

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/DICIEMBRE-2007

Por: *Ing. José Silva Cotrina*
Ing. Zarela Montoya Cabrera
SO1 FAP Rigoberto Duránd Montes

INDICE GENERAL**RESUMEN**

1.	Calidad del aire en la Zona Metropolitana de Lima-Callao.	3
2.	Metodología.	5
3.	Resultados del monitoreo ambiental.	9
4.	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.	8
Fig. 2-	Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable registrados en noviembre y diciembre 2007 en Lima-Callao.	10
Fig. 3-	Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico Sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de diciembre del 2007.	11
Fig. 4-	Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez - diciembre2007	15
Fig. 5-	Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2007 en Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina y Surco	15
Fig.6a-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Ancon y Comas en el mes de Diciembre 2007	16
Fig.6b-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en El Callao y Jesús Maria en el mes de Diciembre 2007	17
Fig.6c-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en La Molina y Surco en el mes de Diciembre 2007	18
Fig.7a-	Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Ancón, Comas y El Callao - Diciembre 2007	19
Fig.7b-	Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesús María, La Molina y Surco - Diciembre 2007.	20

INDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: noviembre y diciembre.	8
Cuadro N ° 2. Perspectivas de polvo atmosférico sedimentable para el mes de Enero 2008 (t/km2.mes)	21

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO / DICIEMBRE - 2007

RESUMEN

El boletín del mes de diciembre 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. Así, el 84 % de las estaciones de muestreo superaron el valor referencial permisible de la OMS, con una concentración media de PAS para Lima-Callao de 12,6 t/km²/mes, superior al mes de noviembre que fue de 11,9 t/km²/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 anomalías positivas en la primera década que si bien se amenguaron en las décadas siguientes, fueron suficientes para mantener la presencia de vientos fuertes y un afloramiento marino siempre activo. Asimismo, en los escasos días donde se registraron ligeros debilitamientos del Anticiclón del Pacífico suroriental, el ingreso de masas de aire relativamente cálidas del norte dieron lugar a días con nubes dispersas a despejado. Por otro lado, el Centro de Baja Presión del Chaco y la Baja Térmica Amazónica mostraron debilitamiento (-1.5 hPa), la Alta de Bolivia con una mejor configuración, propició convección y generación de lluvias en la selva y sierra del sur y centro del país, y en forma esporádica en la selva y sierra norte; así también, la Zona de Convergencia Intertropical, si bien en ambos océanos Pacífico y Atlántico se mantuvo en su posición climática normal para el mes y con ligera a moderada intensidad, en continente se desplazó hasta el norte y centro de la selva peruana y brasilera, ocasionando fuertes precipitaciones. El resultado de las interacciones de tales sistemas meteorológicos y la persistencia de La Niña (fase fría del fenómeno ENSO), es el comportamiento aún variable de los vientos a lo largo de la costa peruana y por lo tanto del afloramiento marino e inversión térmica del aire en la Troposfera Baja. En consecuencia, en la costa central de Perú se tiene un verano fresco con frecuentes días de cielos nublados a cubiertos; sin embargo, debido a la mayor presencia de brillo solar en la costa peruana, se aprecia un relativo debilitamiento de la nubosidad estratiforme baja y mayor presencia de nubosidad media y alta (Fig. 4), signo de los trasvases de masas húmedas de aire desde la Amazonía que generan lluvias en las partes altas de las vertientes occidentales de los Andes. Por lo tanto, las condiciones descritas de debilitamiento de la nubosidad baja, incremento de la insolación y temperatura del aire, están dando paso al incremento de los fenómenos de turbulencia térmica y mecánica, desde la franja central norte-sur hacia el este en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, donde se observan los incrementos en las concentraciones de polvo atmosférico sedimentable; mientras que, los distritos costeros que aún continúan experimentando esporádicas finas garúas y la influencia de las brisas marinas, muestran las mejores condiciones ambientales.

1. Calidad del aire en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS)¹, la contaminación del aire es un problema de salud ambiental importante que afecta a países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo. En una escala global, se emiten a la atmósfera grandes cantidades de gases y partículas potencialmente nocivas, lo cual

deteriora la calidad del aire, afectando la salud humana. Asimismo, daña los recursos necesarios para el desarrollo sostenible del planeta largo plazo.

Silva et al (2004)¹ 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 biológico tales como bacterias, polen y esporas también puede encontrarse en las partículas gruesas. Generalmente, las partículas finas y gruesas se comportan de manera diferente en la atmósfera y estas variaciones deben considerarse al interpretar los valores que se monitorean en un sitio específico. 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 dinámica del comportamiento del polvo atmosférico sedimentable (de diámetro mayor a 20 micras) está dentro de la influencia de la fuerza de atracción gravitatoria terrestre (gravedad), por lo que sedimentan y se depositan en forma de polvo en las diferentes superficies (edificios y objetos en general de exteriores e interiores, áreas verdes, avenidas y calles con o sin asfalto), desde donde vuelven a ser inyectados al aire por los llamados flujos turbulentos de las zonas urbanas originados tanto por la interacción del movimiento de vehículos con la forma de canal de calles y avenidas, como por la interacción de la rugosidad de las superficies urbanas y los desiguales procesos de calentamiento de las mismas. ³

Es necesario resaltar que la importancia de monitorear el polvo atmosférico sedimentable radica en que en los centros urbanos de zonas áridas se convierten en los contaminantes del aire de mayor trascendencia debido a la ausencia de precipitación pluvial que realice un lavado de la atmósfera por lo que su presencia se hace permanente siendo indicadores del deterioro ambiental de un lugar; así mismo, en el ciclo continuo de deposición y resuspensión, el polvo sedimentable van experimentando al mismo tiempo procesos físico químicos de meteorización dando paso a la aparición de partículas más finas del rango de las totales en suspensión.

En cuanto a contaminantes gaseosos, Godish⁴ refiere que el NO y el NO₂ son los compuestos cuya dinámica juega un papel muy importante en la química de los contaminantes atmosféricos. Sus concentraciones se incrementan significativamente en la atmósfera como resultado de los aportes de la actividad humana y además sirven como precursores de una gran variedad de reacciones atmosféricas debido a su rápida interconvertibilidad química. El término genérico para denominar estos compuestos es el de NO_x (que también incluyen al trióxido de

nitrógeno -NO₃, sesquióxido de nitrógeno N₂O₃, tetróxido de nitrógeno -N₂O₄ y pentóxido de nitrógeno -N₂O₅).

De ahí que la importancia de estudiar a los NO_x no sólo radica en que son importantes indicadores de la calidad del aire en las zonas urbanas, sino también en su implicación en la química de la atmósfera a nivel troposférico, especialmente en el papel titular que desempeñan en la formación de contaminantes secundarios perjudiciales para el ser humano, tales como ozono y ácido nítrico.⁵

Las concentraciones locales de los contaminantes del aire dependen de la magnitud de las fuentes y la eficiencia de la dispersión. Así, las variaciones cotidianas en las concentraciones están más afectadas por las condiciones meteorológicas que por los cambios en la magnitud de las fuentes, principalmente por la variable viento, toda vez que la temperatura tiene un efecto considerable sobre la salud, pero la humedad no ejerce una influencia considerable sobre la toxicidad de los contaminantes gaseosos. De otro lado, a mayor altitud, la presión parcial de oxígeno se reduce y la inhalación se incrementa como compensación. Para partículas, esta mayor inhalación conducirá a una mayor ingesta de partículas transmitidas por el aire. Por otro lado, para contaminantes gaseosos, no se espera ningún aumento en los efectos respecto a aquellos esperados en el nivel del mar.

En términos generales, la evaluación de las concentraciones en el aire de uno u otro contaminante es denominado monitoreo atmosférico, para el cual de acuerdo a Martínez et al ⁶ significa disponer de una red de monitoreo óptima implica con un número mínimo de estaciones con localizaciones precisas, las mismas que deben permitir obtener un adecuado análisis de la distribución de la contaminación.

Actualmente, el monitoreo se realiza en sitios seleccionados como representativos de la localidad de tal manera que cubren características de área urbana, industrial, residencial, comercial, de exposición de la población o áreas de influencia.

De otro lado, otros programas de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) refieren que antes del establecimiento de redes de monitoreo, se hagan muestreos previos en algunos puntos de la zona a evaluar. Adicionalmente a ello, los datos de emisiones de contaminantes (inventarios), información meteorológica y topográfica y la aplicación de modelos de difusión, permitirán la identificación de posibles sitios críticos o conocidos como Hot Spots en los cuales se debe localizar una estación de monitoreo. Esta es la tendencia más moderna para identificar sitios fijos para localizar estaciones de monitoreo. Las redes fijadas a largo plazo permitirán documentar tendencias de la contaminación del área de estudio.

Así mismo es posible la combinación de muestreadores pasivos, con activos y automáticos. Actualmente se le está dando bastante importancia al empleo de tubos de difusión (pasivos) para los diagnósticos preliminares de redes de monitoreo.

⁶ Martínez, P., et al. 2004. Introducción al monitoreo atmosférico. México.

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**). 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:

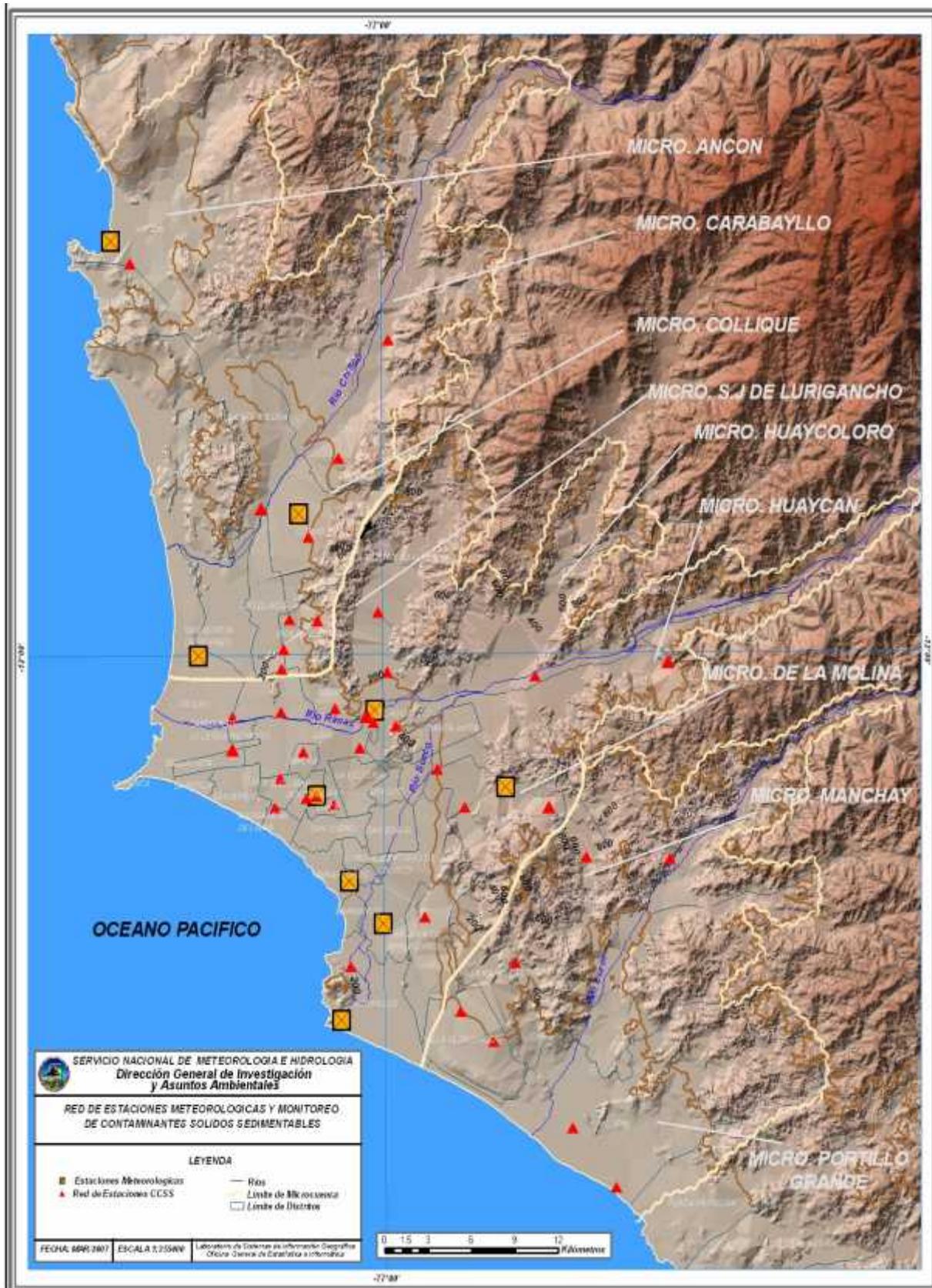
- Fase de campo: operación continua de analizador automático de óxidos de nitrógeno API200E y monóxido de carbono API300A y en la estación de calidad del aire SENAMHI. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232, Ethernet (NOx) y software API COM. Se realiza el cambio de filtros 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 Ancón (Ancón), Collique (Comas), automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), automática Campo de Marte (Jesús María), automática Lima Este (La Molina) y automática Las Palmas (Surco), 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 el mes de diciembre 2007 se recopiló información de 37 estaciones; de éstas el 84 % 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, superior a la del mes de octubre que fue de 11,9 t/km²/mes.

De acuerdo a lo observado en el cuadro N° 1, los niveles de contaminación en los principales núcleos durante diciembre fueron superiores a los registrados el mes de noviembre. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de El Agustino con 30,8 t/km²/mes, y el mínimo de 2,5 t/km²/mes en Chorrillos. La dirección predominante de los vientos para las estaciones de la red meteorológica automática de SENAMHI varía durante las horas del día, siendo en promedio del cuadrante SW en horas matutinas (SSW, SW y WSW) y de componente S en horas vespertinas y nocturnas 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 noviembre siendo 2,5 veces superior del nivel permisible.

Cuadro N° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables Noviembre y diciembre 2007 (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 /m es
			Lima Norte	Lima Centro-este	Lima Sur-este	Lima Sur			
Noviem bre 2007	37	84	24,1 (Indepe nd.)	22,5 (El agustino, El Cercado; Lurigancho)	23,2 (Pachaca mac)	23,4 (V.M.T.; Lurín)	11,9	26,1 (A Vitarte / Huayc án)	2,4 (Lince)
Diciem bre 2007	37	84	25,9 (Indepe nd.)	26,7 (El agustino, El Cercado; Lurigancho)	23,8 (Pachaca mac)	26,0 (V.M.T.; Lurín)	12,6	30,8 (Lurín)	2,5 (Jesús María)

En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de noviembre y diciembre 2007.

Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en noviembre y diciembre 2007 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 diciembre, 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 Independencia tiene un valor de 25,9 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 El Agustino de 30,8 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 23,8 t/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 23,4 y 28,6 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 diciembre 2007



3.2. De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de diciembre 2007, 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 diciembre 2007 como una continuación de los observado en los meses anteriores, se caracterizó porque la nubosidad estratiforme baja con su base en algunas zonas muy cerca a la superficie pero mayormente entre 300 a 600 m.s.n.m. muestra un relativo debilitamiento y mayor presencia de nubosidad media y alta. Se espera que dicha cubierta nubosa, continúe decreciendo en densidad para una mayor manifestación del brillo solar, característico del verano en la costa central de Perú. Así, las anomalías aún positivas del Anticiclón del Pacífico suroriental y por lo tanto de los vientos del cuadrante sur, inversión térmica y del afloramiento marino siempre activo; desplazamiento en continente de la Zona de Convergencia Intertropical hacia el sur y cada vez mostrando mayor actividad en la amazonía peruana y brasilera; incremento de brillo solar y temperatura del aire en la costa peruana y debilitamiento de la nubosidad estratiforme baja, así como mayor presencia de nubosidad media y alta, indicando el aumento en frecuencia de los trasvases de masas de aire húmedas desde la amazonía, todas están relacionadas a la presencia de La Niña (fase fría del fenómeno ENSO), que ha definido un verano fresco en la costa peruana. Como consecuencia de todo lo anterior, la Zona Metropolitana de Lima-Callao, muestra sus distritos costeros aún con cubierta nubosa y esporádica fina garúa, incremento de temperatura del aire por debajo de su normal, y en los distritos del este, mayor frecuencia de días con cielos despejados e incremento de eventos de turbulencia mecánica y térmica del aire que da origen a los procesos de suspensión y resuspensión del polvo atmosférico sedimentable.

b. De la Temperatura y Humedad Relativa

El análisis medio mensual de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas: automática Ancón, Collique, automática sinóptica y de radiosondaje A.I. Jorge Chávez, automática Campo de Marte, Lima Este y Las Palmas, señala el día 29 de diciembre como el más cálido con una máxima media de 20,6 ° C y el día 9 como el más frío con un valor medio de 17,9° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 11 con la mínima media de 78 %, y el más húmedo el 7 de diciembre (86 %). 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 18,4 ° C en La Molina a 25,3° C en Comas y la mínima fluctuó entre 14,6 ° C en La Molina a 19,7 ° C en Comas; la temperatura media

del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 19,0 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 81 % en Comas a 100 % en Ancón; y la mínima osciló entre 54 % en La Molina a 82 % en Ancón (ver figuras 6a, b y c); la humedad relativa media fue de 81 %. Durante el mes de diciembre se presentaron en promedio condiciones térmicas similares al mes anterior, con mayor alternancia de días con cielo nublado parcial con presencia de brillo solar hacia el mediodía que se extendieron hacia algunas horas de la tarde.

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de noviembre 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 4,9 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 con intensidad de 2,2 m/s; mientras que en Ancon, Comas, El Callao y Surco predominaron velocidades medias moderadas con velocidades comprendidas entre 3 a 4,6 m/s, respectivamente. 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 Ancon, Comas y Jesús María con intensidades de 0,8; 2,4; y 0,7 m/s, respectivamente; mientras que en El Callao y Surco, se presentó velocidades medias moderadas de 3,4 y 3,2 m/s. Cabe señalar que hubo presencia de calmas (16 %) en la estación de Ancón.
- En cuanto a las direcciones predominantes del viento superficial, en horas matutinas (7:00-11:00 horas) la estación Ancón reportó direcciones del SSW, WNW, NW y SW con frecuencias de 15, 15, 14 y 13 %, respectivamente; prevaleciendo en horas vespertinas vientos del SSW (41 %) y SW (29 %); hacia horas de la noche se mantuvieron los vientos del SSW (35 %), y se presentaron además vientos de dirección N (10 %). En la estación Collique (Comas) hacia horas de la mañana predominaron direcciones del SW (55 %), SSW (18 %) y WSW (17 %), manteniendo la misma componente en horas vespertinas con vientos del SW (69 %), SSW (23 %); y comportándose de forma similar hacia la noche con frecuencias de 41 y 24 %, además de vientos del WSW (21 %). La estación A.I. Jorge Chávez (Callao) registró direcciones principalmente del S (49 %) y SSW (17 %); que se mantuvieron en horas vespertinas con frecuencias de 69 y 17 %, respectivamente; hacia horas de la noche, se

mantuvo la dirección S (69 %) y se presentaron vientos del SSE (23 %). En la estación Campo de Marte, se presentaron direcciones del SW (44 %) y WSW (36 %) en horas matutinas, manteniéndose en horas vespertinas con frecuencias de 59 y 35 %; en horas de la noche, se presentaron vientos de dirección WSW (33 %), SW (23 %) y W (13 %), respectivamente. En la estación Lima Este, predominaron vientos del W (48 %) y WNW (34 %) en horas de la mañana, manteniéndose hacia las horas vespertinas con frecuencias del 63 y 30 %; y también en horas de la noche, con frecuencias del 33 y 25 %. En la estación Las Palmas, predominaron vientos del S (22 %), WSW (18 %) y del SSE (17 %) en horas matutinas; en horas vespertinas se mantuvieron vientos de dirección S y SSE con frecuencias de 33 y 29 %; y en horas de la noche variaron a vientos del SSE (47 %) y SE (27 %).

d. Del perfil de la troposfera

De acuerdo a la vigilancia sinóptica, durante el mes de diciembre, 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 anomalías positivas, lo que propició vientos de moderados a fuertes, afloramiento marino siempre activo y la configuración del fenómeno de la inversión térmica por subsidencia de intensidad moderada con altura media de su base 700 msnm. Las características descritas y sus interacciones, dan origen a la formación de nubosidad estratiforme por debajo de la base de dicha inversión. La mencionada nubosidad estratiforme (nubosidad baja), con su base variando en algunos días y zonas desde muy cerca a la superficie, pero mayormente entre 300 y 600 msnm, muestra en el presente mes un relativo debilitamiento y el consiguiente incremento de la nubosidad media y alta (Fig. 4). La relativa disminución de la nubosidad baja debido al inicio del verano, se expresa en un incremento del brillo solar y temperatura del aire, pero por debajo, de su promedio climático, como una manifestación de la presencia de La Niña (fase fría del fenómeno ENSO que ha definido un verano fresco en la costa peruana. Sin embargo, en la escala local, los fenómenos de turbulencia del aire debido al incremento de la temperatura, muestran una ostensible intensificación y por lo tanto de los fenómenos de suspensión y resuspensión, del polvo atmosférico sedimentable, en toda la franja este de la Zona Metropolitana de Lima-Callao.

Figura 4. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez diciembre 2007

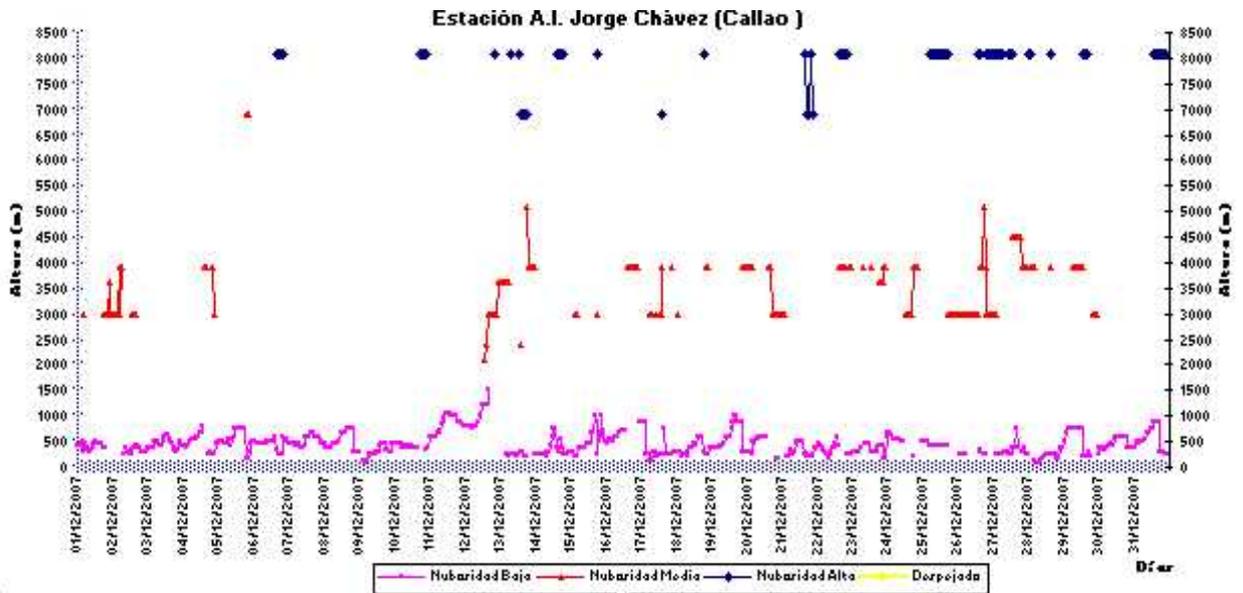
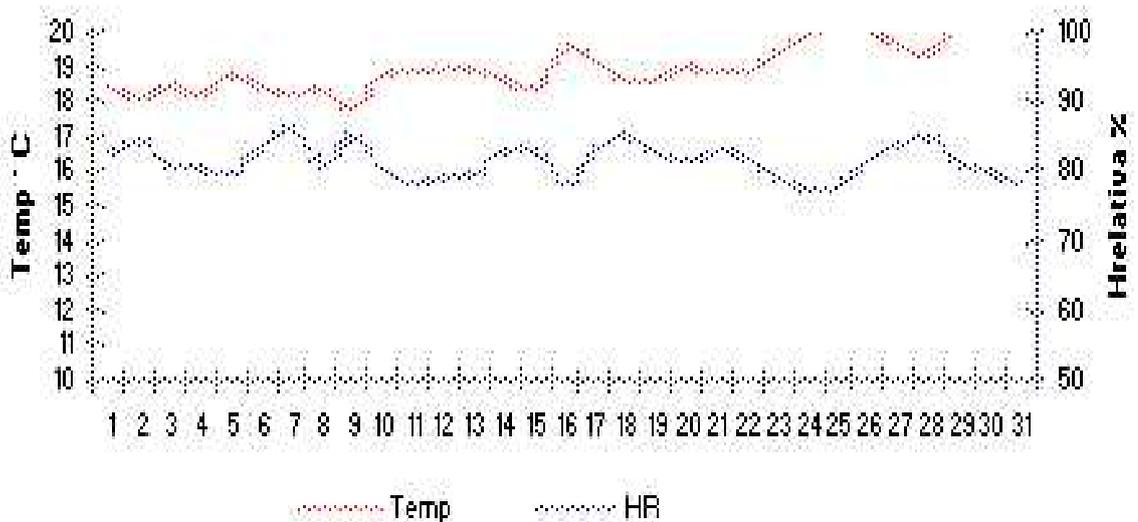


Figura 5.- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2007 en Ancón, Comas, El Callao, Jesús María, La Molina y Surco



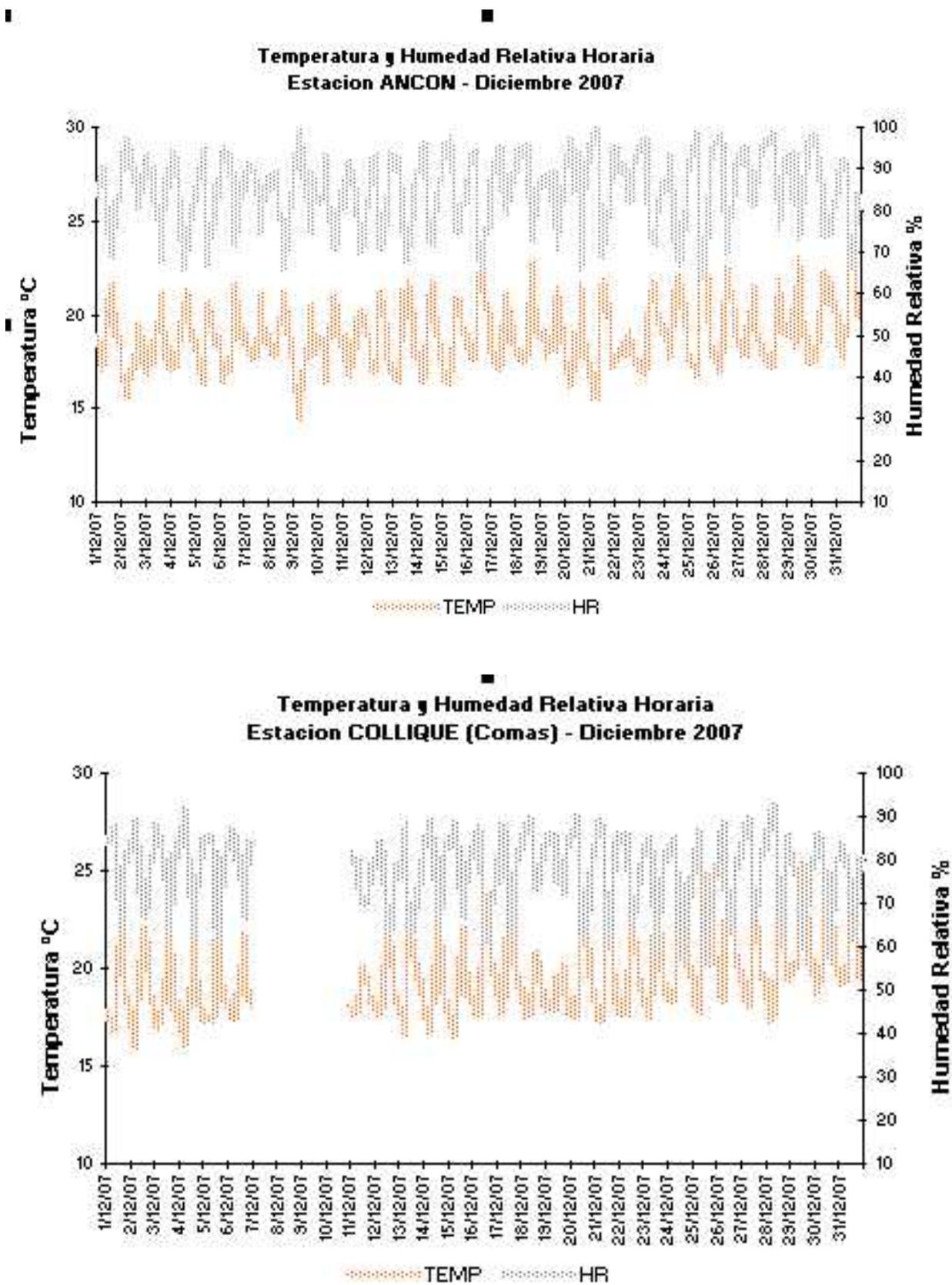


Fig. 6a

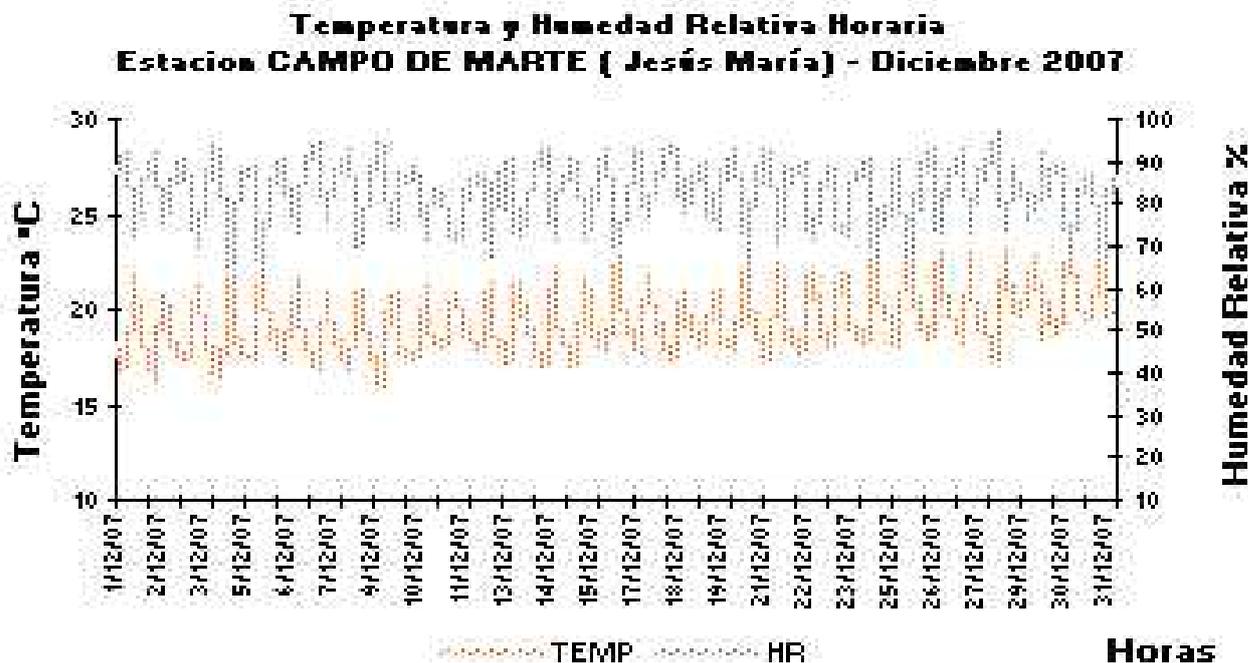
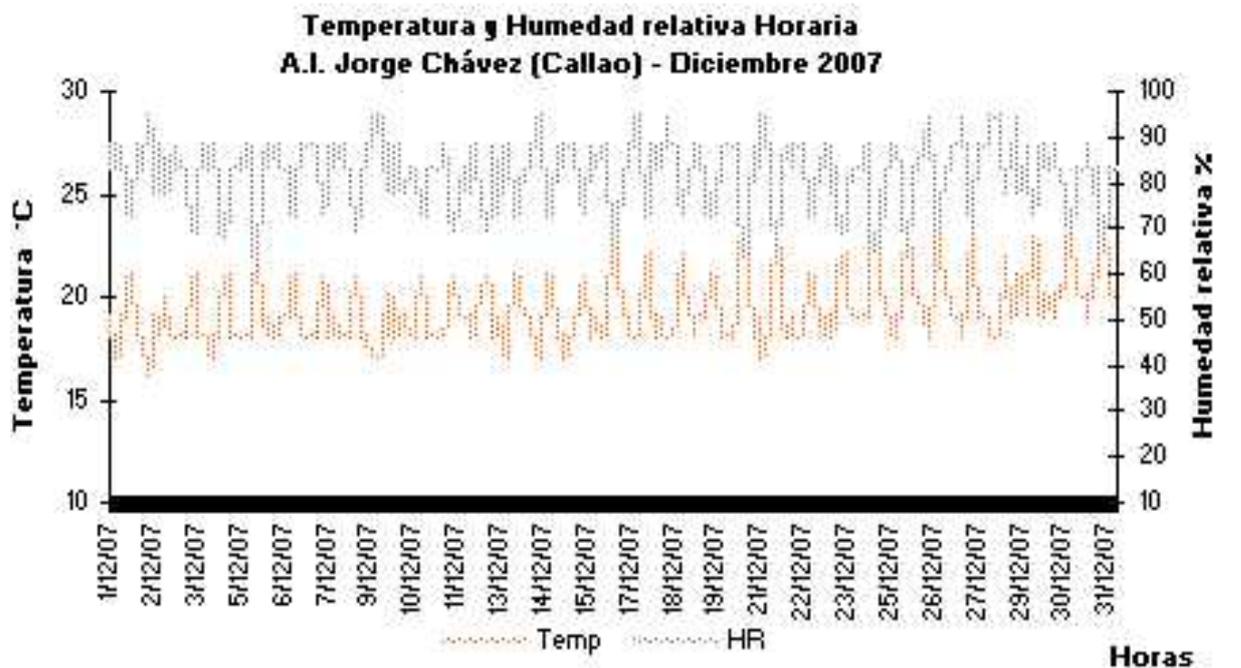
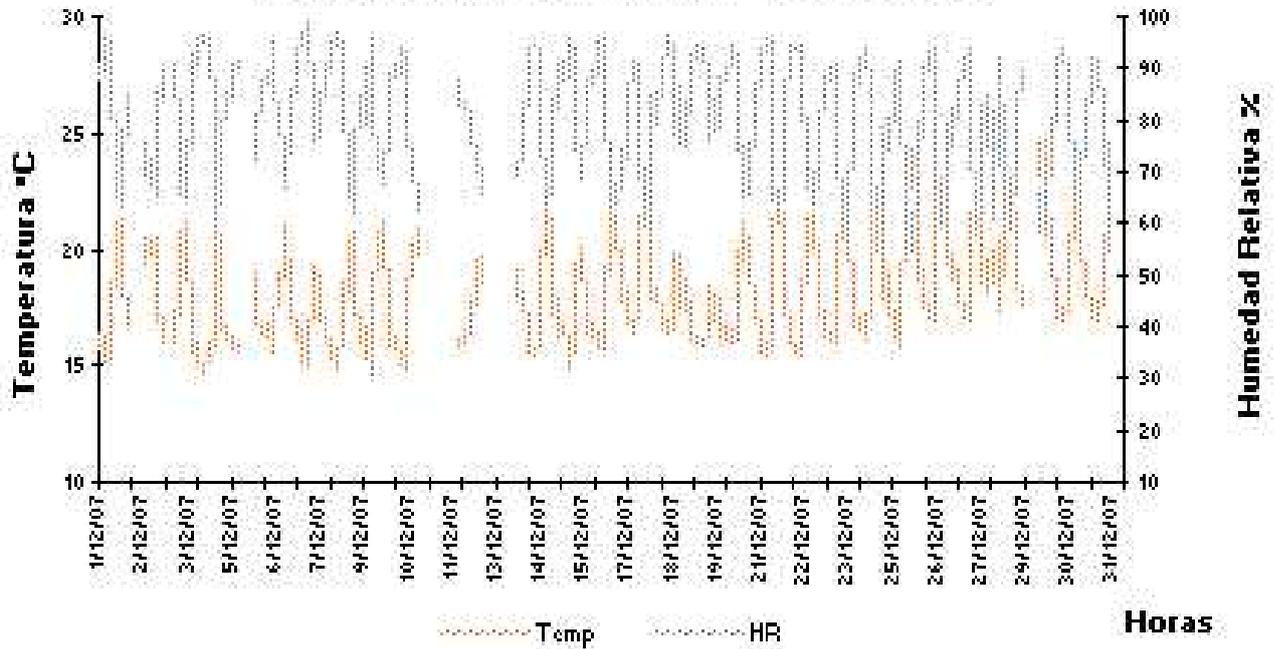


Fig. 6b

**Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion LIMA ESTE (La Molina) - Diciembre 2007**



**Temperatura y Humedad Relativa Horaria
Estacion LAS PALMAS (Surco) - Diciembre 2007**

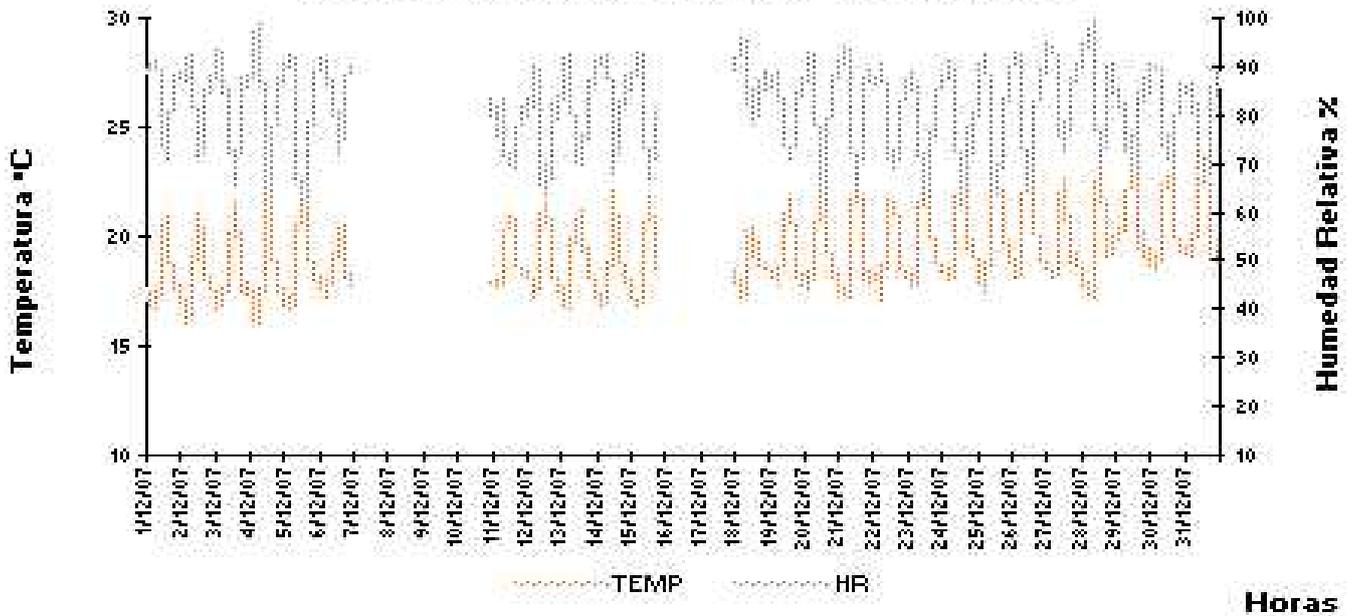


Fig 6c

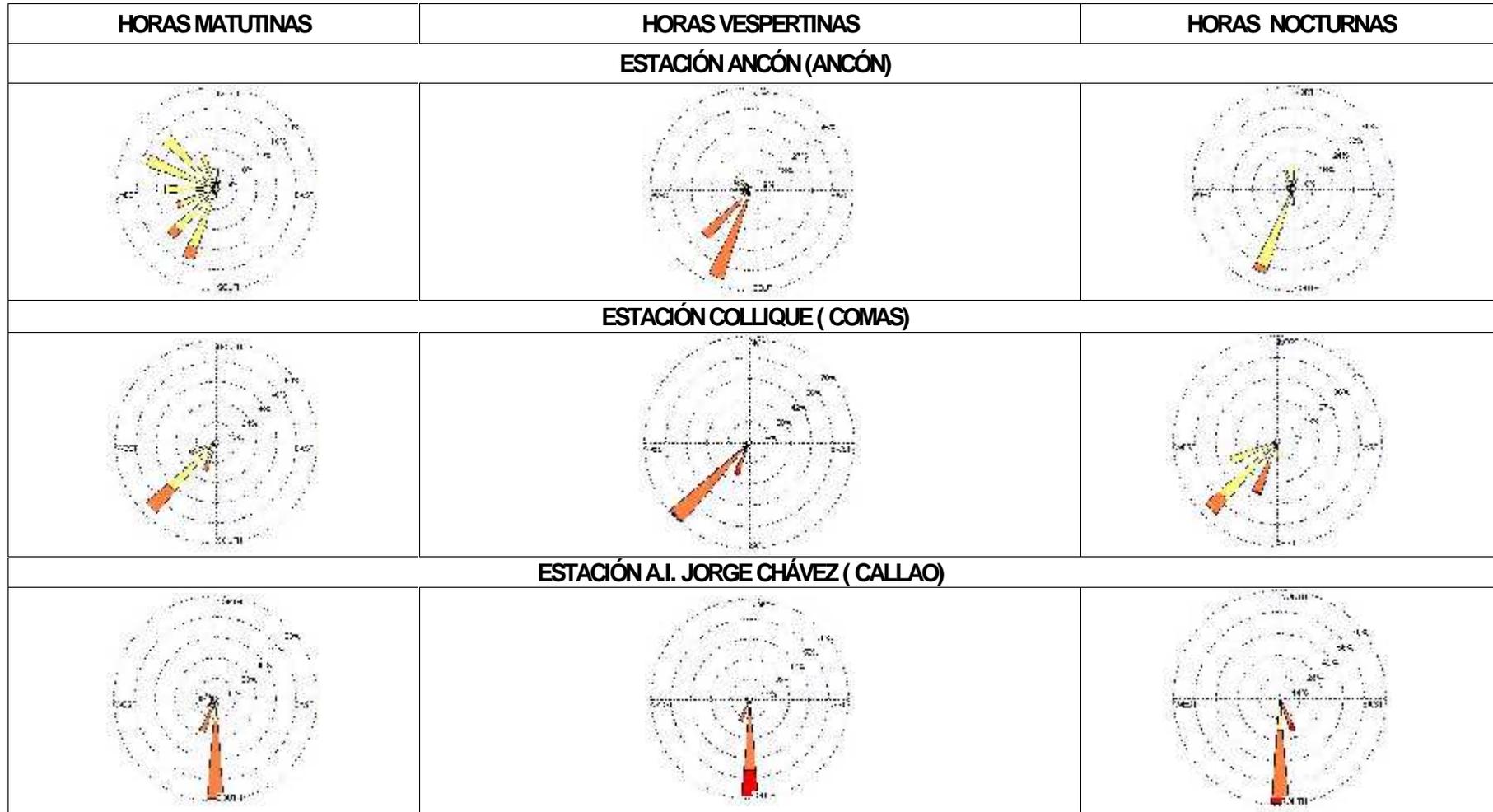


Fig 7a – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Ancón, Comas y El Callao - Diciembre 2007

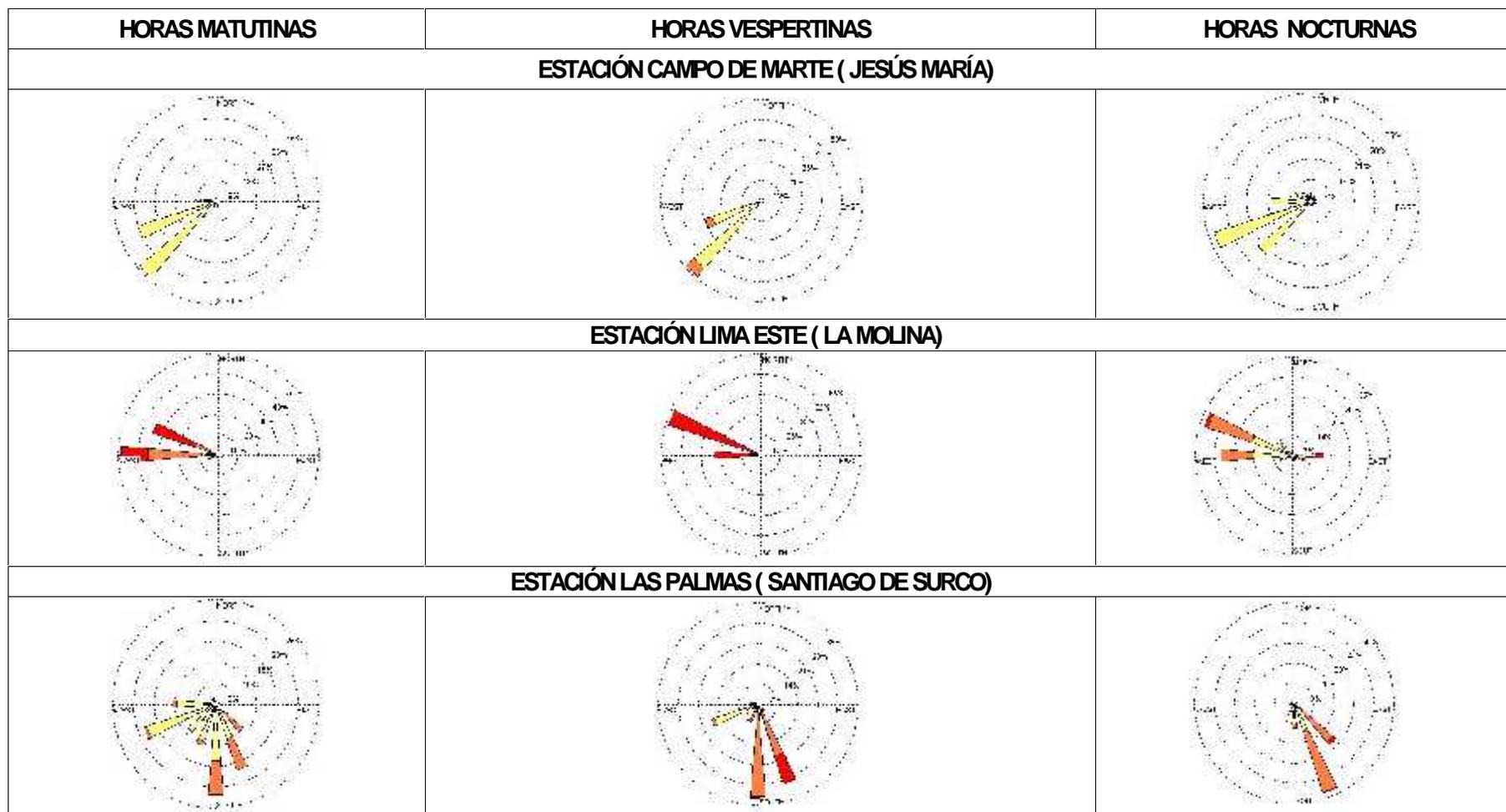


Fig7b – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Jesús María, La Molina y Surco - Diciembre 2007

4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para enero 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 entre 5 a 10 % para el próximo mes.

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.

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

ZONA	ESTIMACIÓN	INTERVALO DE
		CONFIANZA
LIMA NORTE	26.2	20.7 - 30.1
LIMA CENTRO	7	6.0 - 7.9
LIMA ESTE	26.6	22.9 - 30.3
LIMA OESTE	6.7	4.9 - 6.8
LIMA SUR	26.2	25.9 - 30.3

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 diciembre, 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 25,9 t/km².mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 26,7 t/km².mes; el tercero en Lima sur-este con 23,8 t/km².mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 26,0 t/km².mes.

- ✓ El 84 % 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 superior al del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 30,8 t/km².mes en El Agustino y el mínimo de 2,5 t/km².mes en Chorrillos.
- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, ésta muestra una tendencia decreciente en su densidad debido a que los sistemas atmosféricos como el Anticiclón del Pacífico suroriental, si bien muestra anomalías positivas, lo que ocasiona vientos moderados a fuertes y el consiguiente afloramiento marítimo siempre activo; sin embargo, pese a que la presencia de La Niña (fase fría del fenómeno ENSO) que define un verano fresco, el incremento de la temperatura del aire por la llegada del verano, favorece el debilitamiento de la inversión térmica y con ello el debilitamiento de la formación de nubosidad.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en diciembre fueron de 19,0° C y 81 %. Así mismo, el día más cálido fue el 29 de diciembre con una máxima media de 20,6 ° C; y el día 9 como el más frío con un valor de 17,9 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 11 con la mínima media de 78 %, y el más húmedo el 7 de diciembre (86 %).
- ✓ 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 osciló de débiles (Jesús María), moderados (Ancón, Comas, Callao, Surco) entre 3 a 5 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, con ocurrencia de calmas de 16 % en Ancón. 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.
- ✓ Durante el mes de diciembre, la inversión térmica por subsidencia con su base alrededor de los 700 m.s.n.m mostró en promedio condiciones de debilitamiento, debido al relativo debilitamiento del Anticiclón del Pacífico Suroriental que aún con anomalías positivas, debido a la presencia de La Niña (fase fría del fenómeno ENSO), que asimismo ocasionó la presencia de vientos moderados y fuertes del sur y del afloramiento Marino siempre activo; sin embargo, debido a la llegada del verano, aunque fresco, el incremento de la temperatura del aire, ocasiona el relativo debilitamiento de la nubosidad estratiforme baja, presencia de nubosidad media y alta que indican la presencia de trasvases de masas de aire húmedas desde la Amazonía.