EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/JULIO-2005

Elaboración

INDICE

1 INTRODUCCION 3

2 TEMA DE INTERÉS DEL MES: EFECTOS DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO SOBRE LA SALUD 3

3. CUENCA ATMOSFERICA DE Z.M. DE LIMA-CALLAO 4

4. METODOLOGÍA 6

5. RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL 9

5.1 Distribución espacial de la deposición seca (contaminantes sólidos sedimentables) durante el mes de julio del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao. 9

5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno Julio 2005 12

5.3 Condiciones Meteorológicas durante el mes de julio 14

6. CONCLUSIONES 21

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao 8

Fig. 2 - Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de mayo y julio 2005 en Lima-Callao 10

Fig. 3 - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de julio del 2005 11

Fig. 4a-. Concentraciones horarias de NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. julio 2005 12

Fig. 4b-. Concentraciones horarias máximas de NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. julio 2005 12

Fig. 4c-. Distribución de percentiles NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. julio 2005 13

Fig. 4d-. Concentraciones máximas medias horarias de NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. julio 2005 13

Fig. 5a -. Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en el Callao, Jesús María y Surco durante el mes de julio del 2005 en Lima-Callao 16

Fig. 5b -. Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Surco durante el mes de julio del 2005 en Lima-Callao 16

Fig. 6-. Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Jesús María durante el mes de julio del 2005 en Lima-Callao 16

Fig. 7 – Rosas de viento Diurnas 18

Fig. 8 – Rosas de viento Nocturnas 19

Fig. 9.- Radiosondaje mensual promedio mes de Julio 21

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Concentraciones de los contaminantes sólidos sedimentables. Meses de mayo y julio 2005 9

Cuadro N° 2 Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central del Perú – julio 2005 20

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/JULIO-2005

1. Introducción

El presente boletín muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico contaminante o sólidos sedimentables y contaminantes gaseosos (óxidos de nitrógeno) en la zona metropolitana de Lima-Callao y su relación con las condiciones meteorológicas imperantes durante el mes de julio. Los resultados muestran claramente el comportamiento propio de la estación invernal, caracterizado por concentraciones de polvo atmosférico relativamente menores a las registradas en la estación de verano. Dicho comportamiento es dependiente de las condiciones meteorológicas que caracterizan a cada estación del año; así, es probable que la menor turbulencia del aire que caracteriza al invierno, pueda estar disminuyendo los procesos de suspensión y resuspensión de las partículas.

2. Tema de Interés: Efectos de los óxidos de nitrógeno sobre la salud.

En ediciones anteriores se ha citado a Godish (1997) [1] señalando que el NO y el NO_2 son los compuestos cuya dinámica juega un papel muy importante en la química de los contaminantes atmosféricos, con concentraciones que se incrementan significativamente en la atmósfera como resultado de los aportes de la actividad humana y que además sirven como precursores de una gran variedad de reacciones atmosféricas debido a su rápida interconvertibilidad química.

Se ha mencionado también que el término genérico para denominar estos dos compuestos es el de NO_x (aunque también incluyen al trióxido de nitrógeno -NO_3, sesquióxido de nitrógeno -N_2O_3, tetróxido de nitrógeno -N_2O_4 y pentóxido de nitrógeno -N_2O_5)

El óxido nítrico, de forma similar al monóxido de carbono, es capaz de combinarse con la hemoglobina de la sangre reduciendo su capacidad de transporte de oxígeno. El dióxido de nitrógeno irrita los alvéolos pulmonares. Muchos estudios de salud ocupacional refieren que este gas es fatal en concentraciones elevadas. [2]

La Organización Mundial de la Salud (OMS) [(3)] reporta efectos directos en la salud de la población por la presencia de dióxido de nitrógeno. Para tal efecto distingue:

a. Efectos a exposiciones de corto plazo: “Seres humanos saludables expuestos, en descanso o con ejercicio liviano por menos de 2 horas a concentraciones sobre los 4700 ug/m^3 (2,5 ppm) experimentan reducciones pronunciadas en la función pulmonar; generalmente, sujetos normales no son afectados por concentraciones menores que 1880 ug/m^3 (1 ppm).

(1) Godish, Thad. 1997. Air Quality. Third Edition. Lewis Publisher. New York. USA.

[(2)] González, A. ; Vega, F.; Abarca, S. 2000. Programa para mejorar la Calidad del Aire. Tijuana Rosarito. 2000-2005. México D.F.

b. Efectos de exposiciones en el largo plazo: Estudios con animales han mostrado claramente que exposiciones de varias semanas a meses con concentraciones menores a 1880 ug/m^3 (1 ppm) de NO_2 ya causan una variedad de efectos, primeramente en los pulmones, pero también en otros órganos tal como el bazo e hígado y en la sangre. Se han observado efectos reversibles e irreversibles en pulmones".

No hay estudios epidemiológicos que puedan ser usados en forma confiable para cuantificar una exposición de largo plazo de NO_2 o una concentración capaz de ser asociada con la inducción de riesgos inaceptables a la salud de niños o adultos.

Los resultados de estudios en extramuros indican en forma consistente que niños expuestos por largo plazo a concentraciones ambientales de NO_2 exhiben síntomas respiratorios de larga duración y muestran un descenso en la función pulmonar. Sin embargo, estudios epidemiológicos intra y extramuros proveen poca evidencia que exposiciones de NO_2 de largo plazo de están asociadas con efectos en la salud de adultos". [3]

3. 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 el 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 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 critero de crecimiento poblacional hasta esa altitud.

(3) Guidelines for Air Quality, WHO, 1999

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

3.1 Cuenca del río Chillón

La Cuenca del río Chillón abarca los distritos de Ancón, Santa Rosa,Ventanilla, Puente Piedra, Carabayllo, 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 Carabayllo: Distrito de Carabayllo
Microcuenca de Collique: Distrito de Comas

3.2 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

3.3 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 I.D. : Distrito de Pacahacamac

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 25,8ºC y entre 19,8 a 28,2ºC en los distritos del este. En el invierno varía entre los 15,5 a 18,3ºC en la zonas cercanas a la costa y entre 13,1 a 18,6ºC 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. Metodología

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

La información empleada para el presente análisis corresponde a la obtenida de la red de muestreo de polvo atmosférico compuesta por 39 estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana de Lima-Callao (**figura 1**). De forma similar al trabajo que se viene ejecutando meses anteriores, se viene diseñando la ampliación de la red de muestreo en todo el ámbito de cuenca atmosférica de tal forma de poder lograr una mejor definición de la configuración de las áreas críticas de los distritos. El método de muestreo pasivo desarrollado es el que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de gabinete**: Preparación y codificación del material que se lleva a campo para reemplazar las placas receptoras o de acumulación.

- **Fase de campo**: Mensualmente en cada una de las estaciones se reemplazan las placas receptoras impregnadas de contaminantes y se llevan al laboratorio para las evaluaciones respectivas. Observaciones tales como actividades de construcción cercana a la estación, manipulación por terceros, 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 Monitoreo de contaminantes gaseosos

La evaluación 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”.

4.3 Información Meteorológica

Evaluación de las condiciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima-Calllao. Para el presente informe se ha utilizado la información proveniente de: Estación meteorológica automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación meteorológica automática sede central SENAMHI (Jesús María), meteorológica automática Lima Este (La Molina), Las Palmas (Surco) y estación climatológica Pantanos de Villa (Chorrillos), 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.

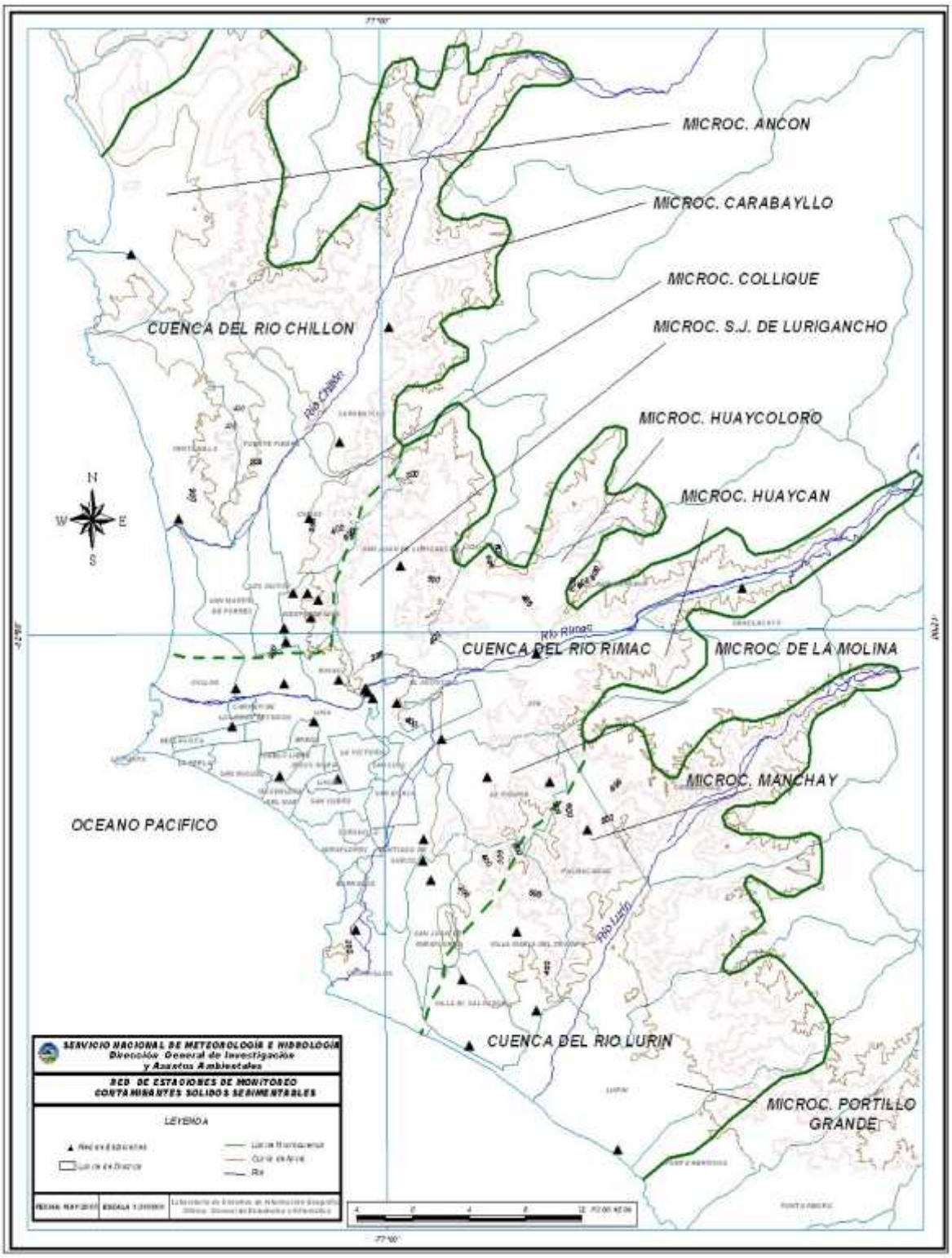


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao

5. Resultados del monitoreo ambiental

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

En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables (CSS). Durante el mes de julio, se ha recopilado información de 36 estaciones de muestreo instaladas en la mayor parte del ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao, y de las cuales el 63,9% (valor inferior al mes anterior) excedió el límite referencial permisible recomendado por la OMS (equivalente a 5 t/km^2.mes). Para este mes, los distritos de Independencia y Cercado (lado este) presentaron los centros de mayor acumulación de polvo atmosférico de la capital, excediendo ambos aproximadamente en 5 veces el valor referencial permisible.

De acuerdo al **cuadro N° 1**, en el mes de julio en términos generales los niveles de contaminación fueron menores al mes anterior en sus principales núcleos, pero igualmente excediendo en varias veces (4,9; 4,8; 3,3 y 4,1 aproximadamente) el límite referencial permisible. La concentración media de CSS para la Z.M. de Lima-Callao fue de 10,3 t/km^2.mes considerando las 36 estaciones, con un valor máximo de 24,5 t/km^2.mes en Independencia y un mínimo de 1,8 t/km^2.mes en Pueblo Libre.

Cuadro N°1. *Concentraciones de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables): junio y julio 2005*

Concent t/km^2.mes	**N° de estac.**	**%**	**Núcleos principales**			
			Cono Norte	*Cono Centro-este*	*Cono Sur-este*	*Cono Sur*
junio	39	74,4	25,0 (Comas)	18,2 (El Agustino)	25,0 (Pachacamac)	23,2 (V.M.T.)
julio	36	63,8	24,5 (Independ.)	23,8 (El Cercado)	16,7 (Pachacamac)	20,4 (V.M.T.)

En la **figura 2** se observan los registros de las estaciones de muestreo recopilados durantes los meses de junio y julio, con promedios de 10,9 y 10,3 t/km^2.mes, para las 36 estaciones, respectivamente. Como se mencionó líneas arriba, en términos generales, los principales núcleos de acumulación de polvo atmosférico en la capital se han mantenido pero con valores inferiores al mes anterior. Hacia la estación invernal, los núcleos de concentración de polvo atmosférico se aminoran paulatinamente, tanto debido a las menores diferencias de calentamiento de la superficie y fenómenos de turbulencia y por ende menores procesos de suspensión y re-suspensión, así como a la mayor altura media de la base de la inversión térmica.

La mayor o menor intensidad de los principales centros de contaminación varía tanto en función de los aportes in situ tales como del parque automotor obsoleto que circula en avenidas principales, las emisiones fugitivas de pequeñas y medianas industrias formales, comercio formal e informal, botaderos clandestinos de basura, entre otros, como de la acción dispersante de los flujos de viento locales que mantiene al polvo atmosférico en un continuo proceso de suspensión y resuspensión.

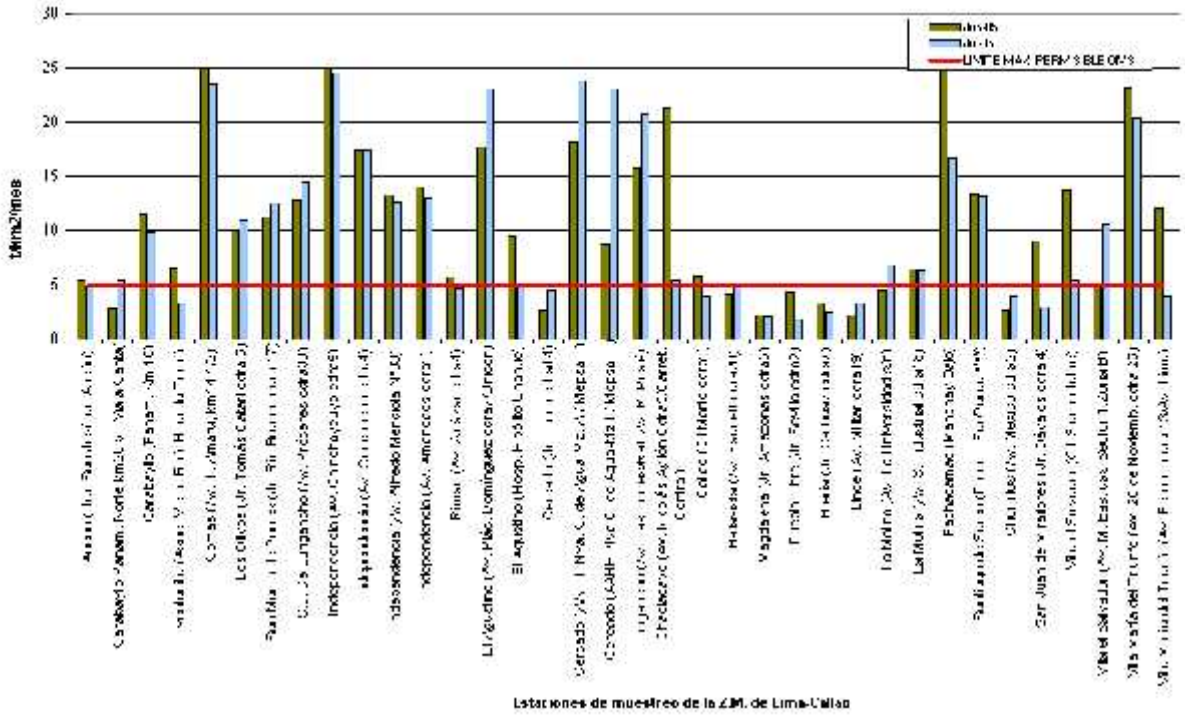


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de junio y julio 2005 en Lima-Callao

En la **figura 3** se aprecia la distribución espacial de los contaminantes sólidos sedimentables en la zona metropolitana de Lima-Callao. La estrecha franja amarilla representa aquellas estaciones que se mantienen por debajo del límite (5 t/km^2.mes), e incluye a los distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales favorecidos por la influencia de las brisas marinas que fluyen hacia el este permitiendo la dispersión y/o por la aplicación de políticas municipales que permiten mantener índices adecuados de vegetación de tal forma que el fenómeno de la re-suspensión se ve limitado. Las 4 principales zonas o áreas críticas de acumulación de este contaminante identificadas presentan la siguiente configuración: hacia el cono norte (cuenca del río Chillón) se observa el primer centro, extendiéndose a lo largo de los distritos de Independencia, Comas, Carabayllo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Independencia tiene un valor de 24,5 t/km^2.mes. El segundo centro abarca el cono centro-este (cuenca del río Rímac y microcuenca de San Juan de Lurigancho) y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Santa Anita, El Agustino, y el Cercado (lado este) con núcleo 23,8 t/km^2.mes en El Cercado (lado este). El tercer centro ubicado en

la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac con valor de 16,7 t/km^2.mes; mientras que el cuarto centro en el cono sur (en la zona de intercuenca Rímac-Lurín) que comprende los distritos de Villa El Salvador y Villa María del Triunfo, tiene un núcleo de 20,4 t/km^2.mes en este último.

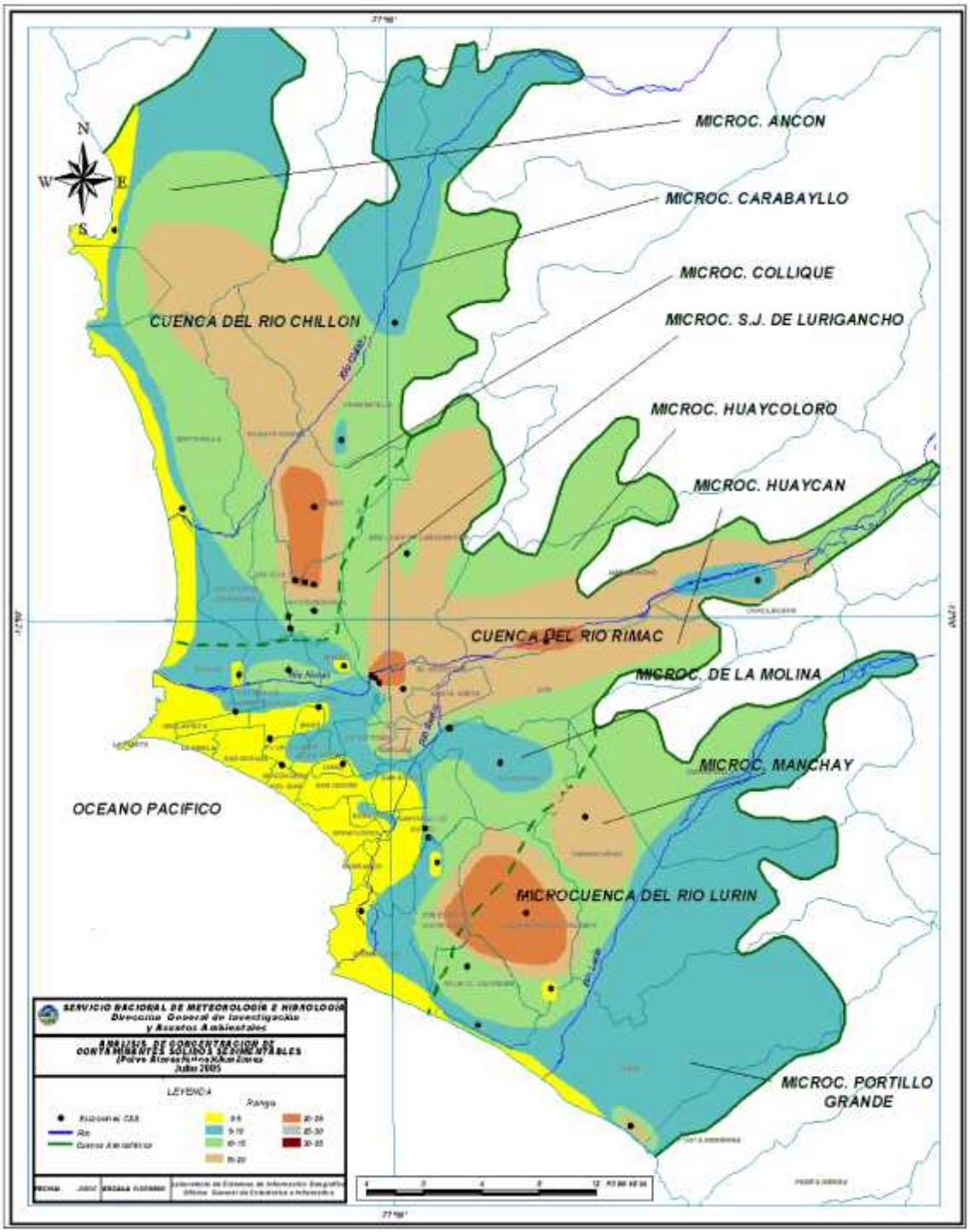


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico en el ámbito de la cuenca atmosférica de la z.m. de Lima-Callao durante el mes de julio del 2005

5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno (NOx): óxido nítrico y dióxido de nitrógeno durante el mes de julio del 2005

La información registrada por el analizador modelo API 200E en la estación de calidad de aire de la sede central del SENAMHI según la **figura 4a**, muestra para el presente mes un registro máximo horario de NO de 114,2 ppb y de NO_2 de 28,9 ppb, ocurridos el día 14 de julio a las 5:00 horas con una temperatura de 14,6°C y una humedad de 100% y el día 6 a las 15:00 horas, respectivamente; y mínimos horarios de 9,2 y 0,9 ppb, el día 26 a las 00:00 horas con una temperatura de 14,4°C y humedad de 99% y el día 8 a la 1:00 horas con 15,2°C y 98%, respectivamente.

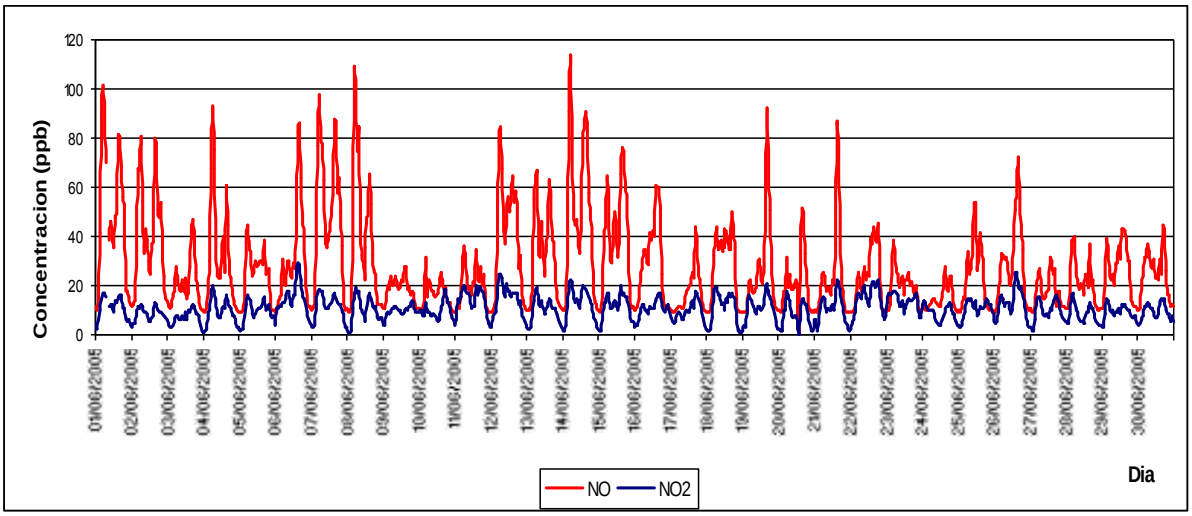


Fig.4a – Concentraciones horarias de NO y NO_2 registrados en la Estación de calidad del aire SENAMHI – julio 2005

El valor máximo horario alcanzado el día 6 de 28,9 ppb se mantiene por debajo del valor referencial para el NO_2 de 104,6 ppb (200 ug/m^3) señalado en el D.S. N°074-PCM-2001 "Reglamento nacional de estándares nacionales de calidad ambiental del aire". El promedio máximo horario de NO_2 fue de 18,3 ppb. Ver **figura 4b**.

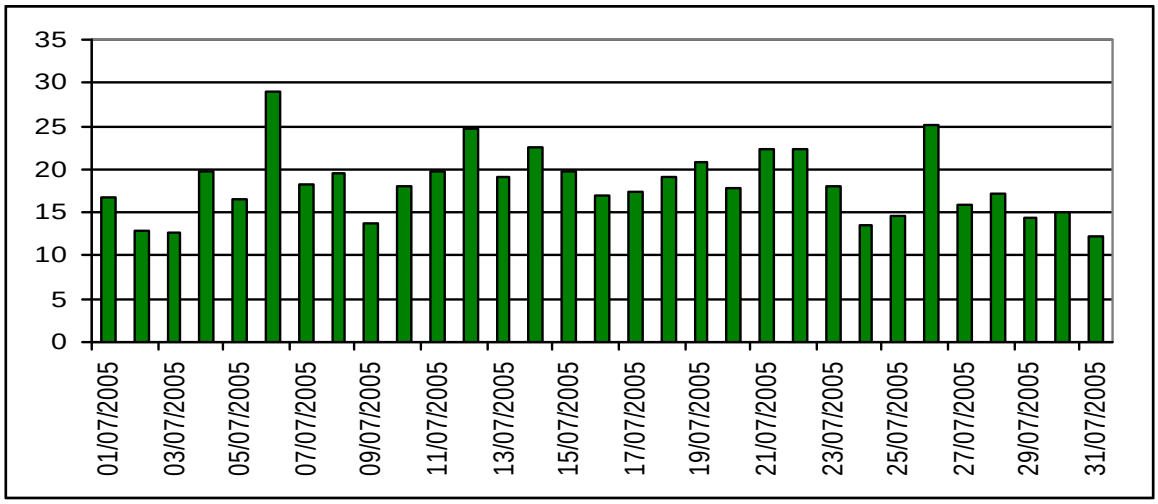


Fig.4b – Concentraciones horarias máximas de NO_2 registradas en la estación de calidad del aire SENAMHI – julio 2005

Es necesario mencionar siempre que no sobrepasar un valor estándar, no garantiza que la calidad del aire de los alrededores sea buena; es necesario realizar muchas observaciones y buscar siempre representar lo mejor posible la influencia de las fuentes de los contaminantes sobre la calidad del aire y el impacto sobre la salud de los receptores.

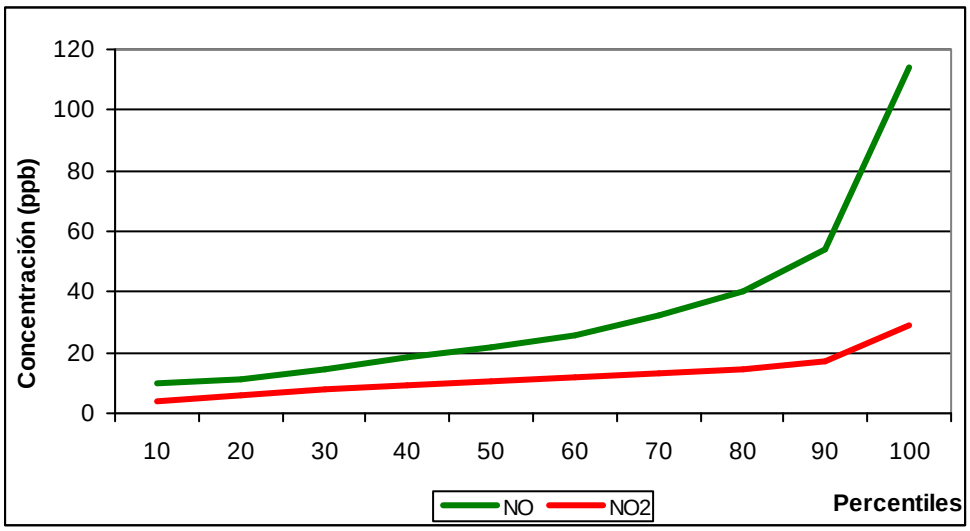


Fig.4c – Distribución de percentiles de NO y NO_2 en la estación de calidad del aire SENAMHI – julio 2005

De acuerdo a lo observado en la **figura 4c**, el 25% de los datos de NO y NO_2 se encuentran por debajo de 12,5 y 7 ppb, el 50% por debajo de 22,1 y 10,5 ppb y el 75% por debajo de 36,2 y 14 ppb, respectivamente.

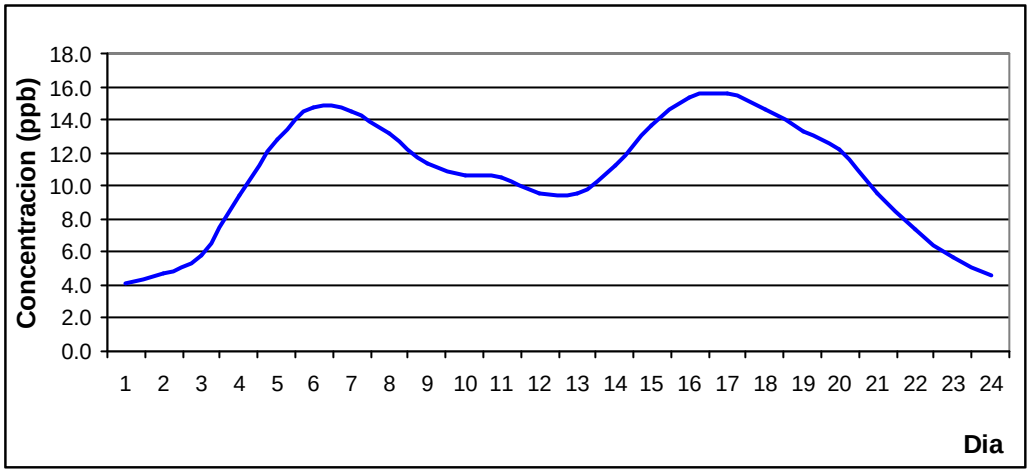


Fig.4d -. Concentración máxima media horaria de Dióxido de Nitrógeno Estación de Calidad de Aire SENAMHI - julio 2005

La variación horaria de las concentraciones máximas medias horarias de NO_2 presentadas en la **figura 4d**, refiere un patrón definido caracterizado por dos picos horarios máximos de 15,6 ppb (16:00 am.) y 14,8 ppb (05:00 am.); aunque ambos no corresponden exactamente a eventos en los que se pronuncia una alta circulación vehicular asociada al desplazamiento de la población a sus centros de labores, escuelas, etc, marcan necesariamente

patrones diurnos y nocturnos de mayor concentración de este contaminante, cuyo comportamiento es inverso al del ozono troposférico el cual presenta un máximo alrededor del medio día.

Es necesario tener presente que las concentraciones de este contaminante varían en función de la dinámica urbana (flujo vehicular, actividad industrial y comercial, entre otras), de las condiciones meteorológicas diarias y estacionales y de sus propias características físico químicas.

5.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de julio del 2005

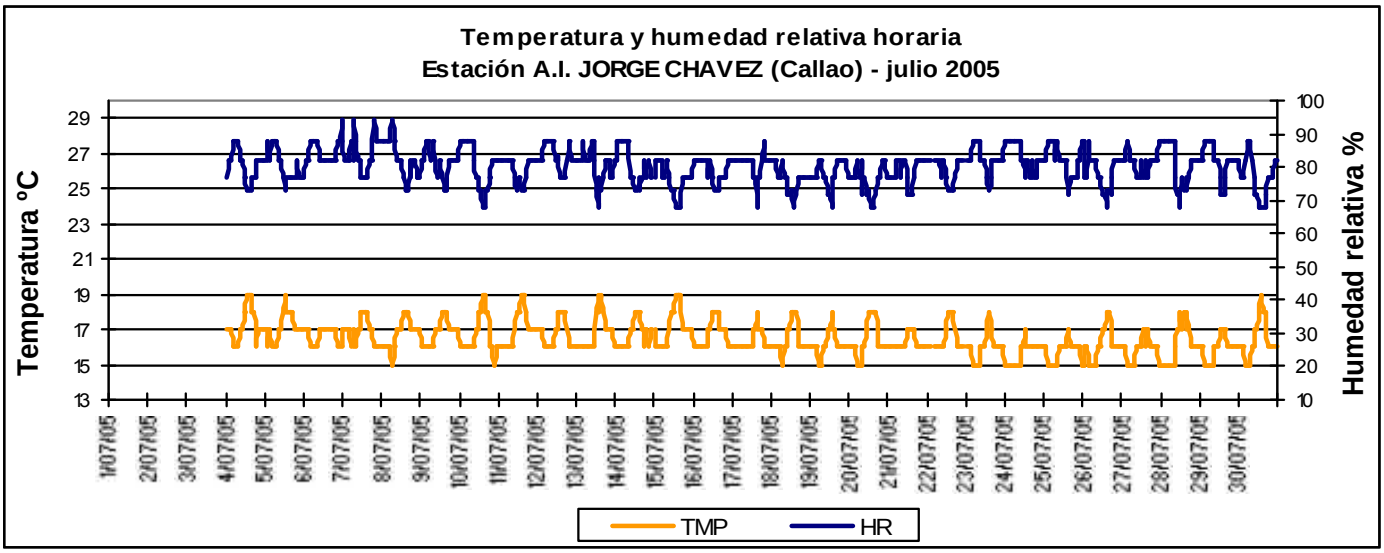
Para el mes de julio, el análisis de las condiciones meteorológicas horarias y diarias para la zona metropolitana Lima-Callao se ha basado en la información de 5 estaciones meteorológicas, convencionales y automáticas, señaladas en el rubro **4.3**. A continuación se desarrollan los análisis respectivos de la información meteorológica.

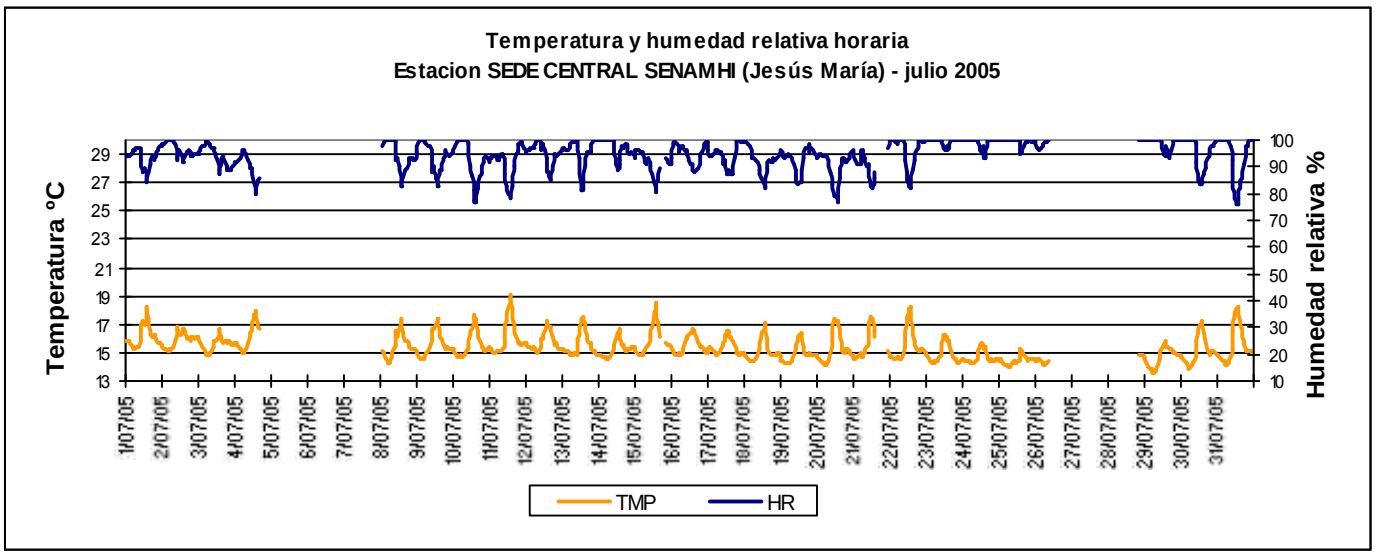
5.2.1. Análisis de temperatura y humedad relativa

- 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 14,6°C (Jesús María y La Molina) a 20,6°C (Surco) y la mínima osciló entre 12,1°C (La Molina) y 16,0°C (Callao); la temperatura media del mes fue de 15,4°C, inferior en 0,8°C al mes anterior. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 93% (Surco) a 100% en Jesús María y La Molina, mientras que la mínima osciló entre 61% en Surco a 96% en Jesús María y Chorrillos (ver **figuras 5 a,b y 6**); la humedad relativa media fue de 88%, superior a junio. Durante este mes, los días se presentaron mayormente nublados con escazo brillo solar hacia la tarde y lloviznas aisladas también escazas.

- 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 6:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 13:00 y 17:00 hrs. Con respecto a las humedades relativas, la máxima se registró en forma muy variable pero predominantemente en los rangos de 4:00 a 6:00 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, refiere que el día más cálido del mes se presentó el día 11 con una media de 19,4°C, inferior a junio en 0,4°C y el día más frío el 27 con un valor medio de 13,5°C, inferior al mes anterior en 0,6°C. Con respecto a la humedad relativa el 31 fue el día más seco con 68% (superior a mayo en 3%), y no se alcanzó la saturación (media inferior a 95%).





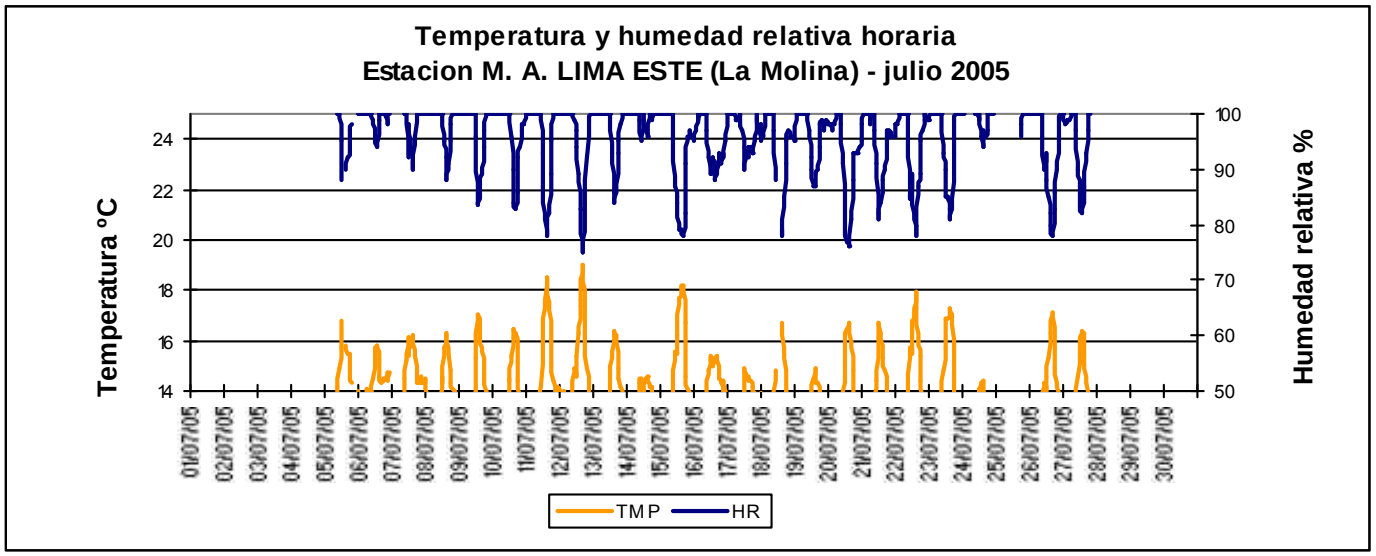


Fig.5a.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2005 en El Callao, Jesús María y La Molina

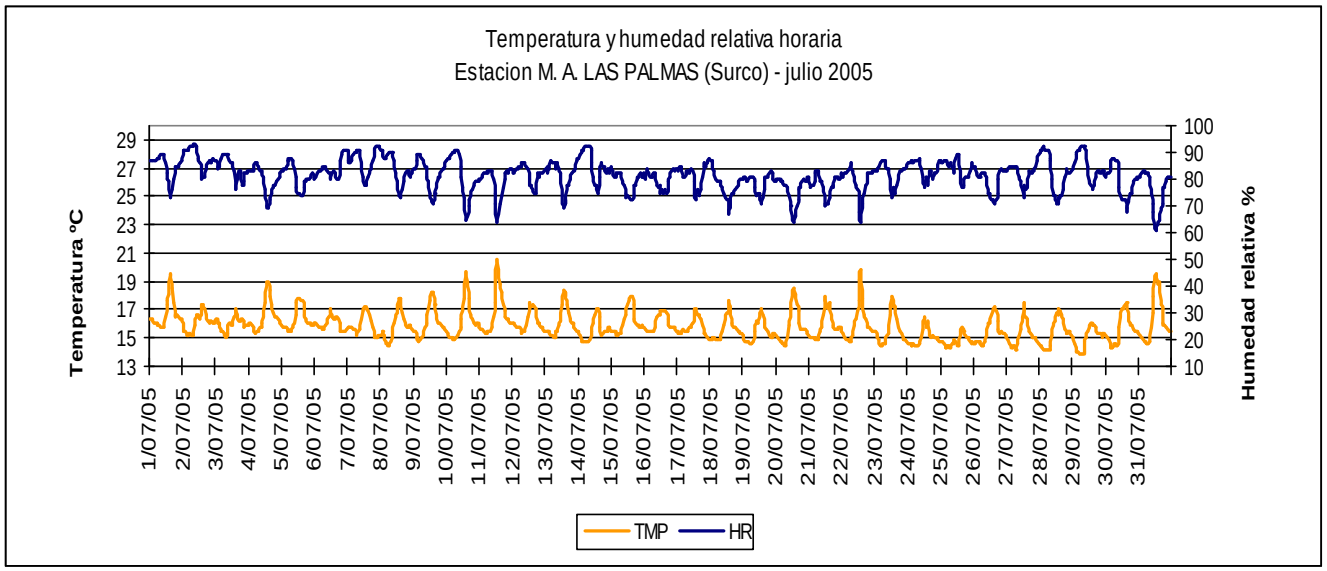


Fig.5b.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2005 en Santiago de Surco

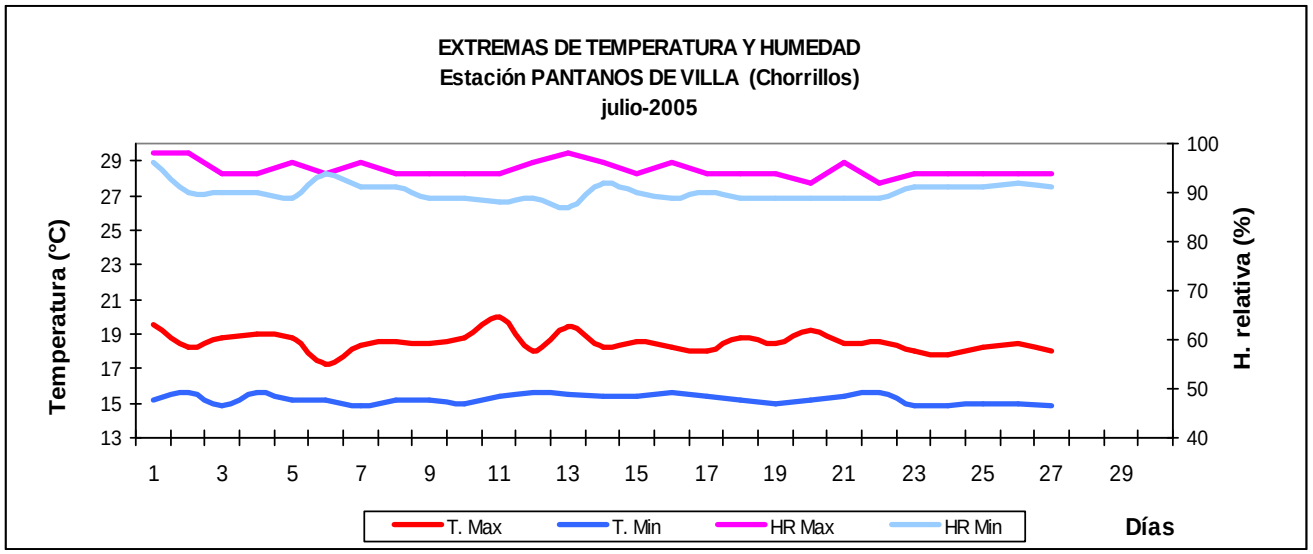


Fig.6.- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de julio del 2005 en Chorrillos

5.2.2 Análisis del viento superficial en la zona metropolitana de Lima-Callao durante el mes de Julio del 2005.

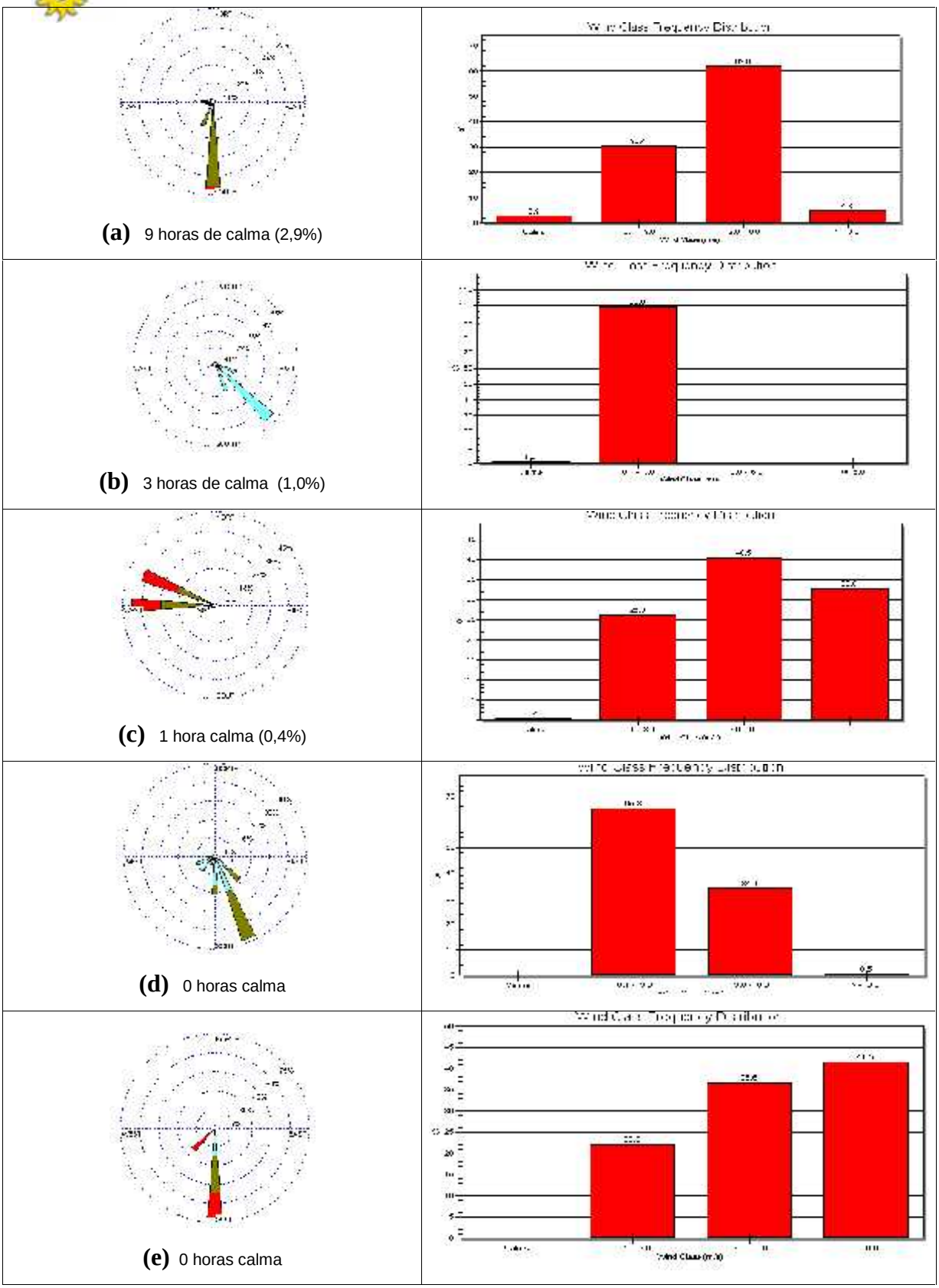
La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de julio es presentada en las **figuras 7** y **8** para el período diurno (07:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00):

- Durante el período diurno (7:00 a 18:00 horas), se presentaron vientos con intensidad media débil en Jesús María (1,2 m/s) de dirección SE y SSE (51 y 19%), y en Santiago de Surco (2,8 m/s) provenientes del SSE y S (38 y 17%), respectivamente. Intensidades moderadas se registraron hacia el litoral costero (3,2 m/s), La Molina (4,6 m/s) y Chorrillos (4,8 m/s) de direcciones S y SSW (51 y 16%), W y WNW (41 y 38%), y del S y SW (70 y 24%), respectivamente.

La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, hacia el litoral costero predominaron vientos entre débiles a moderados; hacia el centro de la ciudad se presentaron vientos débiles principalmente; hacia la zona este se observaron vientos tanto débiles como moderados y fuertes; y hacia el sur de la ciudad, débiles a moderados en Surco y tanto débiles como moderados y fuertes en Chorrillos.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se reportaron vientos de intensidad débil en la mayor parte de las estaciones observadas; así, hacia el Callao (2,6 m/s), Jesús María (0,6 m/s), La Molina (2,9 m/s), y Surco (2,2 m/s) de direcciones S y SSW (58 y 13%), del SE y SSE (32 y 27 %), y del W y WNW (29 y 23%), respectivamente. Intensidades fuertes (8,9 m/s) provenientes del S y SW (95 y 75 %), respectivamente.

  La distribución de frecuencias de intensidades de viento son asimismo mostradas en la **figura 8.** En el Callao predominaron intensidades débiles a moderadas y la mayor ocurrencia de horas de calma (22 horas); hacia el centro de la ciudad intensidades moderadas; hacia la zona este, entre débiles a moderadas; y hacia el sur de la ciudad los vientos oscilaron entre débiles a moderados en Surco y fuertes predominantemente en Chorrillos.



(a) 9 horas de calma (2,9%)

(b) 3 horas de calma (1,0%)

(c) 1 hora calma (0,4%)

(d) 0 horas calma

(e) 0 horas calma

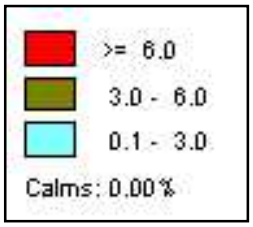
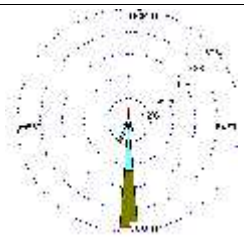
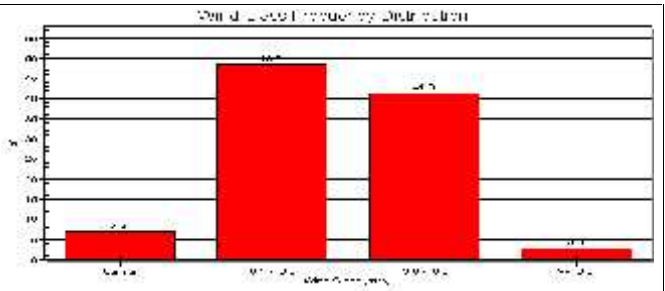
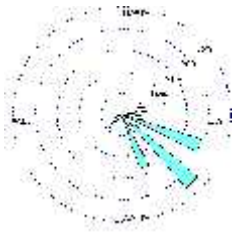


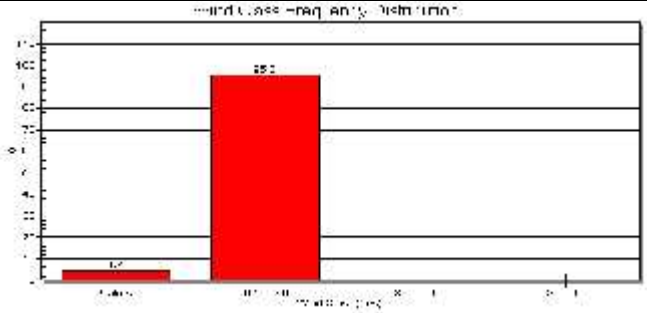
Fig.7 – Rosas de viento (m/s) e histogramas de frecuencia diurnas de las estaciones de (a) Callao,(b) Jesús María, (c) La Molina, (d) Surco y e) Chorrillos julio 2005



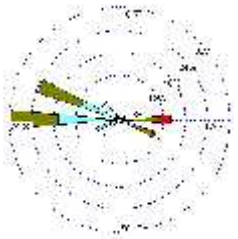


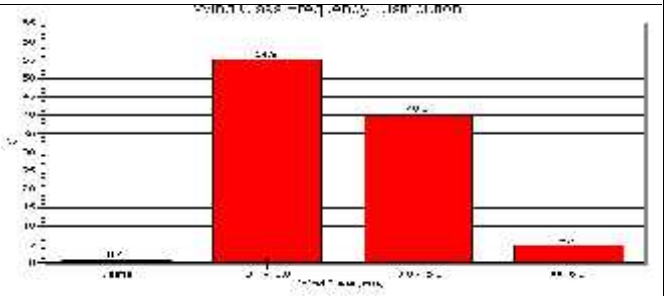
(a) 22 horas de calma (7,2%)



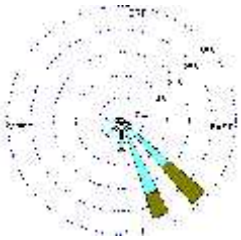


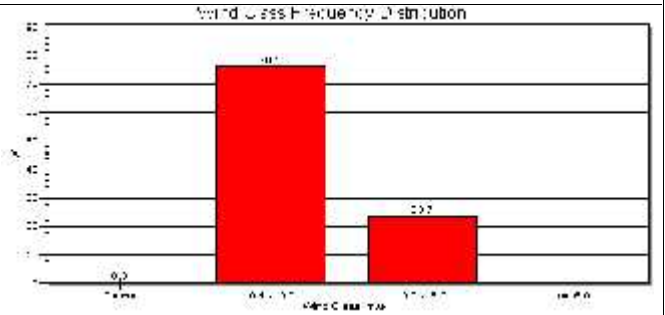
(b) 14 horas de calma (4,7%)



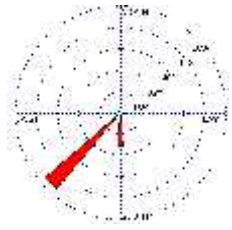


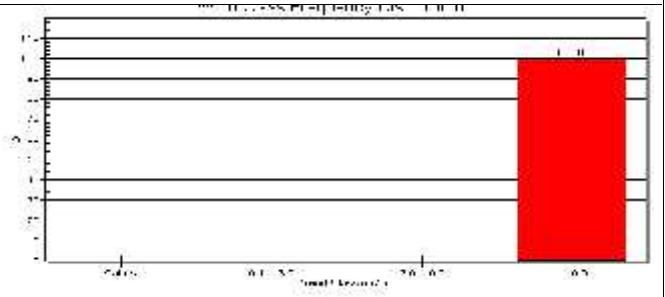
(c) 1 hora calma (0,4%)





(d) 1 hora calma (0,3%)





(e) o horas calma

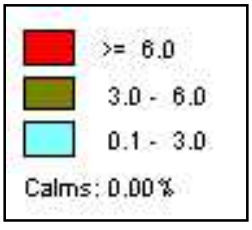


Fig. 8 – Rosas de viento (m/s) e histrogramas de frecuencia nocturnas de las estaciones de (a) Callao, (b) Jesús María, (c) La Molina,(d) Surco y e) Chorrillos julio 2005

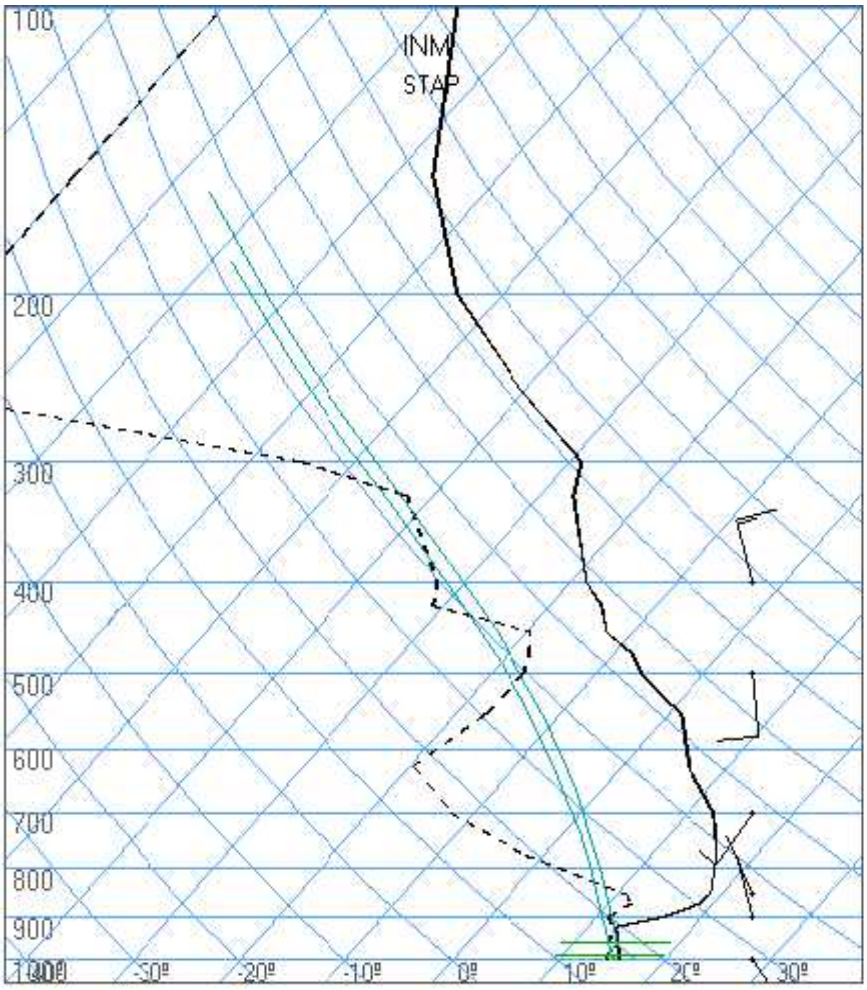
5.2.3 Análisis de la temperatura y vientos en el perfil de la tropósfera de la costa central del Perú durante el mes de julio del 2005

En el presente mes sólo se realizó sondaje durante los días 1 y 3 en los que se observó la presencia de la capa de inversión térmica en la costa central peruana con una altura media de la base de inversión térmica de 838 m y un gradiente medio de 1,3°C/100 m. Estas características, configuran, en promedio, un escenario relativamente favorable para la dispersión de los contaminantes sólidos sedimentables atmosféricos en la zona metropolitana de Lima-Callao, respecto al mes anterior. Ver **cuadro N° 2**.

Cuadro N° 2: Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO JULIO
Espesor	metro	1514	3	864	1	750
Altura Base	metro	878	3	797	1	838
Altura Tope	metro	1661	1	1514	3	1588
Temp. Base	° C	11,8	1	10,6	3	11,2
Temp. Tope	° C	21,0	3	20,0	1	20,5
Gradiente	°C / 100metros	1,6	3	0,9	1	1,3
H.R. Base	%	98	1	98	3	98
H.R. Tope	%	35	1	17	3	26

Respecto al comportamiento de los vientos en el perfil de la tropósfera, entre superficie y los 800 hPa, éstos fueron del SE con velocidades menores a 2,5 m/s. Entre los 800 y 600 hPa, los vientos fueron del SW con intensidades de 2,5 m/s. Entre 600 y 500 hPa cambiaron a vientos del S con velocidades de 5 m/s. Por encima de los 400 hPa los vientos fueron del N con intensidades de 5 a 7,5 m/s. Ver **figura 9.**



Callao
1 de julio12z
12z

TT: 41
K : 11

Agua Prec.(mm)
(SF-85): 16
(85-70): 9
(70-50): 4
(50-20): 2
(Total): 31
T=0 : 5126 m
Tw=0: 3617 m

Pres.ini: 1000
NCC: 391 m
Tc= 17.6 ºC
EL= 488 m
NCA: 139 m
LI= 12.5
NCL=***
EL=***

Fig. 9. - Radiosondaje mensual promedio durante el mes de julio del 2005 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)

6. Conclusiones

- ✓ Para el mes de julio, las condiciones meteorológicas presentes (variaciones térmicas, procesos de transporte y estabilidad atmosférica) propias de la estación invernal, en estrecha interacción con los aportes antropogénicos, configuraron 4 centros importantes de alta contaminación: El primer núcleo con el valor más alto del mes se presentó en el cono norte de la ciudad con 24,5 t/km^2.mes (Independencia); el segundo en el cono centro-este (lado este de Cercado) con un valor de 23,8 t/km^2.mes; el tercero en la zona sur-este (Pachacamac) con 16,9 t/km^2.mes; y cuarto en el cono sur con una concentración de 20,4 t/km^2.mes en Villa María del Triunfo.

- ✓ De la información de las 36 estaciones recopiladas para este mes, sólo el 63,9% superaron el nivel referencial establecido por la

Organización Mundial de la Salud. La media mensual fue de 10,3 t/km^2.mes, con un valor máximo de 24,5 t/km^2.mes en Independencia y un mínimo de 1,8 t/km^2.mes en Pueblo Libre.

- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo horario del dióxido de nitrógeno (NO_2) fue de 28,9 ppb, que representa un 27,6 % del ECA correspondiente establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 104,6 ppb (200 ug/m^3). Asimismo, se observaron dos picos horarios máximos 15,6 ppb (16:00 am.) y 14,8 ppb (05:00 am.).

- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias observadas fueron de 15,4 °C y 88%. Asimismo, el día más cálido del mes se presentó el 11 de julio con una media de 19,4°C; y el 27 fue el día más frío con un valor medio de 13,5°C. En cuanto a la humedad relativa el 31 de julio la mínima humedad media fue de 68% y la media máxima se alcanzó el día 10 (95%), no alcanzando la saturación.

- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, durante el período diurno se presentaron vientos débiles en Jesús María y en Santiago de Surco. Intensidades moderadas en el litoral costero, La Molina y Chorrillos. Con respecto a la distribución de frecuencias de intensidades del viento hacia el litoral costero predominaron vientos entre débiles a moderados; hacia el centro de la ciudad vientos débiles; hacia la zona este, vientos tanto débiles como moderados y fuertes; y hacia el sur de la ciudad débiles a moderados en Surco y débiles, moderados y fuertes en Chorrillos. Durante la noche, se reportaron vientos de intensidad media débil en la mayor parte de las estaciones observadas; en cuanto a la distribución de frecuencias de intensidades de viento en el Callao predominaron vientos débiles a moderados, hacia el centro intensidades moderadas; hacia el este, entre débiles a moderadas; y hacia el sur vientos entre débiles a moderados en Surco y fuertes predominantemente en Chorrillos.

- ✓ Con respecto al análisis de la información meteorológica de altura, durante este mes sólo se realizaron dos lanzamientos en los que la altura de la base promedio de la inversión térmica fue de 837,5 m con una intensidad de 1,3 C/100m. Estas características configuraron, en promedio, un escenario relativamente favorable para la dispersión de los contaminantes sólidos sedimentables atmosféricos en la zona metropolitana de Lima-Callao.