

**EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/JULIO-2008**

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

**INDICE GENERAL****RESUMEN**

1. Contaminación por Partículas en la ciudad de Lima-Callao.	3
2. Metodología.	3
3. Resultados del monitoreo ambiental.	7
4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable	16
5. Conclusiones.	16

**INDICE DE FIGURAS**

Fig. 1- Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable en la zona metropolitana de Lima-Callao.	6
Fig. 2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable registrados en mayo y Julio 2008 en Lima-Callao.	8
Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico Sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de Julio del 2008.	9
Fig. 4- Variación diaria semanal de las concentraciones de PM10 y PM2.5 en la Estación Meteorológica Campo de Marte, Jesús María - Febrero 2008	10
Fig. 5- Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez Julio 2007	13
Fig. 6- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de Julio del 2008 en el Carabaylo, Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana.	13
Fig. 7-Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en las estaciones de la Zona Metropolitana de Lima y Callao – Julio 2008.	14
Fig. 8- Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Ancón, Comas, el Callao, Jesús maria, La Molina, Surco y Pucusana Julio 2008	15

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro N ° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: mayo y Julio 2008.	7
Cuadro N ° 2. Concentraciones semanales de PM10 y PM2.5 registradas en la Estación Campo de Marte Jesús María, Julio 2008	10
Cuadro N ° 3. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable (t/km2.mes) para el mes de julio 2008	16

## EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO JULIO - 2008

### 1. Resumen

El boletín del mes de julio 2008 muestra los resultados de la evaluación del material particulado en relación a las condiciones meteorológicas registradas en la red automática de la Zona Metropolitana de Lima-Callao compuesta por las estaciones de Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana. En cuanto al primero, el polvo atmosférico sedimentable (PAS) registró una media similar a la del mes anterior de 12,3 t/km<sup>2</sup>/mes, máxima de 34,4 t/km<sup>2</sup>/mes en el distrito de Ate y mínima de 1,0 t/km<sup>2</sup>/mes en Pueblo Libre; para las partículas totales en suspensión su máxima concentración fue de 120,5 ug/m<sup>3</sup> y para las menores a 2.5 micras (PM2.5) fue de 110,2 ug/m<sup>3</sup> el día jueves; y las mínimas concentraciones fueron de 80,6 y 74,3 ug/m<sup>3</sup> el día domingo, respectivamente, superando éstas últimas, durante el 86 % del período evaluado, al ECA Nacional de Tránsito. En cuanto a los contaminantes gaseosos, los óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) presentaron concentraciones máximas que alcanzaron los 309,3 ppb y 82,6 ppb, respectivamente en las primeras horas de la mañana; la media del NO<sub>2</sub> fue de 18,4 ppb inferior al mes anterior; mientras que el dióxido de azufre tuvo un máximo valor de 33,8 ppb a las 8:00 horas. De acuerdo a la vigilancia sinóptica, la evolución de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el Anticiclón del Pacífico suroriental –APSO- con núcleo promedio de 1023 hPa, presentó un comportamiento variable, pero ya bordeando sus máximos valores propios de la estación invernal del hemisferio sur, con anomalías oscilando entre -1 a +10 hPa. Asimismo, el Anticiclón del Atlántico Norte –AAN- al acercarse a su máximo debilitamiento estacional, propio del verano del hemisferio norte y la migración de la Zona de Convergencia Intertropical hacia su posición estacional también del hemisferio norte, ambos influyeron en la disminución de los flujos de masas de aire húmedo del noreste y por lo tanto en la disminución y cese de las lluvias en la amazonía y costa norte de Perú. Como consecuencia de lo anterior, los vientos del sur a lo largo de la costa peruana, experimentaron variaciones, alcanzando máximas velocidades en la segunda década, donde hubo ingreso de masas de aire frías del sur que consecuentemente devinieron en días con cielo cubierto y largos periodos hasta de 36 horas con garúas en toda la Zona Metropolitana; asimismo, se intensificó el afloramiento marino que casi siempre es activo, disminución de la Temperatura Superficial del Mar – TSM-, intensificación del fenómeno de la inversión térmica por subsidencia, formación de nubosidad estratiforme densa bajo la base de la inversión, lo que limita el ingreso de radiación solar y la temperatura del aire está tocando sus mínimos valores de invierno. De este modo, las condiciones descritas y sus interacciones, propician la disminución de los fenómenos de turbulencia térmica y mecánica del aire, y así también de los fenómenos de suspensión y resuspensión del polvo atmosférico sedimentable, en Lima norte, Lima sur y desde la franja central norte-sur hacia el este en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, donde se observan las mayores concentraciones de este contaminante; en tanto que, en el distrito de Jesús María, los contaminantes gaseosos dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno se mantienen por debajo de los Estándares Nacionales correspondientes y las partículas PM2.5 por encima. Los distritos costeros que usualmente experimentan finas garúas en las mañanas y al atardecer, complementado con la influencia de las brisas marinas, usualmente, muestran las mejores condiciones ambientales.

### 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 44 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 Del monitoreo de partículas menores a 10 micras y menores a 2.5 micras (PM10 y PM2.5)

La información diaria de las concentraciones de partículas PM10 y PM2.5 se obtiene de equipos Minivol (flujo de 5 l/min) instalados en la estación meteorológica Campo de Marte (**figura 1**). El método de muestreo activo es el que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de laboratorio:** consiste en la preparación en laboratorio (gravimetría) de los filtros que serán expuestos durante 24 horas en campo.
- **Fase de campo:** consiste en la exposición de los filtros que han sido preparados en laboratorio; toma de datos de los flujos, tiempo acumulado y condiciones del tiempo al iniciar y culminar las 24 horas de exposición. De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental (EPA), se realizará el muestreo en campo cada 6 días, de tal manera de tener concentraciones representativas de todos los días de la semana del mes en curso. Para circunstancias particulares, se puede incrementar la frecuencia de muestreo. La bitácora de campo es fundamental durante el desarrollo de las actividades en el campo.
- **Fase de laboratorio:** por el método gravimétrico se determinan las concentraciones correspondientes para el material particulado menor a 10 micras y menor a 2.5 micras.
- **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.

## 2.3 Monitoreo de contaminantes gaseosos

La evaluación horaria, diaria y mensual de los gases contaminantes del aire (óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre) 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 de óxidos de nitrógeno API200E y dióxido de azufre 43i en la estación de calidad del aire SENAMHI. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232, Ethernet y Softwares API COM y iPORT. 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” y la R.D. N° 1404/2005/DIGESA/SA “Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos”.

## 2.4 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 Agua Azul (Carabaylo), Ancón (Ancón), Collique (Comas), automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), automática Campo de Marte ( Jesús María), automática Lima Este ( La Molina), automática Las Palmas ( Surco) y automática Punta Lobos (Pucusana), 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.

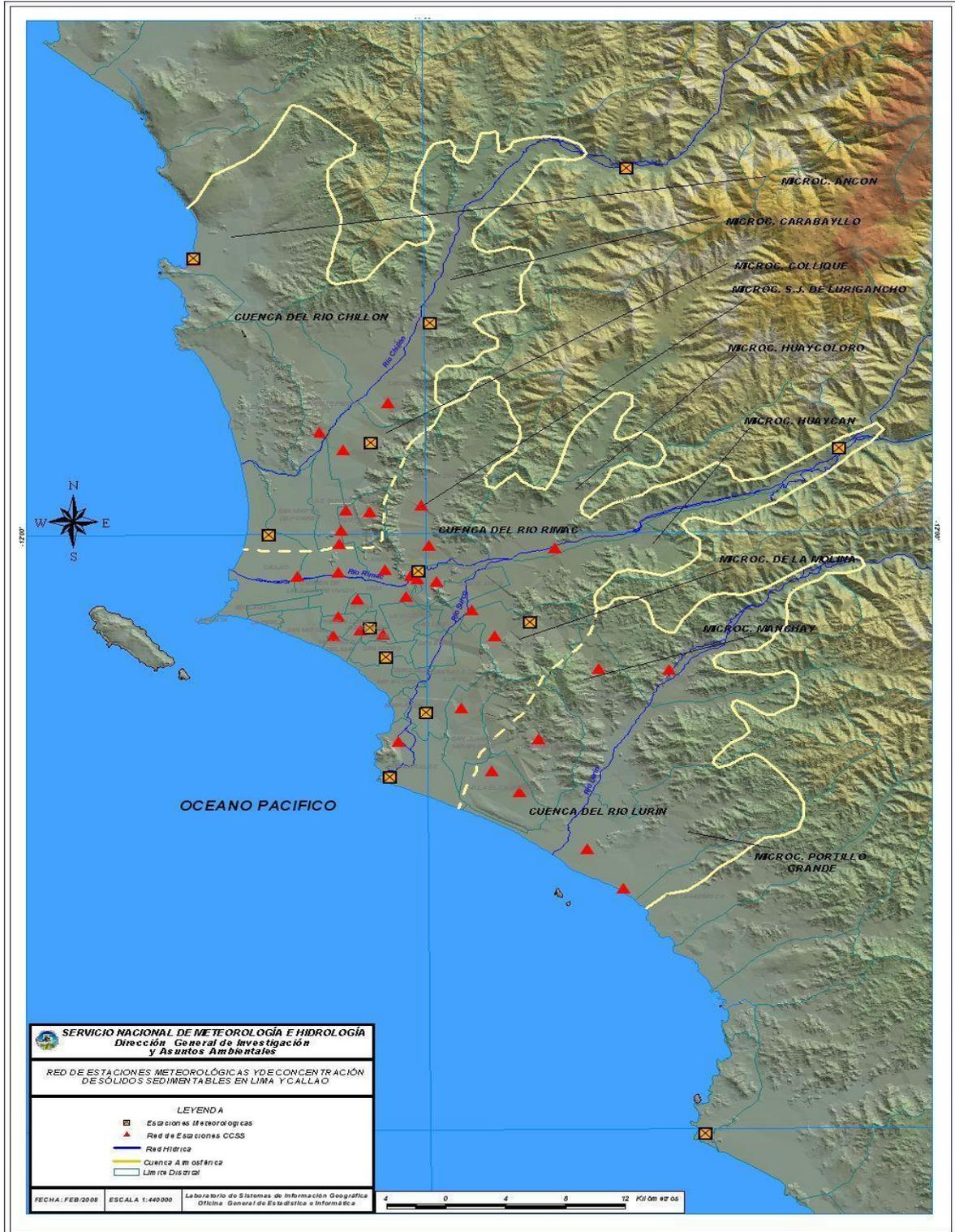


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

### 3. Resultados del monitoreo ambiental

#### 3.1. De las Partículas Totales en Suspensión: PAS, PTS y PM2.5

##### 3.1.1 Del Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS)

La evaluación del polvo atmosférico sedimentable se realiza en el ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao. La red compuesta de 43 estaciones de muestreo es presentada en la **figura 1**.

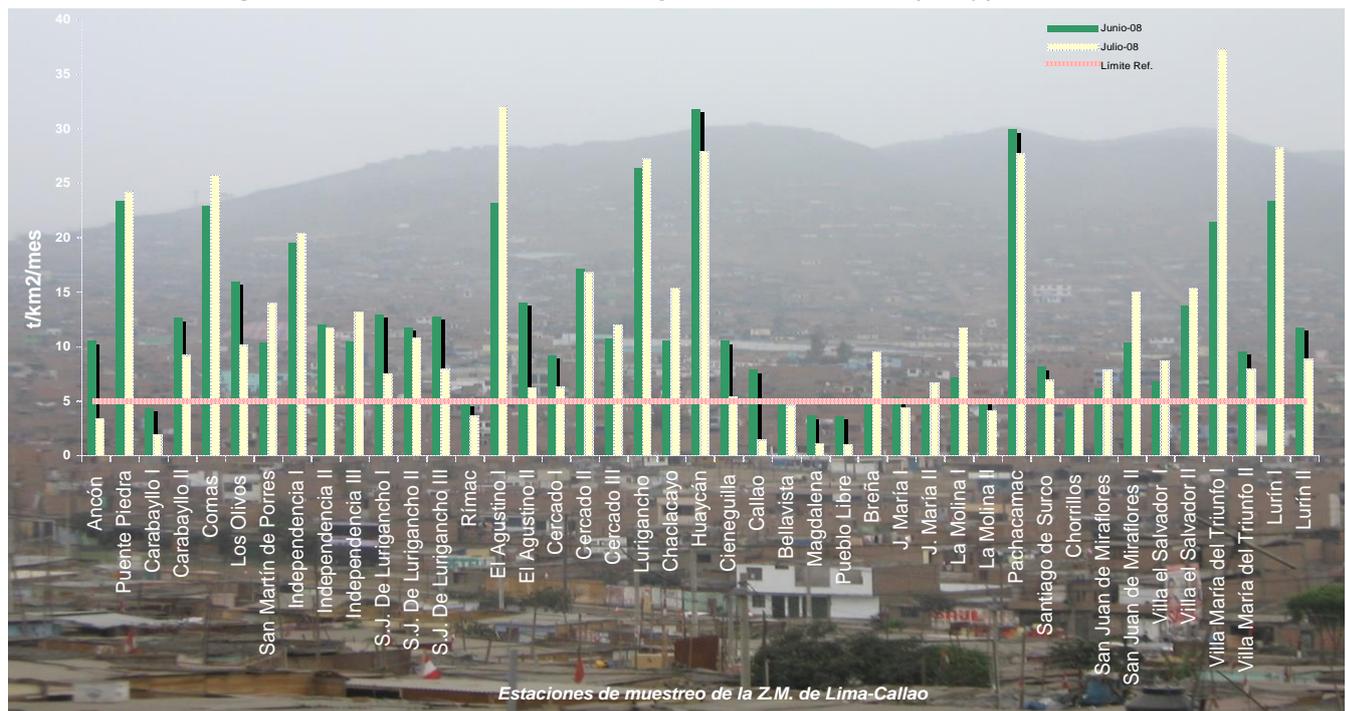
Durante el mes de julio, el 79 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km<sup>2</sup>/mes, con una media de 12,2 t/km<sup>2</sup>/mes, similar a la del mes de junio.

Los niveles de contaminación por polvo sedimentable en los principales núcleos fueron variables respecto al mes anterior; así, las concentraciones en promedio se incrementaron hacia el sur y sureste de la capital; mientras que hacia el norte se mantuvieron y hacia el centro-este disminuyó (ver **cuadro N° 1**). En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en la microcuenca de Huaycán con 31,8 t/km<sup>2</sup>/mes, y el mínimo de 3,6 t/km<sup>2</sup>/mes en Pueblo Libre. La dirección predominante de los vientos para las estaciones de la red meteorológica automática de SENAMHI varió durante las horas del día, siendo en promedio del Sur y WNW en horas matutinas; del SSW y WSW en horas vespertinas; y del S y W en horas nocturnas, con intensidades que oscilaron desde débiles a fuertes; éstos, en interacción con la rugosidad natural y artificial impuesta por las edificaciones, determinaron niveles medios ligeramente superiores a los registrados en mayo, siendo 2,5 veces superior al nivel permisible.

**Cuadro N° 1: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables junio y julio 2008 (t/km<sup>2</sup>.mes)**

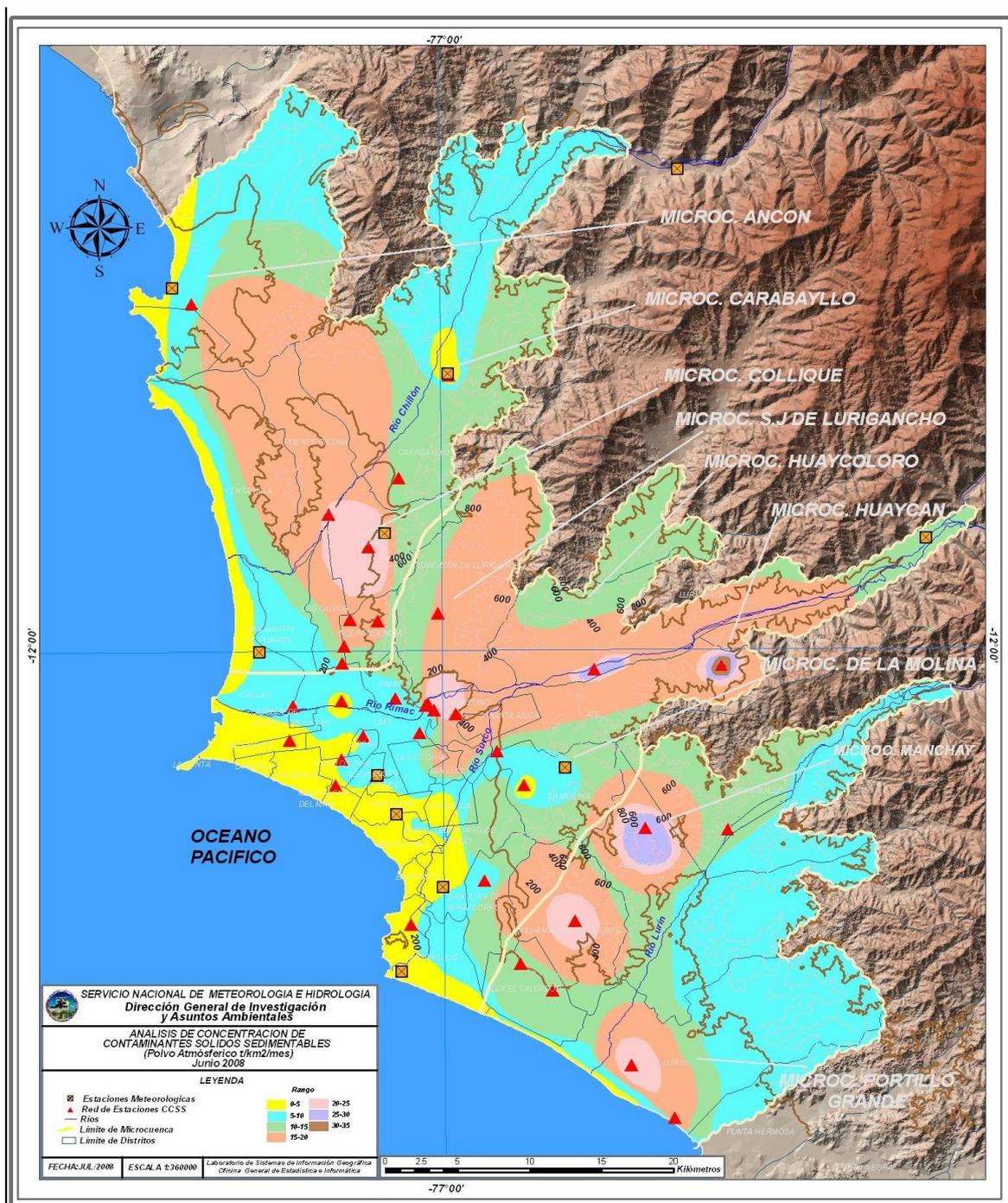
Conc t/km <sup>2</sup> . mes	N° est	% de estaciones Sobrepasa nivel ref.	Núcleos principales ( puntuales y promedios)				X t/km <sup>2</sup> /mes	Máx t/km <sup>2</sup> /mes	Mín t/km <sup>2</sup> /me s
			Lima Norte	Lima Centro-este	Lima Sur-este	Lima Sur			
Junio 2008	43	84	23,4 (Pte. Piedra)	24,6 (El Agustino, El Cercado, Ate, Lurigancho)	29,9 (Pachaca mac)	22,4 (V.M.T.; Lurín)	12,3	34,4 (Huaycán)	3,6 (P.Libre)
Julio 2008	43	79	24,2 (Pte. Piedra)	26,0 (El Agustino, El Cercado, Ate, Lurigancho)	27,7 (Pachaca mac)	32,8 (V.M.T.; Lurín)	12,2	37,3 (VMT)	1,0 (P.Libre)

En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de junio y julio 2008.



**Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en junio y julio 2008 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 con una postergada 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, con una media inferior y valores también inferiores en las zonas críticas respecto al mes anterior. 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, Carabaylo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Comas tiene un valor de 25,7 t/km<sup>2</sup>/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 en los distritos de El Agustino y Ate con valores de 32,1 y 27,9 t/km<sup>2</sup>/mes. El tercer centro ubicado en Lima sur-este tiene su núcleo en el oeste del distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay), comprende los distritos de Pachacamac, sureste de La Molina y suroeste de Cieneguilla, con valor de 27,7 t/km<sup>2</sup>/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 fraccionado en Villa María del Triunfo y Lurín con valores de 37,3 y 28,2 t/km<sup>2</sup>/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<sup>2</sup>.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 2008**

### 3.1.2 De las Partículas totales en suspensión y menores a 2.5 micras (PTS y PM2.5)

La información semanal registrada en el mes de julio por los muestreadores High Vol PTS y MiniVol PM2.5 instalados en la estación meteorológica Campo de Marte del SENAMHI, mostró su máxima concentración de Partículas Totales en Suspensión (PTS) de 120,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  el día jueves y de partículas menores a 2.5micras (PM2.5) de 110,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y mínimas de 80,6 y 74,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente, el día domingo, según se observa en el cuadro N° 2.

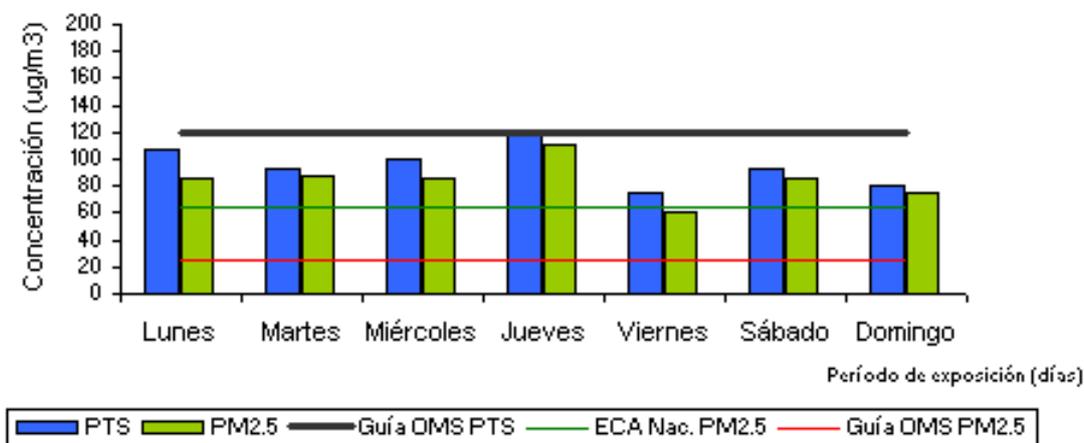
**Cuadro N°2. Concentraciones semanales de PTS y PM2.5 registradas en la Estación Campo de Marte Jesús María, Julio 2008**

Cont. (ug/m <sup>3</sup> )	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
PTS	106.7	93	100.5	120.5	74.9	92.5	80.6
PM2.5	86.6	86.9	85.3	110.2	61.2	86.3	74.3

Las Partículas Totales en Suspensión (PTS) incluyen en su composición a las PM10 y PM2.5. Por lo general, éstas provienen de fuentes diferentes y tienen mecanismos de formación distintos, aunque es probable que haya cierta superposición. La cercanía entre las concentraciones de PTS y PM2.5 se explica en que el principal aporte de las partículas para la zona evaluada corresponde a las provenientes del parque automotor, de por sí finas con centro carbonado, más no tanto a las gruesas derivadas de fuentes terrestres.

La variación diaria de las concentraciones de PTS es comparada con la Guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS) siendo superada sólo un día; las concentraciones de PM2.5 son comparadas con el Estándar de Calidad del Aire (ECA) Nacional de tránsito para el PM2.5, y se observa que el 85 % de los días, es superado. Ver **Figura 4**. La normatividad (guías) dada por la Organización Mundial de la Salud (25 ug/ m<sup>3</sup>) respecto a la normatividad nacional es mucho más exigente, sobrepasando los valores registrados en el 100 % de los días evaluados.

**Variación semanal de las concentraciones de material particulado PTS y PM2,5 en la Estación Campo de Marte, Jesús María**



**Figura 4.**

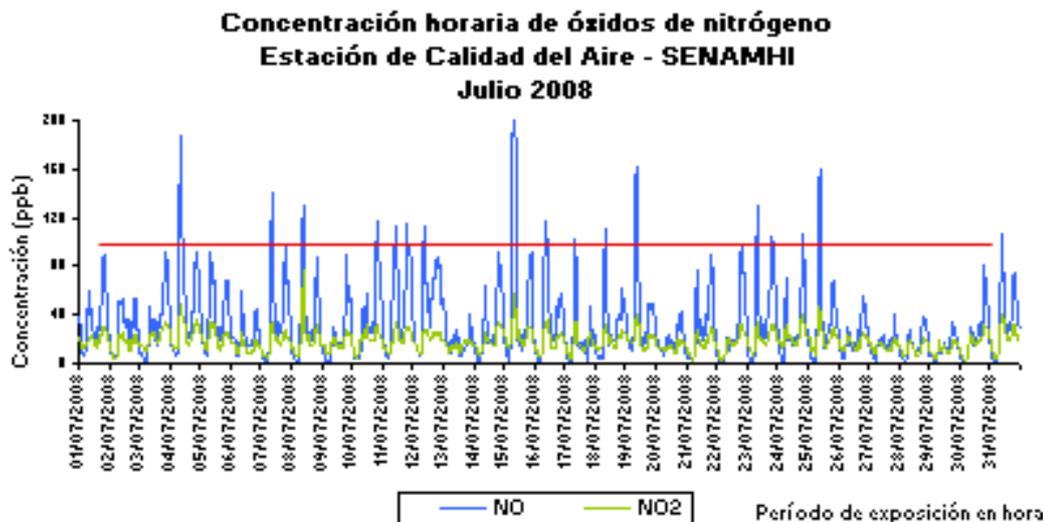
El material particulado fino PM2.5, según se mencionó líneas arriba, es el más peligroso para el ser humano. De los elementos presentes en ésta, el más peligroso es el carbón orgánico, debido a la acción cancerígena de algunos de sus compuestos y a las propiedades tóxicas de otros. El otro derivado, es conocido como "carbón elemental" y sobre éste se adhieren partículas de sulfatos, nitratos, amonio que, junto con la alta humedad atmosférica de la ciudad de Lima-Callao, generan la acidez del material particulado.

### 3.1.3 De los contaminantes gaseosos:

#### 3.1.3.1 Óxidos de Nitrógeno

El término genérico para denominar al óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) es el de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>).

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 5**, muestra registros máximos horarios de NO de 309,3 ppb y de NO<sub>2</sub> de 82,6 ppb, ocurridos el martes 15 de julio a las 08:00 horas y el martes 08 a las 8:00 horas; y mínimos horarios entre 0 y 2 ppb en horas comprendidas entre las 3 y 5:00 horas de la madrugada. El valor medio del mes del gas dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) fue de 18,4 ppb, inferior al de meses anteriores, propio de la dinámica del gas en interacción con las condiciones atmosféricas predominantes de altas temperaturas y menor humedad que favorecen los rápidos procesos de reconversión de NO<sub>2</sub> a NO como resultado de la fotólisis, permitiéndose a su vez la formación de ozono. Por ello, dadas las condiciones meteorológicas en todo el período de estudio, el 71 % de las veces la concentración de NO es superior a las concentraciones de NO<sub>2</sub>, salvo en horas de la noche, en donde éste no es capaz de fotodisociarse, por ausencia de luz solar, y tiende a acumularse y lentamente reaccionar con otros óxidos de nitrógeno tales como el NO<sub>3</sub>.



**Figura 5.**

El máximo valor horario registrado en el período de estudio para el NO<sub>2</sub> (82,6 ppb) correspondió al 70 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora, equivalente a 104,6 ppb (200 ug/ m<sup>3</sup>). Sin embargo, no sobrepasar un valor estándar, no garantiza que la calidad del aire de los alrededores sea buena si se analiza el ámbito de estudio; es necesario realizar muchas observaciones y buscar siempre representar lo mejor posible la influencia de las fuentes de los contaminantes sobre la calidad del aire y el impacto sobre la salud de los receptores. Además de la interacción entre los contaminantes y las condiciones meteorológicas presentes que pueden favorecer o no altas concentraciones, normalmente en microambientes si estos gases pueden superar los estándares.

El valor recomendado en las actuales directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para proteger a la población de los efectos nocivos del NO<sub>2</sub> gaseoso no ha cambiado con respecto a las Directrices anteriores.



**Figura 6.**

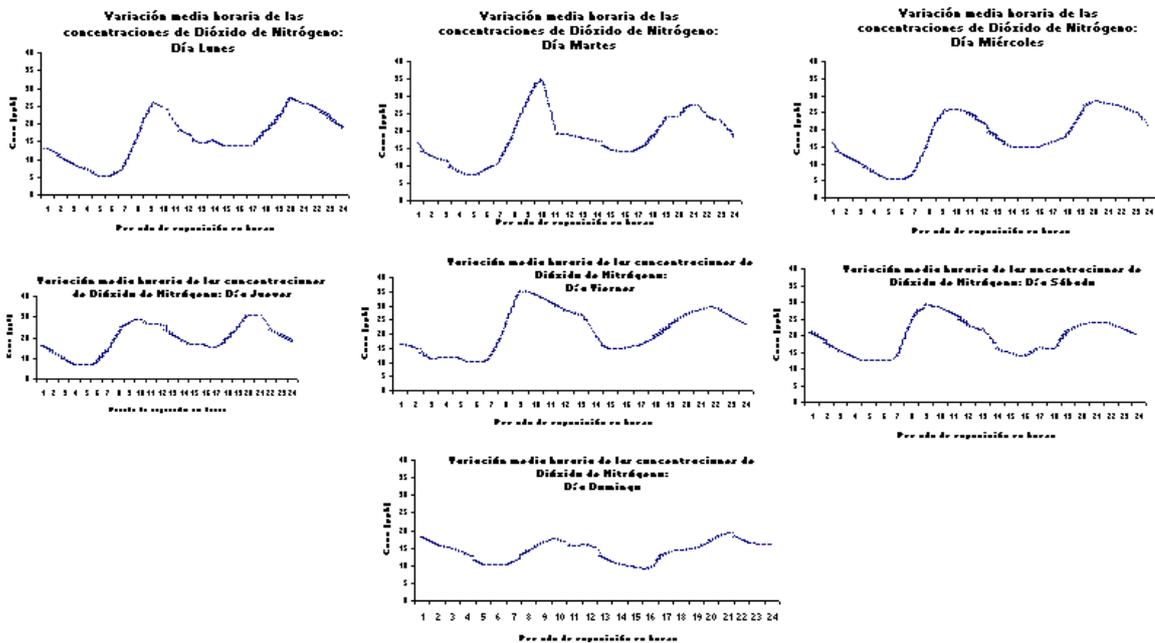
En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de los NO<sub>x</sub> presentadas en la **figura 6**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 74,7 ppb (08:00 horas) y 27,7 ppb (09:00 horas) y de 66,4 y 26,4 ppb a las 20:00 horas, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular. Según se explicó, el NO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>.

En el **Cuadro N° 3** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de NO<sub>2</sub>. Las mayores concentraciones se presentaron durante los días laborables, con máximos los días martes y viernes (76,3 y 48 ppb), respectivamente. Mientras que el día domingo se registró en promedio la menor concentración (14,5 ppb), mostrándose, de forma similar al comportamiento de otros contaminantes, su asociación al desplazamiento humano en donde las menores concentraciones se registran los días de menor actividad humana.

**Cuadro N° 3. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) – julio 2008**

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	35.0	07/07	8:00	3.2	21/07	5:00	16.5
Martes	76.3	08/07	9:00	2.4	22/07	4:00	18.4
Miércoles	37	16/07	10:00	1	30/07	4:00	17.6
Jueves	40.7	31/07	10:00	3.8	31/07	5:00	20.1
Viernes	48	04/07	09:00	6.6	25/07	5:00	21.4
Sábado	39.9	19/07	08:00	8.3	12/07	5:00	19.8
Domingo	24.9	06/07	09:00	7.7	06/07	14:00	14.5

Asimismo, en la **figura 7** se presenta el comportamiento medio de cada uno de los días de la semana del mes de mayo del dióxido de nitrógeno.



**Figura 7. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno – julio 2008**

### 3.1.3.2 Dióxido de Azufre

El dióxido de azufre es un contaminante del aire que provoca efectos negativos sobre la salud humana, principalmente sobre el sistema cardiovascular, sobre los ecosistemas, como la acidificación del agua y los suelos, y sobre los materiales.

La información registrada por el analizador modelo 43i en la estación de calidad de aire de la sede central del SENAMHI según la **figura 8**, muestra un registro máximo horario de 33,8 ppb, ocurrido el sábado 19 de julio a las 08:00 horas; y mínimos horarios de 0,1 ppb en horas comprendidas entre las 3 y 5:00 horas. El valor medio del mes del gas dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) fue de 5 ppb; respecto al mes anterior, la media es superior y ello se explica en las menores condiciones de humedad de la atmósfera que no favoreció reacciones químicas que redujeran las concentraciones del gas.

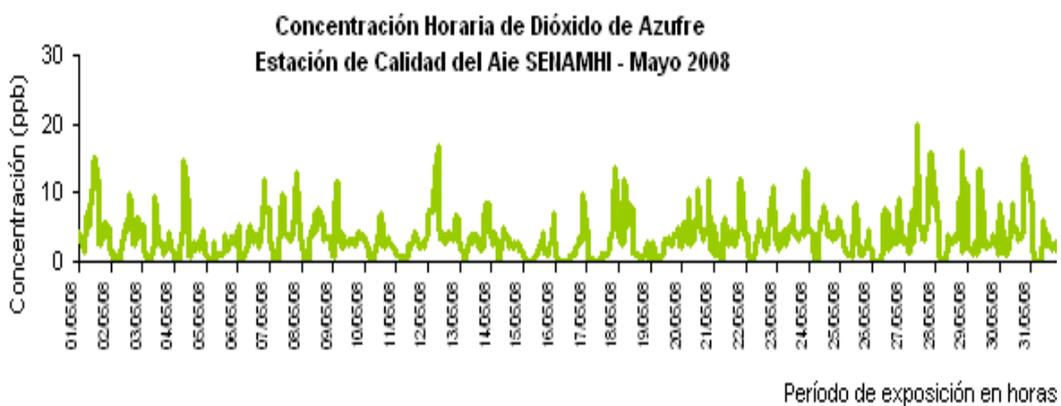


Figura 8.

En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de SO<sub>2</sub> presentada en la **figura 9**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 9,1 ppb a las 09:00 y 19:00 horas, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular.

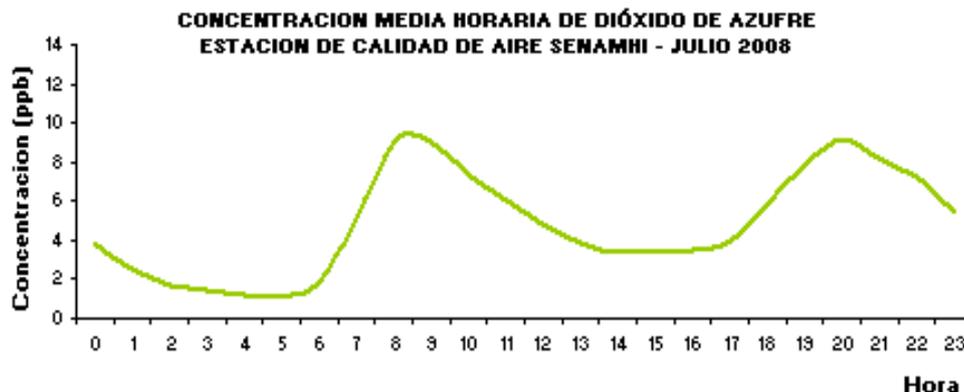


Figura 9.

De acuerdo a lo observado en la **figura 10**, el ECA nacional para 24 horas de SO<sub>2</sub> equivalente a 144,9 ppb no fue superado durante el período de evaluación. El máximo valor promedio diario registrado en el período de estudio de 8,4 ppb correspondió al 6 % del estándar nacional de calidad del aire. La Organización Mundial recomendó el cambio de los valores guía de SO<sub>2</sub> de 125 a 20 µg/ m<sup>3</sup> tomando en cuenta consideraciones tales como la comprobación de que el SO<sub>2</sub> tiene efectos en la salud a concentraciones muy inferiores a los aceptados hasta ahora por lo que se necesita un mayor grado de protección.

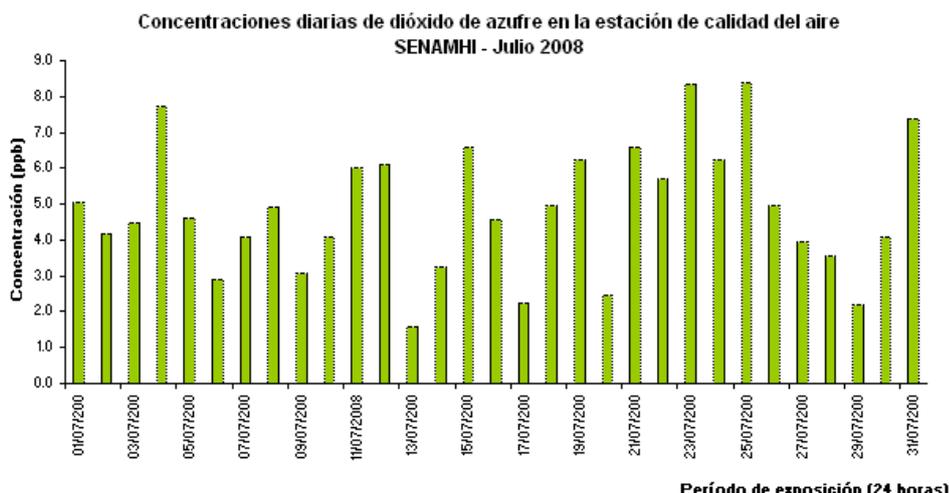


Figura 10.

En el Cuadro N° 4 se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de SO<sub>2</sub>. Las máximas concentraciones se presentaron los días viernes y sábado en horas de la mañana (24,5 y 33,8 ppb), respectivamente. Hacia el día domingo se registraron en promedio los menores valores, con una media de 2,7 ppb, mostrándose, de forma similar al comportamiento de otros contaminantes, su asociación al desplazamiento humano en donde las menores concentraciones se registran los días de menor actividad humana.

 Cuadro N° 4. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) – julio 2008

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	18.6	28/07	20:00	0.0	07/07	2:00	4.4
Martes	27	15/07	8:00	0.0	22/07	1 - 5:00	4.9
Miércoles	20.4	23/07	8:00	0.0	30/07	3 - 6:00	4.9
Jueves	21.3	24/07	20:00	0.0	17/07	3 - 6:00	4.9
Viernes	24.5	25/07	09:00	0.0	18/07	2:00	6.8
Sábado	33.8	19/07	08:00	0.1	19/07	5:00	5.5
Domingo	10.4	06/07	09:00	0.3	27/07	5:00	2.7

Asimismo, en la figura 11 se presenta el comportamiento medio de cada uno de los días de la semana del mes de julio del dióxido de azufre.

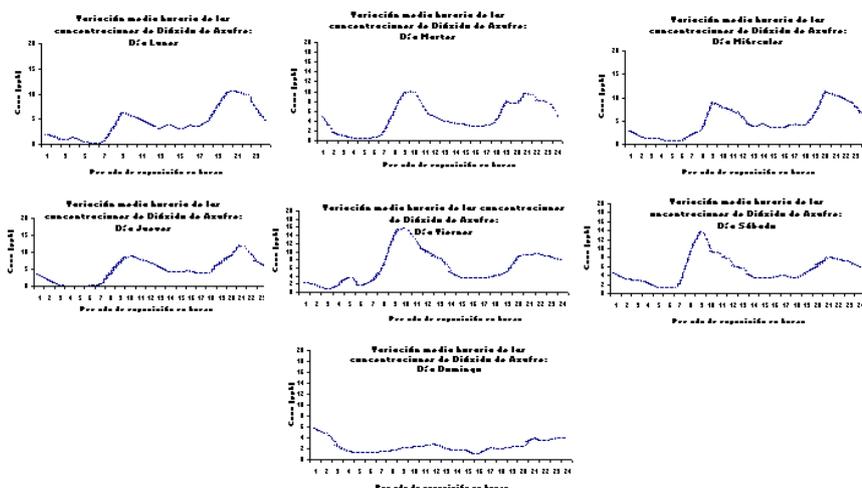


Figura 11. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de azufre – Julio 2008

### 3.1.4 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de Julio 2008, 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 de Perú, 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, partículas finas y gases.

#### a. De la Nubosidad

De acuerdo a lo presentado en la **figura 12**, el mes de Julio 2008, se caracterizó porque la nubosidad estratiforme baja que normalmente está presente entre superficie y 1000 m.s.n.m., se presentó en casi todos los días del mes, debido a que la evolución de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el Anticiclón del Pacífico suroriental –APSO– con núcleo promedio de 1023 hPa, presentó un comportamiento variable, pero ya alcanzando su intensificación máxima estacional de invierno del hemisferio sur, con anomalías oscilando entre -1 a +10 hPa; propiciaron que los vientos del sur a lo largo de la costa peruana, experimentaran incrementos en su intensidad, y asimismo del afloramiento marino que casi siempre es activo, disminución de la Temperatura Superficial del Mar –TSM–, e intensificación del fenómeno de la inversión térmica por subsidencia, con su base en promedio a no más de 800 msnm; ocasionando la formación de densa nubosidad estratiforme baja, y ausencia de nubosidad media y alta, lo que limita el ingreso de radiación solar y la temperatura del aire está alcanzando sus valores mínimos de invierno.

#### b. De la Temperatura y Humedad Relativa

- El análisis medio mensual de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas: automática Agua Azul, Ancón, Collique, automática sinóptica y de radiosondaje A.I. Jorge Chávez, automática Campo de Marte, La Molina, Las Palmas y Punta Lobos, señala el día 22 de Julio como el más cálido con una máxima media de 17,5 ° C y el día 2 como el más frío con un valor medio de 15,8 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 21 con la mínima media de 80 %, y el más húmedo el 18 de Julio (95 %). **Ver figura 13.**
- 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 14,4 ° C en La Molina a 22,2° C en Ancón, y la mínima fluctuó entre 12,4° C en Comas a 18,1 ° C en Ancón; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 16,7 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 77 % en el Callao a 100 % en La Molina, Surco y Pucusana; y la mínima osciló entre 60 % en el Callao a 98 % en Pucusana (ver **figura 14**); la humedad relativa media fue de 86 %. El mes de Julio presentó condiciones meteorológicas variables; así una sensación de frío intensa manifestada principalmente en la primera década del mes, fuertes lloviznas que se acentuaron en la tercera década y cielos parcialmente nublados el resto del mes, con algunos días de brillo solar al mediodía.

#### c. Del viento superficial

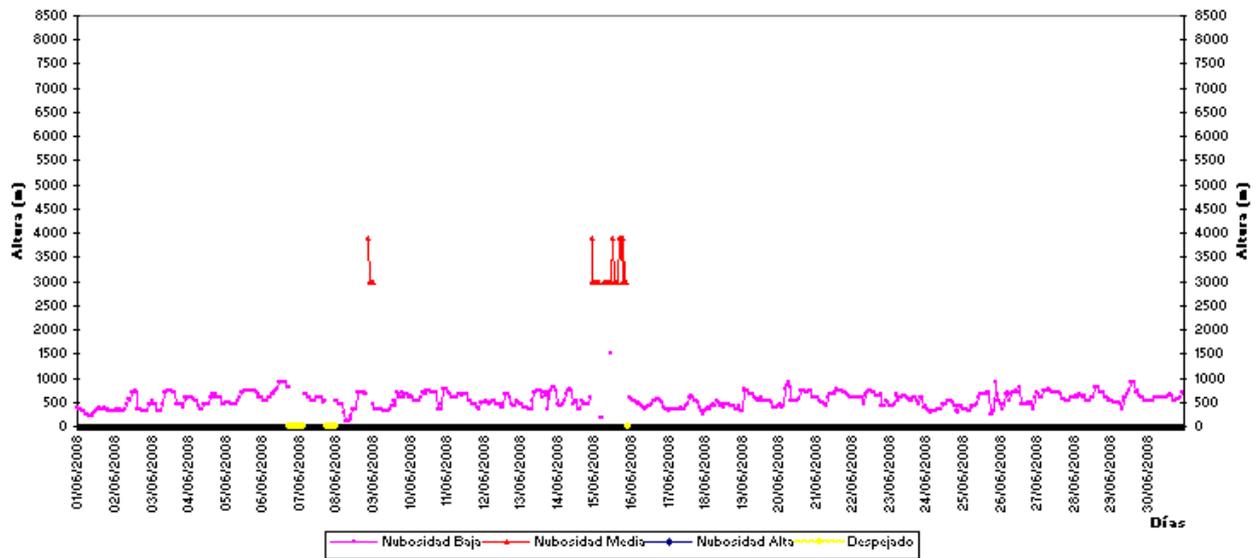
La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de Julio es presentada en la **figura 15 a y b** para el período matutino (07:00 – 11:00), vespertino (12:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente. Este análisis es importante por cuanto esta variable meteorológica influye directamente en los procesos de transporte y dispersión de los contaminantes determinando tanto la localización como los niveles altos o bajos de concentración de éstos.

- Durante el período matutino (7:00 a 11:00 horas), predominaron vientos de intensidad media débil (< 3 m/s) en todas las estaciones analizadas, con intensidades inferiores a 3 m/s. No se registró ocurrencia significativa de calmas.

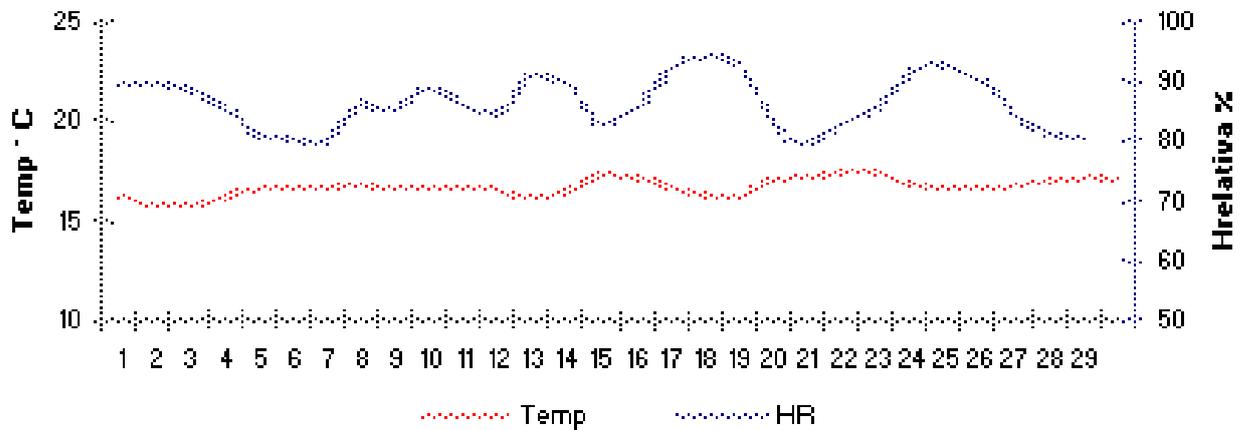
- Durante el período vespertino (12:00 a 18:00 horas) se registraron vientos de intensidades débiles en todas las estaciones, con excepción de La Molina (4,6 m/s) y Pucusana (3,1 m/s); No se registró ocurrencia significativa de calmas.
- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se registraron vientos de intensidad débil en todas las estaciones evaluadas, con intensidades desde 0,8 m/s en el norte de la ciudad, 2,2 m/s hacia el sur; 2,9 m/s hacia el este de la ciudad y 2,2 m/s hacia el litoral costero. No se registró ocurrencia significativa de calmas.
- En cuanto a las direcciones predominantes del viento superficial, en horas matutinas la estación Ancón ( Ancón) reportó direcciones del S y SSW con frecuencias de 14 y 20 %, respectivamente; manteniéndose con la componente SW en horas vespertinas con vientos del SSW (36 %), SW (21 %), WSW (10 %) y W (9 %); que se mantuvieron en horas de la noche con frecuencias de 38 % (SSW), 24 % (S) y 5 % (SW). En la estación Collique predominaron en horas matutinas vientos del SSW (23 %), SW (21 %) y S (13 %); en horas vespertinas del SW (38 %), SSW (30 %) y del WSW (16 %); y nocturnas del SW, SSW y S (24 %). La estación A.I. Jorge Chávez (Callao) reportó direcciones del N (36 %), S (30 %), SSE ( 10 %) y SSW ( 9 %); en horas vespertinas se presentaron vientos del S (53 %), N y SSW (10 %) y W (9 %); y, hacia horas de la noche predominaron vientos del S (45 %), SSE ( 26 %) y del N (23 %). En la estación Campo de Marte, se presentaron direcciones del WSW (38 %) y del SW (14 %) en horas matutinas, manteniéndose en horas vespertinas con frecuencias de 44 y 42 % y, en horas nocturnas con frecuencias de 27 y 14 %, y del W (13 %). En la estación Lima Este, en horas de la mañana predominaron vientos del W (37 %), WNW (21 %) y del ESE (11 %); hacia horas vespertinas se mantuvieron vientos de componente W, con frecuencias de 44 % (W), 35 % (WNW) y 9 % (WSW); y también hacia horas de la noche, provenientes del W (22 %), WNW ( 20 %) y del E (20 %). En la estación Las Palmas, predominaron vientos de componente sur, del SSE (24 %), SE (16 %) y del S (13 %) en horas matutinas; en horas vespertinas se mantuvieron vientos de dirección SSE, WSW, S, SW y SE y SSW con frecuencias de 49, 17, 11, 8, 5 y 4 %; y, en horas de la noche vientos de componente con frecuencias de 44 % (SE), SSE (29 %) y 7 % (S). En la estación Punta Lobos (Pucusana), se reportaron vientos de dirección SSE (17 %), SE (13 %), NW (13 %) y WNW (11 %); en horas vespertinas se reportaron vientos del S (21 %), SSE (19 %), SSW y W (15 %) y del WNW (11 %); mientras que en horas nocturnas se registraron vientos del SSE (32 %), SE (7 %) y S (6 %).

#### d. Del perfil de la troposfera

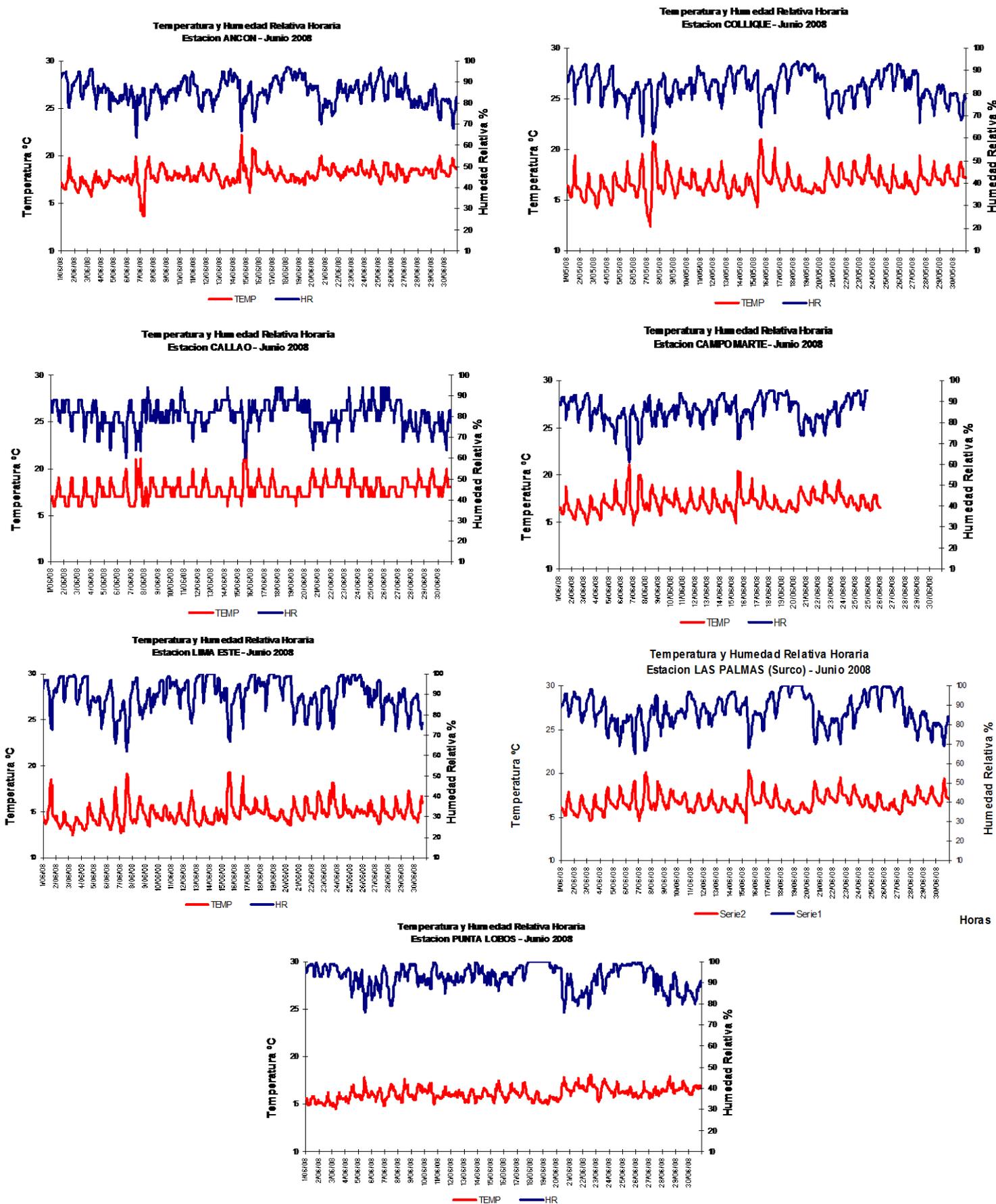
De acuerdo a la vigilancia sinóptica, la evolución de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el Anticiclón del Pacífico suroriental –APSO-con núcleo promedio de 1023 hPa, presentó un comportamiento variable, pero ya alcanzando su intensificación máxima estacional de invierno del hemisferio sur, con anomalías oscilando entre -1 a +10, lo que propició que la inversión térmica por subsidencia con su base en promedio a no más de 800 msnm, alcance sus máximos niveles de intensidad con la consiguiente formación de densa nubosidad estratiforme bajo la base de la inversión, lo que limitó el ingreso de radiación solar y la temperatura del aire está alcanzando sus valores mínimos de invierno. Como consecuencia de lo anterior, los vientos del sur a lo largo de la costa peruana, experimentaron incrementos en su intensidad, y asimismo el afloramiento marino que casi siempre es activo, y la disminución de la Temperatura Superficial del Mar –TSM.



**Figura 12. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez Julio2008**



**Figura 13.- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de Julio del 2008 en Carabaylo, Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana**



**Fig 14 – Variación horaria de la Temperatura y Humedad relativa en las estaciones de la Zona Metropolitana de Lima y Callao - Julio 2008**

Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales

HORAS MATUTINAS		HORAS VESPERTINAS		HORAS NOCTURNAS	
HORAS MATUTINAS		ESTACIÓN LIMA ESTE ( LA MOLINA)		HORAS NOCTURNAS	
		<b>ESTACIÓN LAS PALMAS ( SANTIAGO DE SURCO)</b>			
		<b>ESTACIÓN A.I. JO AO)</b>			
		<b>ESTACIÓN PUNTA LOBOS( PUCUSANA)</b>			
		<b>ESTACIÓN CAMPO LARÍA)</b>			

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

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para julio 2008, el comportamiento de la base de la inversión térmica y las tendencias proporcionadas por modelos estadísticos, se prevé que la media de las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable disminuyan ligeramente o se mantenga para el mes de julio.

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) Lima Centro (Cercado I), Lima Este (Cercado II/ zona este) Lima Oeste (Callao) y Lima Sur (VMT), según se observa en el cuadro todas están por encima del nivel referencial permisible de la OMS equivalente a 5 t/km<sup>2</sup>/mes, y con su núcleo hacia el sur de la ciudad, principalmente.

**Cuadro N° 3. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable (t/km<sup>2</sup>.mes) para el mes de julio 2008**

ZONA	ESTIMACIÓN	INTERVALO DE
		CONFIANZA
LIMA NORTE	20	19.0 - 21.2
LIMA CENTRO	6.4	4.7 - 6.4
LIMA ESTE	16.4	14.6 - 17.9
LIMA OESTE	4.9	3.9 - 5.4
LIMA SUR	21.5	18.0 - 20.7

Dada la naturaleza del contaminante (partículas gruesas sujetas a fuerzas gravitatorias) generado principalmente por la industria de la construcción, mala disposición de residuos sólidos, pistas deterioradas o sin pavimento, desgaste de llantas y frenos de los vehículos, actividades comerciales y actividades de limpieza pública, la estación de Lima Centro presenta bajas concentraciones por estar exenta de estas fuentes.

#### 5. Conclusiones

- ✓ El material particulado para el mes de julio presentó el siguiente comportamiento:

Los niveles de contaminación en los principales núcleos durante julio fueron superiores a los registrados el mes de junio, con excepción de Lima Sur este que disminuyó ligeramente. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 24,2 t/km<sup>2</sup>.mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 26,7 t/km<sup>2</sup>.mes; el tercero en Lima sur-este con 27,7 t/km<sup>2</sup>.mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 32,8 t/km<sup>2</sup>.mes.

El 79 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 12,2 t/km<sup>2</sup>.mes, similar a la media del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 37,3 t/km<sup>2</sup>.mes en Villa María del Triunfo y el mínimo de 1,0 t/km<sup>2</sup>.mes en Pueblo Libre.

Las máximas concentraciones de Partículas Totales en Suspensión (PTS) y de partículas menores a 2.5micras (PM2.5) se registraron el día jueves equivalentes a 120,5 y 110,2 ug/m<sup>3</sup>, respectivamente; mientras que los mínimos valores se registraron el día domingo.

- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, se observó lo siguiente:

Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales

Las máximas concentraciones de **óxido nítrico (NO)** y **dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)** fueron de 309,3 ppb el día martes 15 a las 8:00 horas y 82,6 ppb el día martes 8 a las 8:00 horas. Las mínimas concentraciones (0 – 2 ppb) se registraron en horas de la madrugada comprendidas entre las 3: 00 y 5:00 horas.

La concentración media de NO<sub>2</sub> para el mes de mayo fue de 18,4 ppb y la máxima (82,6 ppb) equivalió al 70 % del ECA Nacional horario para este contaminante. Las máximas concentraciones de NO<sub>2</sub> se presentaron los días martes y viernes (76,3 y 48 ppb, respectivamente); el día domingo la media fue de 14,5 ppb, menor en relación al resto de la semana.

El **dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)** registró su valor máximo de 33,8 ppb el día 19 a las 08:00 horas. Se observaron además dos picos horarios máximos de 9,1 ppb a las 09:00 y 19:00 horas, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular.

La concentración media de SO<sub>2</sub> para el mes de mayo fue de 5,0 ppb y la máxima (33,8 ppb) equivalió al 6 % del ECA Nacional horario para este contaminante. Las máximas concentraciones de SO<sub>2</sub> se presentaron los días viernes y sábado de 24,5 ppb y 33,8 ppb; la media del día domingo fue de 2,7 ppb.

- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, la nubosidad baja estratiforme se presentó densa en casi todos los días del mes, como consecuencia de la intensificación del Anticiclón del Pacífico sur oriental que está alcanzando sus máximos valores correspondientes al invierno del hemisferio sur, intensificación de los vientos, del afloramiento submarino, descenso de la TSM e intensificación de la inversión térmica por subsidencia.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en Julio fueron de 16,7° C y 86 %. Así mismo el análisis medio señala el día 22 de Julio como el más cálido con una máxima media de 17,5 ° C y el día 2 como el más frío con un valor medio de 15,8 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 21 con la mínima media de 80 %, y el más húmedo el 18 de Julio (95 %).
- ✓ Con respecto al análisis de las intensidades del viento superficial en los períodos analizados, en horas matutinas predominaron vientos de intensidad media débil (< 3 m/s); en horas vespertinas la intensidad fue débil en todas las estaciones con excepción de La Molina (4,6 m/s) y Pucusana (3,1 m/s); mientras que hacia horas de la noche también se registraron intensidades medias débiles. En cuanto a las direcciones predominantes, en horas matutinas se registraron principalmente vientos de dirección S, SSW en horas vespertinas y S en horas nocturnas; con ocurrencia de vientos del Norte predominantemente para la estación Callao y Pucusana. La estación La Molina presentó predominantemente vientos de dirección W y WNW.
- ✓ Durante el mes de julio 2008, la inversión térmica por subsidencia ha llegado a su máxima intensificación, con su base en promedio a no más de 800 m.s.n.m, debido a la intensificación del Anticiclón del Pacífico sur oriental que está alcanzando sus máximos valores correspondientes al invierno del hemisferio sur, intensificación de los vientos, del afloramiento submarino y descenso de la TSM.