

BOLETÍN MENSUAL
AÑO 11 N°07, JULIO 2011

**PRONOSTICO MENSUAL DE LA CALIDAD DE 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 : MARIO GAVIDIA CALDERÓN

Dirección General de Investigación y
Asuntos Ambientales
Lima - Perú

PRONOSTICO MENSUAL DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO JULIO 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 julio mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1015 y 1035 hPa; media de 1022,5 hPa en los 30° sur y 97° W; anomalías entre -2,5 y 0 hPa en latitudes tropicales a -20 y +35 hPa en altas latitudes del SW y S; las anomalías de TSM oscilando alrededor de 0° C en latitudes tropicales y en altas latitudes, que en conjunto ocasionaron que durante el mes, los vientos a lo largo de la costa peruana varíen entre fuertes los primeros días, seguido de vientos débiles y moderados en la segunda quincena; afloramiento marino activo; inversión térmica con altura promedio de su base a 1387 m.s.n.m., espesor de 286 m y gradiente medio de 1,8° 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 17.5° C el día 15 de julio (día más cálido) y de 15.8° C el día 26 de julio (día más frío); así también, la humedad relativa fue de 95 % el día 06 de julio (día más húmedo) y de 69.5% el día 21 de julio (día más seco).

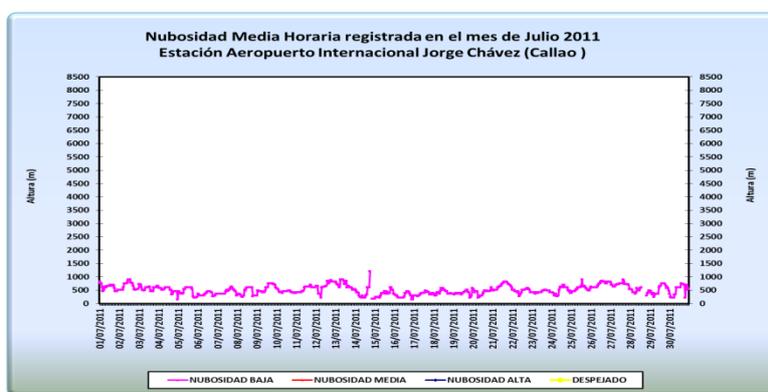
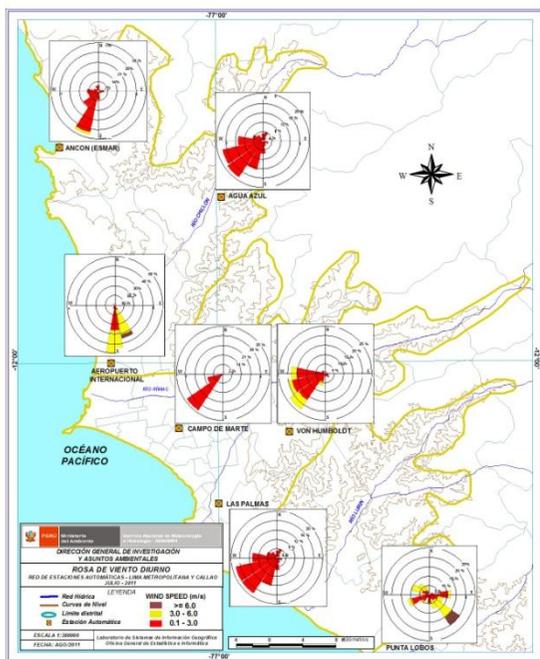


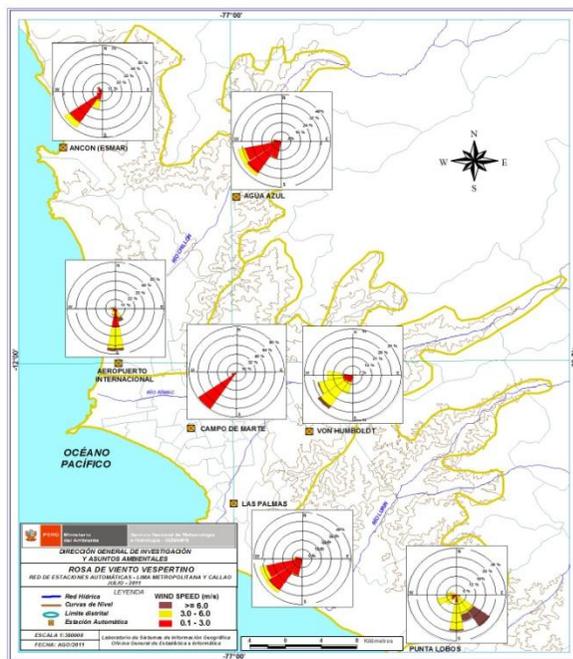
Fig. N° 01. Nubosidad medio horaria. Estación A.I. Jorge Chávez – Julio 2011

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

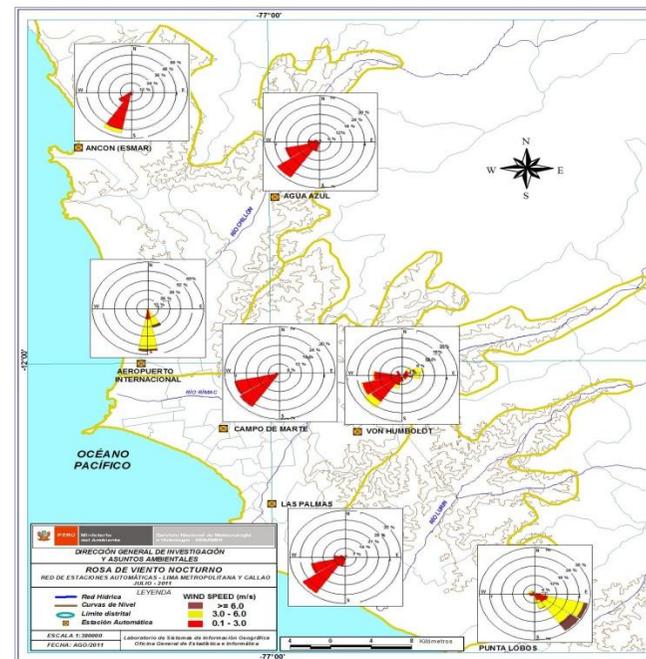
PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	891	25 Julio	100	27 Julio	286
Altura Base	metro	2994	16 Julio	561	15 Julio	1387
Altura Tope	metro	3135	16 Julio	842	15 Julio	1672
T Base	° C	18.6	1 Julio	4.0	16 Julio	12.1
T Tope	° C	22.8	23 Julio	7.2	15 Julio	16.7
Gradiente	°C / 100 metros	6.3	24 Julio	0.1	17,27,29 Julio	1.8
H.R. Base	%	98	17 Julio	30	20 Julio	70
H.R. Tope	%	96	30 Julio	8	31 Julio	46



Mapa 1. Rosas de viento diurnas



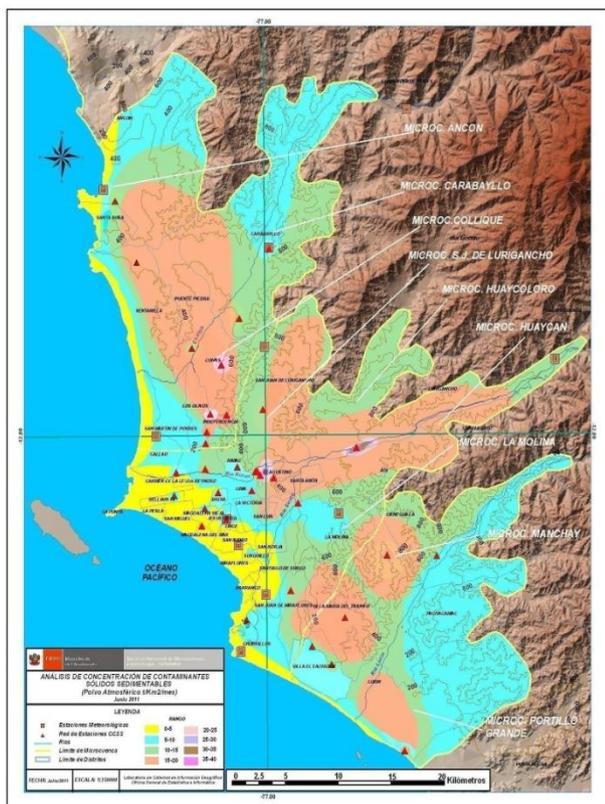
Mapa 2. Rosas de viento vespertinas



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 (debido a que pese a la ausencia de insolación, la ciudad se comporta como una isla de calor); 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 Julio, 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 reducir 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), menor que el mes anterior (54.4 t/km²/mes), que superó a la guía OMS (5 t/km²/mes) en 10.9 veces; y la media, menor que a la del mes anterior, superó en 1.9 veces a dicha guía. Ver mapas 4 y 5 y cuadro 2.



Mapa 4. Distribución espacial PAS – Junio 2011



Mapa 5. Distribución espacial PAS - Julio 2011

Cuadro 2: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS) Junio/Julio 2011 (t/km².mes)

Conc t/km ² .mes	N ° est.	% de estaciones Sobrepasa nivel ref.	Núcleos principales (puntuales y promedios)				X t/km ² /mes	Guía OMS	Máx t/km ² /mes	Mín t/km ² /mes
			Lima Norte	Lima Centro-este	Lima Sur-este	Lima Sur				
Junio 2011	31	100	24.4 (Independencia)	29.9 (El Agustino, Cercado, Lurigancho)	10.8 (Pachacamac)	15.5 (V.M.T.)	13.8	5	58.1 (Lurigancho)	5.6 (Callao)
Julio 2011	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)

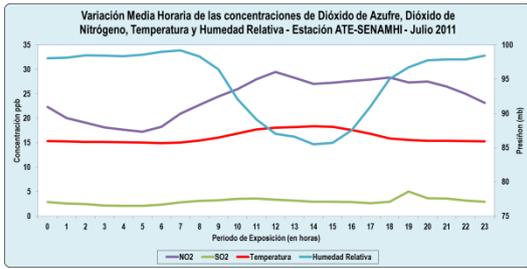


Fig.02

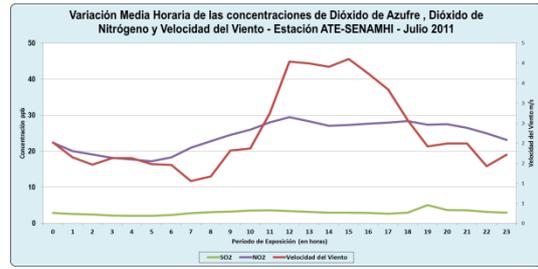


Fig.03

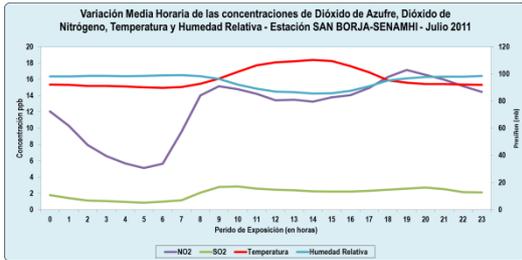


Fig.04

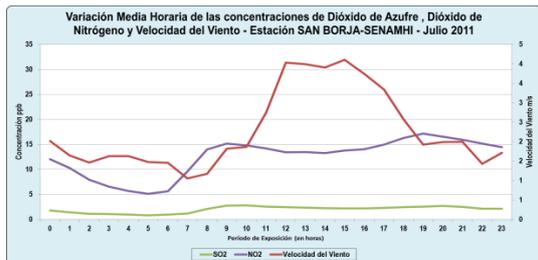


Fig.05

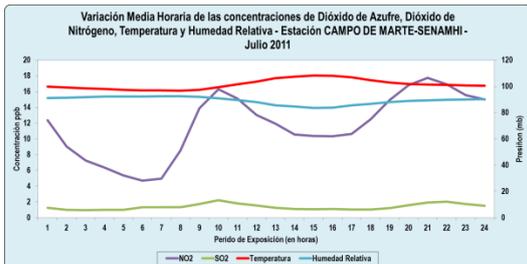


Fig.06

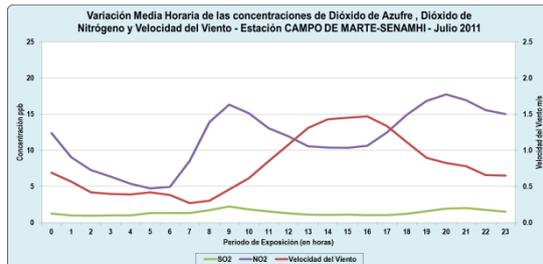


Fig.07

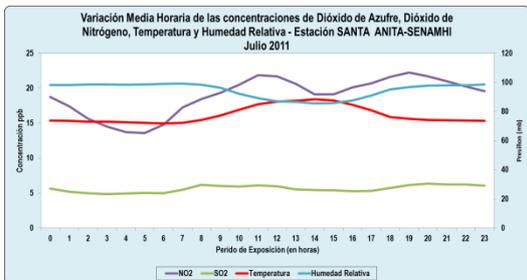


Fig.08

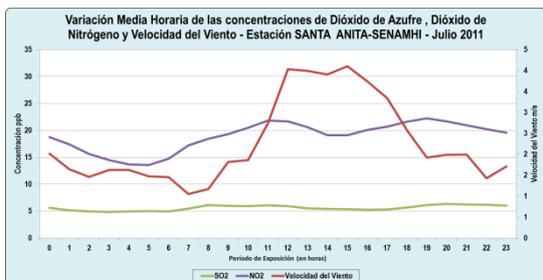


Fig.09

En la estación de Ate, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO_2 y SO_2) dentro del ciclo diario (2.7 ppb para el SO_2 y 27.26 ppb para el NO_2) se registraron a las 17:00 y 15:00 h, respectivamente cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor (18.4 °C a las 14:00 horas) y la Humedad Relativa su mínimo valor 85 % también a las 14:00 horas. (fig.02). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró también a las 15:00 horas con 4.1 m/s, directamente relacionado a los bajos valores de los referidos contaminantes (fig. 03).

En la estación de Limatambo-San Borja, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO_2 y SO_2) dentro del ciclo diario (2.2 ppb para el SO_2 y 13.3 ppb para el NO_2) se registraron a las 14:00 h, cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor (18.4 °C a esa misma hora y la Humedad Relativa su mínimo valor 85 % 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 4.1 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 (NO₂ y SO₂) dentro del ciclo diario (1.0 ppb para el SO₂ y 10.3 ppb para el NO₂) se registraron a las 15:00 y 16:00 h, respectivamente cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor (18.1 °C a las 14:00 horas) y la Humedad Relativa su mínimo valor 84 % también a las 14:00 horas. (fig.06). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró también a las 15:00 horas con 1.5 m/s, directamente relacionado a los bajos valores de los referidos contaminantes (fig. 07).

En la estación de Santa Anita, las concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO₂ y SO₂) dentro del ciclo diario empezaron a disminuir significativamente alrededor de las 10:00 h cuando la temperatura empezó a aumentar paulatinamente, es así como se registró el mínimo valor de concentración para el NO₂ a las 14:00 h (19.1 ppb) y para el SO₂ fue de 5.3 ppb a las 16:00 horas la máxima temperatura había alcanzado su máximo valor a las 14:00 (18.4 °C) y la Humedad Relativa su mínimo valor 85 % también a las 14:00 horas (fig.08). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró a las 15:00 horas con 4.1 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.

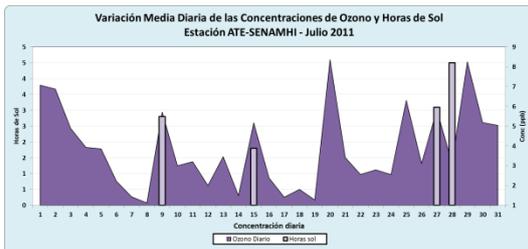


Fig.10

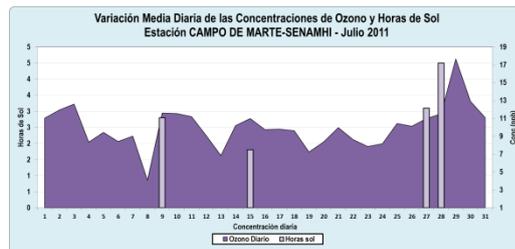


Fig. 11

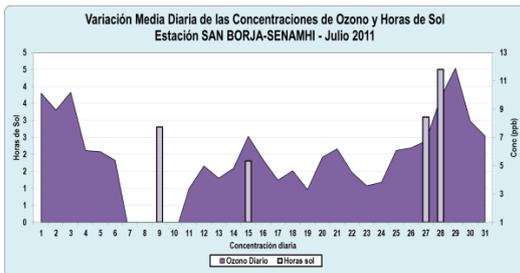


Fig.12



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; en los meses de invierno se aprecia con menor claridad éste proceso. (fig. 10,11,12 y 13).

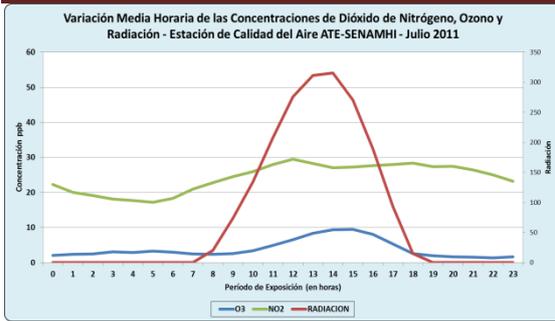


Fig. 14

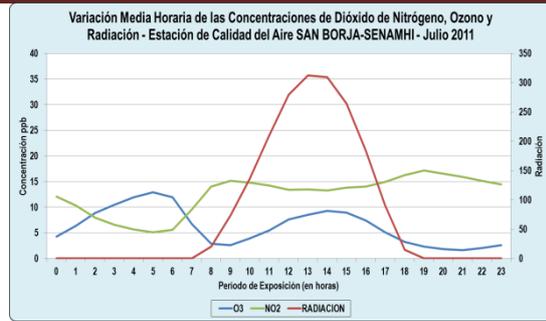


Fig.15

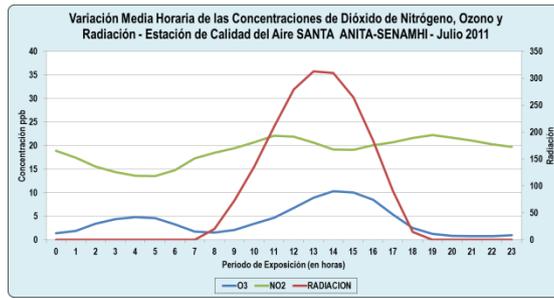


Fig. 16

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, por lo que se incrementa las concentraciones del Ozono con la mayor presencia de radiación solar. (fig.14,15 y 16).

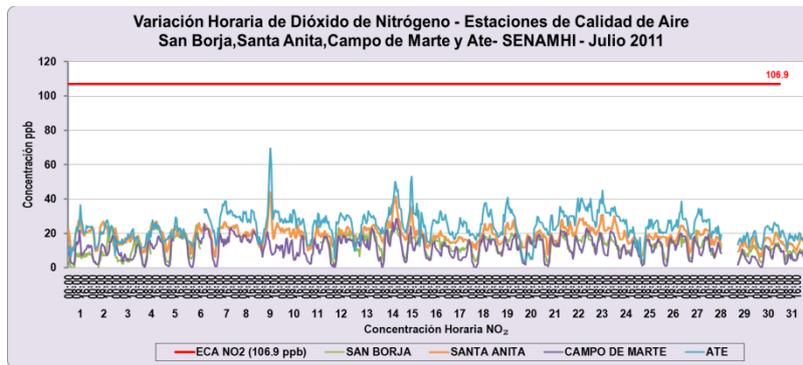


Fig.17

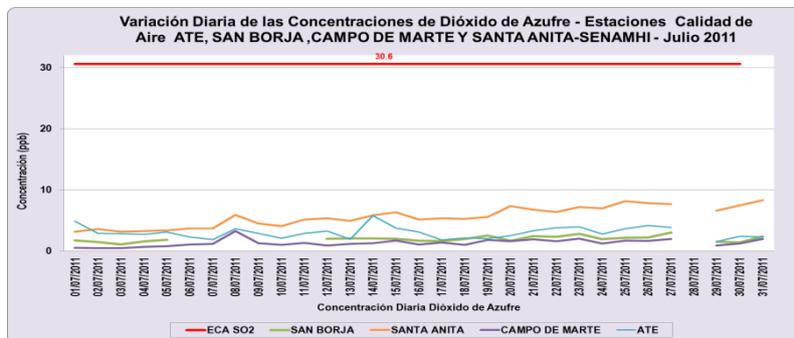


Fig. 18

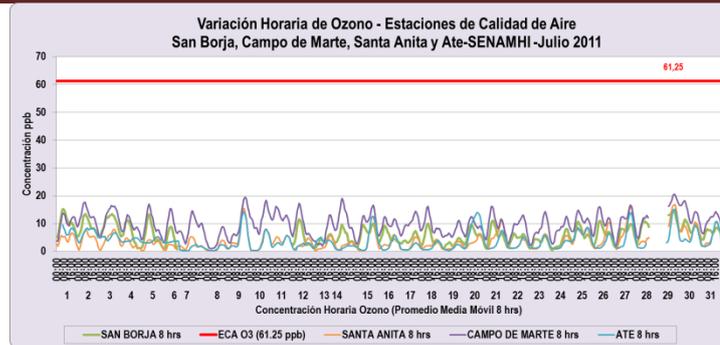


Fig. 19

Con relación al comportamiento de las concentraciones de los contaminantes gaseosos promedio diarias de SO₂, horarias de NO₂ y promedio móvil de 8 horas de O₃ 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 Sábado 09 a las 12:00 h. se registró la máxima concentración de NO₂ en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) cuyo valor fue de 69.5 ppb representando el 65% del ECA (200 µg/m³=106,9 ppb); en la estación Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) el máximo valor registrado fue de 44.4 ppb también el día 09 a las 11:00 h representando el 41.6% del ECA horario del NO₂; en Lima Sur (Limatambo-San Borja) el máximo valor obtenido fue de 25.0 ppb del Miércoles 06 a las 09:00 horas que correspondió al 23.4 % del ECA respectivo. Por último en Lima Centro (Campo de Marte) el día Jueves 14 a las 19:00 h se registró el máximo valor horario (28.5 ppb) correspondiente al 30.5% del ECA. **(fig.17)**.

En referencia al dióxido de azufre (SO₂) la máxima concentración presentada en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) fue de 5.8 ppb registrado el Jueves 14, representando al 19.0% del ECA diario del SO₂ (80 µg/m³ = 30.6 ppb) ; en la estación Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) se obtuvo 8.3 ppb el Domingo 31 correspondiendo al 27.2 % del ECA; en la estación de Limatambo-San Borja (Lima Sur) el máximo valor obtenido fue 3.0 ppb del Miércoles 27 que correspondió al 9.9 % del ECA señalado. Por último, en Lima Centro (Campo de Marte) el día Viernes 08 se registró el máximo valor diario (3.2 ppb) correspondiente al 10.6% del ECA. **(fig.18)**.

Finalmente, la máxima concentración de O₃ (promedio móvil de 8 horas) en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) fue de 15.1 ppb registrado el día Viernes 29 a las 19:00 h representando el 24.7 % del ECA correspondiente (120 µg/m³ = 61,25 ppb); en Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) el valor máximo obtenido fue de 17.0 ppb equivalente al 27.7% 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 15.3 ppb del Viernes 01 a las 07:00 horas que correspondió al 25.0 % del ECA correspondiente. Por último en Lima Centro (Campo de Marte) el día Viernes 29 a las 18:00 h se registró el máximo valor horario (33.6 ppb) correspondiente al 33.6% del ECA. **(fig.19)**.

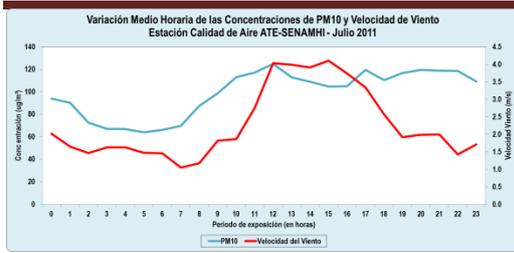


Fig.20

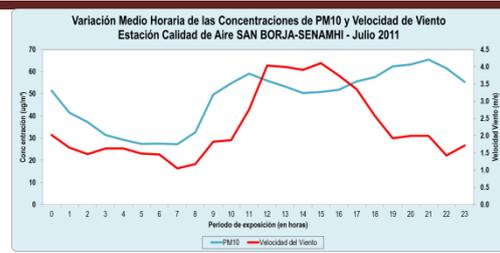


Fig. 21

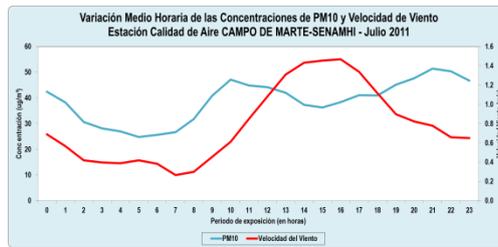


Fig. 22

En comparativa de la variación media horaria de la concentración del PM₁₀ 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 PM₁₀ 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 PM₁₀ 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 (4.8 m/s), y las concentraciones de menor valor se registró una hora antes (50.3 µg/m³), en Campo de Marte el máximo valor de velocidad de viento se registró a las 15:00 h (1.5 m/s) y los mínimos valores de concentración de PM₁₀ se dieron a esa misma hora (36.2 µg/m³); en Ate el máximo valor de velocidad de viento se registró a las 15:00 h (4.1 m/s) y los mínimos valores de concentración de PM₁₀ se dieron a esa misma hora (104.8 µg/m³). (fig.20, 21 y 22).

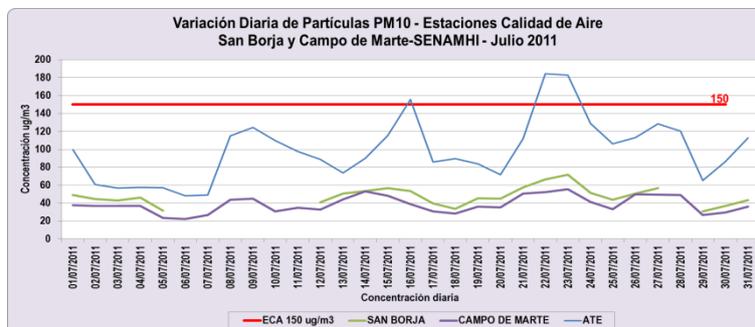


Fig. 23

En referencia al material particulado menor a 10 micrómetros en la estaciones de Lima Este I (Municipalidad de Ate) se superó este mes el ECA de este contaminante (150 µg/m³ por 24 h.) en 3 de los 31 días monitoreados, siendo el Viernes 22 el día que se registro el máximo valor 184.3 µg/m³ superando el ECA en 22.7%. En Lima Sur (Limatambo-San Borja), el día Sábado 23

se registró la máxima concentración con $71.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ equivalente al 47.7% 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 23 con $55.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representando el 37.1% del ECA. (fig.23).

PERSPECTIVAS PARA EL MES DE AGOSTO

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 agosto 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 con y nubosidad estratiforme baja cubriendo casi todos los distritos de la capital, con la consiguiente ocurrencia de garúas, incremento de días con cielo cubierto; la temperatura media del aire mostrará un ligero descenso y la humedad relativa media del aire un ligero ascenso. Bajo tales condiciones, para el caso del Polvo Atmosférico Sedimentable (ver Cuadro 3), las partículas contaminantes PM_{10} , el gas ozono troposférico y la radiación solar se espera que sus valores presenten variabilidad normal, mostrando valores ligeramente menores a los del presente mes; en cuanto a los gases, SO_2 y NO_2 se espera que muestren valores similares a los del presente mes.

PERSPECTIVAS: INTERVALO

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

ZONA	INTERVALO DE CONFIANZA
LIMA NORTE	8.1 – 11.0
LIMA CENTRO	4.1 - 5.3
LIMA ESTE	19.2 – 23.2
LIMA OESTE	3.6 - 4.8
LIMA SUR	19.6 – 24.2
LIMA SURESTE	7.6 - 11.7

CONCLUSIONES:

- Las condiciones atmosféricas y oceánicas que determinaron el comportamiento climático durante el mes de julio en la costa central de Perú muestra el Anticiclón del Pacífico suroriental con valores medios de su núcleo de 1022,5 hPa en los 30° sur y 97° W, anomalías entre -2,5 y 0 hPa en latitudes tropicales a -20 y +35 hPa en altas latitudes del SW y S, las anomalías de TSM alrededor de 0° C en latitudes tropicales y 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 1387

m.s.n.m., espesor de 286 m y gradiente medio de 1,8° 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 9.8 t/km²/mes, inferior 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/km²/mes) en 10.9 veces y la media superó en 1.9 veces a dicha guía.
- En Ate se superó el ECA de PM₁₀ (150 µg/m³ por 24 h.) en 3 de los 31 días monitoreados, siendo el Viernes 22 el día que se registró el máximo valor 184.3 µg/m³ superando el ECA en 22.7%. En Lima Sur (Limatambo-San Borja), el día Sábado 23 se registró la máxima concentración con 71.6 µg/m³ equivalente al 47.7% 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 23 con 55.7 µg/m³ representando el 37.1% del estándar.
- Se puede apreciar la tendencia similar del comportamiento a lo largo del mes del PM₁₀, en las tres estaciones de monitoreo.
- Los contaminantes gaseosos monitoreados (NO₂, SO₂ y Ozono Troposférico), no superaron los estándares correspondientes en las tres estaciones de monitoreo.
- En San Borja y Jesús María, se presenta muy baja concentración de PM₁₀; 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.

- ∞ -