

**BOLETÍN MENSUAL**  
AÑO 11 N°08, AGOSTO 2011

**VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZONA  
METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO**



ELABORACIÓN: JOSÉ SILVA COTRINA  
ALDO ZEVALLOS AMASIFUÉN  
JOSÉ CARLOS CANALES  
RAPHAEL ALIAGA MARTINEZ  
ROSALINDA AGUIRRE ALMEYDA

APOYO : CAROL ORDOÑEZ AQUINO

Dirección General de Investigación y  
Asuntos Ambientales  
Lima - Perú

## VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO AGOSTO 2011

Se realiza la evaluación de las condiciones sinópticas (salidas de reanálisis de NCEP y NOAA) y meteorológicas locales de superficie y altura a través de la red meteorológica de superficie y una de Radiosondeo (07:00 hora local), respectivamente, que influyen en el comportamiento temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos particulados y gaseosos medidos usando métodos de muestreo pasivo y monitoreo automático en la cuenca atmosférica de Lima - Callao.

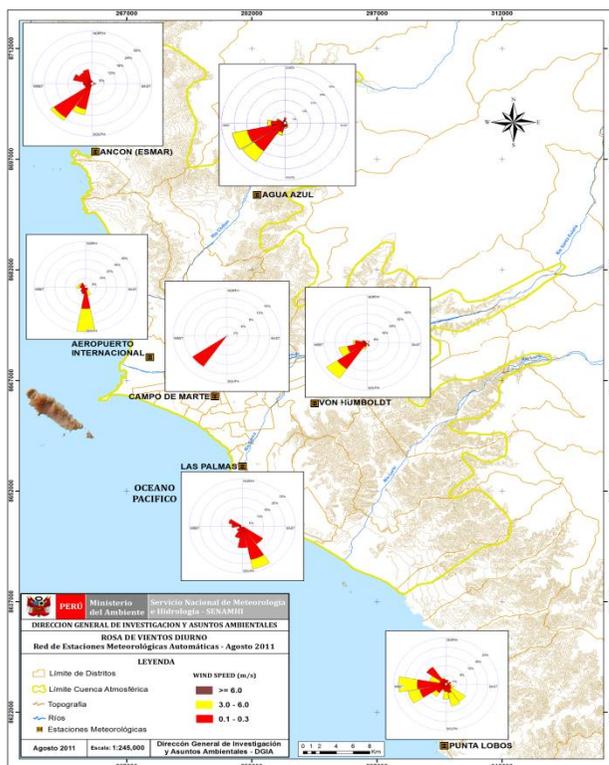
Las condiciones sinópticas durante el mes de agosto mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1015 y 1030 hPa; media de 1022,5 hPa en los 25° sur y 100° W; anomalías entre 0 y 2,5 hPa en latitudes tropicales a -30 y +22,5 hPa en altas latitudes del SW y S; las anomalías de TSM oscilando entre -1° a 0° C en latitudes tropicales y en altas latitudes alrededor de 0° C, que en conjunto ocasionaron que durante el mes, los vientos a lo largo de la costa peruana varíen entre débiles, moderados y fuertes; afloramiento marino activo; inversión térmica con altura promedio de su base a 971 m.s.n.m., espesor de 391 m y gradiente medio de 2,3° C/100 m (**cuadro N° 1**); condiciones que incrementaron la frecuencia de nubosidad estratiforme baja sobre casi todos los distritos de la capital (base < 500 m.s.n.m.) (**Fig. N° 1**); la altura de la base de la inversión, explica que, hacia el este también se incrementó el número de días cubiertos y muy pocos días con nublado parcial, nubes dispersas y baja insolación que contribuyó a que la temperatura del aire, en el presente mes, continúe en descenso; así, en la ciudad capital la temperatura del aire y la humedad relativa presentaron los valores de 16.0° C el día 15 (día más cálido) y de 14.7° C el día 29(día más frío); así también, la humedad relativa fue de 92 % los días 02 y 16 (días más húmedos) y de 87% los días 04,11 y 25 (días más secos).



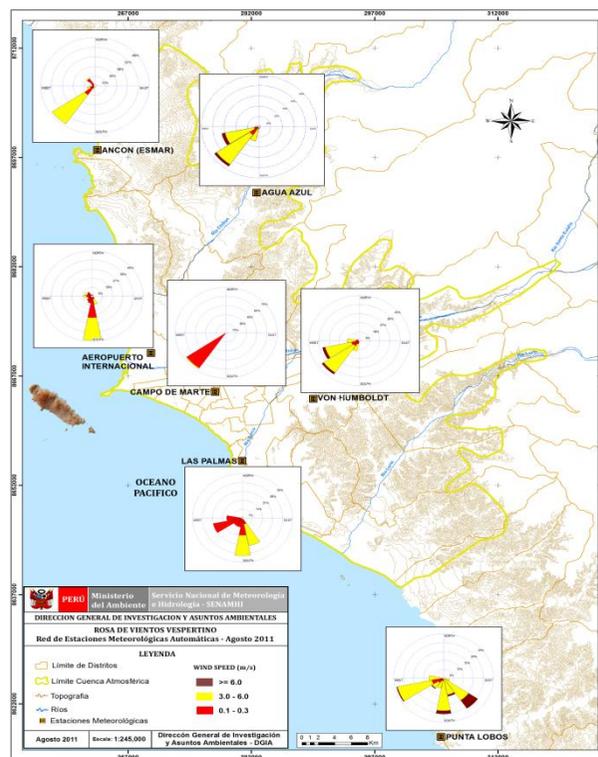
Fig. N° 01. Nubosidad medio horaria. Estación A.I. Jorge Chávez – Agosto 2011

**Cuadro N° 1: Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú, Agosto – 2011**

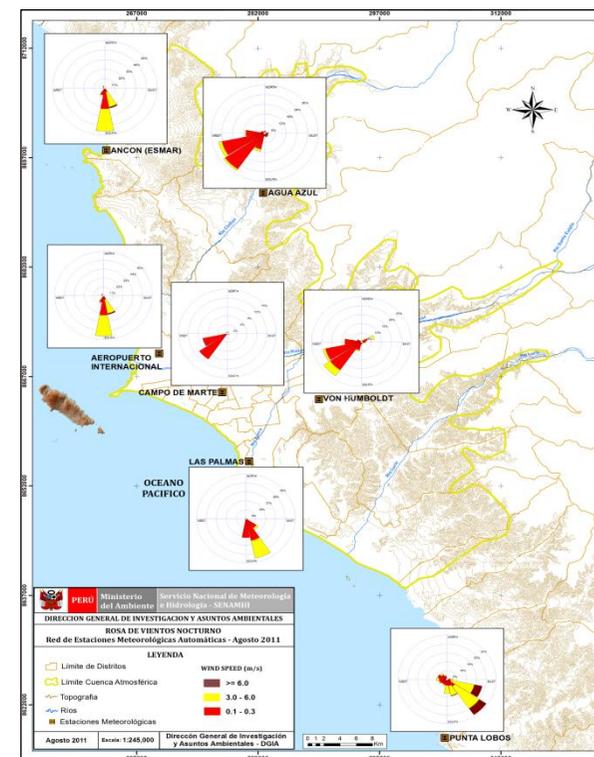
PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
		Valor	Día	Valor	Día	
Espesor	metro	933	09 de Agosto	101	25 de Agosto	391
Altura Base	metro	1313	01 de Agosto	633	08 de Agosto	<b>971</b>
Altura Tope	metro	1731	18 de Agosto	742	08 de Agosto	1363
T Base	° C	12.8	20 de Agosto	8.8	02,03 y 11 de Agosto	10.4
T Tope	° C	21.8	04 de Agosto	12.8	22 de Agosto	17.9
Gradiente	°C / 100 metros	4.4	25 de Agosto	0.7	01 de Agosto	<b>2.3</b>
H.R. Base	%	100	04 de Agosto	35	10 de Agosto	83
H.R. Tope	%	97	08 de Agosto	8	18 y 31 de Agosto	45



Mapa 1. Rosas de viento diurnas



Mapa 2. Rosas de viento vespertinas



Mapa 3. Rosas de viento nocturnas

En cuanto a la dispersión de los contaminantes del aire presentada en los Mapas 1, 2 y 3, se aprecia que, en promedio, debido a la presencia de la inversión térmica son transportados río arriba por las microcuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, predominantemente por vientos débiles a moderados del W, SW, S y SE en horas de la mañana (pese a la ausencia de insolación, la ciudad se comporta como una isla de calor); vientos moderados a fuertes del W, SW, S y SE en horas vespertinas; mientras que durante la noche nuevamente volvieron los vientos débiles y moderados del SW, S y SE.

Durante el mes de Agosto, las concentraciones promedio de Polvo Atmosférico Sedimentable - PAS ( $\Phi < 100$  micrometros) fueron menores a las del mes anterior, por la mayor presencia de días con cielo cubierto, decreciente insolación y ocurrencia de garúas, que contribuyeron a controlar la resuspensión ocasionada tanto por turbulencia natural como antropogénica debida al paso de vehículos. La zona crítica de más alta concentración fue Lima Este (Lurigancho), mayor que el mes anterior (57.1 t/km<sup>2</sup>/mes), que superó a la guía OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes) en 11.4 veces; y la media, mayor también que la del mes anterior, superó en 2.6 veces a dicha guía. Ver mapas 4 y 5 y cuadro 2.



Mapa 4. Distribución espacial PAS – Julio 2011



Mapa 5. Distribución espacial PAS - Agosto 2011

Cuadro 2: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS) Julio/Agosto 2011 (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	Guía OMS	Máx t/km <sup>2</sup> /mes	Mín t/km <sup>2</sup> /mes
			Lima Norte	Lima Centro-este	Lima Sur-este	Lima Sur				
<b>Julio 2011</b>	30	64%	12.3 (Independencia)	22.6 (El Agustino, Cercado, Lurigancho)	4.7 (Pachacamac)	13.9 (V.M.T.)	9.8	5	54.4 (Lurigancho)	0.8 (Callao)
<b>Agosto 2011</b>	29	93%	18.3 (Independencia)	28.7 (El Agustino, Cercado, Lurigancho)	13.0 (Pachacamac)	17.0 (V.M.T.)	12.8	5	57.1 (Lurigancho)	3.3 (Villa el Salvador)

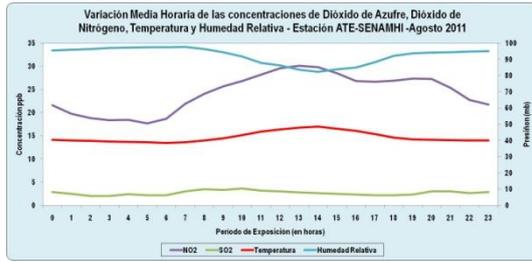


Fig.02



Fig.03

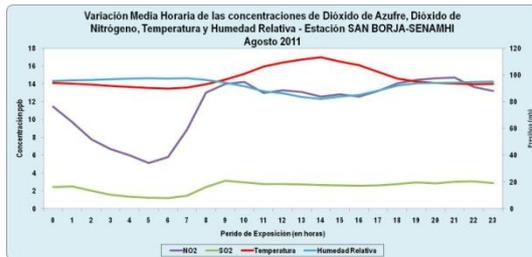


Fig.04



Fig.05



Fig.06



Fig.07



Fig.08



Fig.09

En la estación de Ate, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos ( $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ ) dentro del ciclo vespertino (2.7 ppb para el  $\text{SO}_2$  y 26.7 ppb para el  $\text{NO}_2$ ) se registraron a las 17:00 cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor (17 °C a las 14:00 horas) y la Humedad Relativa su mínimo valor 82 % también a las 14:00 horas. (fig.02). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró a las 15:00 horas con 4.4 m/s. (fig. 03).

En la estación de Limatambo-San Borja, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos ( $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ ) dentro del ciclo vespertino (2.6 ppb para el  $\text{SO}_2$  y 12.6 ppb para el  $\text{NO}_2$ ) se registraron a las 16:00 h, cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor (17.0 °C) dos horas antes y la Humedad Relativa su mínimo valor 82 % también a las 14:00 horas. (fig.04). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró a las 15:00 horas con 4.4 m/s. directamente relacionado a los bajos valores de los contaminantes (fig. 05).

En la estación de Campo de Marte, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) dentro del ciclo diario (1.3 ppb para el SO<sub>2</sub> y 10.7 ppb para el NO<sub>2</sub> se registraron a las 16:00 y 15:00 h, respectivamente cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor (17.0 °C a las 13:00 horas) y la Humedad Relativa su mínimo valor 83 % también a las 13:00 horas. (fig.06). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró a las 16:00 horas con 1.5 m/s (fig. 07).

En la estación de Santa Anita, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) dentro del ciclo diario (8.9 ppb para el SO<sub>2</sub> y 21.5 ppb para el NO<sub>2</sub> se registraron a las 16:00 y 14:00 h, respectivamente, la temperatura alcanzó su máximo valor (17.0 °C a las 14:00 horas) y la Humedad Relativa su mínimo valor 82 % también a las 14:00 horas. (fig.08). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró a las 16:00 horas con 4.4 m/s (fig. 09).

En las tres estaciones se aprecia la relación inversamente proporcional que tiene la concentración de los contaminantes gaseosos con la temperatura del aire y la velocidad del viento que generan procesos turbulentos que facilitan la dispersión.



Fig.10



Fig. 11

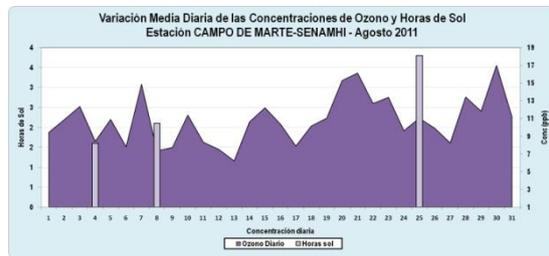


Fig.12



Fig.13

Las horas de sol tiene relación directa con la concentración de Ozono Troposférico; proveniente de la reacción fotoquímica de los hidrocarburos que cada vez incrementan su presencia en la atmósfera de una ciudad con un parque automotor en pleno crecimiento que demanda de un mayor número de estaciones de servicio y por lo tanto con mayores emisiones fugitivas que hacen prever que el Ozono es un contaminante del futuro cercano en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, si no se toman las medidas de control correspondientes; en los meses de invierno se aprecia con menor claridad éste proceso. (fig. 10, 11, 12 y 13).

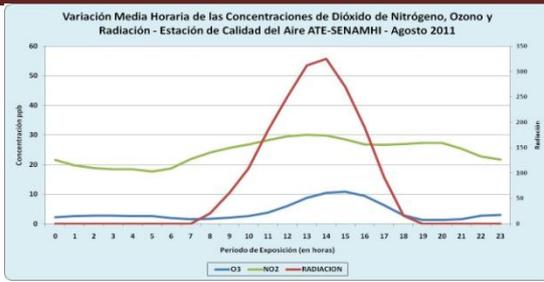


Fig. 14

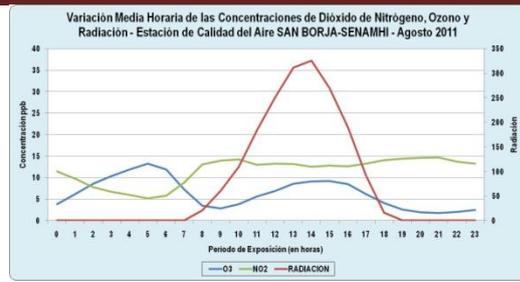


Fig.15

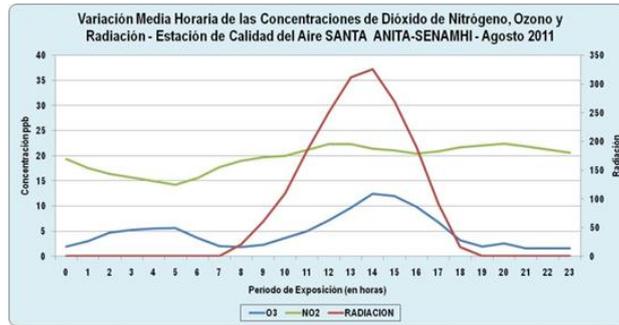


Fig. 16

El dióxido de Nitrógeno muestra un comportamiento opuesto a la de la radiación en horas de mayor incidencia solar, debido a que junto con los hidrocarburos, es precursor para la formación del Ozono, el mismo que incrementa sus concentraciones con la mayor presencia de radiación solar.(fig.14, 15 y 16).

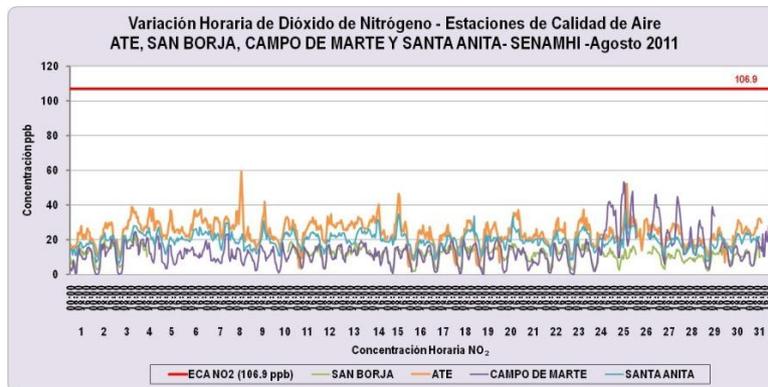


Fig.17

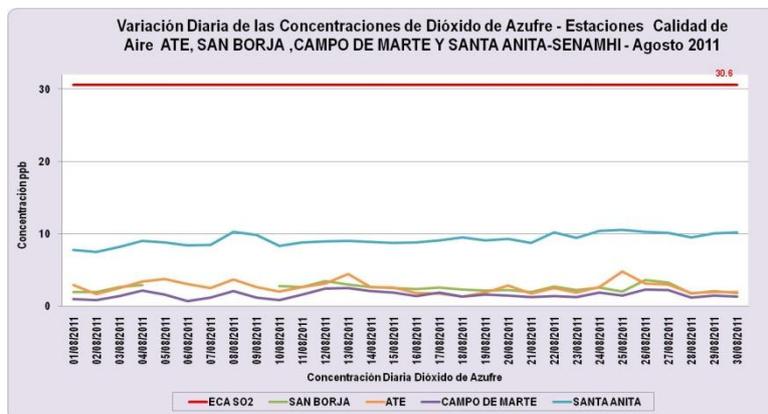


Fig. 18

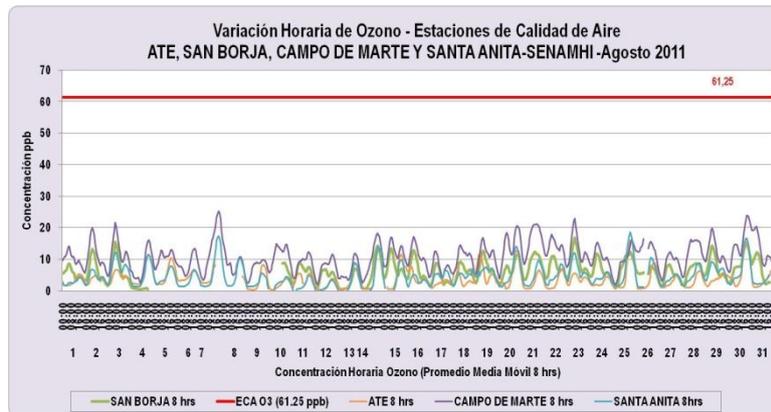


Fig. 19

Con relación al comportamiento de las concentraciones de los contaminantes gaseosos promedio diarias de SO<sub>2</sub>, horarias de NO<sub>2</sub> y promedio móvil de 8 horas de O<sub>3</sub> Troposférico observadas durante este mes, no superaron los Estándares de Calidad de Aire (D.S. N°074-2001-PCM y D.S. N° 003-2008-MINAM) dichos contaminantes en las estaciones de monitoreo.

El día Lunes 08 a las 13:00 h. se registró la máxima concentración de NO<sub>2</sub> en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) cuyo valor fue de 59.3 ppb representando el 55.4% del ECA (200 µg/m<sup>3</sup>=106,9 ppb); en la estación Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) el máximo valor registrado fue de 36.8 ppb el día 25 a las 13:00 h representando el 34.4% del ECA horario del NO<sub>2</sub>; en Lima Sur (Limatambo-San Borja) el máximo valor obtenido fue de 23.6 ppb del Miércoles 03 a las 20:00 horas que correspondió al 22.1 % del ECA respectivo. Por último, en Lima Centro (Campo de Marte) el día Jueves 25 a las 11:00 h se registró el máximo valor horario (53.4 ppb) correspondiente al 50.0% del ECA. **(fig.17)**.

En referencia al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) la máxima concentración presentada en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) fue de 4.8 ppb registrado el Jueves 25, representando al 15.7% del ECA diario del SO<sub>2</sub> (80 µg/m<sup>3</sup> = 30.6 ppb) ; en la estación Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) se obtuvo 10.6 ppb del mismo día 25 correspondiendo al 34.5 % del ECA; en la estación de Limatambo-San Borja (Lima Sur) el máximo valor obtenido fue 3.6 ppb del Viernes 26 que correspondió al 11.8 % del ECA señalado. Por último, en Lima Centro (Campo de Marte) el día Miércoles 31 se registró el máximo valor diario (3.4 ppb) correspondiente al 11.0% del ECA. **(fig.18)**.

Finalmente, la máxima concentración de O<sub>3</sub> (promedio móvil de 8 horas) en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) fue de 16.2 ppb registrado el día Jueves 25 a las 18:00 h representando el 26.4 % del ECA correspondiente (120 µg/m<sup>3</sup> = 61,25 ppb); en Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) el valor máximo obtenido fue de 18.6 ppb equivalente al 30.4% del estándar a la misma hora y el mismo día a la estación de Ate; en Lima Sur (Limatambo-San Borja) el máximo valor obtenido fue de 16.8 ppb del Martes 23 a las 07:00 horas que correspondió al 27.4 % del ECA correspondiente. Por último en Lima Centro (Campo de Marte) el día Domingo 07 a las 19:00 h se registró el máximo valor horario (25.3 ppb) correspondiente al 41.3% del ECA. **(fig.19)**.

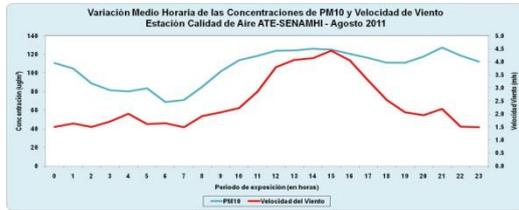


Fig. 20



Fig. 21

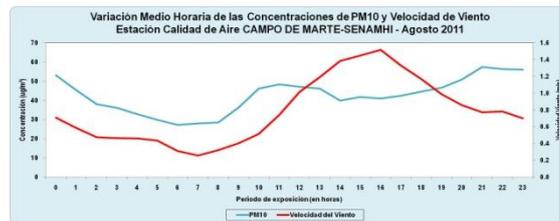


Fig. 22

En comparativa de la variación media horaria de la concentración del  $PM_{10}$  y la velocidad del viento en las tres estaciones, se puede apreciar calmas a vientos muy débiles (velocidad menores a 2 m/s en Ate y San Borja y menor a 0.5 m/s en Campo de Marte) hasta aproximadamente las 08:00 horas; antes de las 08:00 horas, las concentraciones de  $PM_{10}$  descienden debido tanto a la baja temperatura del aire y la baja densidad de vehículos que se mueven en el entorno; entre las 08:00 y 09:00 horas, pese a que la velocidad del viento aumenta, la concentración de  $PM_{10}$  empieza su franco ascenso también, lo cual se debe a la actividad vehicular, principalmente. Sin embargo, en horas después del medio día, cuando el viento está en sus valores máximos, se observa su influencia en la dispersión del contaminante; en San Borja a las 15:00 h se registró el máximo valor de velocidad de viento (4.4 m/s), y las concentraciones de menor valor de  $PM_{10}$  se registró a la misma hora (54.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), en Campo de Marte el máximo valor de velocidad de viento se registró a las 16:00 h (1.5 m/s) y los mínimos valores de concentración de  $PM_{10}$  se dieron a esa misma hora (40.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ); en Ate el máximo valor de velocidad de viento se registró a las 15:00 h (4.4 m/s); a esa misma hora se registró 125.3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de concentración de  $PM_{10}$  en el ciclo vespertino, uno de los valores más bajos de éste ciclo. (fig.20, 21 y 22).

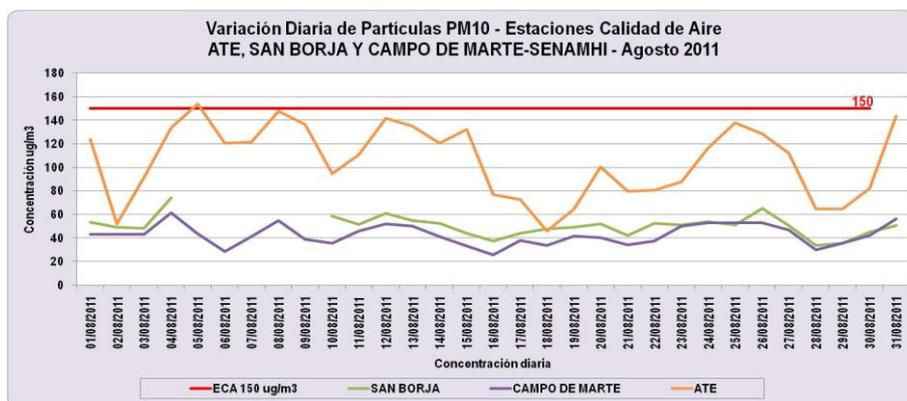


Fig. 23

Con referencia al material particulado menor a 10 micrómetros en la estaciones de Lima Este I (Municipalidad de Ate) se superó este mes al ECA de este contaminante ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por 24 h.) en 01 de los 31 días monitoreados, siendo el Viernes 05 el día que se registro el máximo valor  $153.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  superando al ECA en 2.5% .En Lima Sur (Limatambo-San Borja), el día Jueves 04 se registró la máxima concentración con  $71.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  equivalente al 49.4% del ECA. De igual manera, en Lima Centro (Campo de Marte) el día que se registró el valor más alto en el mes fue también el día 04 con  $61.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  representando el 40.8% del ECA. (**fig.23**).

### PERSPECTIVAS PARA EL MES DE SETIEMBRE

De acuerdo a los pronósticos climáticos para la costa central de Perú, donde se ubica la Zona Metropolitana de Lima-Callao, para el mes de setiembre 2011, como consecuencia de que la TSM está oscilando alrededor de sus normales en el Pacífico sur y el fortalecimiento estacional del anticiclón del Pacífico suroriental generando vientos entre débiles, moderados y fuertes que a su vez mantienen un afloramiento activo de la corriente fría de Humboldt, inversión térmica por subsidencia intensa y nubosidad estratiforme baja cubriendo casi todos los distritos de la capital, con la consiguiente ocurrencia de garúas, persistencia de días con cielo cubierto; la temperatura media del aire habiendo alcanzado sus valores mínimos de la estación mostrará valores similares a los del presente mes a un ligero incremento y la humedad relativa media del aire de valores similares a los del presente mes a un ligero descenso. Bajo tales condiciones, para el caso del Polvo Atmosférico Sedimentable (ver **Cuadro 3**), las partículas contaminantes  $\text{PM}_{10}$ , el gas ozono troposférico y la radiación solar se espera que sus valores presenten variabilidad normal, mostrando valores similares a los del presente mes a muy ligeros incrementos; los gases  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_2$  mostrarán valor similares a los del presente mes.

### PERSPECTIVAS: INTERVALO

**Cuadro 3: Perspectiva de concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS)  
Septiembre 2011 ( $\text{t}/\text{km}^2.\text{mes}$ )**

ZONA	INTERVALO DE CONFIANZA
LIMA NORTE	8.9 – 12.3
LIMA CENTRO	4.3 - 5.6
LIMA ESTE	20.8 – 31.1
LIMA OESTE	3.6 - 4.8
LIMA SUR	18.8 – 22.6
LIMA SURESTE	9.0 - 12.1

### CONCLUSIONES:

- Las condiciones atmosféricas y oceánicas que determinaron el comportamiento climático durante el mes de agosto en la costa central de Perú muestra el Anticiclón del Pacífico suroriental con valores medios de su núcleo de 1022,5 hPa en los 25° sur y 100° W, anomalías entre 0 y +2,5 hPa en latitudes tropicales a -30 y +22,5 hPa en altas latitudes

del SW y S, las anomalías de TSM entre  $-1$  y  $0^{\circ}$  C en latitudes tropicales y alrededor de sus normales en altas latitudes.

- La presencia de vientos superficiales variando entre débiles, moderados y fuertes mantuvieron un afloramiento activo de las aguas del mar que propició la presencia de una intensa Inversión Térmica por subsidencia con altura media de su base de 971 m.s.n.m., espesor de 391 m y gradiente medio de  $2,3^{\circ}$  C/100 m. lo que indica que la formación de la nubosidad estratiforme cubrió a casi todos los distritos de la capital.
- Las concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) fueron en promedio de 12.8 t/km<sup>2</sup>/mes, mayor a la del mes anterior; sin embargo, Lima-Este (Lurigancho) persistió como la zona crítica de más alta contaminación, superando a la guía OMS (5 t/km<sup>2</sup>/mes) en 11.4 veces y la media superó en 2.6 veces a dicha guía.
- En Ate fue superado el ECA de las partículas contaminantes PM<sub>10</sub> (150 µg/m<sup>3</sup> por 24 h.) en 01 de los 31 días monitoreados, siendo el Viernes 05 el día que se registró el máximo valor 153.7 µg/m<sup>3</sup> superando el ECA en 2.5% .En Lima Sur (Limatambo-San Borja), el día Jueves 04 se registró la máxima concentración con 71.2 µg/m<sup>3</sup> equivalente al 49.4% del ECA. De igual manera, en Lima Centro (Campo de Marte) el día que se registró el valor más alto en el mes fue también el día 04 con 61.1 µg/m<sup>3</sup> representando el 40.8% del ECA.
- Se puede apreciar la tendencia similar del comportamiento del PM<sub>10</sub> a lo largo del mes, en las tres estaciones de monitoreo Ate, San Borja y Campo de Marte.
- Los contaminantes gaseosos monitoreados (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y Ozono Troposférico), no superaron los estándares correspondientes en las cuatro estaciones de monitoreo Ate, San Borja, Campo de Marte y Santa Anita.
- En San Borja y Jesús María, se presenta muy baja concentración de PM<sub>10</sub>; esto debido a la presencia de un mucho mayor índice de área verde y a la limpieza pública de avenidas y calles concurridas por vehículos, lo que muestra un efecto directo en la mejora de la calidad del aire.
- Las concentraciones máximas en el ciclo horario fueron alcanzadas en días laborables (L-S) generalmente en horas de tránsito vehicular cargado (de 07 a 10 horas en horas de la mañana y por las noches de 18 a 21 hrs.), mientras que las mínimas se registran en horas de la madrugada, las primeras horas del día (antes de las 07 hrs.) y alrededor del medio día.
- Las concentraciones de los contaminantes atmosféricos muestran una tendencia inversamente proporcional a la temperatura del aire y velocidad del viento, debido a los procesos turbulentos del aire que generan dispersión.

- ∞ -