

## EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/FEBRERO-2008

### INDICE GENERAL

#### RESUMEN

1. Contaminación por Partículas en la ciudad de Lima-Callao.	3
2. Metodología.	5
3. Resultados del monitoreo ambiental.	8
4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable	21
5. Conclusiones.	21

#### INDICE DE FIGURAS

Fig. 1- Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable en la zona metropolitana de Lima-Callao.	7
Fig. 2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable registrados en enero y febrero 2008 en Lima-Callao.	9
Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico Sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de febrero del 2008.	10
Fig. 4- Variación diaria semanal de las concentraciones de PM10 y PM2.5 en la Estación Meteorológica Campo de Marte, Jesús María - Febrero 2008	11
Fig. 5- Gráfico de Cajas de las concentraciones de PM10 y PM2.5 Estación Campo de Marte, Jesús María - Febrero 2008	12
Fig. 6- Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez febrero 2007	15
Fig. 7- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de febrero del 2008 en el Carabaylo, Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana.	15
Fig. 8a-Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de febrero del 2007 en el Carabaylo, Ancón y Comas.	16
Fig. 8b-Variación horaria mensual en invierno de la temperatura y humedad relativa durante el Mes de febrero 2007 en el Callao, Jesús Maria y La Molina.	17
Fig. 8c-Variación horaria mensual en invierno de la temperatura y humedad relativa durante el Mes de febrero 2007 en Surco y Pucusana	18

Fig. 9a- Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Carabaylo, Ancón, Comas y el Callao  
Febrero 2008 19

Fig. 9b- Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesús maria, La Molina, Surco y Pucusana  
Febrero 2008 20

### ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes  
sólidos sedimentables: enero y febrero 2008. 8

Cuadro N ° 2. Concentraciones semanales de PM10 y PM2.5 registradas en la Estación Campo  
de Marte Jesús María, Febrero 2008 11

Cuadro N ° 3. Estadística descriptiva de las Concentraciones semanales de PM10 y PM2.5  
Estación Campo de Marte, Jesús María, Febrero 2008 12

Cuadro N ° 4. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable (t/km2.mes) para el mes de  
marzo 2008 21

## EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO /FEBRERO - 2008

El boletín del mes de febrero 2008 muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico sedimentable (PAS) y partículas menores a 10 y 2.5 micras (PM10 y PM2.5), en relación a las condiciones meteorológicas registradas en la red automática de la Zona Metropolitana de Lima-Callao compuesta por las estaciones de Carabaylo, Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana. Así, el 77 % de las estaciones de muestreo superaron el valor referencial permisible de la OMS, con una concentración media de PAS para Lima-Callao de 13,4 t/km<sup>2</sup>/mes, similar a la del mes de enero y máxima concentración en Comas (35,7 t/km<sup>2</sup>/mes) y mínima en la Molina (1,6 t/km<sup>2</sup>/mes); en cuanto a las concentraciones de PM10 y PM2.5, estas fueron máximas el día martes con valores de 107 y 86 ug/m<sup>3</sup>; y mínimas de 67 y 47 ug/m<sup>3</sup> el día jueves, respectivamente. Asimismo, el ECA Nacional de PM10 no fue superado, mientras que el ECA de Tránsito de PM2.5 fue superado el 29 % de los días evaluados. De acuerdo a la vigilancia sinóptica, la evolución de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el Anticiclón del Pacífico suroccidental –APSO-con núcleo promedio de 1022 hPa, presentó un comportamiento variable, pero con clara tendencia a alcanzar su máximo debilitamiento estacional, con anomalías ligeramente positivas en latitudes tropicales y negativas de hasta - 6 hPa en latitudes medias y altas. Asimismo, el Anticiclón del Atlántico Norte –AAN- al mostrarse muy intenso con núcleo promedio de 1026 hPa y anomalías positivas de hasta 5 hPa, influyó en la migración de la Zona de Convergencia Intertropical –ZCIT- hacia el sur de su posición normal, tanto en continente como en el Pacífico, ocasionando en algunos días vientos cálidos del norte. Como consecuencia de lo anterior, los vientos del sur a lo largo de la costa peruana, experimentaron una relativa disminución en su intensidad, disminución del afloramiento marino que casi siempre es activo, incremento de la Temperatura Superficial del Mar – TSM-, fuerte debilitamiento y ausencia en algunos días del fenómeno de la inversión térmica por subsidencia, escasa formación de nubosidad estratiforme baja, mayor ingreso de radiación solar, y la temperatura del aire, por lo tanto, alcanzó sus máximos valores de la estación de verano en la tercera década del mes Superó los 30° C en varias zonas de la ciudad). De este modo, las condiciones descritas y sus interacciones, propiciaron el incremento de los fenómenos de turbulencia térmica y mecánica del aire, y así también de los fenómenos de suspensión y resuspensión del polvo atmosférico sedimentable, en Lima norte, Lima sur y desde la franja central norte-sur hacia el este en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, donde se observan los mayores incrementos en las concentraciones de este contaminante; mientras que, los distritos costeros que usualmente experimentan esporádicas finas garúas en las mañanas y al atardecer, complementado con la influencia de las brisas marinas, muestran las mejores condiciones ambientales.

### 1. Contaminación por Partículas en la ciudad de Lima y Callao

Silva *et al* (2004)<sup>12</sup> refiere que la calidad del aire puede definirse como las concentraciones de contaminantes que permiten caracterizar el aire de una región con respecto a concentraciones patrón, señaladas con el fin de preservar la salud y bienestar de las personas. Otras definiciones refieren que es el estado de la atmósfera con respecto a la presencia de contaminantes atmosféricos potenciales.

Dichos contaminantes por lo general, se clasifican en partículas suspendidas (polvos, gases, neblinas, humos), contaminantes gaseosos (gases y vapores) y olores. La OMS<sup>1</sup> señala que por lo general, las partículas finas y gruesas tienen fuentes y mecanismos de formación distintos, si bien puede haber alguna superposición.

El material particulado incluye el polvo bien fino, el hollín, el humo y las gotitas formadas por reacciones químicas; todas éstas son producidas cuando se queman combustibles como carbón, madera o petróleo. Estas partículas provienen de vehículos de motor, de la generación de energía y de instalaciones industriales. También provienen de chimeneas, estufas de leña, caminos no pavimentados, operaciones de trituración y pulverización, de tal manera que son llevados al aire por el viento.

Por lo general, las partículas finas tienen más tiempo de vida en la atmósfera (días a semanas) que las

<sup>1</sup> OMS. 1999. Guías para la Calidad del Aire. Ginebra, Suiza.

<sup>2</sup> Silva J.; Concepción, E.; Montoya, Z. 2004. Evaluación de la Contaminación Atmosférica en la Zona Metropolitana de Lima-Callao. Boletín Meteorológico e Hidrológico del SENAMHI. Cap. IV. Ambiente. Lima, Perú.

partículas gruesas y tienden a ser más uniformes cuando se dispersan en un área urbana o región geográfica grande. Con frecuencia, las partículas más grandes se depositan más rápido que las partículas pequeñas; como resultado, la masa total de partículas gruesas es menos uniforme en concentración que la de partículas finas a lo largo de una región.

La inhalación de partículas irritantes puede interferir principalmente el funcionamiento pulmonar, agravando la bronquitis crónica, la enfermedad obstructiva ventilatoria crónica, el enfisema pulmonar y el asma bronquial. Se considera que los efectos en la esperanza de vida causados por la exposición prolongada a la contaminación del aire son atribuibles fundamentalmente a fracciones de partículas menores de 2,5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>). En un nuevo informe basado en modelos del Programa de Vigilancia, Evaluación y Protección del Medio Ambiente (EMEP) se plantea que muchas de las grandes ciudades europeas son lugares críticos con concentraciones medias diarias y anuales de PM<sub>2.5</sub> que exceden con creces las directrices relativas a las partículas, establecidas por la OMS, que son mucho más estrictas que los límites de la Unión Europea (EMEP 2006). El polvo fino y otras micro partículas pueden viajar miles de kilómetros y afectar a personas que viven lejos de la fuente de contaminación efectiva, como demuestran las imágenes tomadas por satélite. En todo caso, el factor determinante en el efecto en salud es el tamaño de las partículas.

Este tamaño puede variar en hasta cuatro órdenes de magnitud, estando la fracción más fina dominada por compuestos carbonosos, y la más gruesa por silicatos y sal marina. El material particulado (MP) de mayor tamaño entra en la atmósfera directamente mediante mecanismos de resuspensión desde la superficie terrestre o marina y se le define por tanto como "primario". Por el contrario, la mayoría del MP más fino forma núcleos en la atmósfera a partir de reacciones que involucran gases precursores (conversión gas / partícula) y se definen por tanto como "secundarios". En general el MP está compuesto por proporciones variables de:

- Partículas carbonosas: que incluye carbono elemental y carbono orgánico. El hollín por ejemplo, producido por la combustión de hidrocarburos, se forma por la coagulación de esferas nanométricas de microcristales grafiticos recubiertos por compuestos orgánicos, sulfatos y metales. Normalmente, los niveles mas elevados de carbono se registran en las ciudades de mayor tamaño con alto tráfico vehicular.
- Sulfatos y nitratos: la mayoría se forman como aerosoles secundarios de tamaño muy fino, como resultado de la oxidación de un gas precursor (SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>) formando ácidos que son luego neutralizados a sulfato y nitrato amónico.
- Cloruros: la mayoría tienen la composición de halita (NaCl), producidos a partir de la rotura de burbujas al llegar a la superficie del océano.
- Materia mineral: mayormente silicatos (como cuarzo y arcillas), oxi-hidróxidos de Fe (como goethita, limonita), y carbonatos (como calcita, dolomita). La materia mineral de origen natural (geológico) incluye el polvo desértico y el producido en erupciones volcánicas, mientras que el de origen antropogénico está ligado principalmente a fenómenos de resuspensión por el tráfico rodado, trabajos de construcción/demolición, y/o emisiones de tipo industrial.

Las partículas emitidas por los motores diesel consisten en un centro carbonado al que se adhieren 18.000 compuestos diferentes de alto peso molecular y son vistas como las partículas de polución prototípicas pero hay muchas otras. En general las partículas generadas "naturalmente" como el polvo o tierra que transporta el viento corresponden a la fracción PM<sub>10</sub> mientras que los combustibles fósiles son fuente de partículas más pequeñas (PM<sub>2,5</sub> y ultrafinas).

La inhalación controlada de estas partículas a concentraciones muy superiores a los niveles ambientales, produce exacerbaciones de los síntomas en pacientes con enfermedades pulmonares preexistentes (ligeras o moderadas), tales como el asma, así como con enfermedades del corazón y de los vasos sanguíneos. En los últimos años, se ha prestado considerable atención a los efectos adversos de las partículas sobre la salud pública. Los efectos van desde un aumento de los síntomas respiratorios y de los medicamentos para aliviarlos, hasta el asma y las agravaciones de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, que se traducen en tratamientos en las salas de urgencia e, incluso, en reducción del crecimiento pulmonar en los niños, con estimaciones que incluso señalan que el número de muertes prematuras a consecuencia de la contaminación supera al número de víctimas de los accidentes de tránsito.

Se ha informado una asociación entre los PM10 y la mortalidad en niños. Un nivel de alta exposición a la PM10 se asoció con muerte súbita y a mortalidad por patologías respiratorias.

Por lo expuesto, la evaluación de la contaminación de la atmósfera limeña por partículas (principalmente en su fracción más fina), en condiciones de permanente aridez y de alta humedad atmosférica, constituye una preocupación de las instituciones dedicadas a la vigilancia de la calidad del aire.

## 2. Metodología

### 2.1 Del monitoreo de los contaminantes sólidos sedimentables

La información empleada para el análisis corresponde a la obtenida de la red de muestreo de polvo atmosférico compuesta por 38 estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana de Lima-Callao (**figura 1**). Durante el presente mes, se instalaron 06 estaciones de muestreo, ampliándose la red a 44 estaciones en los siguientes distritos: San Juan de Lurigancho ( Jicamarca y Celima), Chaclacayo (carretera Central), Surco y San Juan de Miraflores (Panamericana Sur), y Villa María del Triunfo ( Avenida Pachacútec). El método de muestreo pasivo desarrollado es el que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de gabinete:** consiste en la preparación en laboratorio de las placas receptoras que serán empleadas en campo.
- **Fase de campo:** consiste en el reemplazo de las placas receptoras impregnadas de contaminantes por las que recién han sido pesadas, y su posterior evaluación en laboratorio. Observaciones tales como actividades de construcción cercana a la estación, manipulación por terceros, mantenimiento, paralización, entre otras, son anotadas en una bitácora para la validación posterior de la calidad de la información.
- **Fase de laboratorio:** por el método gravimétrico se determinan las concentraciones correspondientes a cada una de las estaciones de observación.
- **Fase de gabinete:** involucra el procesamiento, análisis e interpretación de la información, salida de reportes preliminares, cuadros, mapas, gráficos y la elaboración del boletín mensual.

### 2.2 Del monitoreo de partículas menores a 10 micras y menores a 2.5 micras (PM10 y PM2.5)

La información diaria de las concentraciones de partículas PM10 y PM2.5 se obtiene de equipos Minivol ( flujo de 5 l/min) instalados en la estación meteorológica Campo de Marte (**figura 1**). El método de muestreo activo es el que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de laboratorio:** consiste en la preparación en laboratorio (gravimetría) de los filtros que serán expuestos durante 24 horas en campo.
- **Fase de campo:** consiste en la exposición de los filtros que han sido preparados en laboratorio; toma de datos de los flujos, tiempo acumulado y condiciones del tiempo al iniciar y culminar las 24 horas de exposición. De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental (EPA), se realizará el muestreo en campo cada 6 días, de tal manera de tener concentraciones representativas de todos los días de la semana del mes en curso. Para circunstancias particulares, se puede incrementar la frecuencia de muestreo. La bitácora de campo es fundamental durante el desarrollo de las actividades en el campo.
- **Fase de laboratorio:** por el método gravimétrico se determinan las concentraciones correspondientes para el material particulado menor a 10 micras y menor a 2.5 micras.
- **Fase de gabinete:** involucra el procesamiento, análisis e interpretación de la información, salida de reportes preliminares, cuadros, mapas, gráficos y la elaboración del boletín mensual.

### 2.3 Monitoreo de contaminantes gaseosos

La evaluación horaria, diaria y mensual de los gases contaminantes del aire (óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono) en la Estación de Calidad de Aire ubicada en la Sede Central (figura 1) se realiza de acuerdo a la siguiente metodología:

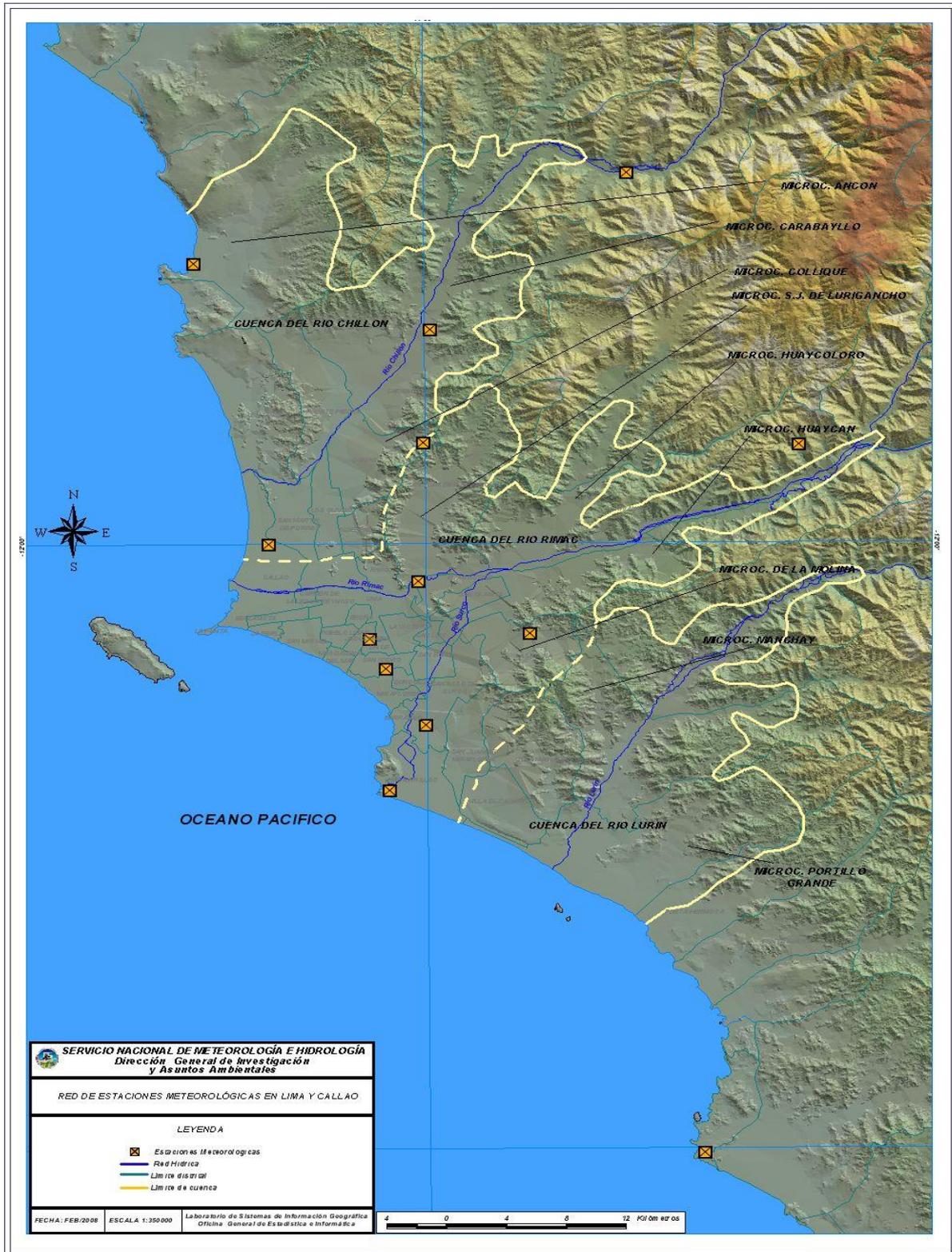
- Fase de campo: operación continua de analizador automático de óxidos de nitrógeno API200E y monóxido de carbono API300A y en la estación de calidad del aire SENAMHI. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232, Ethernet (NOx) y software API COM. Se realiza el cambio de filtros cada 15 días en promedio y la inspección de fugas y limpieza en la línea de ingreso de muestra. Calibración según método aprobado por EPA.
- Fase de gabinete: involucra el procesamiento, análisis e interpretación de la información tomando como referencia el D.S. N°074 –PCM-2001 “Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire” y la R.D. N ° 1404/2005/DIGESA/SA “Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos”.

### 2.4 De la Información Meteorológica

Para la evaluación de las condiciones meteorológicas de la Zona Metropolitana de Lima-Callao en el presente informe se ha utilizado la información proveniente de los siguientes lugares de observación: automática Agua Azul (Carabaylo), Ancón (Ancón), Collique (Comas), automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), automática Campo de Marte ( Jesús María), automática Lima Este ( La Molina), automática Las Palmas ( Surco) y automática Punta Lobos (Pucusana), las mismas que son presentadas en la **figura 1**. La metodología de trabajo es la siguiente:

- **Fase de recopilación:** involucra el proceso de obtención y concentración de la información meteorológica de las estaciones señaladas.
- **Fase de control de calidad y consistencia:** involucra la revisión de los datos, eliminación de inconsistencias y completación de la data a través de herramientas estadísticas.
- **Fase de procesamiento, análisis e interpretación:** involucra el procesamiento numérico, gráfico, análisis e interpretación de los resultados.

**Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao**



### 3. Resultados del monitoreo ambiental

#### 3.1. De las Partículas Totales en Suspensión: PAS, PM10 y PM2.5

##### 3.1.1 Del Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS)

La evaluación del polvo atmosférico sedimentable se realiza en el ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao. La red compuesta de 44 estaciones de muestreo es presentada en la **figura 1**.

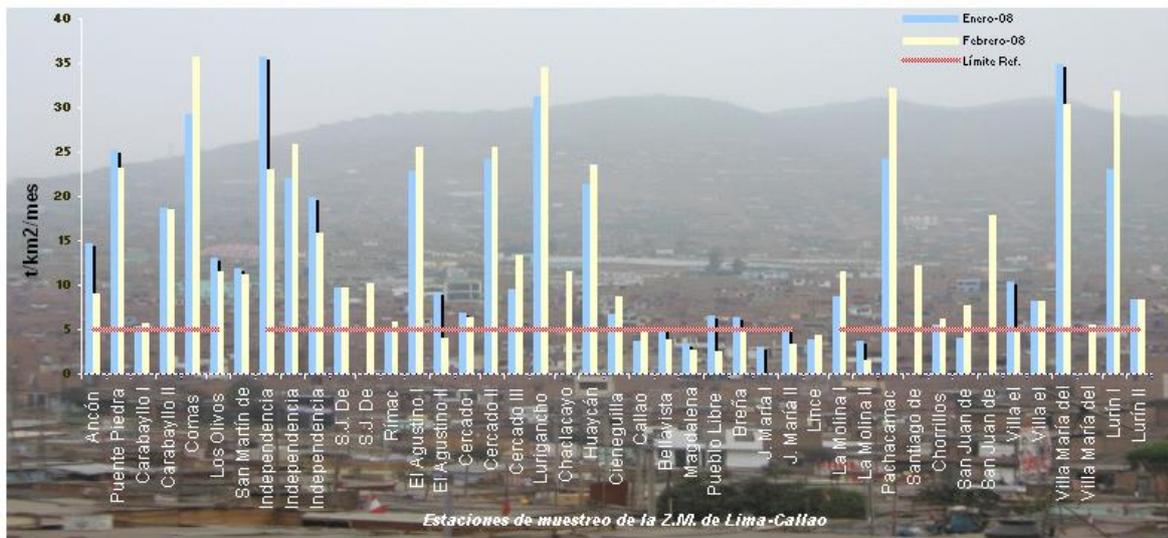
Durante febrero 2008 se recopiló información de 43 estaciones; de éstas el 77 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km<sup>2</sup>/mes, con una media de 13,4 t/km<sup>2</sup>/mes, similar a la del mes de enero.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación en los principales núcleos durante febrero fueron superiores a los registrados el mes de enero. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Comas con 35,7 t/km<sup>2</sup>/mes, y el mínimo de 1,6 t/km<sup>2</sup>/mes en La Molina. La dirección predominante de los vientos para las estaciones de la red meteorológica automática de SENAMHI varió durante las horas del día, siendo en promedio de componente sur ( S y SSW ) y de componente oeste ( W, WSW y WNW ) en horas matutinas; en horas vespertinas en el cuadrante ( SSW, WSW, W y WNW); y en horas nocturnas del SSW, SW y WSW principalmente para los distritos del litoral costero y centro, variando a vientos de componente W hacia los distritos del este de la ciudad, con intensidad predominantemente débil a fuerte; éstos, en interacción con la rugosidad natural y artificial impuesta por las edificaciones, determinaron niveles medios similares a los registrados en enero, siendo 2,7 veces superior al nivel permisible.

**Cuadro N° 1: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables enero y febrero 2008 (t/km<sup>2</sup>.mes)**

Conc t/km <sup>2</sup> .mes	N° est	% de estaciones Sobrepasa nivel ref.	Núcleos principales ( puntuales y promedios)				X t/km <sup>2</sup> /mes	Máx t/km <sup>2</sup> /mes	Mín t/km <sup>2</sup> /mes
			Lima Norte	Lima Centro-este	Lima Sur-este	Lima Sur			
Enero 2008	38	89	35,7 (Independencia)	26,0 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	24,1 (Pachacamac)	29,0 (V.M.T.; Lurín)	13,4	35,7 (Independencia)	2,9 (Jesús María)
Febrero 2008	43	77	35,7 (Comas)	28,5 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	32,2 (Pachacamac)	31,1 (V.M.T.; Lurín)	13,4	35,7 (Comas)	1,6 (La Molina)

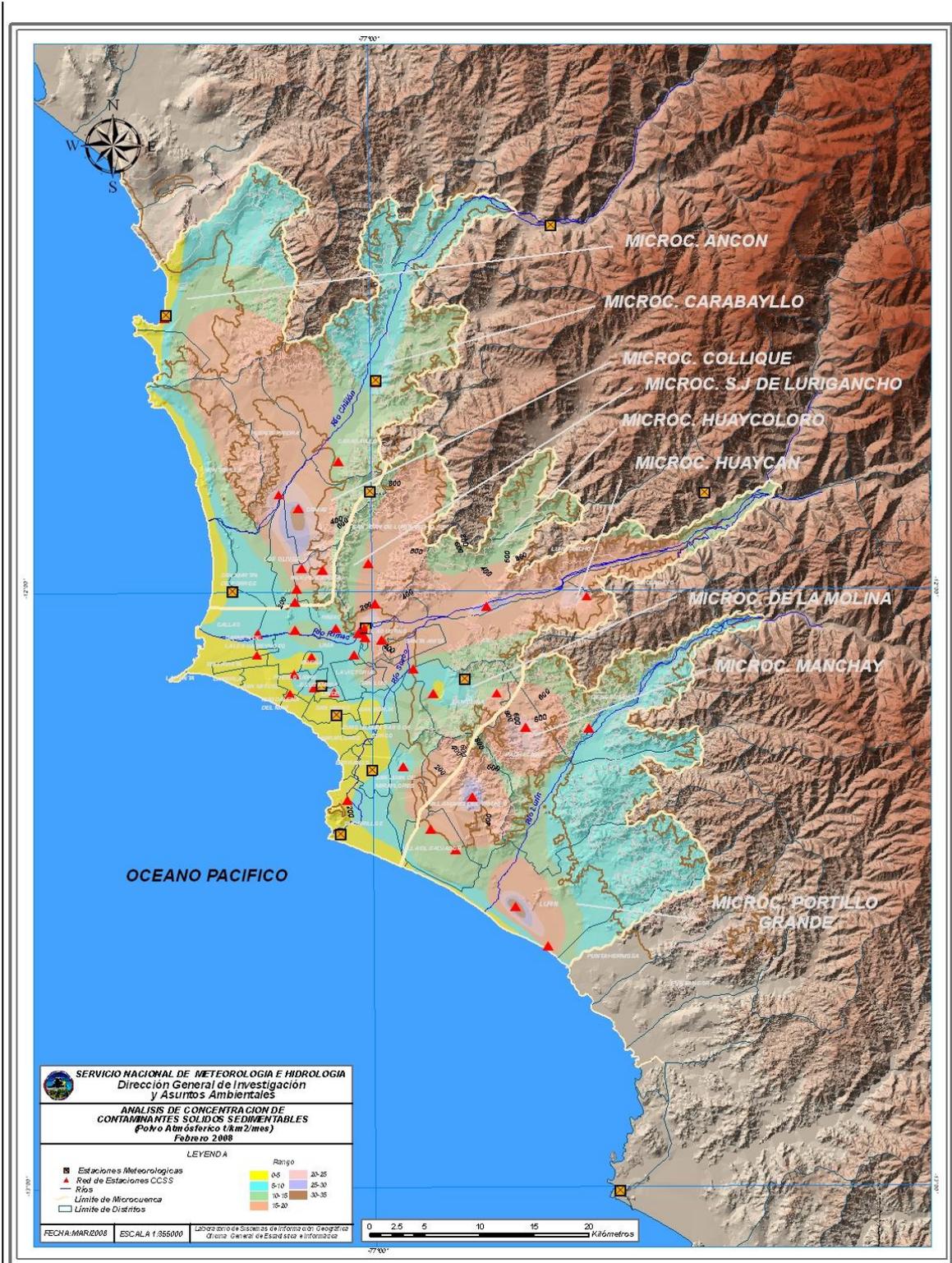
En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de enero y febrero 2008.



**Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en enero y febrero 2008 en Lima-Callao**

La configuración urbana local, el incremento tanto del tráfico vehicular y de una red vial con deficiente mantenimiento, así como de las actividades industriales, comerciales y de servicios sin una política nacional de ordenamiento territorial, ello en interacción con las condiciones meteorológicas que se presentaron durante febrero, facilitaron la configuración de persistentes zonas críticas de alta contaminación en Lima-Callao, con una media superior y valores superiores en tres de los cuatro núcleos de las zonas críticas respecto al mes anterior. De acuerdo a lo descrito, en **la figura 3**, las 4 principales zonas críticas son: hacia Lima norte (cuenca del río Chillón) se observa el primer centro, extendiéndose hacia la jurisdicción de los distritos de Independencia, Comas, Carabaylo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Comas tiene un valor de 35,7 t/km<sup>2</sup>/mes. El segundo centro abarca Lima centro-este (cuenca del río Rímac y microcuencas de San Juan de Lurigancho y Huaycán, y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Sta. Anita, el Agustino, y el Cercado (lado este), con núcleo en el distrito de Lurigancho de 34,6 t/km<sup>2</sup>/mes. El tercer centro ubicado en Lima sur-este tiene su núcleo en el oeste del distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay), comprende los distritos de Pachacamac, sureste de La Molina y suroeste de Cieneguilla, con valor de 32,2 /km<sup>2</sup>/mes; mientras que el cuarto centro en Lima sur que comprende los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y Lurín, se presenta fraccionado en Villa María del Triunfo y Lurín con valores de 31,9 y 31,9 t/km<sup>2</sup>/mes, respectivamente. Los distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales, comprendidos dentro de la estrecha franja amarilla, se mantuvieron por debajo del límite (5 t/km<sup>2</sup>.mes), favorecidos por la influencia de las brisas marinas y políticas de gestión municipal saludables.

**Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de febrero 2008**



### 3.1.2 De las Partículas menores a 10 micras y menores a 2.5 micras (PM10 y PM2.5)

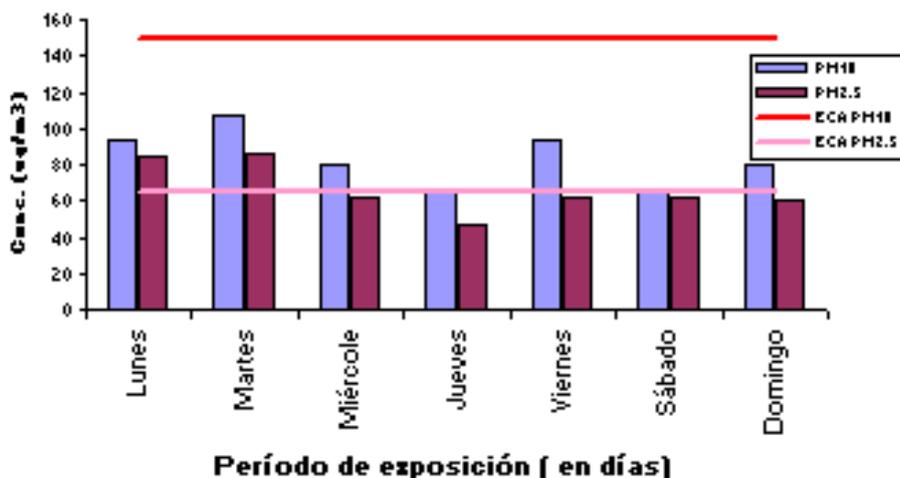
La información semanal registrada en el mes de febrero por los muestreadores MiniVol PM10 y PM2.5 instalados en la estación meteorológica Campo de Marte del SENAMHI mostró sus máximas concentraciones el día martes de 107 y 86 ug/m<sup>3</sup>, respectivamente y las mínimas el día jueves de 67 y 47 ug/m<sup>3</sup>, respectivamente, según se observa en el **cuadro N ° 2**.

**Cuadro N ° 2. Concentraciones semanales de PM10 y PM2.5 registradas en la Estación Campo de Marte Jesús María, Febrero 2008**

Conc. (ug/m <sup>3</sup> )	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Media
PM10	93.6	107	80.29	66.7	94.2	67	79.8	84.1
PM2.5	83.8	85.6	62.5	46.9	61.8	61.3	60.8	66.1

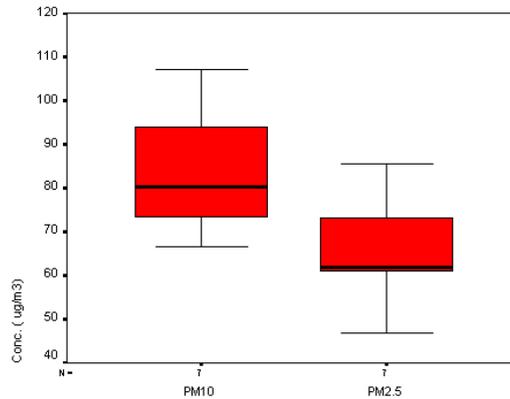
La variación diaria de las concentraciones es comparada con el Estándar de Calidad del Aire (ECA) Nacional para PM10 equivalente a 150 ug/m<sup>3</sup> y se observa que en ninguno de los casos es superado; de forma similar, se comparan las concentraciones de PM2.5 y se observa que durante el período de evaluación, el 29 % de los días supera el Estándar de Tránsito equivalente a 65 ug/m<sup>3</sup> y en el resto de los días se mantiene bastante cercano. Ver **Figura 4**. Sin embargo, la normatividad (guías) dada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) la cual antepone el bienestar humano es mucho más exigente; así, para los contaminantes PM10 y PM2.5 es de 50 y 25 ug/m<sup>3</sup>, con la cual el 100 % de los días superarían los valores, de forma similar la media del período de estudio.

**Figura 4. Variación diaria semanal de las concentraciones de PM10 y PM2.5 Estación Meteorológica Campo de Marte, Jesús María - Febrero 2008**



Las concentraciones de PM2.5 usualmente representan el 45 a 65 % de las concentraciones de PM10; para el área de estudio y el período evaluado, están representando en promedio el 79 %, lo que implica una alta concentración de partículas finas (respirables) consideradas como las más nocivas para los seres humanos provenientes de vehículos diesel. En la **Figura 5** se observa el gráfico o de cajas que muestra la relación entre ambos contaminantes con una mediana de 80,3 ug/m<sup>3</sup> para el PM10 y de 61,8 ug/m<sup>3</sup> para el PM2.5 que representa el 50 % de la información ( percentil 50) y con una distribución de los datos asimétrica positiva en ambos casos (Ver **Cuadro N ° 3**).

**Figura 5. Gráfico de Cajas de las concentraciones de PM10 y PM2.5 Estación Campo de Marte, Jesús María - Febrero 2008**



**Cuadro N° 3. Estadística descriptiva de las Concentraciones semanales de PM10 y PM2.5 Estación Campo de Marte, Jesús María, Febrero 2008**

Partículas	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentiles		
					25	50	75
PM10	84.0857	80.3	66.7	107	67	80.3	94.2
PM2.5	66.1	61.8	46.9	85.6	60.8	61.8	83.8

El material particulado fino PM2.5, según se mencionó líneas arriba, es el más peligroso para el ser humano. De los elementos presentes en ésta, el más peligroso es el carbón orgánico, debido a la acción cancerígena de algunos de sus compuestos y a las propiedades tóxicas de otros. El otro derivado, es conocido como carbón elemental" y sobre éste se adhieren partículas de sulfatos, nitratos, amonio que, junto con la alta humedad atmosférica de la ciudad de Lima, generan la acidez del material particulado.

Los efectos a la salud derivados de la exposición a estos contaminantes, principalmente respiratorios, son señalados en el acápite I.

### 3.1.3 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de febrero 2008, se ha realizado en base a información derivada disponible sobre la evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, y de la información recopilada de la red de estaciones automáticas descrita en el acápite 2.3. A continuación se presentan las variables analizadas durante el período de muestreo del polvo atmosférico sedimentable, partículas finas y gases.

#### a. De la Nubosidad

De acuerdo a lo presentado en la **figura 6**, el mes de febrero 2008, se caracterizó porque la nubosidad estratiforme baja que normalmente está presente entre 300 a 600 m.s.n.m., estuvo ausente o débilmente presente en algunos días, debido a que la evolución de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el Anticiclón del Pacífico suroriental –APSO– con núcleo promedio de 1022 hPa, presentó un comportamiento variable, pero con clara tendencia a alcanzar su máximo debilitamiento estacional, con anomalías ligeramente positivas en latitudes tropicales y negativas de hasta -6 hPa en latitudes medias y altas; condiciones que complementadas por la migración de la Zona de Convergencia Intertropical hacia el sur de su posición normal, propiciaron que los vientos del sur a lo largo de la costa peruana, experimentaran una relativa disminución en su intensidad, disminución del afloramiento marino que casi siempre es activo, incremento de la Temperatura Superficial del Mar – TSM-, y ausencia en algunos días del fenómeno de la inversión térmica o fuerte debilitamiento cuando está presente, con su base en promedio a no más de 300 msnm; ocasionando una escasa formación de nubosidad estratiforme baja, mayor nubosidad media y alta, como consecuencia de los trasvases de masas de aire húmedas desde la amazonía.

#### b. De la Temperatura y Humedad Relativa

El análisis medio mensual de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas: automática Agua Azul, Ancón, Collique, automática sinóptica y de radiosondaje A.I. Jorge Chávez, automática Campo de Marte, Lima Este, Las Palmas y Punta Lobos, señala el día 23 de febrero como el más cálido con una máxima media de 24,6 ° C y el día 6 como el más frío con un valor medio de 21,6 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 13 con la mínima media de 69 %, y el más húmedo el 26 de febrero (83 %). Ver **figura 7**.

- Del análisis de la variación temporal diaria de la temperatura (° C) y humedad relativa (%) extremas se observa lo siguiente: la temperatura máxima fluctuó entre los valores de 20,6 ° C en Pucusana el día 11 de febrero a 32,0° C en el Callao el día 24 (día en que también se registró 30,5° C en Comas y Carabaylo), y la mínima fluctuó entre 17, 6° C en Pucusana el día 7 de febrero a 22, 6° C en Comas el día 23; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 23 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 62 % en La Molina el 13 de febrero a 100 % en Pucusana el día 26; y la mínima osciló entre 32 % en el Callao el día 13 a 97 % en Pucusana el día 26 (ver **figuras 8a, b y c**); la humedad relativa media fue de 76 %. Durante el mes de febrero se presentaron en promedio condiciones térmicas propias de una estación de verano, con presencia de brillo solar hacia el mediodía que se extendieron hacia horas de la tarde y una alta sensación térmica de calor. (VER GRÁFICOS CORRESPONDIENTES)

#### c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de febrero es presentada en la **figura 9** para el período matutino (07:00 – 11:00), vespertino (12:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente. Este análisis es importante por cuanto esta variable meteorológica influye directamente en los procesos de transporte y dispersión de los contaminantes determinando tanto la localización como los niveles altos o bajos de concentración de éstos.

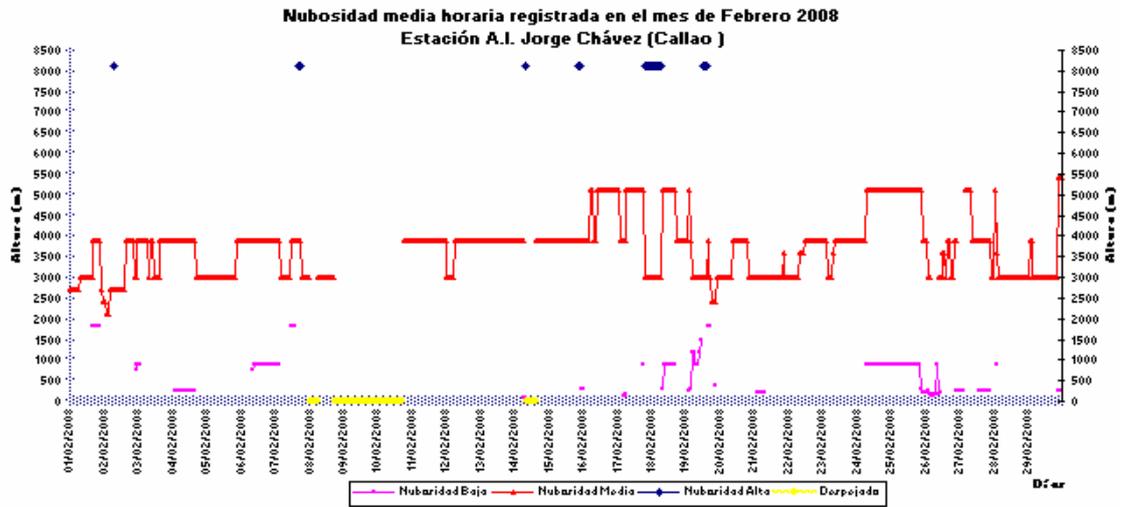
- Durante el período matutino (7:00 a 11:00 horas), predominaron vientos de intensidad media débil (< 3 m/s) en la mayoría de las estaciones analizadas, con excepción de La Molina (Lima Este) que reportó velocidades medias de 4,3 m/s. No se registró ocurrencia significativa de calmas.

- Durante el período vespertino (12:00 a 18:00 horas) se registraron intensidades moderadas en Carabaylo (3,8 m/s), Ancón (3,0 m/s), Comas (3,1 m/s), El Callao (3,6 m/s), Jesús María (4,5 m/s), Surco (3,9 m/s) y Pucusana (3,6 m/s). En la estación Lima Este (La Molina) predominaron velocidades medias fuertes (> 6m/s). No se registró ocurrencia significativa de calmas.
- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se registraron vientos de intensidad débil en Carabaylo, Ancón, Callao, Comas, Jesús María, La Molina y Pucusana con intensidades medias comprendidas entre 0,4 a 2,2 m/s; mientras que en Surco, se registraron velocidades medias moderadas de 3,0 m/s, respectivamente. No se registró ocurrencia significativa de calmas.
- En cuanto a las direcciones predominantes del viento superficial, en horas matutinas (7:00-11:00 horas) la estación Agua Azul (Carabaylo) reportó direcciones del SW (21 %), WSW (19 %), NNE (12 %), y NE (10 %), en horas vespertinas los vientos fueron de componente SW(72 %) y WSW (22 %), en la nocturna mantuvo la misma componente con (42 y 22 %), respectivamente. La estación Ancón ( Ancón) reportó direcciones del WNW (35 %), NW (34 %), NNW (10 %) y W (9 %); variando en horas vespertinas siendo de dirección WNW (37 %), NW (17 %), W (14 %) y SSW (13 % ); hacia horas de la noche se presentaron vientos del NW (21 %), NNW (20 %), N (16 %), y WNW (8 %). En la estación Collique (Comas) hacia horas de la mañana predominaron direcciones del SSW (37 %), SW (34 %) y S (9 %), variando de componente en horas vespertinas con vientos del SW (56 %), SSW (32 %) y WSW (9 %); y comportándose de forma similar hacia la noche con frecuencias de 41, 23 y 22 %. La estación A.I. Jorge Chávez (Callao) presentó direcciones del S y N (25 %), SSW (15 %), W (14 %), y WNW (10 %); variando en horas vespertinas con vientos de componente S (42 %), SSW (19 %), W (15 %) y WNW (12 %); hacia horas de la noche, vientos de componente sur, con frecuencias de 57 % (S), 23 % (N) y 7 % (SSW). En la estación Campo de Marte, se presentaron direcciones del WSW (55 %) y SW (22 %) en horas matutinas, manteniéndose en horas vespertinas con frecuencias de 45 y 47 %; en horas de la noche, se presentaron vientos de dirección WSW (45 %), SW (22 %) y W (9 %), respectivamente. En la estación Lima Este, en horas de la mañana predominaron vientos del W (53 %), WNW (22 %), y WSW (7 %), que se mantuvieron hacia horas vespertinas con frecuencias del 52 (W) y 39 % (WNW); en horas de la noche, se mantuvieron las direcciones de componente WNW, W y NW con frecuencias del 25 % 18 % y 13 %. En la estación Las Palmas, predominaron vientos del WSW (30 %), S (16 %), SSW y W (13 %), principalmente en horas matutinas; en horas vespertinas se mantuvieron vientos de dirección WSW, S, SSE y SSW con frecuencias de 42, 23, 10 y 8 %; y en horas de la noche vientos de componente sur con frecuencias de 28 % (SSE), 27 % (S), 13 % (SSW) y SE (10 %). En la estación Punta Lobos (Pucusana), se reportaron vientos de dirección WNW (24 %), NW (17 %), W(16 %) y S (9 %); en horas vespertinas se reportaron vientos del W (31 %), SSW (18%), S (16 %), WNW (11 %) y del WNW, NW, WSW (7 %); mientras que en horas nocturnas se registraron vientos del SSE (22 %), S (16 %), SE (14 %) y del SSW (7 %).

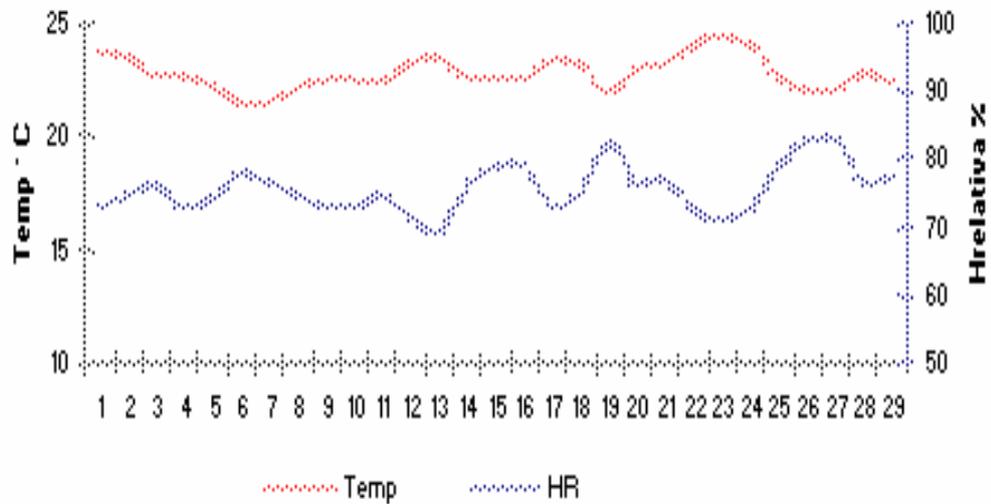
#### d. Del perfil de la troposfera

De acuerdo a la vigilancia sinóptica, durante el mes de febrero 2008, la evolución de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el Anticiclón del Pacífico suroriental –APSO-con núcleo promedio de 1022 hPa, presentó un comportamiento variable, pero con clara tendencia a alcanzar su máximo debilitamiento estacional, con anomalías ligeramente positivas en latitudes tropicales y negativas de hasta - 6 hPa en latitudes medias y altas; características que complementadas por la migración de la Zona de Convergencia Intertropical hacia el sur de su posición normal, propiciaron que los vientos del sur a lo largo de la costa peruana, experimentaran una relativa disminución en su intensidad, disminución del afloramiento marino que casi siempre es activo e incremento de la Temperatura Superficial del Mar – TSM-. Las condiciones descritas y sus interacciones, ocasionaron la ausencia en algunos días, del fenómeno de la inversión térmica o fuerte debilitamiento de la misma cuando estuvo presente, con su base en promedio a no más de 300 msnm; propiciando una escasa formación de nubosidad estratiforme baja, mayor nubosidad media y alta, como consecuencia de los trasvases de masas de aire húmedas desde la amazonía.

**Figura 6. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez febrero 2008**



**Figura 7.- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de febrero del 2008 en Carabayllo, Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana**



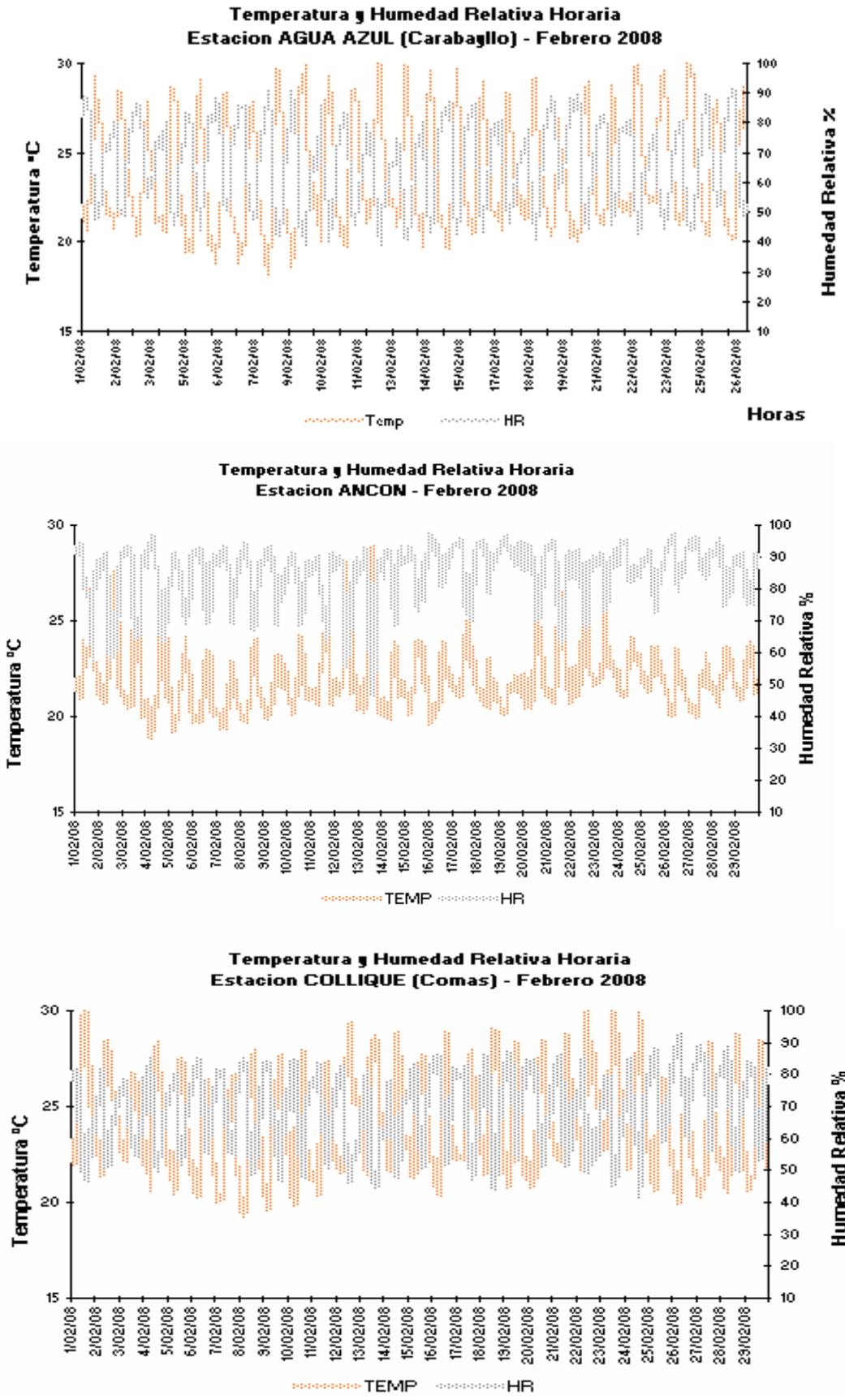


Fig. 8a

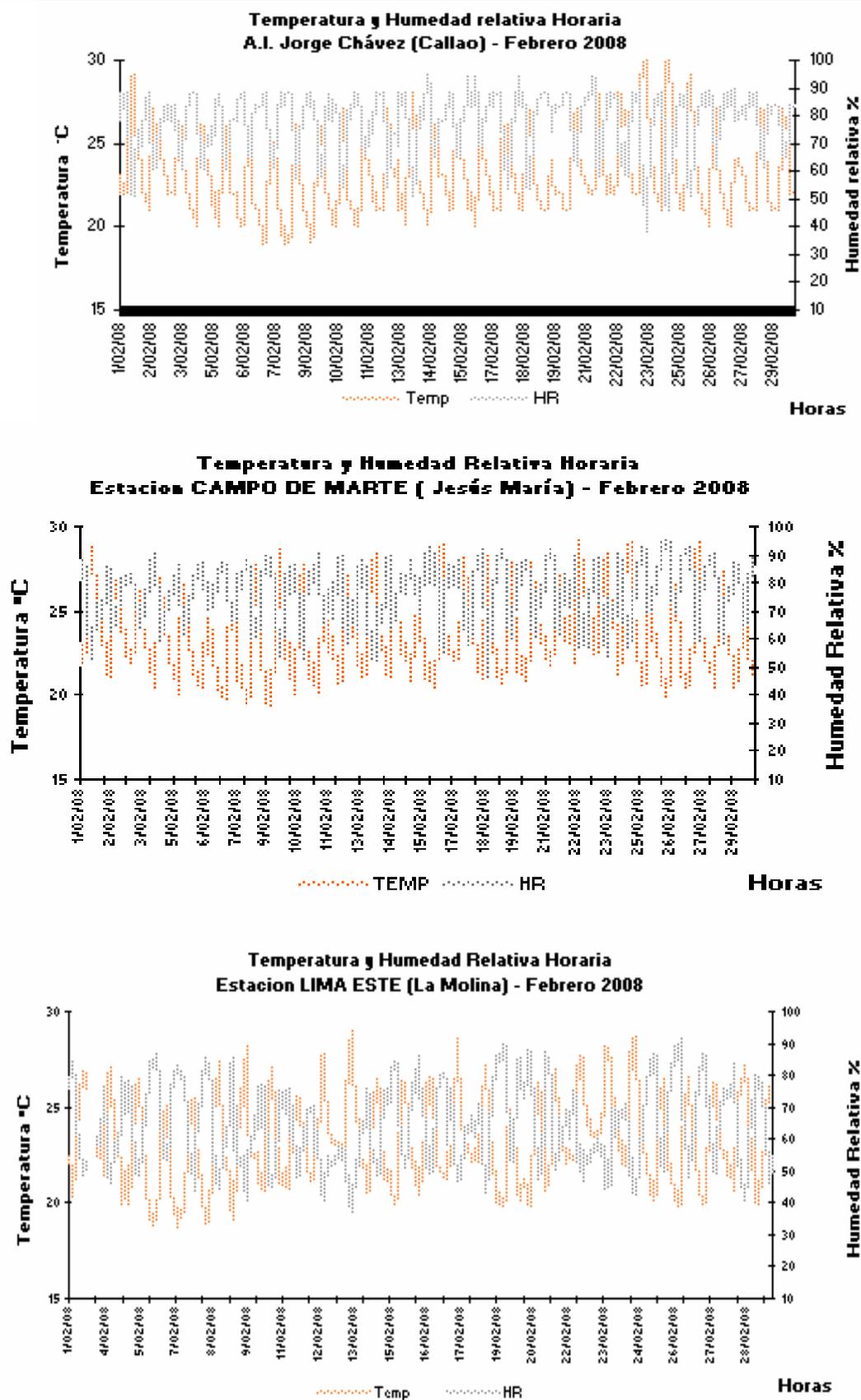
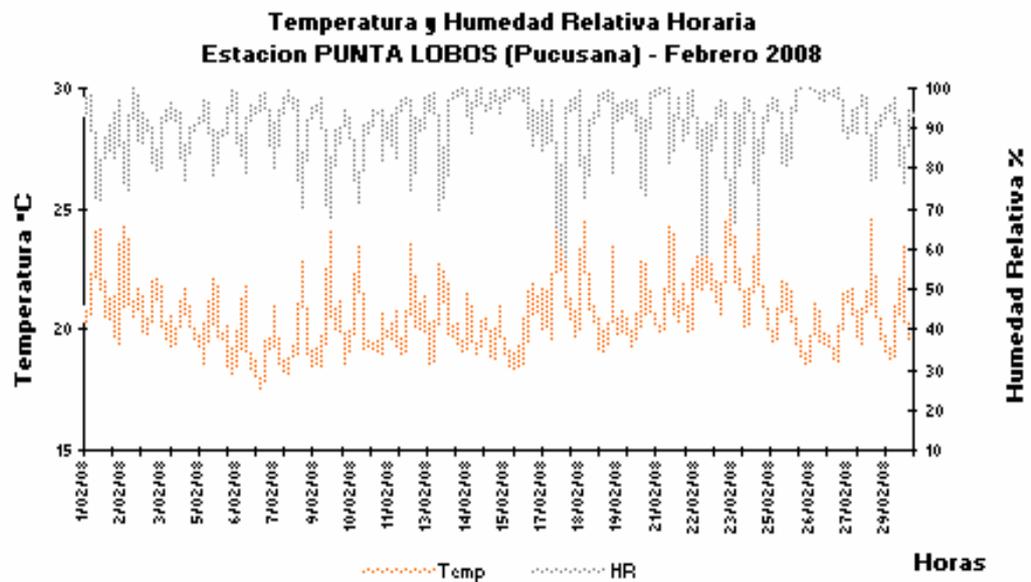
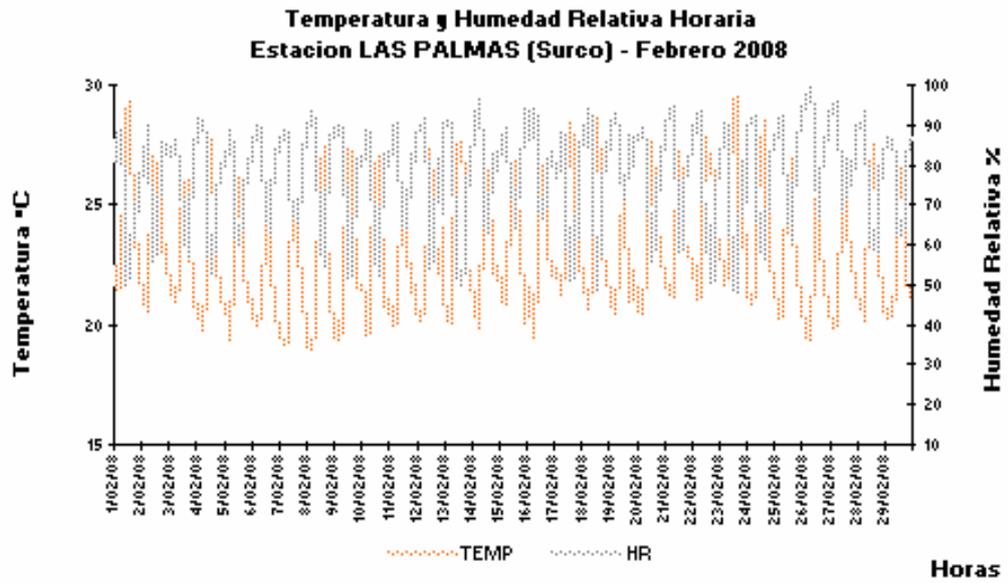
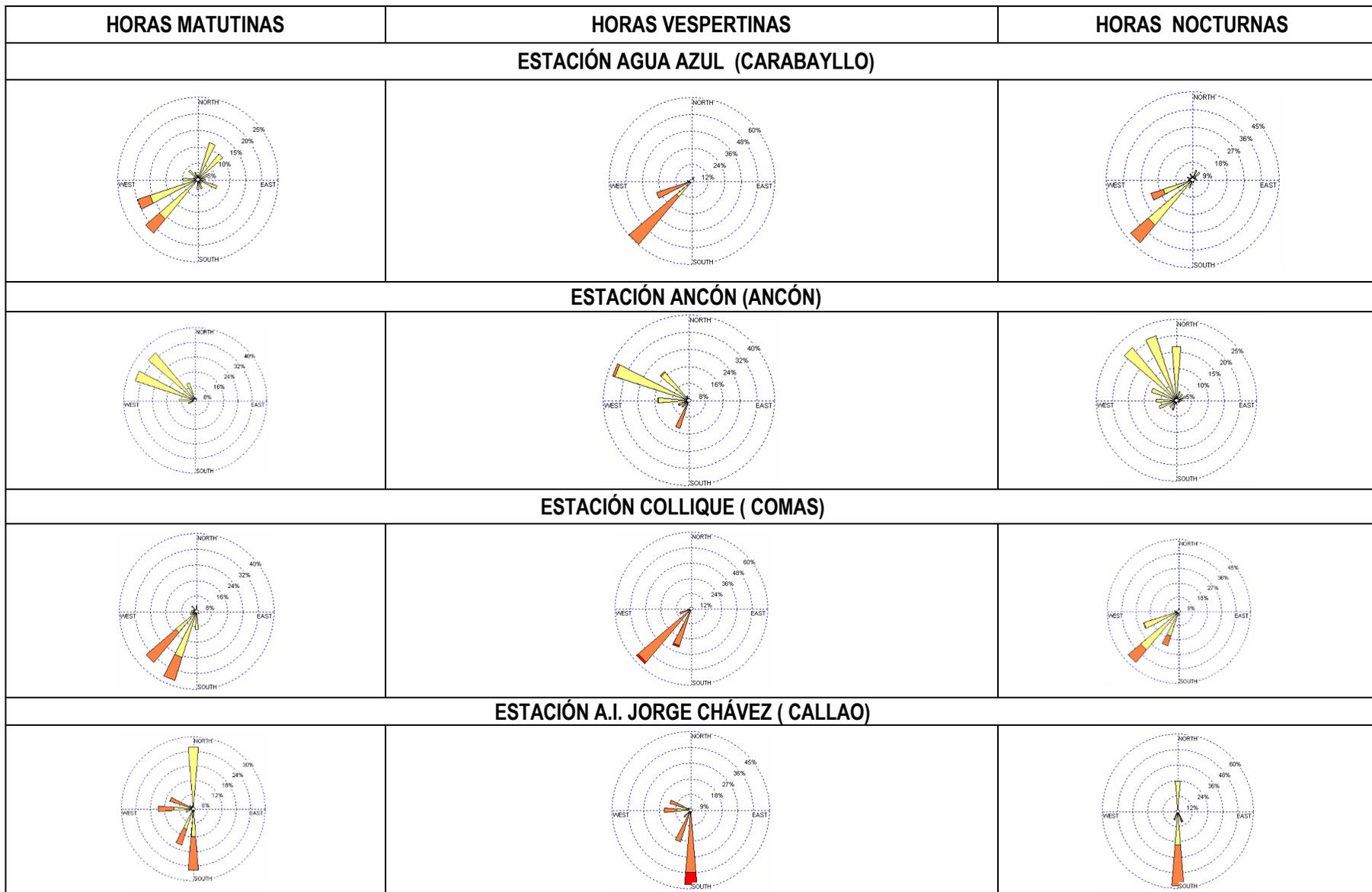


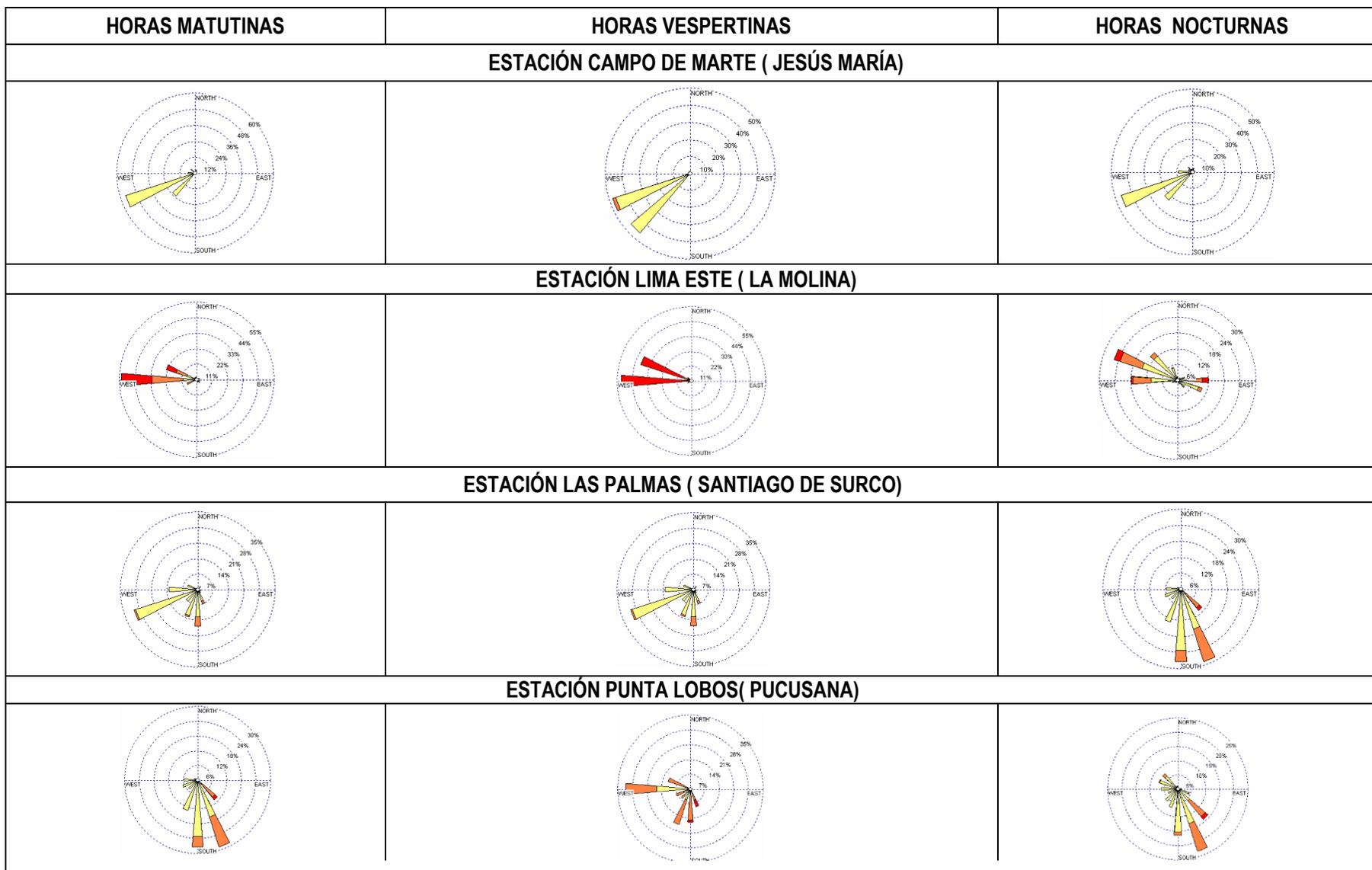
Fig. 8b



**Fig. 8c**



**Fig 9a – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Carabayllo, Ancón, Comas y El Callao - Febrero 2008**



**Fig9b – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana - Febrero 2008**

#### 4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para febrero 2008, el comportamiento de la base de la inversión térmica y las tendencias proporcionadas por modelos estadísticos, se prevé que la media de las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable se mantengan similares a las del mes de febrero.

Para una tendencia más puntual, se recoge el comportamiento referencial de 5 estaciones de la red de Lima y Callao; éstas han sido elegidas considerando su ubicación representativa y/o amplia data histórica, son: Lima Norte (Independencia) Lima Centro (Cercado I), Lima Este (Cercado II/ zona este) Lima Oeste (Callao) y Lima Sur (VMT), según se observa en el cuadro todas están por encima del nivel referencial permisible de la OMS equivalente a 5 t/km<sup>2</sup>/mes, y con su núcleo hacia el lado este de la ciudad, principalmente.

**Cuadro N° 4. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable (t/km<sup>2</sup>.mes) para el mes de marzo 2008**

ZONA	ESTIMACIÓN	INTERVALO DE CONFIANZA
LIMA NORTE	25	24.1 - 25.0
LIMA CENTRO	7.7	6.5 - 8.6
LIMA ESTE	25.8	22.4 - 29.7
LIMA OESTE	6.2	5.5 - 7.1
LIMA SUR	23.4	24.1 - 31.4

Dada la naturaleza del contaminante (partículas gruesas sujetas a fuerzas gravitatorias) generado principalmente por la industria de la construcción, mala disposición de residuos sólidos, pistas deterioradas o sin pavimento, desgaste de llantas y frenos de los vehículos, actividades comerciales y actividades de limpieza pública, la estación de Lima Centro presenta bajas concentraciones por estar exenta de estas fuentes.

#### 5. Conclusiones

- ✓ Las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron superiores en los principales núcleos respecto a los registros del mes de enero. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 35,7 t/km<sup>2</sup>.mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 28,5 t/km<sup>2</sup>.mes; el tercero en Lima sur-este con 32,2 t/km<sup>2</sup>.mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 31,1 t/km<sup>2</sup>.mes.
- ✓ El 77 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 13,4 t/km<sup>2</sup>.mes, valor similar al del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 35,7 t/km<sup>2</sup>.mes en Comas y el mínimo de 1,6 t/km<sup>2</sup>.mes en La Molina.
- ✓ Las concentraciones máximas semanales de PM10 y PM2.5 se registraron el día martes con valores de 107 y 86 ug/m<sup>3</sup>, respectivamente, y las mínimas el día jueves con valores de 67 y 47 ug/m<sup>3</sup>, respectivamente. Para el PM10 el ECA Nacional no fue superado, mientras que el ECA Nacional de Tránsito para el PM2.5 fue superado en dos de los días evaluados (29 %) con el resto de los días de la semana bastante cercanos.
- ✓ Las concentraciones de PM2.5 representan en promedio el 79 % de las concentraciones de PM10, lo que implica una alta concentración de partículas finas (respirables) consideradas como las más nocivas para los seres humanos provenientes de vehículos diesel que durante su combustión liberan grandes cantidades de partículas carbonosas y azufradas.

- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, ésta estuvo ausente en la mayoría de los días en lo que a nubosidad baja estratiforme se refiere, como consecuencia del debilitamiento de los vientos del sur y presencia en algunos días de vientos cálidos del norte. Asimismo, hubo mayor presencia de nubosidad media y alta debido a los trasvases de masas de aire calidas y húmedas desde la amazonia.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en febrero fueron de 23 ° C y 76 %. Así mismo, el día más cálido fue el 23 de febrero con una máxima media de 24,6 ° C; y el día 6 como el más frío con un valor de 21,6 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 13 con la mínima media de 69 %, y el más húmedo el 26 de febrero (83 %).
- ✓ Con respecto al análisis de las intensidades del viento superficial en los períodos analizados, en horas matutinas predominaron vientos de intensidad media débil ( $> 3$  m/s), con excepción de La Molina; en horas vespertinas la intensidad fue moderada en Carabaillo, Ancón, Comas, El Callao, Surco y Pucusana entre 3 a 4 m/s; y fuerte en La Molina donde se registro superiores a 6 m/s; mientras que hacia horas de la noche se registraron intensidades medias débiles y moderadas; en ninguno de los períodos del día se registró ocurrencia de calmas. En cuanto a las direcciones predominantes, se registraron principalmente vientos de componente sur que se mantuvieron en todas las horas del día, principalmente de dirección SSW y SW; mientras que en la estación Ancón y La Molina predominaron vientos de componente W en horas matutinas, que se mantuvieron el resto del día en la estación La Molina y en la noche en Ancón.
- ✓ Durante el mes de febrero 2008, la inversión térmica por subsidencia estuvo ausente en algunos días o fuertemente debilitada cuando estuvo presente, con su base en promedio a no más de 300 m.s.n.m, debido al debilitamiento del Anticiclón del Pacífico sur y de los vientos del sur, presencia en algunos días de vientos cálidos del norte, incremento de la TSM y la temperatura del aire alcanzó, en la tercera década del mes, sus máximos valores de la estación ( mayor a 30° C) en algunas zonas de la ciudad.