

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

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

Las condiciones sinópticas durante el mes de febrero mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental (1023 mb) y la Temperatura Superficial del Mar ($24 - 26^{\circ}\text{C}$) con una anomalía de TSM $-0,5$ a $0,5^{\circ}\text{C}$, estuvieron oscilando alrededor de sus normales históricas, lo que ocasionó que los vientos del sur solo fueran moderados, el afloramiento marino no fue intenso, la inversión térmica (I.T.) de débil a moderada estuvo presente en horas de la mañana alcanzando una altura promedio de la base de 225,7 m, espesor de 136 m y un gradiente medio de $1,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (ver **figura 1** y **cuadro N°1**), y la nubosidad estratiforme estuvo ausente en la mayoría de los días del mes (ver **figura 2**), predominando la nubosidad media tipo altocúmulos con una base promedio de 3500 m, dejando ingresar a la radiación solar que ocasionó que la temperatura del aire alcance sus máximos valores de la estación de verano, siendo el 18 de febrero el día más cálido con una máxima media de $24,5^{\circ}\text{C}$, el 22 de febrero el día más frío con $22,0^{\circ}\text{C}$; y en cuanto a las humedades relativas, el 15 de febrero como el más seco (78 %) y el día 13 como el más húmedo (88 %).

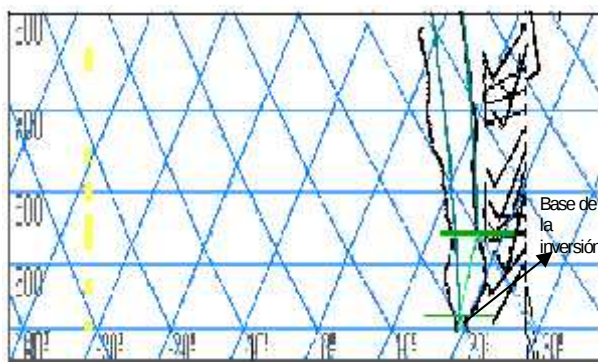


Fig. 1. Base de la I.T. - Estación Las Palmas - 07:00 h

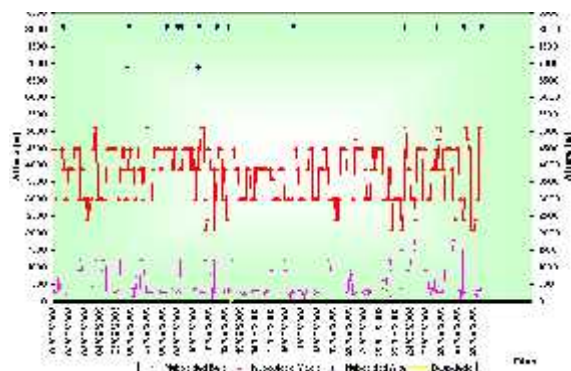
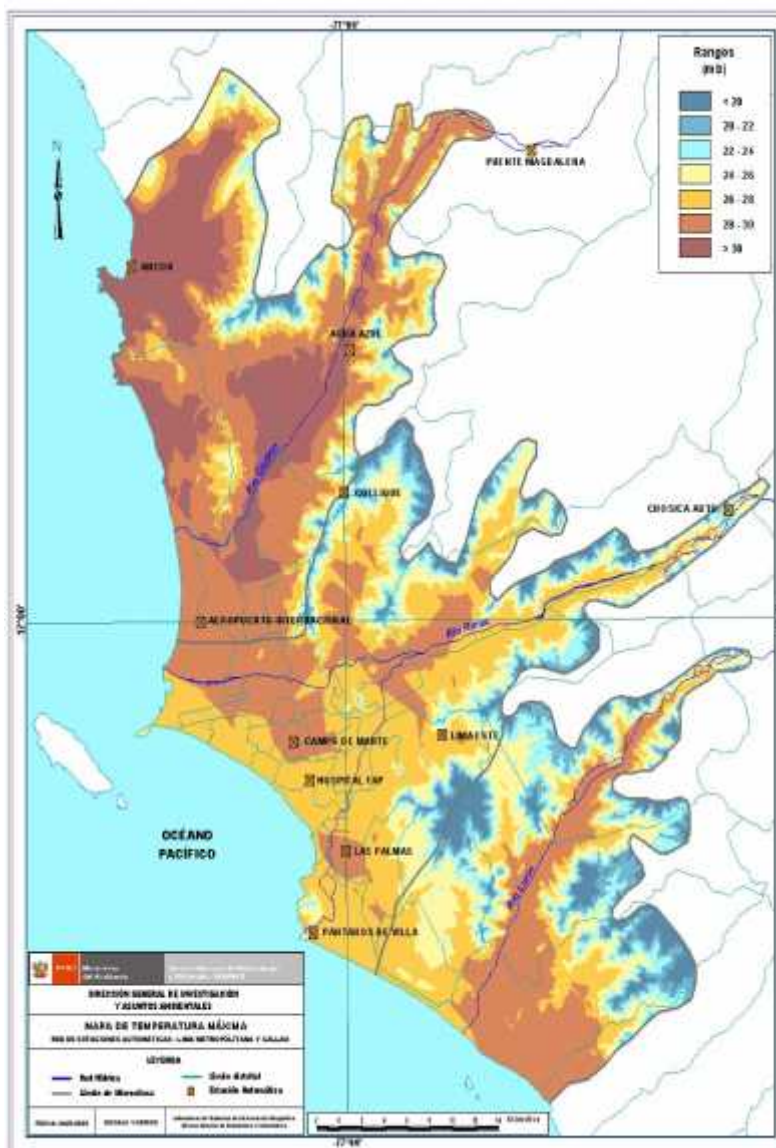


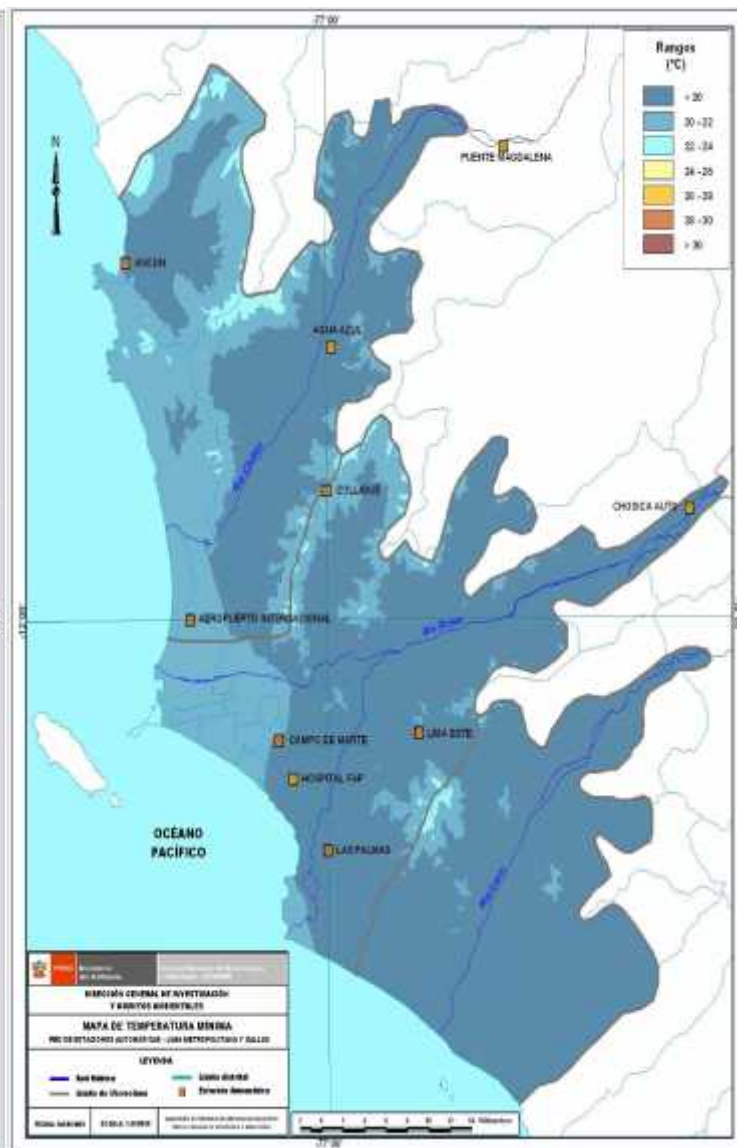
Fig. 2. Nubosidad medio horaria. Estación. A.I. Jorge Chávez

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

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	322	13 Febrero	8	21 Febrero	136
Altura Base	metro	366	26 Febrero	121	24 Febrero	225,7
Altura Tope	metro	555	28 Febrero	167	21 Febrero	348,6
T Base	$^{\circ}\text{C}$	23,7	18 Febrero	0,1	17 Febrero	18,3
T Tope	$^{\circ}\text{C}$	25,4	18 Febrero	6,3	17 Febrero	19,5
Gradiente	$^{\circ}\text{C} / \text{metro}$	2,8	17 Febrero	0,3	23 Febrero	1,2
H.R. Base	%	100	11,14,16,17,27 Feb	75	18 Febrero	95
H.R. Tope	%	97	21 Febrero	55	18 Febrero	80

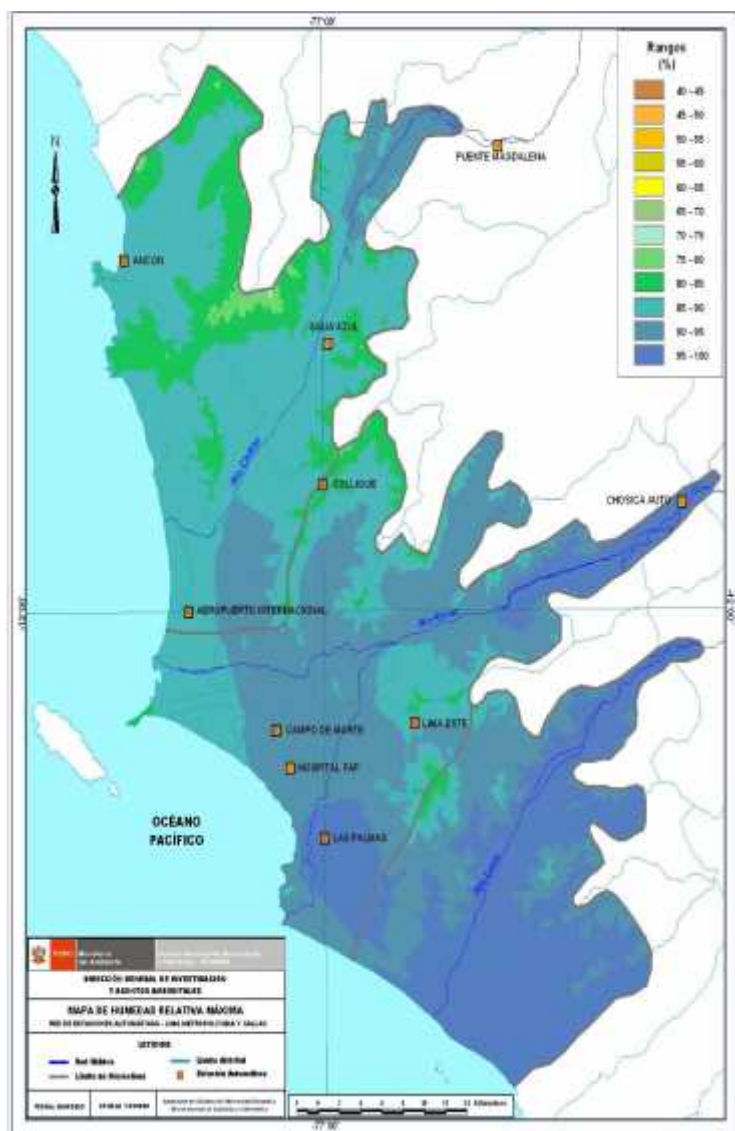


Mapa 1. Temperatura máxima - Red Lima y Callao

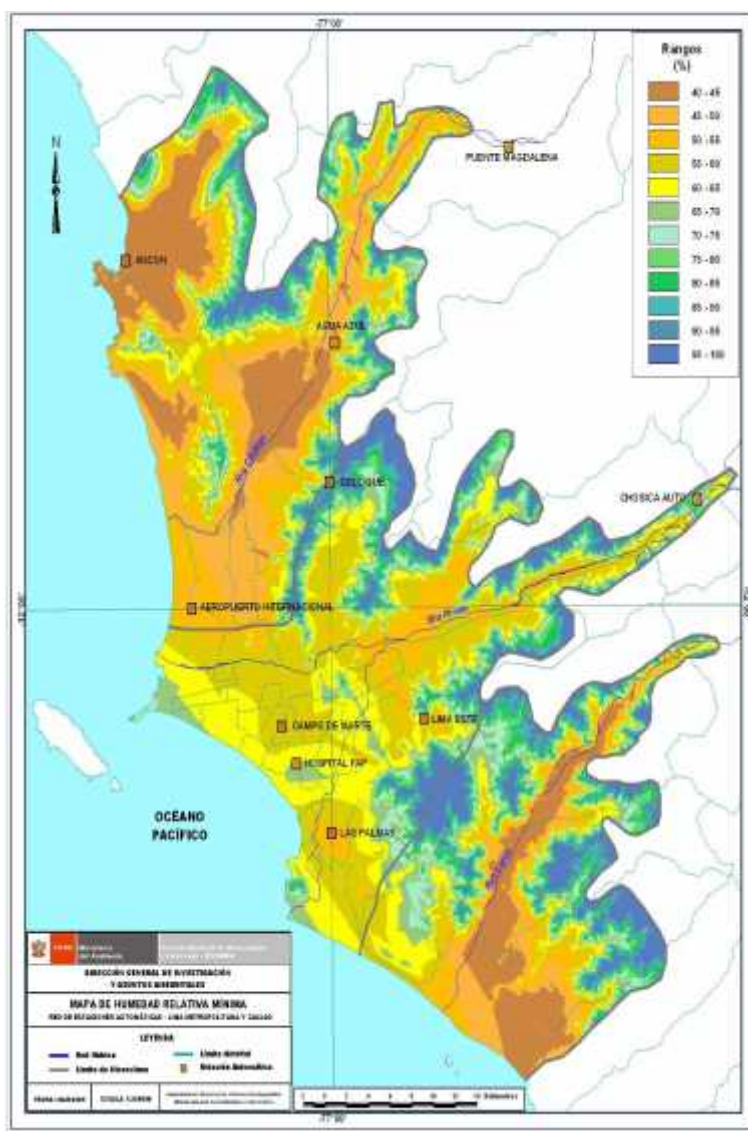


Mapa 2. Temperatura mínima – Red Lima y Callao

La distribución espacial de temperaturas máximas (**Mapa 1**) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, oscilando alrededor de sus normales, muestra áreas comprendidas entre 28 y 30 ° C en las llanuras aluviales de Lima norte y sur debido posiblemente al efecto de la densidad de las edificaciones, áreas de asfalto, pavimento y escasa o ausente vegetación, mientras que en Lima centro y este predominaron rangos entre 26 – 28 ° C, debido tanto al mayor efecto de las brisas marinas por configuración de la línea costera, como a la presencia de mayor vegetación. En cuanto a las mínimas (**Mapa 2**), con excepción del Callao, rangos de temperatura superiores a 22 ° C, predominaron durante el mes.



Mapa 3. Humedad relativa máxima - Red Lima y Callao



Mapa 4. Humedad relativa mínima - Red Lima y Callao

De la distribución espacial de humedades relativas extremas, las máximas (**Mapa 3**) estuvieron comprendidas entre 85 a 95 %, hacia el centro de la ciudad, concentrándose las más altas humedades hacia el sur donde alcanzaron la saturación. En cuanto a las mínimas (**Mapa 4**), los menores valores se localizaron en el fondo de las llanuras aluviales de Lima norte y sur donde alcanzaron 40 %, mientras que en la mayoría de la ciudad estuvieron comprendidas en el rango de 55 a 60 %, y al extremo este llegaron hasta 90 y 95 %.



Mapa 5. Rosas de viento diurnas



Mapa 6. Rosas de viento vespertinas



Mapa 7. Rosas de viento nocturnas

En cuanto al transporte de los contaminantes presentado en los **Mapas 5, 6 y 7**, se puede apreciar que a lo largo de los distritos costeros fue hacia el norte de la ciudad con intensidades en promedio moderadas para todo el día; mientras que en la franja central que va del norte al sur (estación Campo de Marte) fue hacia el nor este de la ciudad principalmente. Hacia el este, los contaminantes con intensidades de viento fuertes ($> 6 \text{ m/s}$) fueron arrastrados hacia el E de la ciudad con algunas variaciones en horas de la noche con menor frecuencia hacia el oeste. En la estación Punta Lobos (Pucusana) se observó un efecto local en horas diurnas y vespertinas de transporte hacia el sur este y nor este, principalmente.

Durante febrero, propio del establecimiento de la estación de verano en el hemisferio sur, el calentamiento diurno fue mayor y por lo tanto se incrementó la turbulencia atmosférica que favoreció los procesos de suspensión y resuspensión de los contaminantes particulados. De esta manera, el polvo atmosférico sedimentable ($\Phi > 10$ micras) incrementó ligeramente sus concentraciones mensuales, superando a la guía OMS (5 t/km²/mes) en 2,6 veces, siendo superior a lo registrado en enero. Ver **mapas 8 y 9 y cuadro 1**.



Mapa 8. Distribución espacial PAS – Enero 2009



Mapa 9. Distribución espacial PAS – febrero 2009

Cuadro 1: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables enero y febrero 2009 (t/km².mes)

Conc t/km ² . mes	Nº 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				
Enero 2009	36	75	32,3 (Independencia)	24,3 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	34,5 (Pachacamac)	31,5 (V.M.T.)	11,9	5	34,5 (Pachacamac)	1,4 (La Molina)
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)

En cuanto al material particulado PM10, la concentración máxima media de 60,4 ug/m³ (10:00 h) que siguió a la presión atmosférica máxima media de 1016,9 mb (09:00 h) y el segundo máximo de 39,1 ug/m³ (20:00 h) correspondiendo a una presión de 1016,1 mb; entre ambos máximos, las concentraciones disminuyeron hasta un mínimo de 25,7 ug/m³ (15:00 horas), período en el cual la mayor insolación y el consiguiente incremento de la temperatura, disminución de la presión

atmosférica e incremento de la intensidad del viento (1 m/s) favorecieron los procesos de dispersión de las partículas transportadas desde el SW en la estación Campo de Marte (J. María) 33,7 (15). Ver **figuras 5 y 6**.

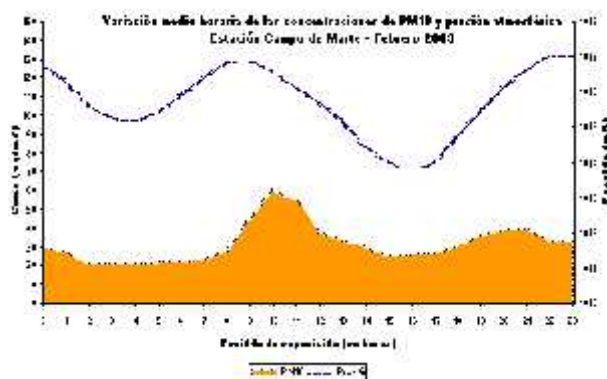


Fig. 5

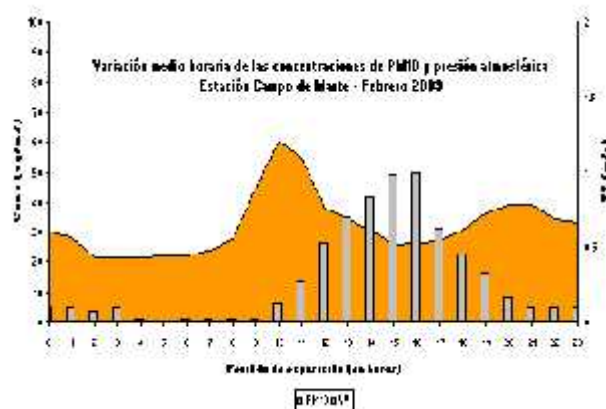


Fig. 6

El comportamiento medio horario de los contaminantes gaseosos (NO_2 y SO_2) muestra una relación directa con la presión atmosférica y la humedad relativa. Las máximas concentraciones de NO_2 de 19,6 ppb (10:00) y de SO_2 de 4,9 ppb (11:00) siguieron a una presión atmosférica máxima media de 1016,9 mb (09:00 h) y humedad relativa de 89 % (07:00 h); mientras que los segundos máximos de NO_2 de 19,5 ppb y de SO_2 de 4,6 ppb a las 20:00 horas correspondieron a una presión máxima de 1016,1 mb y humedad relativa de 79 %. La temperatura del aire, inversa al comportamiento de la humedad, alcanzó un valor de 26,6 ° C a las 14:00 horas, en la que se favorecieron reacciones fotoquímicas de descomposición que decrementaron las concentraciones de los gases para el mes de febrero, con mínimos de 10, 7 ppb (15:00 h) y 3,1 ppb (16:00 h) para ambos gases, respectivamente. Ver **figuras 7 y 8**.

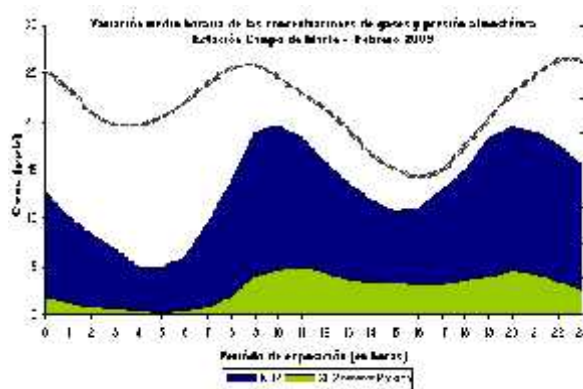


Fig. 7

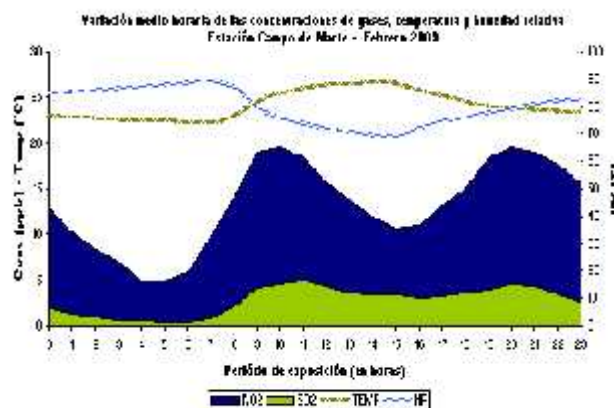


Fig. 8

El comportamiento de las concentraciones de los contaminantes ambientales observado durante el mes de febrero, no superó los estándares de calidad del aire (D.S. N ° 074-PCM-2001). Las concentraciones de NO_2 correspondieron al 37 % del ECA horario (**fig. 9**); las concentraciones de SO_2 correspondieron al 10 % del ECA diario (**fig. 10**); y las concentraciones de PM_{10} , correspondieron al 33 % del ECA diario (**fig. 11**). Los comportamientos observados entre enero y febrero fueron similares, con concentraciones superiores en promedio ligeramente en el mes de enero y con máximos alcanzados en días laborables, principalmente. Las concentraciones mínimas se registraron en las primeras horas de la mañana o los días domingo.

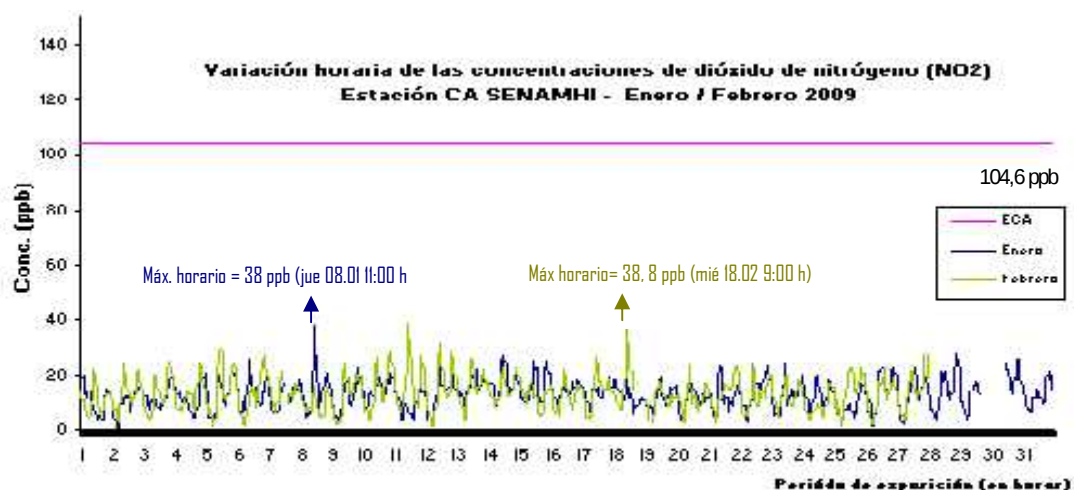


Fig. 9

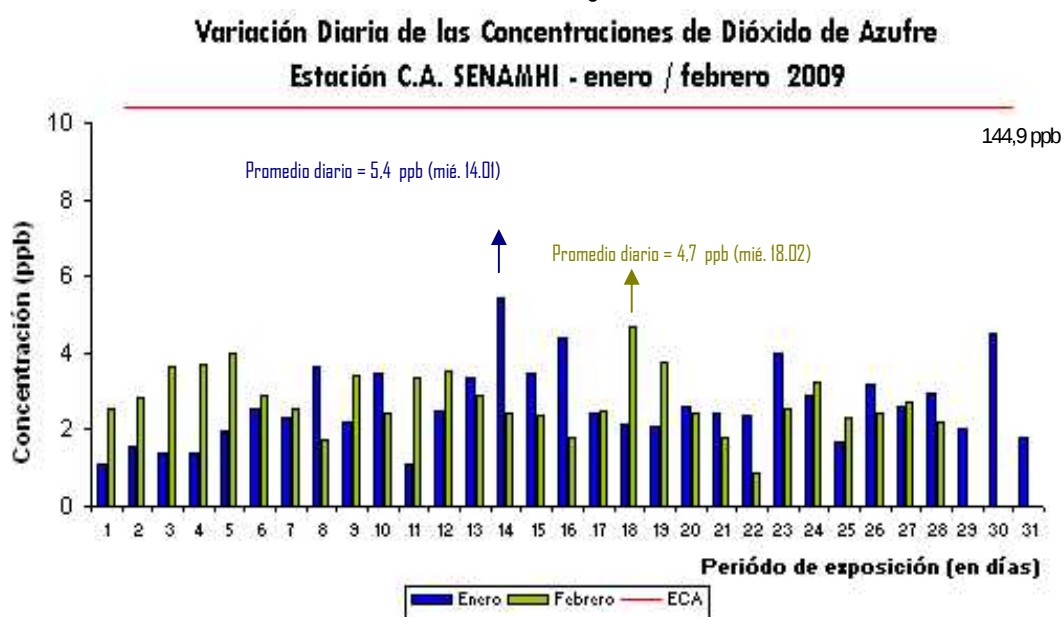


Fig. 10

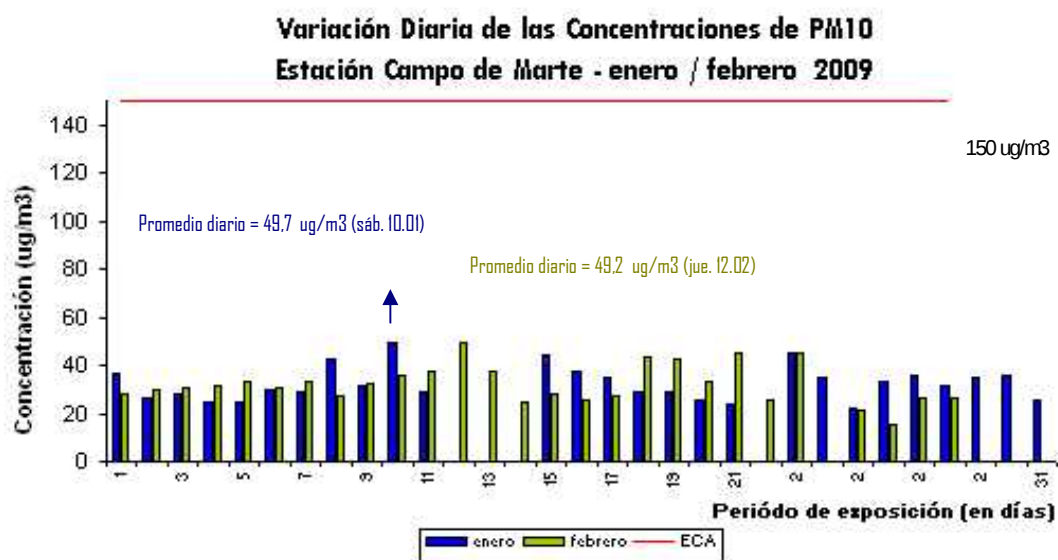


fig11

De acuerdo a los pronósticos climáticos, para el mes de marzo 2009 se prevé un descenso paulatino de la temperatura que se acentuará en la segunda quincena, alcanzando una temperatura máxima media de $26,9^{\circ}\text{C}$ alrededor de su normal y temperatura mínima media de $20,8^{\circ}\text{C}$, ligeramente superior a su normal. Bajo tales condiciones, se espera que los contaminantes ambientales se incrementen ligeramente dentro de su variabilidad normal para el caso del Polvo atmosférico sedimentable, y se mantengan similares o ligeramente inferiores para el PM₁₀ y gases SO₂ y NO_x evaluados.

Conclusiones:

- Las condiciones atmosféricas y oceánicas que determinaron el comportamiento climático durante el mes de febrero en la costa central del país estuvieron oscilando alrededor de sus normales históricas con un núcleo máximo promedio de 1023 mb alejado de la costa, TSM entre $24 - 26^{\circ}\text{C}$ con una anomalía entre $-0,5$ a $0,5^{\circ}\text{C}$.
- El transporte de los contaminantes con intensidades desde débiles hasta fuertes fue predominantemente hacia el N (litoral costero), NE (centro) y E (franja occidental); con intensidades moderadas hacia el mediodía que favorecieron la dispersión de los contaminantes.
- Las concentraciones de Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) fueron en promedio ligeramente superiores a las del mes de enero, pero inferiores en Lima norte, sureste y sur; excepto en Lima centro-este. 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 $60,4\text{ ug/m}^3$ (10:00 h), 19,6 ppb (10:00 h) y 4,9 ppb (11:00 h) para PM₁₀, NO₂ y SO₂, respectivamente siguiendo a una máxima de 1016,9 mb y 89 %, e inversa con la temperatura del aire y la intensidad del viento cuyas máximas de $26,6^{\circ}\text{C}$ (14:00 h) y de 1 m/s (16:00 h) correspondieron al período de decremento de las concentraciones de contaminantes.
- Las concentraciones registradas para el mes de febrero no superaron los estándares de calidad del aire, correspondiendo sólo al 37 % de ECA horario para NO₂, 10 % al ECA diario de SO₂ y 33 % al ECA diario para PM₁₀. Las concentraciones registradas en el mes de enero fueron en promedio ligeramente superiores a febrero.
- Por efecto de los pronósticos climáticos para la Zona Metropolitana de Lima –Callao, se espera que las concentraciones del Polvo atmosférico sedimentable se incrementen ligeramente dentro de su variabilidad normal, y el PM₁₀ y gases SO₂ y NO_x evaluados se mantengan similares a ligeramente inferiores.