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

Elaboración

Ing. José Silva Cotrina
Bach. Zarela Montoya Cabrera
SO3. FAP Juan López Malhaber

INDICE

1 INTRODUCCION 3

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

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

4. METODOLOGÍA 6

5. RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL 10

5.1 Distribución espacial de la deposición seca (contaminantes sólidos sedimentables) durante el mes de junio del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao. 10

5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno junio 2005 13

5.3 Condiciones Meteorológicas durante el mes de junio 15

6. CONCLUSIONES 21

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 (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de mayo y junio 2005 en Lima-Callao 11

Fig. 3 - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de junio del 2005 12

Fig. 4a-. Concentraciones horarias de NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Junio 2005 13

Fig. 4b-. Concentraciones horarias máximas de NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Junio 2005 13

Fig. 4c-. Distribución de percentiles NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Junio 2005 14

Fig. 4d-. Concentraciones máximas medias horarias de NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Junio 2005 14

Fig. 5 -. Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en el Callao, La Molina y Surco durante el mes de junio del 2005 en Lima-Callao 16

Fig. 6-. Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Jesús María durante el mes de junio del 2005 en Lima-Callao 17

Fig. 7 – Rosas de viento Diurnas 18

Fig. 8 – Rosas de viento Nocturnas 19

Fig. 9.- Radiosondaje mensual promedio mes de junio 20

INDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Concentraciones de los contaminantes sólidos sedimentables. Meses de mayo y junio 2005 10

Cuadro N° 2 Frecuencia Relativa de alturas de la base de inversión térmica en la Costa Central del perú. Junio 2005 21

Cuadro N° 3 Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central del Perú – Juniol 2005 21

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

1. Introducción

Durante el mes de Junio, el SENAMHI a través de la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales-DGIA, celebró el viernes 03 "El Día Mundial del Medio Ambiente" con un ciclo de conferencias a cargo de expertos en temas ambientales dirigido a todo el personal de la institución, con el propósito de elevar la conciencia ambiental, en especial sobre los impactos de la contaminación del aire en la salud, instando a que cada persona se convierta en un gestor de una buena calidad de aire, colaborando en la correcta disposición de la basura y tratando en lo posible de evitar la emisión de sustancias indeseables al aire. Asimismo, profesionales de la DGIA en calidad de representantes del SENAMHI, participaron activamente en las actividades que desarrolló el Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima y Callao, dentro del marco de implementación del Plan Integral de Saneamiento Atmosférico de Lima y Callao (PISA).

Por otro lado, el SENAMHI a través de la DGIA, participó en la presentación del Plan de Desarrollo de la Sociedad de la Información en el Perú, realizado en el Centro de Convenciones Internacionales del Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones-INICTEL, en el marco de trabajo de la Comisión Multisectorial para el Desarrollo de la Sociedad de la Información.

Respecto a la evaluación de la contaminación del aire, el presente boletin muestra los resultados de la evaluación del polvo atmosférico contaminante ó sólidos sedimentables y contaminantes gaseosos (Óxidos de Nitrógeno) en la Z.M. de Lima-Callao, y sus relación con las condiciones meteorológicas imperantes durante el mes de junio. Los resultados muestran claramente el comportamiento propio de la estación invernal, caracterizado por concentraciónes 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 mayor turbulencia del aire que caracteriza al verano por la mayor insolación, pueda estar intensificando los procesos de suspensión y resuspensión de las partículas En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo horario del Dióxido de Nitrógeno (NO_2) representó el 33,1 % del ECA establecido por el D.S. 074-PCM-2001, valor ligeramente superior al mes anterior.

2. Tema de Interés: Efectos sobre la salud de los Óxidos de Nitrógeno.

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 alveolos pulmonares. Muchos estudios de salud ocupacional refieren que este gas es fatal en concentraciones elevadas. [2]

La Organización Mundial de la Salud (OMS) 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 (1ppm).

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 (1ppm) de NO_2 ya causan una variedad de efectos, primeramente en el pulmón, 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 largo plazo de NO_2 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.

(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.
(3) Guidelines for Air Quality, WHO, 1999

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 Linea 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.

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

3.1 CUENCA DEL RÍO CHILLON

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:

M. de Ancón: Distrito de Ancón
M. de Carabayllo: Distrito de Carabayllo
M. de Collique: Distrito de Comas

3.2 CUENCA DEL RIO RIMAC

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:

M. de San Juan de Lurigancho: Distrito de San Juan de Lurigancho.
M. de Huaycoloro: Distrito de Lurigancho
M. de Huaycán: Distrito de Ate Vitarte
M. de La Molina: Distrito de La Molina

3.3 CUENCA DEL RIO LURIN

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:

M. de Manchay: Distrito de Pacahacamac
M. de Portillo Grande: Distrito de Lurín
M. por I.D.: 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 m.s.n.m. y el tope a 596 msnm y muy débil intensidad), evoluciona hasta alcanzar su Junior altitud, espesor e intensidad al final del invierno (con base a 675 m.s.n.m. y tope a 1490 m.s.n.m. e intensidad de 5°C).

-Temperatura media 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, SSO y SSE en la zona costera; en la parte central el viento varía entre 2 y 4 m/s, de direcciones SSO y OSO, con calmas entre 21 a 42%; y en el lado oriental el viento varía entre 3 y 5 m/s, de direcciones O, SSO y OSO con calmas en un 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

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 similar forma al trabajo que se

viene realizando meses anteriores, se está siempre buscando la ampliación de la red de muestreo en todo el ámbito de Cuenca Atmosférica. Todo ello permitirá definir mejor aún 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 Z.M. 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 climatológica Campo de Marte (Jesús María), estación meteorológica automática Lima Este (La Molina) y Las Palmas (Surco), presentadas en la f**igura 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.

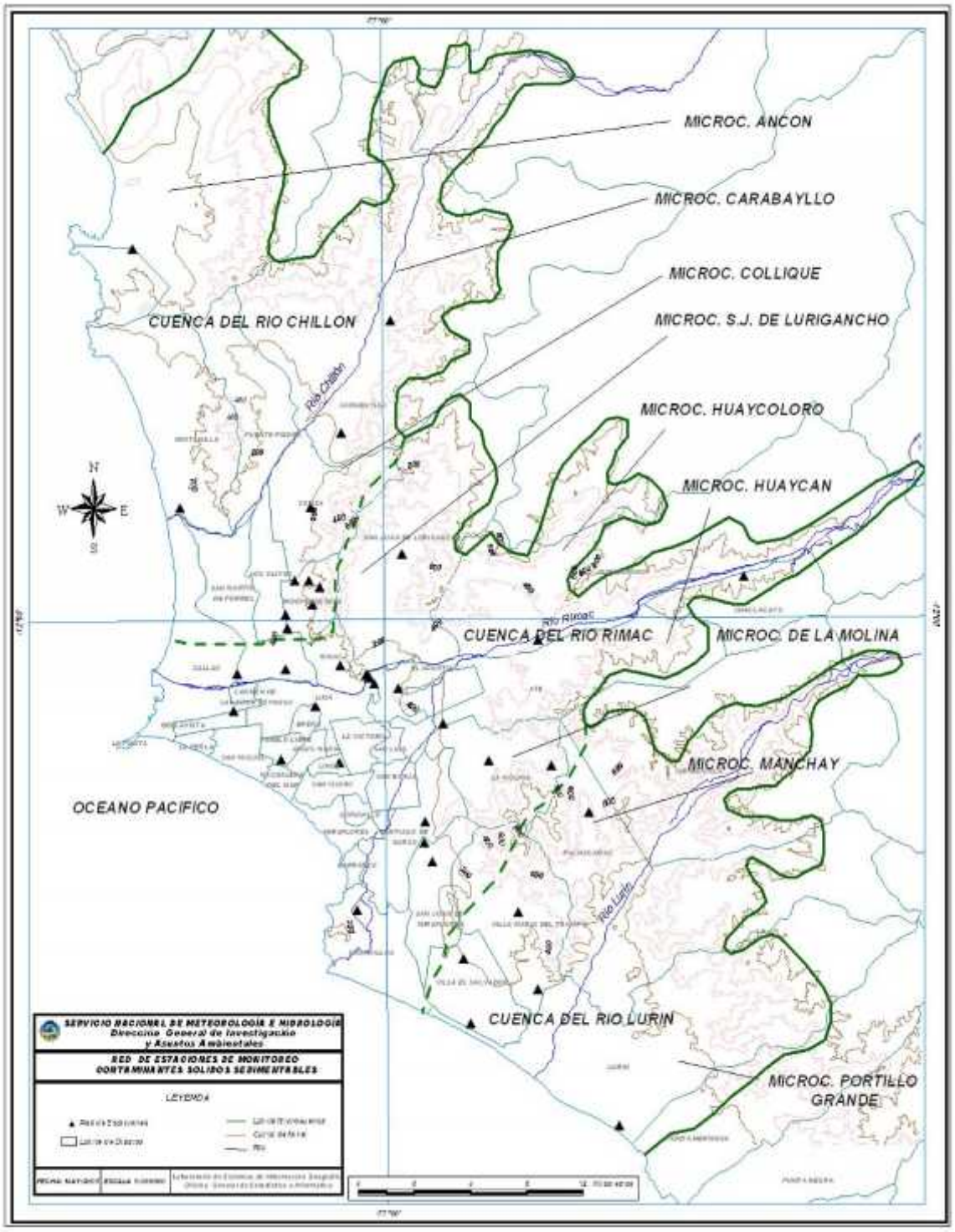


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

5. Resultados del Monitoreo Ambiental

5.1 Distribución espacial del polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables durante el mes de junio

En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico ó contaminantes sólidos sedimentables. Durante el presente mes se ha recopilado información de las 39 estaciones de muestreo existentes a la fecha e instaladas en la mayor parte del ámbito de la Cuenca Atmosférica de Lima-Callao, y de las cuales el 74,4% (valor inferior al mes anterior) excedió el límite referencial permisible recomendado por la OMS de 5 t/km^2/mes. Para este mes, los distritos de Comas y Pachacamac presentan los centros de mayor acumulación de polvo atmosférico de la capital, excediendo ambos en 5 veces el valor referencial permisible.

Como se puede observar en el **Cuadro N°1**, en los principales núcleos la contaminación excede para este mes en varias veces (5; 3,6; 5 y 4,6 aproximadamente) el límite referencial permisible. La concentración media de CSS para la Z.M. de Lima-Callao durante el mes de junio fue de 11,1 t/km^2/mes considerando las 39 estaciones existentes, con un valor máximo de 25 t/km^2/mes en Comas y Pachacamac y un mínimo de 2,2 t/km^2/mes en Lince.

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

Concent./mes t/km^2/mes	**N° de estac.**	**%**	**Núcleos Principales**			
			Cono Norte	*Cono Centro-este*	*Cono Sur-este*	*Cono Sur*
Mes de mayo	38	81,6	28 (Comas)	24,6 (El Agustino)	23,4 (Pachacamac)	22,7 (V.M.T.)
Mes de junio	39	74,4	25,0 (Comas)	18,2 (El Agustino)	25,0 (Pachacamac)	23,2 (V.M.T.)

En la **figura 2** se observan los registros de las estaciones de muestreo recopilados durantes los meses de mayo y junio, con promedios de 12,5 y 10,9 t/km^2/mes, para las 38 estaciones, respectivamente; y de 11,1 para el mes de junio considerando las 39 estaciones operativas a la fecha. En términos generales, los principales núcleos de acumulación de polvo atmosférico en la capital se han mantenido con valores inferiores al mes anterior. El núcleo identificado en el cono sur-este, con centro en el distrito de Pachacamac (Quebrada Huertos de Manchay), explica que la actividad antrópica en esa zona se desenvuelve en un ámbito de vías no asfaltadas y ausencia de áreas verdes, lo cual estaría ocasionando serios impactos en la salud de la población local, demandando urgente atención.

En términos generales, 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.

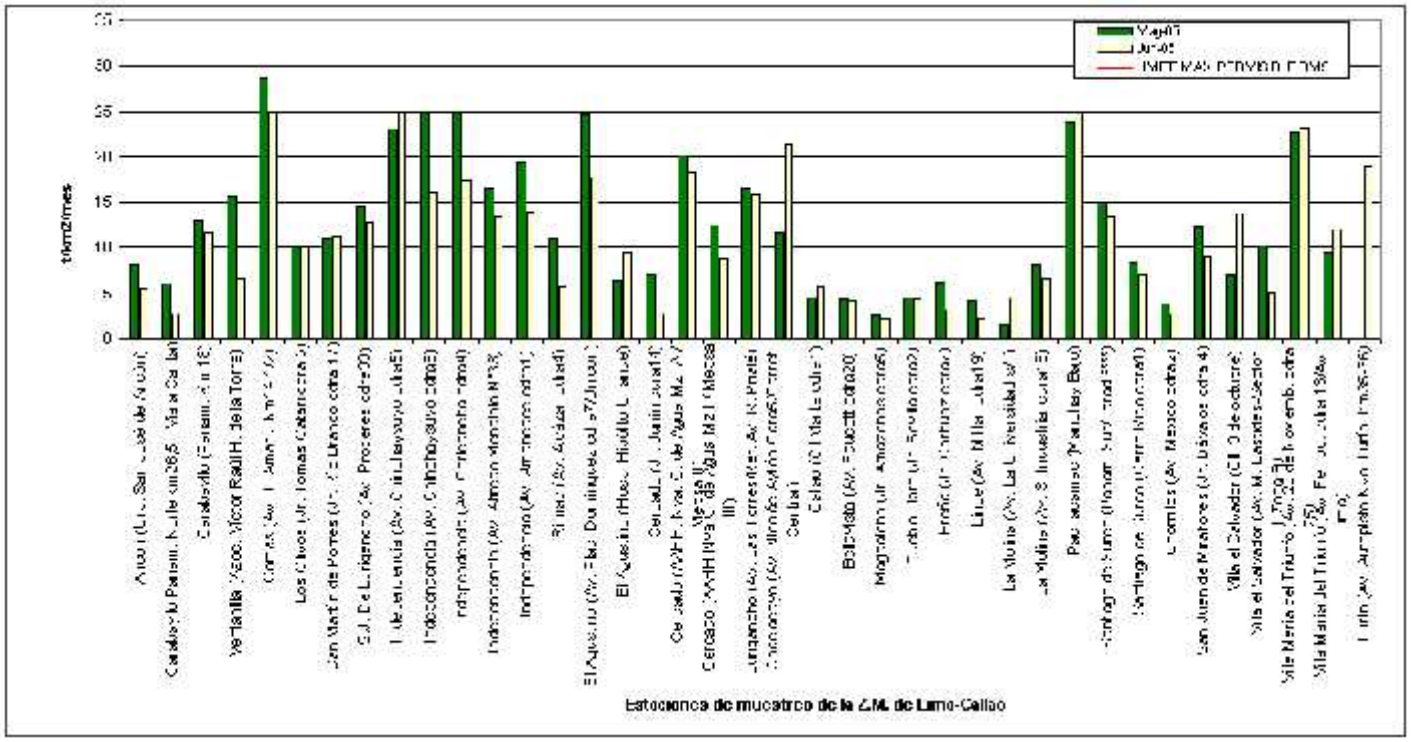


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de mayo y junio 2005 en Lima-Callao

En la **figura 3** se aprecia la distribución espacial de los CSS en la Zona Metropolitana (Z.M.) de Lima-Callao. La estrecha franja amarilla representa aquellas estaciones que se mantienen por debajo del límite, constituido por distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales que se ven 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 incentivan índices adecuados de vegetación de tal forma que el fenómeno de la resuspensión se ve limitado. Con respecto a las 4 principales zonas o áreas críticas de acumulación de este contaminante identificadas, se ha observado lo siguiente: Hacia el cono norte (Cuenca del río Chillón) se configura 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 Comas tiene un valor de 25,0 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 extendido de 18,2 en El Cercado y 21,4 t/km^2/mes en Chaclacayo. El tercer centro ubicado en la zona sur-este tiene su núcleo en el distrito de Pachacamac con valor de 25,0

t/km^2/mes; mientras que el cuarto centro se ubica en el cono sur (en la zona de intercuenca Rímac-Lurín) comprende los distritos de Villa el Salvador y Villa María del Triunfo, tiene un núcleo de 23,2 t/km^2/mes. Se encuentra en observación la configuración de un nuevo centro en el valle de Lurín con una registro de 18,9 t/km^2/mes.

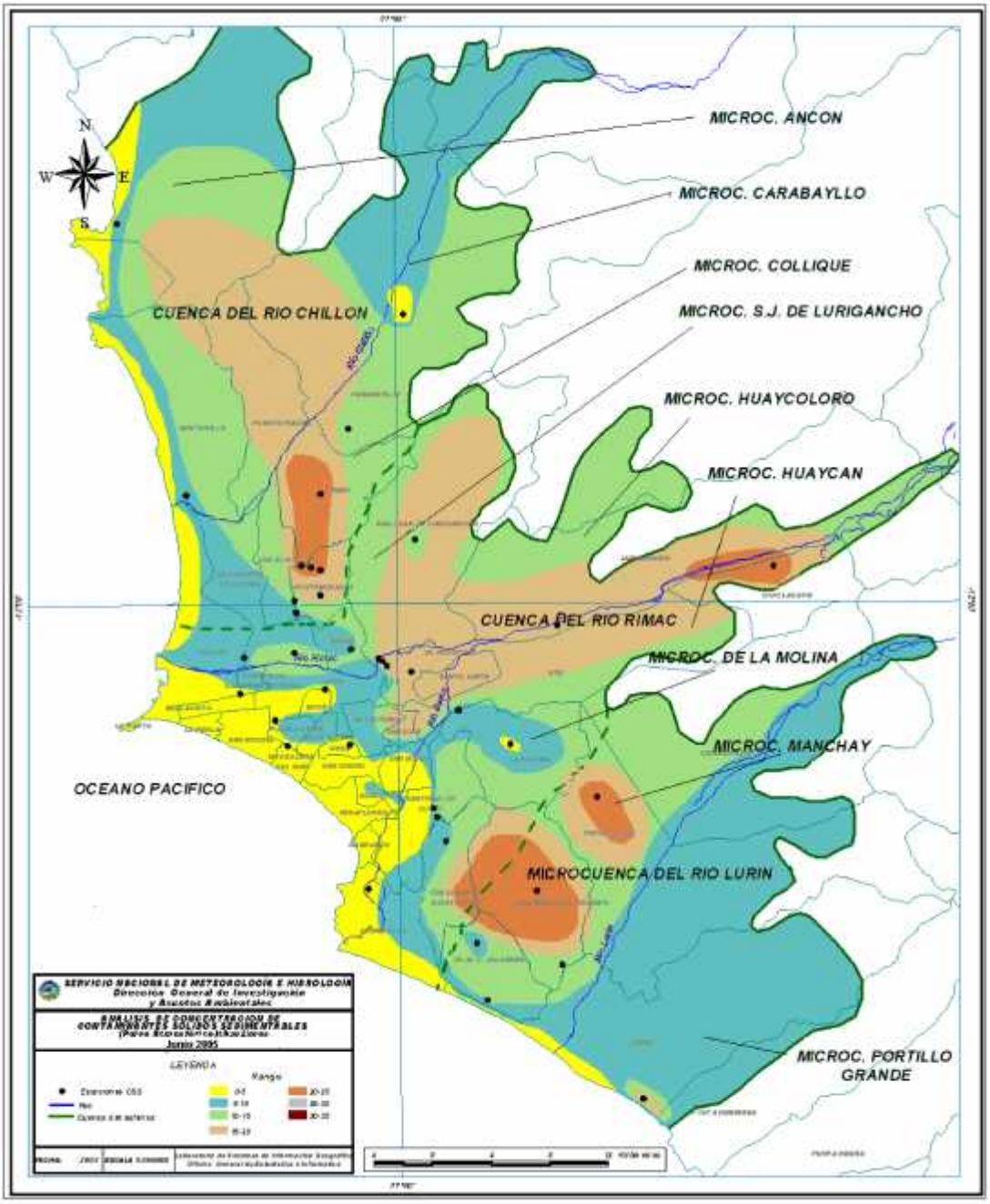


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico (ó contaminantes sólidos sedimentables) en el ámbito de la Cuenca Atmosférica de la Z.M. de Lima-Callao durante el mes de junio del 2005

5.2 Evaluación del comportamiento de los Óxidos de Nitrógeno (NOx): Óxido Nítrico y Dióxido de Nitrógeno durante el mes de junio 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 135,7 ppb y de NO_2 de 34,6 ppb, ocurridos el día 30 de junio a las 9am y el 28 a las 21:00 horas, respectivamente; y mínimos horarios de 9,2 y 0,8 ppb, el día 8 de junio a las 5:00am.

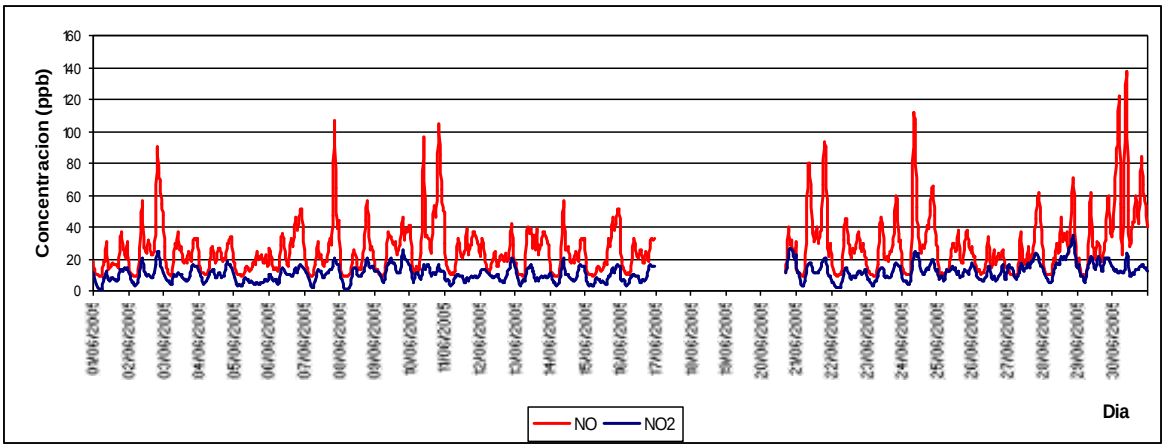


Fig.4a – Concentraciones horarias de NO y NO_2 registrados en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Junio 2005

El D.S. N°074-PCM-2001 referido al Reglamento Nacional de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire para el NO_2 corresponde a 104,6 ppb (200 ug/m^3) para una hora, muy por encima del valor máximo horario alcanzado de 34,6 ppb. El promedio máximo horario de NO_2 fue de 11,14 ppb. Ver **figura 4b**.

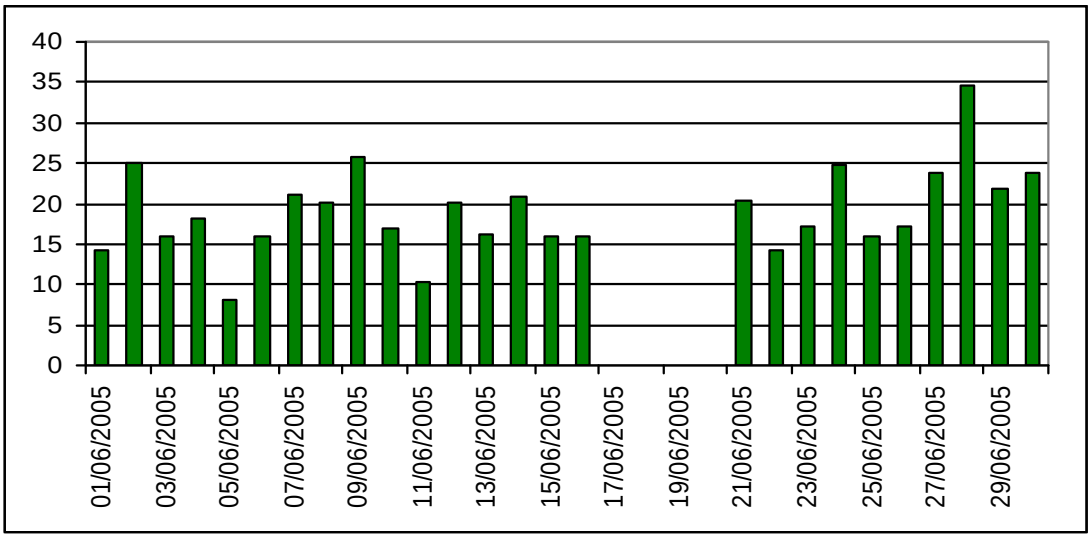


Fig.4b – Concentraciones horarias máximas de NO_2 registrados en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI – junio 2005

Es necesario siempre mencionar que no sobrepasar un 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.

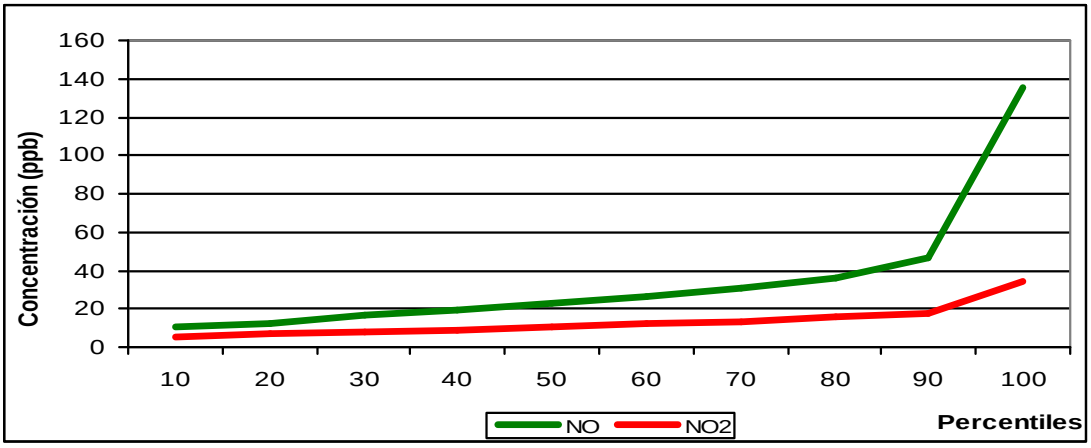


Fig.4c – Distribución de Percentiles de NO y NO_2 en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI – junio 2005

De acuerdo a lo observado en la **figura 4c**, el 25% de los datos de NO y NO_2 se encuentran por debajo de 14 y 7 ppb, el 50% por debajo de 23 y 11 ppb y el 75% por debajo de 33 y 14 ppb, respectivamente. El análisis de los percentiles horarios del NO_2, refiere que a las 9:00 am el 25% de los registros está por debajo de 27,9, el 50% son inferiores a 14,1 y el 75% se mantienen por debajo de 17,2 ppb; mientras que hacia las 21:00 horas, el 25% de las concentraciones de NO_2 está por debajo de 31,7, el 50% son inferiores a 15,9 y el 75% por debajo de 19,1 ppb. En ambas horas, 9:00 y 21:00 horas, los reportes de las concentraciones de NO_2, son mayores y delinean el comportamiento horario de este gas con dos picos máximos durante el día.

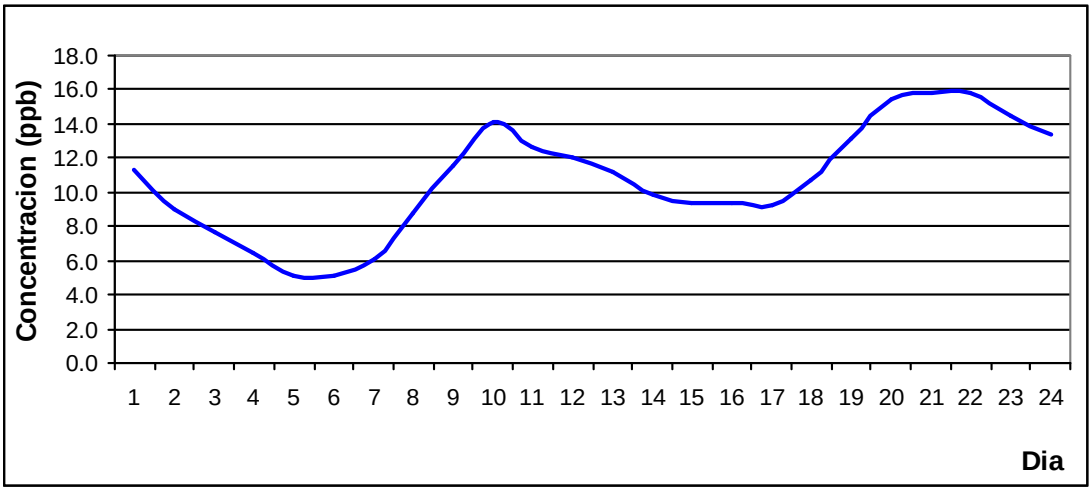


Fig.4d -. Concentración máxima media horaria de Dióxido de Nitrógeno Estación de Calidad de Aire SENAMHI - junio 2005

La variación horaria de las concentraciones máximas medias horarias de NO_2 presentadas en la **figura 4d**, refiere un patrón claramente definido caracterizado por dichos picos horarios máximos 14,1 ppb (9:00 am.) y 15,8 ppb (20:00 y 21 horas), períodos que corresponden a la alta circulación vehicular asociada al desplazamiento de la población a sus centros de labores, escuelas, etc.

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 junio del 2005

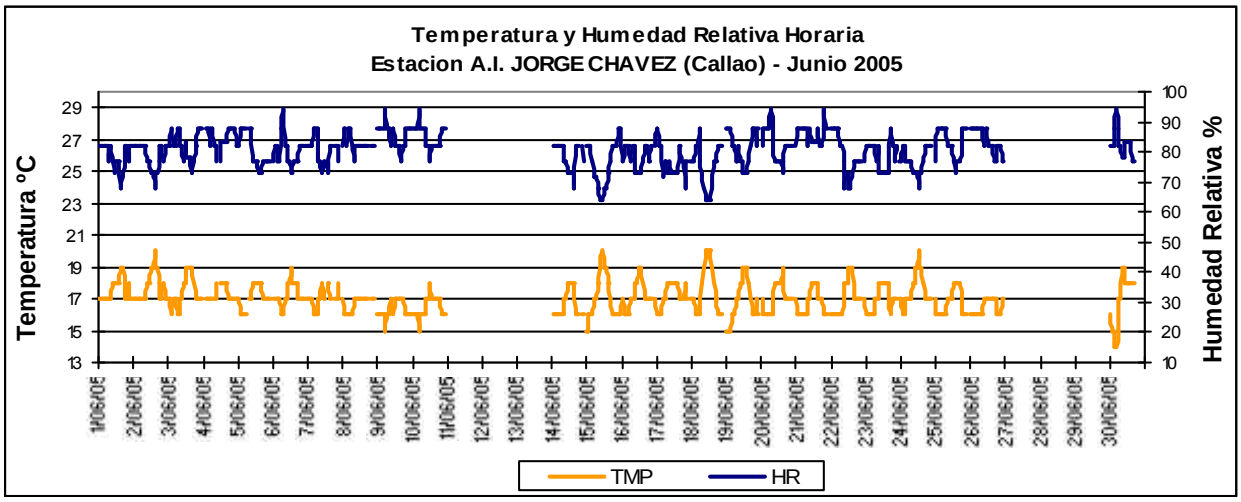
Para mes de junio, el análisis de las condiciones meteorológicas horarias y diarias para la Zona Metropolitana Lima-Callao se ha basado en la información de 4 estaciones meteorológicas, convencionales y automáticas, señaladas en el rubro **4.3**. A continuación se desarrollan los análisis respectivos de la información meteorológica.

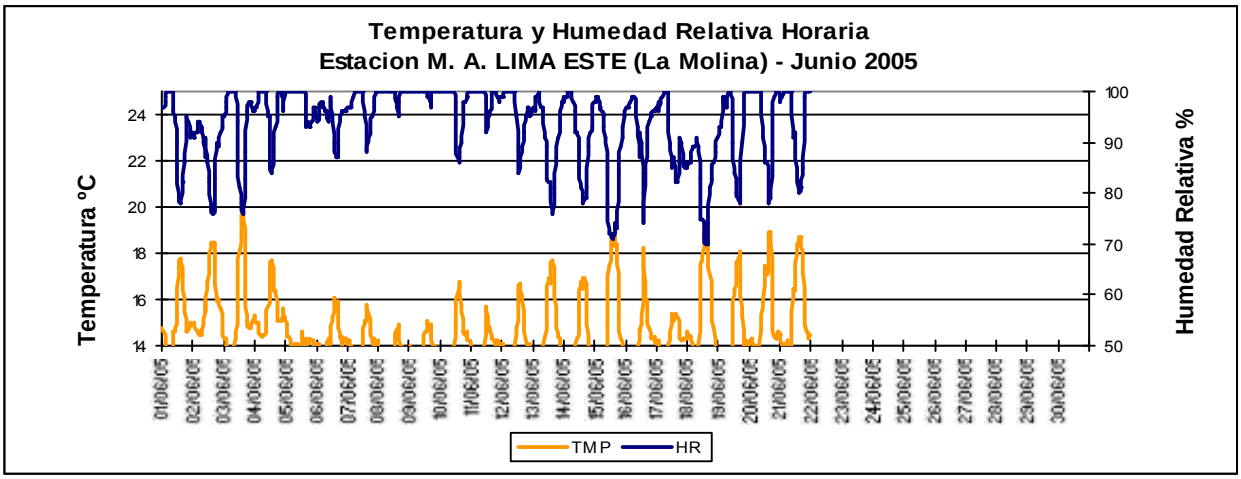
5.3.1. Análisis de Temperatura y Humedad Relativa

- 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 14,9°C (La Molina) a 20,2°C (Surco) y la mínima osciló entre 12,4°C (La Molina) a 17,0°C (Callao); la temperatura media del mes fue de 16,2°C, inferior en 1,8°C al mes anterior. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 92% (Surco) a 100% en la Molina y la mínima osciló entre 62% en Surco a 97% en La Molina (ver **figuras 5 y 6**); la humedad relativa media fue de 85%, similar al mes anterior. Durante el mes de junio, los días se presentaron mayormente nublados con brillo solar escazo en horas de la tarde y lloviznas aisladas durante la segunda y tercera década del mes.

- 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 de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas, refiere que el día más cálido del mes se presentó el 18 de junio con una media de 19,8°C, inferior a mayo en 4,0°C; mientras que el día más frío fue el 30 con un valor medio de 14,1°C, inferior a mayo en 1,3°C. Con respecto a la humedad relativa el 18 de junio (65%) fue el día más seco (superior a mayo en 7%), mientras que el día 10 se alcanzó una humedad media de 93%.





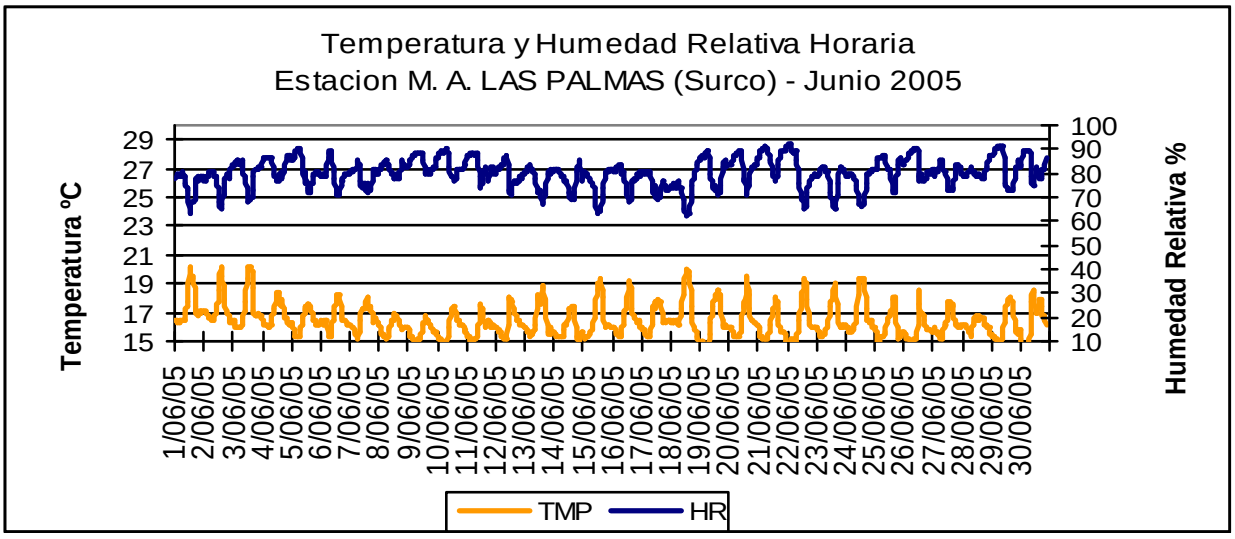


Fig.5.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de Junio del 2005 en El Callao, La Molina y Santiago de Surco

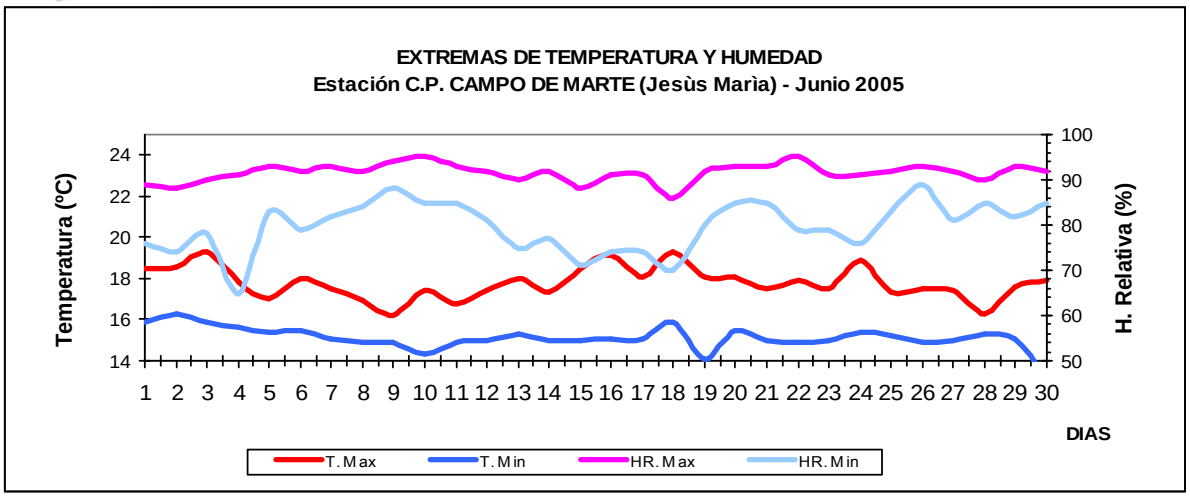


Fig.6 .- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de junio del 2005 en Jesús María y Chorrillos

5.3.2 Análisis del viento superficial en la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de junio del 2005.

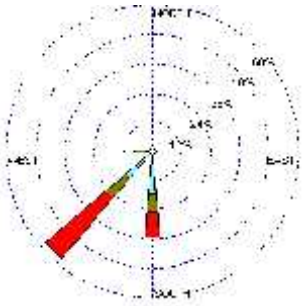
La información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de junio es presentada en las **figuras 7** y **8** para el día (07:00 – 18:00) y la noche (19:00 – 06:00):

- Durante el día (7:00 a 18:00 horas), se presentaron vientos con intensidad media débil (2,9 m/s) en Jesús María de dirección SW (43%). Intensidades moderadas se registraron en el Callao (4,3 m/s), La Molina (4,9 m/s) y Surco (3,9 m/s) de direcciones SW y S (58 y 35%), W y WNW (44 y 39%), y del S y SW (31 y 18%), respectivamente.

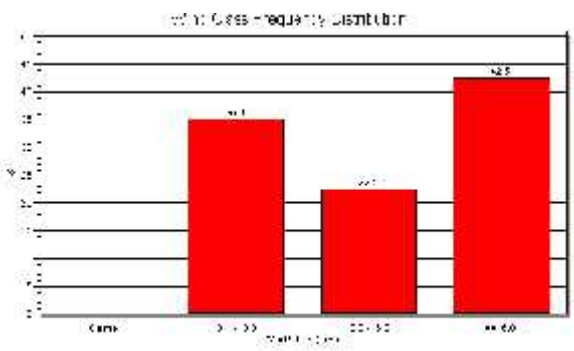
  La distribución de frecuencias de intensidades del viento superficial son presentadas también en la **figura 7**. Así, hacia el litoral costero predominaron vientos fuertes a moderados; hacia el centro de la ciudad el mayor porcentaje de ocurrencia de calmas; hacia la zona este, vientos moderados; y hacia el sur de la ciudad los vientos oscilaron entre fuertes a moderados.

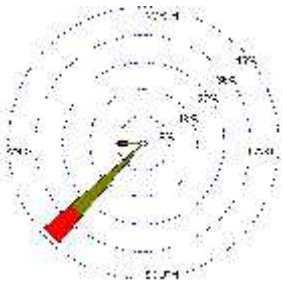
- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas), se reportaron vientos de intensidad media débil hacia los distritos del Callao (2,3 m/s) y La Molina (2,7 m/s) de direcciones S y SSE (50 y 15%) y del W y ESE (25 y 18 %), respectivamente. Intensidades moderadas (alrededor de 3,4 m/s) hacia Jesús María y Surco provenientes del SW (70%) y del WNW y SE (31 y 30%), respectivamente.

  La distribución de frecuencias de intensidades de viento son asimismo mostradas en la **figura 8.** Así, hacia el litoral costero predominaron intensidades débiles a moderadas; hacia el centro de la ciudad moderadas; hacia la zona este, entre débiles a moderadas; y hacia el sur de la ciudad los vientos oscilaron entre moderados a débiles.

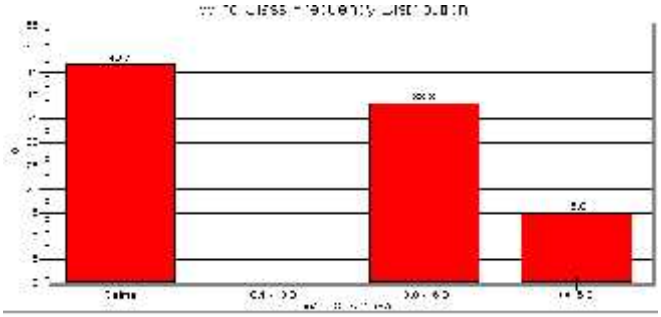


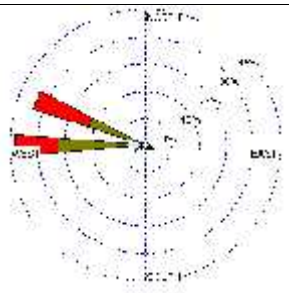
(a) 0 horas de calma



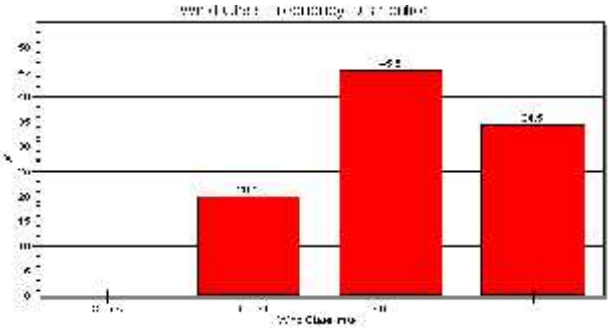


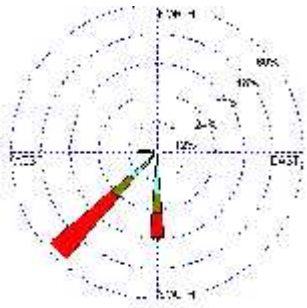
(b) 28 horas de calma (46,7%)



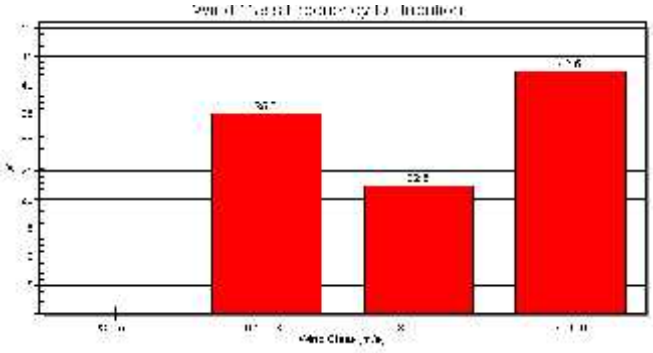


(c) 0 horas calma





(a) 0 horas calma



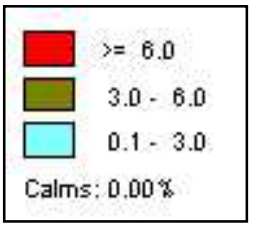
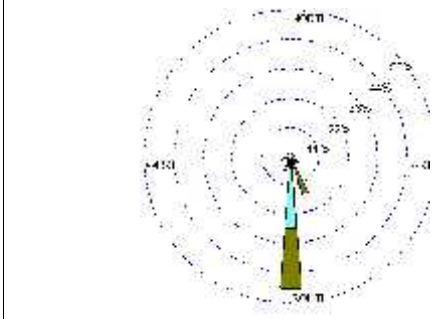
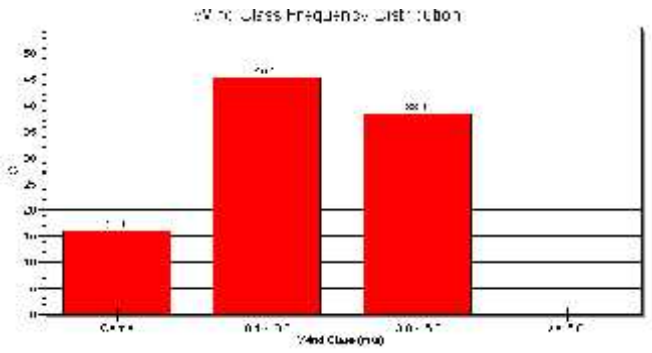
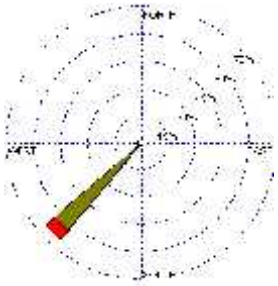


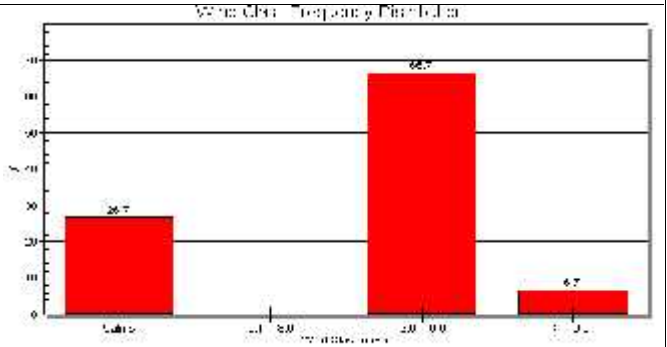
Fig.7 – Rosas de viento (m/se histogramas de frecuencia diurnas de las estaciones de (a) Callao,(b) Jesús María, (c) La Molina y (d) Surco
junio 2005



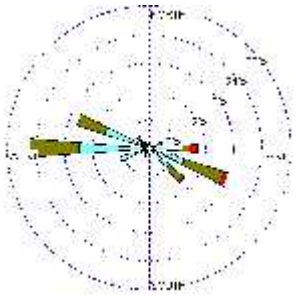


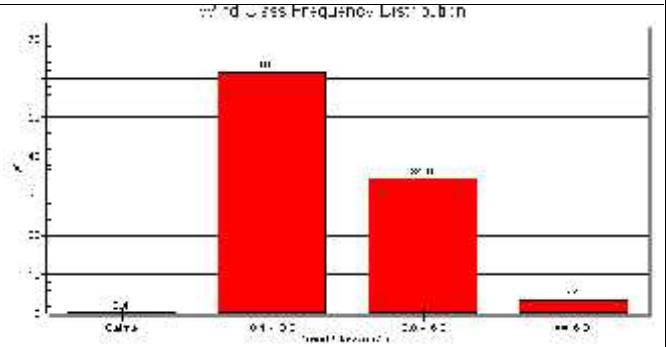
(a) 34 horas de calma (16,1%)



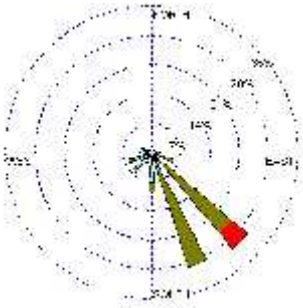


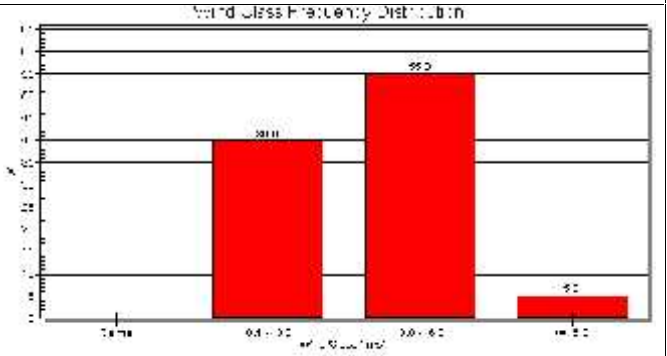
(b) 8 horas de calma (26,7%)





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





(d) o horas calma

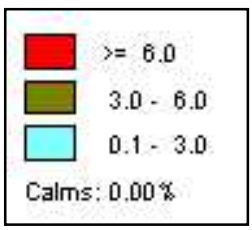


Fig. 8 – Rosas de viento (m/s) nocturnas de las estaciones de (a) Callao, (b) Jesús María, (c) La Molina,(d) Surco junio 2005

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

En la **figura 9** se muestra el sondaje meteorológico promedio para el mes de junio. Del análisis realizado, se observó que la capa de inversión térmica en la costa central de Perú estuvo presente durante los 14 días en que se realizó el sondaje de manera interdiaria. Se observó además que del período analizado, el 42,9% de los días tienen una altura de base de inversión entre los 800 y los 1000 m de elevación, característica propia de condiciones invernales. Ver **Cuadro N°2** .

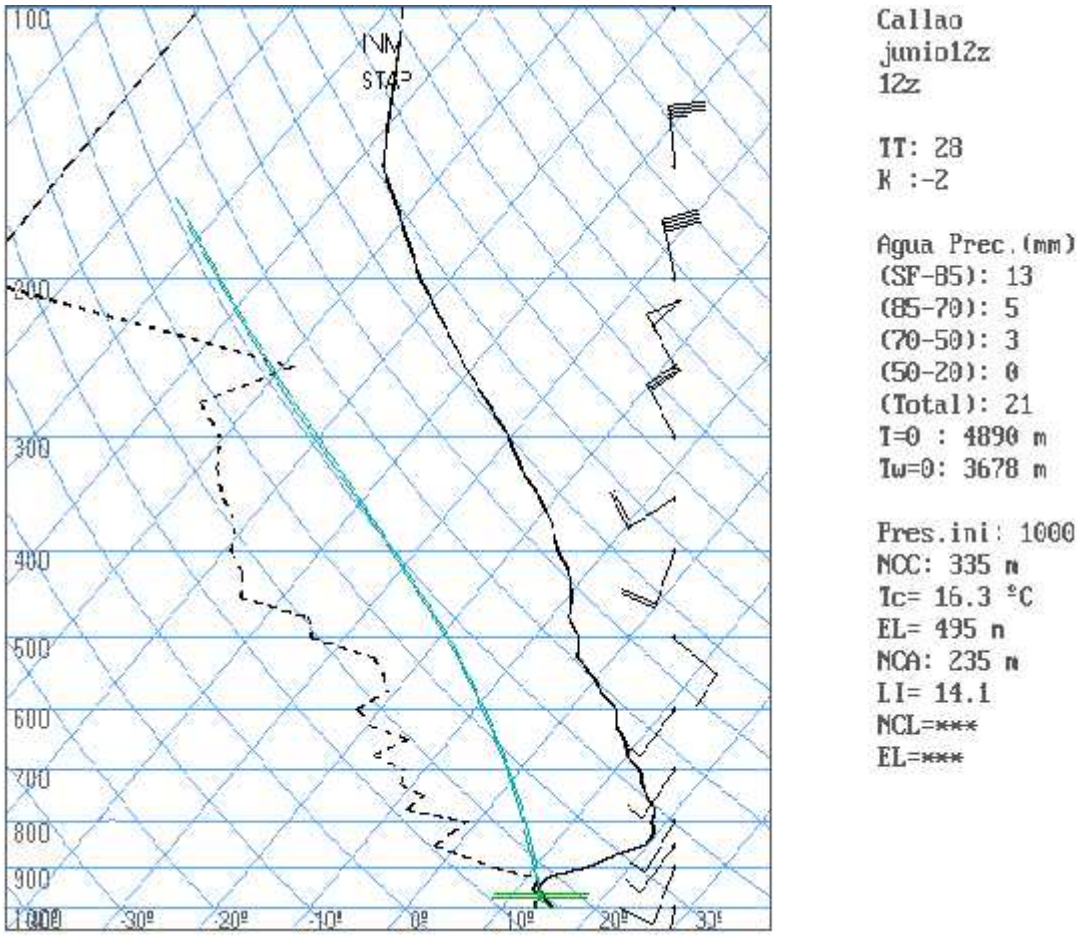


Fig. 9. - Radiosondaje mensual promedio durante el mes de junio del 2005 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)

Cuadro N° 2: Frecuencia relativa de alturas de la base de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú – Mes de junio 2005

Alturas (m)	Días del mes	Frecuencia relativa (%)
13-200	00	00
200-400	00	00
400-600	01	7,1
600-800	03	21,4
800-1000	06	42,9
1000-1200	01	7,1
1200-1400	03	21,4
1400-1600	00	00
> 1600	00	00
Total	14	100

Cuadro N° 3: Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO JUNIO	PROMEDIO MAYO
Espesor	metro	734	21	111	19	397,6	746,3
Altura Base	metro	1399	7	596	3	941	626,1
Altura Tope	metro	1913	17	880	19	1338	1372,3
T Base	° C	15	21	10,2	15	12,6	13,4
T Tope	° C	26,4	11	14,6	23	19,9	19,8
Gradiente	°C / 100metros	5,07	11	0,3	25	2,2	1,4
H.R. Base	%	99	9	8,0	17	75,6	84,5
H.R. Tope	%	97	19	5,0	17	31,9	33,2

Asimismo, la altura media de la base de la inversión fue de 941 m es decir, 314,9 m más alta que la correspondiente al mes anterior y con un espesor de 397,6 m (**Cuadro N°3**) e intensidad de 2,2°C/100m. 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. Asimismo, debido a la menor insolación y turbulencia, es probable que exista una desaceleración de los procesos de supensión y resuspensión.

Respecto al comportamiento de los vientos en el perfil de la Troposfera, entre superficie y los 600 hPa, éstos fueron del SW con velocidades de 2,5 a 5 m/s. Entre los 600 y 500 hPa, los vientos fueron del SE con intensidades de 5 a 7,5 m/s. Entre 500 y 300 hPa nuevamente cambiaron a vientos del SW con velocidades de 10 m/s. Por encima de los 300 hPa los vientos fueron del N con intensidades de 10 a 15 m/s.

6. Conclusiones

- ✓ Para el mes de junio, las condiciones meteorológicas presentes (variaciones térmicas, procesos de transporte, estabilidad y turbulencia atmosférica) en estrecha interacción con los aportes antropogénicos explicados en el presente documento, configuraron 4

centros importantes de alta contaminación: El primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad en el distrito de Comas (25 t/km^2/mes); el segundo en el cono centro-este con un valor de 18,2 t/km^2/mes, extendido hacia Chaclacayo (21,4 t/km^2/mes); el tercero en la zona sur-este (Pachacamac) con 25 t/km^2/mes; y el cuarto en el cono sur con una concentración de 23,2 t/km^2/mes.

- ✓ De las 39 estaciones, sólo el 74,4 superaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual fue de 11,1 t/km^2/mes, con un valor máximo de 25,0 t/km^2/mes en Comas y Pachacamac un mínimo de 2,2 t/km^2/mes en Lince.

- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo horario del Dióxido de Nitrógeno (NO_2) fue de 34,6 ppb, que representa un 33,1 % 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 14,1 ppb (9:00 am.) y 15,8 ppb (20:00 y 21 horas).

- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias observadas fueron de 16,2 °C y 85%. Asimismo, el día más cálido del mes se presentó el 18 de junio con una media de 19,8°C; mientras que el día más frío fue el 30 con un valor medio de 14,1°C,. Con respecto a la humedad relativa el 18 de junio (65%) fue el día más seco (superior a mayo en 7%), mientras que el día 10 se alcanzó una humedad media de 93%.

- ✓ Con respecto al análisis del viento superficial, durante el día, se presentaron vientos débiles en Jesús María de dirección SW e Intensidades moderadas en el Callao, La Molina y Surco de dirección SW y S, W y WNW, y del S y SW, respectivamente. En cuanto a la distribución de frecuencias, hacia el litoral costero predominaron intensidades fuertes a moderadas; hacia el centro de la ciudad se reporta el mayor porcentaje de ocurrencia de calmas; hacia la zona este, predominan vientos moderados; y hacia el sur de la ciudad los vientos oscilaron entre fuertes a moderados.

  Durante la noche se reportaron vientos débiles hacia el Callao y La Molina de direcciones S y SSE y del W y ESE, respectivamente. Intensidades moderadas hacia Jesús María y Surco del SW y del WNW y SE, respectivamente. En cuanto a la distribución de frecuencias, hacia el litoral costero predominaron intensidades débiles a moderadas; hacia el centro de la ciudad intensidades moderadas; hacia la zona este, entre débiles a moderados; y hacia el sur de la ciudad los vientos oscilaron entre moderados a débiles.

- ✓ Con respecto al análisis de la información meteorológica de altura, la inversión térmica presentó una altura de base promedio de 941 m con una intensidad de 2,2°C/100m, condiciones que en conjunto con la disminución de los procesos de supensión y resuspensión, conntribuyeron en forma relativa contribuyeron a una relativa mejora de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, con respecto al mes de mayo.