EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/AGOSTO - 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 julio y agosto 2008 en Lima-Callao. 7

Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de agosto del 2008. 8

Fig. 4- Variación diaria semanal de las concentraciones de PM2.5 en la Estación Meteorológica Campo de Marte, Jesús María - agosto 2008 9

Fig. 5- Concentraciones horarias de Óxidos de Nitrógeno registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI - agosto 2008 11

Fig. 6- Concentración media horaria de Óxidos de Nitrógeno - Estación de Calidad del Aire SENAMHI – agosto 2008 11

Fig. 7- Variación semanal de las concentraciones de Dióxido de Nitrógeno registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI - agosto 2008 12

Fig. 8- Concentraciones horarias de Dióxido de Azufre registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI - agosto 2008 13

Fig. 9- Concentración media horaria de Dióxido de Azufre - Estación de Calidad del Aire SENAMHI - agosto 2008 13

Fig. 10- Concentraciones diarias de Dióxido de Azufre registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI - agosto 2008 13

Fig. 11- Variación semanal de las concentraciones de Dióxido de Azufre registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI - agosto 2008 14

Fig. 12- Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez - agosto 2008 16

Fig. 13- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de agosto 2008 en El Callao y La Molina 16

Fig. 14-Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en las estaciones de la Zona Metropolitana de Lima y Callao – agosto2008. 17

Fig. 8- Rosas de viento (m/s) en las estaciones El Callao y La Molina agosto 2008 15

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: julio y agosto 2008. 7

Cuadro N ° 2. Concentraciones semanales de PM2.5 registradas en la Estación Campo de Marte Jesús María, agosto 2008 10

Cuadro N ° 3. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno 12

Cuadro N ° 4. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de azufre 14

Cuadro N ° 5. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable (t/km2.mes) para el mes de Setiembre 2008 20

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

1. Resumen

El boletín del mes de agosto 2008 muestra los resultados de la evaluación del material particulado y contaminantes gaseosos en relación a las condiciones meteorológicas registradas en la red automática de la Zona Metropolitana de Lima-Callao compuesta por las estaciones de El Callao y La Molina. En cuanto al primero, el polvo atmosférico sedimentable (PAS) registró una media inferior a la julio de 10,4 t/km^2/mes, máxima de 28,8 t/km^2/mes en el distrito de Pachacamac y mínima de 1,7 t/km^2/mes en Carabayllo; para las partículas menores a 2.5 micras (PM2.5) las máximas concentraciones se presentaron los días lunes y martes equivalentes a 86,3 y 87 ug/m3; superando el estándar durante el 100 % del período evaluado, respecto al ECA Nacional de Tránsito. En cuanto a los contaminantes gaseosos, los óxidos de nitrógeno (NO y NO2) presentaron concentraciones máximas que alcanzaron los 196,2 ppb y 87,3 ppb, correspondiendo éste último superó al 64 % del ECA Nacional para 1 hora; la media del NO2 fue de 17,9 ppb inferior al mes anterior; mientras que el dióxido de azufre tuvo un máximo valor de 27,5 ppb a las 9:00 horas, con una media horaria de 6 ppb, y máximo diario de 11 ppb que correspondió al 8 % de ECA Nacional para 24 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- presentó un comportamiento variable con núcleo promedio de 1022 hPa y anomalías negativas promedio de -4 hPa en latitudes medias y altas y condiciones normales a ligaramente negativas en bajas latitudes (costa central y norte de Perú). Como concecuencia de lo anterior, en la mayor parte de los días, el Anticiclón se fortaleció y por consiguiente hubo intensificación de los vientos, el afloramiento marino que casi siempre es activo, el fenómeno de la inversión térmica por subsidencia con su base por sobre los 800 msnm, por lo que la nubosidad estratiforme que se forma bajo la base de la inversión, cubrió a toda la cuanca atmosférica, ocasionando persistenes e intensas garúas en todos los distritos de la Zona Metropolitana de Lima–Callao. Los escasos días que presentó debilitsmiento el Anticiclón, se manifastó en una disminución de los vientos, del afloramiento marino, inversión térmica y debilitamiento de la nubosidad estratiforme, permitiendo el ingreso de radiación solar y la temperatura del aire ligeramente se incrmentó; sin embargo, en la tercera década volvieron las condiciones de cielo cubierto en toda la cuenca atmosférica con persistentes e intensas garúas en toda la Zona Metropolitana. De este modo, las condiciones descritas y sus interacciones, no permitieron la generación de fenómenos de turbulencia térmica y mecánica del aire que influyó en la disminución de los procesos de suspensión y resuspensión del polvo atmosférico sedimentable.

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 totales en suspensión (PTS), 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 (Carabayllo), 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.

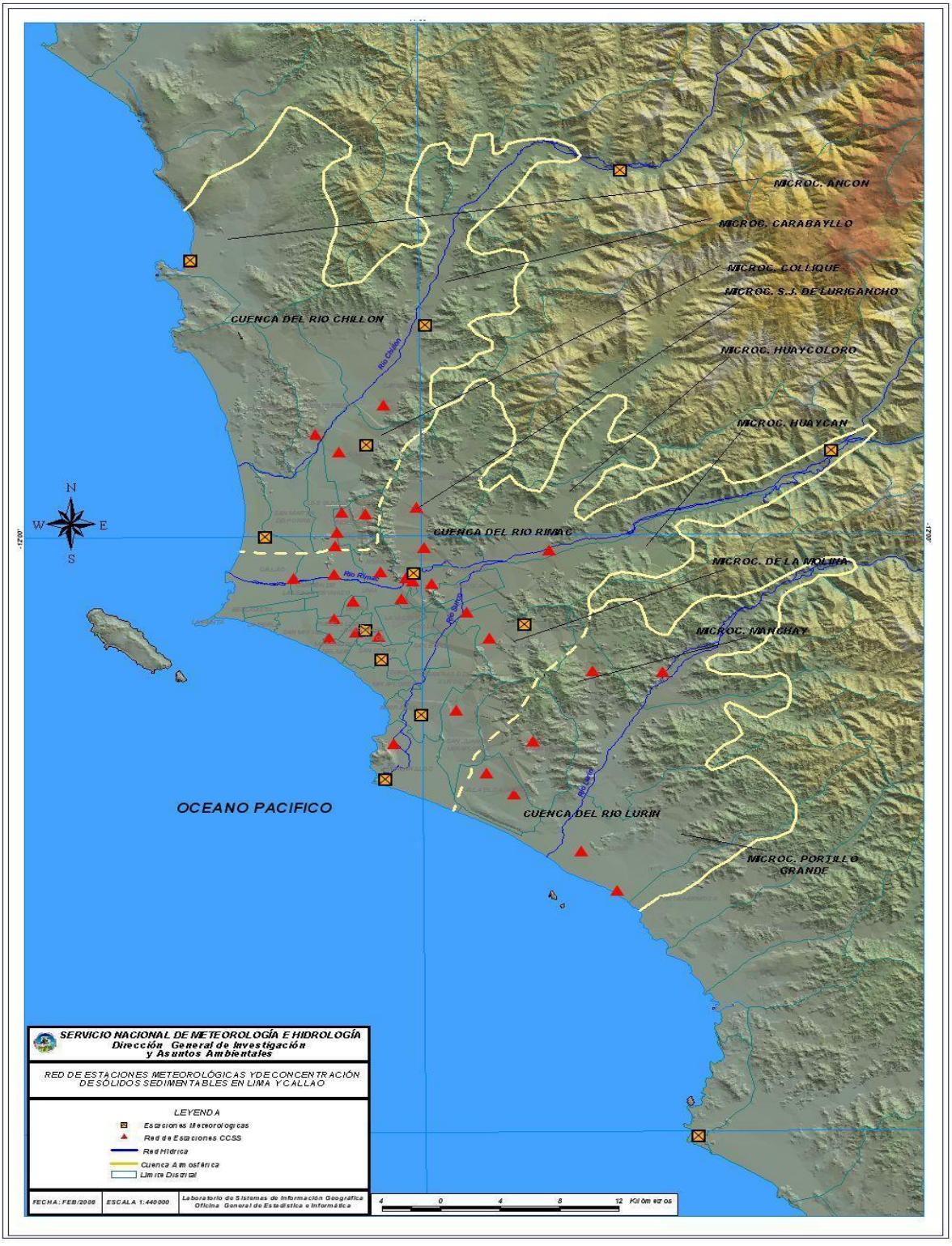


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

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 agosto, el 83 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km^2/mes, con una media de 10,4 t/km^2/mes, inferior a la del mes anterior.

Los niveles de contaminación por polvo sedimentable en los principales núcleos fueron inferiores, con excepción de Lima Sur-este que se incrementaron (ver **cuadro N° 1)**. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Pachacamac (28,8 t/km^2/mes), y el mínimo de 1,7 t/km^2/mes en Carabayllo. 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 tanto de componente sur como oeste, con intensidades que oscilaron desde débiles a moderadas; éstos, en interacción con la rugosidad natural y artificial impuesta por las edificaciones, determinaron niveles medios ligeramente superiores a los registrados en julio, siendo 2,1 veces superior al nivel permisible.

Cuadro Nº 1: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables julio y agosto 2008 (t/km^2.mes)

Conc t/km^2. mes	**N° est.**	**% de estaciones Sobrepasa nivel ref.**	**Núcleos principales (puntuales y promedios)**				**X t/km^2 /mes**	**Máx t/km^2/mes**	**Mín t/km^2/mes**
			Lima Norte	*Lima Centro-este*	*Lima Sur-este*	*Lima Sur*			
Julio 2008	43	79	25,7 (Comas)	26,0 (El Agustino, El Cercado, Ate, Lurigancho)	27,7 (Pachacamac)	32,8 (V.M.T.; Lurín)	12,2	37,3 (VMT)	1,0 (P.Libre)
Agosto 2008	42	83	20,1 (Comas)	17,9 (El Agustino, El Cercado, Ate, Lurigancho)	28,8 (Pachacamac)	25,7 (V.M.T.; Lurín)	10,4	28,8 (Pachacam.)	1,7 (Carabayllo)

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

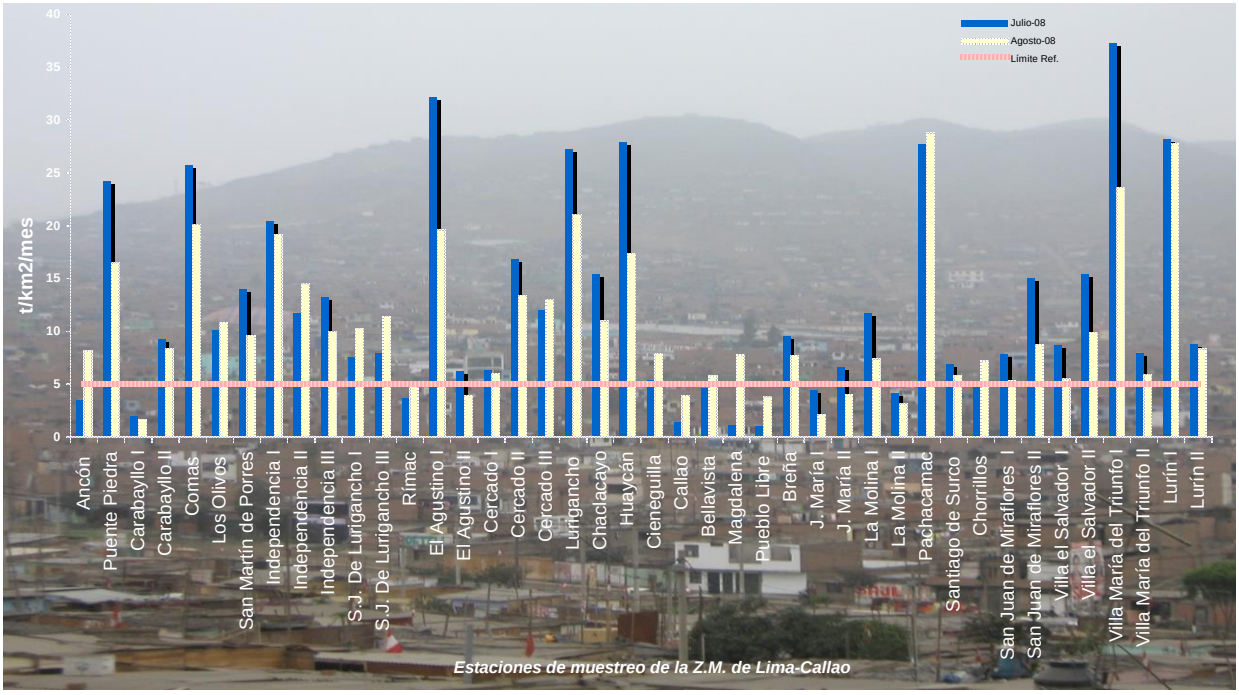


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en julio y agosto 2008 en Lima-Callao

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 Agosto, 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, Carabayllo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Comas tiene un valor de 20,1 t/km^2/mes. El segundo centro abarca Lima centro-este (cuenca del río Rímac y microcuencas de San Juan de Lurigancho y Huaycán, y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Sta. Anita, el Agustino, y el Cercado (lado este), con núcleos en los distritos de El Agustino y Ate con valores de 19,6 y 21,1 t/km^2/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 28,8 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 fraccionado en Villa María del Triunfo y Lurín con valores de 23,6 y 27,8 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/km2.mes), favorecidos por la influencia de las brisas marinas y políticas de gestión municipal saludables.

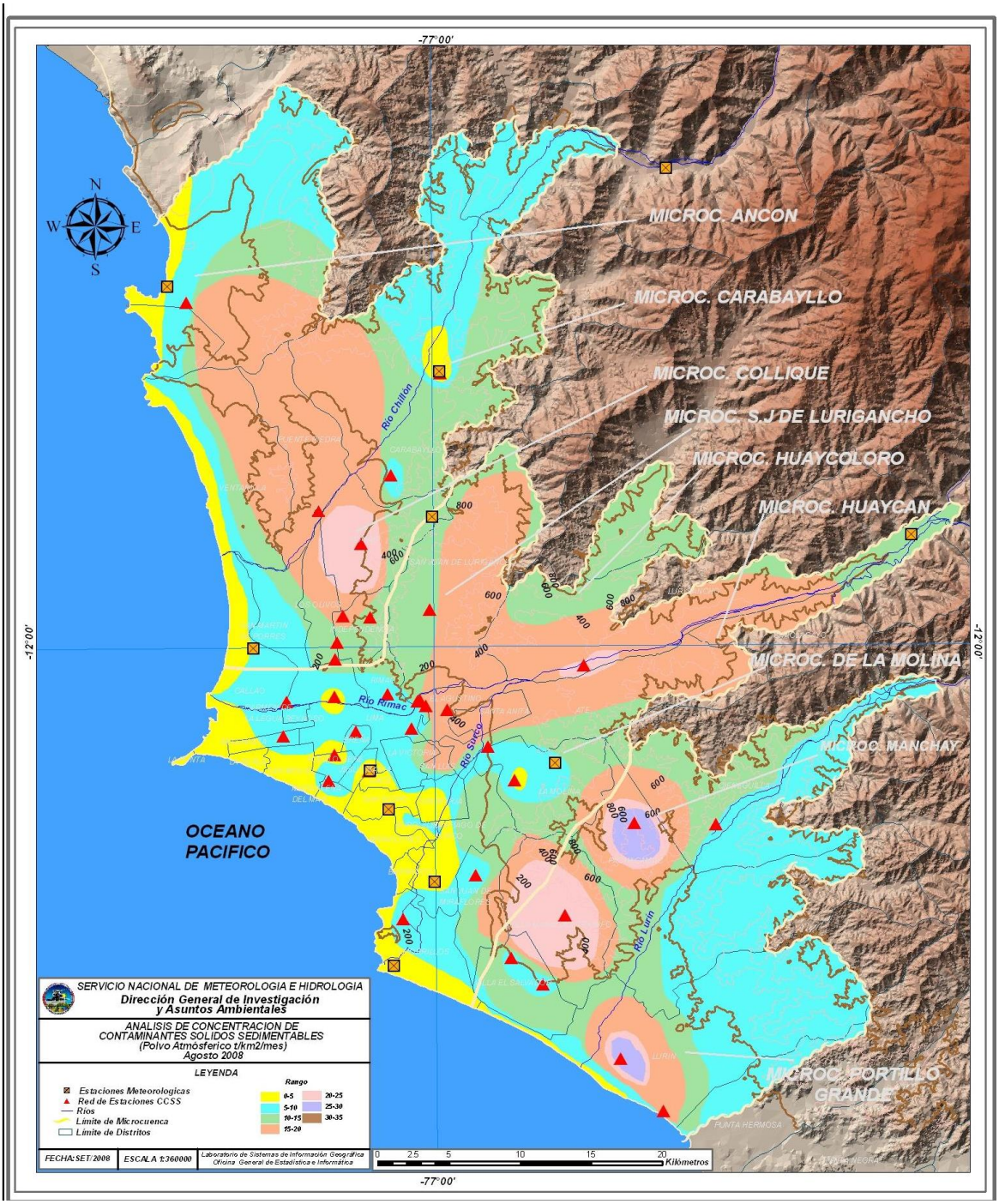


Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de agosto 2008

3.1.2 De las Partículas totales en suspensión (PTS), menores a 10 micras y 2.5 micras (PM10 y PM2.5)

La información semanal registrada en el mes de agosto por el muestreador MiniVol PM2.5 instalado en la estación meteorológica Campo de Marte del SENAMHI, mostró su máxima concentración de partículas menores a 2.5micras los días lunes y martes equivalentes a 86,3 y 87 ug/m^3, según se observa en el **cuadro N ° 2**.

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

Cont. (ug/m3)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
PM2.5	86.3	87	77.9	82.1	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 PM2.5 son comparadas con el Estándar de Calidad del Aire (ECA) Nacional de tránsito para el PM2.5, y se observa que el 100 % de los días, es superado. Ver **Figura 4**. La normatividad (guías) dada por la Organización Mundial de la Salud (25 ug/ m^3) respecto a la normatividad nacional es mucho más exigente, sobrepasando los valores registrados también en el 100 % de los días evaluados.

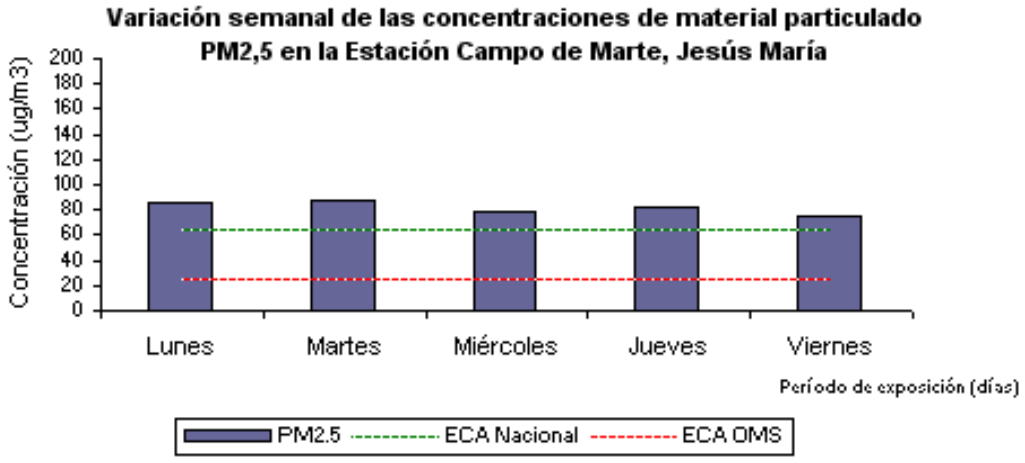


Figura 4.

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_2) es el de óxidos de nitrógeno (NOx).

La información registrada por el analizador modelo API 200E en la estación de calidad de aire de la sede central del SENAMHI según la **figura 5**, muestra registros máximos horarios de NO de 196,2 ppb y de NO_2 de 87,3 ppb, ocurridos el lunes 11 de agosto a las 12:00 horas y el martes 05 a las 18:00 horas; y mínimos horarios entre 0 y 2 ppb en horas comprendidas entre las 4 y 5:00 horas de la madrugada. El valor medio del mes del gas dióxido de

nitrógeno (NO_2) fue de 17,9 ppb, inferior al del mes anterior. Para agosto, el 64 % de las veces la concentración de NO fue superior a las concentraciones de NO_2; el 36 % tuvo el comportamiento inverso 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 NO3. De todas maneras, las concentraciones del gas NO2 se han incrementado en sus máximos, ello propio de las condiciones meteorológicas de bajas temperaturas, principalmente.

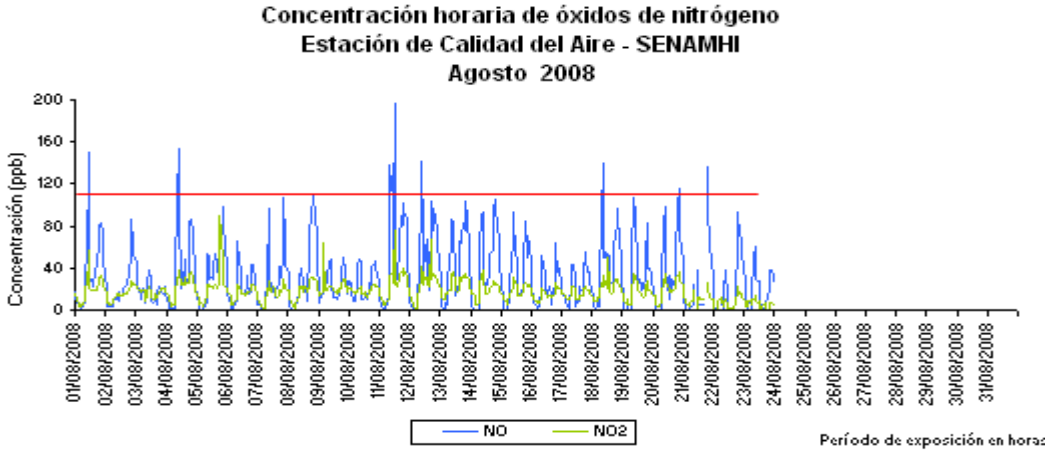


Figura 5.

El máximo valor horario registrado en el período de estudio para el NO_2 (87,3 ppb) correspondió al 82 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora, equivalente a 106,9 ppb (200 ug/ m^3). 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 estos gases si 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_2 gaseoso no ha cambiado con respecto a las Directrices anteriores.

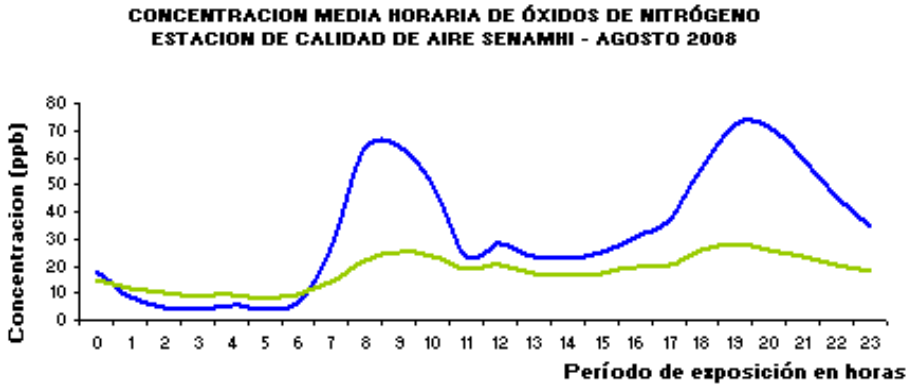


Figura 6.

En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de los NOx presentadas en la **figura 6**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 63,2 ppb (08:00 horas) y 25,1 ppb (09:00 horas) y de 72,0 y 28,2 ppb a las 19:00 y 18:00 horas, respectivamente, 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.

En el **Cuadro N° 3** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de NO_2. Las mayores concentraciones se presentaron durante los días laborables, con máximos los días lunes y martes (75,6 y 87,3ppb), respectivamente. Mientras que el día sábado se registró en promedio la menor concentración (16,9 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 en promedio.

Cuadro N° 3. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) – agosto 2008

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	75.6	11/08	12:00	3.7	04/08	4:00	22.9
Martes	87.3	6/08	18:00	2.1	12/08	4:00	21.6
Miércoles	36.8	20/08	20:00	4	20/08	3:00	19.3
Jueves	38.2	14/08	09:00	1.5	21/08	10:00	15.8
Viernes	56.5	01/08	10:00	0	22/08	1:00	15.8
Sábado	63.1	09/08	04:00	0.2	23/08	18:00	14.6
Domingo	23.6	10/08	19:00	9.1	03/08	7:00	16.9

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

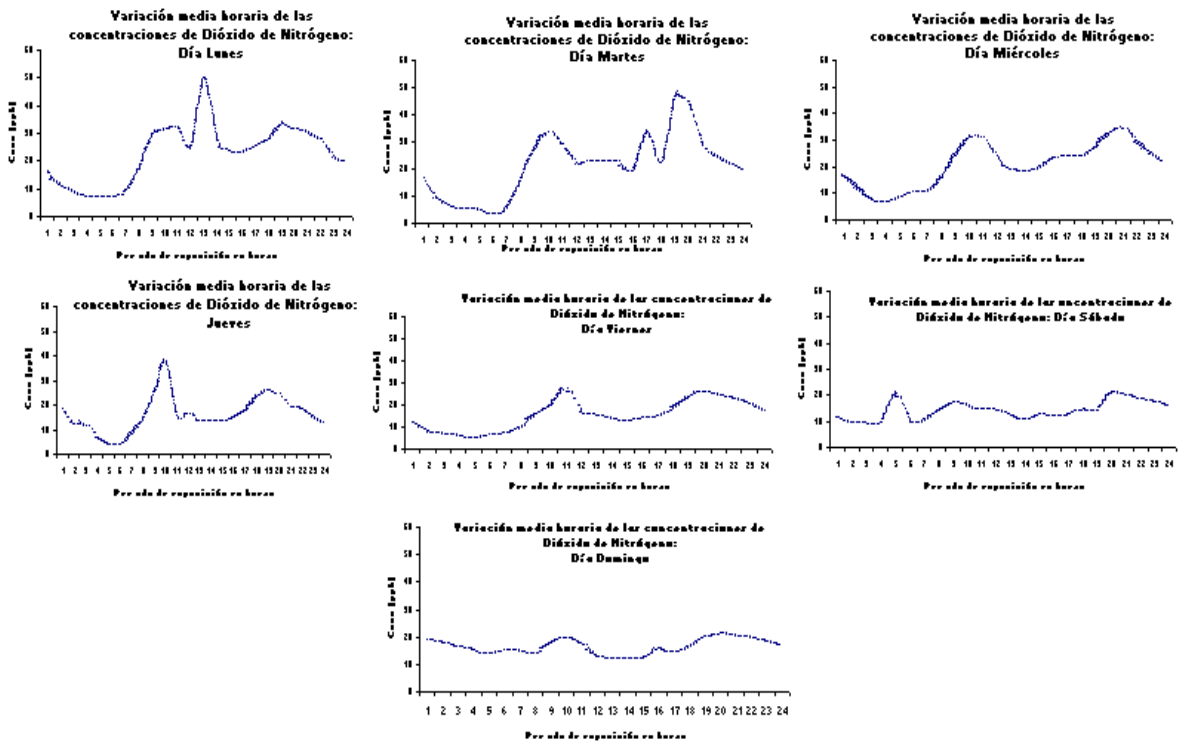


Figura 7. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno – agosto 2008

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 27,5 ppb, inferior al mes anterior, ocurrido el

martes 05 de agosto a las 19:00 horas; y mínimos horarios de 0 ppb en horas comprendidas entre las 3 y 6:00 horas. El valor medio del mes del gas dióxido de azufre (SO_2) fue de 6 ppb; respecto al mes anterior, la media es superior, sin embargo, ello se atribuye a días en particular asociados al aporte humano, por cuanto las máximas concentraciones son inferiores a las del mes anterior, ello explicado en la alta humedad de la atmósfera que favoreció reacciones químicas que redujeran las concentraciones del gas.

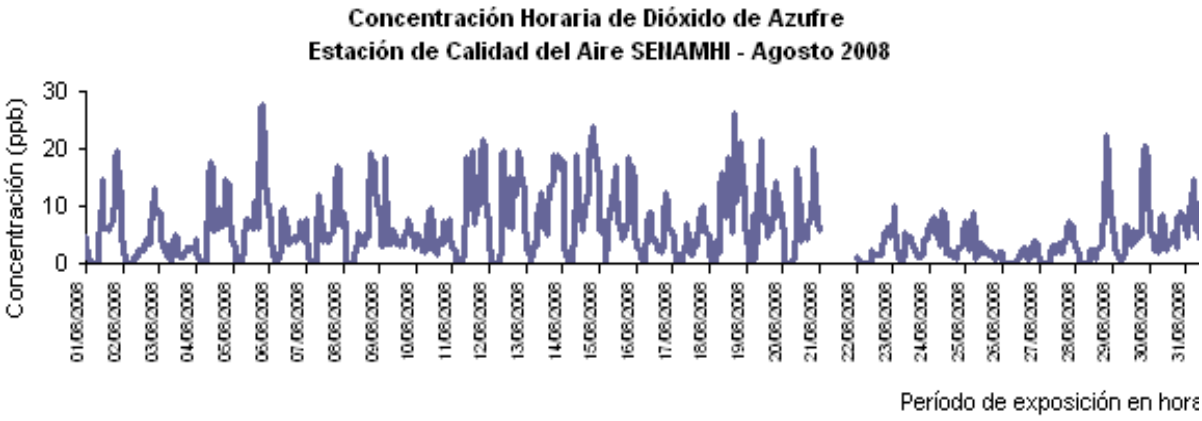


Figura 8.

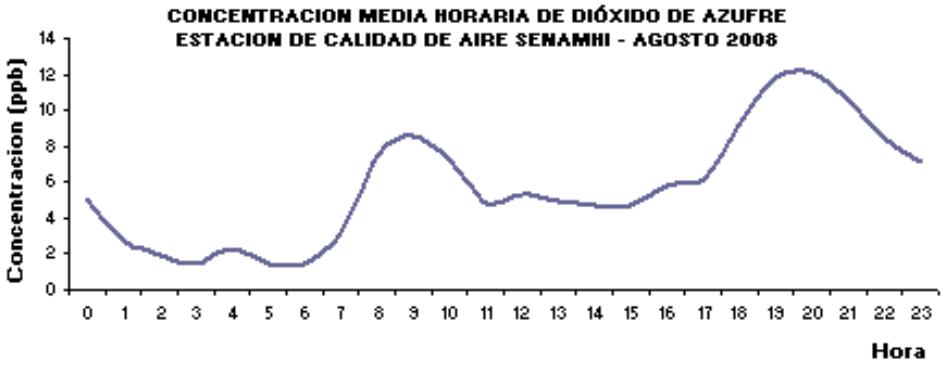


Figura 9.

En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de SO_2 presentada en la **figura 9**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 8,5 y 12 ppb a las 09:00 y 19:00 horas, respectivamente, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular.

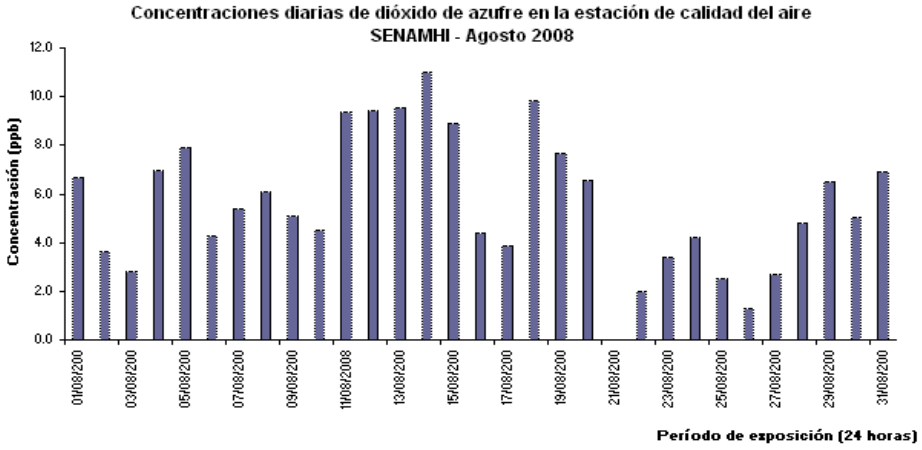


Figura 10.

De acuerdo a lo observado en la **figura 10**, el ECA nacional para 24 horas de SO_2 equivalente a 139,7 ppb no fue superado durante el período de evaluación. El máximo valor promedio diario registrado en el período de estudio de 11,0 ppb correspondió al 8 % del estándar nacional de calidad del aire. La Organización Mundial recomendó el cambio de los valores guía de SO_2 de 125 a 20 µg/ m^3 tomando en cuenta consideraciones tales como la comprobación de que el SO2 tiene efectos en la salud a concentraciones muy inferiores a los aceptados hasta ahora por lo que se necesita un mayor grado de protección.

Actualmente, mediante el D.S. N ° 003-2008-MINAM se han aprobado los Estándares de Calidad Ambiental para Aire, manteniéndose en vigencia el actual hasta diciembre del año en curso, considerando las nuevas evidencias proporcionadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) cuya interpretación de valores guía refiere la concentración del contaminante del aire por debajo del cual la exposición no representa un riesgo significativo para la salud. Al respecto, para el SO2 se ha establecido un estándar para 24 horas de 80 ug/m3 (30,6 ppb) que entra en vigencia a partir de enero del 2008 y de 20 ug/m2 (7,7 ppb) a partir del enero del 2014; notemos que éste último valor sería en varias veces superado en la Estación de Calidad del aire SENAMHI.

En el **Cuadro N° 4** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de SO_2. Las máximas concentraciones se presentaron los días lunes y martes en horas de la mañana (26,1 y 27,5ppb), respectivamente. Hacia el día sábado se registraron en promedio los menores valores, con una media de 4,3 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 (SO2) – agosto 2008

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	26.1	11/08	16:00	0.0	04, 11/08	4 - 6:00	7.2
Martes	27.5	05/08	19:00	0.0	12, 26/08	2 - 6:00	6.6
Miércoles	19.8	20/08	20:00	0.0	20, 27/08	2 - 6:00	5.8
Jueves	24	14/08	20:00	0.0	7, 28/08	2 - 6:00	7.1
Viernes	20.5	29/08	21:00	0.0	01, 08, 22/08	3 - 6:00	6
Sábado	18.6	09/08	04:00	0.1	02/08	2 - 6:00	4.3
Domingo	14.7	31/08	05:00	0	17/08	5:00	4.5

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

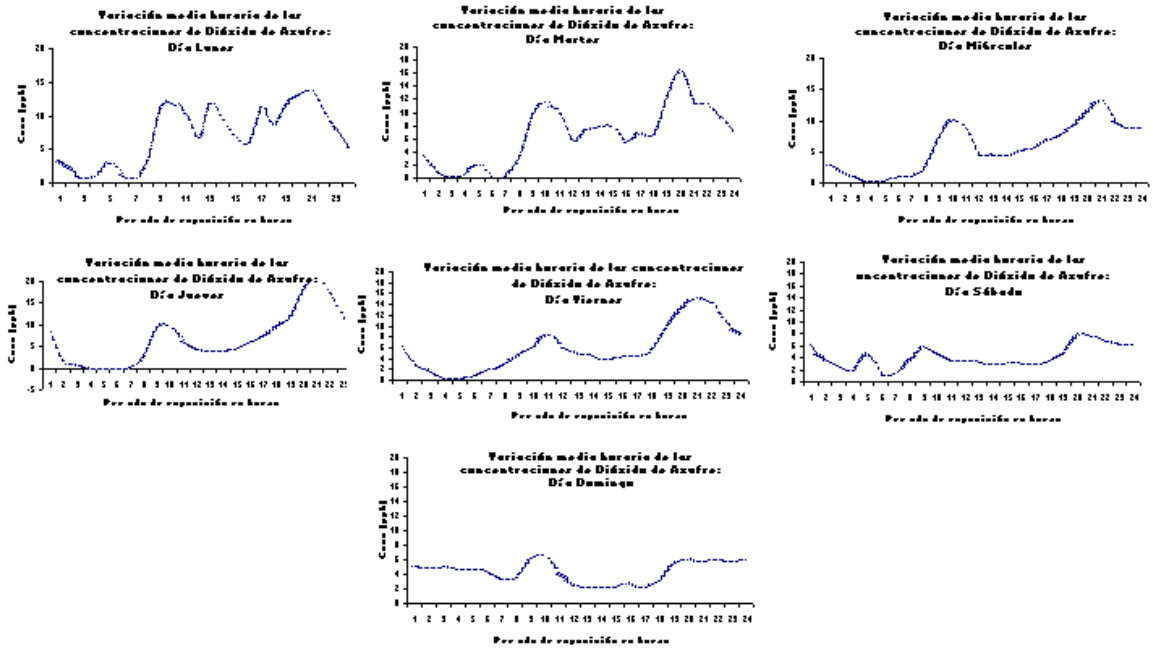


Figura 11. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de azufre – Agosto 2008

3.1.4 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de Agosto 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 agosto 2008, se caracterizó porque la nubosidad estratiforme baja que normalmente está presente entre superficie y 1000 m.s.n.m., estuvo presente en casi todos los días del mes y se mostró muy densa, debido al fortalecimiento del Anticiclón del Pacífico sur oriental con la consiguiente intensificación de los vientos, del afloramiento marino y de la inversión térmica por subsidencia que se configuró con su base por sobre los 800 msnm, ocasionando que el ámbito de influencia de la nubosidad estratiforme se extienda cubriendo a toda la cuenca atmosférica de la Zona Metropolitana de Lima Callao, con persistentes e intensas garúas que afectaron las actividades humanas en todos los distritos de la capital, definiendo de esta manera, características invernales similares a las del invierno 1998.

b. De la Temperatura y Humedad Relativa

- El análisis medio mensual de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas: automática sinóptica y de radiosondaje A.I. Jorge Chávez y automática La Molina, señala el día 31 de agosto como el más cálido con una máxima media de 19,2 ° C y el día 28 como el más frío con un valor medio de 15,5 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 31 con la mínima media de 76 %, y el más húmedo el 8 de agosto (94 %). **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 16,6 ° C a 26,8 ° C en La Molina, y la mínima fluctuó entre 12,9° C en La Molina a 17,0 ° C en El Callao; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 16,6 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 82 % en El Callao a 100 % en La Molina; y la mínima osciló entre 55 % a 96 % en La Molina (ver **figura 14**); la humedad relativa media fue de 86 %. El mes de agosto presentó condiciones meteorológicas propias del asentamiento de la estación invernal; así, se incrementaron las lloviznas en las primeras horas de la mañana y hacia el atardecer, y los días con cielo nublado parcial a cubierto.

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de agosto es presentada en la **figura 15** 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 ambas estaciones analizadas, con intensidades comprendidas entre 2,3 a 2,7 m/s. Se registró ocurrencia de calmas en la Estación Callao (20,7 %)

- Durante el período vespertino (12:00 a 18:00 horas) se registraron vientos de intensidades moderadas en el Callao (3,8 m/s) y La Molina (4,3 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 el Callao y La Molina con registros. No se registró ocurrencia significativa de calmas.

- En cuanto a las direcciones predominantes del viento superficial, en horas matutinas la estación A.I. Jorge Chávez (Callao) reportó direcciones del SSE (16 %), S (47 %) y SSW (9 %), que se mantuvieron en horas vespertinas con frecuencias de 8 %, 71 %, y 15 %, respectivamente y en horas de la noche con frecuencias de 36 %, 51 % y 3 %, respectivamente. Mientras que en la estación Lima Este (La Molina), en horas de la mañana predominaron vientos del ESE (7 %), WSW (9 %), W (30 %) y del WNW (23 %); hacia horas vespertinas se mantuvieron vientos de componente W, con frecuencias de 8 % (WSW), 47 % (W) y 32 % (WNW); y hacia horas de la noche, provenientes del E (24 %), ESE (11 %), W (14 %) y WNW (19 %).

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, debido al comportamiento variable del Anticiclón del Pacífico suroriental –APSO- y por lo tanto, la intensificación de los vientos y del afloramiento marino, la inversión térmica por subsidencia se configuró con su base por sobre los 800 msnm, lo que ocasionó que la nubosidad estratiforme que se configura por debajo de la base de la inversión, cubra y afecte con finas, persistentes e intensas garúas a todos los distritos de la capital.

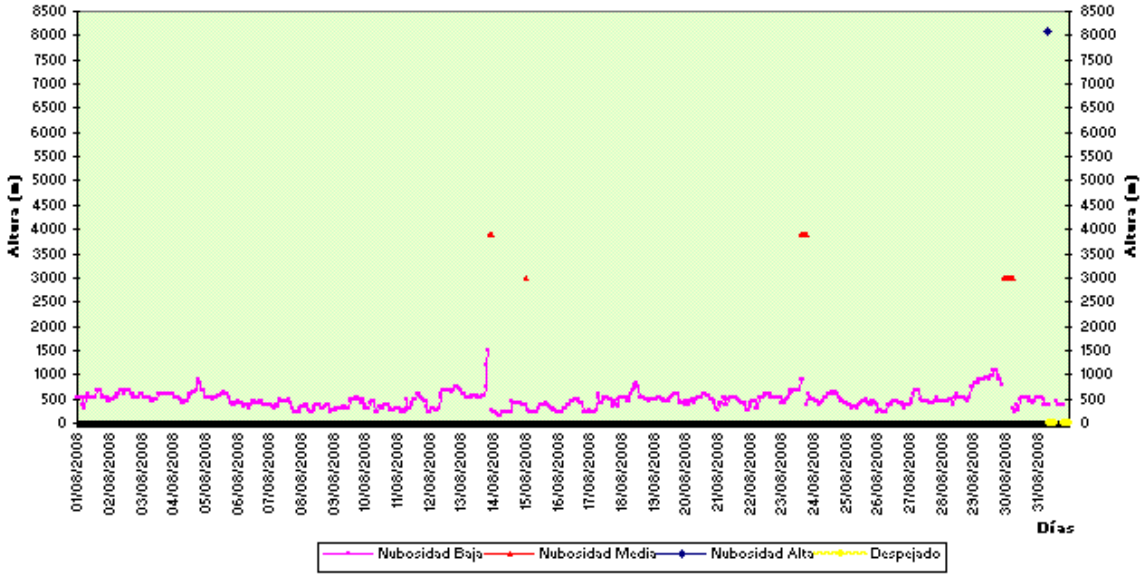


Figura 12. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez Agosto2008

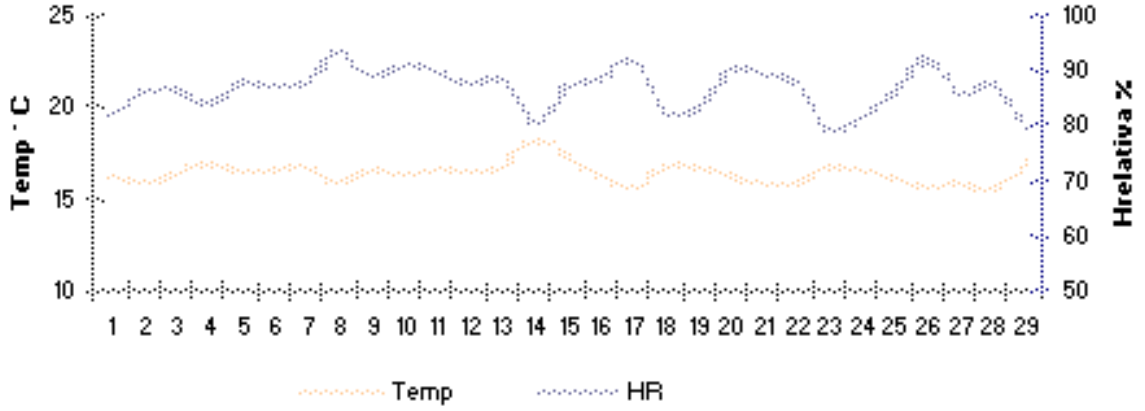


Figura 13.- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de agosto del 2008 en El Callao y La Molina

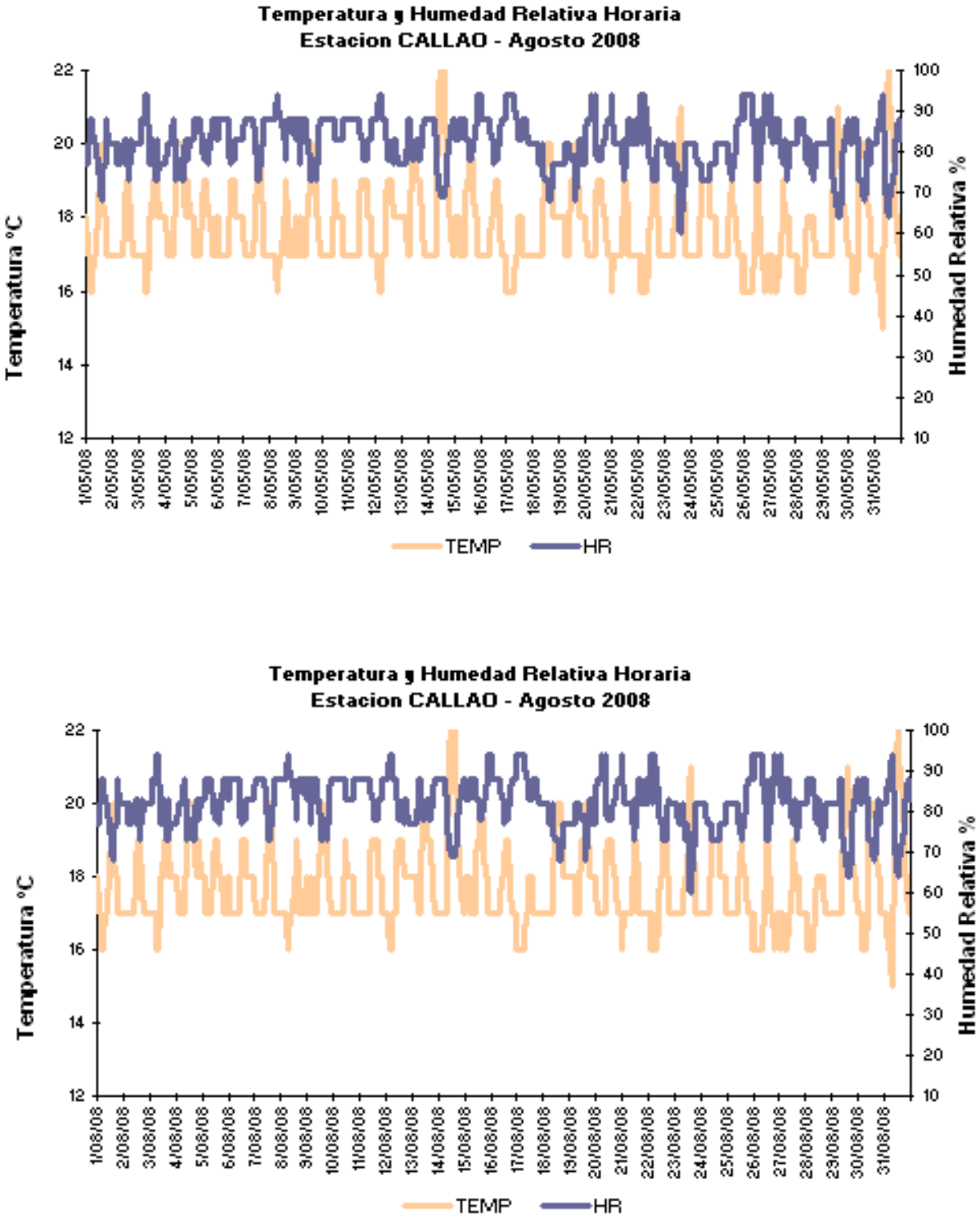


Figura 14.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de agosto del 2008 en El Callao y La Molina

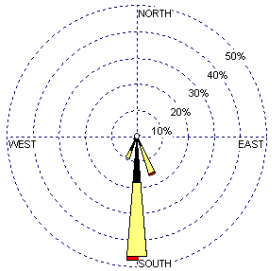
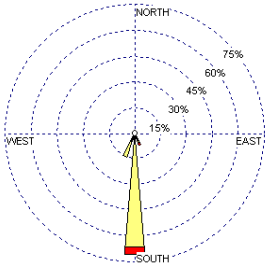
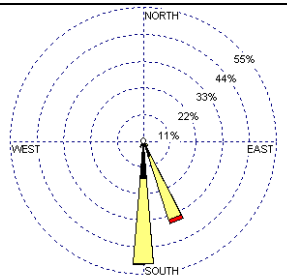
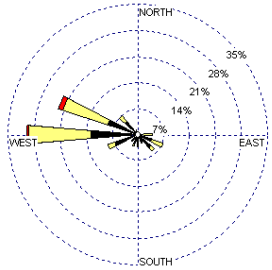
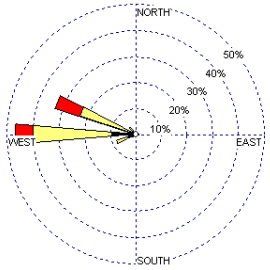
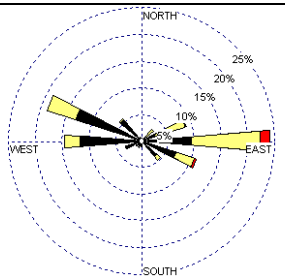
HORAS MATUTINAS	HORAS VESPERTINAS	HORAS NOCTURNAS
ESTACIÓN A.I. JORGE CHÁVEZ (CALLAO)		
		
ESTACIÓN LIMA ESTE (LA MOLINA)		
		

Fig 15 – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de El Callao y La Molina agosto 2008

4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para agosto 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 se incrementen ligeramente en promedio para el mes de setiembre. Respecto al mes anterior, se validaron las concentraciones pronosticadas en órdenes de magnitud con un acierto de 70 % y el núcleo presentado en el cono sur.

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^2/mes, y con su núcleo que se mantendrá hacia el sur de la ciudad para 05 las estaciones evaluadas.

Cuadro N° 3. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable (t/km2.mes) para el mes de setiembre 2008

ZONA	ESTIMACIÓN	INTERVALO DE CONFIANZA
LIMA NORTE	19.4	19.3 - 23.0
LIMA CENTRO	6	4.6 - 6.7
LIMA ESTE	18.5	17.3 - 23.9
LIMA OESTE	3.9	3.7 - 5.2
LIMA SUR	25.4	20.2 - 23.1

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 agosto presentó el siguiente comportamiento:

Los niveles de contaminación en los principales núcleos durante agosto fueron inferiores a los registrados el mes de julio, con excepción de Lima Sur este que se incrementó. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 20,7 t/km2.mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 26,7 t/km^2.mes; el tercero en Lima sur-este con 28,8 t/km^2.mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 32,8 t/km^2.mes.

El 83 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 10,4 t/km^2.mes, inferior a la media del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 28,8 t/km^2.mes en Pachacamac y el mínimo de 1,6 t/km^2.mes en Carabayllo.

Las máximas concentraciones de partículas menores a 2.5micras (PM2.5) se registraron los días lunes y martes equivalentes a 86,3 y 87 ug/m3, respectivamente.

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

Las máximas concentraciones de **óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2)** fueron de 196,2 ppb el día lunes 11 a las 12:00 horas y 87,3 ppb el día martes 05 a las 18:00 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_2 para el mes de mayo fue de 17,9 ppb y la máxima (87,3 ppb) equivalió al 82% del ECA Nacional horario para este contaminante. Las máximas concentraciones de NO_2 se presentaron los días lunes y martes (75,6 y 87,3 ppb, respectivamente); el día sábado la media fue de 14,6 ppb, menor en relación al resto de la semana.

El **dióxido de azufre (SO_2)** registró su valor máximo de 27,5 ppb, inferior al mes anterior, el día martes 05 a las 09:00 horas. Se observaron además dos picos horarios máximos de 8,5 ppb a las 09:00 y de 12 ppb a las 19:00 horas, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular.

La concentración media de SO_2 para el mes de mayo fue de 6,0 ppb y la máxima diaria de 11 ppb ppb) equivalió al 8 % del ECA Nacional horario para este contaminante. Las máximas concentraciones de SO_2 se presentaron los días lunes y martes de 26,1 ppb y 27,5 ppb; la media del día sábado fue de 4,3 ppb.

✓En cuanto a la nubosidad horaria, la nubosidad baja estratiforme se presentó muy densa y debido a la configuración de la inversión térmica con su base por encima de los 800 msnm,, la nubosidad cubrió toda la cuenca atmosférica, afectando con intensas y persistentes garúas a todos los distritos de la ciudad capital.

✓En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en agosto fueron de 16,6° C y 86 %. Así mismo el análisis medio señala el día 31 de agosto como el más cálido con una máxima media de 19,2 ° C y el día 28 como el más frío con un valor medio de 15,5 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el31 con la mínima media de 76 %, y el más húmedo el 8 de agosto (94 %).

✓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 moderada en amabas estaciones evaluadas (El Callao y La Molina); 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 direcciones comprendidas entre ESE y WNW; en horas vespertinas entre SSE y WNW; y, en horas nocturnas entre S y WNW.

✓Durante el mes de agosto 2008, la inversión térmica por subsidencia se presentó muy intensa con su base por sobre los 800 msnm, debido a la intensificación del Anticiclón del Pacífico sur oriental, de los vientos y por lo tanto del afloramiento marino que casi siempre es activo.