

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/SETIEMBRE-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.	2
2.	Metodología.	5
3.	Resultados del monitoreo ambiental.	7
4.	Conclusiones.	17

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 agosto y setiembre 2007 en Lima-Callao.	8
Fig. 3-	Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico Sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de setiembre del 2007.	10
Fig. 4-	Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez setiembre 2007	13
Fig. 5-	Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2007 en el Callao, Jesús María, La Molina y Surco.	14
Fig. 6-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2007 en el Callao, Jesús María, La Molina y Surco.	15
Fig. 7-	Variación horaria mensual en invierno de la temperatura y humedad relativa durante el periodo mayo-setiembre en el Callao, Jesús María y La Molina.	15
Fig. 8-	Rosas de viento (m/s) en las estaciones de El Callao, Jesús María, La Molina y Surco - Setiembre 2007	16

NDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1.	Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: agosto y setiembre 2007.	8
---------------	---	---

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

RESUMEN

El boletín del mes de setiembre muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico sedimentable (PAS), en relación a las condiciones meteorológicas registradas en la red automática en 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 10,8 t/km².mes, superior al mes anterior que fue de 9,6. 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 continuó intenso con anomalías en promedio de +4 hPa frente a la costa peruana; la corriente en Chorro de Niveles Bajos, intensa y persistente; el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical al norte de su posición normal; y las interacciones de tales sistemas están estrechamente asociados al ingreso de vientos fuertes, intensificación de la subsidencia y el afloramiento marino que en conjunto propiciaron la presencia siempre intensa de la inversión térmica y por lo tanto de persistente nubosidad estratiforme baja y fina garúa en los distritos costeros, variando a condiciones de nublado parcial, nubes dispersas y despejado en la última década en los distritos del este como indicativo de la llegada de la estación primaveral. Las condiciones descritas, limitaron el fenómeno de turbulencia en la franja de distritos costeros, donde se registraron bajas concentraciones de polvo atmosférico sedimentable; sin embargo, en el resto de la zona metropolitana, en especial en los distritos del este, el fenómeno de turbulencia, relacionado a las condiciones de mayor insolación, inició su intensificación, manifestado en las altas concentraciones registradas en esa zona.

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)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

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.

(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).

3 Silva J. 2000 Factores meteorológicos que influyen en la dispersión de la contaminación del aire en la ciudad de Lima. Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima. Vol.N°113:2000. Lima, Perú.

4 Godish, Thad. 1997. Air Quality. Third Edition. Lewis Publisher. New York. USA.

5 Galán M, D., et al; 2006. Implicación de los NOx la química atmosférica. Madrid, España.

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) 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 óxidos de nitrógeno API200E en la estación de calidad del aire SENAMHI. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232, Ethernet (NO_x) 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”.

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 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**.

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.

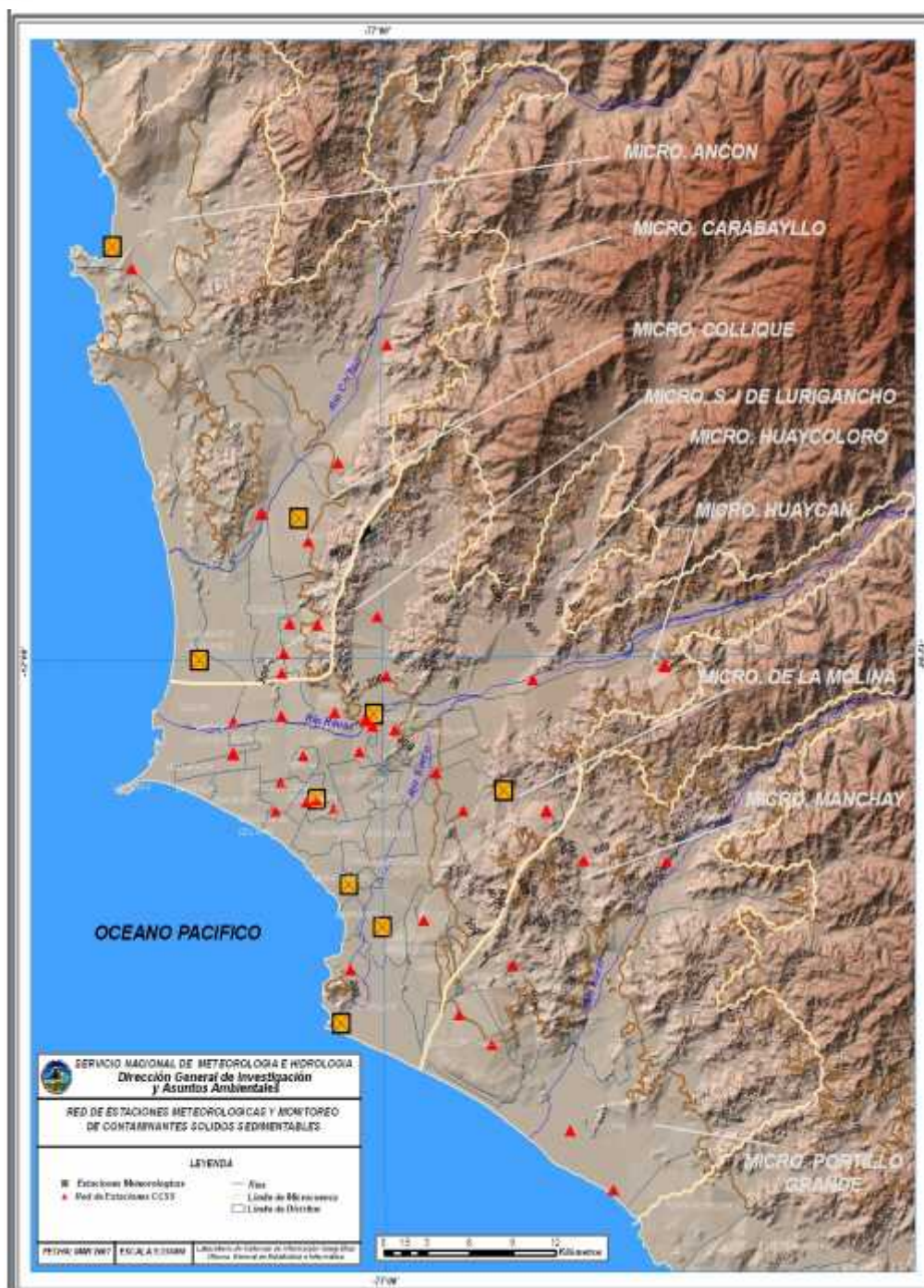


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la zona metropolitana de Lima-Callao

3. Resultados del monitoreo ambiental

3.1 Del Polvo Atmosférico Sedimentable

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**.

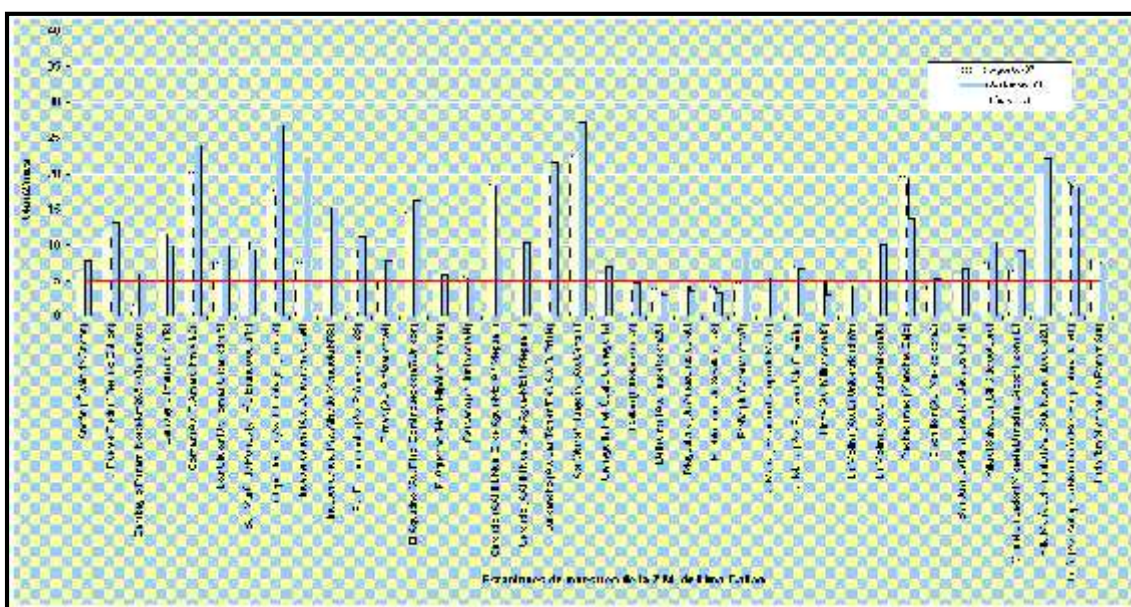
Durante el mes de setiembre 2007, el 84 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km².mes, con una media de 10,8 t/km².mes, superior a la del mes de agosto que fue de 76 % y una media de 9,6.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación en los principales núcleos durante setiembre fueron en promedio superiores a los registrados el mes de agosto. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Ate Vitarte con 27,3 t/km².mes, y el mínimo de 2,9 t/km².mes en Lince. La dirección predominante de los vientos es del sur (S) para los distritos del litoral costero y centro variando a vientos de componente W hacia los distritos del E, y con intensidad predominantemente débil a moderada, en interacción con la rugosidad natural y artificial impuesta por las edificaciones, determinaron niveles medios superiores a los registrados el mes anterior y por encima del nivel permisible.

Cuadro N° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: agosto y setiembre 2007 (t/km².mes)

Conc t/km ² .mes	N° est.	% de estaciones Sobrepasan 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			
Agosto 2007	38	76	20,1 (Comas)	17,6 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	19,6 (Pachacamac)	19,1 (V.M.T.; Lurín)	9,6	22,5 (A. Vitarte/ Huaycán)	1,5 (Carabaylo km 26)
Setiembre 2007	38	84	23,9 (Comas)	19,2 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	19,0 (Pachacamac)	20,1 (V.M.T.; Lurín)	10,8	27,3 (A. Vitarte/ Huaycán)	2,9 (Lince)

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



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 setiembre, facilitaron la configuración de persistentes zonas críticas de alta contaminación en Lima-Callao, con una media superior a la del mes anterior, y con valores superiores en tres de los cuatro núcleos de las zonas críticas. 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 23,9 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 Ate Vitarte (Huaycán) de 27,3 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 Pachacámac, sureste de La Molina y suroeste de Cieneguilla con valor de 19,0 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 22,2 y 18,1 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 setiembre 2007

3.2 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de setiembre 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 setiembre 2007 de manera muy similar al mes anterior, se caracterizó por la predominancia de nubosidad estratiforme baja con su base en algunas zonas muy cerca a la superficie pero mayormente entre 300 a 600 m.s.n.m, mostrando la influencia del fenómeno de subsidencia debido a la intensificación del anticiclón del Pacífico suroriental y la corriente en Chorro de Bajos Niveles, la consecuente advección de aire frío con vientos fuertes, la intensificación del afloramiento marítimo frente a la costa sudamericana (Chile y Perú), fenómenos que en conjunto indujeron a la presencia siempre intensa del fenómeno de inversión térmica con su base en promedio alrededor de los 800 m.s.n.m., por debajo de cuya base se formó la descrita nubosidad estratiforme que dio paso a las condiciones de cielo cubierto todos los días y escaso brillo solar durante el mes en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, con persistente fina garúa con mayor frecuencia en horas de la mañana y al atardecer, especialmente en los distritos costeros; excepto en los distritos del este donde ya se viene notando la presencia de la estación primaveral mediante los cielos con nublado parcial a despejado.

b. De la Temperatura y Humedad Relativa

- El análisis medio de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas: automática sinóptica y de radiosondaje A.I. Jorge Chávez, automática Campo de Marte, Lima Este y Las Palmas, señala el día 30 de setiembre como el más cálido con una máxima media de 15,0 ° C y el día 27 como el más frío con un valor medio de 13,6° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 30 con la mínima media de 81 %, y el más húmedo el 10 de setiembre (91 %). 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 13,1 ° C a 19,5° C en La Molina y la mínima fluctuó entre 10,9 ° C en La Molina a 14,0 ° C en El Callao y Jesús María; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 14,1 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 88 % en el Callao y Jesús María a 100 % en La Molina; y la mínima osciló entre 57 % en La Molina a 88 % en La Molina y Surco (ver **figura 6**); la humedad relativa media fue de 89 %. Durante el mes de setiembre se presentaron en promedio condiciones térmicas frías a moderadas. Hacia finales de la tercera década se registraron días con brillo solar hacia el mediodía.

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de setiembre 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): así, en el Callao se registraron direcciones del S y N (35 y 25 %); en Jesús María del SW y WSW (44 y 24 %); y en Surco, del SSE y S (24 y 18 %). Intensidades medias moderadas se registraron en La Molina (3,7 m/s), provenientes del W y WNW (43 y 34 %), respectivamente. No se registraron ocurrencias de calmas.
- Durante el período vespertino (12:00 a 18:00 horas) se registraron vientos de intensidad media débil en El Callao provenientes del S y SSW (55 y 18 %) y en Jesús María del SW y WSW (68 y 21 %). Intensidades moderadas se presentaron en La Molina y Surco provenientes del WNW y W (57 y 40 %), y del SSE, S y WSW (33, 26 y 17 %), respectivamente. No se registraron ocurrencias significativas de calmas.
- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se registraron vientos de intensidad media débil en todas las estaciones analizadas. Así, en el Callao se presentaron direcciones provenientes del S, N y SSW (65, 12 y 9 %); en Jesús María del SW, WSW y W (34, 27 y 12 %); en La Molina del WNW, W, ESE y E (25, 22, 17 y 14 %); y en Surco, provenientes del SSE, SE y S (43, 24 y 13 %). No se registraron ocurrencias significativas de calmas.
- En cuanto a las direcciones predominantes del viento superficial, en horas matutinas la Estación A.I. Jorge Chávez registró direcciones principalmente del S y N, variando incluso a dirección SSW en horas vespertinas y retomando la dirección N hacia la noche. En la estación Campo de Marte, se mantuvieron direcciones del SW y WSW en todo el día, con bajas frecuencias de vientos de componente W durante la noche; en la estación Lima Este, predominaron vientos del W y WNW durante el día; en horas de la noche, se presentaron además vientos del E y ESE. En la estación Las Palmas, predominaron vientos del SSE y S en horas matutinas; en horas vespertinas además predominaron vientos del WSW, variando a vientos de dirección S incluso hacia horas de la noche.

d. Del perfil de la troposfera

De acuerdo a la vigilancia sinóptica, durante el mes de septiembre, la evolución de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestra que el anticiclón del Pacífico suroriental continuó intenso con anomalías en promedio de +4 hPa frente a la costa peruana; la corriente en Chorro de Niveles Bajos, intensa y persistente;

el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical al norte de su posición normal; y las interacciones de tales sistemas están estrechamente asociados al ingreso de vientos fuertes, intensificación de la subsidencia y el afloramiento marino que en conjunto propiciaron la presencia siempre intensa de la inversión térmica con su base alrededor de los 800 msnm. y por lo tanto de persistente nubosidad baja estratiforme con su base entre 300 y 500 msnm. que se forma por debajo de la base de dicha inversión, y fina garúa en los distritos costeros, variando a condiciones de nublado parcial, nubes dispersas y despejado en la última década en los distritos del este como indicativo de la llegada de la estación primaveral. Las condiciones descritas, limitaron el fenómeno de turbulencia en la franja de distritos costeros, donde se registraron bajas concentraciones de polvo atmosférico sedimentable; sin embargo, en el resto de la zona metropolitana, en especial en los distritos del este, el fenómeno de turbulencia, relacionado a las condiciones de mayor insolación, inició su intensificación, manifestado en las altas concentraciones registradas en esa zona.

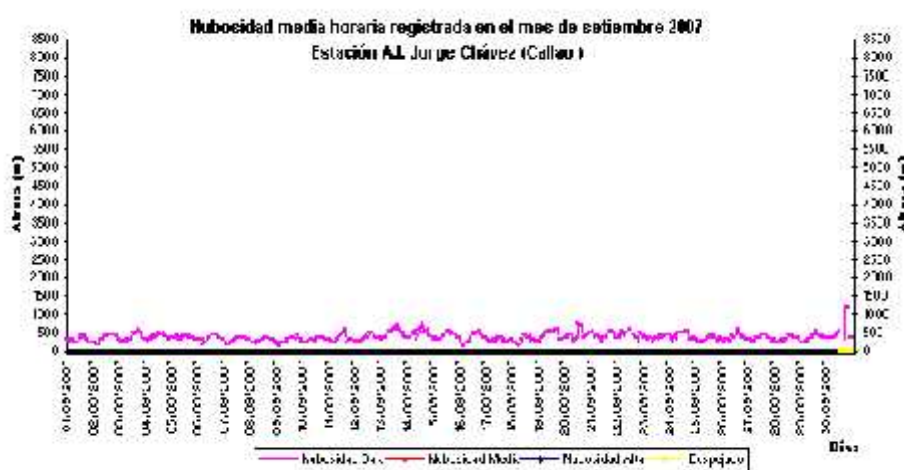


Figura 4. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez setiembre 2007

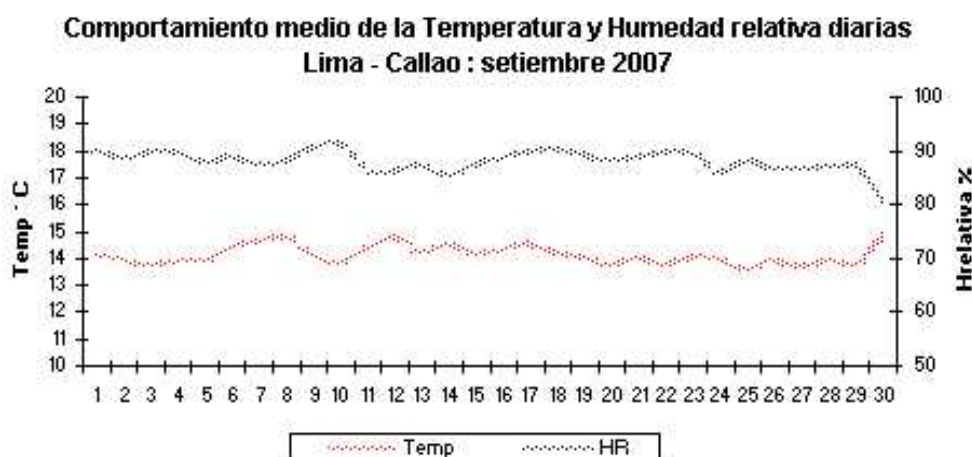


Figura 5.- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2007 en El Callao, Jesús María, La Molina y Surco

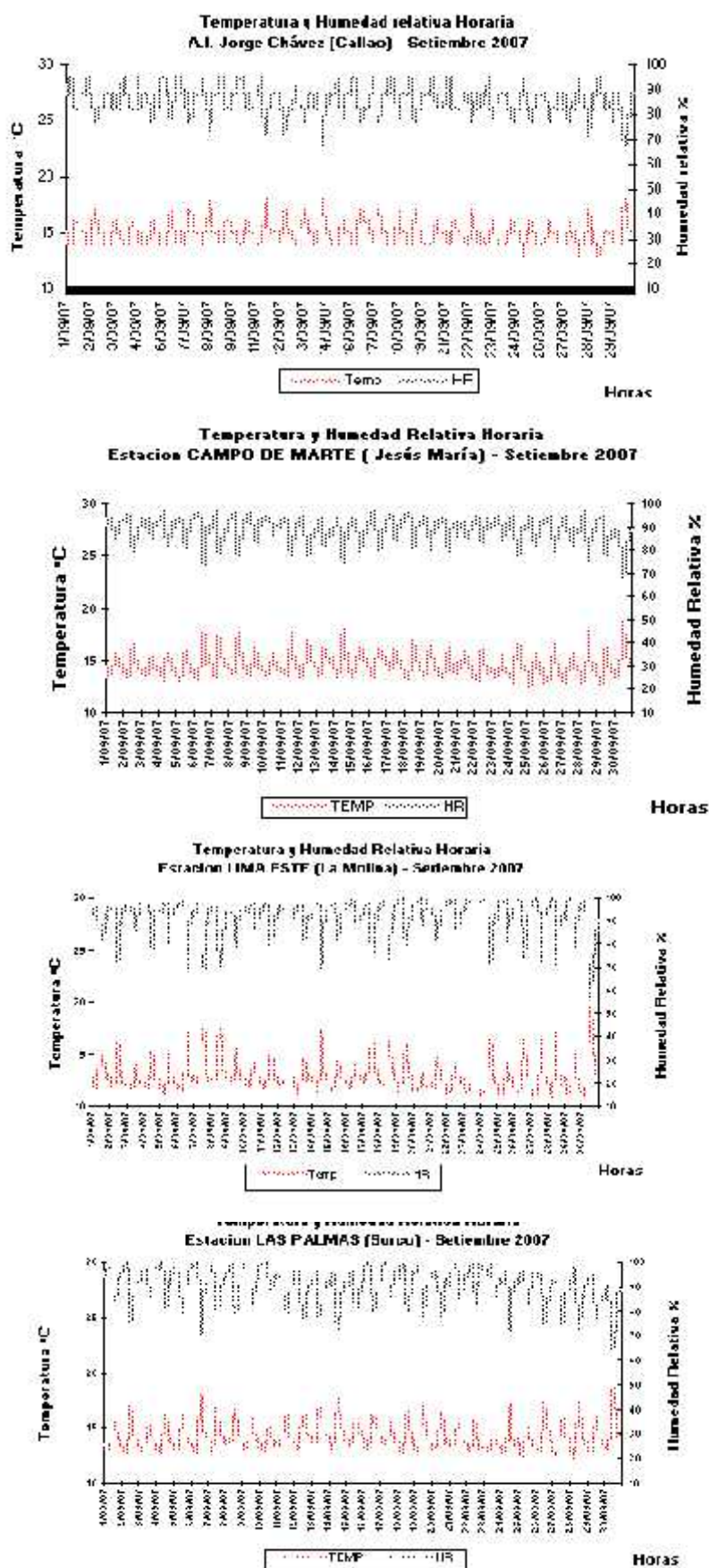


Figura 6.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de setiembre del 2007 en El Callao, Jesús María, La Molina y Surco

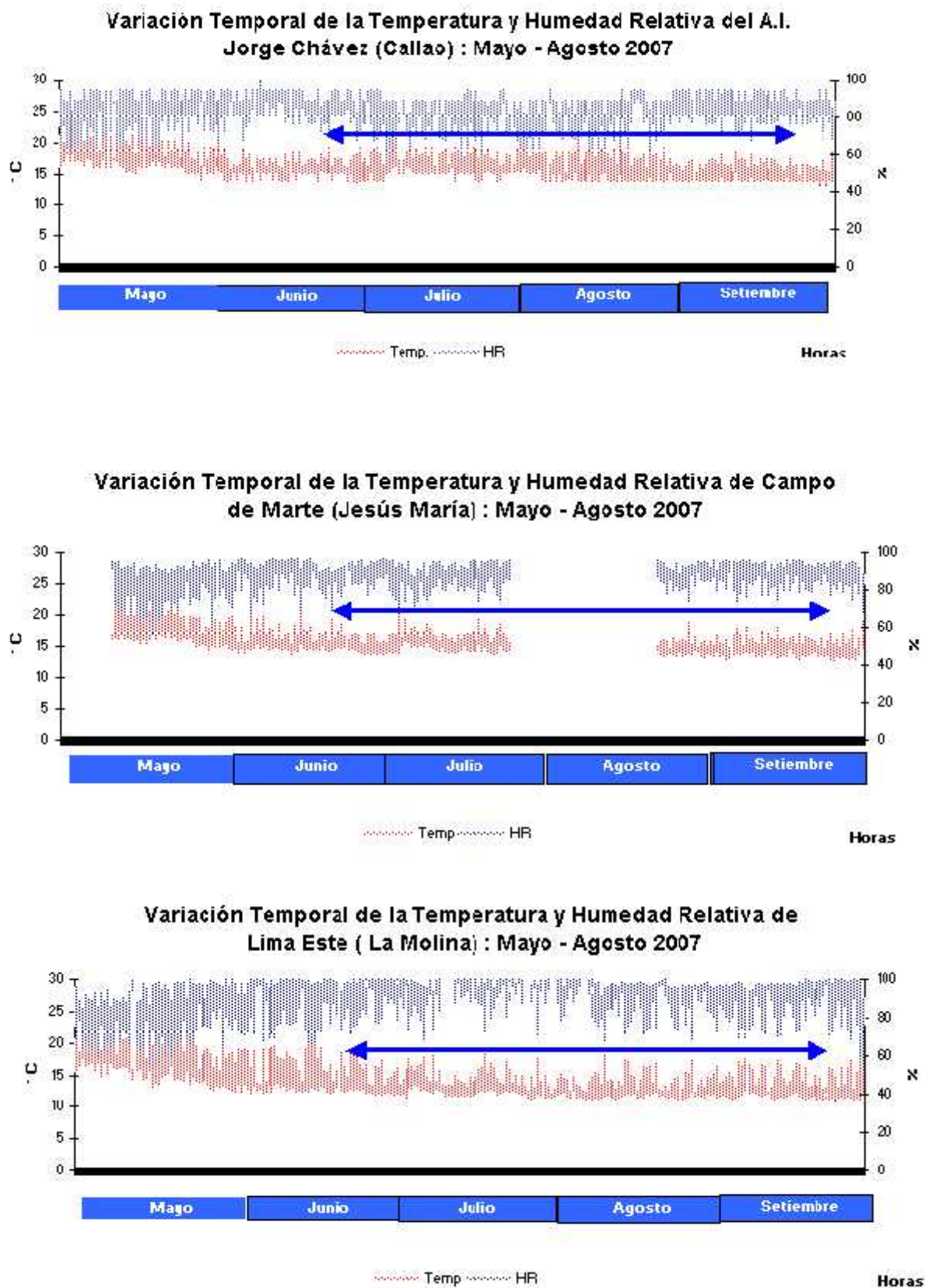


Figura 7.- Variación horaria mensual en invierno de la temperatura y humedad relativa durante para el período mayo – setiembre 2007 en El Callao, Jesús María y La Molina

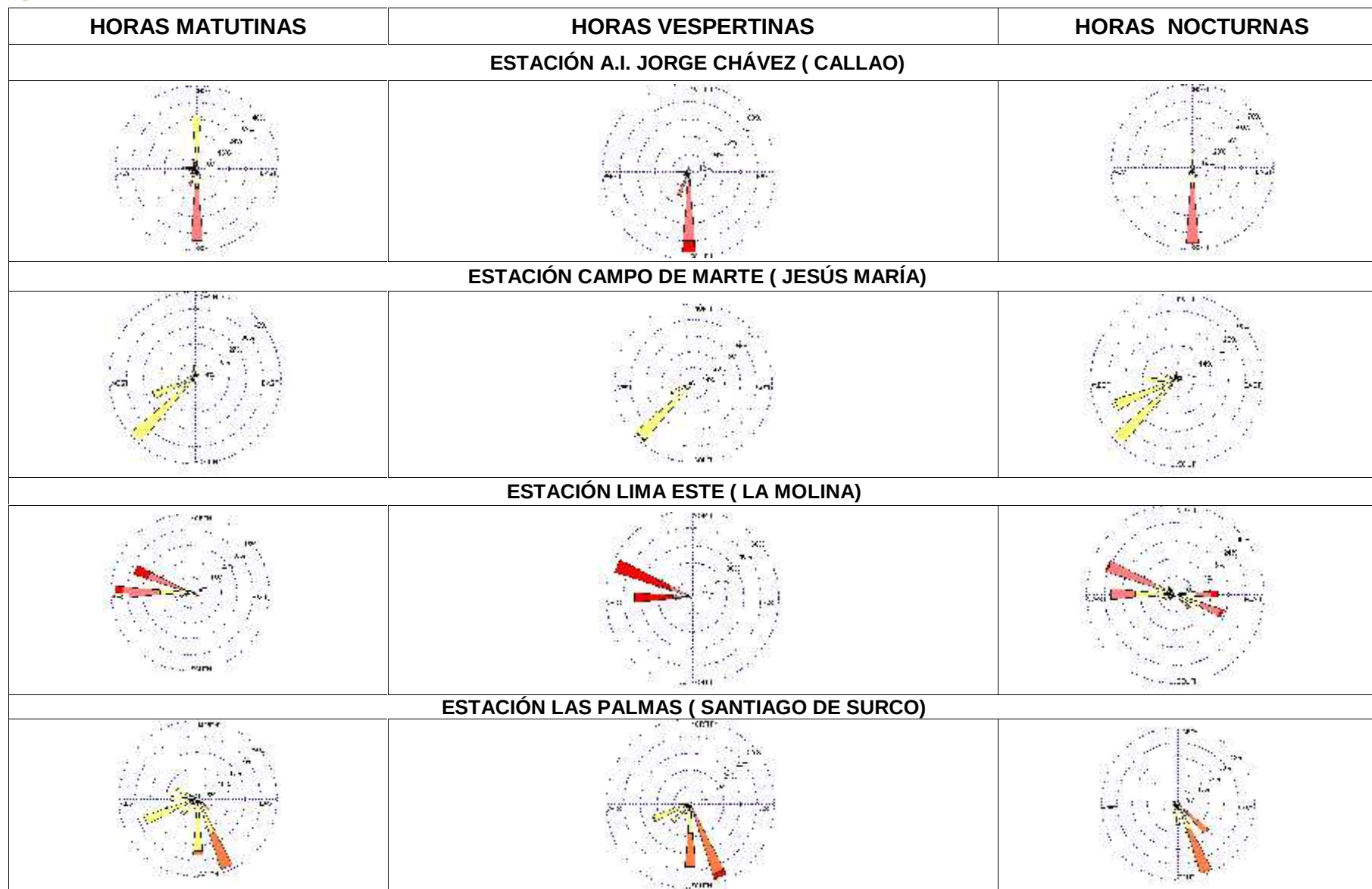


Fig8 – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de El Callao, Jesús María, La Molina y Surco - Setiembre 2007

4. **Perspectivas Ambientales:** Del polvo atmosférico sedimentable

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para setiembre, el comportamiento de la base de la inversión térmica y las tendencias proporcionadas por modelos estadísticos, se prevé para el próximo mes que las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable en promedio se incrementen.

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) con 20,2 t/km²/mes, Lima Centro (Cercado I) con 5,4 t/km²/, Lima Este (Cercado II/ zona este) 20,2 t/km²/mes, Lima Oeste (Callao) con 4,2 t/km²/mes y Lima Sur (VMT) 23,1 t/km²/mes; todas por encima del nivel referencial permisible de la OMS, con excepción de Lima Oeste.

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, 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 setiembre, las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron superiores en los principales núcleos respecto a los registros del mes de agosto. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 22,0 t/km².mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 19,1 t/km².mes; el tercero en Lima sur-este con 19,0 t/km².mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 20,1 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 10,8 t/km².mes, valor superior al del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 27,3 t/km².mes en Ate Vitarte y el mínimo de 2,9 t/km².mes en Lince (km 26).

En cuanto a la nubosidad horaria, fue predominante la nubosidad baja, de tipo estratiforme, con su base entre 300 y 500 m.s.n.m, durante casi todos los días del mes dando como resultante las condiciones de cielo cubierto en la franja de distritos costeros de la Zona Metropolitana de Lima-Callao; excepto en los distritos del este, donde la presencia de algunos días con condiciones de nublado parcial, nubes dispersas y despejado, presencia de

insolación y reactivación de los fenómenos de turbulencia, es el indicativo de la llegada de la estación primaveral.

- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en setiembre fueron de 14,1 ° C y 87 %. Así mismo, el día más cálido fue el 30 de setiembre con una máxima media de 15,0 ° C; y el día 27 como el más frío con un valor de 13,6 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 30 con la mínima media de 81 %, y el más húmedo el 10 de setiembre (91 %).
- ✓ Con respecto al análisis de las intensidades del viento superficial en los períodos analizados, en horas matutinas predominaron vientos de intensidad media débil, con excepción de La Molina; en horas vespertinas, la intensidad media de los vientos fue principalmente tanto débil como moderada; mientras que hacia horas de la noche se registraron intensidades medias débiles. En cuanto a las direcciones predominantes, en las estaciones de El Callao, Jesús María y Surco en horas matutinas estas fueron del S, SW y SSE, hacia las horas vespertinas mantuvieron la componente S, con excepción de Surco, en donde se registraron además vientos del SSE; hacia la noche, mantuvieron su comportamiento similar al matutino. La estación de La Molina presentó vientos de componente W en todas los períodos horarios, con excepción del nocturno, en donde se presentaron además vientos de componente E.

Durante el mes de setiembre, la inversión térmica por subsidencia se mantuvo intensa con su base en promedio alrededor de los 800 m.s.n.m, debido a la intensificación del Anticiclón del Pacífico Sur y por lo tanto del afloramiento marítimo, advección de aire frío del sur y presencia de vientos fuertes, densa nubosidad estratiforme en la franja de los distritos costeros de la Zona Metropolitana de Lima-Callao, donde hubo generación de fina garúa en horas de la mañana y al atardecer; excepto en los distritos del este, donde la presencia de algunos días con condiciones de nublado parcial, nubes dispersas y despejado, presencia de insolación y reactivación de los fenómenos de turbulencia, es el indicativo de la llegada de la estación primaveral.