

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

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

INDICE GENERAL

RESUMEN

1.	Calidad del Aire en La zona Metropolitana de Lima y Callao	3
2.	Metodología	7
3.	Resultados del Monitoreo Ambiental	9
4.	Conclusiones	22

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1-	Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao.	9
Fig. 2-	Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable registrados en febrero y marzo 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 Marzo del 2007.	12
Fig. 4-	Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez. Marzo 2007.	16
Fig.5a-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de marzo del 2007 Ancón y Comas.	16
Fig.5b-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de marzo del 2007 El Callao, El cercado y la Molina.	17
Fig.5c-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de marzo del 2007 en Jesús María y Santiago de Surco.	18
Fig.6-	Variación Temporal de la Temperatura y Humedad relativa horaria media en las estaciones de la red meteorológica automática. Estación de Verano 2007.	19
Fig.7a-	Rosas de viento en las estaciones de Ancón, Comas, Callao y El Cercado. Marzo 2007.	20
Fig.7b-	Rosas de viento en las estaciones de Ancón, La Molina, Jesús María y Surco Marzo 2007.	21

INDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.	4
Cuadro N ° 2. Valores de tránsito.	4
Cuadro N ° 3. Valores referenciales.	5
Cuadro N ° 4. Concentraciones de contaminantes sólidos sedimentables. Meses de febrero y marzo 2007.	10
Cuadro N ° 5. Condiciones Meteorológicas registradas en la Red Automática de Lima-Callao verano 2007.	14

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

RESUMEN

El boletín del mes de marzo muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la zona metropolitana de Lima-Callao, en relación a las condiciones meteorológicas reportadas en la red automática. Así, el 65 % de las estaciones de muestre superaron el valor referencial permisible de la OMS, con una concentración media de PAS para la z.m. de Lima-Callao de 11,3 t/km².mes. Respecto a la evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central, se observó la gradual intensificación del anticiclón del Pacífico Sur y de la inversión térmica por subsidencia; presencia e intensificación de vientos Paracas que no tuvieron influencia significativa en el campo de vientos del medio urbano Lima-Callao; ligera intensificación de la nubosidad horaria baja y media de tipo estratus y estratocúmulos, respectivamente, que varió durante los últimos días del mes a predominancia de nubosidad media; dando paso a días con brillo solar cada vez más limitado y el paulatino descenso de la temperatura media del aire. Sin embargo, las manifestaciones meteorológicas propias del verano siempre estuvieron presentes, tales que, las interacciones de las condiciones descritas, favorecieron los fenómenos de turbulencia y por lo tanto de suspensión y re-suspensión, por lo que las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron aún altas en los núcleos de las zonas críticas pero ligeramente inferiores a su media del mes anterior.

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

De acuerdo a lo citado por Silva *et al* (2004)¹, 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 potenciales.

Una adecuada calidad del aire sólo podrá ser alcanzada a través de la aplicación de instrumentos de gestión ambiental comprendidos en la Ley general del Ambiente N° 28611, entre los que se disponen sistemas de gestión ambiental nacionales, sectoriales, regionales o locales; el ordenamiento territorial ambiental; la evaluación de impacto ambiental; la fiscalización de los estándares nacionales de calidad ambiental del aire; los sistemas de información ambiental; entre otros.

Para proteger la salud, el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM², establece los estándares de calidad ambiental del aire y los lineamientos para alcanzarlos. Así mismo, dentro de los principios que considera la presente norma se encuentran que,

¹ 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.

² CONAM. 2001. Reglamento Nacional de Estándares de la Calidad Ambiental del Aire. Lima, Perú.

- La protección de la calidad del aire es obligación de todos,
- Las medidas de mejoramiento de la calidad del aire se basan en análisis costo-beneficio.
- La información y educación a la población respecto de las prácticas que mejoran o deterioran la calidad del aire serán constantes, confiables y oportunas.

En su Artículo 4 establece los estándares primarios de calidad del aire y los niveles de concentración máxima para los siguientes contaminantes criterio (ver cuadros n ° 1, 2 y 3):

Cuadro N ° 1. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis ¹
		Valor	Formato	
Dióxido de azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo IRND (método automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	
Dióxido de nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (método automático)
Plomo	Anual ²	0.5	Promedio aritmético mensual	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de hidrógeno	24 horas			Fluorescencia UV (método automático)

¹ O método equivalente aprobado ² Determinado en el D.S. N° 069-2003-PCM

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001

Cuadro N ° 2. Valores de tránsito

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis ¹
		Valor	Formato	
Dióxido de azufre	Anual	100	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
PM-10	Anual	80	Media aritmética anual	Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	200	NE más de 3 veces/año	
Dióxido de nitrógeno	1 hora	250	NE más de 24 veces/año	Quimiluminiscencia (método automático)
Ozono	8 horas	160	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (método automático)
Plomo	anual	1.0	Promedio aritmético mensual	Método PM-10 (espectrofotometría de absorción atómica)

¹ O método equivalente aprobado

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001

Cuadro N ° 3. Valores referenciales

Contaminante	Periodo	Forma del estándar		Método de análisis ¹
		Valor	Formato	
PM-2.5	Anual	15		Separación inercial / filtración (gravimetría)
	24 horas	65		

¹ O método equivalente aprobado

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.2001

Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico, NE significa no exceder. El método de análisis puede también ser un método equivalente aprobado.

La actividad antropogénica conjugada con los factores naturales climáticos de permanente aridez de la costa peruana donde se ubica geográficamente la capital, han ocasionado que la calidad del aire, se haya convertido en uno de los mayores riesgos para la salud de la población de la Zona Metropolitana de Lima y Callao³. Así, la primera de las 10 causas de atención hospitalaria en Lima-Callao, corresponde a las infecciones respiratorias agudas. Se ha establecido que la contaminación por partículas aún en mínimas concentraciones causa a corto y largo plazo, disminución de la función pulmonar, lo que ocasiona la presencia de enfermedades crónicas respiratorias y la muerte prematura⁴.

Es importante conocer que dependiendo de su tamaño, las partículas pueden sedimentar o flotar. Los contaminantes sólidos sedimentables, polvo atmosférico o deposición ácida seca incluyen al grupo de partículas de hasta un diámetro de aproximadamente 100u, considerando que el polvo de mayor tamaño tiende a sedimentar rápidamente; de este grupo, las partículas más finas, son las más peligrosas ya que tienen una mayor penetración en el sistema respiratorio. Abundantes trabajos de investigación demuestran la relación directa entre el polvo atmosférico y partículas respirables con enfermedades respiratorias, digestivas, dermatológicas, reumáticas, nerviosas y oculares⁵.

La evaluación de las concentraciones en el aire de uno u otro contaminante es denominada monitoreo atmosférico, para el cual de acuerdo a Martínez *et al* (1997)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.

Dentro de la implementación del Plan nacional "A limpiar el aire", el SENAMHI, en cumplimiento a lo establecido en el D.S. 074-2001-PCM sobre el Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire, lideró y concluyó los trabajos de delimitación de la cuenca atmosférica para cada una de las 13 zonas de atención prioritaria a nivel nacional reconocidas por dicho decreto dentro del marco de elaboración del diagnóstico de línea base, el cual

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 10González, A. ; Vega, F.; Abarca, S. 2000. Programa para mejorar la Calidad del Aire. Tijuana Rosarito. 2000-2005. México D.F.

⁵ Vizcarra Andreu, M. 1992. Tecnósfera. La Atmósfera contaminada y sus relaciones con el público. 246pp. Lima, Perú.

⁶ Martínez, A. Romieu, I. 1997. Introducción al Monitoreo atmosférico. 217pp. México D.F., México.

contempla el monitoreo de la calidad del aire, inventario de emisiones y estudios epidemiológicos.

La delimitación de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana (z.m.) de Lima-Callao se ha realizado en base al comportamiento de los flujos de viento locales y a las configuraciones topográficas, teniendo como límites la curva de nivel de 800 msnm y en la cuenca del Rímac la de 1000 msnm considerando el criterio de crecimiento poblacional hasta esa altitud.

En la z.m. de Lima-Callao se ha identificado tres cuencas hidrográficas con sus respectivas microcuencas atmosféricas (ver **figura 1**) que son las siguientes:

Cuenca del río Chillón

La cuenca del río Chillón abarca los distritos de Ancón, Santa Rosa, Ventanilla, Puente Piedra, Carabaylo, Comas, zona norte-centro de San Martín de Porres, Los Olivos, Independencia y norte del distrito del Callao. Dentro de la cuenca, se configuran las siguientes microcuencas atmosféricas:

Microcuenca de Ancón: distrito de Ancón

Microcuenca de Carabaylo: distrito de Carabaylo

Microcuenca de Collique: distrito de Comas

Cuenca del río Rímac

La Cuenca del río Rímac se extiende a los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, zona centro-sur del Callao, Carmen de la Legua Reynoso, Bellavista, La Punta, Cercado de Lima, Rímac, San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Ate Vitarte, El Agustino, Santa Anita, Breña, Pueblo Libre, Jesús María, La Victoria, San Luis, Lince, La Perla, San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, San Borja, La Molina, Miraflores, Surquillo, Santiago de Surco, Barranco, Chorrillos, San Juan de Miraflores y zona noroeste del distrito de Villa María del Triunfo. Las microcuencas atmosféricas que han sido determinadas son:

Microcuenca de San Juan de Lurigancho: distrito de San Juan de Lurigancho.

Microcuenca de Huaycoloro: distrito de Lurigancho

Microcuenca de Huaycán: distrito de Ate Vitarte

Microcuenca de La Molina: distrito de La Molina

Cuenca del río Lurín

La cuenca del río Lurín abarca los distritos de Cieneguilla, Pachacamac, V. María del Triunfo, Villa El Salvador, Lurín, noroeste de Punta Hermosa, considerando las microcuencas de:

Microcuenca de Manchay: distrito de Pachacamac

Microcuenca de Portillo Grande: distrito de Lurín

Microcuenca por identificar: distrito de Pachacamac

El clima de la cuenca atmosférica de Lima- Callao, como consecuencia de la interacción de tres factores climáticos semipermanentes: a) el Anticiclón del océano Pacífico suroriental, b) la cordillera de los Andes y c) la corriente de Humboldt (fría), es de permanente aridez debido de lo siguiente:

- Establecimiento de un fenómeno de inversión térmica durante todo el año en los niveles bajos de la tropósfera de la costa peruana, por lo general con menor altitud, espesor e intensidad durante los meses de verano (la base a 255 msnm. y el tope a 596 msnm. y muy débil intensidad), evoluciona hasta alcanzar su mayor altitud, espesor e intensidad al final del invierno (con base a 675 msnm. y tope a 1490 msnm. e intensidad de 5°C).
- Temperatura anual multianual, durante el verano, en las zonas cercanas a la costa, oscila entre 20,2 a 25,8°C y entre 19,8 a 28,2°C en los distritos del este. En el invierno varía entre los 15,5 a 18,3°C en las zonas cercanas a la costa y entre 13,1 a 18,6°C en los distritos del este.
- Precipitación media mensual multianual que varía desde 10 mm/año cerca de la línea costera a 40 mm/año en los distritos del este.
- La velocidad del viento superficial varía entre 3 y 5 m/s con 4 a 8% de calmas, de direcciones S, SSW y SSE en la zona costera; en la parte central el viento varía entre 2 y 4 m/s, de direcciones SSW y WSW, con calmas entre 21 a 42%; y en el lado oriental el viento varía entre 3 y 5 m/s, de direcciones W, SSW y WSW con calmas en porcentaje de 20 y 40%.
- En la estación de verano los días tienen más de 50% de horas de sol; y en el periodo promedio desde inicios de otoño hasta finales de primavera, menos de 20%, debido a la nubosidad estratiforme que se debilita solamente durante la estación de verano.

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 37 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 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: estación automática Ancón (Ancón), automática Collique (Comas), automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), automática Cercado II (El Cercado / lado este), automática Lima Este (La Molina), estación automática Campo de Marte (Jesús María) 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.

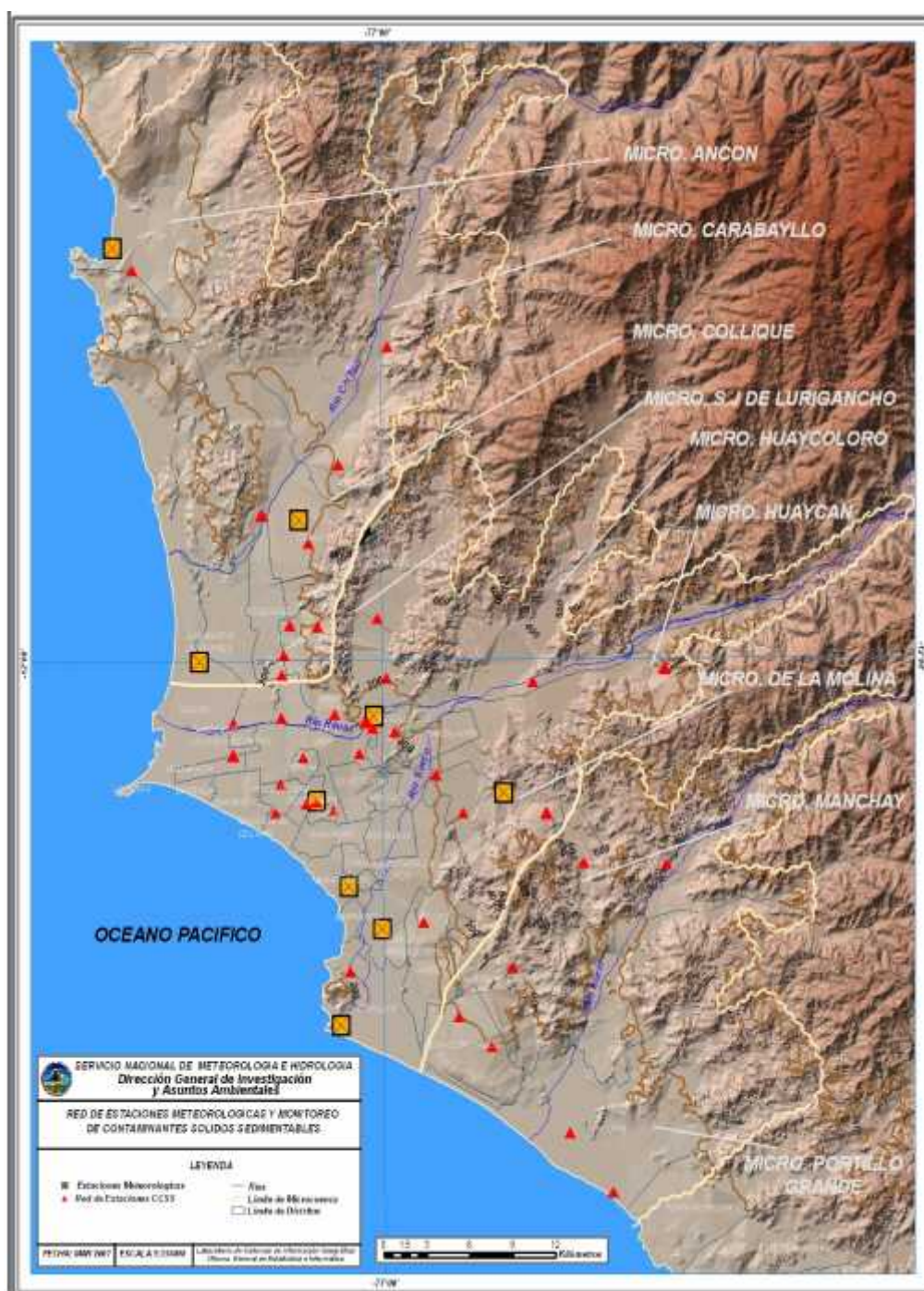


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

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 la zona metropolitana de Lima-Callao. La red de 37 estaciones de monitoreo es presentada en la **figura 1**.

Durante el mes de marzo 2007, el 65 % 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 11,3 t/km².mes, ligeramente inferior a la del mes anterior que fue de 11,5 t/km².mes.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 4**, de forma similar al mes anterior, la media fue ligeramente inferior a la de febrero y los niveles de contaminación en los principales núcleos en marzo fueron en promedio superiores a los registros del mes anterior. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Puente Piedra con 32,1 t/km².mes, y el mínimo de 2,8 t/km².mes en Chorrillos. La dirección predominante de los vientos de S, WSW y SW aunque de intensidad predominantemente débil, en interacción con la rugosidad natural y artificial propia de la configuración limeña local, propiciaron niveles aún altos de deposición de los contaminantes en las zonas críticas, particularmente en Lima norte.

Cuadro N°4. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: febrero y marzo (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 .me s	Min t/km ² .me s
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur			
Febrero 2007	37	68	30,7 (Pte. Piedra)	26,7 (El Agustino, El Cercado; Lurigancho)	21,6 (Pachacamac)	25,7 (V.M.T.; Lurín)	11,5	30,7 (P. Piedra)	1,7 (Bellav.)
Marzo 2007	37	65	32,1 (Pte. Piedra)	24,9 (El Agustino, El Cercado; Lurigancho)	23,1 (Pachacamac)	28,0 (V.M.T.; Lurín)	11,3	32,1 (P. Piedra)	2,8 (Chorr.)

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

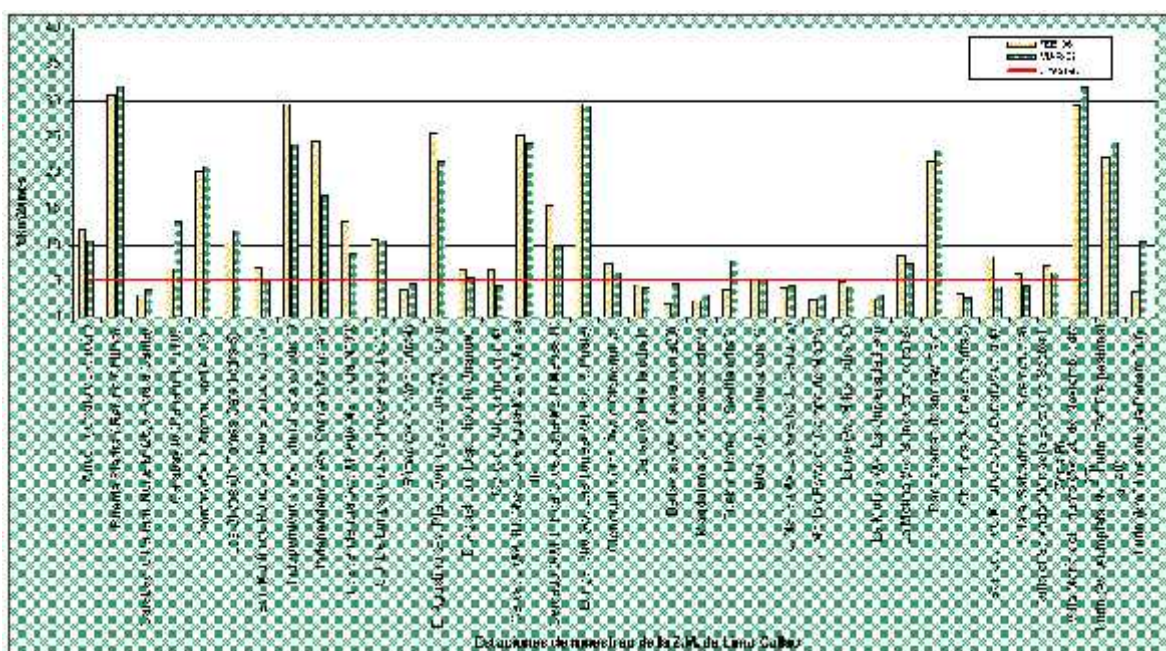


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en febrero y marzo 2007 en Lima-Callao

La configuración urbana local, el incremento de las actividades industriales, comerciales y de servicios sin una política nacional de ordenamiento territorial, así como de un parque automotor en mal estado y una red vial con deficiente mantenimiento y ampliación, en interacción con las condiciones meteorológicas que se presentaron durante marzo, facilitaron la configuración de persistentes zonas críticas de alta contaminación en Lima-Callao, mostrando en el presente mes, una media similar a la del mes anterior, aunque con valores elevados en los núcleos. De acuerdo a lo descrito, en la **figura 3**, para marzo, 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 Puente Piedra tiene un valor de 32,1 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 núcleos fraccionados en: El Agustino, El Cercado y Lurigancho equivalentes a 21,6; 24,0; y 29,2 t/km².mes, respectivamente. El tercer centro ubicado en Lima sureste tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de 23,1 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 también fraccionado en Villa María del Triunfo y Lurín con valores de 31,9 y 24,2 t/km².mes, respectivamente. Los distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales, comprendidos dentro de la estrecha franja amarilla, se mantuvieron por debajo del límite (5 t/km².mes), favorecidos por la influencia de las brisas marinas y políticas de gestión municipal saludables.



Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de marzo del 2007

3.2 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la zona metropolitana de Lima-Callao durante el mes de marzo 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 2.2. 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**, durante el mes de marzo se observó la persistente presencia de nubosidad horaria baja de tipo estratiforme alrededor de 500 m.s.n.m. y nubosidad media de tipo estratocúmulos entre 3000 y 5000 m.s.n.m. hasta el día 25, dando como resultado condiciones de cielo nublado parcial con escasos días con condiciones despejadas. A partir del día 25 hasta fines de mes, si bien la nubosidad baja fue menor, sin embargo, la nubosidad media fue más persistente dando similares condiciones de nublado parcial a nubes dispersas. Las condiciones de insolación siempre estuvieron limitadas con escasos días de plena manifestación cuando las condiciones se presentaron despejadas.

b. De la Temperatura y Humedad Relativa

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 22,9 °C en El Cercado (lado este) a 29,0 °C en Comas y la mínima fluctuó entre 18,4 °C en Surco a 22,1 °C en Ancón; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 22,7 °C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 78 % en La Molina a 98 % en El Cercado; y la mínima osciló entre 46 % en El Cercado a 80 % en Ancón. Ver **figuras 5 a, b y c**; la humedad relativa media fue de 79 %. Desde fines de febrero se observó un decrecimiento paulatino de la temperatura y paulatino incremento de la humedad relativa hasta fines del mes de marzo. Climatológicamente, el 20 de marzo (21 h 07 min.) culminó la estación de verano del Hemisferio sur y se inicia la estación otoñal.

- Con respecto al análisis horario de la información, los valores mínimos de la temperatura del aire se registraron de manera predominante entre las 4:00 y 5:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 12:00 y 15:00 horas. Con respecto a las humedades relativas, la máxima se registró en forma muy variable pero predominantemente en los rangos de 4:00 a 5:00 am; similar comportamiento se presentó en las mínimas con registros entre las 11:00 am. y 16:00 pm.
- El análisis medio de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas: automática Ancón, automática Collique, automática sinóptica y de radiosondaje A.I. Jorge Chávez, automática El Cercado II, automática Lima Este, automática Campo de Marte y

automática Las Palmas, señala el día 20 de marzo como el más cálido con una máxima media de 23,4 ° C y el día 30 como el más frío con un valor de 21,7 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 25 con la mínima media de 75 %, y el más húmedo el 4 de marzo (83 %).

- El análisis de la información meteorológica recopilada de las estaciones de Ancón, Collique, A.I. Jorge Chávez, Lima Este, Campo de Marte y Las Palmas, climatológicamente la estación de verano iniciada en el hemisferio sur el 21 de diciembre (19 h 22 min.) y culminada el 20 de marzo (21 h 07 min.) mostró el claro descenso de las temperaturas desde fines del mes de febrero. Ver **figura 6**. El promedio de temperatura y humedad relativa para la estación fue de 22,6°C y 79 %. La temperatura máxima y mínima se registró en los meses de febrero y diciembre en la estación de Collique con valores de 30,4 ° C y 16,8 ° C, respectivamente; mientras que la humedad relativa máxima fue de 100% registrada en Las Palmas durante el mes de enero, y una mínima de 47 % en las estaciones de Lima Este y Collique durante el mes de febrero. Ver **Cuadro N ° 5**.

CUADRO N ° 5. CONDICIONES METEOROLÓGICAS REGISTRADAS EN LA RED AUTOMÁTICA DE LIMA-CALLAO DURANTE VERANO 2007

Estación Verano	Temp (° C)			Humedad Relativa (%)		
	Promedio	Máxima	Mínima	Promedio	Máxima	Mínima
Ancón	22.5	20.9	19.3	73	90	52
Collique	22.8	30.4	16.3	76	97	47
A.I. Jorge Chávez	22.9	30.0	19.5	78	94	48
Lima Este	21.7	28.9	18.1	79	99	47
Campo de Marte	22.9	29.8	19.1	70	97	51
Las Palmas	22.5	29.9	19.4	80	100	48
PROMEDIO	22.6	29.7	18.7	79.0	98.0	53.0

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de marzo es presentada en las **figuras 7a y b** para el período diurno (07:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente.

- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), predominaron vientos de intensidad media débil (1,4 – 3 m/s) en los distritos de Ancón, El Callao, El Cercado, Jesús María y Surco provenientes del NW y W (23 y 20 %), S y SSW (51 y 18 %), SSW y SW (45 y 32 %), WSW y SW (76 y 12 %) y del WSW y S (28 y 27 %), respectivamente. Mientras que intensidades medias moderadas se presentaron en Comas de componentes SW y WSW (75 y 17 %) e intensidades medias fuertes en La Molina provenientes del WNW y W (52 y 39 %), respectivamente. Sólo en El Callao se registraron ocurrencias de calmas superiores al 10%.

Las distribuciones de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, predominaron intensidades principalmente débiles; y fuertes en la estación Lima Este (La Molina).

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se registró vientos de intensidad media débil (menor a 3,0 m/s) en las estaciones de Ancón, Comas, El Cercado, La Molina, Jesús María y Surco de componentes NNW - NW y W (15 y 13 %), SW y WSW (56 y 30 %), SSW y S (52 y 12 %), WNW y W (32 y 29 %), WSW y W (52 y 11 %) y del SSE y S (59 y 27 %). En el Callao, se registraron vientos medios moderados de componentes S y SSE (72 y 15%). No hubo ocurrencia significativa de calmas.

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial se presentan también en la **figura 7**. Predominaron intensidades en promedio débiles en las estaciones analizadas.

D. Del perfil de la tropósfera

Climáticamente, en la Costa Central del Perú, la base de la capa de inversión térmica por subsidencia, correspondiente al mes de marzo se configura muy débilmente en horas de la mañana alrededor de los 300 m.s.n.m y desaparece desde antes del mediodía. Sin embargo, durante el presente mes de marzo 2007, de acuerdo a información disponible sobre la evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, se observó la gradual intensificación del anticiclón del Pacífico Sur; presencia e intensificación de vientos Paracas; intensificación del afloramiento marítimo; ligero incremento de la nubosidad horaria baja y media de tipo estratus y estratocúmulos, respectivamente, que varió durante los últimos días del mes a predominancia de nubosidad media; dando paso a días con brillo solar cada vez más limitado y el paulatino descenso de la temperatura media del aire; manifestaciones que en conjunto constituyen indicativos de la gradual intensificación de la inversión térmica por subsidencia, pero sin mayores influencias aún, sobre el campo de vientos locales dentro de la cuenca atmosférica de Lima-Callao. Pese a las condiciones descritas, las manifestaciones meteorológicas propias del verano siempre estuvieron presentes, pero cada vez con menos intensidad y frecuencia, tales que, favorecieron los fenómenos de turbulencia y por lo tanto de suspensión y re-suspensión, por lo que las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron aún altas en los núcleos de las zonas críticas pero ligeramente inferiores a su media del mes anterior.

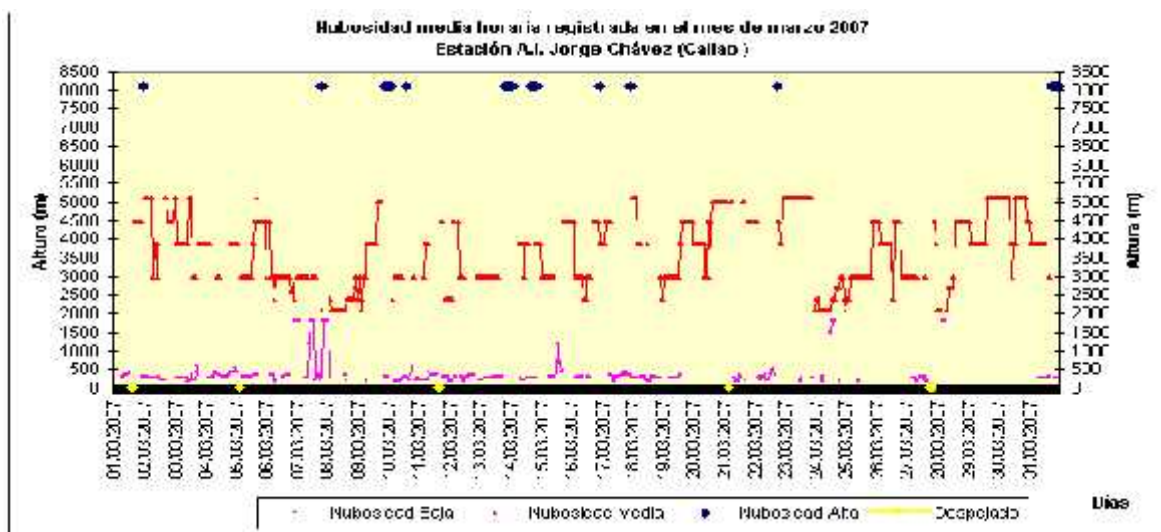


Figura 4. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez. Marzo 2007

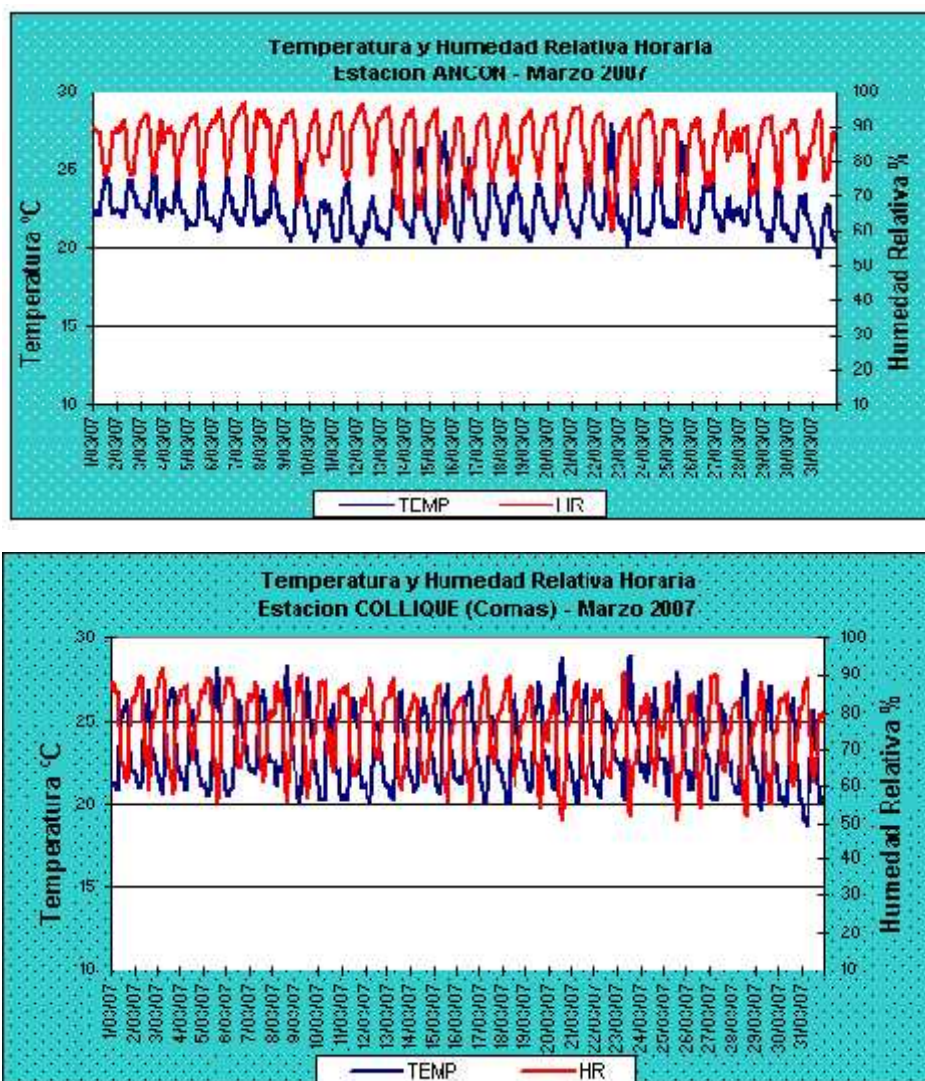


Figura 5a.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de marzo del 2007 Ancón y Comas

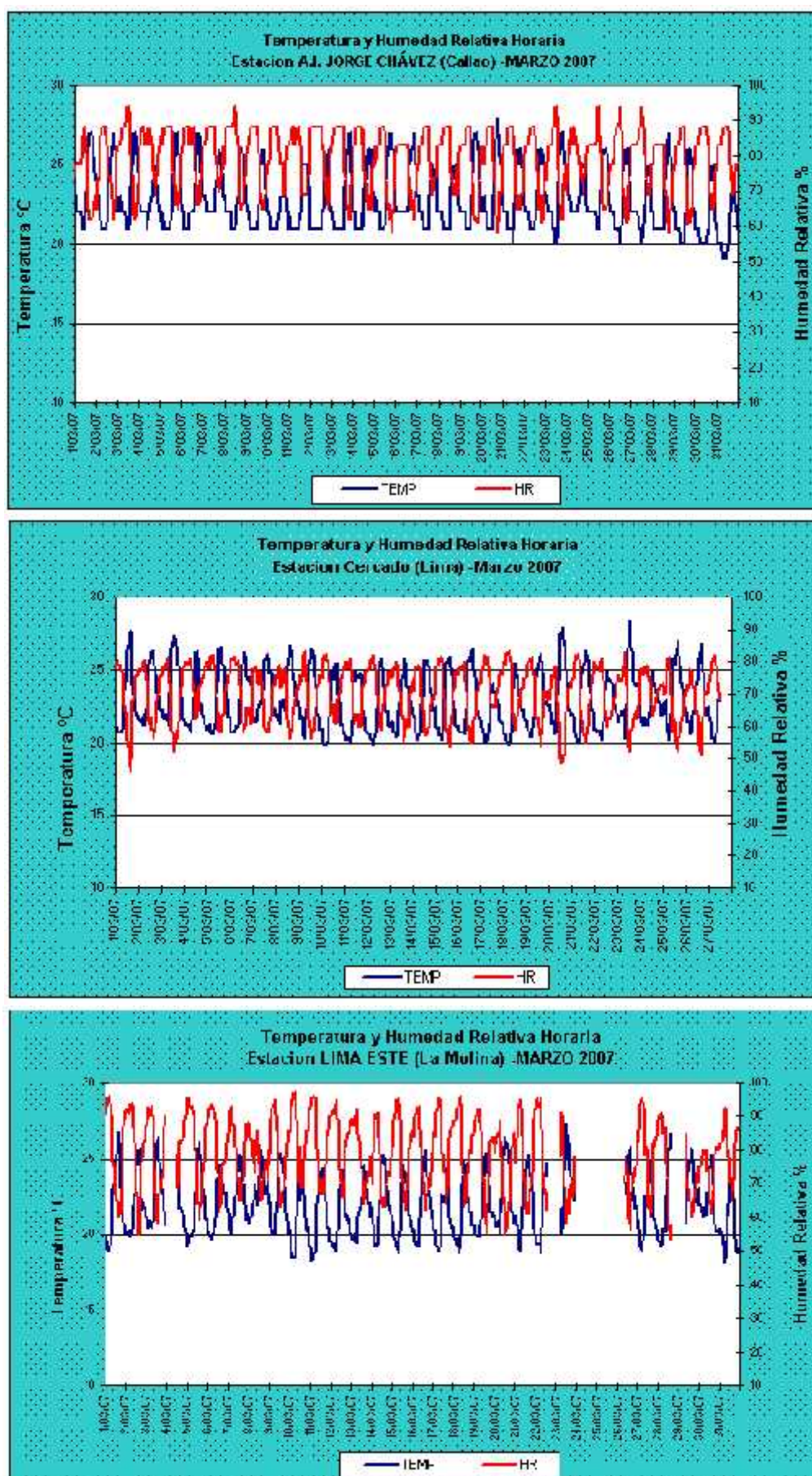


Fig.5b.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de marzo del

2007 El Callao, El cercado y la Molina

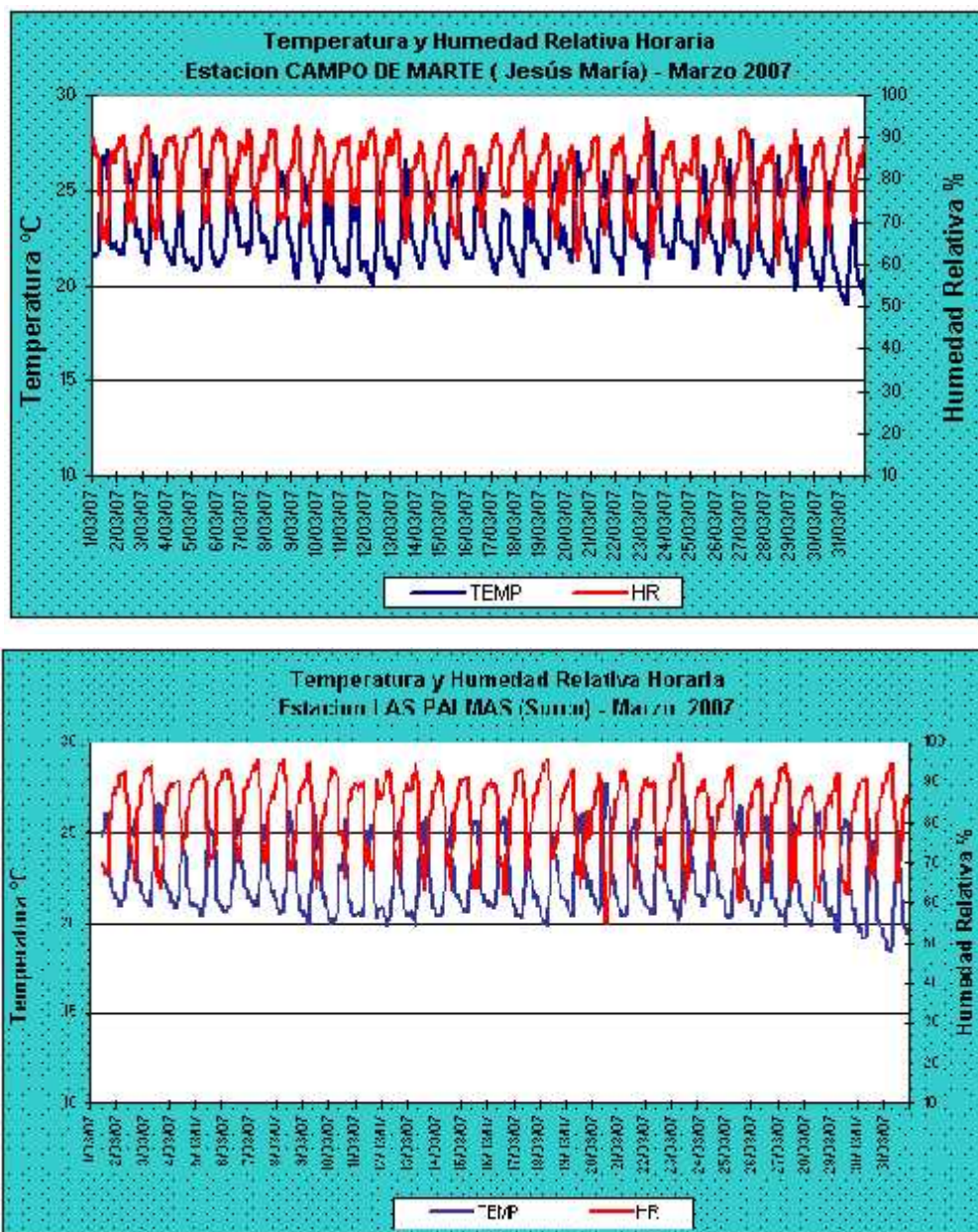


Fig.5c.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de marzo del 2007 en Jesús María y Santiago de Surco

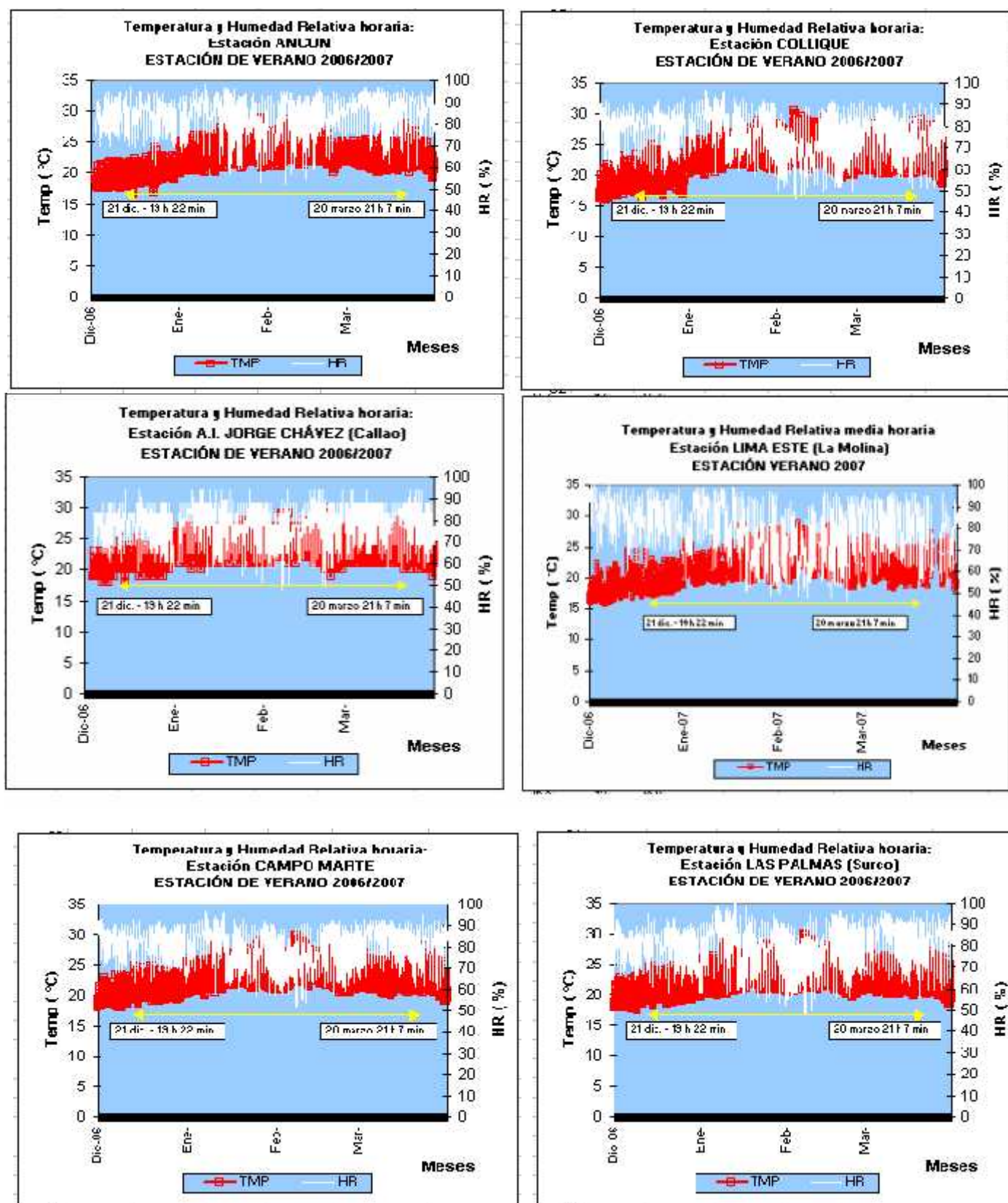
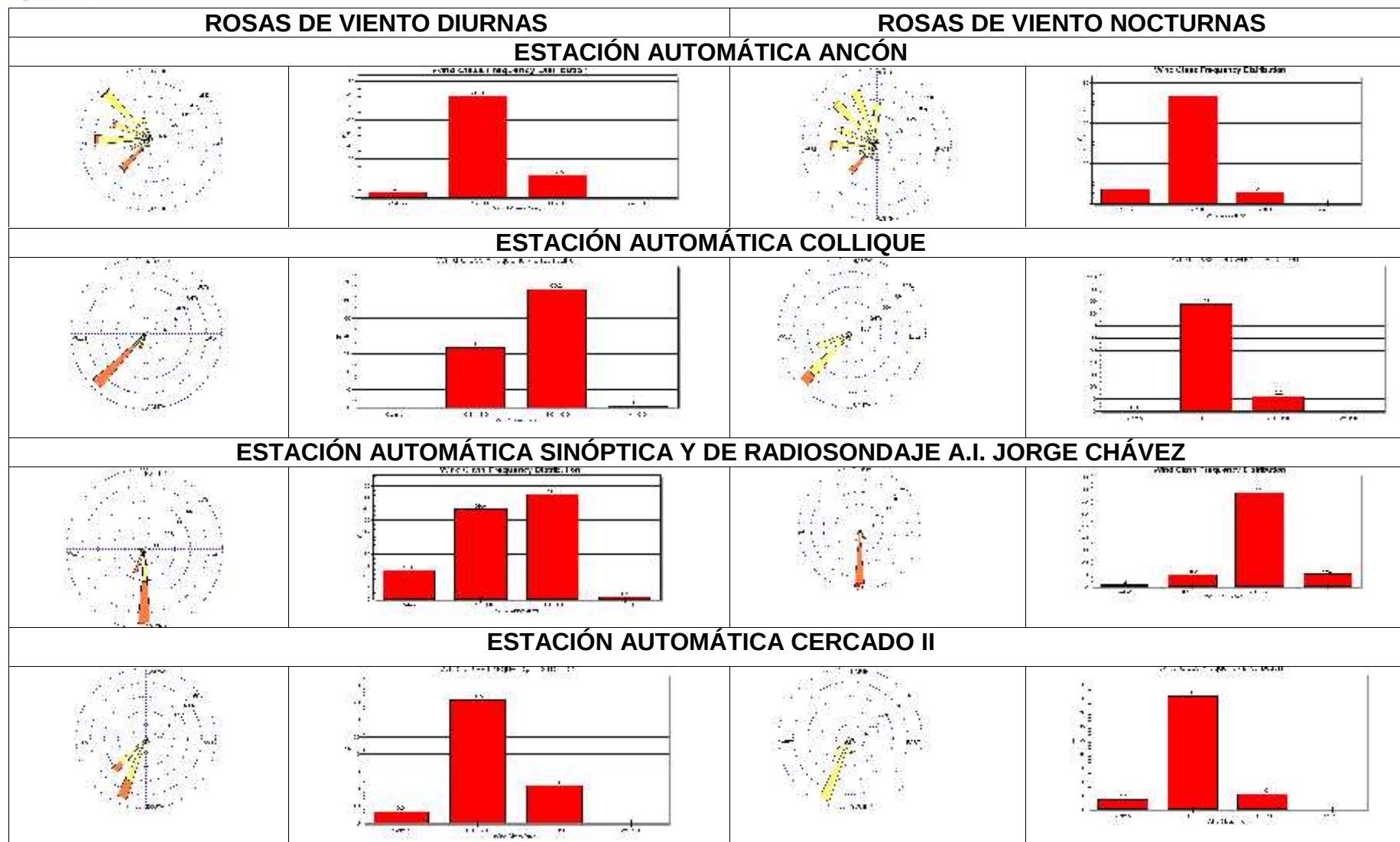


Figura 6. Variación Temporal de la Temperatura y Humedad relativa horaria media en las estaciones de la red meteorológica automática. Estación de Verano 2007



**Fig7a – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Ancón, Comas, Callao y El Cercado
Marzo 2007**

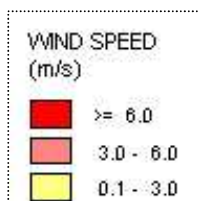
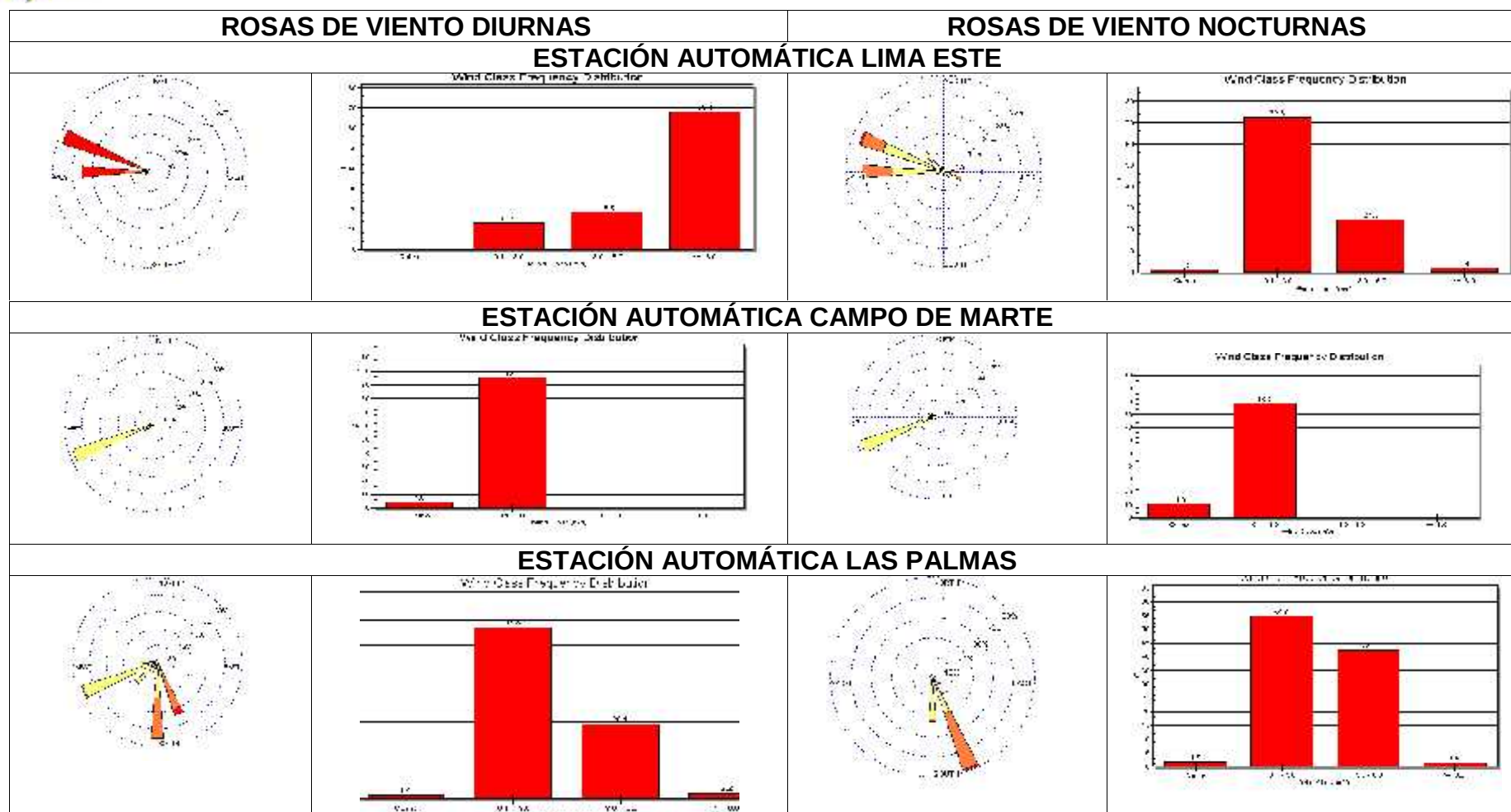


Fig7b – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de Ancón, La Molina, Jesús María y Surco Marzo 2007

4. Conclusiones

- ✓ Para el mes de marzo, las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable fueron en promedio superiores en los principales núcleos respecto a los registros del mes de febrero. La configuración resultante muestra 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte de la ciudad con 32,1 t/km².mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 24,9 t/km².mes; el tercero en Lima sur-este con 23,1 t/km².mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 28,0 t/km².mes.
- ✓ El 65 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 11,3 t/km².mes, valor ligeramente inferior al del mes anterior; el valor máximo registrado fue de 32,1 t/km².mes en Puente Piedra y el mínimo de 2,8 t/km².mes en Chorrillos.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en marzo fueron de 22,7 °C y 79 %. Así mismo, el día más cálido fue el 20 con una máxima media de 23,4 °C; y el 30 el más frío con una mínima media de 21,7 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 25 con la mínima media de 75 %, y el más húmedo el día 4 (83 %).
- ✓ Del análisis de la estación de verano, iniciada el 21 de diciembre (19 h, 22 min) y culminada el 20 de marzo (21 h 07 min), se refiere el claro descenso de las temperaturas desde fines del mes de febrero. El promedio de temperatura y humedad relativa para la estación fue de 22,6°C y 79 %.
- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, fue predominante la nubosidad baja, de tipo estratiforme, alrededor de 500 m.s.n.m, y media de tipo estratocúmulos; a partir del día 25 hubo incremento de nubosidad media mucho más persistente favoreciendo condiciones de cielo nublado parcial a nubes dispersas.
- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial en los períodos analizados, la intensidad media de los vientos fue principalmente débil (< 3,0 m/s) de componente predominantemente del S, WSW y SW.
- ✓ La evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, permitió observar la gradual intensificación del anticiclón del Pacífico Sur; presencia e intensificación de vientos Paracas; intensificación del afloramiento marítimo; ligero incremento de la nubosidad horaria baja y media de tipo estratus y estratocúmulos; brillo solar cada vez más limitado y el paulatino descenso de la temperatura media del aire; gradual

intensificación de la inversión térmica por subsidencia; manifestaciones que todas en conjunto favorecieron altas concentraciones de polvo atmosférico sedimentable, en promedio, ligeramente inferiores a las del mes anterior.