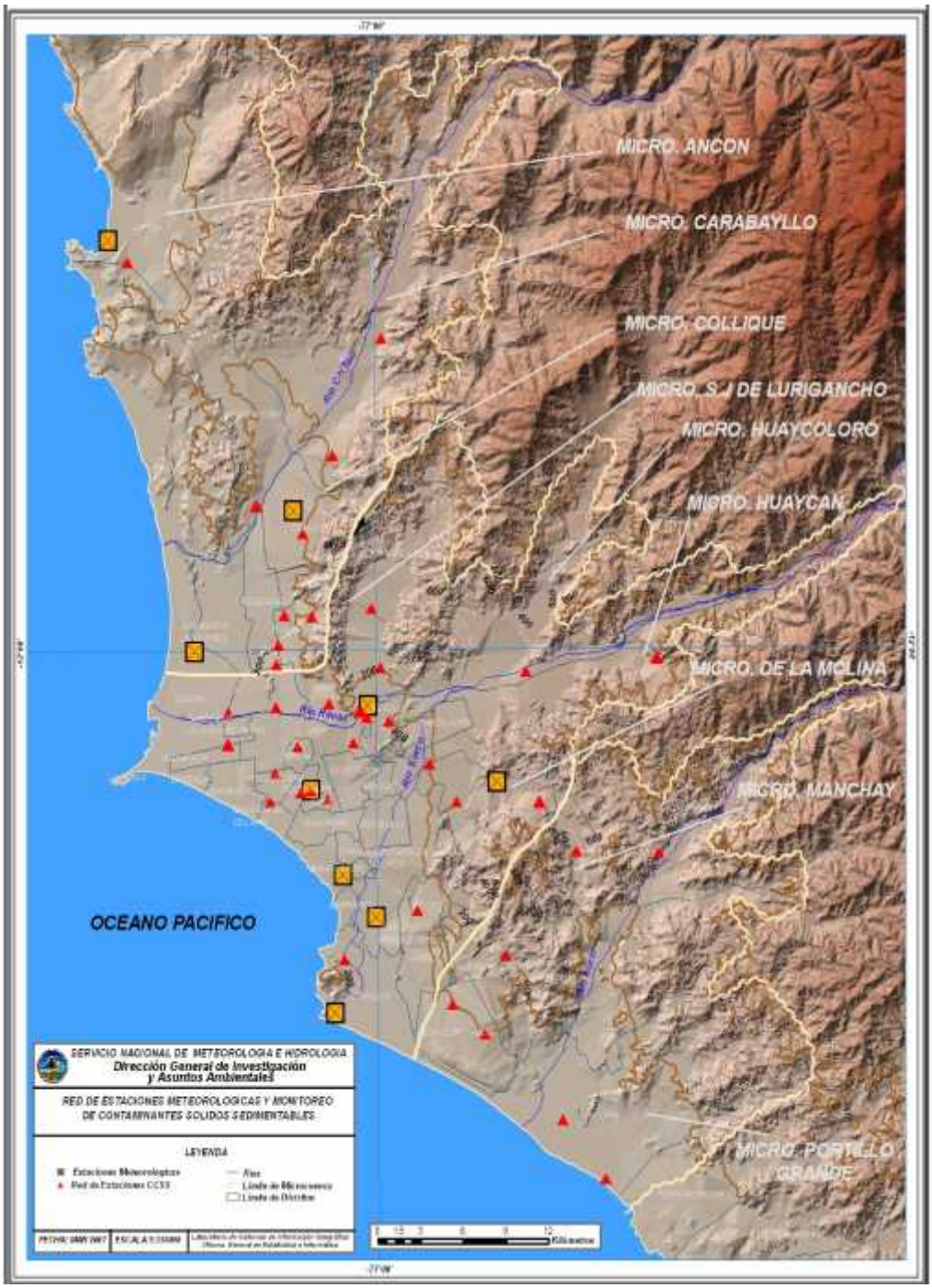


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la zona metropolitana de Lima-Callao

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 julio 2007, el 58 % 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 9,7 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 julio fueron inferiores a los registrados el mes de junio. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Ate Vitarte con 26,0 t/km^2.mes, y el mínimo de 2,9 t/km^2.mes en Bellavista. La dirección predominante de los vientos de SW y WSW 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 por encima del nivel permisible.

Cuadro N° 1. *Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: junio y julio 2007 (t/km^2.mes)*

Conc t/km².mes	N° est.	% de estaciones Sobrepasan nivel ref.	Núcleos principales (puntuales y promedios)				X t/km².mes	Máx t/km².mes	Mín t/km².mes
			Cono Norte	*Cono Centro-este*	*Cono Sur-este*	*Cono Sur*			
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)
Julio 2007	38	58	18,6 (P. Piedra)	17,5 (El agustino, El Cercado; Lurigancho)	14,1 (Pachacamac)	19,4 (V.M.T.; Lurín)	9,7	26,0 (A. Vitarte/ Huaycán)	2,9 (Bellavista)

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

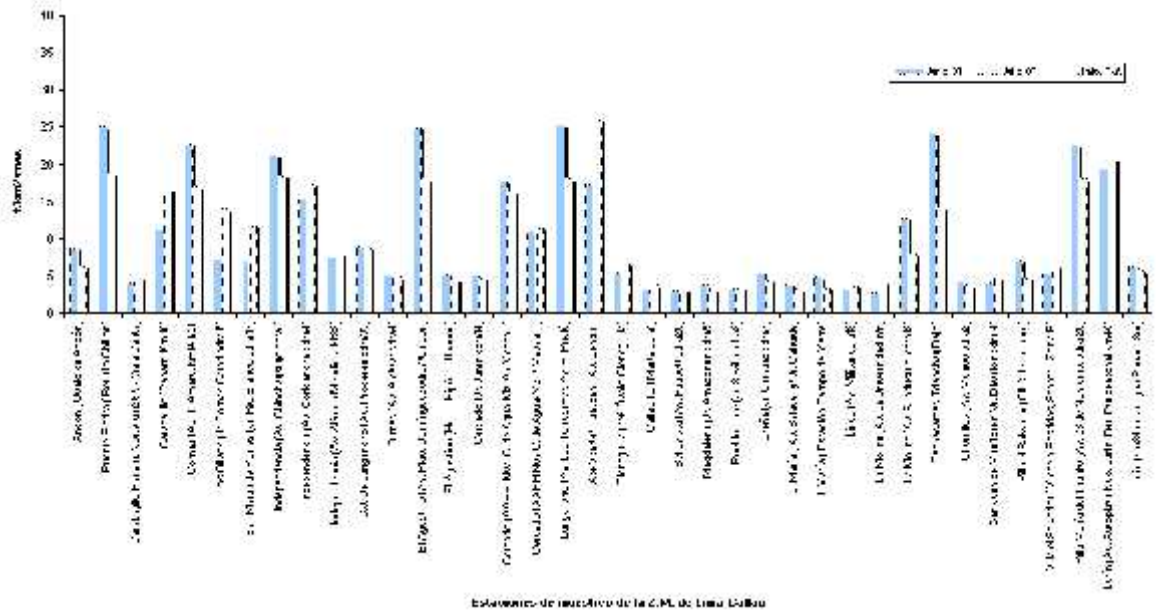


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en junio y julio 2007 en Lima-Callao

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, ello en interacción con las condiciones meteorológicas que se presentaron

durante julio, facilitaron la configuración de persistentes zonas críticas de alta contaminación en Lima-Callao, aunque con una media inferior a la del mes anterior, pero 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 18,6 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 núcleo en el distrito de Ate Vitarte (Huaycán) de 26 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 14,1 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 18,0 y 20,7 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 julio 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), cuya dinámica de los ciclos diurnos y nocturnos es químicamente compleja.

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 144,6 ppb y de NO_2 de 35,4 ppb, ocurridos el 13 de julio a las 20:00 horas y 11 de julio a las 22:00 horas, respectivamente; y mínimos horarios en horas de la madrugada. El valor medio del mes del gas dióxido de nitrógeno (NO_2) fue de 16,8 ppb, inferior al mes de junio de 22,6 ppb.

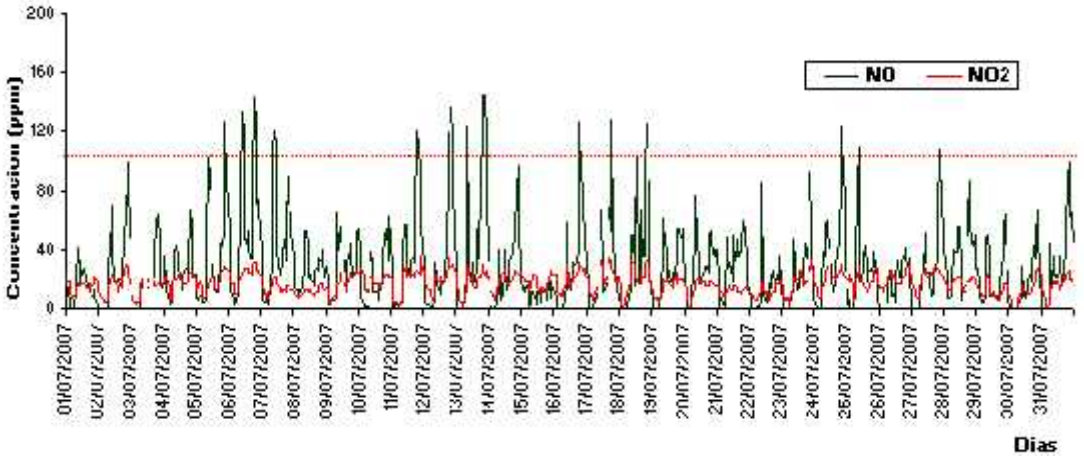


Figura 4. Concentración horaria de óxidos de nitrógeno en la Estación de calidad de aire SENAMHI - Julio 2007

El máximo valor horario registrado en el período de estudio para el NO_2 (35,4 ppb) correspondió al 34 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora, equivalente a 104,6 ppb (200 ug/m^3). Debe siempre resaltarse que no sobrepasar un valor estándar, no garantiza que la calidad del aire de los alrededores sea buena y que no se esté afectando la salud, por ello, debido a que es ésta la mejor indicadora del grado de significancia de las concentraciones de un contaminante en la atmósfera, 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 julio, el 63,1 % de los datos (735 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 52,3 ppb (09:00 horas) y 21,4 ppb (10:00 horas), respectivamente para cada gas; y de 60,1 ppb (20:00 horas) y 22,8 ppb (21:00 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 , según se explicó líneas arriba, la concentración del NO_2 está en función de la concentración del NO, el cual es producto de la combustión.

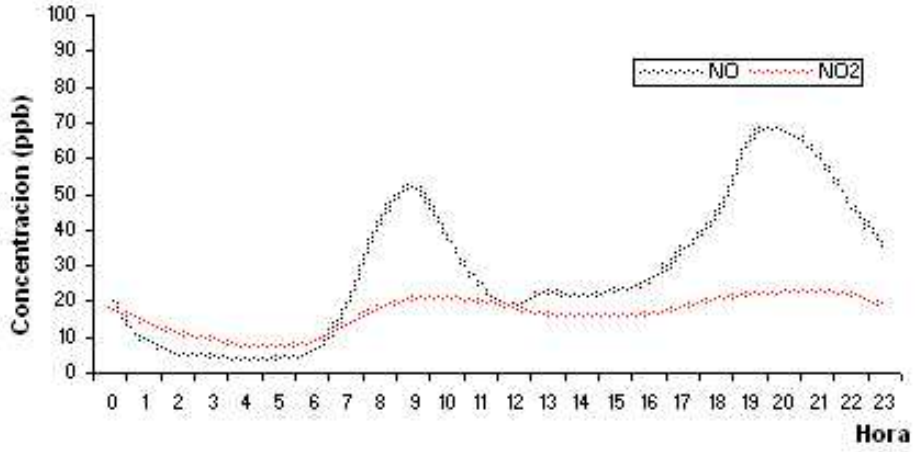


Figura 5. Concentraciones media horarias de NOx en la Estación de Calidad del aire SENAMHI – Julio 2007

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 martes y miércoles (33,9 y 35,4 ppb), respectivamente. Mientras que descendieron hacia el fin de semana con concentraciones máximas de 26,1 y 25,2 ppb, respectivamente. Para el día domingo se registraron en promedio menores concentraciones (13,8 ppb).

Cuadro N° 2. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) – Julio 2007

Día	máximo	dia	hora	minimo	dia	hora	promedio
Lunes	32.3	01/07 - 23/07	19:00 - 22:00	0.2	23/07	05:00	16.3
Martes	33.9	17/07	17:00	0.9	31/07	04:00	17.4
Miércoles	35.4	11/07	22:00	1.5	18/07	03:00	18.4
Jueves	33.4	12/07	18:00	4.4	3/07 - 19/07	02:00 - 03:00	18.3
Viernes	31.2	06/07 - 18/07	19:00 - 21:00	1.2	20/07	04:00	18.8
Sábado	26.1	06/07 - 14/07	11:00 - 21:00	5.0	21/07	05:00	15.6
Domingo	25.2	05/07 - 15/07	19:00 - 21:00	5.2	14/07 - 22/07	04:00 - 05:00	13.8

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 julio. En éste se observa que el valor representativo de la mediana del NO_2 es de 17,7 ppb para toda la semana 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 fue mayor para los días lunes y miércoles (12,7 y 10,2 ppb); mientras que para el día domingo presentó una menor variabilidad con un rango intercuartílico de 7,4 ppb. Se observa además, que el comportamiento del NO_2 a lo largo de la semana no presentó 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.

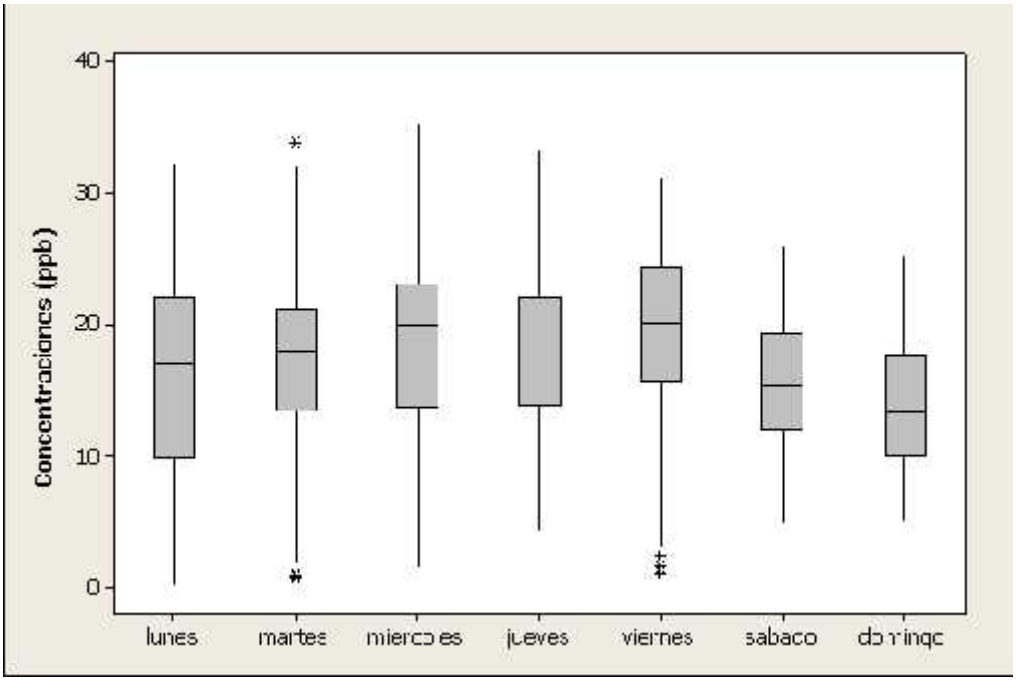


Figura 6. Gráfico de cajas semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno Julio 2007

3.3 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de julio 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 julio 2007 se caracterizó por la predominancia de nubosidad estratiforme baja con su base entre 300 a 600 m.s.n.m, mostrando la influencia del fenómeno de subsidencia debido a la intensificación del Anticiclón del Pacífico sur, el mismo que reforzó la advección de aire frío y por lo tanto el fortalecimiento del afloramiento marítimo frente a la costa sudamericana (Chile y Perú), fenómenos que en conjunto inducen a la intensificación del fenómeno de inversión térmica que ha alcanzado su máxima manifestación en el presente mes, con su base en promedio alrededor de los 800 m.s.n.m., dando como resultado, la formación de la ya mencionada capa de nubosidad estratiforme por debajo de la base de dicha inversión y las condiciones de cielo cubierto todos los días y escaso brillo solar durante el mes en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, inclusive en los distritos del este y con persistente fina garúa durante casi todos los días pero con mayor frecuencia en horas de la mañana y al atardecer, especialmente 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 13,1 °C en La Molina a 23,0 °C en El Callao y la mínima fluctuó entre 11,2 °C en La Molina a 16,6 °C en Ancón; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 15,0 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 81 % en Comas a 100 % en La Molina y Surco; y la mínima osciló entre 53 % en El Callao a 93 % en Ancón (ver **figuras 8 a, b y c)**; la humedad relativa media fue de 87 %. 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 y lloviznas prolongadas durante la noche y primeras horas de la mañana.

- Con respecto al análisis horario de la información, los valores mínimos de la temperatura del aire se registraron de manera predominante entre las 5:00 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 16:00 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 Campo de Marte, Lima Este, y Las Palmas, señala el día 31 de julio como el más cálido con una máxima media de 16,4 ° C y el día 27 como el más frío con un valor de 14,1° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 4 con la mínima media de 80 %, y el más húmedo el 27 de julio (93 %). Ver **Figura 9**.

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de julio 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 SSW y SW (30 y 23 %); Comas del SW, SSW y WSW (44, 21, 17 %); El Callao del S y SSW (37 y 12 %); El Cercado del SSW, W y SW (24, 18 y 14 %); Jesús María del SW y WSW (37 y 23 %); y Surco del SSE, S, y WSW (28, 19 y 14 %). Intensidades medias moderadas se registraron en La Molina (4,4 m/s), provenientes del WNW y W (41 y 33 %), respectivamente. Se registraron ocurrencias de calmas superiores al 10% en El Callao (22 %), El Cercado (32 %) y Jesús María (22 %) .

Las distribuciones de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 10a**. Así, predominaron intensidades principalmente débiles, con excepción de La Molina (moderadas).

- 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 S (53 y 13 %), SW, y SSW (37 y 33 %), S y SSE (48 y 16 %), SSW, SW y S (19, 13 y 11 %), SW y WSW (23 y 21 %), del W y WNW (27, 26 %) y del SE, SSE y S (41, 19 y 15 %). Ocurrencia significativa de calmas (> 10 %) se registraron, en el Callao (22 %), El Cercado (37 %) y Jesús María (32 %).

  Las distribuciones de frecuencias de intensidades del viento superficial se presentan también en la **figura 10b**. Predominaron intensidades en promedio débiles en las estaciones analizadas.

D. Del perfil de la troposfera

De acuerdo a la vigilancia sinóptica, la evolución de los sistemas meteorológicos y sus interacciones que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el anticiclón del Pacífico suroriental continuó intensificándose con una anomalía en promedio de +8 hPa para el mes de julio. El comportamiento presentado por el mencionado anticiclón implica la persistente advección de aire frío paralelo a la costa peruana y por lo tanto la intensificación del afloramiento marino. En consecuencia, la inversión térmica ha alcanzado su máxima intensidad dentro del ciclo anual con su base alrededor de los 800 msnm, lo que indujo también al incremento de nubosidad baja de tipo estratiforme durante todo el mes con base entre 300 a 600 msnm; descenso de la temperatura media del aire y disminución de su oscilación diaria de 14,1 a 16,4ºC; vientos locales de intensidades débiles y calmas, alta humeda relativa y complementados con persistente presencia de fina garúa; condiciones éstas que limitaron el fenómeno de turbulencia y por lo tanto los procesos de resuspensión, lo que se manifiestó en una disminución del polvo atmosférico sedimentable, con perspectivas a mantenerse en similares niveles durante el mes de agosto.

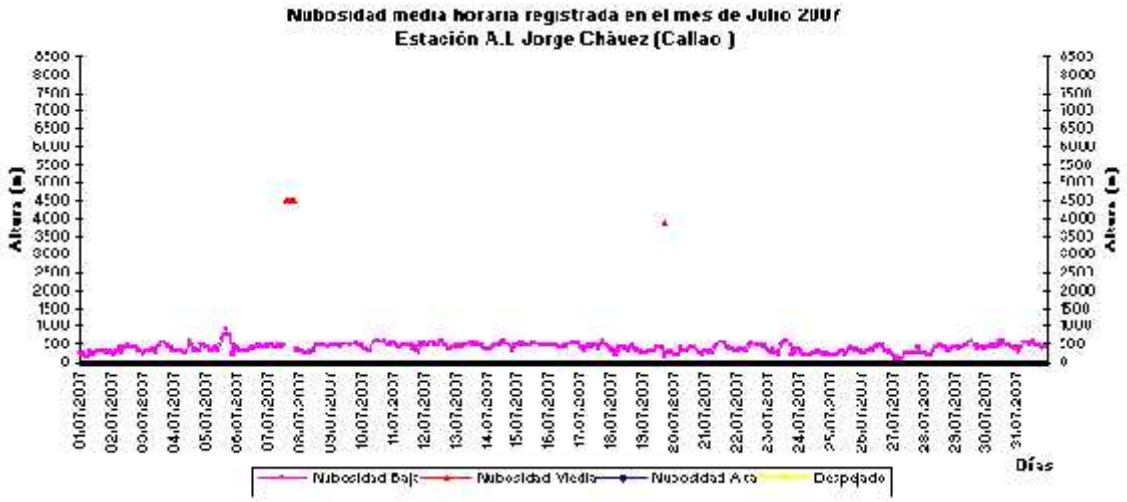


Figura 7. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez julio 2007

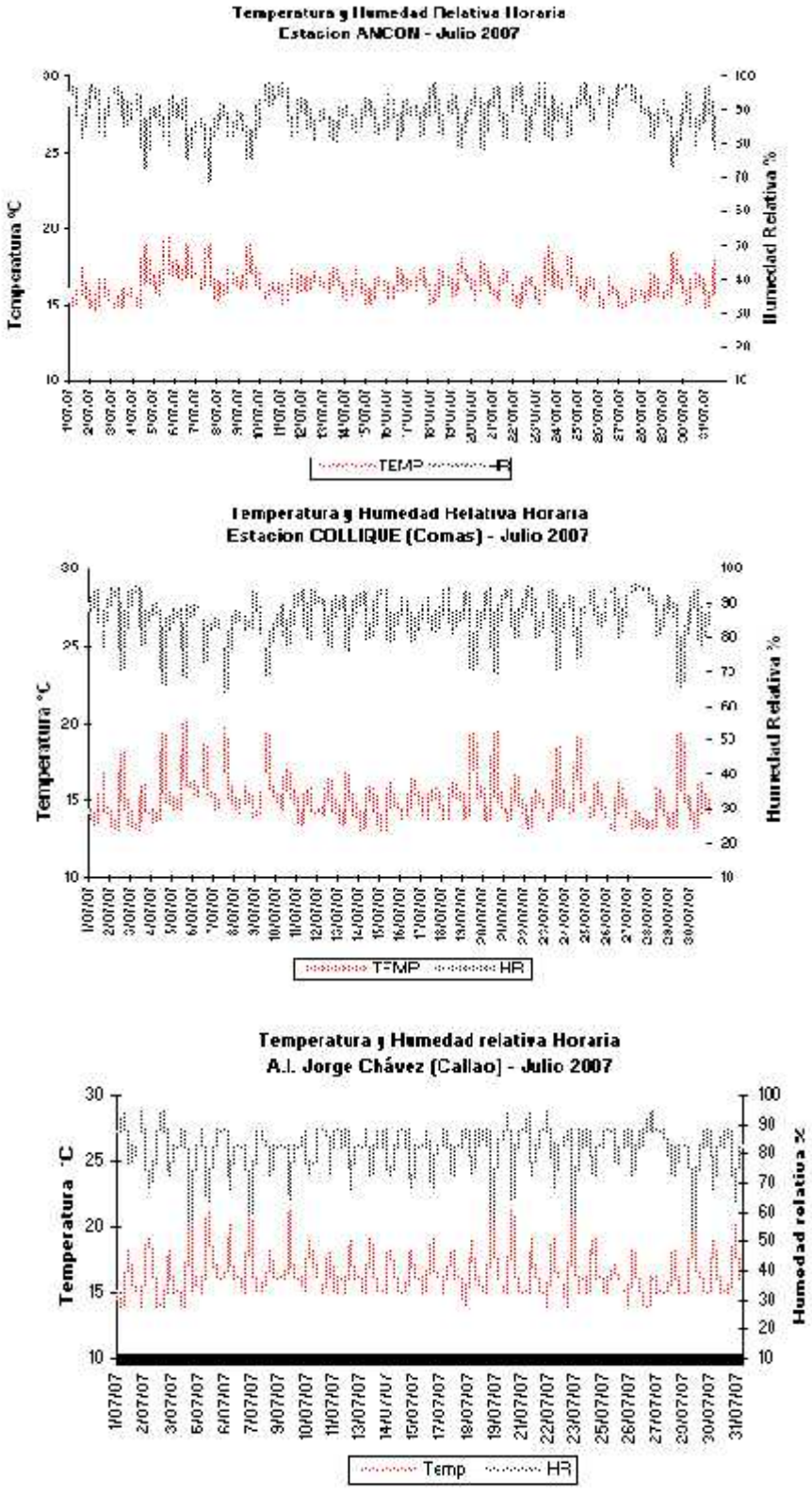
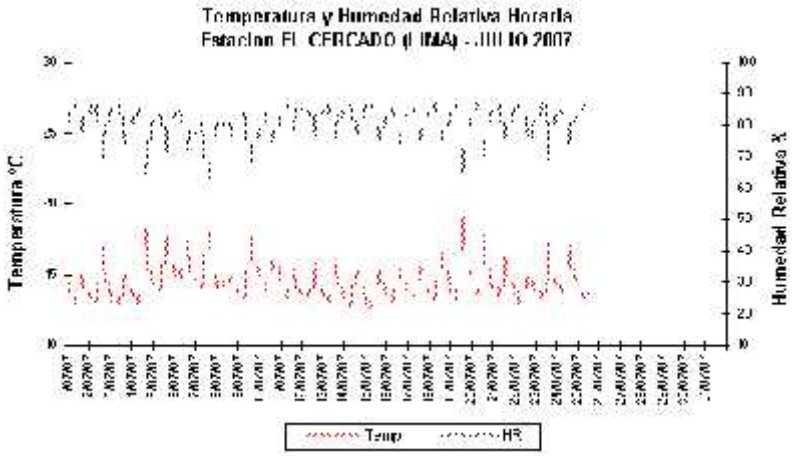
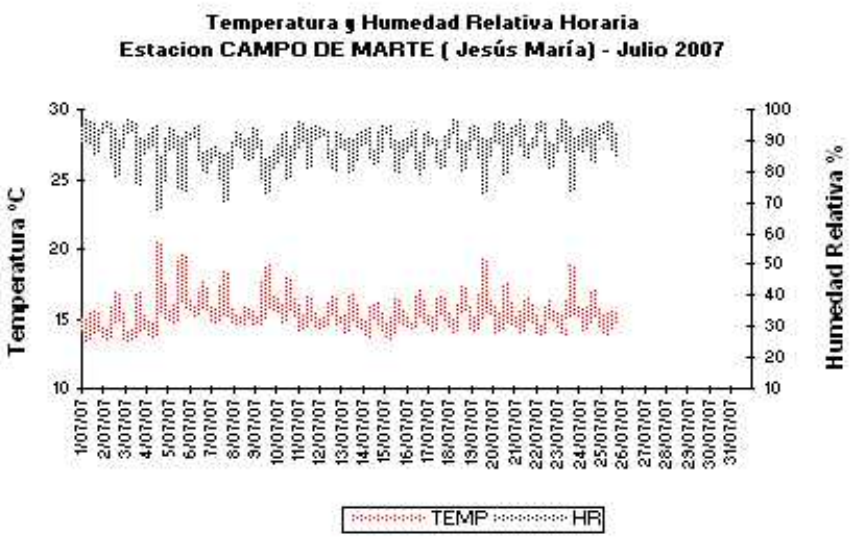


Figura 8a.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2007 Ancón, Comas y El Callao





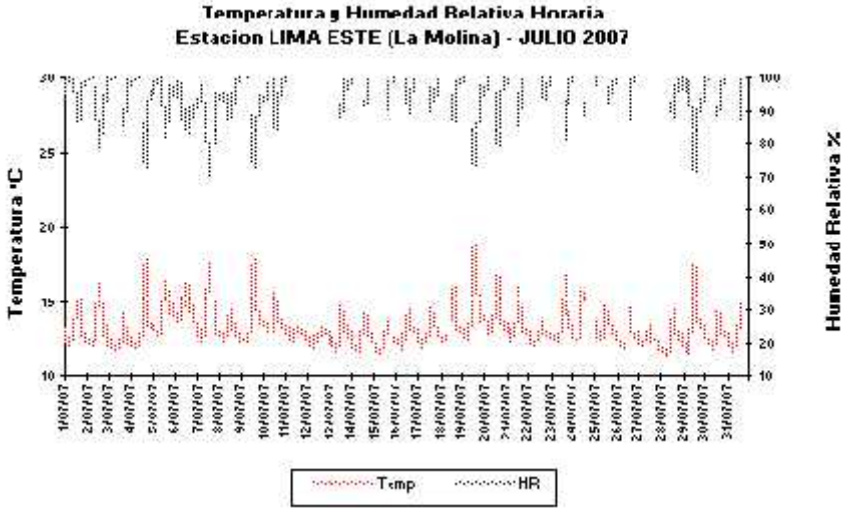


Fig.8b.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2007 El Cercado, Jesús María y La Molina

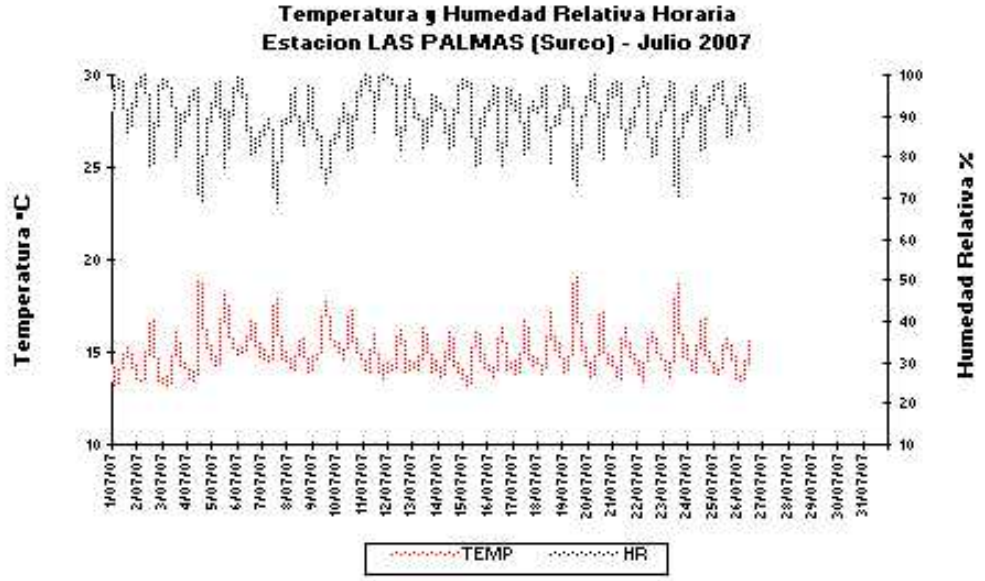


Fig.8c.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2007 en Santiago de Surco

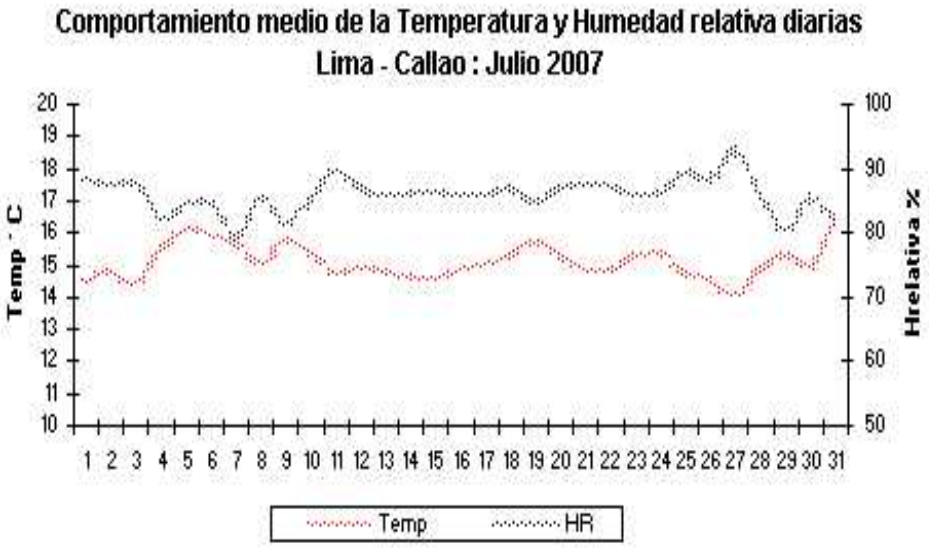
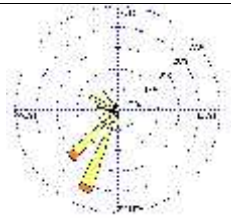
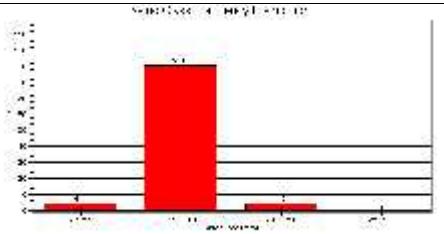
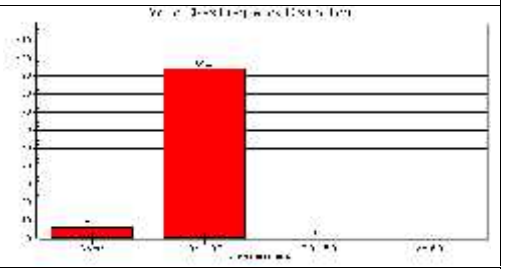
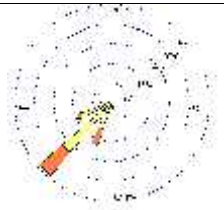
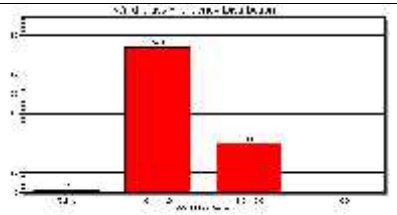
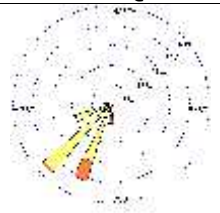
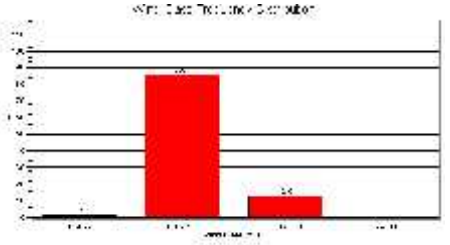
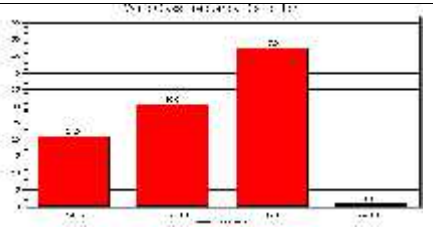
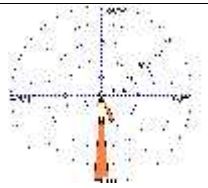
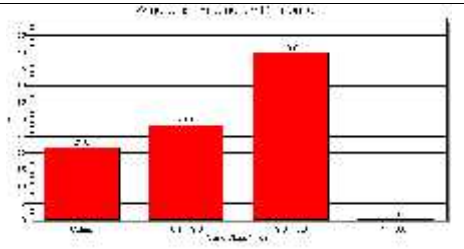
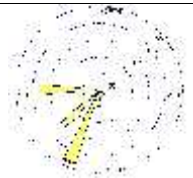
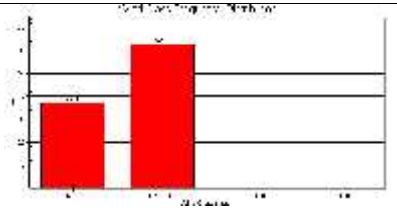
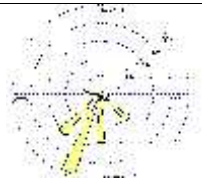
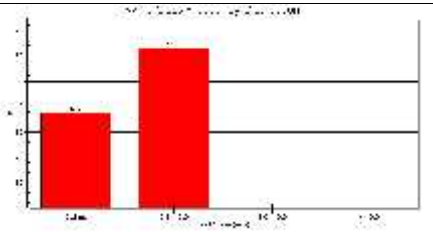


Figura 9. Comportamiento medio de la Temperatura y Humedad relativa diaria del mes de Julio del 2007 de Lima - Callao

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			
			

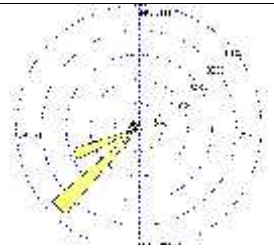
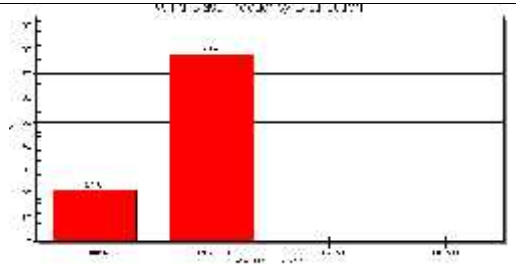
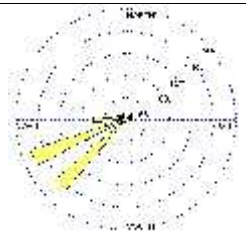
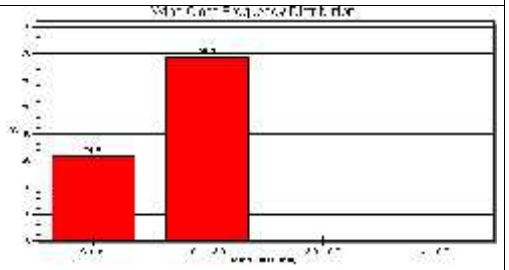
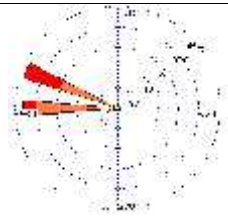
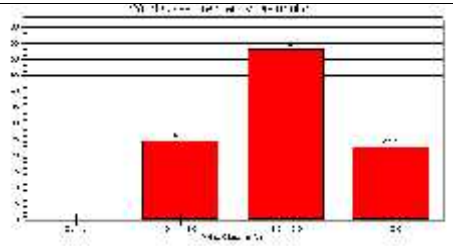
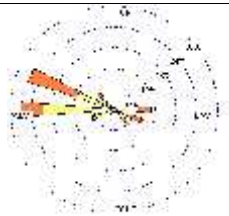
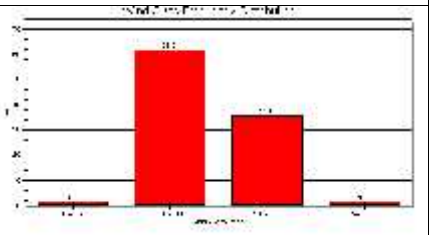
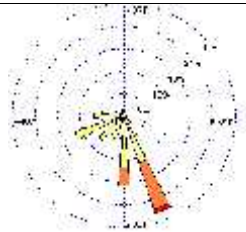
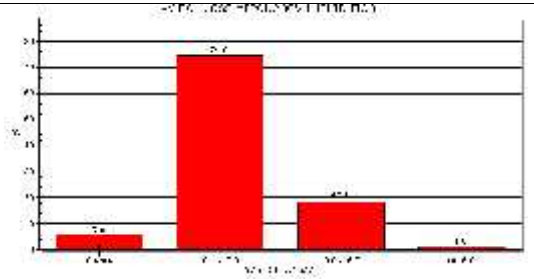
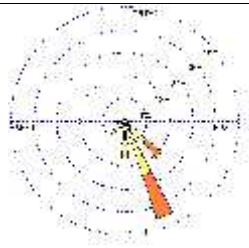
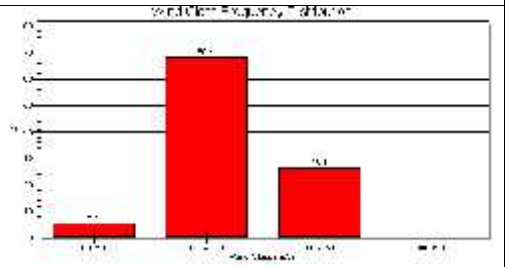
ROSAS DE VIENTO DIURNAS		ROSAS DE VIENTO NOCTURNAS	
ESTACIÓN AUTOMÁTICA CAMPO DE MARTE			
			
ESTACIÓN AUTOMÁTICA LIMA ESTE			
			
ESTACIÓN AUTOMÁTICA LAS PALMAS			
			

Fig10b – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesús María, La Molina y Surco - Julio 2007

4. **Perspectivas Ambientales**: Del Polvo Atmosférico Sedimentable

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para agosto, el comportamiento de la base de la inversión térmica y las tendencias proporcionadas por modelos estadísticos, se prevé para el próximo mes que las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable en promedio se mantengan en niveles similares.

Para una tendencia más puntual, se recoge el comportamiento referencial de 5 estaciones de la red de Lima y Callao; éstas han sido elegidas considerando su ubicación representativa y/o amplia data histórica, son: Lima Norte (Independencia) con 19,8 t/km^2/mes, Lima Centro (Cercado I) con 4,6 t/km^2/, Lima Este (Cercado II/ zona este) 17,1 t/km^2/mes, Lima Oeste (Callao) con 3,7 t/km^2/mes y Lima Sur (VMT) 20,3 t/km^2/mes; todas con valores de similares respecto a julio, pero por encima del nivel referencial permisible de la OMS, con excepción de Lima Centro y Lima Oeste, el primero explicado en la naturaleza del contaminante (partículas gruesas sujetas a fuerzas gravitatorias) y el segundo a la influencia de las brisas marinas, principalmente.

5. Conclusiones

- ✓ Para el mes de julio, las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron inferiores en los principales núcleos a los registros del mes de junio. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 18,6 t/km^2.mes; el segundo en Lima centro-este con un valor de 26 t/km^2.mes; el tercero en Lima sur-este con 14,1 t/km^2.mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 18,4 t/km^2.mes.

- ✓ El 58 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 9,7 t/km^2.mes, valor inferior al del mes anterior de 10,4 t/km^2.mes; el valor máximo registrado fue de 26,0 t/km^2.mes en Ate Vitarte y el mínimo de 2,9 t/km^2.mes en Bellavista.

- ✓ Los óxidos de nitrógeno (NOx), correspondientes al NO y NO_2, presentaron una media horaria mensual de 16,8 ppb y un registro máximo horario de NO de 144,6 ppb y de NO_2 de 35,4 ppb ocurridos en horas de la noche; y mínimos en horas de la madrugada. El máximo valor horario NO_2 correspondió al 34 % 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 52,3 y 21,4 ppb, respectivamente, en horas de la mañana; y de 60,1 y 22,8 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 martes y miércoles (33,9 y 35,4 ppb); mientras que los días lunes y miércoles presentaron una mayor variabilidad en sus concentraciones. Hacia el fin de semana se registraron en promedio las menores concentraciones (15,6 y 13,8 ppb).

- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, fue predominante la nubosidad baja, de tipo estratiforme, entre 300 y 600 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 la alta humedad relativa y persistente fina garúa, en especial durante horas de la mañana y el atardecer, con mayor frecuencia en los distritos costeros.

- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en julio fueron de 15,0 ° C y 87 %. Así mismo, el día más cálido fue el 31 de julio con una máxima media de 16,4 ° C; y el día 27 como el más frío con un valor de 14,1 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 4 con la mínima media de 80 %, y el más húmedo el 27 de julio (93 %).

- ✓ 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 moderadas (4 m/s); mientras que en la noche se registraron intensidades débiles predominantemente del SSW y SW.

- ✓ Durante el mes de julio, la inversión térmica por subsidencia ha alcanzado su máxima manifestación en 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 advección de aire frío 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; fenómenos que en conjunto han ocasionado una significativa disminución de las concentraciones del polvo atmosférico respecto al mes anterior y con perspectivas de mantenerse en niveles similares durante agosto.