

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA Y CALLAO

Ing. José Silva Cotrina
 Ing. Zarela Montoya Cabrera
 Sra. Rosalinda Aguirre A.
 Sra. Cinthia Arellano Rojas

Se realiza la evaluación de las condiciones tanto sinópticas como meteorológicas locales de superficie y altura a través de una red de estaciones automáticas en Lima y Callao y una estación de Radiosondeo (07:00 hora local), respectivamente, que influyen en el comportamiento temporal y espacial de los contaminantes atmosféricos particulados y gaseosos medidos a través de métodos de muestreo pasivo y monitoreo automático en Lima y Callao.

Las condiciones sinópticas durante el mes de marzo mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1017,5 mb los días 11 al 13, 1030 el día 1, media de 1020 mb y anomalías de +1 mb en latitudes tropicales a -11 mb en altas latitudes, las anomalías de TSM se mantuvieron dentro de su variabilidad normal lo que ocasionó que los vientos del sur solo fueran moderados, un afloramiento marino poco intenso, la inversión térmica (I.T.) de débil a moderada que estuvo presente en horas de la mañana alcanzando una altura promedio de la base de 239,5 m.s.n.m, superior al mes anterior, espesor de 237,4 m y un gradiente medio de 1,4 ° C/100 m (ver **figura 1** y **cuadro N °1**), y la nubosidad estratiforme ausente en la mayoría de los días del mes (ver **figura 2**), predominando la nubosidad media tipo altocúmulos con una base promedio entre 3500 – 4000 m.s.n.m, dejando ingresar a la radiación solar que ocasionó que la temperatura del aire alcance valores máximos medios de 24, 7 ° C el 14 de marzo (día más cálido); 21,9 ° C el 17 de marzo (día más frío); y en cuanto a las humedades relativas, el 14 de marzo como el día más seco (75 %) y el día 3 como el más húmedo (86%).

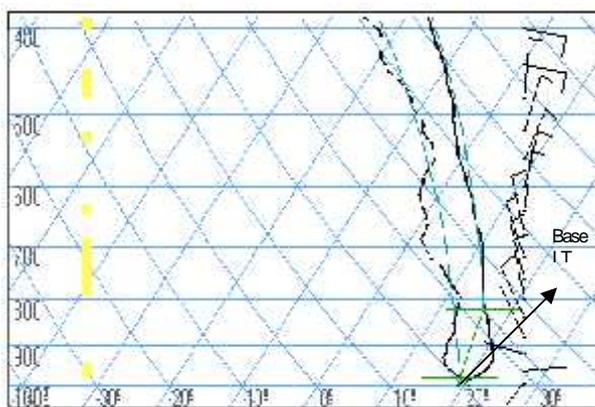


Fig. 1. Base de la I.T. – Estación Las Palmas (Surco) – 07:00 h

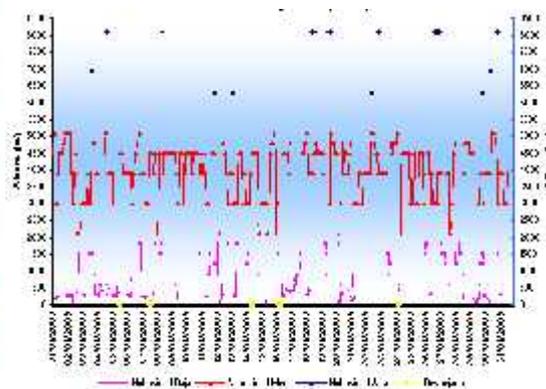
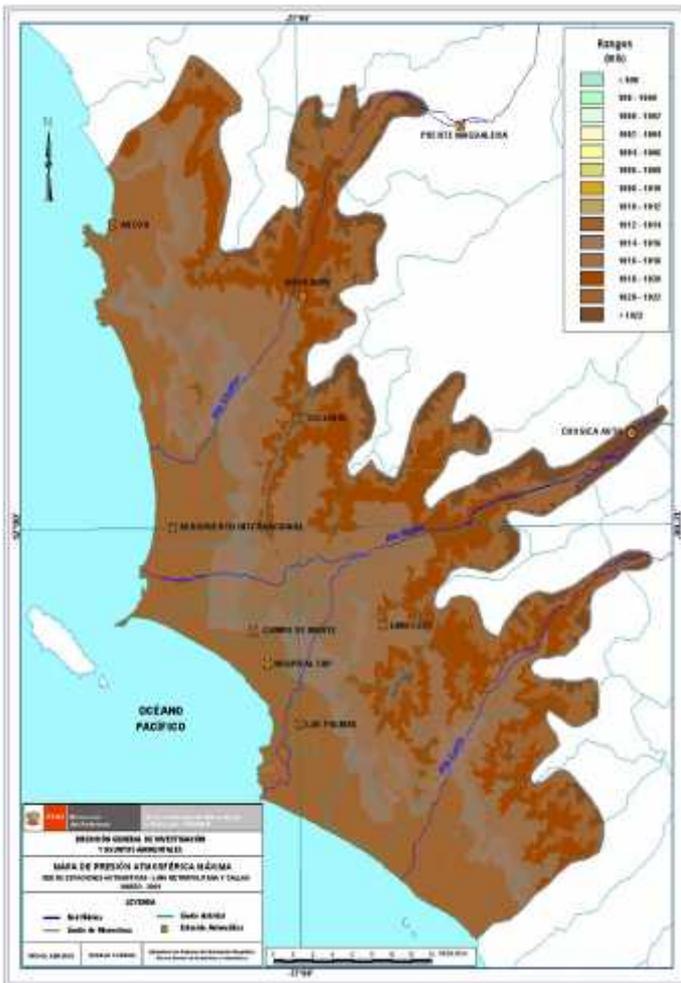


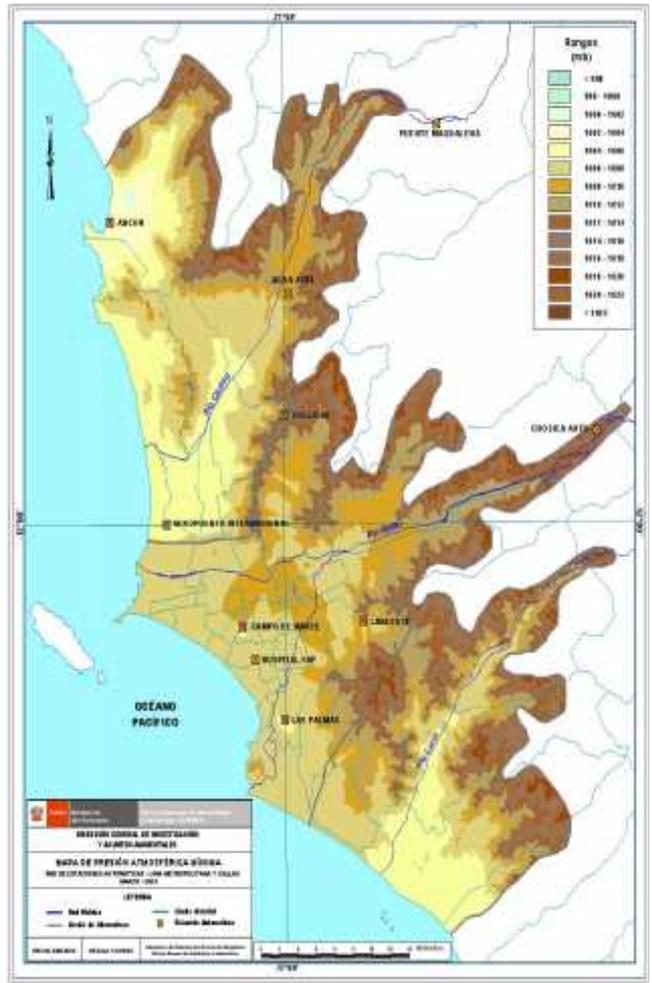
Fig. 2. Nubosidad medio horaria. Estación. Al. Jorge Chávez

**Cuadro N° 1: Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú
 Marzo 2009**

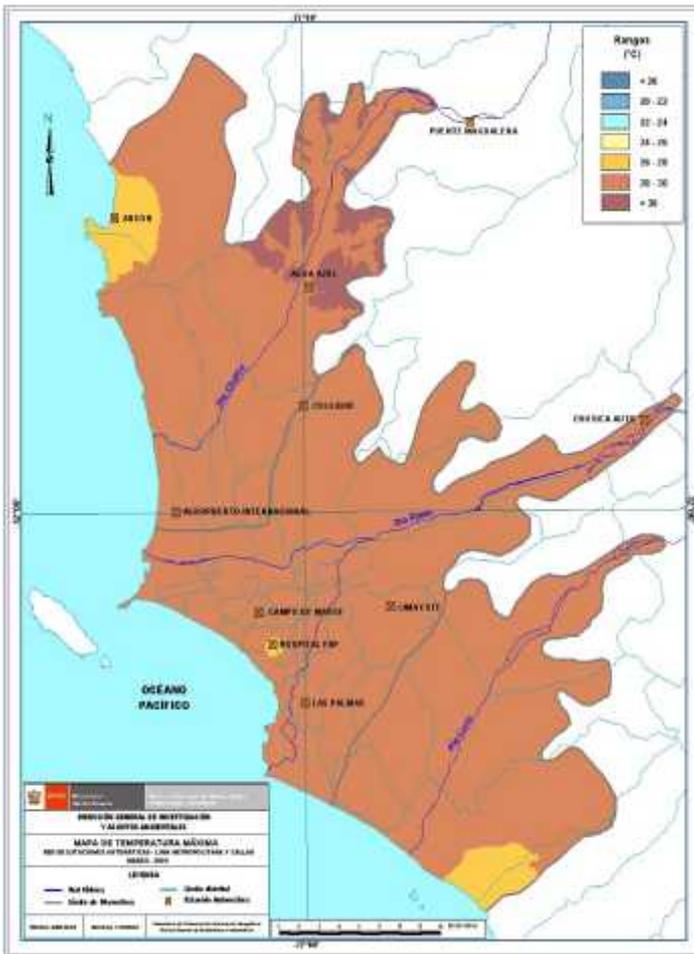
PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	402	01 Marzo	102	14 Marzo	237,4
Altura Base	m.s.n.m	536	20 Marzo	117	06 Marzo	239,5
Altura Tope	m.s.n.m	778	20 Marzo	269	14 Marzo	476,2
T Base	° C	20,8	14 Marzo	17,7	20 Marzo	19,4
T Tope	° C	23,8	14 Marzo	20,7	04 Marzo	22,2
Gradiente	°C/ metro	2,9	14 Marzo	0,4	18 Marzo	1,4
H.R. Base	%	100	04, 11, 12, 20, 21 Mar	90	18 Marzo	96,7
H.R. Tope	%	80	16 Marzo	51	01 Marzo	67,1



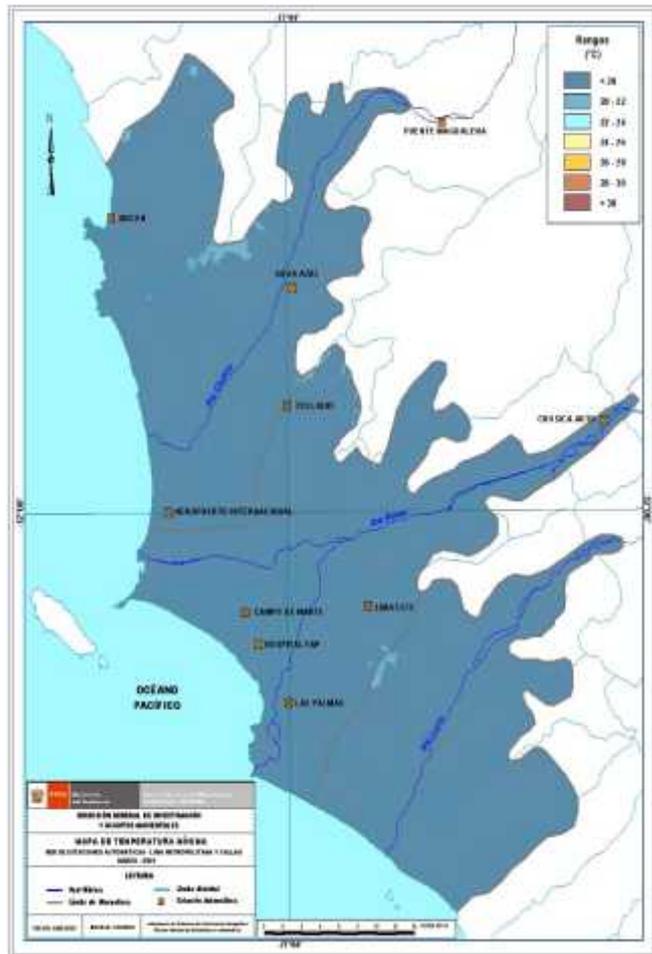
Mapa 1. Presión máxima - Red Lima y Callao



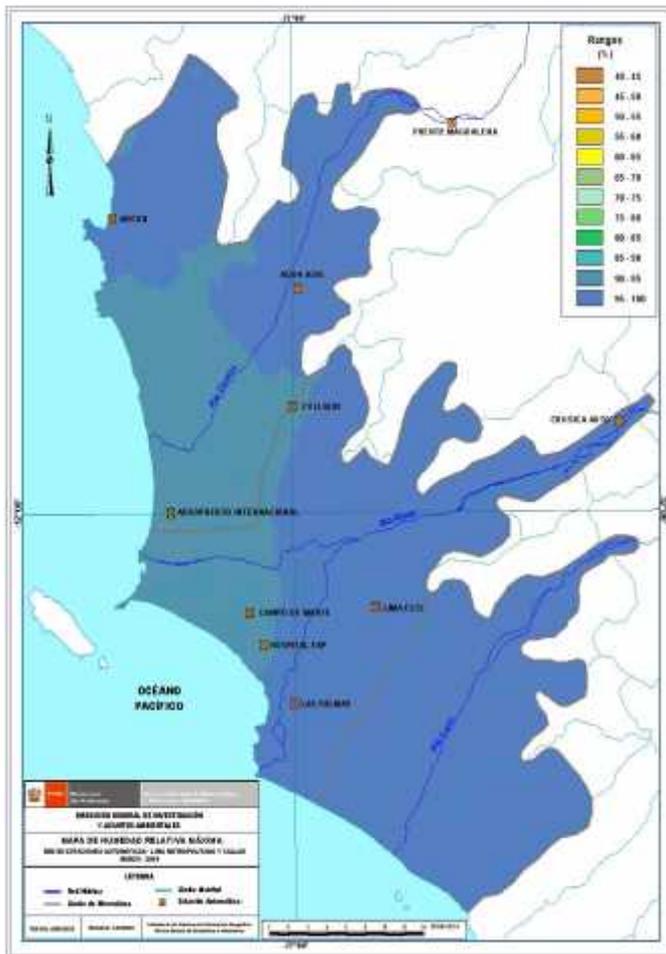
Mapa 2.H. Presión mínima - Red Lima y Callao



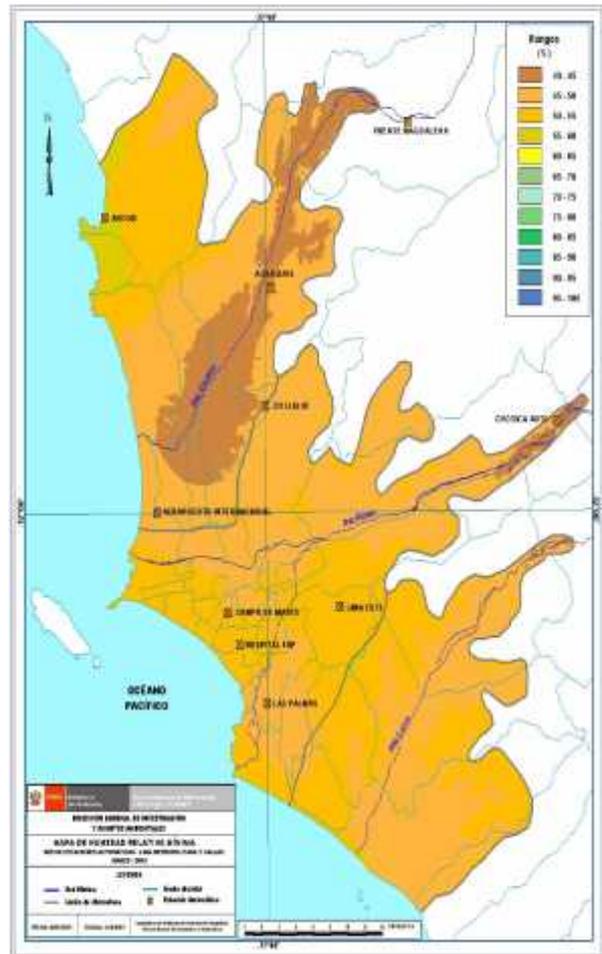
Mapa 3. Temperatura máxima - Red Lima y Callao



Mapa 4. Temperatura mínima - Red Lima y Callao



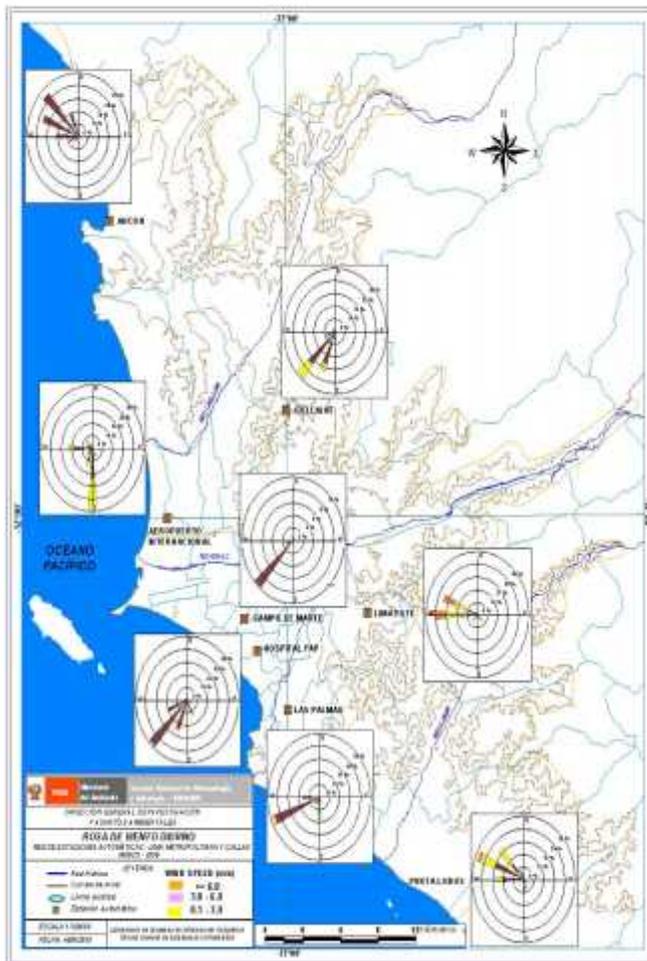
Mapa 5. H. Relativa máxima - Red Lima y Callao



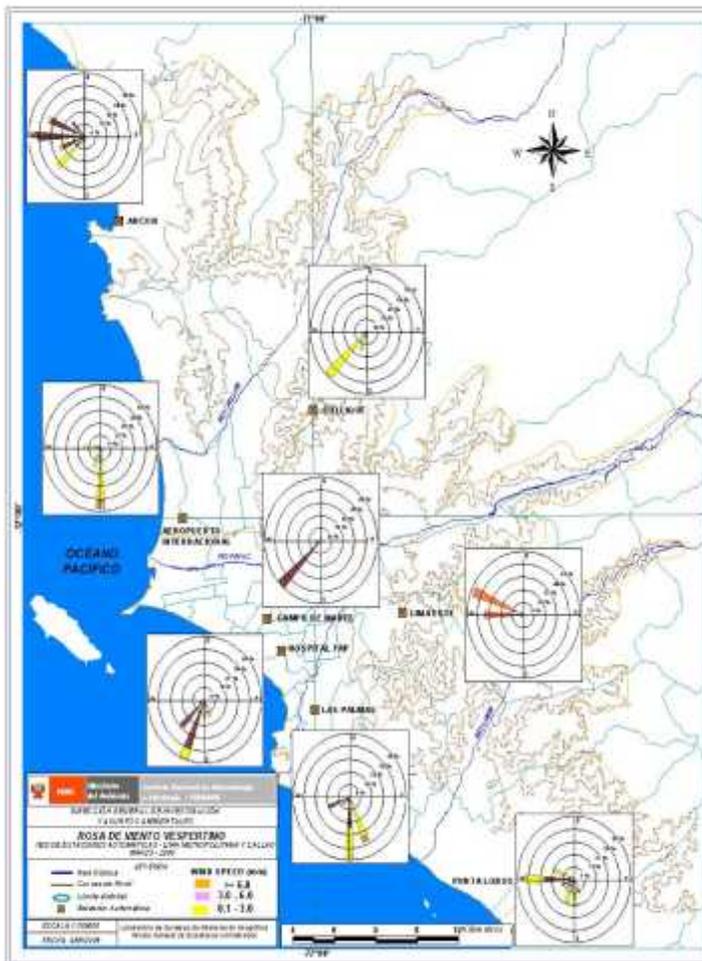
Mapa 6.H. Relativa mínima – Red Lima y Callao

La distribución espacial de las presiones reducidas a nivel del mar en la cuenca atmosférica de Lima y Callao, **Mapas 1 y 2**, muestra el efecto de la isla de calor en la franja central de norte a sur donde se registran los menores valores de la máxima entre 1012 - 1014 mb y de la mínima entre 1006 – 1010 mb, a partir de las cuales las presiones se incrementan tanto hacia el litoral costero por efecto de las brisas marinas como hacia el este alcanzando la máxima valores entre 1018 – 1020 mb y la mínima entre 1012- 1014 mb, principalmente, por efecto de los vientos valle-montaña y por efecto de la disminución de la infraestructura urbana que grada hacia el ambiente natural.

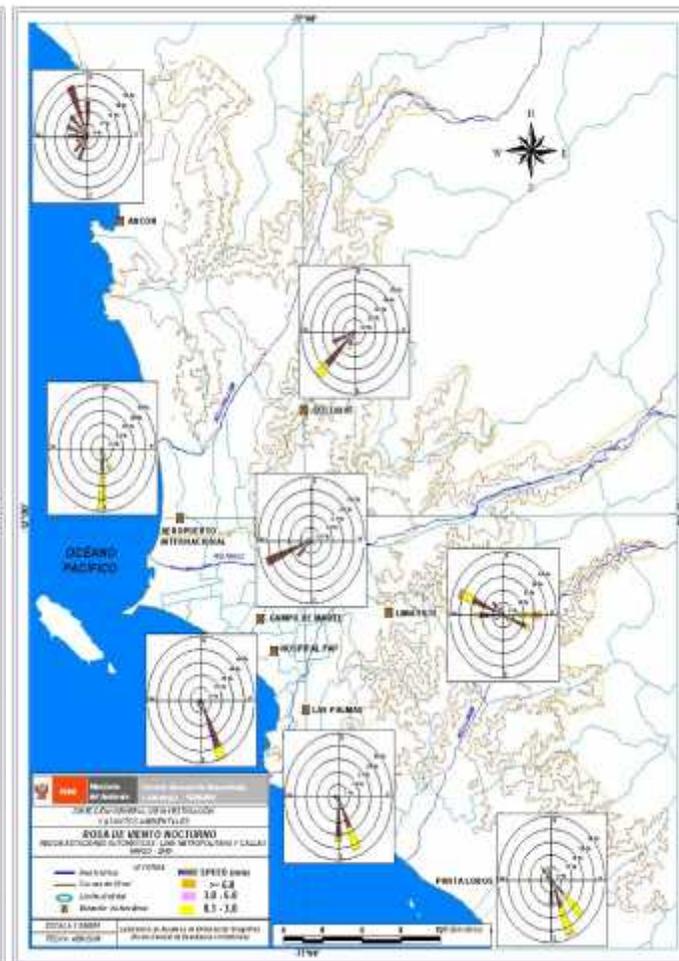
Respecto a las temperaturas (**Mapas 3 y 4**), los mayores valores, de forma similar a la variable anterior, se concentran en las zonas de mayor densidad poblacional con máximas entre 28 – 30 ° C y mínimas entre 20 – 22 ° C disminuyendo a los extremos norte y sur del litoral costero (Ancón y Pucusana); mientras que hacia la microcuenca del Chillón se observa la mayor amplitud. En cuanto a las humedades relativas (**Mapas 5 y 6**), los menores valores de las máximas (92 %) y mínimas (41 %) se registraron en Lima norte hacia el litoral costero centro, principalmente, y se incrementaron alcanzando sus mayores valores de 100 % (máxima) y 58 % (mínima) respectivamente hacia el sur y sur este de la ciudad.



Mapa 7. Rosas de viento diurnas



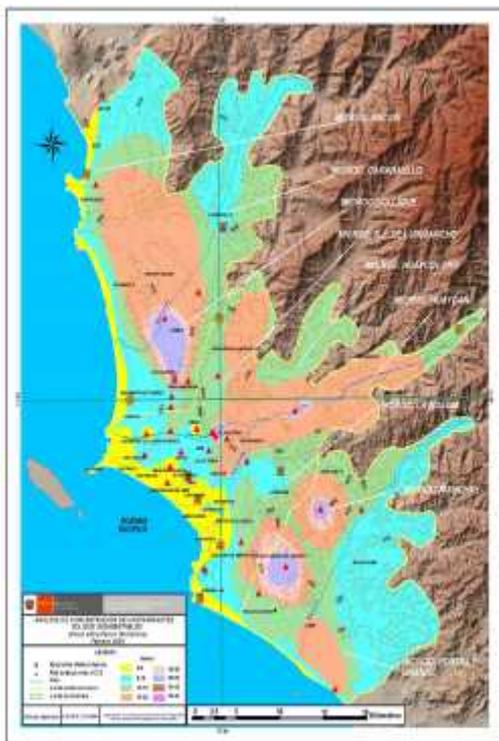
Mapa 8. Rosas de viento vespertinas



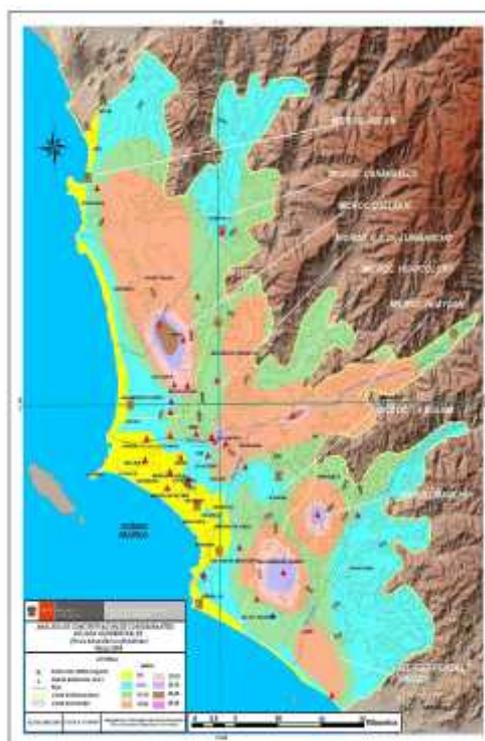
Mapa 9. Rosas de viento nocturnas

En cuanto al **transporte de los contaminantes** presentado en los **Mapas 7, 8 y 9**, se puede apreciar que el viento predominante es del SW en el transecto central desde el litoral costero hasta la microcuenca del Chillón con intensidad en promedio de débiles a moderadas para todo el día; mientras que en el extremo sur (estación Punta Lobos) y norte (Ancón) y este (Lima Este), los contaminantes son transportados por vientos predominantemente del W y NW.

Durante el mes de marzo, las concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable – PAS- (> 10 micras) se incrementaron ligeramente debido a la mayor la turbulencia atmosférica (propio del mayor calentamiento diurno durante la estación de verano) que favoreció los procesos de suspensión y resuspensión de los contaminantes particulados PAS, configurando un centro de alta concentración hacia el norte de la Ciudad en el distrito de Puente Piedra que superó a la guía OMS ($5 \text{ t/km}^2/\text{mes}$) en 6,5 veces; mientras que la media del mes se mantuvo 2,6 veces por encima de dicha guía de forma similar al mes anterior. Ver **mapas 10 y 11 y cuadro 2**.



Mapa 10. Distribución espacial PAS – febrero 2009



Mapa 11. Distribución espacial PAS – marzo 2009

Cuadro 2: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS) febrero y marzo 2009 ($\text{t/km}^2.\text{mes}$)

Conc $\text{t/km}^2.$ mes	N° est ·	% de estaciones Sobrepasa nivel ref.	Núcleos principales (puntuales y promedios)				X $\text{t/km}^2/\text{mes}$	Guía OMS	Máx $\text{t/km}^2/\text{mes}$	Mín $\text{t/km}^2/\text{mes}$
			Lima Norte	Lima Centro-este	Lima Sur-este	Lima Sur				
Febrero 2009	36	86	26,1 (Independencia)	27,0 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	29,1 (Pachacamac)	27,1 (V.M.T.)	12,9	5	29,1 (Pachacamac)	2,1 (P.Libre)
Marzo 2009	36	81	24,6 (Independencia)	27,2 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	29,5 (Pachacamac)	29,6 (V.M.T.)	13,0	5	32,6 (P. Piedra)	1,9 (J. María)

El material particulado PM10 (< 10 micras), registró su máxima concentración media de $31,9 \text{ ug/m}^3$ (08:00 h) con una presión atmosférica media de $1016,7 \text{ mb}$ y el segundo máximo de $20,2 \text{ ug/m}^3$ (20:00 h) con una presión media de $1015,2 \text{ mb}$; entre ambos máximos, hacia las 14:00

horas se registró una mínima concentración de 13,6 ug/m³ por efecto de la mayor turbulencia debido a las horas de mayor calentamiento que favorecieron en horas vespertinas los procesos de dispersión de las partículas transportadas desde el SW y WSW con frecuencias de 49 y 6 % en la estación Campo de Marte (J. María), aunque también con una alta frecuencia de calmas. Ver **figuras 3, 4 y 5**.

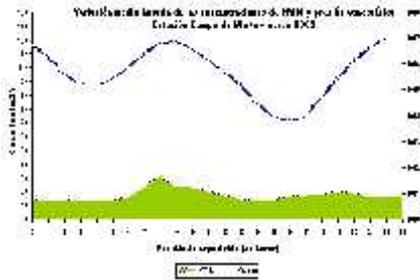


Fig. 3

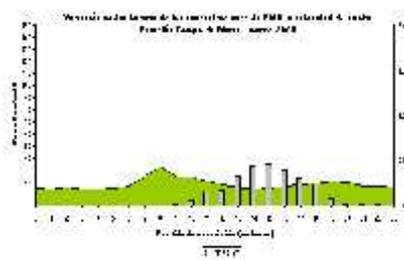


Fig. 4



Fig. 5.

El comportamiento medio horario de los contaminantes gaseosos (NO₂ y SO₂) muestra una relación directa con la presión atmosférica y la humedad relativa. De esta manera, las máximas concentraciones medias de NO₂ de 22,2 ppb y de SO₂ de 7,5 ppb (08:00 h), que fueron ligeramente superiores a las del mes anterior debido a la calma imperante en horas, coincidiendo a su vez con el primer máximo de la presión atmosférica de 1016,7 mb y humedad relativa de 86 %; mientras que los segundos máximos de NO₂ y SO₂ en horas de la noche, que fueron de 17,8 ppb (inferior a febrero) y 5,0 ppb (superior a febrero) a las 20:00 horas coincidiendo igualmente con el segundo máximo de la presión de 1015,9 mb y humedad relativa de 80 %. La temperatura del aire, inversa al comportamiento de la humedad, alcanzó un valor de 26,6 ° C a las 14:00 horas, hora alrededor de la cual decrecieron las concentraciones de los gases, con mínimos de 12,4 ppb (14:00 h) y 3,4 ppb (15 - 16:00 h) para ambos gases, respectivamente. Ver **figuras 6 y 7**.

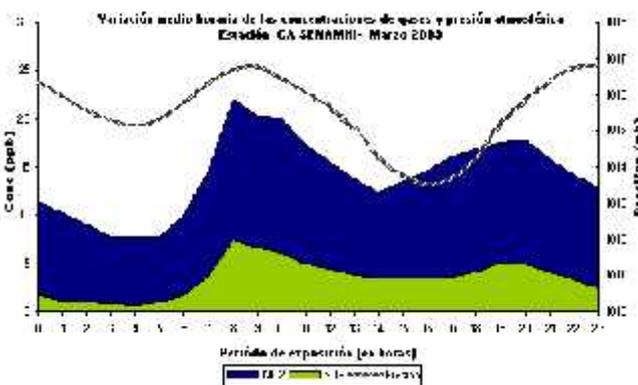


Fig. 6

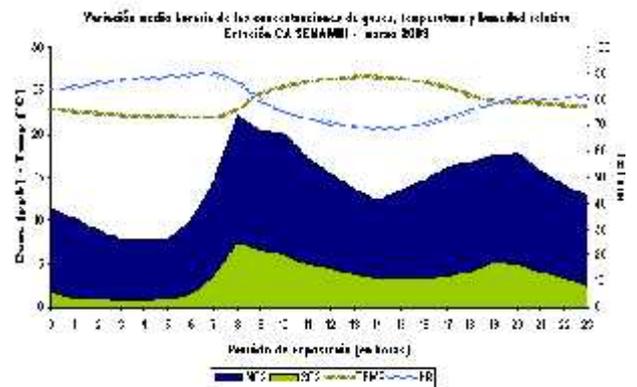


Fig. 7

El comportamiento de las concentraciones de los contaminantes ambientales observado durante el mes de marzo, de forma similar al mes de febrero, no superó los estándares de calidad del aire (D.S. N ° 074-PCM-2001). La máxima concentración de NO₂ (49,9 ppb del 30.03.09 a las 08:00 h) correspondió al 48 % del ECA horario (**fig. 8**); las concentraciones de SO₂ (9,3 ppb del 30.03.09) correspondieron al 6 % del ECA diario (**fig. 9**); y las concentraciones de PM10 (32,8 ug/m³ del 31.03.09), correspondieron al 22 % del ECA diario (**fig. 10**). Las concentraciones máximas fueron alcanzadas en días laborables (L-S), principalmente, mientras que las mínimas se registraron en las primeras horas de la mañana o los días domingo.

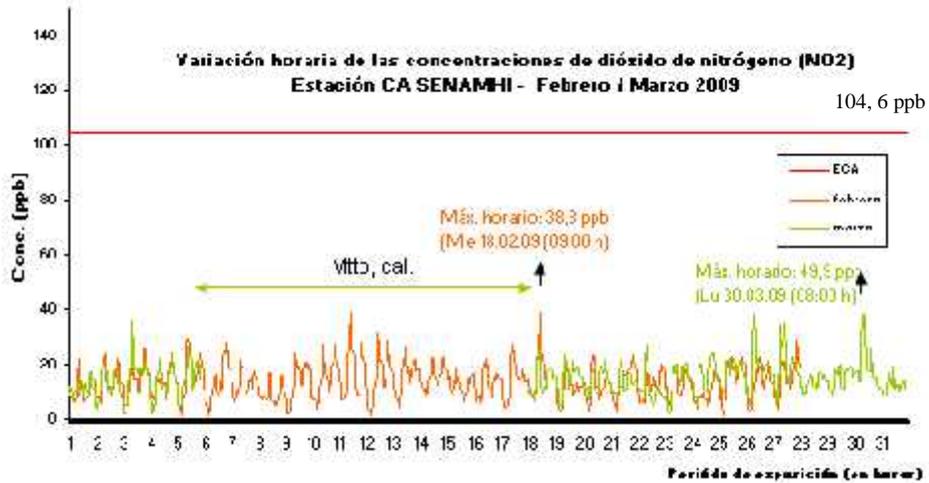


Fig. 8

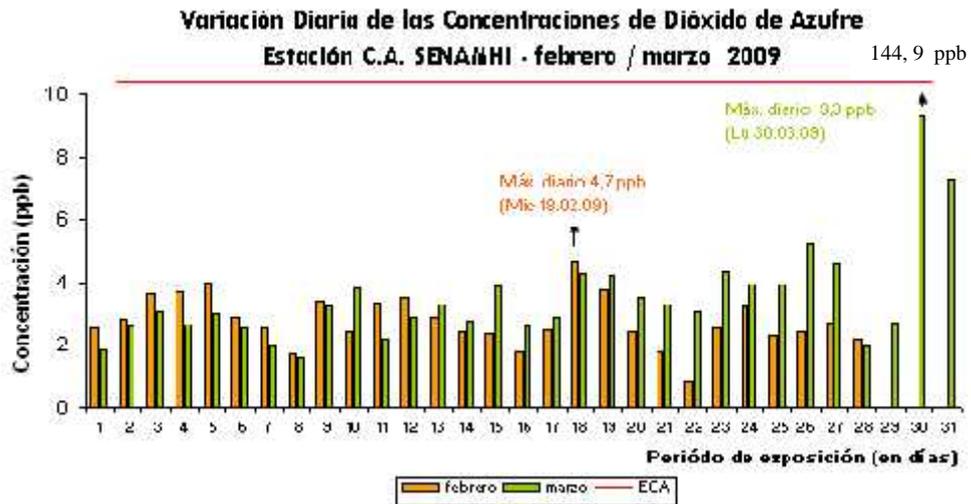


Fig. 9

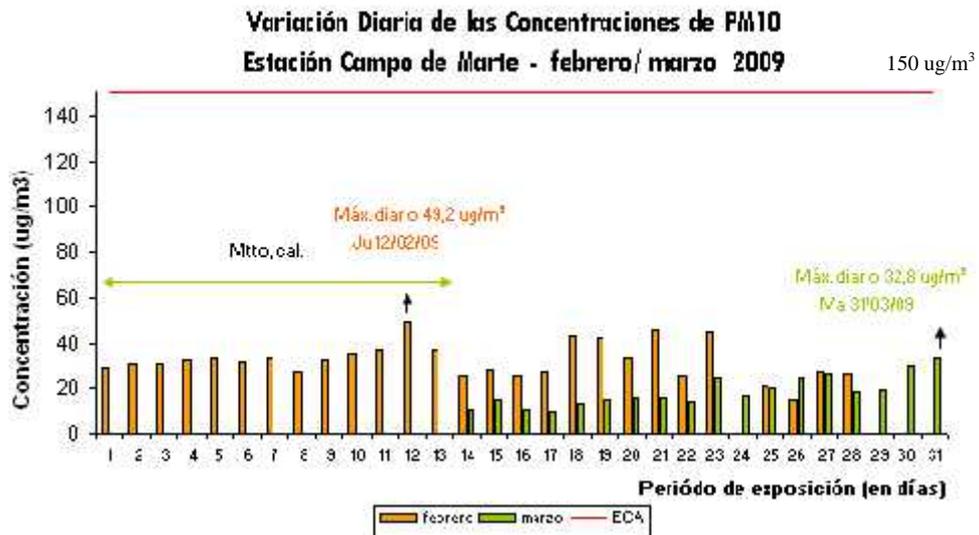


Fig10.

Durante el verano del Hemisferio Sur, los días martes 17 y jueves 26 de febrero y sábado 14 de marzo se alcanzó la máxima temperatura de 30,0 ° C en la estación A.I. Jorge Chávez. Así, las concentraciones máximas horarias (NO_2) registradas en febrero 2009, y diarias (SO_2 y PM_{10}) registradas en diciembre 2008 y enero 2009, respectivamente, según se observa en las **figuras 11, 12 y 13**, no llegaron a superar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del aire. Estas concentraciones resultan también inferiores a las medidas en la estación invernal.

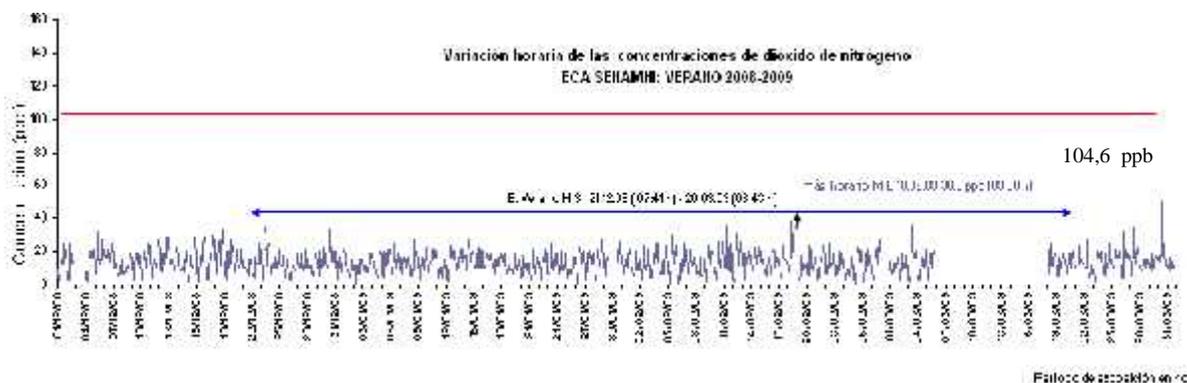


Fig11.



Fig12.



Fig13.

De acuerdo a los pronósticos climáticos para Lima y Callao del mes de abril 2009, las temperaturas máximas presentarán valores dentro de su comportamiento normal climatológico; aunque las mínimas sí se mantendrán por encima de su normal, salvo los últimos días del mes. Bajo tales condiciones, para el caso del Polvo atmosférico sedimentable se espera que sus concentraciones se presenten dentro de su variabilidad normal (ver **Cuadro 3**) incrementándose ligeramente, con excepción de Lima Sur en donde se espera disminuyan ligeramente; en cuanto a los contaminantes PM10 y gases NO₂ y SO₂, éstos se mantendrán con niveles similares o se irán incrementando ligeramente respecto al mes de marzo.

**Cuadro 3: Perspectiva de concentraciones de polvo atmosférico sedimentable (PAS)
Abril 2009 (t/km².mes)**

ZONA	INTERVALO DE
	CONFIANZA
LIMA NORTE	20.5 - 25.0
LIMA CENTRO	6.0 - 7.9
LIMA ESTE	20.8 - 26.0
LIMA OESTE	4.8 - 6.7
LIMA SUR	21.8 - 26.4

Conclusiones:

- Las condiciones atmosféricas y oceánicas que determinaron el comportamiento climático durante el mes de marzo en la costa central del país muestra el Anticiclón del Pacífico Sur con valores medios de su núcleo de 1020 mb, anomalías de TSM dentro de su variabilidad normal, altura media de la base de I.T. de 239,5 m.s.n.m y condiciones de nubosidad predominantemente media.
- El transporte de los contaminantes es predominantemente desde el SW en el transecto central desde el litoral costero hasta la microcuenca del Chillón con intensidad en promedio de débiles a moderadas para todo el día; mientras que en el extremo sur (estación Punta Lobos) y norte (Ancón) y este (Lima Este), los contaminantes son transportados por vientos predominantemente del W y NW.
- Las concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) fueron en promedio de 13,0 t/km²/mes, ligeramente superiores a las del mes de febrero en todos los núcleos de las zonas críticas, pero inferiores en Lima norte. La media superó a la guía OMS en 2,6 veces.
- El comportamiento de las concentraciones de los contaminantes del aire en el ciclo diario mostraron una relación directa con la presión atmosférica y humedad relativa, alcanzando los máximos de 31,9 ug/m³ (08:00 h), 22,2 ppb (08:00 h) y 7,5 ppb (08:00 h) para PM10, NO₂ y SO₂, respectivamente coincidiendo con el primer máximo de presión atmosférica de 1016,7 mb y 86 %, e inversa con la temperatura del aire y la intensidad del viento cuyas máximas medias de 26,6 ° C (14:00 h) y de 0,5 m/s (15 - 16:00 h) correspondieron al período de decremento de las concentraciones de contaminantes.

- Las concentraciones registradas para el mes de marzo no superaron los estándares de calidad del aire, correspondiendo sólo al 48 % de ECA horario para NO₂, 6 % al ECA diario de SO₂ y 22 % al ECA diario para PM10. En cuanto a la estación de verano del Hemisferio Sur, las máximas concentraciones tampoco superaron los ECA's nacionales.
- En relación a los pronósticos climáticos para la Zona Metropolitana de Lima –Callao para el mes de abril 2009, se estima que las concentraciones del Polvo atmosférico sedimentable se incrementen ligeramente dentro de su variabilidad normal, y el PM10 y gases SO₂ y NO₂ evaluados se mantengan similares o se vayan incrementando ligeramente respecto a lo evaluado en marzo.