

BOLETÍN MENSUAL
AÑO 11 N°11, NOVIEMBRE 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

Dirección General de Investigación y
Asuntos Ambientales
Lima - Perú

VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO NOVIEMBRE 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 noviembre mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1017,5 y 1030 hPa; media de 1025 hPa en los 33° S y 119° W; anomalías entre 0 y 2 hPa en latitudes tropicales a -30 y +20 hPa en altas latitudes del SW y S; las anomalías de TSM variando entre -2 a 0° C en latitudes tropicales y entre -1 y +0,5° C en altas latitudes del SW y S, 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 815 m.s.n.m., espesor de 347 m y gradiente medio de 1,1° C/100 m (**cuadro N° 1**); disminución de la nubosidad estratiforme baja (base < 500 m.s.n.m.) (**Fig. N° 1**) sobre casi todos los distritos de la capital, en especial en los distritos del este; aparición de nubes medias y altas, incremento de la insolación. Las condiciones descritas contribuyeron a que la temperatura media del aire continúe en ascenso y la humedad relativa media en descenso hacia la estación de verano, presentando en la ciudad capital, durante este mes, los valores de 17,6° C el día 08 de noviembre (día más frío) y de 19,8° C el día 30 de noviembre (día más cálido); así también, la humedad relativa fue de 89 % el día 20 de noviembre (día más húmedo) y de 75% el día 08 de noviembre (día más seco). Relacionado a lo anterior, la contaminación del aire por partículas de Polvo Atmosférico Sedimentable y PM₁₀, muestran un ligero incremento dentro de sus condiciones normales.

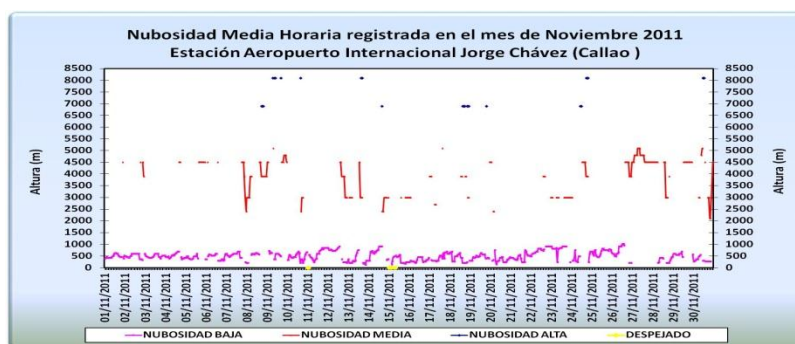
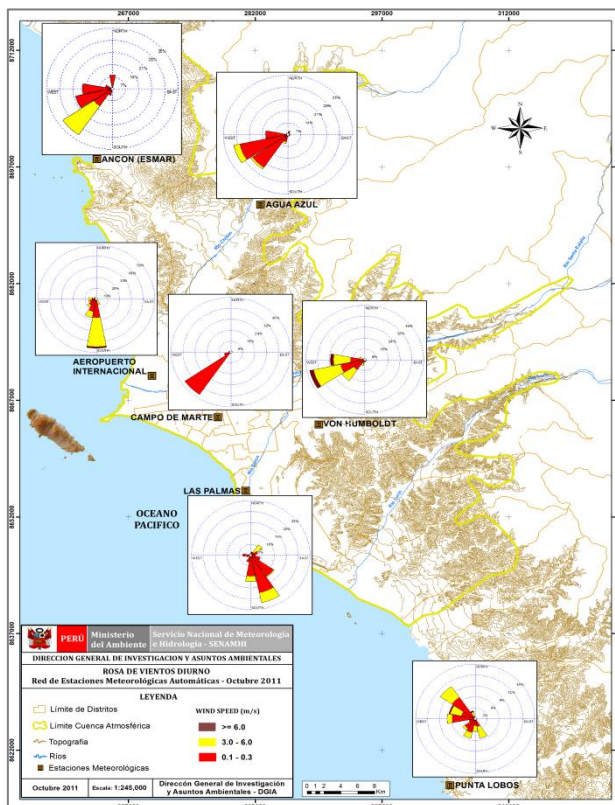


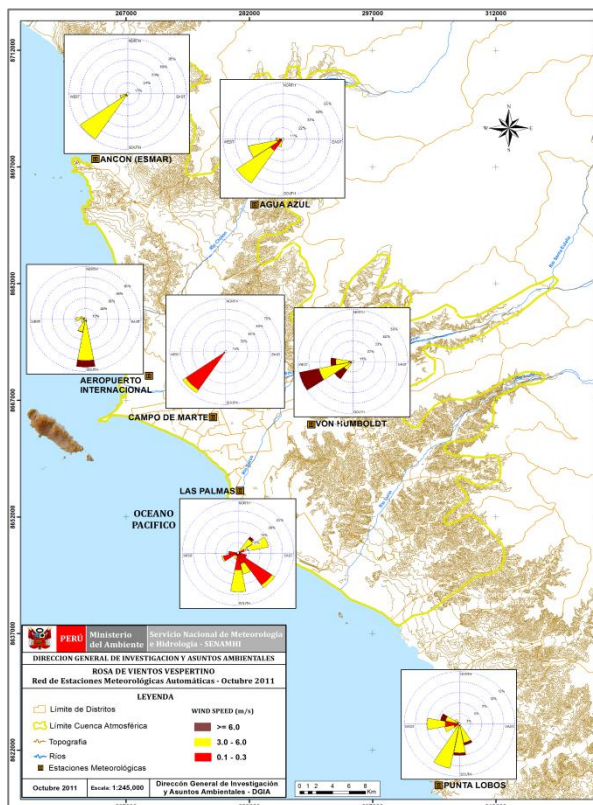
Fig. N° 01. Nubosidad medio horaria. Estación A.I. Jorge Chávez – Noviembre 2011

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

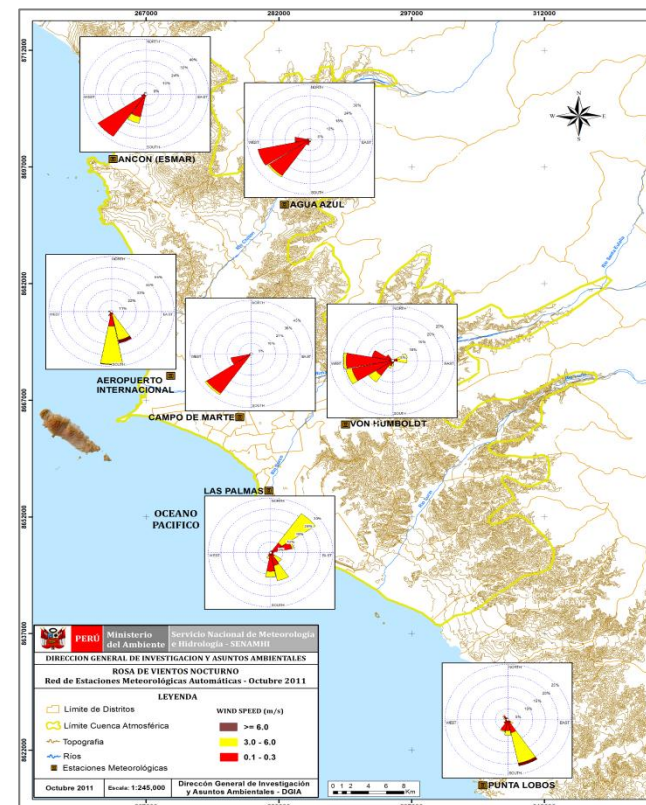
PARAMETRO	UNIDAD	MAXIMO		MINIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	764	15 Noviembre	116	26 Noviembre	347
Altura Base	metro	1276	22 Noviembre	357	15 Noviembre	815
Altura Tope	metro	1493	11 Noviembre	871	30 Noviembre	1162
T Base	°C	15.2	15 Noviembre	9.6	22 Noviembre	12.8
T Tope	°C	19.4	17 Noviembre	12.6	26 Noviembre	15.7
Gradiente	°C/100 m	2.4	22 Noviembre	0.4	11 y 19 Noviembre	1.1
H.R. Base	%	100	30 Noviembre	57	22 Noviembre	91
H.R. Tope	%	93	18 Noviembre	52	17 Noviembre	76



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 que limita la dispersión vertical, predomina el transporte horizontal río arriba por las microcuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, en particular por vientos débiles a moderados del W, SW, S y SE en horas de la mañana (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 noviembre, las concentraciones promedio de Polvo Atmosférico Sedimentable - PAS ($\Phi < 100$ micrometros) fueron mayores a las del mes anterior, por a la presencia de días con mayor insolación, mayor altitud de la inversión térmica, decreciente nubosidad y disminución de garúas, que propiciaron la mayor acción de los procesos de suspensión y resuspensión de las partículas. La zona crítica de más alta concentración fue Lima Este (Lurigancho), (35.0 t/km²/mes), menor que el mes anterior y superó a la guía OMS (5 t/km²/mes) en 7 veces; y la media, mayor a la del mes anterior, superó en 2.7 veces a dicha guía. Ver **mapas 4 y 5 y cuadro 2**.



Mapa 4. Distribución espacial PAS – Octubre 2011



Mapa 5. Distribución espacial PAS - Noviembre 2011

**Cuadro 2: Concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS)
Octubre/Noviembre 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				
Octubre 2011	33	94%	24.8 (Independencia)	30.0 (El Agustino, Cercado, Lurigancho)	17.0 (Pachacamac)	16.5 (V.M.T.)	13.0	5	53.4 (Lurigancho)	1.9 (Villa el Salvador)
Noviembre 2011	31	90%	23.0 (Independencia)	23.3 (El Agustino, Cercado, Lurigancho)	22.23 (Pachacamac)	21.6 (V.M.T.)	13.6	5	35.0 (Lurigancho)	2.5 (Jesús María)

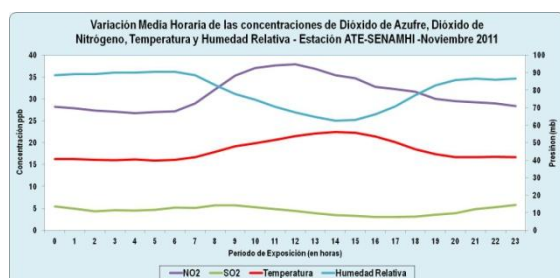


Fig.02



Fig.03

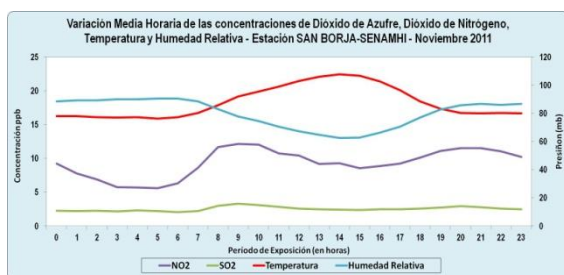


Fig.04

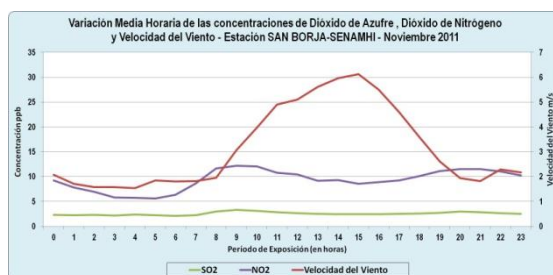


Fig.05

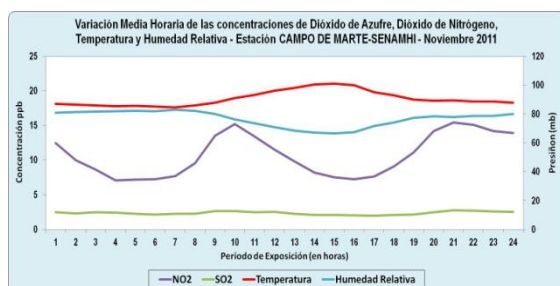


Fig. 06

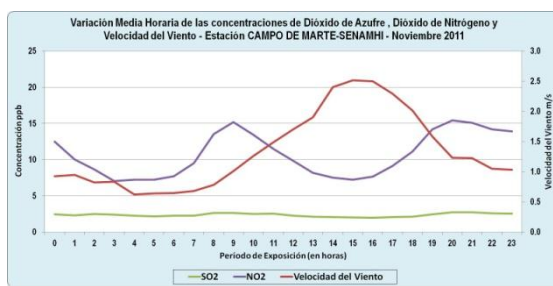


Fig. 07

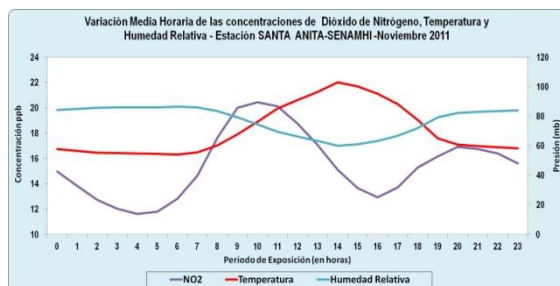


Fig. 08

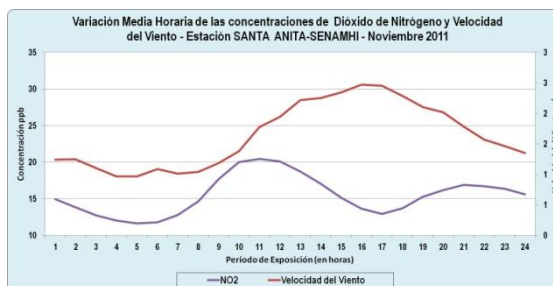


Fig. 09

En la estación de Ate, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO_2 y SO_2) dentro del ciclo vespertino: 3.0 ppb para el SO_2 y 32.2 ppb para el NO_2 se registraron a las 17:00 horas, cuando la temperatura del aire, había alcanzado su máximo valor (22.4°C a las 14:00 horas), la Humedad Relativa su mínimo (63 %) a la misma hora (**fig.02**) y la velocidad del viento (**fig. 03**), su máximo (6.1 m/s), a las 15:00 horas.

En la estación de Limatambo-San Borja, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO_2 y SO_2) dentro del ciclo vespertino se registraron de la siguiente manera: 2.4 ppb para el SO_2 a las 15:00 h y 8.6 ppb para el NO_2 a las 15:00, cuando la temperatura del aire, había alcanzado su máximo valor (22.4 °C) a las 14:00, la Humedad Relativa su mínimo (63 %) también a las 14:00 horas (**fig.04**) y la velocidad del viento (**fig. 05**) su máximo (6.1 m/s) a las 15:00 horas.

En la estación de Campo de Marte, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO_2 y SO_2) dentro del ciclo vespertino: 2.0 ppb para el SO_2 y 7.2 ppb para el NO_2 se registraron a las 15:00 horas, cuando la temperatura del aire, había alcanzado su máximo valor a las 14:00 horas (21.0°C), la Humedad Relativa su mínimo (67 %) también a las 14:00 horas (**fig.06**) y la velocidad del viento (**fig. 07**), su máximo (2.5 m/s), a las 15:00 horas.

En la estación de Santa Anita, las mínimas concentraciones del contaminante gaseo NO_2 dentro del ciclo vespertino (12.9 ppb) se registró a las 16:00 horas, cuando la temperatura del aire, alcanzó su máximo valor (21.7 °C a las 15:00 horas), la Humedad Relativa su mínimo (60 %) a las 14:00 horas (**fig.08**) y la velocidad del viento (**fig. 09**), su máximo (2.5 m/s), a las 15:00 horas.

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

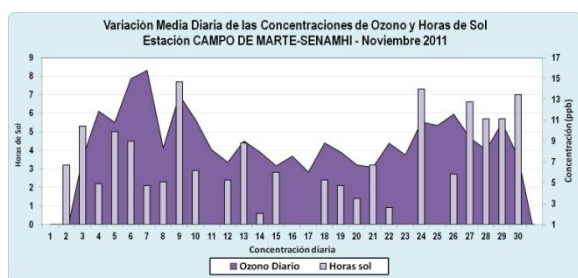


Fig.12

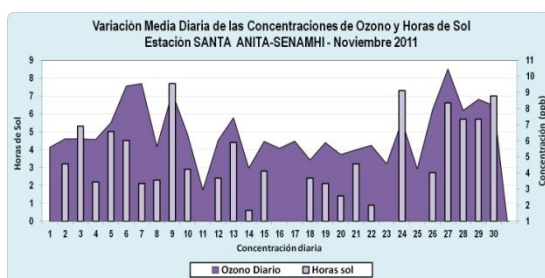


Fig.13

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 (**fig. 10, 11, 12 y 13**).

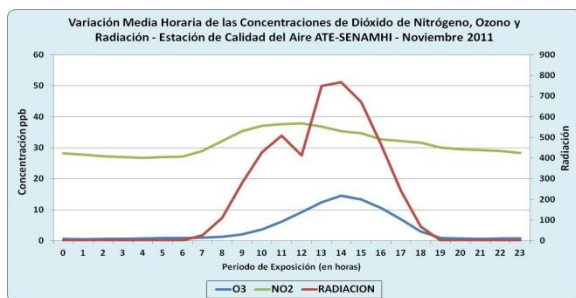


Fig. 14

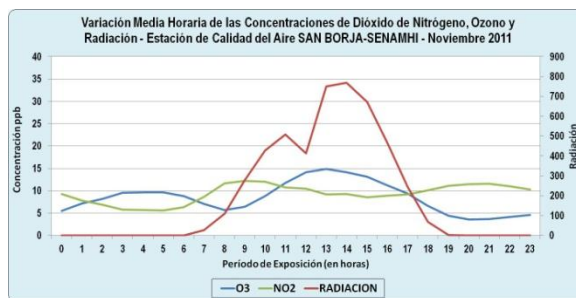


Fig.15

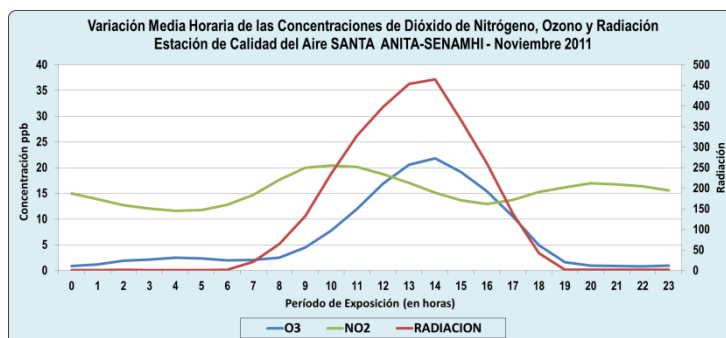


Fig. 16

El dióxido de Nitrógeno muestra un comportamiento opuesto al de la radiación solar 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).

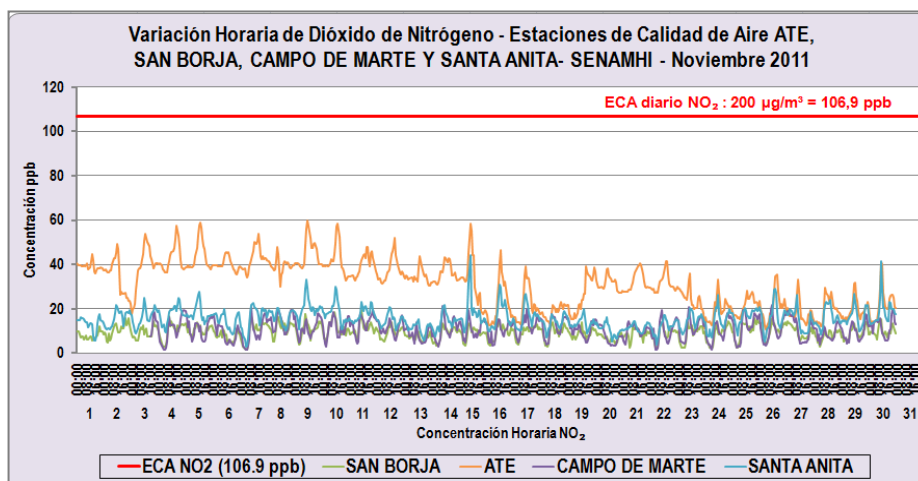


Fig.17

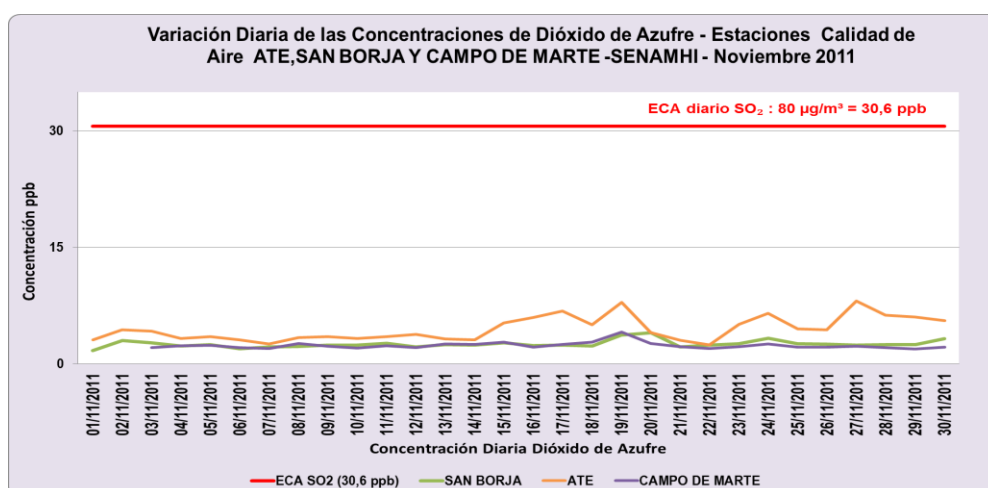


Fig. 18

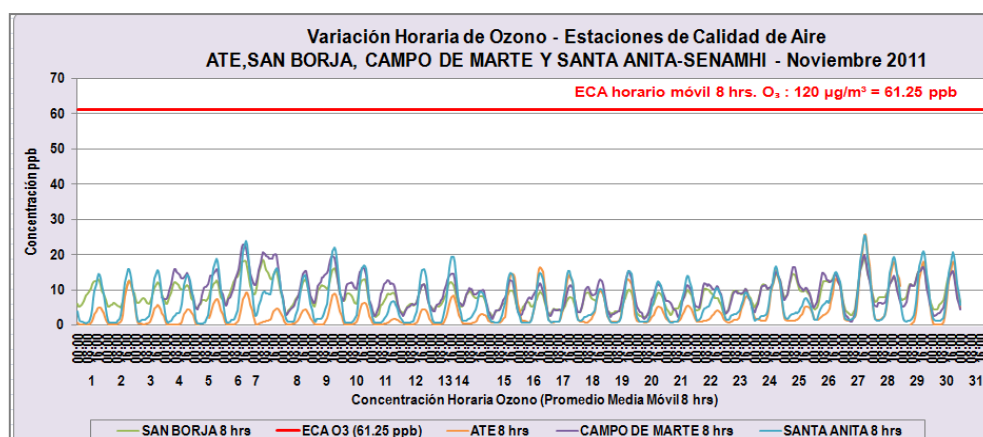


Fig. 19

Con relación al comportamiento de las concentraciones de los contaminantes gaseosos promedio diarias de SO_2 , horarias de NO_2 y promedio móvil de 8 horas de O_3 Troposférico observadas durante este mes, no superaron dichos contaminantes a los Estándares de Calidad de Aire (D.S. N°074-2001-PCM y D.S. N° 003-2008-MINAM) en las estaciones de monitoreo.

El día Miércoles 09 a las 10:00 h. se registró la máxima concentración de NO_2 en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) cuyo valor fue de 59.9 ppb representando el 56.0% del ECA ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 106.9$ ppb), en la estación Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) el máximo valor registrado fue de 44.3 ppb el día 15 a las 09:00 h representando el 41.4 % del ECA horario del NO_2 ; en Lima Sur (Limatambo-San Borja) el máximo valor obtenido fue de 19.3 ppb del Viernes 11 a las 10:00 horas que correspondió al 18.1 % del ECA respectivo. Por último, en Lima Centro (Campo de Marte) el día Sábado 26 a las 10:00 h se registró el máximo valor horario (21.5 ppb) correspondiente al 20.1 % del ECA. (fig.17).

En referencia al dióxido de azufre (SO_2) la máxima concentración presentada en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) fue de 8.1 ppb registrado el Domingo 27, representando al 26.5 % del ECA diario del SO_2 ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 30.6$ ppb); en la estación de Limatambo-San Borja (Lima Sur) el máximo valor obtenido fue 3.9 ppb del Domingo 20 que correspondió al 12.7 % del ECA señalado, en Lima

Centro (Campo de Marte) el día Viernes 21 también se registró el máximo valor diario (4.1 ppb) correspondiente al 13.3 % del ECA. (fig.18).

Finalmente, la máxima concentración de O_3 (promedio móvil de 8 horas) en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) fue de 25.8 ppb registrado el día Domingo 27 a las 18:00 h representando el 42.1 % del ECA correspondiente ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 61,25 \text{ ppb}$); en Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) el valor máximo obtenido fue de 25.4 ppb equivalente al 41.5% del estándar el día 27 a las 17:00 h; en Lima Sur (Limatambo-San Borja) el máximo valor obtenido fue de 19.2 ppb también del día 27 a las 18:00 horas que correspondió al 31.4% del ECA correspondiente. Por último, en Lima Centro (Campo de Marte) el día 06 a las 16:00 horas se registró el máximo valor horario (22.8 ppb) correspondiente al 37.2 % del ECA. (fig.19).

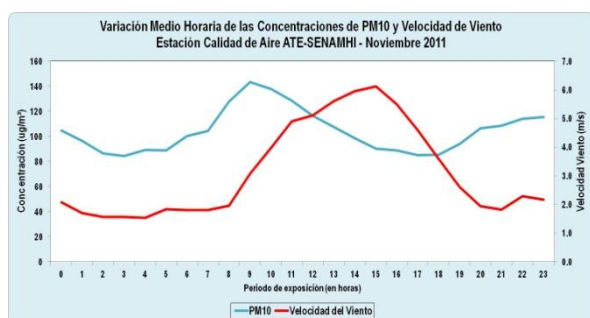


Fig. 20

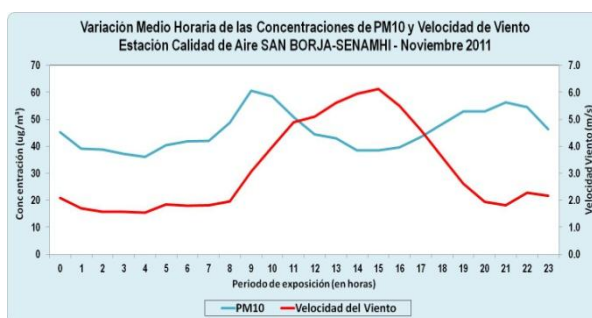


Fig. 21

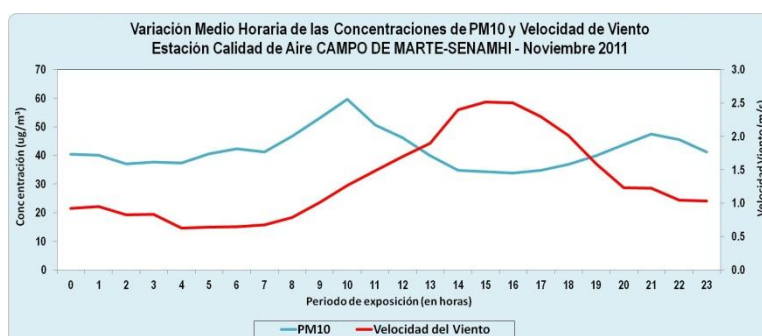


Fig. 22

En comparativa de la variación media horaria de la concentración del PM_{10} y la velocidad del viento en las tres estaciones mostradas, se puede apreciar calmas a vientos muy débiles (velocidad menores a 2 m/s en Ate y San Borja, menores a 1 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 baja la densidad vehicular y 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 (6.1 m/s), y la concentración de menor valor de PM_{10} se registró a la misma hora (38.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), en Campo de Marte el máximo valor de velocidad de viento se registró a las 15:00 h (2.5 m/s) y el mínimo valor de concentración de PM_{10} se dio a esa misma hora (34.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); en Ate el máximo valor de velocidad de viento se registró a las 17:00 h (6.1 m/s); aproximadamente al mediodía las concentraciones de PM_{10} empezaron a descender y el mínimo valor se registró a las 15:00 horas con 85.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (fig.20, 21 y 22).

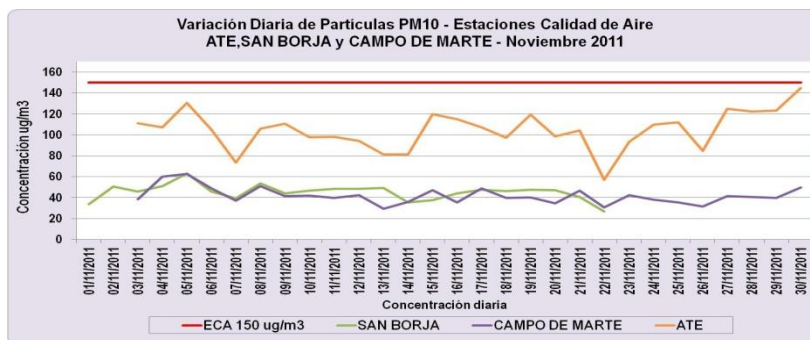


Fig. 24

Con referencia a las concentraciones de material particulado menor a 10 micrómetros en la estaciones de Lima Este I (Municipalidad de Ate) no se superó este mes al ECA de este contaminante ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por 24 h.), siendo el Miércoles 30 el día que se registro el máximo valor $144.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ equivalente al 96.6% del ECA. En Lima Sur (Limatambo-San Borja), el día Sábado 05 se registró la máxima concentración con $63.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ equivalente al 42.2% 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 05 con $62.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representando el 41.7% del ECA. (fig.24).

PERSPECTIVAS PARA EL MES DE DICIEMBRE

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 diciembre 2011, como consecuencia de que la TSM en latitudes tropicales está mostrando anomalías negativas y el comportamiento variable 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 mostrando tendencia a la disminución, con la consiguiente disminución de garúas e incremento de la insolación; la temperatura media del aire continúa en ascenso hacia la estación de verano. 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 y uv mostrarán tendencias crecientes oscilando dentro de su variabilidad normal.

PERSPECTIVAS: INTERVALO

**Cuadro 3: Perspectiva de concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS)
Diciembre 2011 (t/km².mes)**

ZONA	INTERVALO DE CONFIANZA
LIMA NORTE	4.3 - 5.3
LIMA CENTRO	5.4 - 6.4
LIMA ESTE	25.7 - 29.5
LIMA OESTE	16.5 - 24.1
LIMA SUR	9.8 - 14.5
LIMA SURESTE	10.6 - 14

CONCLUSIONES:

- Las condiciones atmosféricas y oceánicas que determinaron el comportamiento climático durante el mes de noviembre en la costa central de Perú, muestra el Anticiclón del Pacífico suroriental con valores medios de su núcleo de 1025 hPa en los 33° S y 119° W, anomalías entre 0 y 2 hPa en latitudes tropicales a -30 y +20 hPa en altas latitudes del SW y S, la TSM oscilando entre -2 a 0° C en latitudes tropicales y entre -1 a +0.5° C en altas latitudes del SW.
- 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 815 m.s.n.m., espesor de 347 m y gradiente medio de 1,1° C/100 m. con disminución de la nubosidad estratiforme y las garúas e incremento de la insolación.
- Las concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) fueron en promedio de 13.6 t/km²/mes, mayores a la del mes anterior; además superó en 2.7 veces a dicha guía. La zona crítica de más alta concentración fue Lima Este (Lurigancho), (35.0 t/km²/mes), menor que el mes anterior y superó a la guía OMS (5 t/km²/mes) en 7 veces.
- Se puede apreciar la tendencia o comportamiento similar del PM₁₀ a lo largo del mes, en comparativa de las cuatro estaciones de monitoreo de Calidad de Aire Ate, San Borja, Campo de Marte y Santa Anita.
- Los contaminantes monitoreados (PM₁₀, NO₂, SO₂ 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 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 h), mientras que las mínimas se registran en horas de la madrugada, las primeras horas del día (antes de las 07 h) y alrededor del mediodía.
- Las concentraciones de los contaminantes atmosféricos muestran una relación inversamente proporcional a la temperatura del aire y velocidad del viento, debido a los procesos turbulentos del aire que generan dispersión; mientras que las concentraciones del ozono Troposférico muestran una relación directamente proporcional a las horas de sol y radiación solar debido a los mayores procesos fotoquímicos que ocurren en la atmósfera.

- ∞ -