

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/MARZO-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	25
5. Conclusiones.	25

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 febrero y marzo 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 marzo del 2008.	10
Fig. 4- Variación semanal de las concentraciones de PM10 y PM2.5 en la Estación Meteorológica Campo de Marte, Jesús María - Marzo 2008	11
Fig. 5- Concentracion horaria de Oxidos de Nitrogeno en la estacion de calidad de aire Senamhi marzo 2007	12
Fig. 6- Concentracion media horaria de Oxidos de Nitrogeno en la estacion de calidad de aire Senamhi marzo 2007	12
Fig. 7- Rosas de concentracion de Dioxido de Nitrogeno – marzo 2008	13
Fig. 8- Variación semanal de las concentraciones de Dioxido de Nitrogeno – marzo 2008	14
Fig. 9- Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez marzo 2007	16
Fig. 10- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de marzo del 2008 en el Carabaylo, Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana.	17
Fig. 10a-Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en las estaciones Carabaylo, Ancon y Comas – marzo 2008.	18
Fig. 10b-Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en las estaciones	

Callao, Jesus Maria y la Molina – marzo 2008.	19
Fig. 10c-Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en las estaciones Surco y Pucusana – marzo 2008.	20
Fig. 11- Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Carabaylo, Ancón, Comas y el Callao, Marzo - 2008	21
Fig. 12- Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesus Maria, la Molina, Surco y Pucusana Marzo - 2008	22

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: febrero y marzo 2008.	8
Cuadro N ° 2. Concentraciones semanales de PM2.5 registradas en la Estación Campo de Marte Jesús María, marzo 2008	11
Cuadro N ° 3. Estadística semanal de las concentraciones de Dioxido de Nitrogeno (NO2) marzo 2008	13
Cuadro N ° 3. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable (t/km2.mes) para el mes de julio 2008	23

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

El boletín del mes de marzo 2008 muestra los resultados de la evaluación de material particulado y contaminantes gaseosos 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. En cuanto al primero, el polvo atmosférico sedimentable (PAS) registró una media inferior a la del mes anterior equivalente a 12,6 t/km²/mes, máxima de 34,2 en el distrito de Lurigancho y mínima de 1,0 en La Molina; las partículas menores a 2.5 micras (PM_{2.5}), su máxima concentración fue de 98,1 ug/m³ y la mínima de 80,3 ug/m³, y en todo el período evaluado (100%) superiores al ECA Nacional de Tránsito. En cuanto a los contaminantes gaseosos, las máximas concentraciones de NO y NO₂ fueron de 151,3 y 45,5 ppb comprendidas entre las 8 y 10 de la mañana, respectivamente. Así mismo, el ECA Nacional no fue superado, y la máxima concentración (45,5 ppb) equivalió al 43 % del mismo. De acuerdo a la vigilancia sinóptica, la evolución de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, presentó un comportamiento similar al del mes anterior donde se explica que el Anticiclón del Pacífico suroriental –APSO-con núcleo promedio de 1022 hPa, mostró un comportamiento variable, 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 noreste de la posición del mes de febrero, 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, que en este mes inició su descenso de la estación de verano, alcanzó aún valores de 30° C en localidades del este 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)¹² 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 OMS¹ 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.

¹ OMS. 1999. Guías para la Calidad del Aire. Ginebra, Suiza.

² 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.

Por lo general, las partículas finas tienen más tiempo de vida en la atmósfera (días a semanas) que las 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_{2.5}). 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_{2.5} 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 (SO₂ y NO₂) 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 PM₁₀ mientras que los combustibles fósiles son fuente de partículas más pequeñas (PM_{2,5} 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.

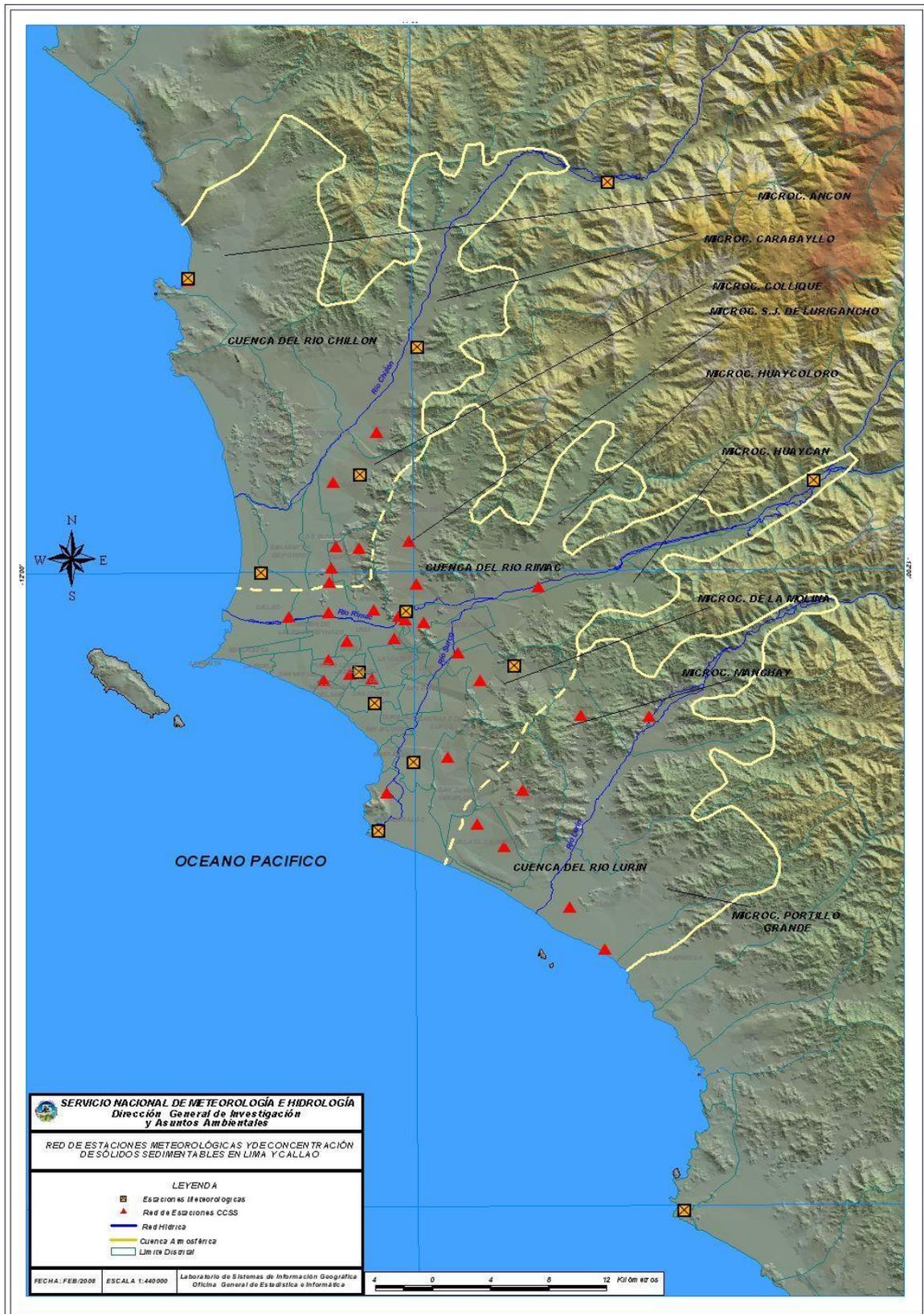


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

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 marzo 2008 se recopiló información de 43 estaciones; de éstas el 83 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km²/mes, con una media de 12,6 t/km²/mes, inferior al del mes de febrero.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación en los principales núcleos durante marzo fueron variables respecto a los registrados el mes de febrero. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Lurigancho con 34,2 t/km²/mes, y el mínimo de 1,0 t/km²/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 (SW y WSW) y de componente oeste (W y WNW) en horas matutinas; en horas vespertinas de direcciones SW y WSW y W; y en horas nocturnas del SW, WSW y SSW 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 2,5 veces superior al nivel permisible.

Cuadro N° 1: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables febrero y marzo 2008 (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	Máx t/km ² /mes	Mín t/km ² /mes
			Lima Norte	Lima Centro-este	Lima Sur-este	Lima Sur			
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)
Marzo 2008	42	83	25,4 (Comas)	29,1 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	32,5 (Pachacamac)	25,7 (V.M.T.; Lurín)	12,6	34,2 (Lurigancho)	1,0 (La Molina)

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

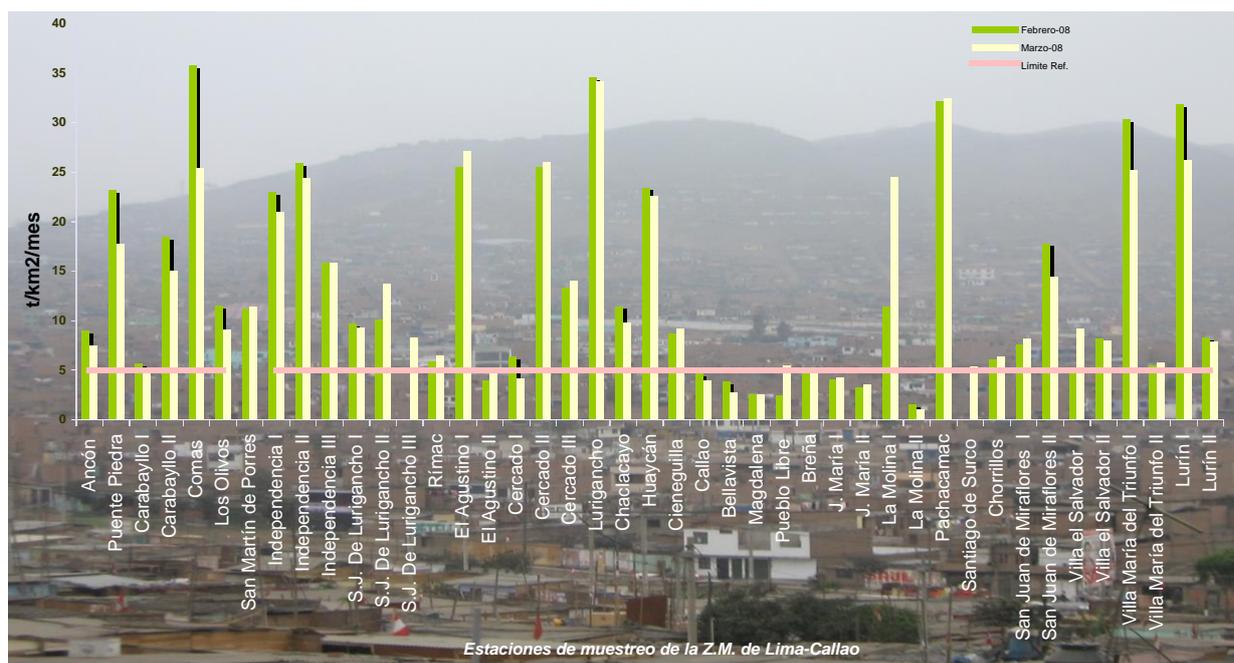


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en febrero y marzo 2008 en Lima-Callao

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 marzo, 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 25,4 t/km²/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 34,2 t/km²/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 32,5 /km²/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 25,2 y 26,2 t/km²/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/km².mes), favorecidos por la influencia de las brisas marinas y políticas de gestión municipal saludables.

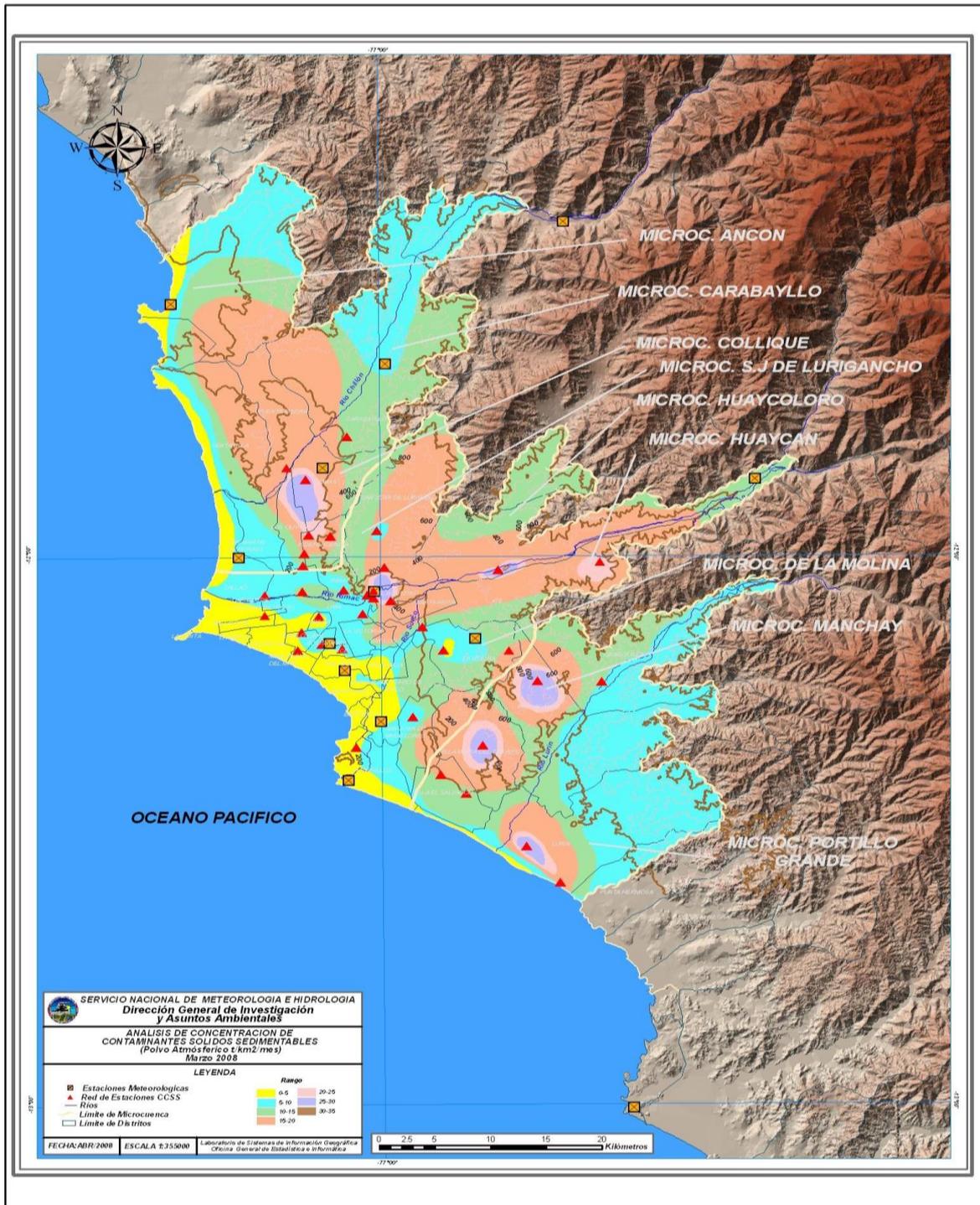


Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de marzo 2008

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 marzo por el muestreador MiniVol PM2.5 instalado en la estación meteorológica Campo de Marte del SENAMHI mostró su máxima concentración de partículas menores a 2.5micras (PM2.5) el día miércoles equivalente a 98,1 ug/m3, y mínima el día domingo de 80,3 ug/m3, evidenciándose que las concentraciones de contaminantes asociado al desplazamiento humano siempre tienden a disminuir hacia los fines de semana y a ser altas durante los primeros días de las mismas., según se observa en el cuadro N ° 2.

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

PM2,5	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Conc (ug/m3)	97,6	85,4	98,1	84,8	84	84,8	80,3

La variación diaria de las concentraciones es comparada con el Estándar de Calidad del Aire (ECA) Nacional de tránsito para el periodo de evaluación, y se observa que el 100 % de los días éste es superado. 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 (25 ug/m3), sobrepasando los valores registrados en más del 300 % en promedio.

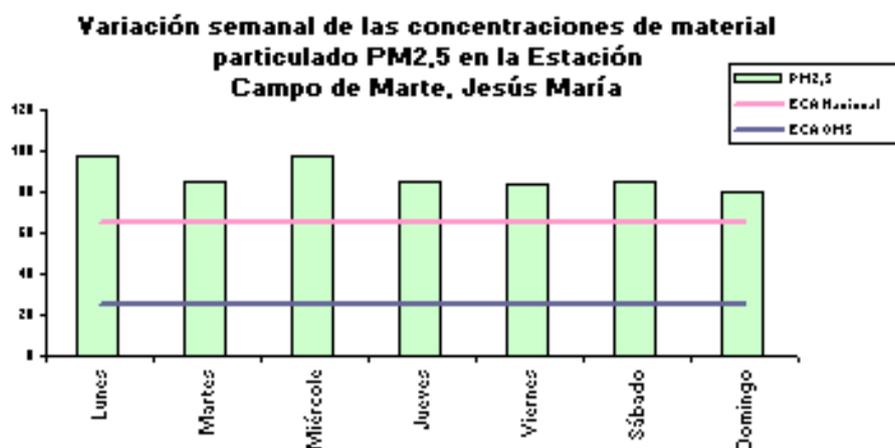


Figura 4.

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 los contaminantes gaseosos: Óxidos de Nitrógeno

El término genérico para denominar al óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO2) es el de óxidos de nitrógeno (NOx).

La información registrada por el analizador modelo API 200E en la estación de calidad de aire de la sede central del SENAMHI según la **figura 5**, muestra un registro máximo horario de NO de 151,3 ppb y de NO2 de 45,5 ppb, ocurridos el 28 a las 08:00 horas y 12 de marzo a las 10:00 horas, respectivamente; y mínimos horarios en horas

comprendidas entre las 3 y 5:00 horas de la madrugada. El valor medio del mes del gas dióxido de nitrógeno (NO₂) fue de 15,6 ppb.

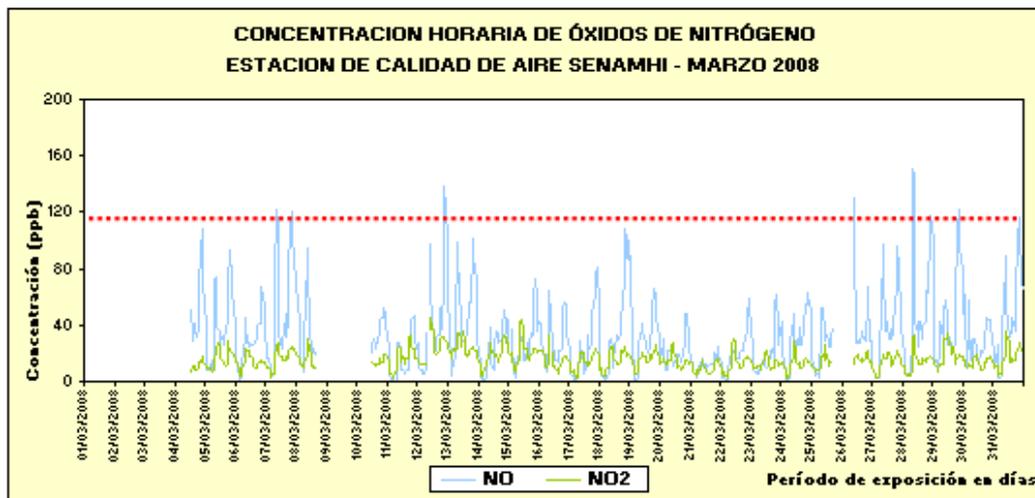


Figura 5.

El máximo valor horario registrado en el período de estudio para el NO₂ (45,5 ppb) correspondió al 43 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora, equivalente a 104,6 ppb (200 ug/m³). Ver **figura 6**. Sin embargo, no sobrepasar un valor estándar, no garantiza que la calidad del aire de los alrededores sea buena si se analiza el ámbito de estudio; es necesario realizar muchas observaciones y buscar siempre representar lo mejor posible la influencia de las fuentes de los contaminantes sobre la calidad del aire y el impacto sobre la salud de los receptores. Debido a que el mejor indicador de la significancia de las concentraciones de un contaminante en la atmósfera son los efectos sobre la salud; de esta manera, se puede tomar como referencia que sobrepasar los 15 ppb de dióxido de nitrógeno implica un 20% de riesgo adicional de enfermedad respiratoria (niños) y disminución de defensas ante infecciones pulmonares. De acuerdo a los registros horarios del mes de marzo, el 48 % de los datos horarios de NO₂ sobrepasaron los 15 ppb mencionados.

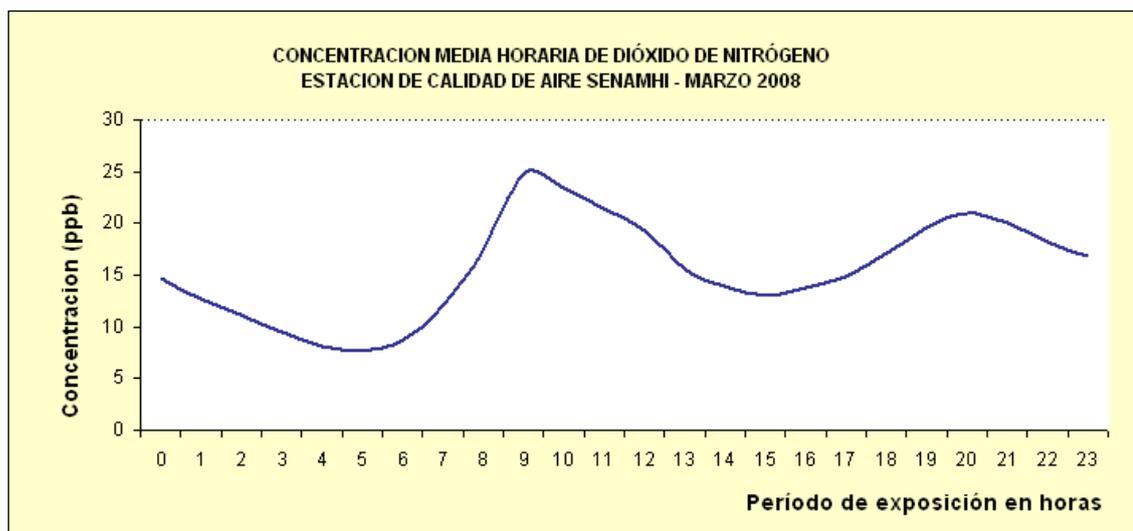


Figura 6.

En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de NO₂ presentada en la **figura 6**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 24,7 ppb (09:00 horas) y 20,9 ppb (20:00 horas), coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular. Según se explicó, el NO₂ se forma a partir de las concentraciones de NO, que está estrechamente ligado al parque automotor, a través de un proceso de interconversión química; por ello, es que existe un desfase horario entre las concentraciones del NO y del NO₂.

Las Rosas de Concentración presentadas en la **figura 7** muestran principalmente la dirección predominante del gas dióxido de nitrógeno en relación a la distribución de sus concentraciones para el mes y por períodos horarios que corresponden a los momentos del día en donde se reportan las máximas (9 horas y 22 horas) y mínimas concentraciones (15 horas). De acuerdo a ello, la dirección predominante es del WSW para marzo con una media de 15,6 ppb. En cuanto al comportamiento medio horario, hacia el mediodía se presentan las mínimas concentraciones propio del incremento paulatino de las temperaturas y por ende del viento superficial que favorece la dispersión de este contaminante; así mismo, debido a que este gas es un precursor del ozono troposférico que incrementa sus valores en horas del mediodía.

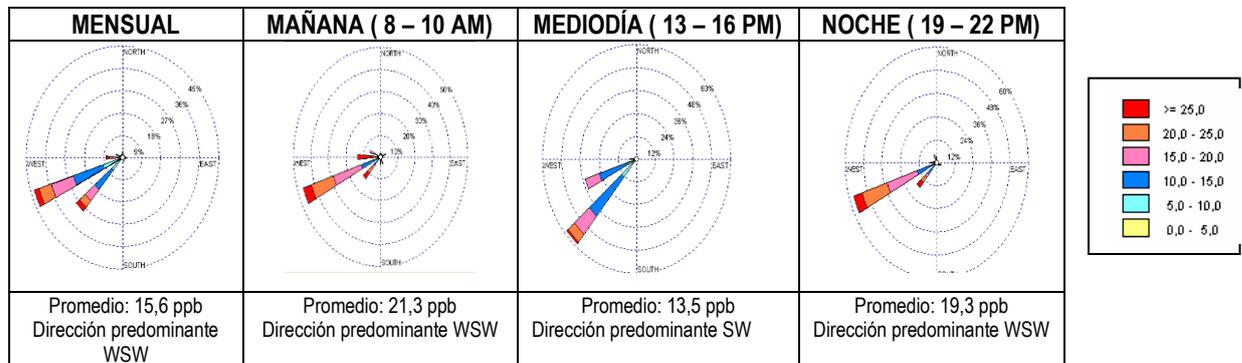


Figura 7. Rosas de Concentración de Dióxido de Nitrógeno – Marzo 2007

En el **Cuadro N° 3** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de NO₂. Las mayores concentraciones se presentaron durante los días laborables, con máximos los días lunes y miércoles (35,7 y 45,5 ppb), respectivamente. Mientras que el día domingo se registró en promedio menores concentraciones (13,9 ppb), mostrándose, de forma similar al comportamiento de otros contaminantes, su asociación al desplazamiento humano según se señaló líneas arriba.

Cuadro N° 3. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) – Marzo 2008

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	35,7	31/03	10:00	2,5	17; 24/03	5:00	14,6
Martes	33,5	11/03	18:00	2,5	11/03	5:00	14,9
Miércoles	45,5	12/03	10:00	4,2	5/03	5:00	17,7
Jueves	35,3	13/03	12:00	3,1	27/03	4:00	16,1
Viernes	32,6	28/03	9:00	3	7/03	4:00	14,6
Sábado	34,6	29/03	12:00	3,1	22/03	5:00	16
Domingo	33,6	09/03	08:00	6,1	16/03	16:00	13,9

Asimismo, en la **figura 8** se presenta el comportamiento medio de cada uno de los días de la semana del mes de marzo del dióxido de nitrógeno.

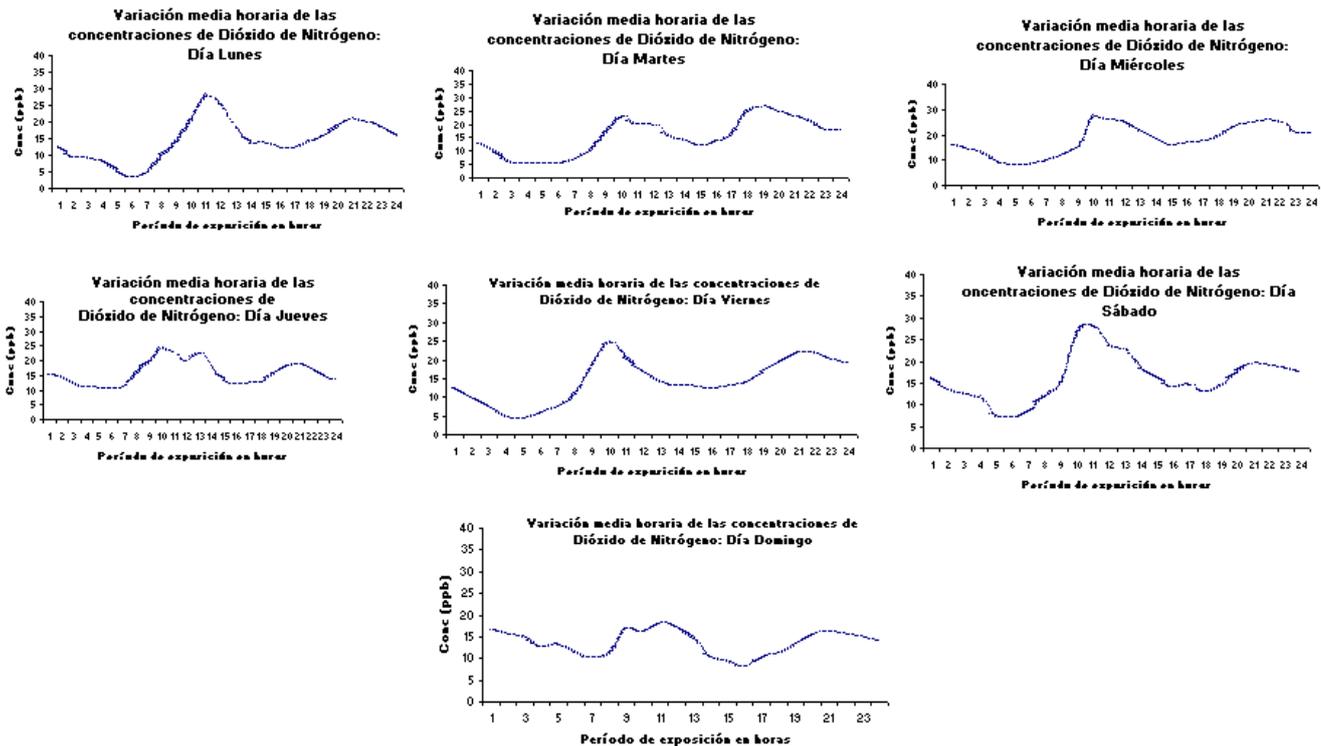


Figura 8. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno – Marzo 2007

3.1.4 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de marzo 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 9, el mes de marzo 2008, se caracterizó porque la nubosidad estratiforme baja que normalmente está presente entre 300 a 600 m.s.n.m. y mayormente en la franja de distritos costeros, 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, 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, Temperatura Superficial del Mar – TSM- aún alrededor de sus valores máximos, 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 mayormente sobre la franja de distritos costeros, presencia 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 16 de marzo como el más cálido con una máxima media de 24,5 ° C y el día 2 como el más frío con un valor medio de 21,0 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 29 con la mínima media de 74 %, y el más húmedo el 12 de marzo (84 %). **Ver figura 10.**

- 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 20,3 ° C en Pucusana el día 22 de marzo a 30,6° C en Carabayllo el día 23, y la mínima fluctuó entre 17, 9° C en Pucusana el día 2 de marzo a 23,0 ° C en el Callao el día 16; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 23 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 71 % en La Molina el 23 de marzo a 100 % en Pucusana los días 3,28 y 30; y la mínima osciló entre 38 % en La Molina los días 3 y 6 de marzo y la máxima de 92 % en Pucusana el día 28 (ver **figuras 11a, b y c**); la humedad relativa media fue de 79 %. Durante el mes de marzo las condiciones en promedio manifestaron un ligero deceso que se hizo más evidente durante la tercera década con sensación de frío en horas de la madrugada.

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de marzo es presentada en la **figura 12 a y b** 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.

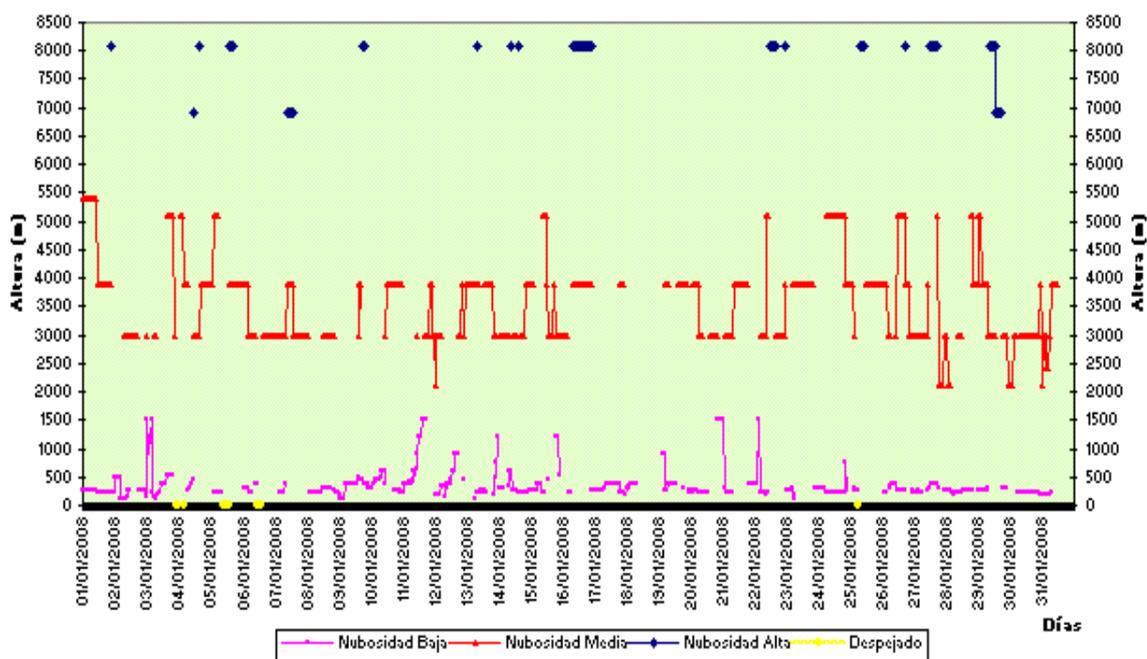
- Durante el período matutino (7:00 a 11:00 horas), predominaron vientos de intensidad media débil (< 3 m/s) en la mayoría de las estaciones analizadas, con excepción de La Molina (Lima Este) que reportó velocidades medias de 4,5 m/s. No se registró ocurrencia significativa de calmas.
- Durante el período vespertino (12:00 a 18:00 horas) se registraron vientos de intensidades débiles en Ancón (2,3 m/s) y Jesús María (1,8 m/s); intensidades moderadas en Carabayllo (4,2 m/s), Comas (4,1 m/s), El Callao (3,6 m/s), Surco (3,2 m/s) y Pucusana (3,4 m/s); e intensidades fuertes en La Molina (> 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 todas las estaciones evaluadas con intensidades medias comprendidas entre 0,4 a 2,3 m/s. 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 (Carabayllo) reportó direcciones del WSW (32 %), NNE (10 %), y SW (27 %); manteniéndose ésta última en horas vespertinas con una frecuencia de 65 % y del WSW (35 %), y que continuaron en horas nocturnas con frecuencias de 27 y 20 %, respectivamente. La estación Ancón (Ancón) reportó direcciones del NW (21 %), WNW (30 %) y W (20 %); en horas vespertinas de dirección variable provenientes del WNW (27 %), W (25 %), WSW (21 %) y SW (15 %); hacia horas de la noche continuaron vientos de dirección variables de direcciones SSW (12 %), SW (10 %), W (11 %), WNW (12 %), NW (11 %) y del NNW (12 %). En la estación Collique (Comas) hacia horas de la mañana predominaron direcciones del SW (42 %) y SSW (21 %), manteniéndose en horas vespertinas con frecuencias de 43 y 14 %, respectivamente; y hacia la noche predominaron vientos de dirección SW (40 %), WSW (28 %) y del SSW (14 %). La estación A.I. Jorge Chávez (Callao) reportó direcciones del S y N (23 %), SSW (10 %) y W (18 %); manteniéndose en horas vespertinas con vientos de componente S (41 %), SSW (26 %) y W (17 %); hacia horas de la noche predominaron vientos del N (21 %) y de componente sur con frecuencias de 59 % (S) y 7 % (SSW). En la estación Campo de Marte, se presentaron direcciones del WSW (43 %), SW (21 %) y W (11 %) en horas matutinas, manteniéndose en horas vespertinas con frecuencias de 39 y 54 %; en horas de la noche, se presentaron vientos de dirección WSW (44 %) y SW (18 %). En la estación Lima Este, en horas de la mañana predominaron vientos del W (43 %) y WNW (34 %), que se mantuvieron hacia horas vespertinas con frecuencias del 39 y 57 %, respectivamente; en horas de la noche, se mantuvieron las direcciones de componente W con frecuencias de 25 % (W) y 26 % (WNW), respectivamente, y del E (12 %). En la estación Las

Palmas, predominaron vientos de componente W, con frecuencias de 18 % (W) y 28 % (WSW) y de componente Sur con frecuencias de 13 % (S) y 13 % (SSE), en horas matutinas; en horas vespertinas se mantuvieron vientos de dirección WSW, S, SSE y SW con frecuencias de 34, 31, 15 y 11 %; y en horas de la noche vientos de componente sur con frecuencias de 61% (SSE) y 19 % (S). En la estación Punta Lobos (Pucusana), se reportaron vientos de dirección WNW (24 %), NW (22 %) y W (18 %); en horas vespertinas se reportaron vientos del W (31 %), SSW (20%), S (17 %) y WNW (11 %); mientras que en horas nocturnas se registraron vientos del SSE (33 %), S (17%) y SE (12 %).

d. Del perfil de la troposfera

De acuerdo a la vigilancia sinóptica, durante el mes de marzo 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, 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 y la Temperatura Superficial del Mar – TSM- alrededor aún de sus valores máximos. 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 sobre la franja de distritos costeros, presencia de nubosidad media y alta, como consecuencia de los trasvases de masas de aire húmedas desde la amazonía.

Figura 9. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez marzo2008



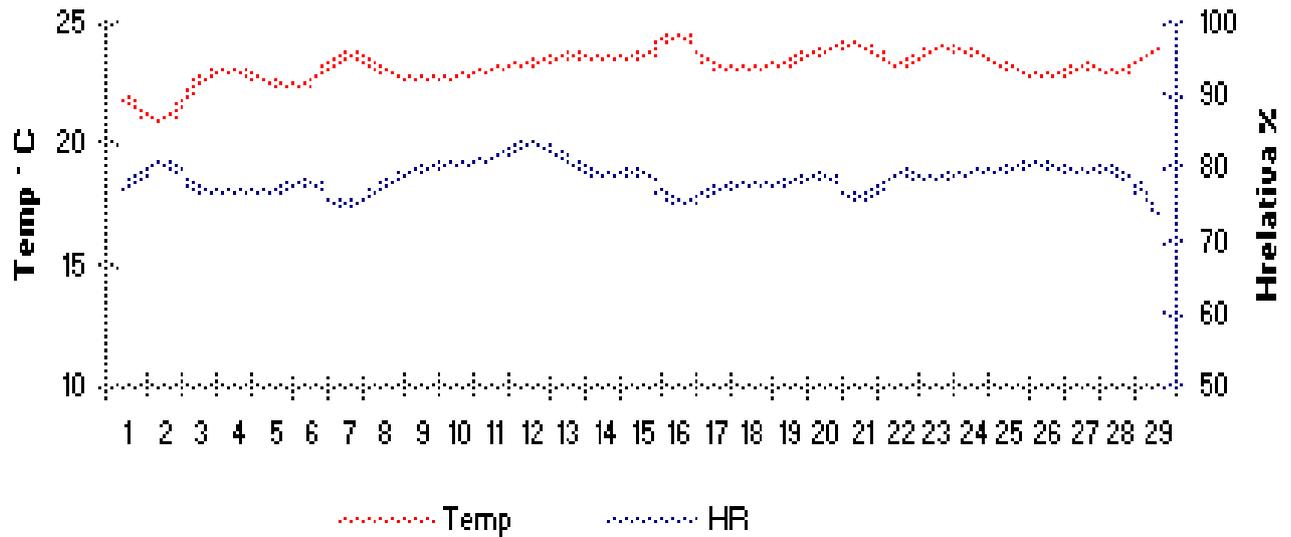


Figura 10.- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de marzo del 2008 en Carabaylo, Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana

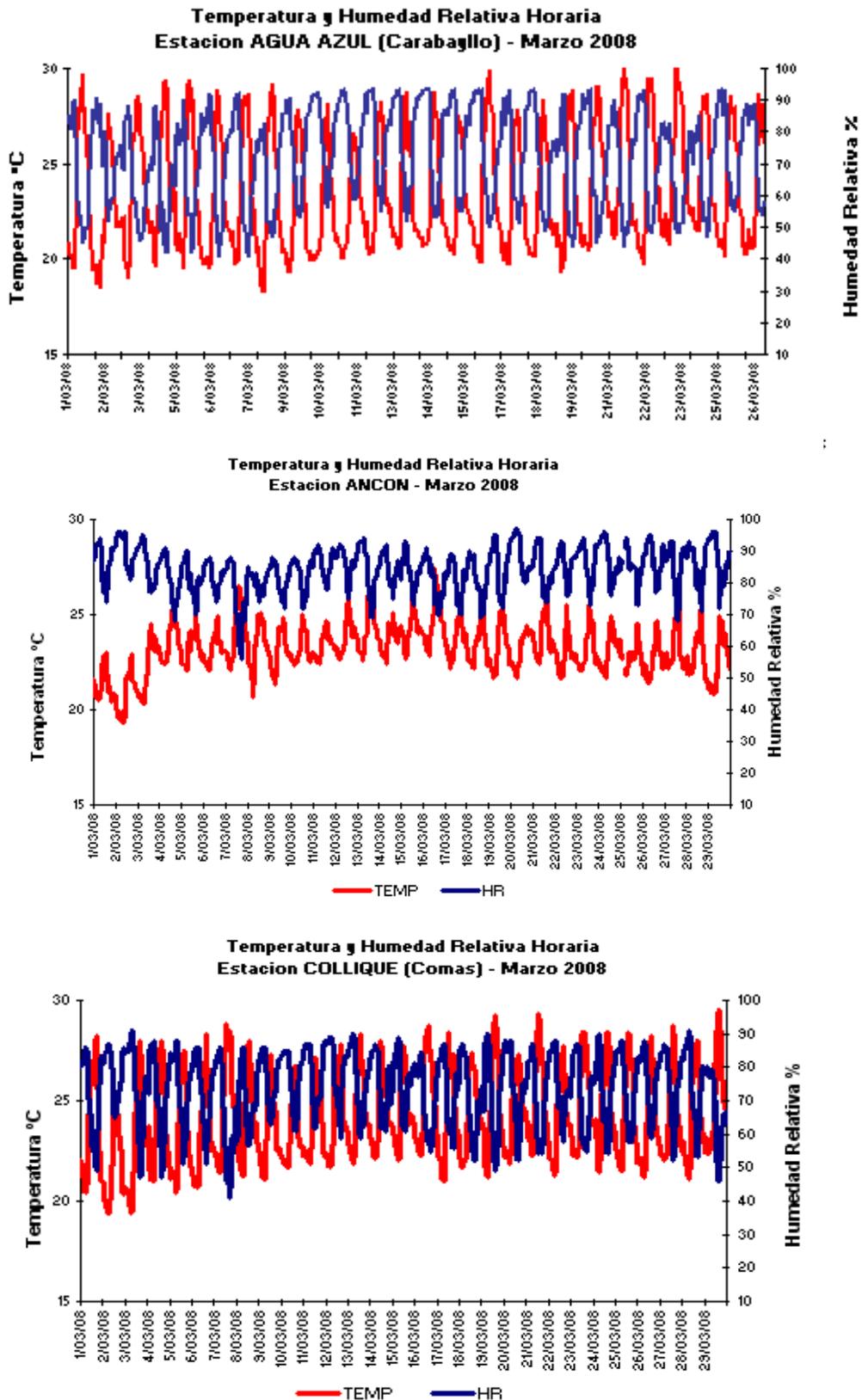


Fig. 10a

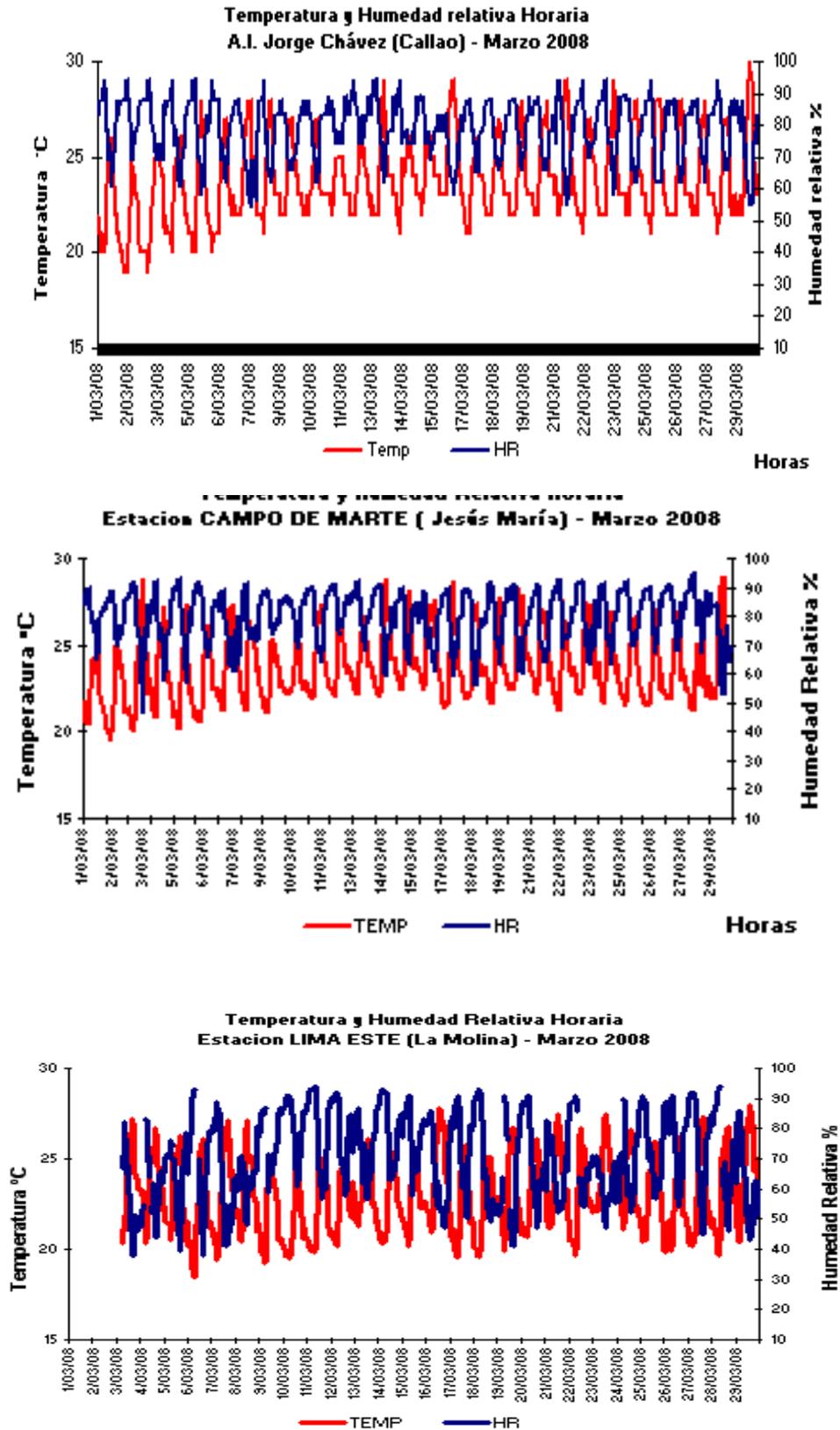


Fig. 10b

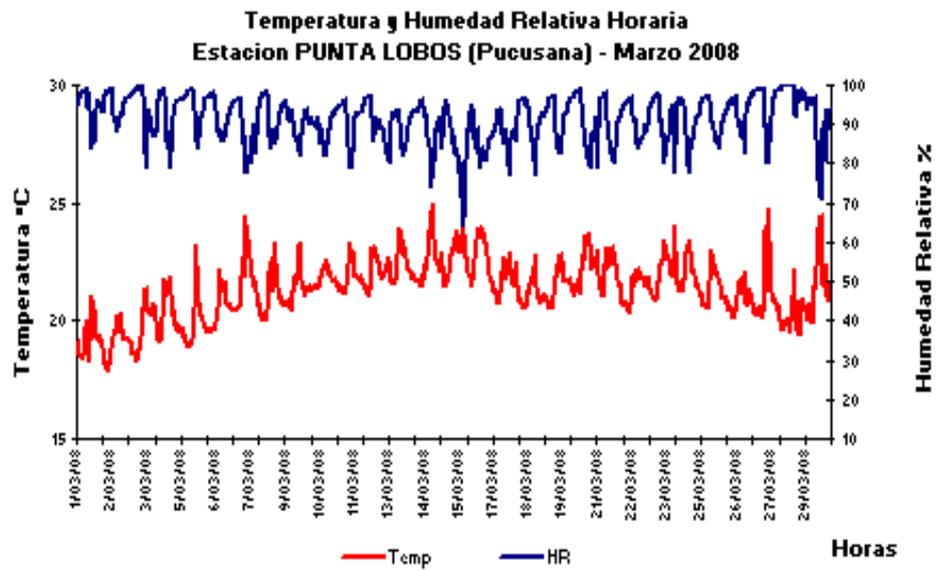
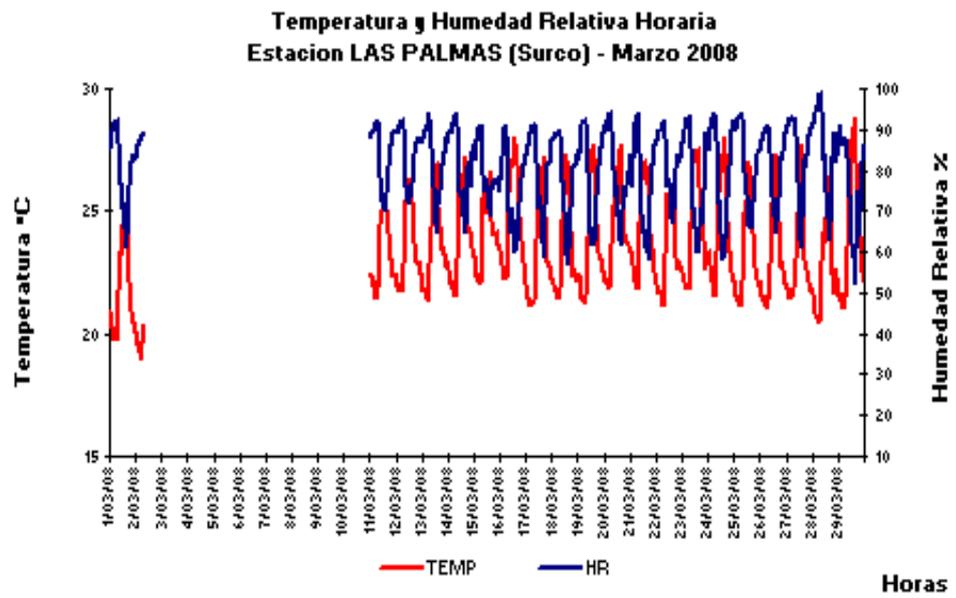


Fig. 10c

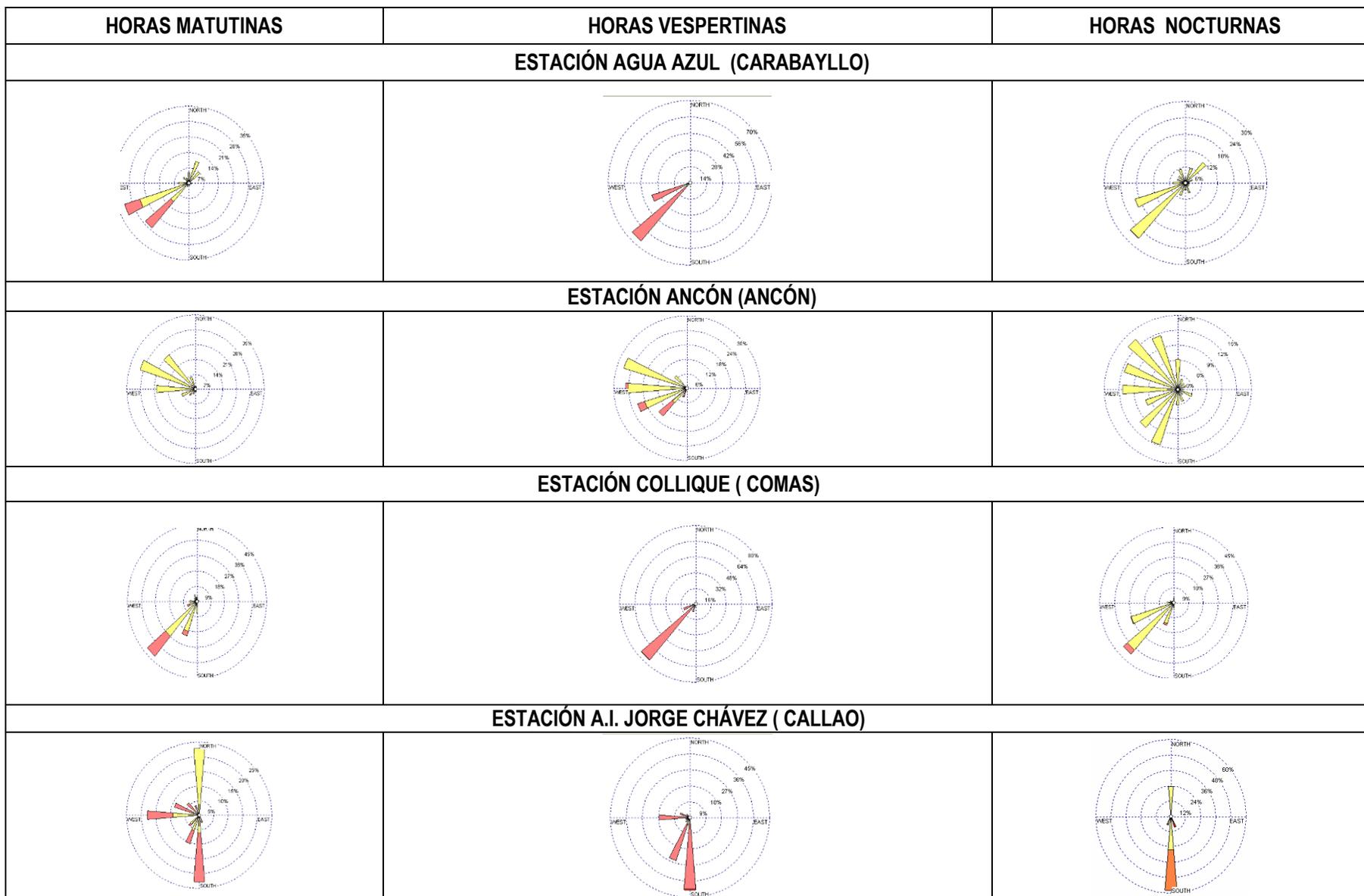


Fig 11a – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Carabayllo, Ancón, Comas y El Callao - Marzo 2008

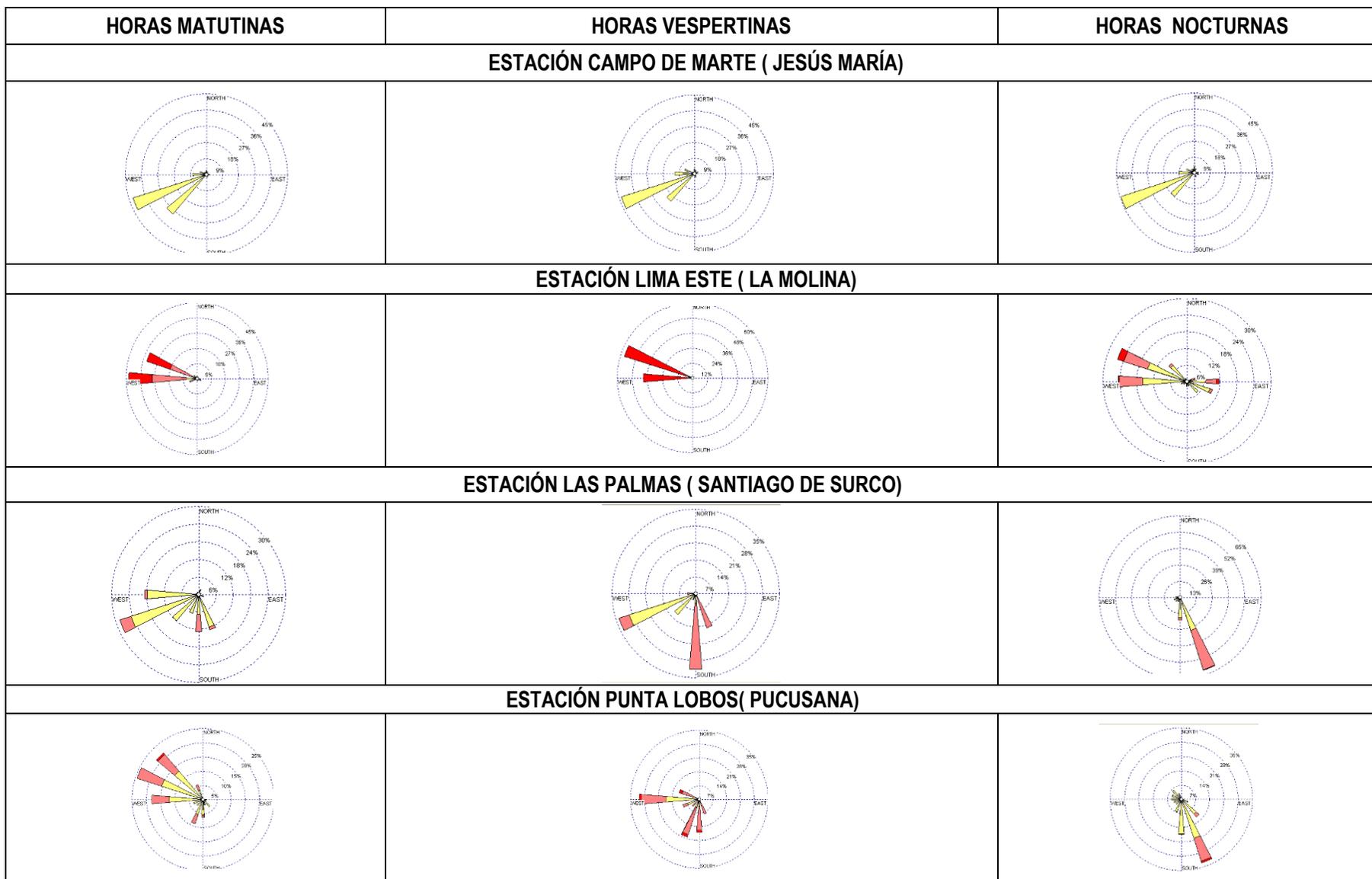


Fig11b – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesús María, La Molina, Surco y Pucusana - Marzo 2008

4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para abril 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 marzo.

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/km²/mes, y con su núcleo hacia el lado este de la ciudad, principalmente.

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

ZONA	ESTIMACIÓN	INTERVALO DE
		CONFIANZA
LIMA NORTE	24.5	23.3 - 24.9
LIMA CENTRO	7	6.4 - 8.1
LIMA ESTE	24.6	20.5 - 26.3
LIMA OESTE	6	5.0 - 6.9
LIMA SUR	23.4	23.8 - 26.9

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

- ✓ El material particulado para el mes de marzo presentó el siguiente comportamiento:

Los niveles de contaminación en los principales núcleos durante marzo fueron variables respecto a los registrados el mes de febrero. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 25,4 t/km².mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 34,2 t/km².mes; el tercero en Lima sur-este con 32,5 t/km².mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 25,7 t/km².mes.

El 83 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 12,6 t/km².mes, valor inferior al del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 34,2 t/km².mes en Lurigancho y el mínimo de 1,0 t/km².mes en La Molina.

Las concentración máxima semanal de PM_{2.5} se registró el día miércoles equivalente a 98,1 ug/m³, respectivamente, y la mínima el día domingo de 80,3 ug/m³, respectivamente. El ECA Nacional de Tránsito para el PM_{2.5} fue superado en el 100% de los días evaluados.

- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, se observó lo siguiente:

Las máximas concentraciones de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂) fueron de 151,3 ppb el día 28 de marzo a las 8:00 horas y de 45,5ppb el día 12 a las 10:00 horas. Las mínimas concentraciones se registraron en horas de la madrugada comprendidas entre las 3: 00 y 5:00 horas.

La concentración media de NO₂ para el mes de marzo fue de 15,6 ppb y la máxima (45,5 ppb) equivalió al 43 % del ECA Nacional horario para este contaminante. Asimismo, rosas de concentración del NO₂ presentan una dirección predominante del WSW con una concentración media alrededor del medio día de 13,5ppb.

Las máximas concentraciones se presentaron los días lunes y miércoles con valores de 35,7 ppb y 45,5 ppb; el día domingo la media fue de 13,9, inferior al resto de la semana, comportamiento asociado al desplazamiento humano.

- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria baja estratiforme, ésta estuvo ausente en la mayoría de los días en los distritos del este y presentes en horas de la mañana y al atardecer en la franja de distritos costeros, como consecuencia del debilitamiento de los vientos del sur y presencia en algunos días de vientos cálidos del norte. Asimismo, continuó la presencia de nubosidad media y alta debido a los trasvases de masas de aire cálidas y húmedas desde la amazonia.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en marzo fueron de 23 ° C y 76 %. Así mismo, el día más cálido fue el 23 de marzo 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 marzo (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 de intensidad fuerte (> 6 m/s); en horas vespertinas la intensidad fue tanto débil (Ancón y Jesús María) como moderada en Carabaylo, 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 en todas las estaciones evaluadas; 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 SW, WSW y SSW.
- ✓ Durante el mes de marzo 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 aún alrededor de sus valores máximos de 30° C, en algunos distritos del este.