

BOLETÍN MENSUAL
AÑO 11 N°10, OCTUBRE 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 : JOSÉ LUIS ANGULO

Dirección General de Investigación y
Asuntos Ambientales
Lima - Perú

VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO OCTUBRE 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 octubre mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1015 y 1035 hPa; media de 1025 hPa en los 33° sur y 108° W; anomalías entre -0,5 y 2,5 hPa en latitudes tropicales a -17,5 y +15 hPa en altas latitudes del SW y S; las anomalías de TSM variando entre -1 a 0° C en latitudes tropicales y oscilando alrededor de sus condiciones normales 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 789 m.s.n.m., espesor de 503 m y gradiente medio de 1,4° 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 e 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 18,25° C el día 23 de octubre (día más cálido) y de 15,4° C el día 19 de octubre (día más frío); así también, la humedad relativa fue de 88 % el día 19 de octubre (día más húmedo) y de 75% el día 22 de octubre (día más seco). Relacionado a lo anterior, es posible que la contaminación del aire por partículas de Polvo atmosférico Sedimentable y PM₁₀, muestren un incremento dentro de sus condiciones normales.

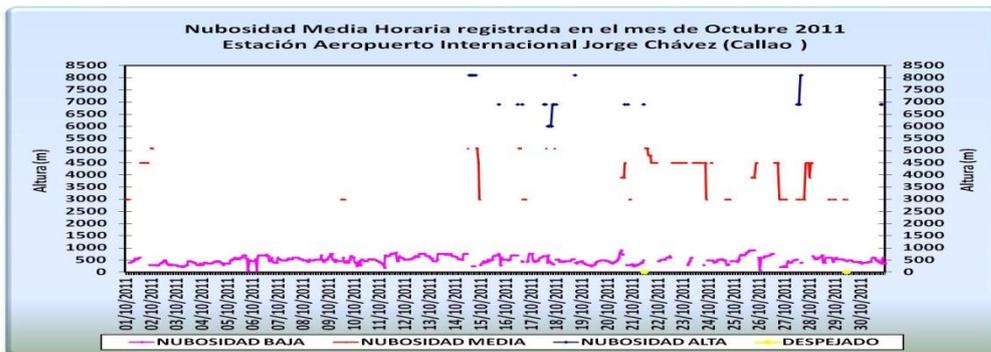
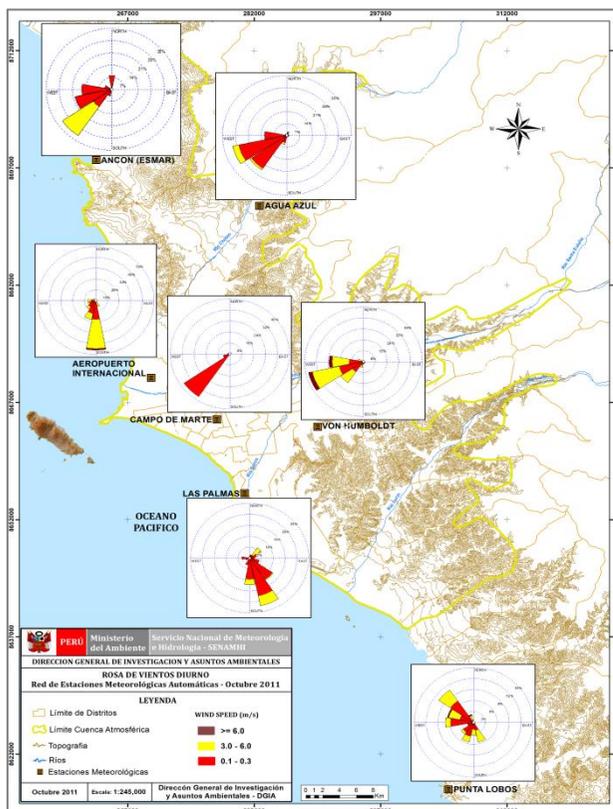


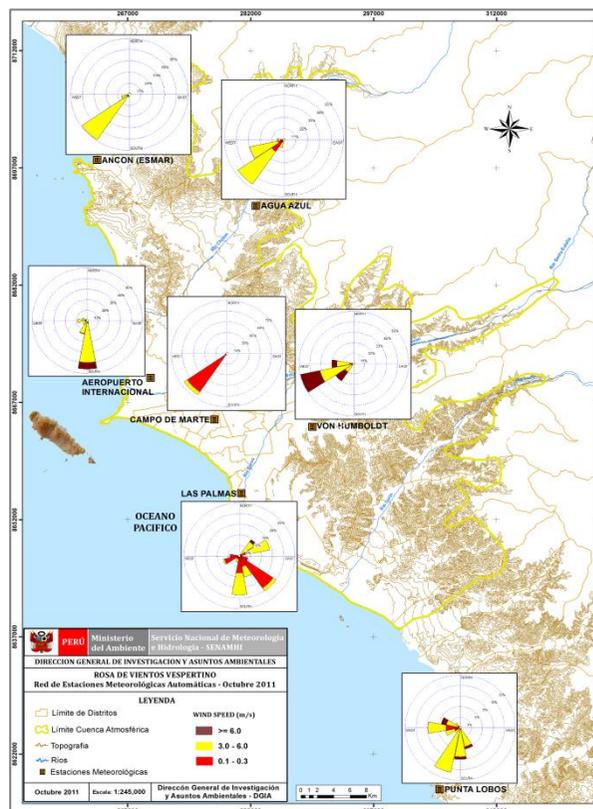
Fig. N° 01. Nubosidad medio horaria. Estación A.I. Jorge Chávez – Octubre 2011

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

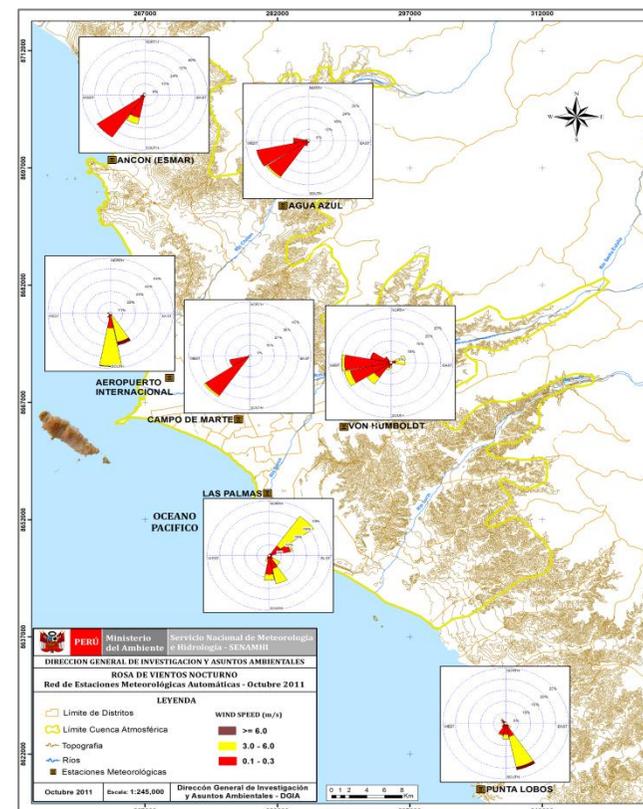
PARAMETRO	UNIDAD	MAXIMO		MINIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	807	05 Octubre	217	03 Octubre	503
Altura Base	metro	1051	13 Octubre	576	03 Octubre	789
Altura Tope	metro	1694	05 Octubre	793	03 Octubre	1292
T Base	°C	12.4	09 Octubre	8.8	13 Octubre	10.7
T Tope	°C	19.4	09 Octubre	12.8	12 Octubre	17.1
Gradiente	°C/100 m	2.3	13 Octubre	0.9	01 y 04 Octubre	1.4
H.R. Base	%	100	06 Octubre	88	13 Octubre	95
H.R. Tope	%	85	11 Octubre	9	06 Octubre	50



Mapa 1. Rosas de viento diurnas



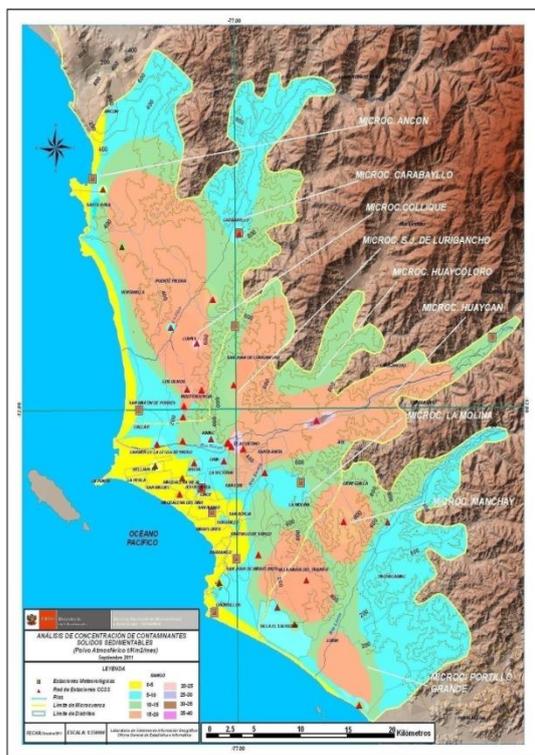
Mapa 2. Rosas de viento vespertinas



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, predominantemente 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 octubre, las concentraciones promedio de Polvo Atmosférico Sedimentable - PAS ($\Phi < 100$ micrometros) fueron menores a las del mes anterior, pese a la mayor presencia de días con insolación, decreciente nubosidad y disminución de garúas, que propician la mayor acción de los procesos de suspensión y resuspensión de las partículas. La zona crítica de más alta concentración fue Lima Este (Lurigancho), menor que el mes anterior (53.4 t/km²/mes), que superó a la guía OMS (5 t/km²/mes) en 10.6 veces; y la media, menor 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 – Septiembre 2011



Mapa 5. Distribución espacial PAS - Octubre 2011

Cuadro 2: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS) Septiembre/Octubre 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				
Septiembre 2011	31	84%	21.6 (Independencia)	33.8 (El Agustino, Cercado, Lurigancho)	13.2 (Pachacamac)	18.2 (V.M.T.)	13.6	5	69.2 (Lurigancho)	2.9 (Ancón)
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)

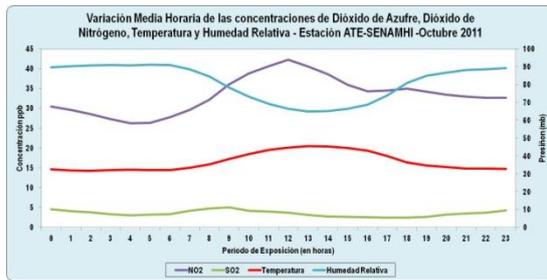


Fig.02

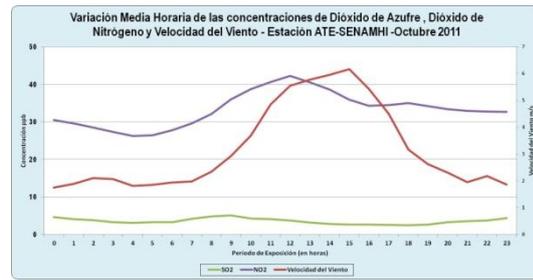


Fig.03



Fig.04

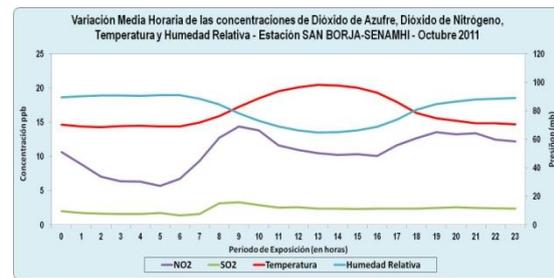


Fig.05

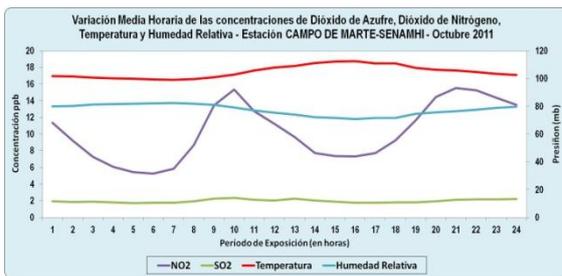


Fig. 06

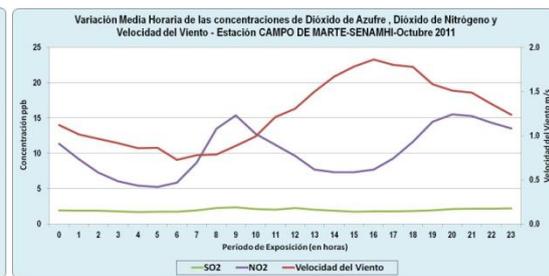


Fig. 07

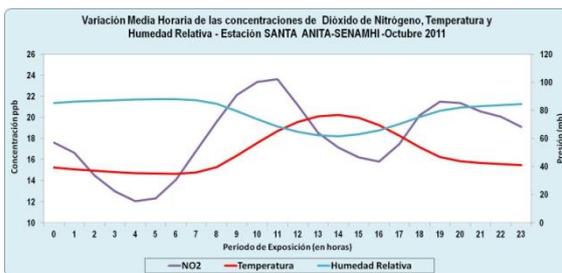


Fig. 08



Fig. 09

En la estación de Ate, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO_2 y SO_2) dentro del ciclo vespertino (2.5 ppb para el SO_2 y 34.3 ppb para el NO_2) se registraron a las 17:00 y 16:00 horas, respectivamente, cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor (20.5°C a las 13:00 horas) y la Humedad Relativa su mínimo valor 65 % a la misma hora. (fig.02). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró a las 15:00 horas con 6.2 m/s. (fig. 03).

En la estación de Limatambo-San Borja, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO₂ y SO₂) dentro del ciclo vespertino se registraron de la siguiente manera: 2.3 ppb para el SO₂ a las 15:00 h y 10.1 ppb para el NO₂ a las 16:00, cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor (20.4 °C) a las 14:00 y la Humedad Relativa su mínimo valor 65 % 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 6.2 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 (1.9 ppb para el SO₂ y 7.3 ppb para el NO₂ se registraron a las 14:00 y 15:00 h, respectivamente cuando la temperatura había alcanzado su máximo valor las 15:00 horas (18.8°C) y la Humedad Relativa su mínimo valor 71 % también a las 15:00 horas. (fig.06). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró a las 16:00 horas con 1.9 m/s (fig. 07).

En la estación de Santa Anita, las mínimas concentraciones de los contaminantes gaseosos (NO₂ y SO₂) dentro del ciclo diario (13.6 ppb para el SO₂ y 15.8 ppb para el NO₂ se registraron a las 15:00 y 16:00 horas, respectivamente, la temperatura alcanzó su máximo valor (20.1 °C a las 13:00 horas) y la Humedad Relativa su mínimo valor 62 % también a las 14:00 horas. (fig.08). Por otro lado, el máximo valor de la velocidad del viento se registró a las 13:00 horas con 2.8 m/s (fig. 09).

En las cuatro 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.

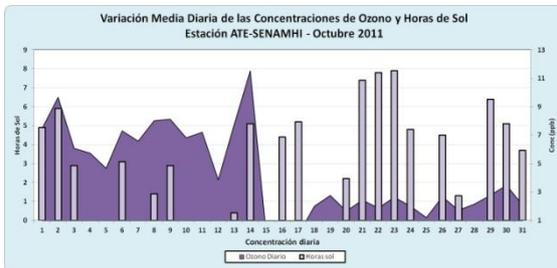


Fig.10



Fig. 11



Fig.12

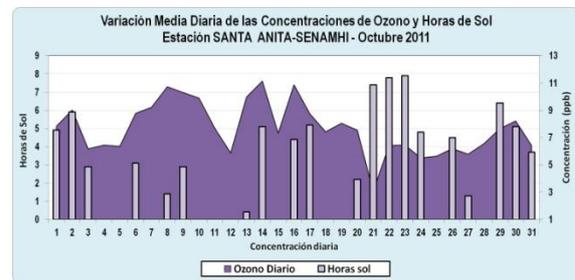


Fig.13

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).

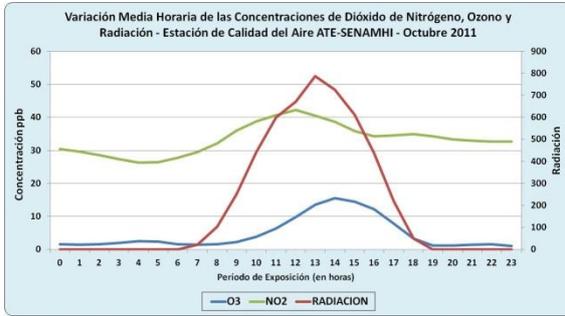


Fig. 14

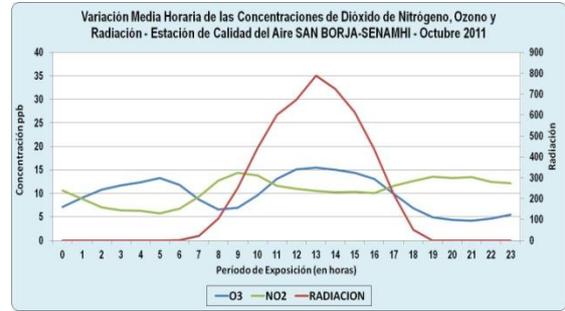


Fig.15

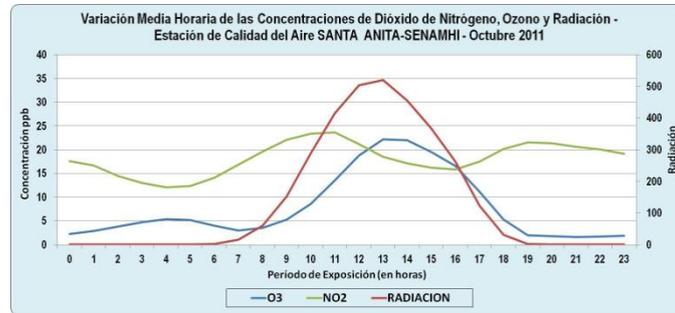


Fig. 16

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).

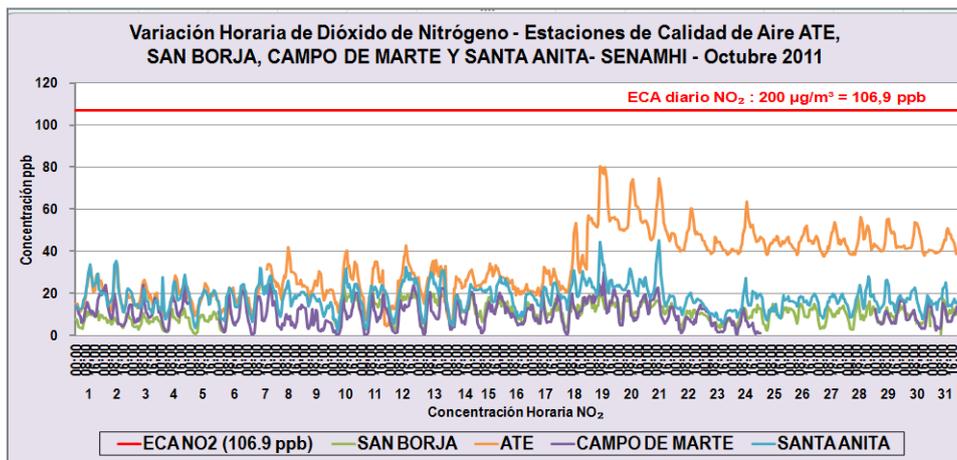


Fig.17

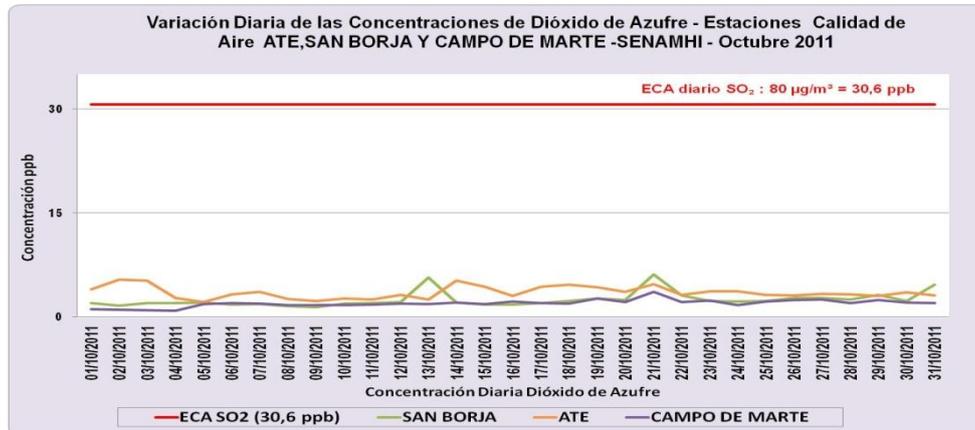


Fig. 18

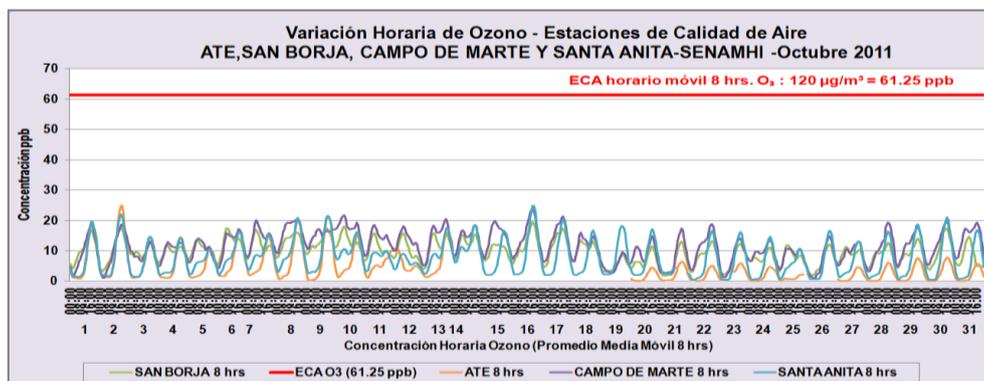


Fig. 19

Con relación al comportamiento de las concentraciones de los contaminantes gaseosos promedio diarias de SO₂, horarias de NO₂ y promedio móvil de 8 horas de O₃ 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 19 a las 09:00 h. se registró la máxima concentración de NO₂ en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) cuyo valor fue de 80.5 ppb representando el 75.3% del ECA (200 µg/m³=106,9 ppb), respecto a éste pico cabe señalar que, conforme se registraron valores de alrededor de 40 y 75 ppb entre los días 18 y 21 y valores en el intervalo de 40 y 60 ppb del día 22 en adelante, podemos observar también que las concentraciones de ozono disminuyen a partir del día 20 (**fig.19**), esto debido a que, en ciertas ocasiones en zonas de alta carga vehicular donde se encuentra la estación, el NO emitido por los vehículos reacciona con moléculas libres de oxígeno molecular generando altas concentraciones de NO₂, viéndose la reacción inversa en la formación de ozono; en la estación Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) el máximo valor registrado fue de 45.2 ppb el día 21 a las 10:00 h representando el 42.3% del ECA horario del NO₂; en Lima Sur (Limatambo-San Borja) el máximo valor obtenido fue de 23.2 ppb del Lunes 10 a las 10:00 horas que correspondió al 21.7 % del ECA respectivo. Por último, en Lima Centro (Campo de Marte) el día Miércoles 19 a las 12:00 h se registró el máximo valor horario (30.4 ppb) correspondiente al 28.4% del ECA. (**fig.17**).

En referencia al dióxido de azufre (SO₂) la máxima concentración presentada en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) fue de 5.4 ppb registrado el Domingo 02, representando al 17.6 % del ECA diario del SO₂ (80 µg/m³ = 30.6 ppb); en la estación de Limatambo-San Borja (Lima Sur) el máximo valor obtenido fue 6.1 ppb del Viernes 21 que correspondió al 19.9 % del ECA señalado. Por último, en Lima Centro (Campo de Marte) el día Viernes 21 también se registró el máximo valor diario (3.6 ppb) correspondiente al 11.8 % del ECA. **(fig.18).**

Finalmente, la máxima concentración de O₃ (promedio móvil de 8 horas) en Lima Este 1 (Municipalidad de Ate) fue de 24.9 ppb registrado el día Domingo 02 a las 18:00 h representando el 40.7 % del ECA correspondiente (120 µg/m³ = 61,25 ppb); en Lima Este 2 (Municipalidad de Santa Anita) el valor máximo obtenido fue de 24.8 ppb equivalente al 40.4% del estándar el día Domingo 16 a las 17:00 h; en Lima Sur (Limatambo-San Borja) el máximo valor obtenido fue de 19.5 ppb también del día 16 a las 16:00 horas que correspondió al 31.8% del ECA correspondiente. Por último, en Lima Centro (Campo de Marte) al igual que en las dos últimas estaciones el día 16 a las 15:00 horas se registró el máximo valor horario (24.8 ppb) correspondiente al 40.5 % del ECA. **(fig.19).**

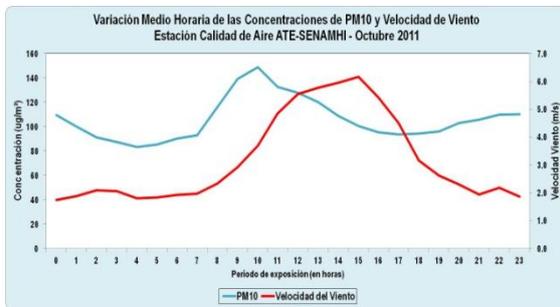


Fig.20

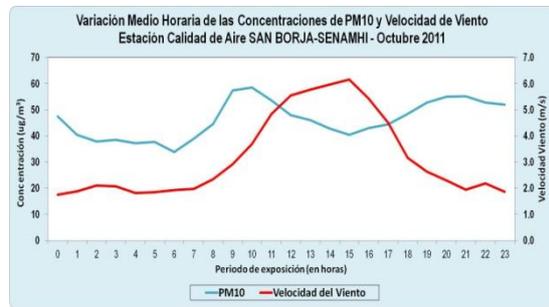


Fig. 21

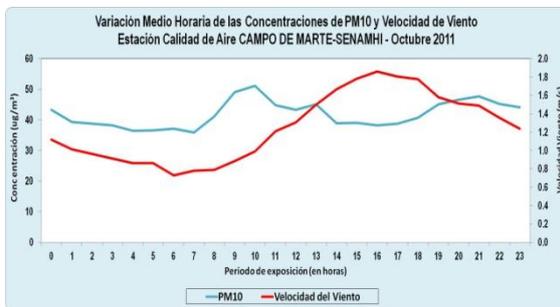


Fig. 22

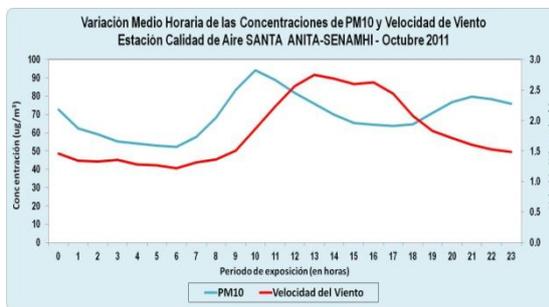


Fig.23

En comparativa de la variación media horaria de la concentración del PM₁₀ y la velocidad del viento en las cuatro estaciones, 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 y menores a 1.5 m/s en Santa Anita) 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 (6.2 m/s), y la concentración de menor valor de PM₁₀ se registró a la misma hora (40.4 µg/m³), en Campo de Marte el máximo valor de velocidad de viento se registró a las 16:00 h (1.9

m/s) y el mínimo valor de concentración de PM₁₀ se dió a esa misma hora (38.2 µg/m³); en Ate el máximo valor de velocidad de viento se registró a las 15:00 h (6.2 m/s);aproximadamente al mediodía las concentraciones de PM₁₀ empezaron a descender y el mínimo valor se registró a las 17:00 horas, uno de los valores más bajos de éste ciclo. En Santa Anita una hora después de haberse registrado el máximo valor de velocidad del viento (2.8 m/s) empezó el franco descenso de la concentración de PM₁₀, también dentro del ciclo vespertino. (fig.20, 21,22 y 23).

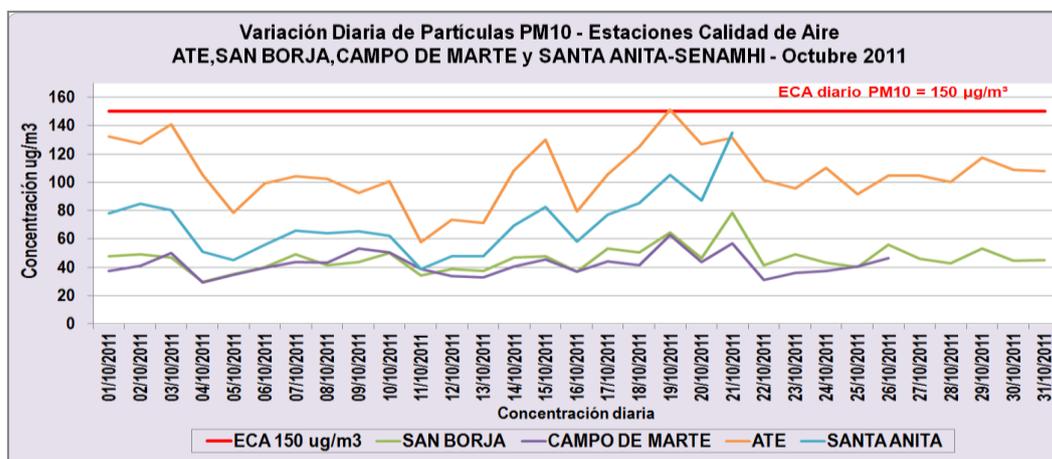


Fig. 24

Con referencia a las concentraciones de 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 µg/m³ por 24 h.) en 01 de los 31 días monitoreados, siendo el Miércoles 19 el día que se registro el máximo valor 151.4 µg/m³ superando al ECA en 1.0% .En Lima Sur (Limatambo-San Borja), el día Viernes 21 se registró la máxima concentración con 78.0 µg/m³ equivalente al 52.2% del ECA. De igual manera, en Lima Centro (Campo de Marte) el día que se registró el valor más alto en el mes fue el día 19 con 62.7 µg/m³ representando el 41.8% del ECA. Finalmente, el día 21 se registró el máximo valor en Lima Este 2 (Santa Anita) registrando 135.0 µg/m³ equivalente al 90.0% del ECA. (fig.24).

PERSPECTIVAS PARA EL MES DE NOVIEMBRE

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 noviembre 2011, como consecuencia de que la TSM en latitudes tropicales está mostrando ligeras 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 PM₁₀, el gas ozono troposférico y la radiación mostrarán tendencias crecientes oscilando dentro de su variabilidad normal.

PERSPECTIVAS: INTERVALO

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

ZONA	INTERVALO DE CONFIANZA
LIMA NORTE	9.2 - 14.3
LIMA CENTRO	5.1 - 5.9
LIMA ESTE	25.4 - 30.1
LIMA OESTE	4.2 - 5.3
LIMA SUR	16.7 - 21.3
LIMA SURESTE	10.2 - 14.4

CONCLUSIONES:

- Las condiciones atmosféricas y oceánicas que determinaron el comportamiento climático durante el mes de octubre en la costa central de Perú muestra el Anticiclón del Pacífico suroriental con valores medios de su núcleo de 1025 hPa en los 33° sur y 108° W, anomalías entre -0,5 y 2,5 hPa en latitudes tropicales a -17,5 y +15 hPa en altas latitudes del SW y S, la TSM oscilando entre -1 a 0° C en latitudes tropicales y alrededor de sus condiciones normales en altas latitudes del SW y S.
- 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 789 m.s.n.m., espesor de 503 m y gradiente medio de 1,4° 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 13.0 t/km²/mes, menor 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 10.6 veces y la media superó en 2.6 veces a dicha guía.
- En Ate se superó este mes al ECA del contaminante PM₁₀ (150 µg/m³ por 24 h.) en 01 de los 31 días monitoreados, siendo el Miércoles 19 el día que se registró el máximo valor 151.4 µg/m³ superando al ECA en 1.0%. En Lima Sur (Limatambo-San Borja), el día Viernes 21 se registró la máxima concentración con 78.0 µg/m³ equivalente al 52 % del ECA. En Lima Centro (Campo de Marte) el día que se registró el valor más alto en el mes fue el día 19 con 62.7 µg/m³ representando el 41.8% del ECA. El día 21 se registró el máximo valor en Lima Este 2 (Santa Anita) registrando 135.0 µg/m³ equivalente al 90.0% del ECA.

- 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 gaseosos monitoreados (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 tendencia inversamente proporcional a la temperatura del aire y velocidad del viento, debido a los procesos turbulentos del aire que generan dispersión.

- ∞ -