

IV. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/JULIO-2006

Elaborado por:

Ing. José Silva Cotrina

Ing. Zarela Montoya Cabrera

SO1 FAP Rigoberto Durán M.

Durante el mes de julio, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología organizó el taller internacional “Pronóstico de la Calidad del Aire en ciudades de Latinoamérica” en su sede central del 10 al 14 de julio del presente año, auspiciado por la Organización Meteorológica Mundial – OMM, al cual asistieron representantes de diversos países de Latinoamérica responsables de las investigaciones en pronóstico de la calidad del aire. En dicho curso se señalaron las pautas base para la modelación de la contaminación atmosférica y los principios que se deben tomar en cuenta para las investigaciones en el pronóstico de la calidad del aire. La experiencia recogida ha permitido afianzar los conceptos, metodologías y herramientas de trabajo sobre el monitoreo y pronóstico de la calidad del aire en el mediano plazo.

Con respecto a la edición mensual, el boletín muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico o sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao, en relación a las condiciones meteorológicas imperantes durante julio. Las concentraciones del polvo atmosférico fueron superiores al valor referencial permisible de la OMS en un 54%, e inferiores al mes anterior. La concentración media de CSS para la z.m. de Lima-Callao fue de 10,0 t/km².mes. En cuanto a las condiciones meteorológicas, predominó cielo nublado con escasas horas de brillo solar hacia el mediodía y lloviznas aisladas que determinan que los procesos de turbulencia del aire y por ende los fenómenos de suspensión y re-suspensión se vean debilitados.

4.1 Cuenca atmosférica Lima-Callao

La cuenca atmosférica es una región geográfica, delimitada por los obstáculos topográficos de origen natural (líneas costeras, formaciones montañosas, etc.), divisiones políticas y uso de la tierra, de tal manera que dentro de ésta se modifica la circulación general de la atmósfera sobre la superficie (capa límite de la atmósfera), dando lugar a la formación de un campo de vientos locales, diferentes del flujo de la atmósfera libre.

Este campo de vientos es el responsable de los procesos de transporte y dispersión de los contaminantes del aire dentro de la cuenca.

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 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:

4.1.1 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

4.1.2 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

4.1.3 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 Pacahacamac

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 júlior 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 la 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.

4.2 Metodología

4.2.1 Monitoreo del polvo atmosférico ó contaminantes sólidos sedimentables (CSS)

La información empleada para el análisis corresponde a la obtenida de la red de muestreo de polvo atmosférico compuesta por 35 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.

4.2.2 Monitoreo de contaminantes gaseosos

La evaluación horaria, diaria y mensual de los gases contaminantes del aire (CO , SO_2 , O_3 y NO_x) 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 analizadores automáticos de ozono troposférico modelo API 400A, monóxido de carbono API 300, dióxido de azufre API 100A, óxidos de nitrógeno API200E. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232, Ethernet (NO_x) y software API COM para analizadores. 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”.

4.2.3 Información Meteorológica

Evaluación de las condiciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima-Callao. Para el presente informe se ha utilizado la información proveniente de: estación automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación climatológica Campo de Marte (Jesús María) y estación climatológica 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.

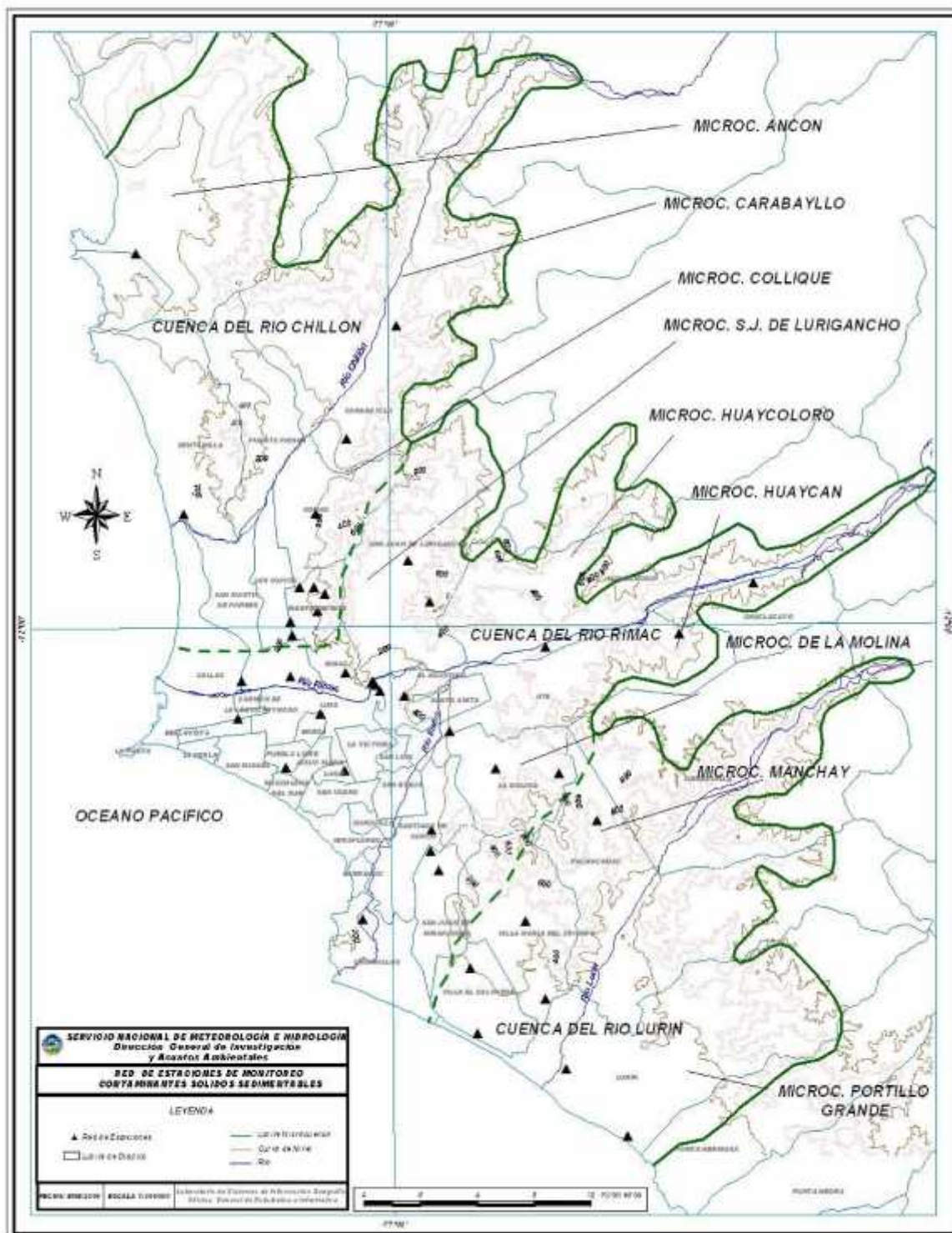


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

4.3 Resultados del monitoreo ambiental

4.3.1 Distribución espacial del polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS) durante el mes de julio

La red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS) es presentada en la **figura 1**. En el mes de julio, el 57,1% de las estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao excedieron el valor referencial permisible recomendado por la OMS (equivalente a 5 t/km².mes). Las concentraciones máximas, se registraron en los distritos de Lurigancho, Pachacamac, Independencia y Villa María del Triunfo, zonas este, sur-este, norte y sur respectivamente, y que han sobrepasado aproximadamente en 4 veces en su conjunto el valor referencial permisible.

De acuerdo a lo observado en el **cuadro N° 1**, los niveles de contaminación fueron inferiores en promedio a los principales núcleos. La concentración media de CSS para la z.m. de Lima-Callao fue de 10 t/km².mes, inferior a la obtenida el mes de junio que fue de 13,0 t/km².mes.

Cuadro N°1. Concentraciones de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables: junio y julio (t/km².mes)

Concent t/km ² .mes	N° estac	% de estaciones Sobrepasan nivel ref.	Núcleos principales (puntuales y promedios)			
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur-este	Cono Sur
junio	37	78	34,5 (Pte. Piedra)	21,9 (SJL; El agustino, El Cercado;Lurigancho)	22,7 (Pachacamac)	21,9 (V.M.T.; Lurín)
julio	35	57	21,4 (Independencia)	16,9 (SJL; El agustino, El Cercado;Lurigancho)	21,7 (Pachacamac)	19,1 (V.M.T.; Lurín)

En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en Lurigancho con 22,3 t/km².mes, zona con una densidad vehicular bastante alta y un mal estado de las pistas por donde transitan vehículos pesados; y el mínimo de 2,1 t/km².mes en La Molina, de forma muy puntual. En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de junio y julio 2006.

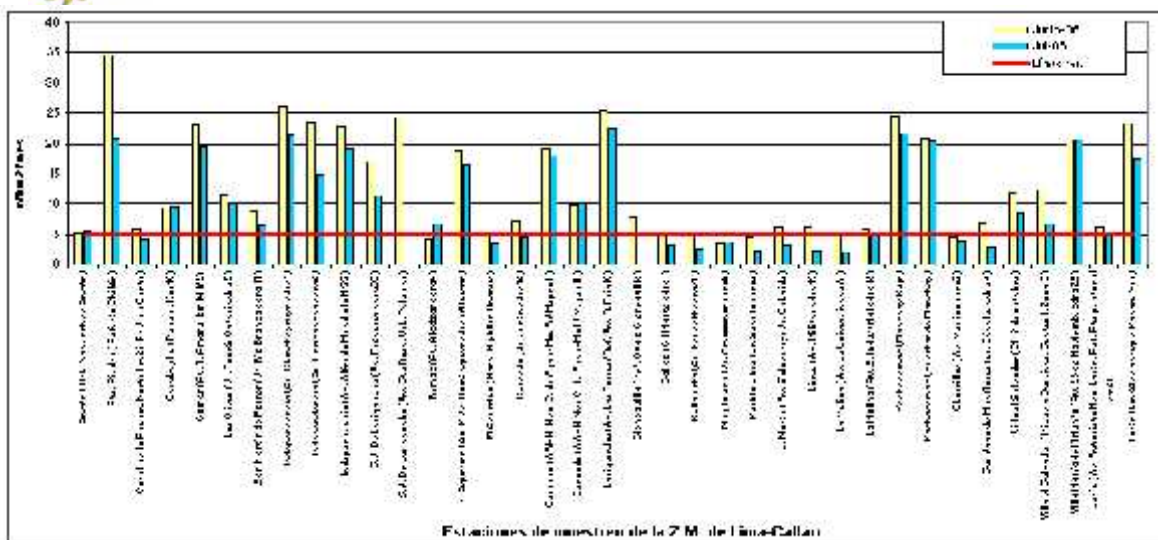
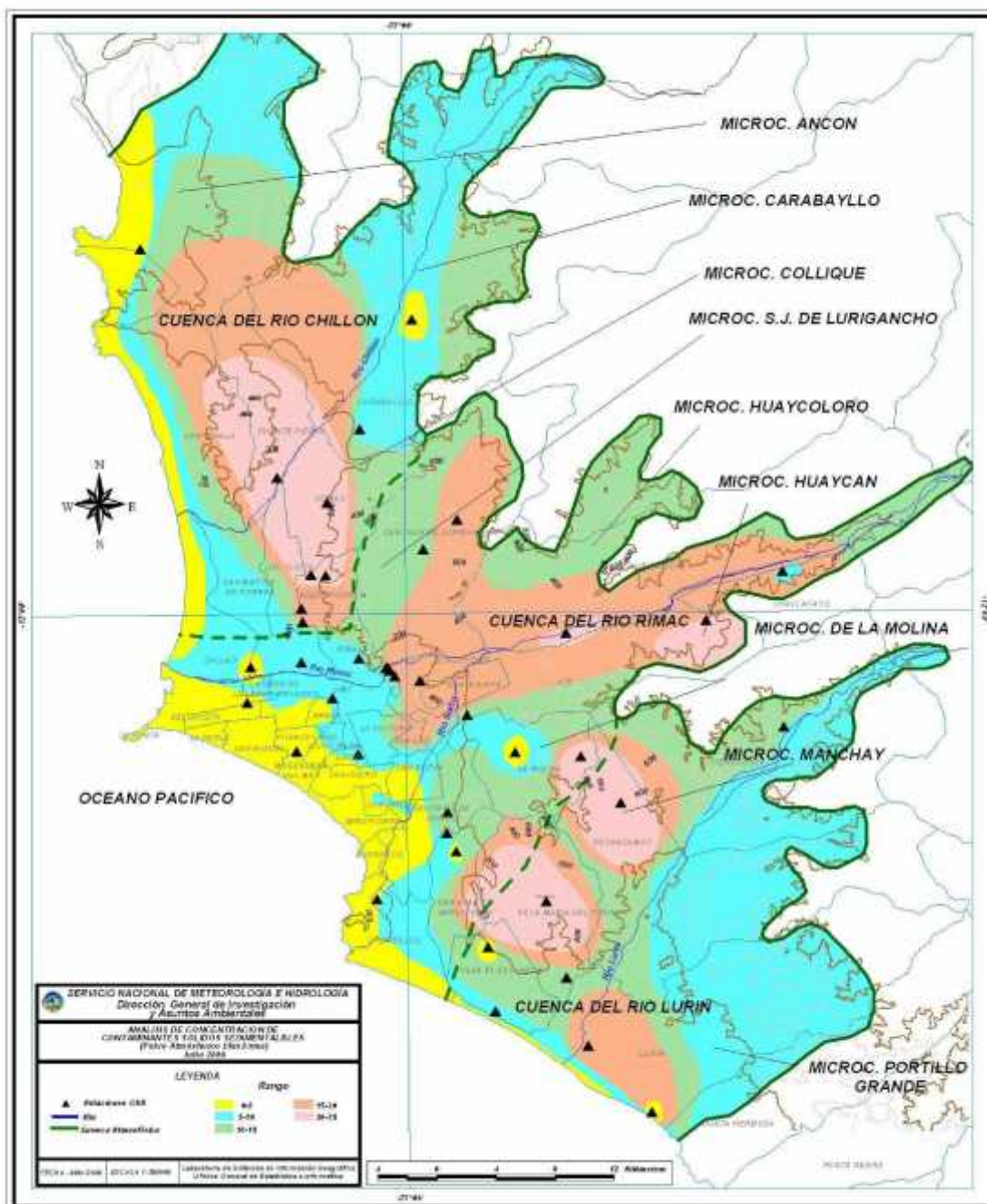


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en junio y julio 2006 en Lima-Callao

En la **figura 3** se observa la distribución espacial de los contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao, en donde sólo la estrecha franja amarilla señala aquellas estaciones cuyos registros de concentraciones de polvo atmosférico se mantuvieron por debajo del límite ($5 \text{ t/km}^2.\text{mes}$), y está constituida por los distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales favorecidos por la influencia de las brisas marinas que fluyen hacia el este propiciando la dispersión y/o por la aplicación de políticas municipales que permiten mantener índices adecuados de vegetación, así como pistas y veredas en buen estado, adecuada gestión de los residuos sólidos, entre otros, de tal forma que el fenómeno de la re-suspensión se ve limitado. En julio, las 4 principales zonas o áreas críticas de acumulación de este contaminante presentan la siguiente configuración: hacia el cono 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 $21,4 \text{ t/km}^2.\text{mes}$. El segundo centro abarca el cono centro-este (cuenca del río Rímac y microcuenca 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 $16,4$; $17,9$; y $22,3 \text{ t/km}^2.\text{mes}$, respectivamente. El tercer centro ubicado en la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay) con valor de $21,1 \text{ t/km}^2.\text{mes}$; mientras que el cuarto centro en el cono 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 $20,7$ y $17,5 \text{ t/km}^2.\text{mes}$, respectivamente.



4.4.1. Análisis de 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 17,1 °C a 23,8 °C en El Callao y la mínima osciló entre 15,1 °C en el Callao a 19 °C en Jesús María; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 18,2 °C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 77 % en Jesús María a 100 % en Surco; y la mínima osciló entre 63 % en Surco a 91 % en el Callao. Ver **figuras (4 y 5a,b)**; la humedad relativa media fue de 82,4 %. Este mes se ha caracterizado por presentar días nublados con escasas horas de brillo solar hacia el medio día, lloviznas aisladas y una sensación de alta humedad atmosférica.
- 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 14:00 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 12:00 y 18:00 pm.
- El análisis medio de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas, como son Met. Sinópt. A.I. Jorge Chávez, CP. Campo de Marte y CO. Las Palmas, señala los días 4 y 5 de julio como los más cálidos con una máxima media de 20,0 °C y el día 19 como el más frío con un valor de 17,1 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 25 con la mínima media de 74,9 %, y el más húmedo el 19 (aunque no se alcanzó la saturación) con 90,2 %.

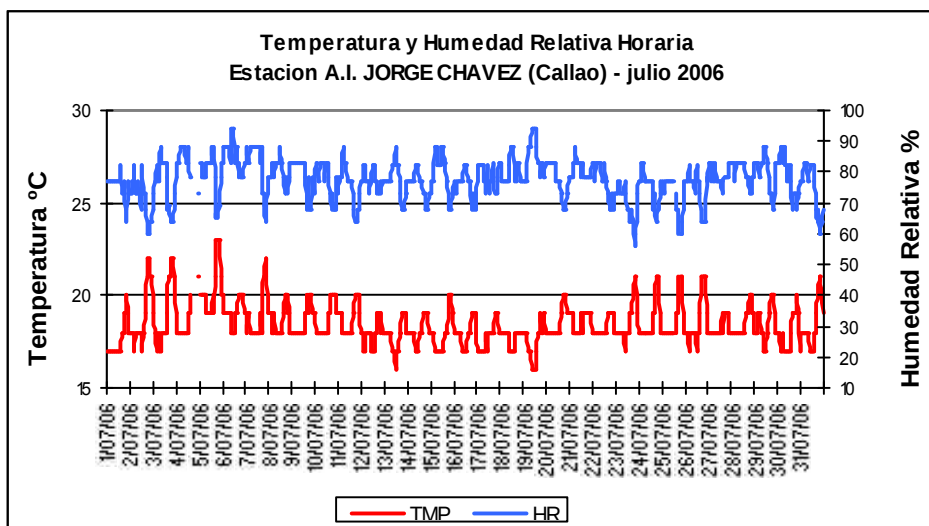


Fig.4.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2006 en El Callao

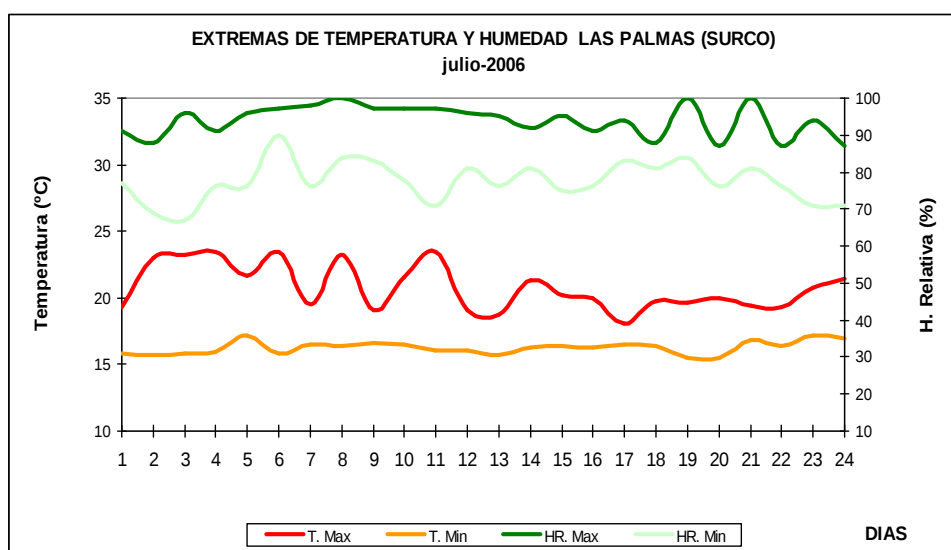
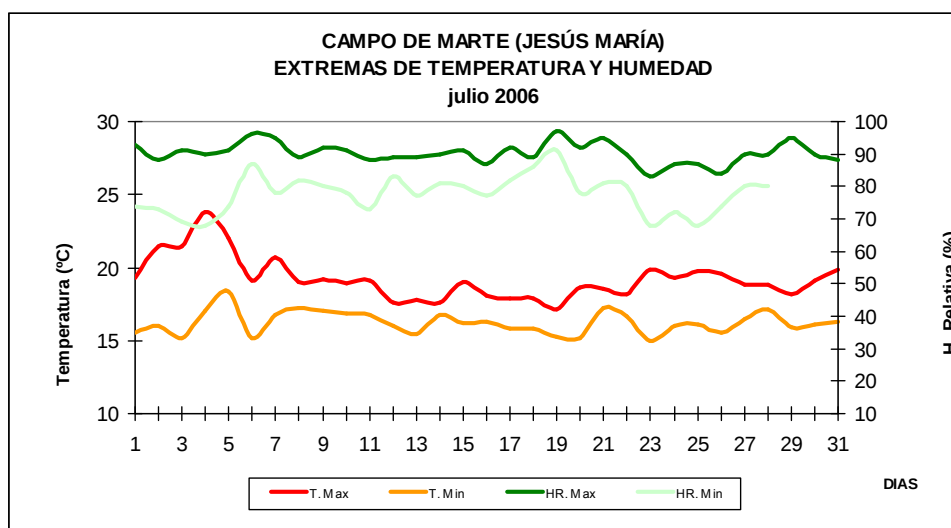


Fig.5a y b.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2006 en Jesús María y Surco, respectivamente

4.4.2 Análisis del viento superficial en la zona metropolitana de Lima-Callao

La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de julio es presentada en las **figuras 6 y 7** 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 (alrededor de 2.0 m/s) en todas las estaciones analizadas (Callao, Campo de Marte, Las Palmas y Pantanos de Villa) provenientes del S y SSE (33 y 11%); SW (69,4 %); S y SSE (17,1 y 7,3 %), respectivamente. Se registraron calmas en el Callao (29,5 %), Jesús María (25,8 %) y Surco (63,4 %).

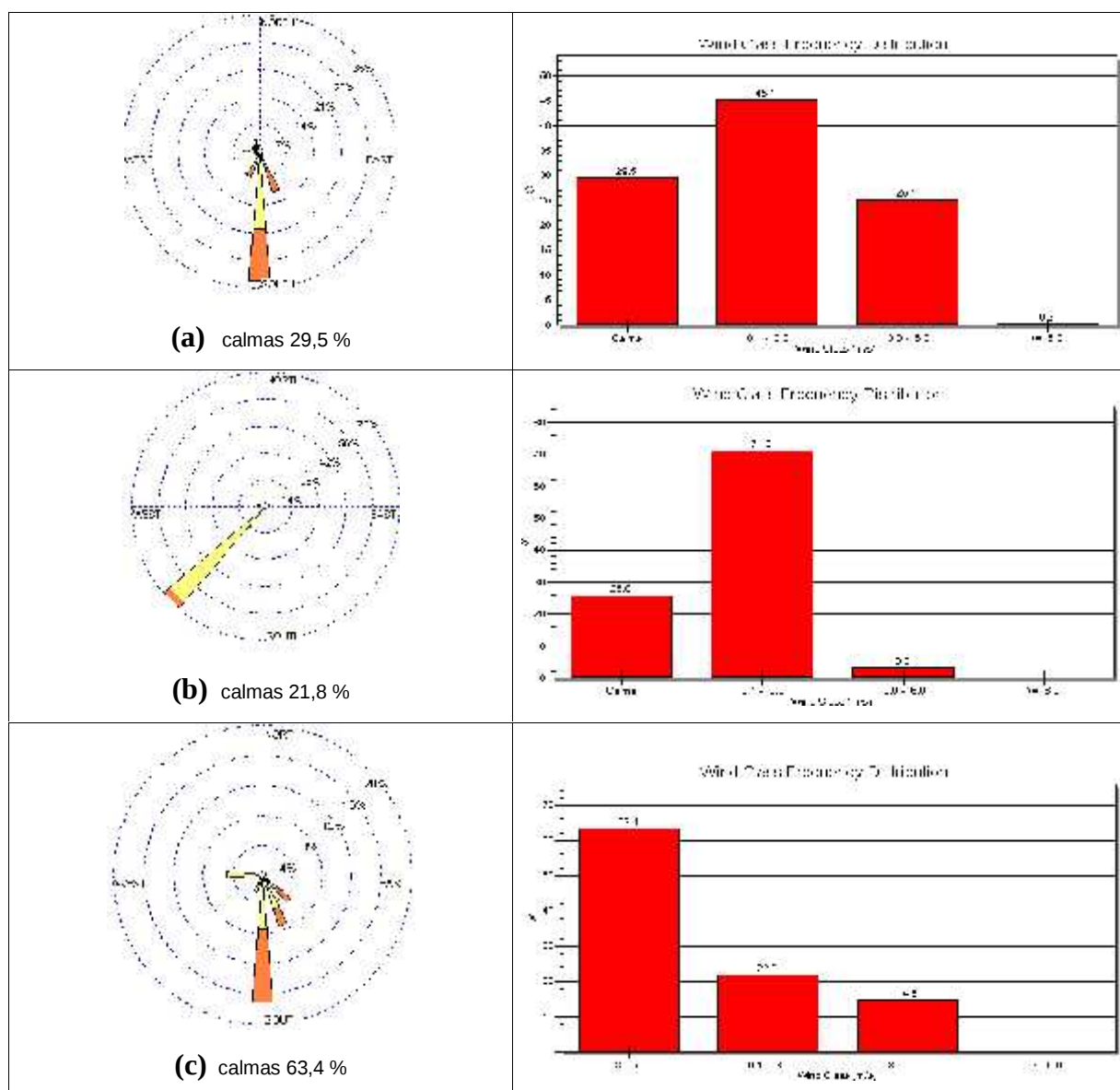
La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 6**. Así, predominaron intensidades débiles en promedio en las estaciones, con un alto porcentaje de ocurrencia de calmas.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) de forma similar al día, predominaron vientos de intensidad media débil. se reportaron vientos de intensidad media débil (alrededor de 2.5 m/s) de dirección S y SSE (60 y 13 %); SW (67,7 %); S y SW y SE (51,7 y 17,2 y 17,2 %), respectivamente. Se registraron calmas en el Callao (10,6 %), Jesús María (32,3 %) y Surco (39,1 %).

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

4.4.3 Análisis de la temperatura y vientos en el perfil de la tropósfera de la costa central del Perú

Climáticamente en la Costa Central del Perú, la capa de inversión térmica por subsidencia correspondiente al mes de julio se muestra muy bien configurada en la mayor parte de los días con su base por encima de los 800 m.s.n.m; las condiciones climático-meteorológicas que ocasionan la formación de un techo nuboso estratiforme por debajo de la base de dicha inversión, disminuyen la entrada de radiación solar y se manifiestan en una disminución de los procesos de turbulencia y éstos a su vez en una disminución de los procesos de suspensión y re-suspensión por lo que las concentraciones de polvo atmosférico han mostrado su valores más bajos de lo que va de la estación de invierno.



WIND SPEED
(m/s)

- >= 6.0
- 3.0 - 6.0
- 0.1 - 3.0

Calms: 0.30 %

Fig.6 – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia diurnas de las estaciones de (a)Callao,(b) Jesús María, (c) Surco - Julio 2006

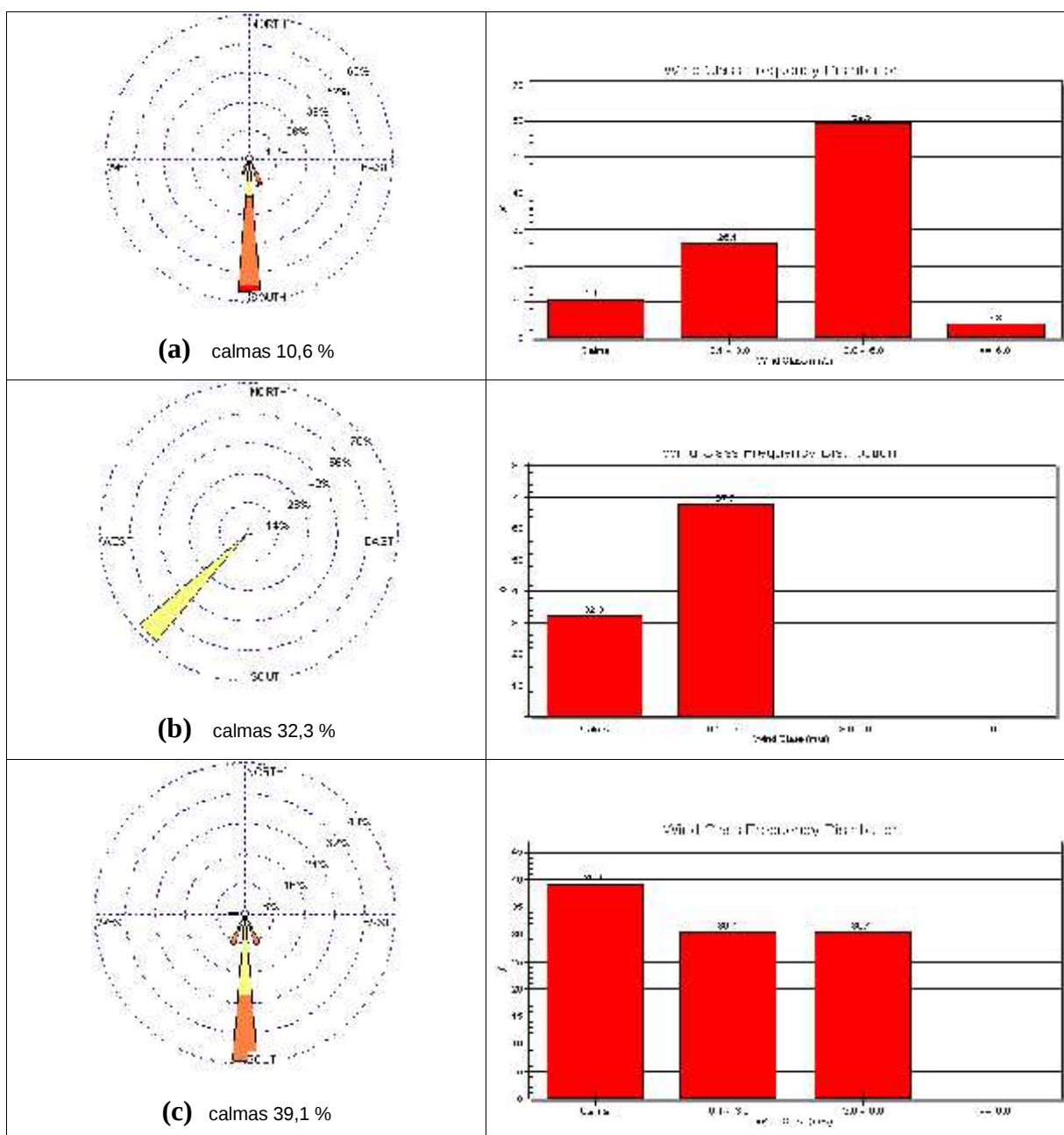


Fig.7 – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia nocturnas de las estaciones de (a)Callao,(b) Jesús María, (c) Surco, Julio 2006

4.5. Conclusiones

- ✓ Para el presente mes, las concentraciones del polvo atmosférico fueron inferiores a los principales núcleos del mes anterior. La configuración resultante muestra 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad con 21,9 t/km².mes; el segundo en el cono centro-este con un valor de 16,9 t/km².mes; el tercero en la zona sur-este con 21,7 t/km².mes ; y el cuarto en el cono sur de 19,1 t/km².mes.
- ✓ El 54 % 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 t/km².mes, y el valor máximo registrado fue de 22,3 t/km².mes en Lurigancho y el mínimo de 2,1 en La Molina.
- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias de las estaciones analizadas en julio fueron de 18,2 °C y 82,4 %. Así mismo, el día más cálido fue el 4 y 5 con una máxima media de 20 °C; y el 19 el más frío con 17,1 °C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 25 de julio con 74,9 % y no se alcanzó la saturación (90,2 %).
- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, tanto durante el día como durante la noche predominaron vientos de intensidad media débil en las estaciones referidas con direcciones predominantemente del S, SW y SE. La mayor ocurrencia de calmas se registró en Surco durante la noche.
- ✓ La mayor intensidad de la inversión térmica en la estación de invierno, ocasiona una disminución de los procesos de turbulencia y a su vez una disminución de los procesos de suspensión y re-suspensión por lo que las concentraciones de polvo atmosférico han mostrado sus valores más bajos de lo que de la estación de invierno.