I. EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO / ENERO - 2008

El boletín del mes de enero 2008 muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico sedimentable (PAS), en relación a las condiciones meteorológicas registradas en la red automática de la Zona Metropolitana de Lima-Callao compuesta por las estaciones de Carabayllo, Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina, Surco y Punta Hemosa. Así, el 89 % 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^2/mes. 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 suroriental presentó una clara tendencia al debilitamiento con anomalías negativas de 3 a 7 hPa, que caracteríza a la estación de verano del hemisferio sur; comportamiento que influyó en una relativa disminución de los vientos y por lo tanto se aprecia una ligera disminución del afloramiento marino que casi siempre es activo. Las características descritas y el incremento estacional de la temperatura del aire debido al balance radiativo positivo, devienen en un incremento de la temperatura superficial del mar, debilitamiento estacional y relajamiento en algunos días del fenómeno de la inversión térmica, con la consecuente ausencia en algunos días de la cubierta de nubosidad estratiforme baja y mayor presencia de nubosidad convectiva media y alta que caracterizan a la estación de verano en las partes altas de las vertientes occidentales de los Andes del Trópico Peruano. Por lo tanto, las condiciones descritas y sus interacciones, propician 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, 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 aterdecer, 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)1[2] 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[1] 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 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.

[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.

La inhalación de partículas irritantes puede interferir principalmente el funcionamiento pulmonar, agravando la bronquitis crónica, la enfermedad constrictiva 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 (PM2.5). 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 PM2.5 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 PM 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 PM 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 grafíticos 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_2 y NO_2) 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 (PM2,5 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, constituye una preocupación de las instituciones dedicadas

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 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”.

2.3 De la Información Meteorológica

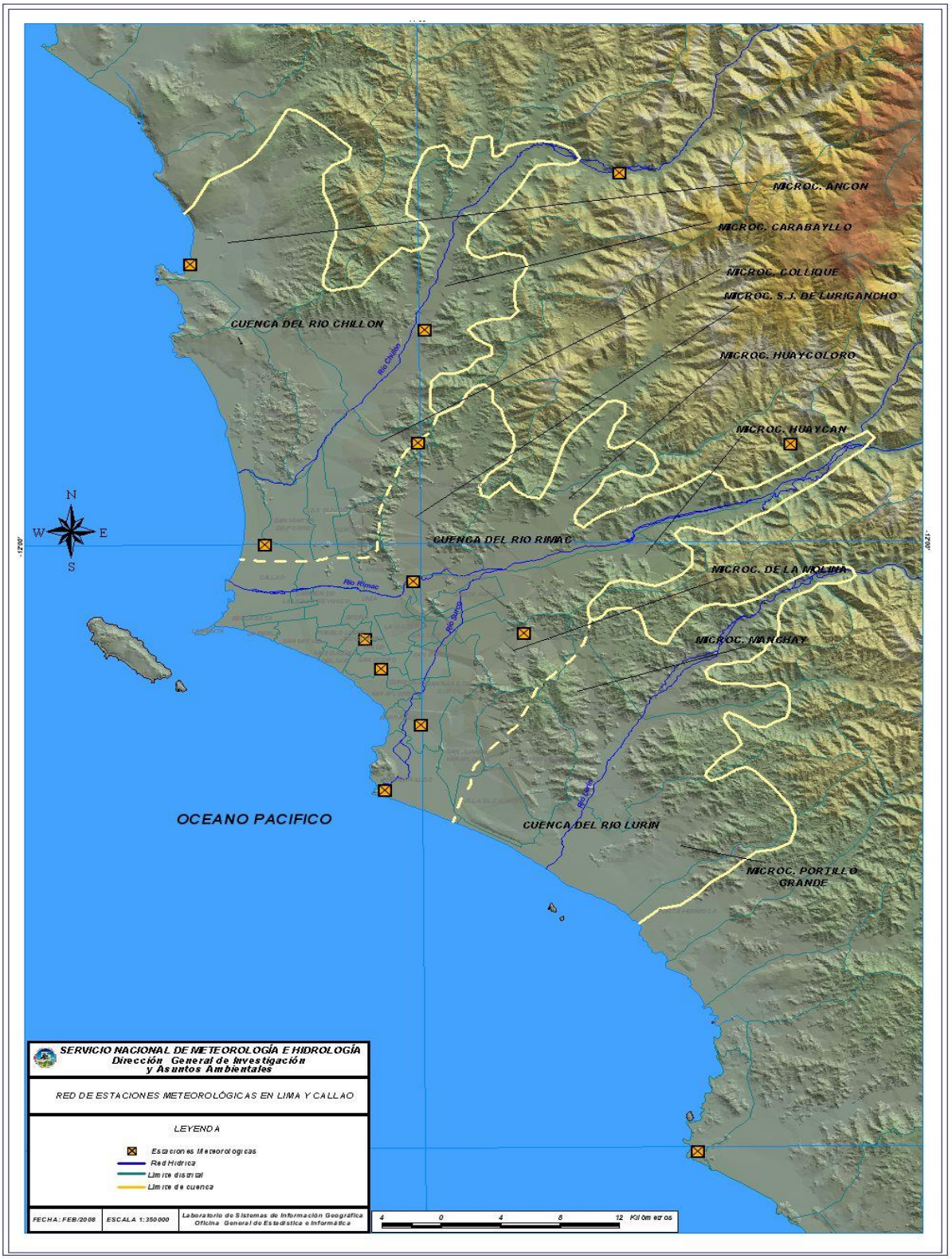
Para la evaluación de las condiciones meteorológicas de la Zona Metropolitana de Lima-Callao en el presente informe se ha utilizado la información proveniente de los siguientes lugares de observación: automática Agua Azul (Carabayllo), Ancón (Ancón), Collique (Comas), automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), automática Campo de Marte (Jesús María), automática Lima Este (La Molina), automática Las Palmas (Surco) y automática Punta Lobos (Punta Hermosa), 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 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 de 38 estaciones de muestreo es presentada en la **figura 1**.

Durante enero 2008 se recopiló información de las 38 estaciones; de éstas el 89 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km^2/mes, con una media de 13,4 t/km^2/mes, superior a la del mes de octubre que fue de 12,6 t/km^2/mes.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación en los principales núcleos durante enero fueron superiores a los registrados el mes de diciembre. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Independencia con 35,7 t/km^2/mes, y el mínimo de 2,9 t/km^2/mes en Jesús María. 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 SSE) y de componente oeste (WNW) en horas matutinas; en horas vespertinas en el cuadrante SW (SSW y SW); y en horas nocturnas del SSE, 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 superiores a los registrados en diciembre siendo 2,7 veces superior del nivel permisible.

Cuadro Nº 1: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables diciembre 2007 y enero 2008 (t/km^2.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*			
Diciembre 2007	37	84	25,9 (Independ.)	26,7 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	23,8 (Pachacamac)	26,0 (V.M.T.; Lurín)	12,6	30,8 (El Agustino)	2,5 (Chorrillos)
Enero 2008	38	89	35,7 (Independ.)	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)

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

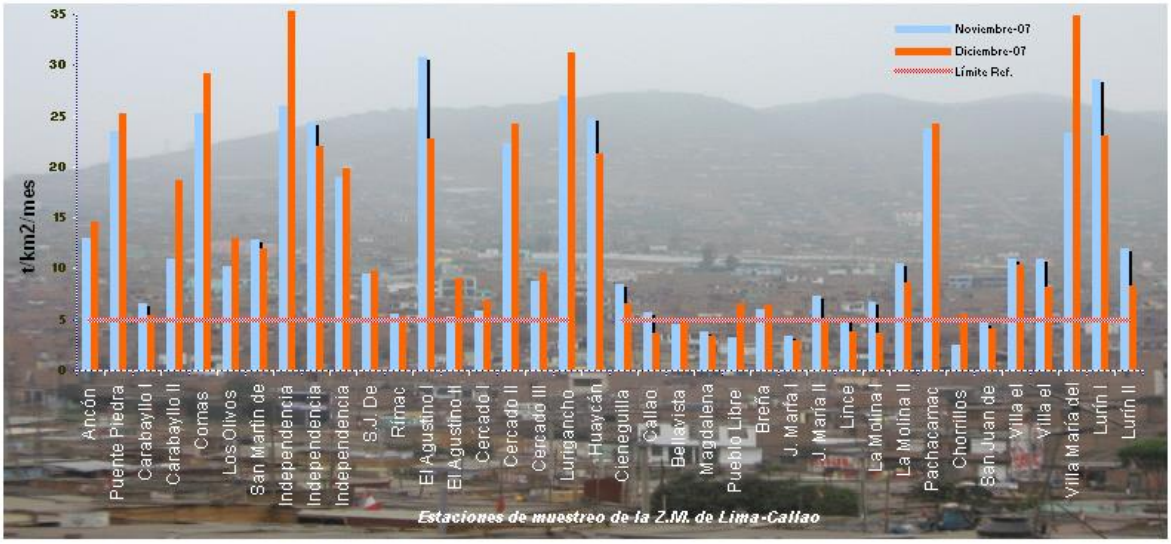
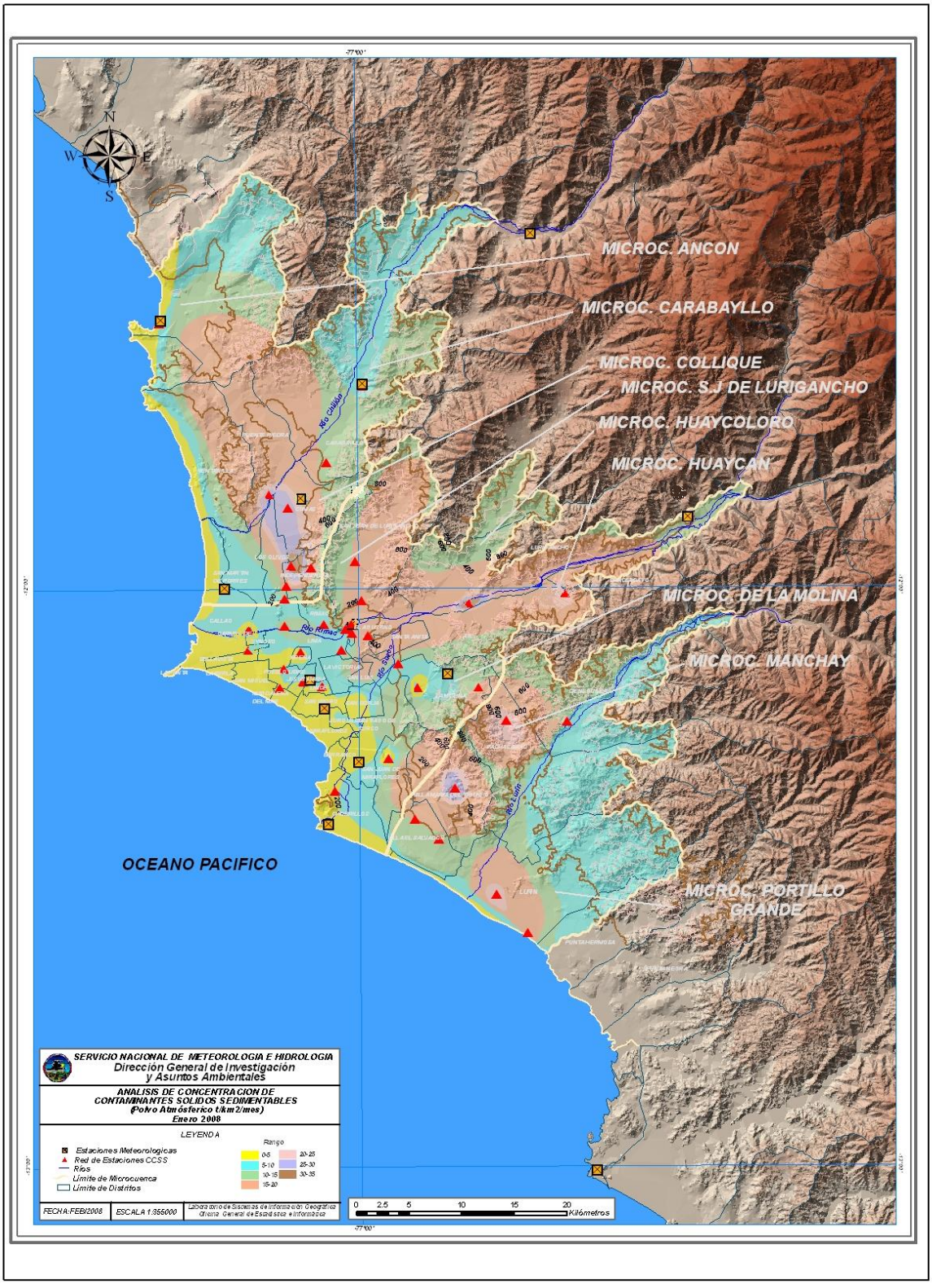


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en diciembre 2007 y enero 2008 en Lima-Callao

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 enero, 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, Carabayllo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Independencia tiene un valor de 35,7 t/km^2/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 31,2t/km^2/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 24,1t/km^2/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 34,9 y 23,0 t/km^2/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 enero 2008



3.2. De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de enero 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, 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.

a. De la Nubosidad

De acuerdo a lo presentado en la **figura 4**, el mes de enero 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 el Anticiclón del Pacífico suroriental presentó una clara tendencia al debilitamiento con anomalías negativas de 3 a 7 hPa; comportamiento que influyó en una relativa disminución de los vientos del sur, paralelos a la costa peruana, lo que ocasiona una disminución del afloramiento marino que casi siempre es activo. Las características descritas y el incremento estacional de la temperatura del aire debido al balance radiativo positivo, devienen en un incremento de la temperatura superficial del mar, debilitamiento estacional y relajamiento en algunos días del fenómeno de la inversión térmica, que limitan o inhiben la formación en algunos días de la nubosidad estratiforme por debajo de la base de la inversió térmica, al tiempo que hay mayor presencia de nubosidad convectiva media y alta que caracterizan a la estación de verano en las partes altas de las vertientes occidentales de los Andes del Trópico Peruano.

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 25 de enero como el más cálido con una máxima media de 24,0 ° C y el día 5 como el más frío con un valor medio de 20,0 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 31 con la mínima media de 74 %, y el más húmedo el 11 de enero (87 %). Ver **figura 5**.

- 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 21,7 ° C en Ancón a 29,8° C en Comas y la mínima fluctuó entre 16,4 ° C en Ancón a 22,7 ° C en Comas y Jesús María; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 22,0 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 78 % en Jesús María a 100 % en Surco; y la mínima osciló entre 46 % en La Molina a 91 % en Ancón (ver **figuras 6a, b** y **c**); la humedad relativa media fue de 82 %. Durante el mes de enero se presentaron en promedio condiciones térmicas más estables propias de una estación de verano, con mayor alternancia de días con cielo nublado parcial con presencia de brillo solar hacia el mediodía que se extendieron hacia horas de la tarde.

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de enero es presentada en la **figura 7** 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 4,2 m/s. No se registró ocurrencia significativa de calmas.

- Durante el período vespertino (12:00 a 18:00 horas) se registraron vientos de intensidad media débil sólo en Jesús María (2,2 m/s); mientras que intensidades moderadas se registraron en Carabayllo (3,9 m/s), Ancón (3,1 m/s), Comas (4,6 m/s), El Callao (3,2 m/s), Surco (4 m/s) y Punta Hermosa (4,3 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 Carabayllo, Ancón, Comas, Jesús María y Punta Hermosa con intensidades medias comprendidas entre 0,6 a 2,8 m/s); mientras que en El Callao, La Molina y Surco, se registraron velocidades medias moderadas de 4, 3 y 3,1 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 (Carabayllo) reportó direcciones del SW y WSW (36 y 33 %) que se mantuvieron en horas vespertinas (72 y 26 %) y nocturnas (38 y 26 %), respectivamente. La estación Ancón (Ancón) reportó direcciones del WNW (25 %), NW (19 %), NNW (15 %) y W (12 %); que variaron en horas vespertinas siendo de dirección SSW (37 %) y SW (23 %); hacia horas de la noche se presentaron vientos del N (15 %), SSW (14 %), NNW (13 %), NW (12 %), y WNW (11 %). En la estación Collique (Comas) hacia horas de la mañana predominaron direcciones del SW (46 %) y SSW (24 %), manteniendo la misma componente en horas vespertinas con vientos del SW (65 %) y SSW (24 %); y comportándose de forma similar hacia la noche con frecuencias de 40 y 19 %, además de vientos del WSW (25 %). La estación A.I. Jorge Chávez (Callao) presentó direcciones del S (52 %), SSE (27 %) y N (18 %); variando en horas vespertinas con vientos de componente S (52 %) y SSW (15 %); hacia horas de la noche, vientos de componente sur, con frecuencias de 57 % (S) y 24 % (SSE). En la estación Campo de Marte, se presentaron direcciones del SW (31 %) y WSW (30 %) en horas matutinas, manteniéndose en horas vespertinas con frecuencias de 55 y 36 %; en horas de la noche, se presentaron vientos de dirección WSW (32 %) y W (14 %), respectivamente. En la estación Lima Este, en horas de la mañana predominaron vientos del W (44 %) y WNW (30 %), que se mantuvieron hacia horas vespertinas con frecuencias del 47 (WNW) y 34 % (W); en horas de la noche, se mantuvieron las direcciones de componente W con frecuencias del 24 % (WNW) y 21 % (W) y del E (24 %). En la estación Las Palmas, predominaron vientos del S (25 %), SSE (17 %), SW (13 %), SW y SSW (12 %), principalmente en horas matutinas; en horas vespertinas se mantuvieron vientos de dirección S, SSE y WSW con frecuencias de 32, 21 y 18 %; y en horas de la noche vientos de componente sur con frecuencias de 37 % (SSE), 34 % (SE) y S (14 %). En la estación Punta Lobos (Punta Hermosa), se reportaron vientos de dirección SSE y W (17 %), NW (14 %) y WNW (13 %); en horas vespertinas se reportaron vientos del SSE (21 %), E (19 %), SSW (18 %) y del S (17 %); mientras que en horas nocturnas se registraron vientos del SE (42 %) y del SSE (27 %).

d. Del perfil de la troposfera

De acuerdo a la vigilancia sinóptica, durante el mes de enero 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 presentó una clara tendencia al debilitamiento con anomalías negativas de 3 a 7 hPa, lo que influyó en una relativa disminución de los vientos y por lo tanto, disminución del afloramiento marino que casi siempre es activo. Las características descritas y el incremento estacional de la temperatura del aire y de la temperatura superficial del mar debido al balance radiativo positivo, deviene en un debilitamiento estacional y relajamiento en algunos días del fenómeno de la inversión térmica, con la consecuente ausencia en algunos días de la cubierta de nubosidad estratiforme baja que se forma por debajo de la base de la inversión, cada vez que ésta está presente alrededor de los 600 m.s.n.m.

Figura 4. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez

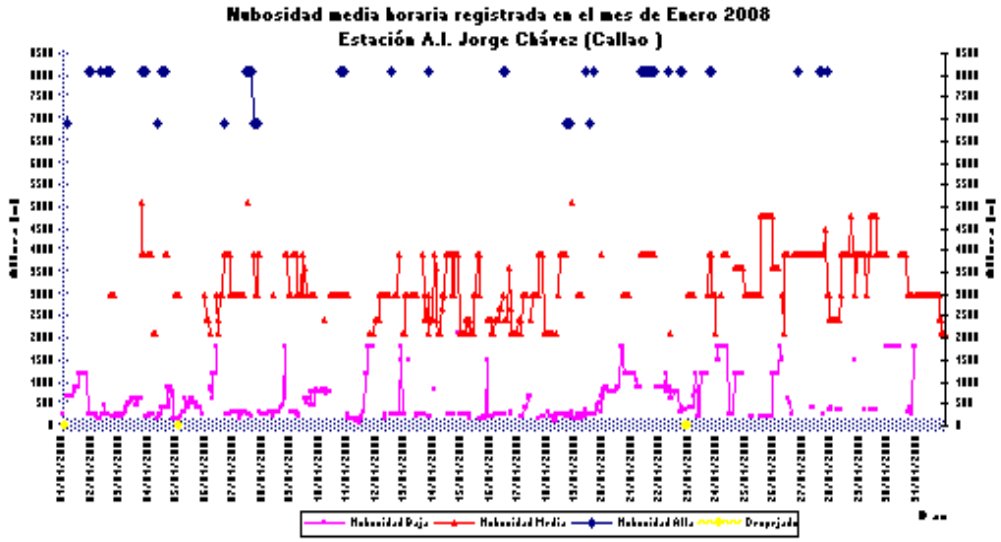
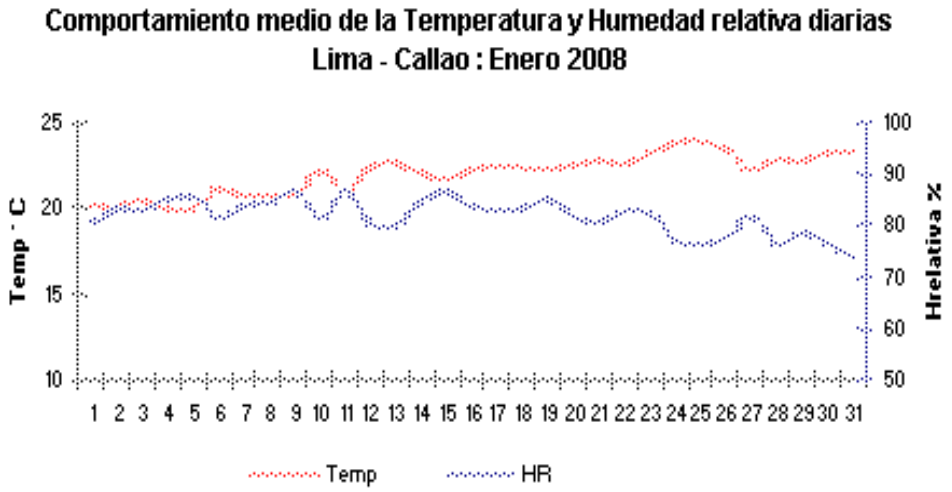
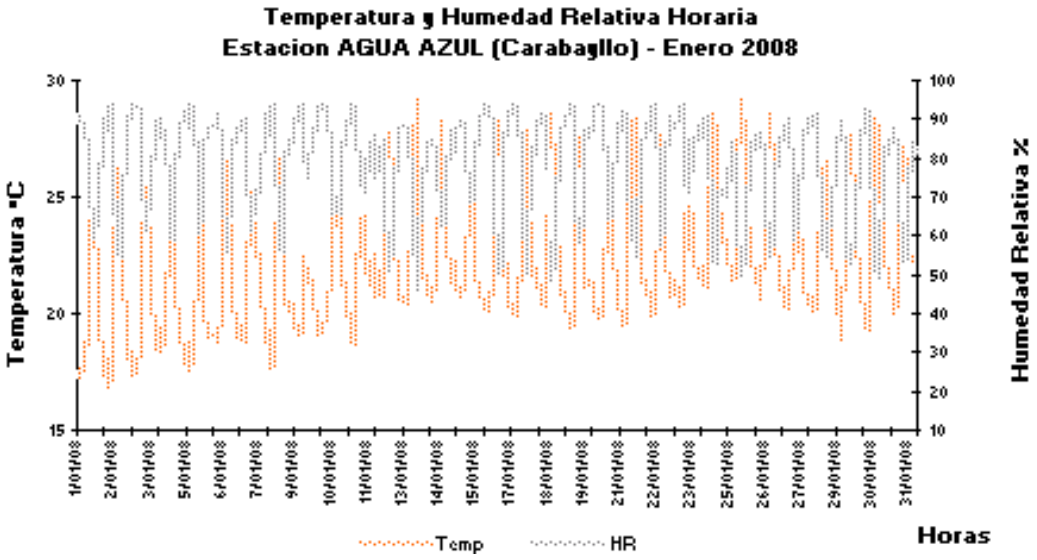
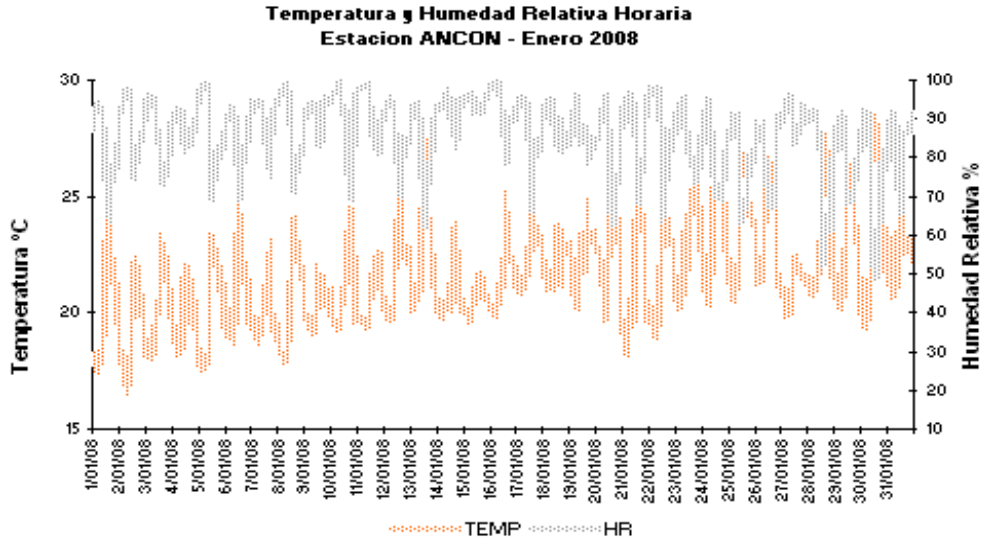


Figura 5.- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de enero del 2008 en Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina y Surco




Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion AGUA AZUL (Carabayllo) - Enero 2008
Temperatura °C
Humedad Relativa %
Horas
Temp
HR


Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion ANCON - Enero 2008
Temperatura °C
Humedad Relativa %
TEMP
HR

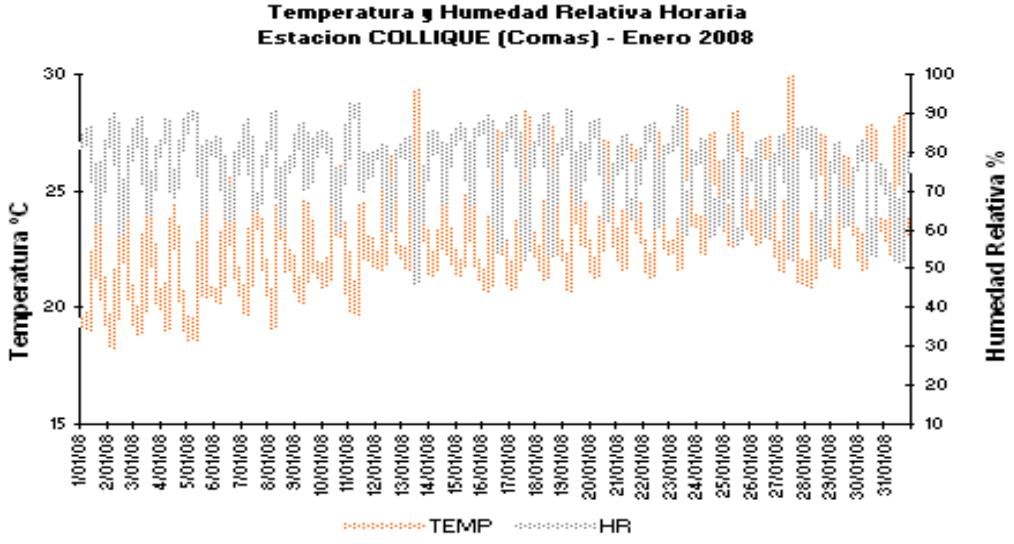
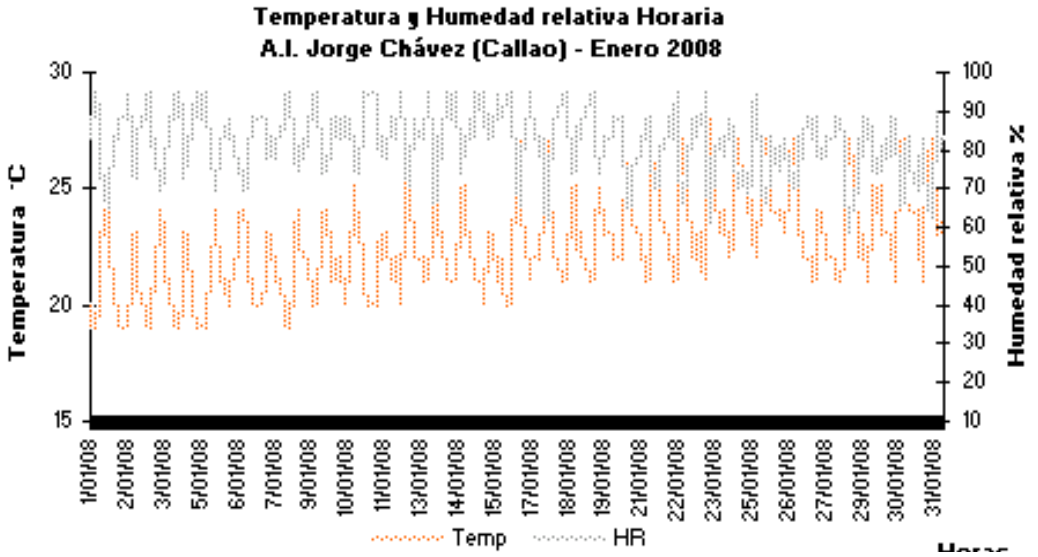
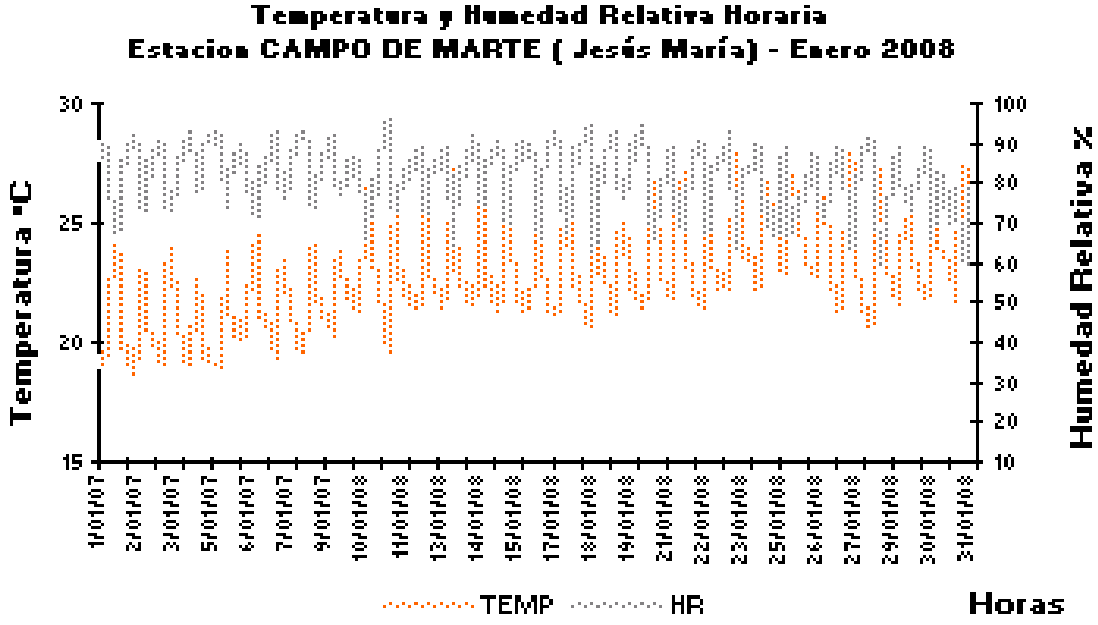
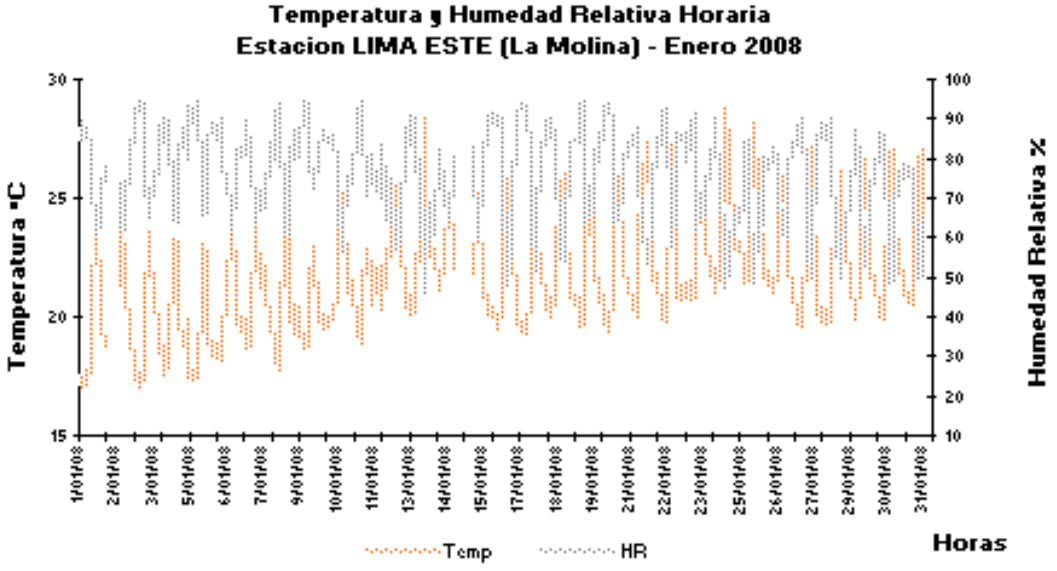
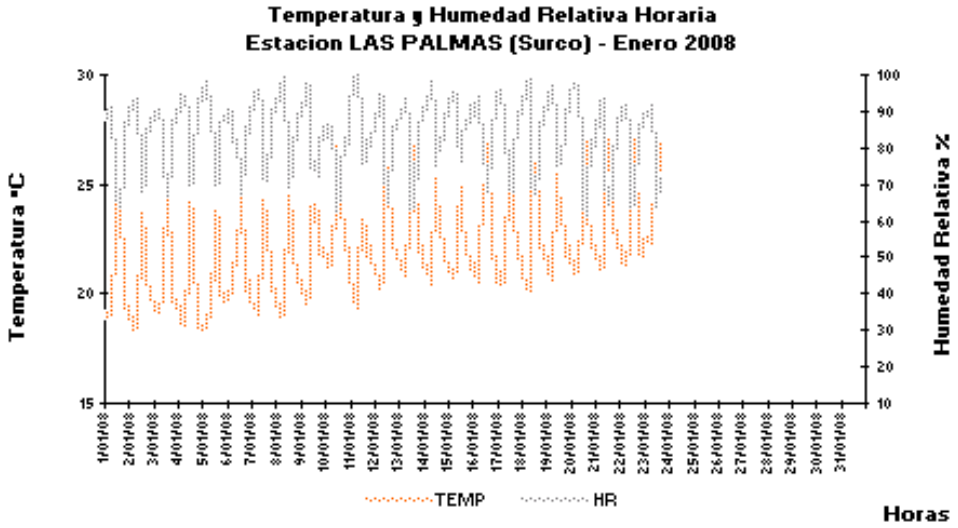

Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion COLLIQUE (Comas) - Enero 2008
Temperatura °C
Humedad Relativa %
TEMP
HR

Fig. 6a


Temperatura y Humedad relativa Horaria
A.I. Jorge Chávez (Callao) - Enero 2008
Temperatura °C
Humedad relativa %
Temp
HR


Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion CAMPO DE MARTE (Jesús María) - Enero 2008
Temperatura °C
Humedad Relativa %
TEMP
HR
Horas


Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion LIMA ESTE (La Molina) - Enero 2008
Temperatura °C
Humedad Relativa %
Temp
HR
Horas


Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion LAS PALMAS (Surco) - Enero 2008
Temperatura °C
Humedad Relativa %
Horas
TEMP
HR

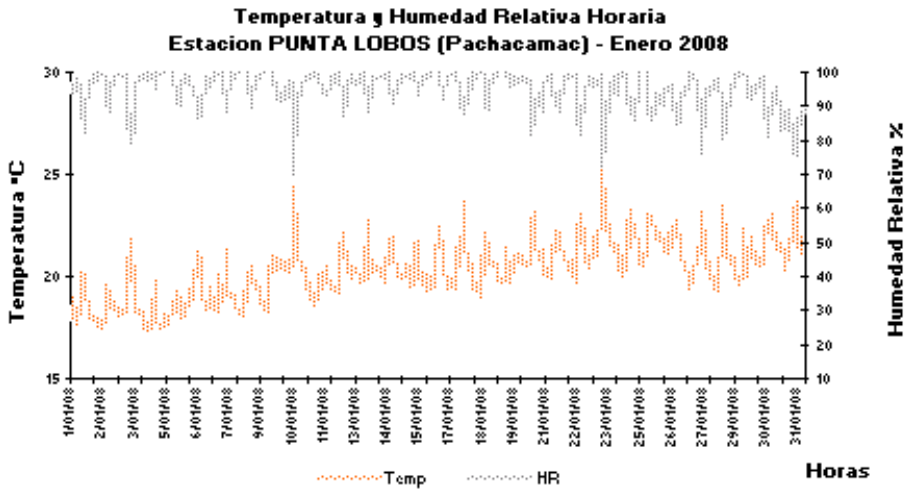

Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion PUNTA LOBOS (Pachacamac) - Enero 2008
Temperatura °C
Humedad Relativa %
Horas
Temp
HR

Fig. 6c

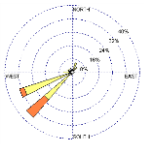
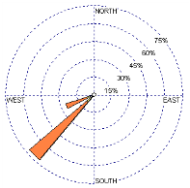
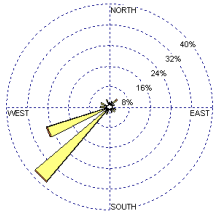
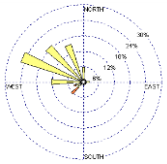
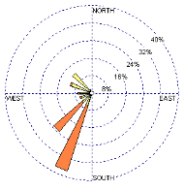
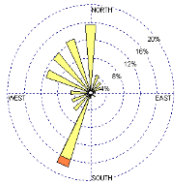
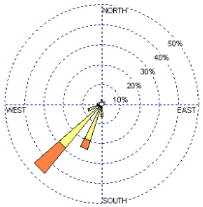
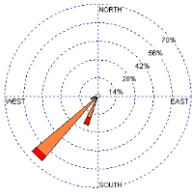
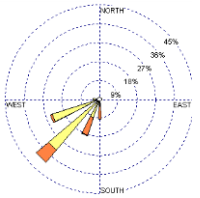
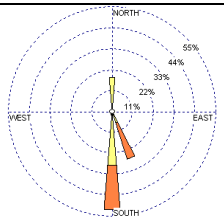
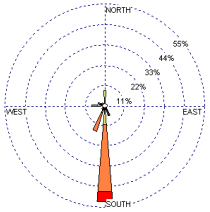
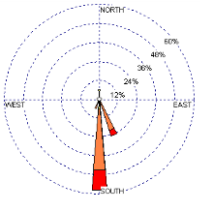
HORAS MATUTINAS	HORAS VESPERTINAS	HORAS NOCTURNAS
ESTACIÓN AGUA AZUL (CARABAYLLO)		
		
ESTACIÓN ANCÓN (ANCÓN)		
		
ESTACIÓN COLLIQUE (COMAS)		
		
ESTACIÓN A.I. JORGE CHÁVEZ (CALLAO)		
		

Fig 7a – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Carabayllo, Ancón, Comas y El Callao - Enero 2008

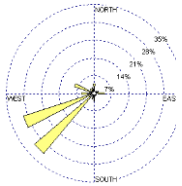
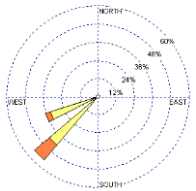
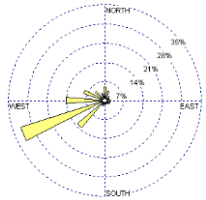
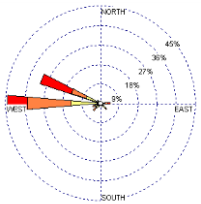
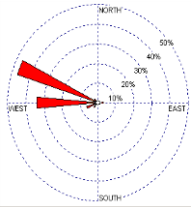
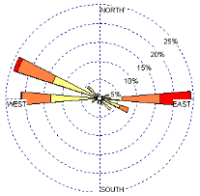
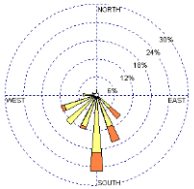
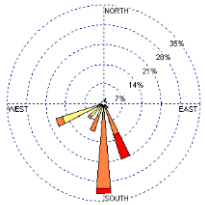
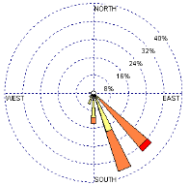
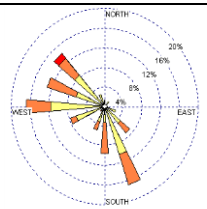
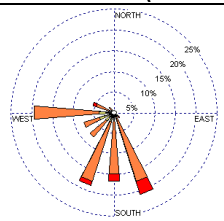
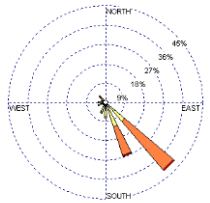
HORAS MATUTINAS	HORAS VESPERTINAS	HORAS NOCTURNAS
ESTACIÓN CAMPO DE MARTE (JESÚS MARÍA)		
		
ESTACIÓN LIMA ESTE (LA MOLINA)		
		
ESTACIÓN LAS PALMAS (SANTIAGO DE SURCO)		
		
ESTACIÓN PUNTA LOBOS(PUNTA HERMOSA)		
		

Fig7b – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesús María, La Molina, Surco y Punta Hermosa - Enero 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 incremente para el próximo mes (20 %).

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^2/mes, y con su núcleo hacia el lado este de la ciudad, principalmente.

Cuadro N° 2. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable (t/km2.mes) para el mes de febrero 2008

ZONA	ESTIMACIÓN	INTERVALO DE CONFIANZA
LIMA NORTE	26.6	20.1 - 31.0
LIMA CENTRO	7.7	7.2 - 10.8
LIMA ESTE	26.7	25.4 - 29.4
LIMA OESTE	5.4	4.8 - 5.6
LIMA SUR	26.3	25.9 - 30.5

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

- ✓ Para el mes de enero, las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron superiores en los principales núcleos respecto a los registros del mes anterior. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 35,7 t/km2.mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 31,2 t/km^2.mes; el tercero en Lima sur-este con 24,1 t/km^2.mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 29,0 t/km^2.mes.

- ✓ El 89 % 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^2.mes, valor superior al del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 35,7 t/km^2.mes en Independencia y el mínimo de 2,9 t/km^2.mes en Jesús María.

- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, ésta muestra una tendencia decreciente en su densidad debido a que los sistemas atmosféricos muestran debilitamiento del Anticiclón del Pacífico suroriental con anomalías negativas de 3 a 7 hPa, disminución un de los vientos y de la tasa de afloramiento marítimo; características que al interaccionar con el incremento de la temperatura del aire y temperatura superficial del mar, crean la condiciones para un debilitamiento y relajamiento de la inversión térmica, limitando la formación de la nubosidad estratiforme por debajo de su base.

- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en enero fueron de 22,0 ° C y 82 %. Así mismo, el día más cálido fue el 25 de enero con una máxima media de 24,0 ° C; y el día 5 como el más frío con un valor de 20,0 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 31 con la mínima media de 74 %, y el más húmedo el 11 de enero (87 %).

- ✓ 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 media de los vientos fue débil sólo en Jesús María, y moderadas en Carabaillo, Ancón, Comas, El Callao, Surco y Punta Hermosa entre 3 a 4 m/s; y fuertes (La Molina) 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 estación La Molina y en la noche en Ancón.

- ✓ Durante el mes de enero, la inversión térmica por subsidencia con su base alrededor de los 600 m.s.n.m mostró en promedio condiciones de debilitamiento y relajamiento en algunos días, debido tanto al debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Suroriental, de los vientos y por lo tanto del afloramiento marino, como, al incremento de la temperatura del aire y de ta temperatura superficial del mar.