

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

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	2
2	TEMA DE INTERÉS DEL MES: INTRODUCCIÓN A LA QUÍMICA DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO	2
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 mayo del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	9
	5.2 Evaluación del comportamiento de los óxidos de nitrógeno-mayo 2005	12
	5.2 Condiciones Meteorológicas durante el mes de abril	14
6.	CONCLUSIONES	20

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 abril y mayo2005 en Lima-Callao	10
Fig. 3 -	Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de mayo del 2005	11
Fig. 4a-	Concentraciones horarias de NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Mayo 2005	12
Fig. 4b-	Concentraciones horarias máximas de NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Mayo 2005	12
Fig. 4c-	Distribución de percentiles NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Mayo 2005	13
Fig. 4d-	Concentraciones máximas medias horarias de NO y NO2 registrados en la estación de calidad del aire –SENAMHI. Mayo 2005	13
Fig. 5 -	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en el Callao, Surco y La Molina durante el mes de mayo del 2005 en Lima-Callao	15
Fig. 6-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Jesús María y Chorrillos durante el mes de mayo del 2005 en Lima-Callao	16
Fig. 7 –	Rosas de viento Diurnas	17
Fig. 8 –	Rosas de viento Nocturnas	18
Fig. 9.-	Radiosondaje mensual promedio mes de abril	19

INDICE DE CUADROS

Cuadro. 1	Concentraciones de los contaminantes sólidos sedimentables. Meses de Abril y mayo 2005	9
Cuadro. 2	Frecuencia Relativa de alturas de la base de inversión térmica en la Costa Central del Perú. Mayo 2005	19
Cuadro. 3	Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central del Perú –abril 2005	20

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

1. Introducción

Durante el mes de mayo, el SENAMHI a través de la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales inició las coordinaciones de cooperación técnica con la Agencia Coreana de Cooperación Internacional – KOICA- para la venida al Perú de un experto en materia de Calidad de Aire, con el propósito de reforzar el desarrollo de las capacidades e intercambiar experiencias de trabajo en este campo de la investigación. De otro lado, personal profesional del Servicio asistió el día 19 al Foro Internacional “Acreditación de las Carreras profesionales de Ingeniería y Tecnología en el Perú”, realizado en la Sala Grau del Congreso de la República, en donde se presentaron los avances de la Sub Comisión de Ciencia y Tecnología de la Comisión de Educación acerca del estado actual de la legislación sobre acreditación de la educación en el Perú y las experiencias en el proceso llevadas a cabo por el Instituto de la Calidad y Acreditación de las Carreras de Ingeniería y Tecnología (ICACIT).

Respecto a la evaluación de la contaminación del aire, el presente boletín muestra los resultados de la evaluación de la deposición ácida seca (polvo atmosférico 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 mayo.

2. Tema de Interés: Introducción a la Química de los óxidos de Nitrógeno.

Una gran variedad de compuestos nitrogenados en su fase gaseosa y particulada son encontrados en la atmósfera; estos son el nitrógeno molecular (N_2), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), radicales nitratos (NO_3), pentóxidos dinitrógenos (N_2O_5), ácidos nitrosos (HNO_2), ácido nítrico (HNO_3), otros nitratos (NO_3^-), amonio (NH_3), sales amoniacaes, entre otros. De éstos, el Nitrógeno molecular (N_2) es el principal componente de la atmósfera, alcanzando aproximadamente el 78% de su masa, mientras que los otros componentes son encontrados en cantidades traza (Godish, 1997) ⁽¹⁾.

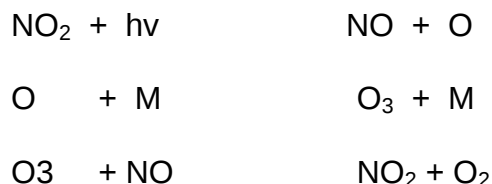
Seinfeld (1978) ⁽²⁾, describe algunos de los compuestos nitrogenados. Así refiere que el N_2O (Óxido Nitroso) es un gas incoloro emitido en su casi totalidad por fuentes naturales, como es la acción bacteriana y por reacciones entre N_2 , O y O_3 en la alta atmósfera; este compuesto no está considerado como contaminante atmosférico. El NO (óxido nítrico) es emitido tanto por fuentes naturales como por fuentes antropogénicas, como es la combustión de carburantes a altas temperaturas. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es emitido en pequeñas cantidades junto con el NO y se forma además debido a la oxidación de NO . El NH_3 es emitido por fuentes naturales, y en altas concentraciones puede considerarse un importante contaminante atmosférico.

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

(2) Seinfeld, John. 1978. Contaminación Atmosférica. Fundamentos Físicos y químicos. Versión Traducida. Madrid, España.

Los amoniacos y los nitratos no son emitidos en grandes cantidades pero se producen por conversión de NO, NO₂ y NH₃.

Las tres reacciones más importantes entre el NO₂, NO y el aire en presencia de luz solar son:



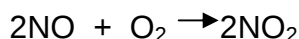
Donde M es el compuesto N₂ u O₂, generalmente.

De todos ellos, el más abundante en la baja atmósfera es el N₂O que proviene de fuentes biológicas. Este a su vez es una importante fuente natural de NO en la Troposfera alta y en la Estratosfera como resultado de la conversión:



Godish (1997) refiere que el NO y el NO₂ son los compuestos cuya dinámica juega un papel muy importante en la química de los contaminantes atmosféricos. Sus concentraciones se incrementan significativamente en la atmósfera como resultado de los aportes de la actividad humana y además sirven como precursores de una gran variedad de reacciones atmosféricas debido a su rápida interconvertibilidad química. El término genérico para denominar estos compuestos es el de NO_x (que también incluyen al trióxido de nitrógeno -NO₃, sesquióxido de nitrógeno -N₂O₃, tetróxido de nitrógeno -N₂O₄ y pentóxido de nitrógeno -N₂O₅)

De acuerdo a Seinfeld (1978) la mayoría de NO_x producido por combustión es NO. Sin embargo, cierta cantidad de NO₂ es producido a partir del NO presente de acuerdo a:



Por tanto, siempre habrá pequeñas cantidades de NO₂ presentes en una atmósfera urbana que contenga importantes concentraciones de NO. Cuando hayan bajas concentraciones de NO, dicha reacción de conversión es lenta (Godish, 1997).

La presencia simultánea de SO₂ y NO_x hace que la conversión generalmente lenta de SO₂ en H₂SO₄ se acelere de manera notable. Incluso las pequeñas cantidades de NO₂ presentes en la atmósfera son suficientes para desencadenar la compleja serie de reacciones que producen el smog fotoquímico.

De esta manera, la compleja dinámica química de los compuestos atmosféricos nitrogenados, principalmente de los óxidos de nitrógeno, debe ser estudiada en conjunto con otros compuestos asociados directamente o indirectamente a su formación y procesos de interconversión, sólo así seremos capaces de conocer las intrínsecas relaciones entre los diferentes contaminantes atmosféricos.

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 criterio 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 **figura 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 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 m.s.n.m. 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 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 25,8°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, 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 de la deposición seca (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 38 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 ampliando la red de muestreo, habiéndose instalado en este mes una estación en el distrito de Lurín; a su vez, es necesario mencionar que en el análisis que se viene realizando en el distrito de Independencia, se están considerando una micro red de estaciones. Todo ellos 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-Callao. 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), estación climatológica Las Palmas (Surco) y estación climatológica Pantanos de Villa (Chorrillos), 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.

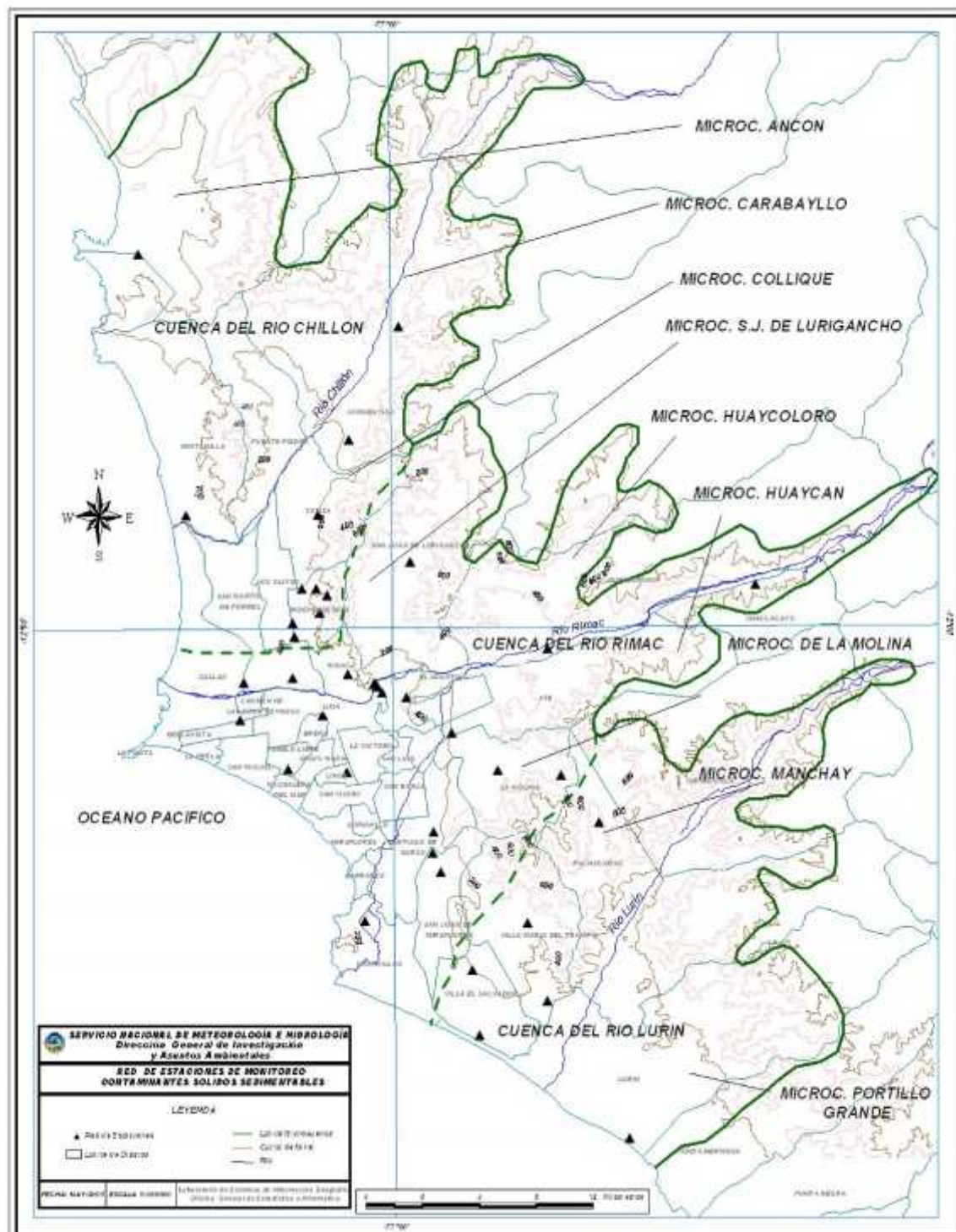


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

5. Resultados del Monitoreo Ambiental

5.1 Distribución espacial de la deposición seca (polvo atmosférico o contaminantes sólidos sedimentables) durante el mes de mayo

En la **figura 1** se presenta la red de muestreo de polvo atmosférico ó contaminantes sólidos sedimentables. En el mes de mayo se ha recopilado información de las 38 estaciones de muestreo existentes a la fecha, de las cuales el 81,6% excedió el límite referencial permisible recomendado por la OMS equivalente a 5 t/km²/mes). Respecto al mes anterior se mantiene en el distrito de Comas el centro de mayor acumulación de polvo atmosférico de la capital, excediendo en 5,6 veces aproximadamente el valor referencial permisible.

Cabe nuevamente resaltar que el proceso de ampliación de la red de estaciones de muestreo de polvo atmosférico que se viene llevando a cabo con un total a la fecha de 38 estaciones de muestreo, pretende cubrir todo el ámbito de la Cuenca Atmosférica (**figura 1**) y de esta forma ir identificando otras zonas críticas de alta contaminación del aire en donde la calidad de vida y la salud de la población están más expuestas.

Como se puede observar en el **Cuadro N°1**, en los principales núcleos la contaminación excede en varias veces (5,6; 4,9 y 4,5 aproximadamente) el límite referencial permisible. La concentración media de CSS para la Z.M. de Lima-Callao durante el mes de mayo fue de 12,5 t/km²/mes considerando las 38 estaciones existentes, con un valor máximo de 28,6 t/km²/mes en Comas y un mínimo de 1,6 t/km²/mes en la Molina.

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

Concent./mes t/km ² /mes	N° de estaciones	%	Núcleos Principales		
			Cono Norte	Cono Centro-este	Cono Sur
Mes de abril	29	79,3	32,0 (Comas)	22,4 (El Agustino)	26,7 (V.M.T.)
Mes de mayo	38	81,6	28,0 (Comas)	24,6 (El Agustino)	22,7 (V.M.T.)

En la **figura 2** se observan los registros de 29 estaciones de muestreo recopilados durante los meses de abril y mayo, con promedios de 11,9 y 11,1 t/km²/mes, respectivamente. En términos generales, los principales núcleos de acumulación de polvo atmosférico en la capital se han mantenido y el 75,9% de las estaciones sobrepasan el valor referencial, respecto al mes anterior.

Se ha establecido que 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.

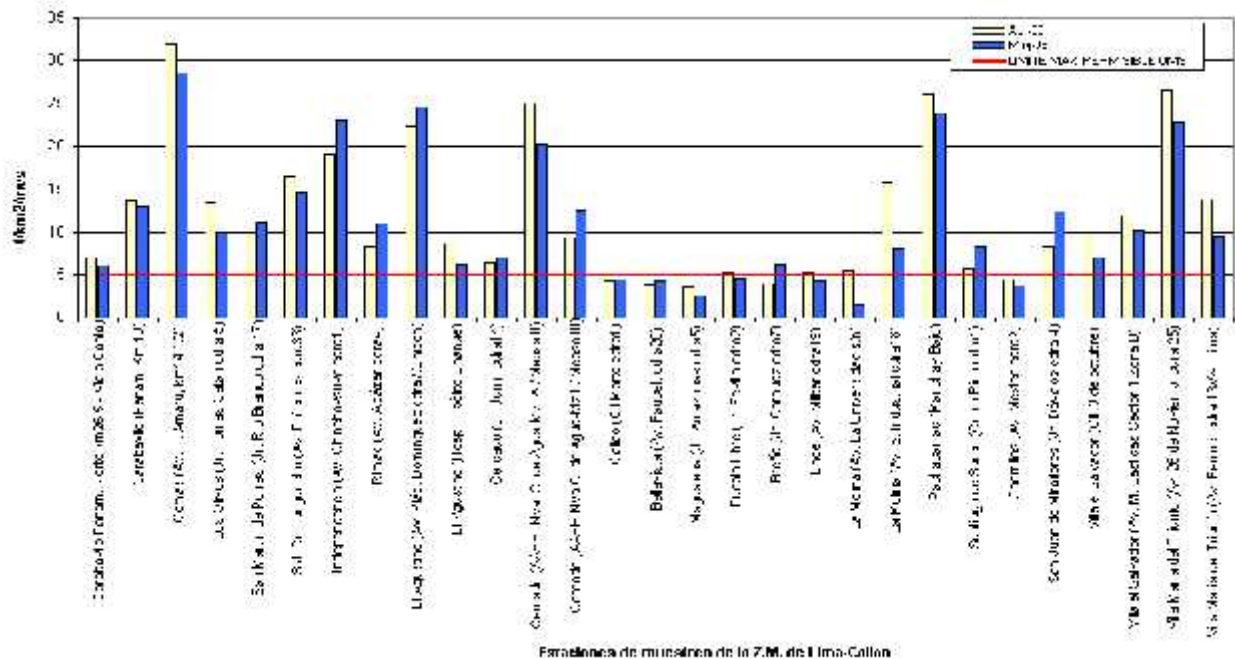


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico (contaminantes sólidos sedimentables) registrados durante los meses de abril y mayo 2005 en Lima-Callao

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 3 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 Carabayillo, Comas, Los Olivos, Pte. Piedra e Independencia, cuyo núcleo en el distrito de Comas tiene un valor de $28,6 \text{ t/km}^2/\text{mes}$. El segundo centro abarca el cono centro-este (Cuenca del río Rímac y microcuenca de San Juan de Lurigancho) y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Santa Anita, El Agustino, y el Cercado (lado este) con núcleo de $24,6 \text{ t/km}^2/\text{mes}$ en el distrito de el Agustino. Mientras que el tercer centro ubicado en el cono sur (en la zona de intercuenca Rímac-Lurín) comprende los distritos de Villa el Salvador, Pachacamac, Lurín y Villa María del Triunfo, tiene un núcleo de $22,8 \text{ t/km}^2/\text{mes}$.

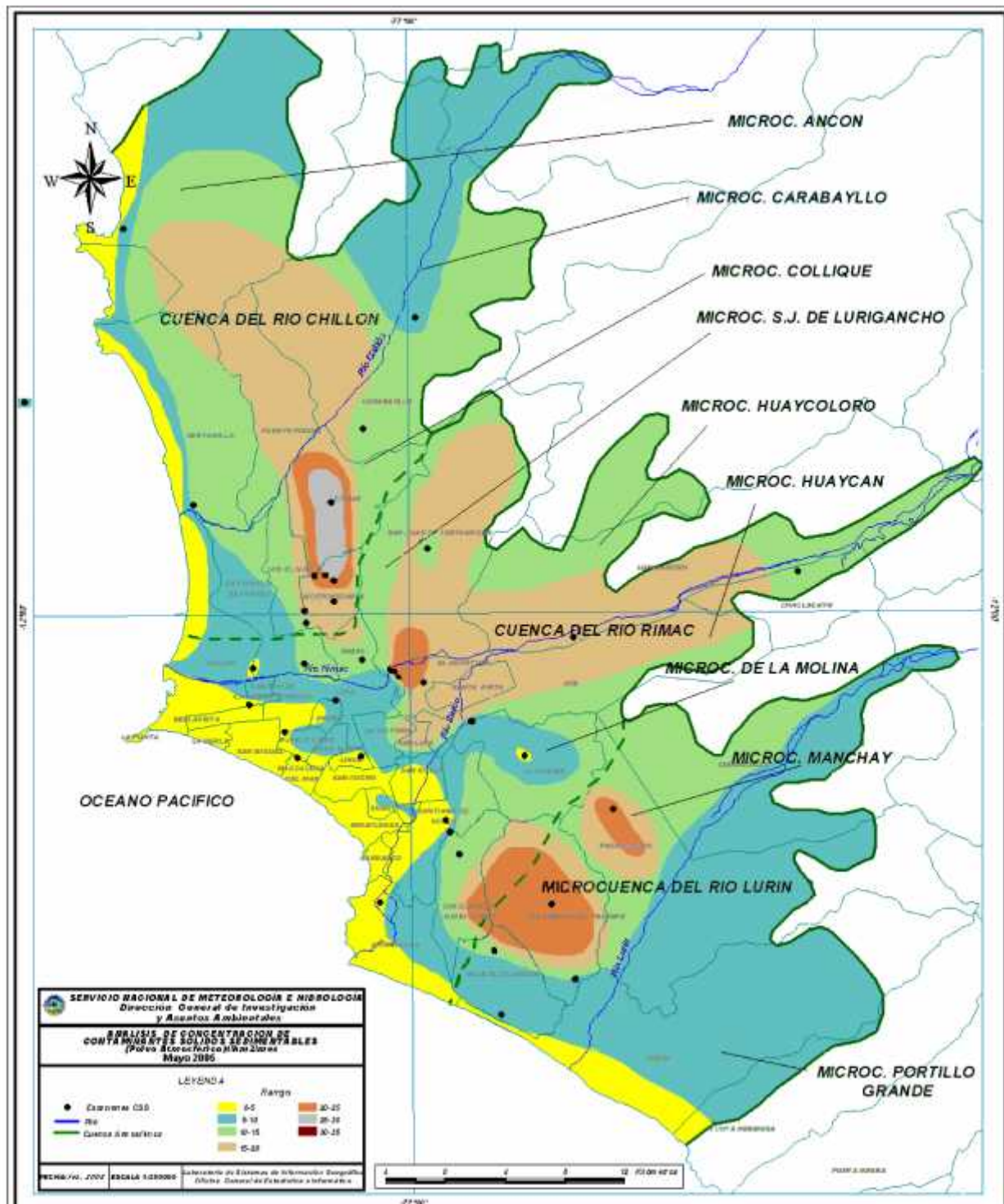


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de polvo atmosférico (ó contaminantes sólidos sedimentables) en el ámbito de la Cuenca Atmosférica de la Z.M. de Lima-Callao durante el mes de mayo del 2005

5.2 Evaluación del comportamiento de los Óxidos de Nitrógeno (NOx): Óxido Nítrico y Dióxido de Nitrógeno durante el mes de mayo 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 104,9 ppb y de NO₂ de 26,0 ppb ocurrido el día 4 de mayo a las 9am y el 18 a las 19:00 horas, respectivamente. El promedio máximo horario fue de 17,98 ppb.

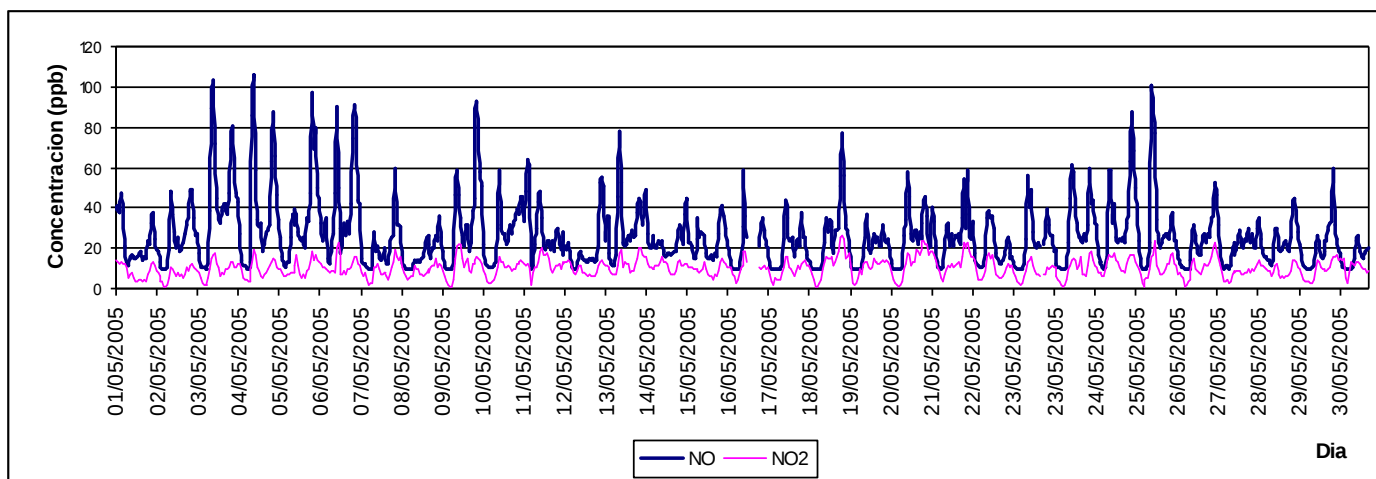


Fig.4a – Concentraciones horarias de NO y NO₂ registrados en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Mayo 2005

El D.S. N°074-PCM-2001 del Reglamento Nacional de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire establece un valor referencial para el NO₂ de 104,6 ppb (200 ug/m³) para una hora, muy por encima del valor máximo horario alcanzado de 26,0 ppb. Asimismo, el valor mínimo registrado fue de 12,5 ppb. Ver **figura 4b**.

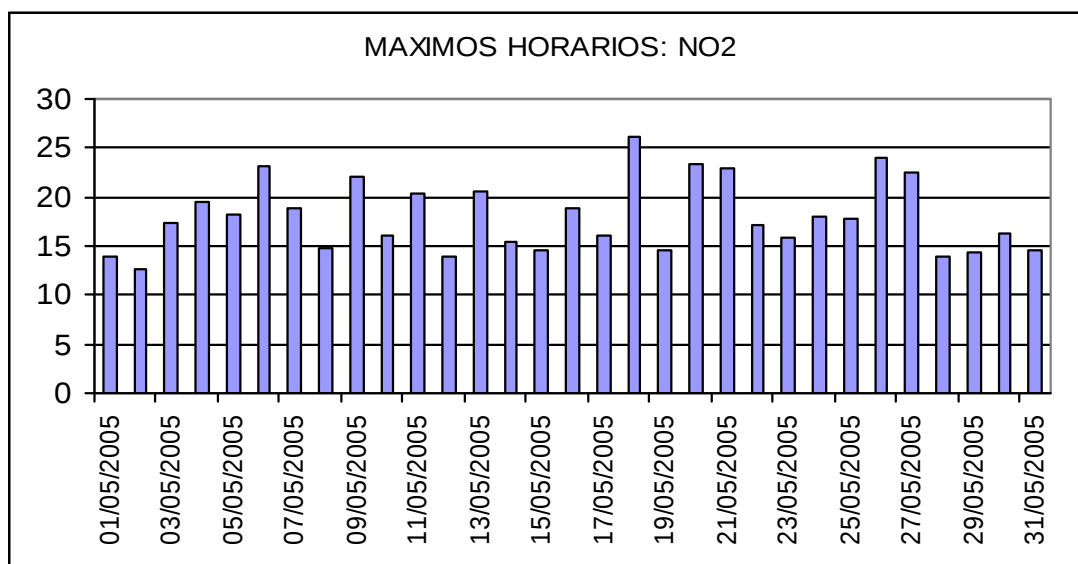


Fig.4b – Concentraciones horarias máximas de NO₂ registrados en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Mayo 2005

Cabe resaltar 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 sobre la calidad del aire y el impacto de éstas sobre la salud.

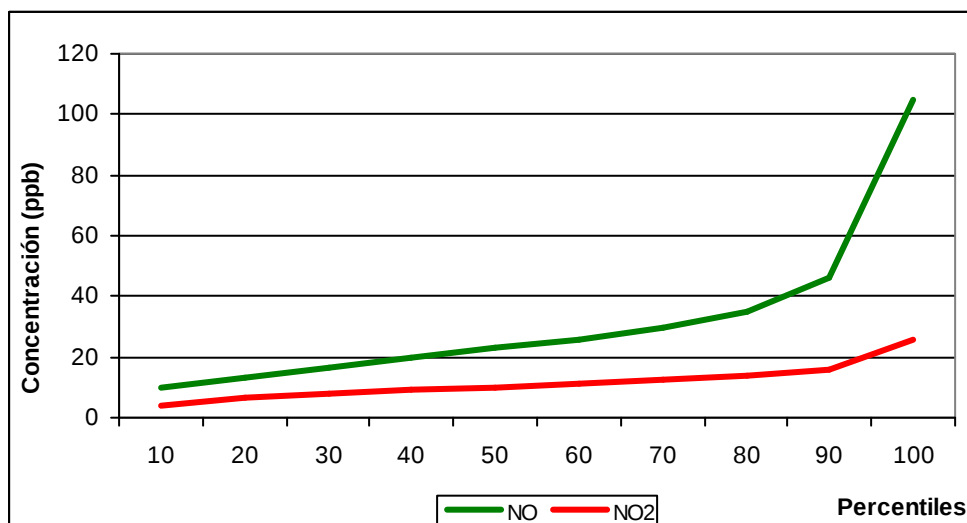


Fig.4c – Distribución de Percentiles de NO y NO₂ en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI – Mayo 2005

De acuerdo a lo observado en la **figura 4c**, el 25% de los datos de NO y NO₂ se encuentran por debajo de 15 y 7 ppb, el 50% por debajo de 23 y 10 ppb y el 75% por debajo de 32 y 13 ppb, respectivamente.

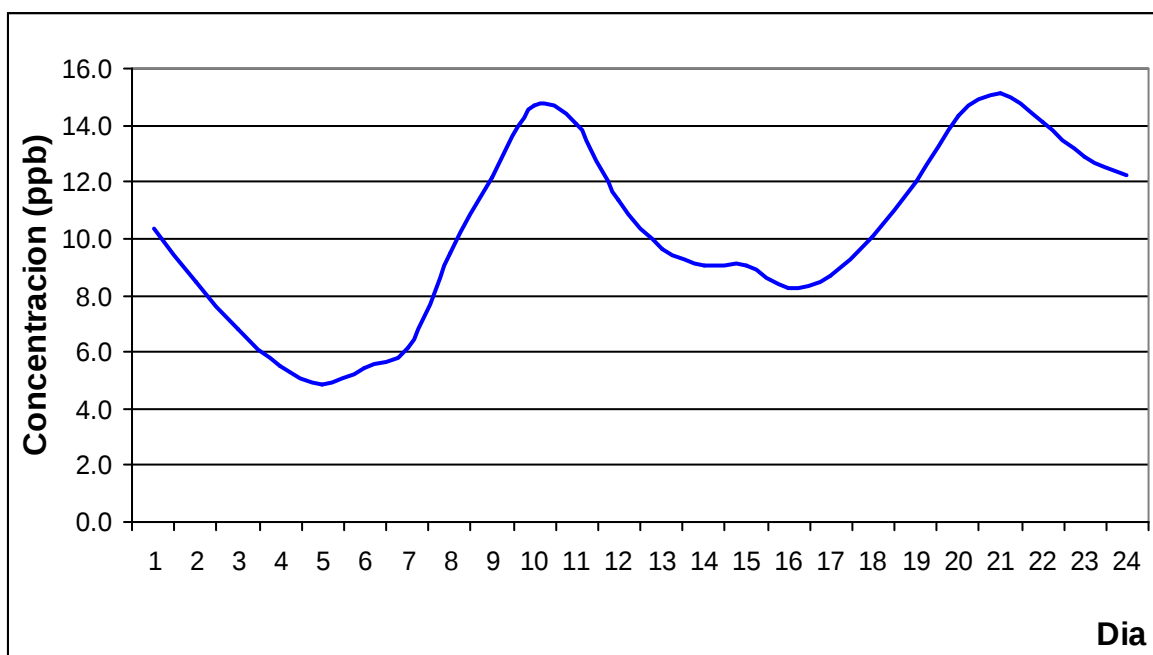


Fig.4d - Concentración máxima media horaria de Dióxido de Nitrógeno Estación de Calidad de Aire SENAMHI - Mayo 2005

La variación horaria de las concentraciones máximas medias horarias de NO₂ presentadas en la **figura 4d**, refiere un patrón claramente definido caracterizado por dos picos horarios máximos 14,7 ppb (9:00 am.) y 15,2 ppb (20:00 pm.), 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. Este último capítulo merece bastante atención por cuanto permitirá comprender que la velocidad del proceso de oxidación del NO a NO₂ es rápida, y siendo éste último uno de los precursores del Ozono troposferico, es posible explicar los bajos niveles reportados.

5.3 Condiciones meteorológicas durante el mes de mayo del 2005

Para el presente mes, 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 15,4°C (La Molina) a 24°C (Callao) y la mínima osciló entre 14°C (Chorrillos) y 20,0°C (Callao); la temperatura media del mes fue de 18,0°C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 78% (Callao y Surco) a 100% en la Molina y la mínima osciló entre 53% en Surco a 95% en Jesús María (ver **figuras 5 y 6**); la humedad relativa media fue de 85%. Durante el mes de mayo, los días se presentaron mayormente nublados con algunas lloviznas aisladas durante la segunda década.
- 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 12:00 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 5:00 am; similar comportamiento se presentó en las mínimas con registros entre las 12:00 y 17:00 pm.
- En cuanto al análisis de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones señaladas, el día más cálido del mes se presentó el 04 de mayo con una media de 23,5°C, registro inferior a abril en 5,2°C, que marca el inicio de las próximas condiciones invernales; mientras que el día más frío fue el 30 con un valor medio de 15,6°C, inferior al mes anterior en 1,0°C. Con respecto a la humedad relativa el día más seco fue el 24 de mayo (64%), mientras que el día 20 en el cual se registraron lloviznas aisladas, se alcanzó una humedad media de 96% similar al mes de abril.

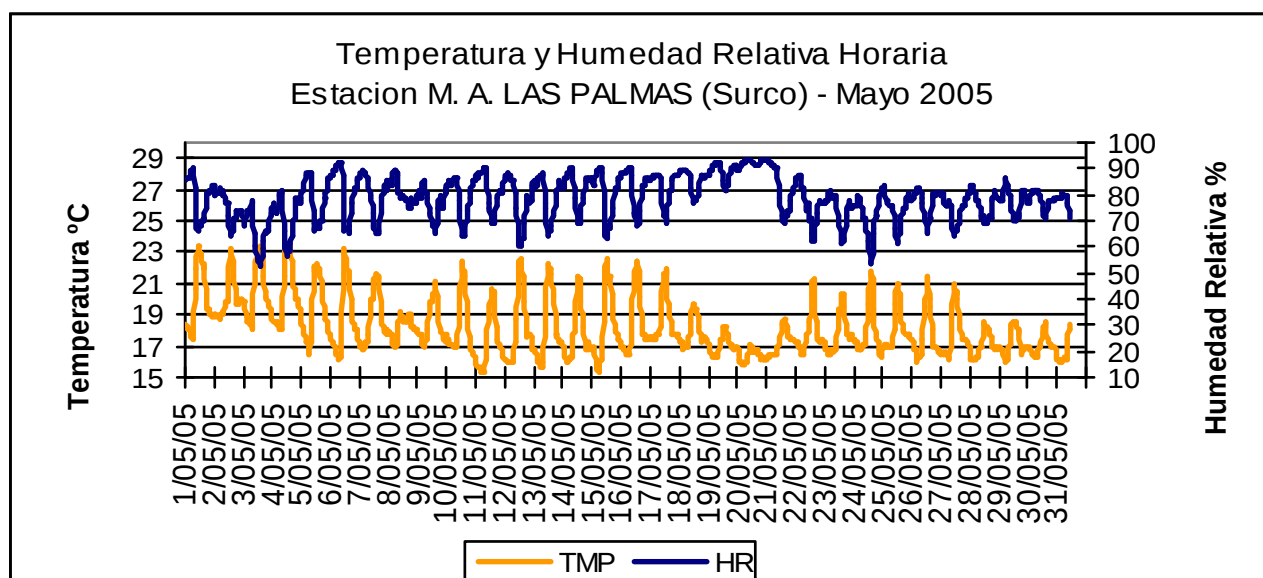
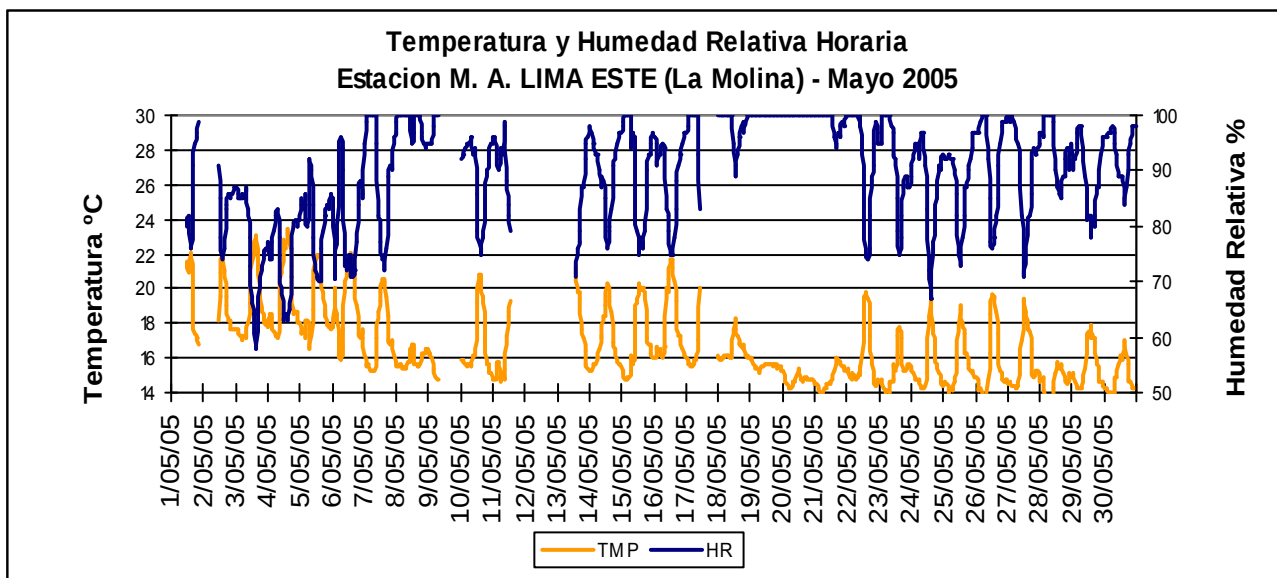
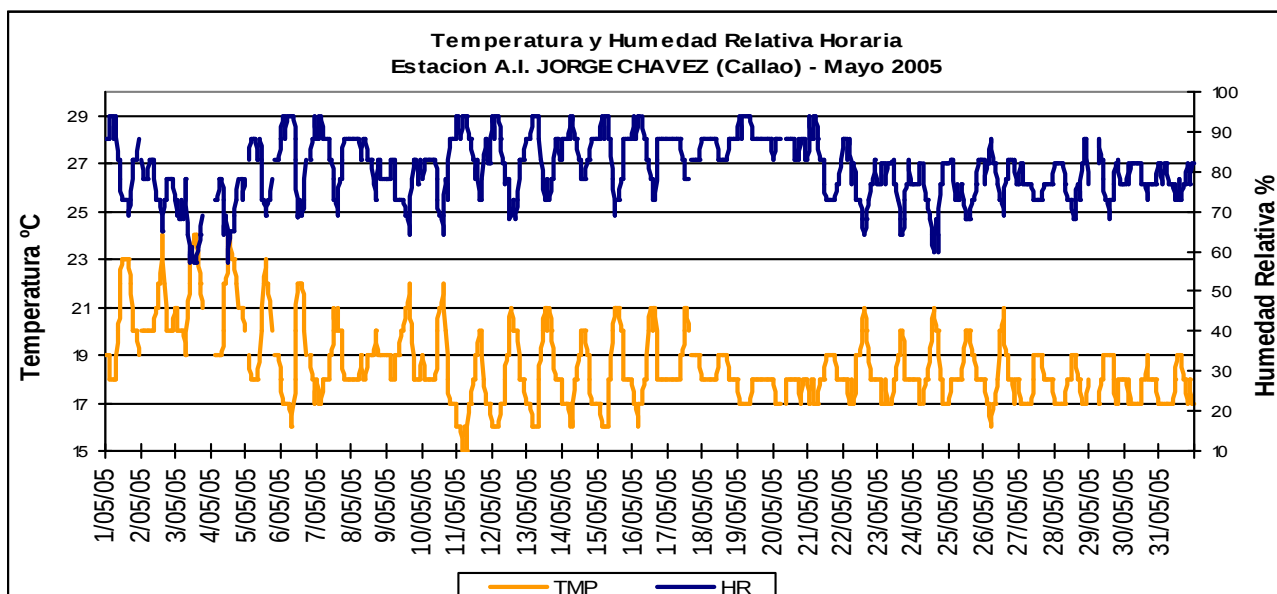


Fig.5.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de mayo del 2005 en El Callao, La Molina y Santiago de Surco

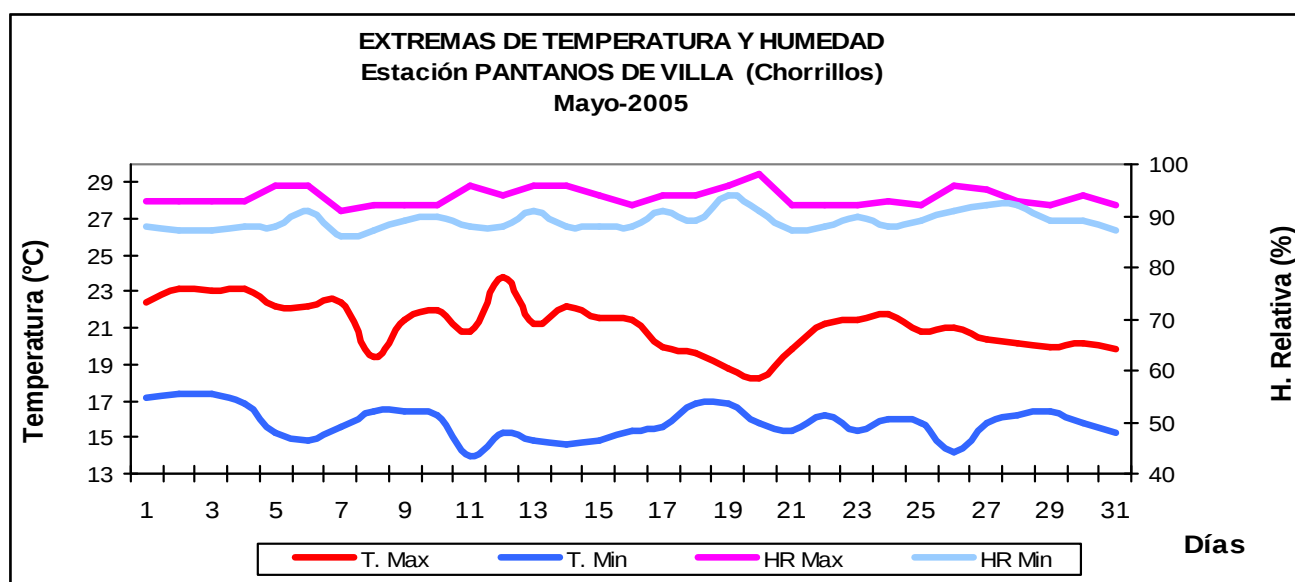
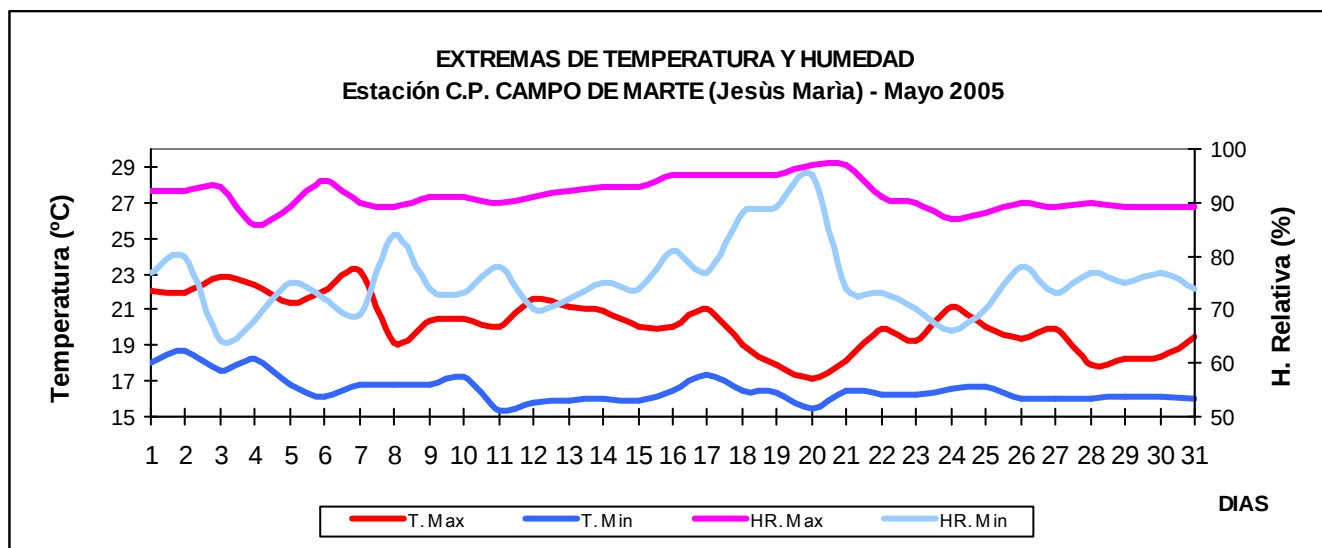


Fig.6 .- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de mayo del 2005 en Jesús María y Chorrillos

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

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

- Durante el día (7:00 a 18:00 horas), se presentaron vientos de intensidad débil (1,8 m/s) en Jesús María de dirección SW (50%) y W (16%). Intensidades débiles a moderadas (2,4 m/s) se registraron en Surco de dirección SSE y WSW (26 y 17%, respectivamente) y moderadas (3 a 5 m/s) hacia el litoral costero (Callao), este (La Molina) y sur de la ciudad (Chorrillos) provenientes del S y SSW (35 y 19%), WNW y W (42 y 41%), y del SW y S (58 y 21%), respectivamente. Los reportes de calmas son presentados en la **figura 7**.

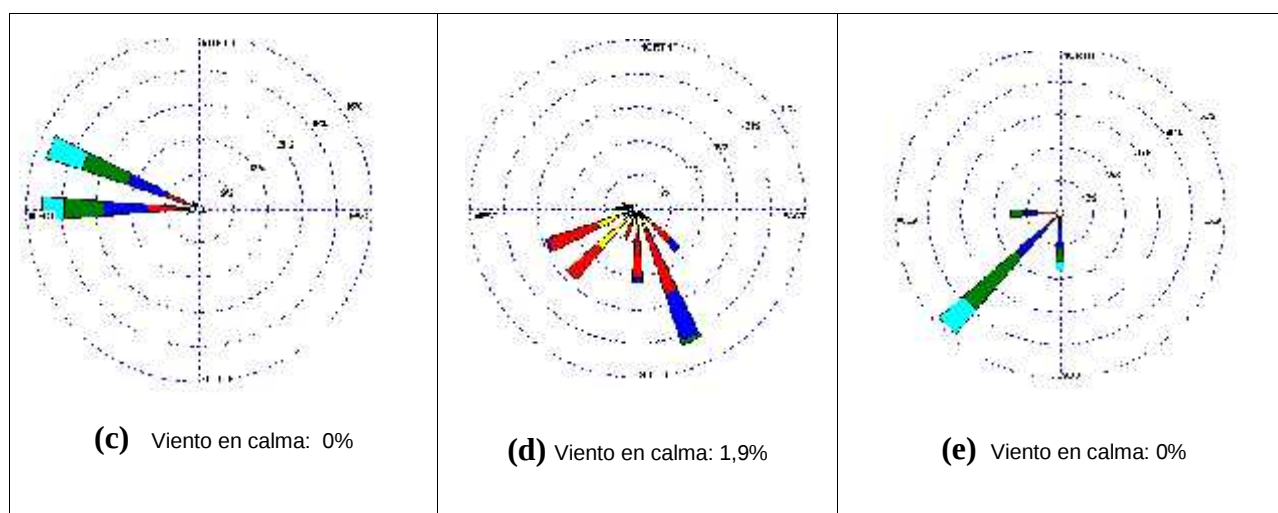
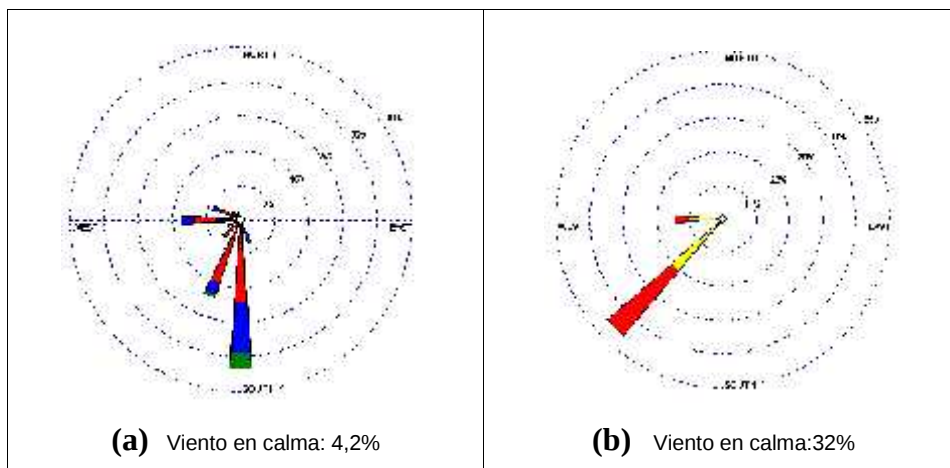


Fig.7 – Rosas de viento (m/s) diurnas de las estaciones de (a) Callao, (b) Jesús María, (c) La Molina, (d) Surco y (e) Chorrillos. mayo 2005

- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) se reportaron intensidades débiles hacia los distritos de Jesús María y Surco de direcciones SW (63%) y del SSE y SE (30 y 28 %), respectivamente. Intensidades moderadas (alrededor de 2,7m/s) fueron registrados hacia el litoral costero y este de la ciudad provenientes del S y SSE (40 y 23%) y del WNW y W (25 y 19%), respectivamente. En el distrito de Chorrillos predominaron vientos de fuerte intensidad (9 m/s) de dirección SW (97%). Los reportes de calmas son presentados en la **figura 8**.

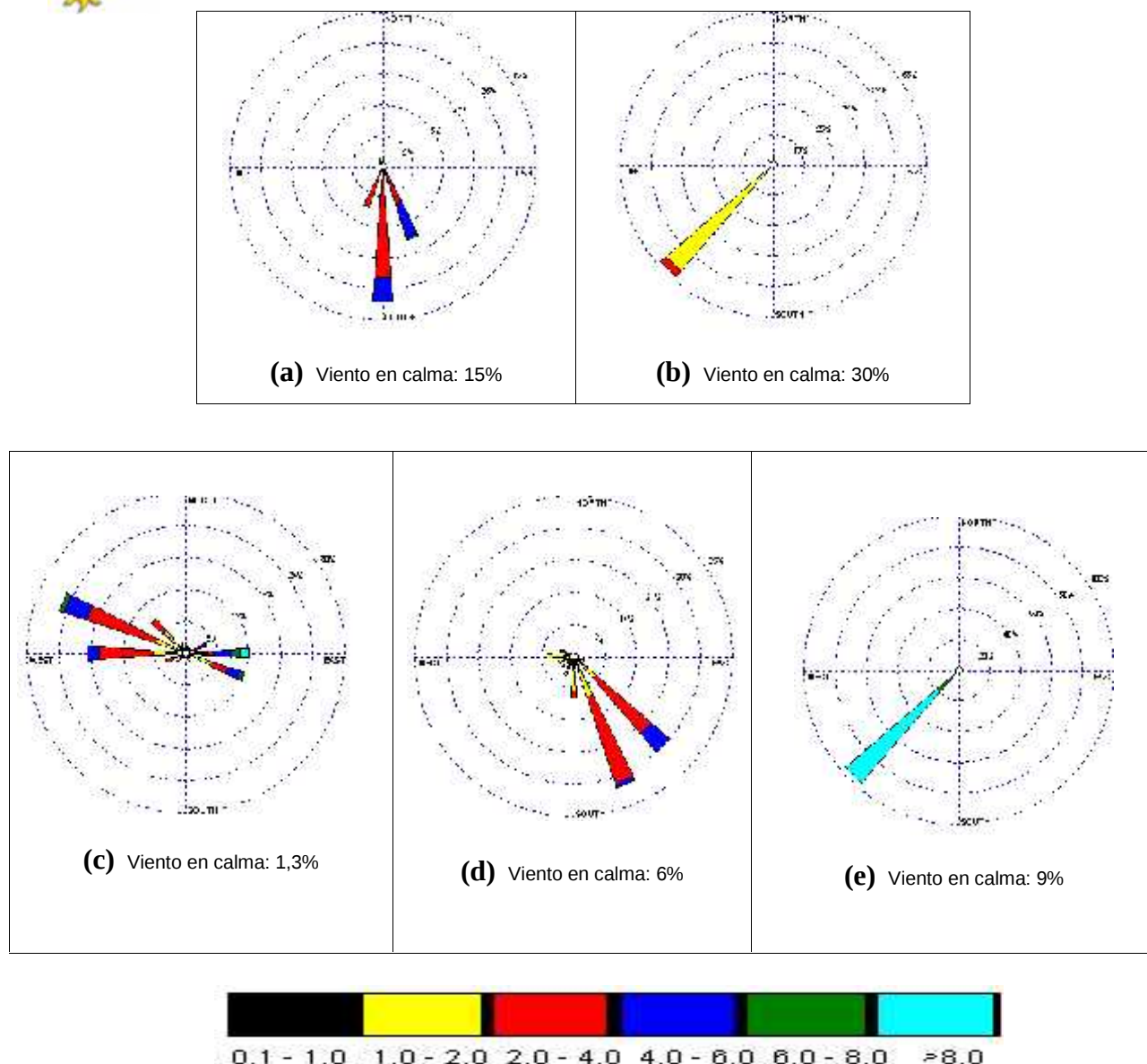
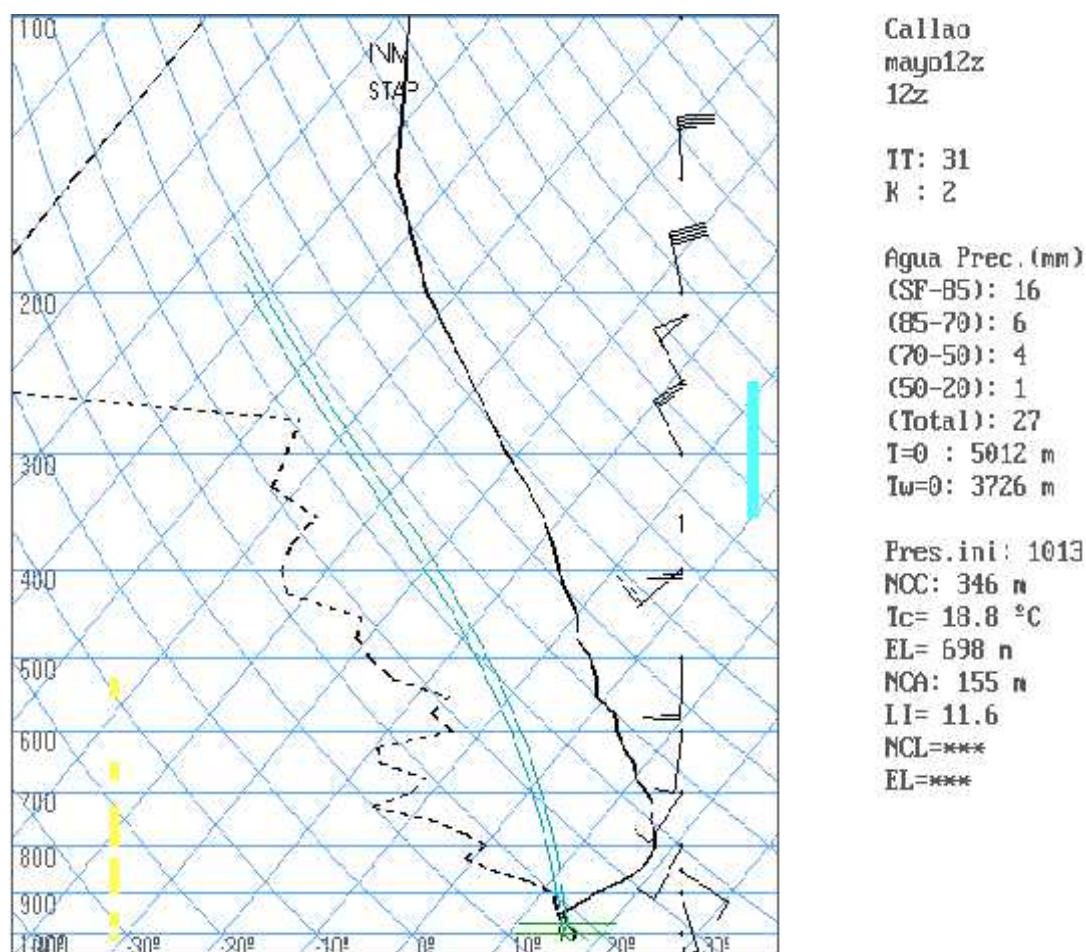


Fig. 8 – Rosas de viento (m/s) nocturnas de las estaciones de (a) Callao, (b) Jesús María, (c) La Molina, (d) Surco y (e) Chorrillos. mayo 2005

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 mayo del 2005

En la **figura 9** se muestra el sondaje meteorológico promedio para el mes de mayo. Del análisis realizado, se observó que la capa de inversión térmica en la costa central de Perú estuvo presente durante los 15 días en que se realizó el sondaje de manera interdiaria. Se observó que del período analizado, 33,3% de los días tienen una altura de base de inversión entre los 800 y los 1000 m de elevación, característica propia de condiciones invernales ya venideras. Ver **Cuadro N°2**.



**Fig. 9. - Radiosondaje mensual promedio durante el mes de mayo 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 mayo 2005**

Alturas (m)	Días del mes	Frecuencia relativa (%)
13-200	03	20
200-400	00	00
400-600	03	20
600-800	03	20
800-1000	05	33,3
1000-1200	01	6,7
1200-1400	00	00
1400-1600	00	00
> 1600	00	00
Total	15	100

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

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO MAYO	PROMEDIO ABRIL
Espesor	metro	1932	día 13	140	día 25	746,3	348,7
Altura Base	metro	1196	día 9	13	días 5,11,13	626,1	368,14
Altura Tope	metro	1945	día 13	798	día 5	1372,3	725,9
T Base	° C	17,2	días 1,5	10,4	días 23,29	13,4	18,5
T Tope	° C	21,6	día 27	18,2	día 3,15	19,8	20,9
Gradiente	°C / 100metros	5,6	día 27	0,3	día 5	1,4	1,1
H.R. Base	%	98	días 3,21	80	día 5	84,5	82,0
H.R. Tope	%	87	día 15	3	día 9	33,2	69,3

Durante el mes de mayo, la altura media de la base de la inversión fue de 626,1 m es decir, 258 m más alta que la correspondiente al mes anterior y con un espesor de 746,3 m (**Cuadro N°3**) e intensidad de 1,4°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.

Respecto al comportamiento de los vientos en el perfil de la Troposfera, entre superficie y los 700 hPa, éstos cambiaron SW con velocidades de 2,5 a 5 m/s. Entre los 700 y 300 hPa, los vientos fueron del S con intensidades de 2,5 a 7,5 m/s. Por encima de los 300 hPa los vientos fueron del N con intensidades de 10 a 25 m/s.

6. Conclusiones

- ✓ Para el mes de mayo, las condiciones meteorológicas presentes (variaciones térmicas, procesos de transporte y estabilidad atmosférica) en estrecha interacción con los aportes antropogénicos ya señalados, configuraron el escenario siguiente: El primer núcleo se presentó en el cono norte de la ciudad, de forma similar al mes anterior, en el distrito de Comas con el valor más alto del mes (28,6 t/km²/mes); el segundo en el cono centro-este con un valor de 24,6 t/km²/mes y el tercero en el cono sur con una concentración de 22,8 t/km²/mes.
- ✓ Con respecto al mes anterior, de las 29 estaciones, sólo el 75,9% de las superaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual de las 34 estaciones fue de 12,5 t/km²/mes, con un valor máximo de 28,6 t/km²/mes en Comas y un mínimo de 1,6 t/km²/mes en la Molina.
- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo horario del Dióxido de Nitrógeno (NO₂) fue de 26,0 ppb, registrado a las 19

horas, que representa un 25 % del ECA correspondiente establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 104,6 ppb (200 ug/m^3).

- ✓ En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad, las medias observadas fueron de 18°C y 85%. Asimismo, el día más cálido del mes se presentó el 4 de mayo con una media de $23,5^\circ\text{C}$; mientras que el día más frío fue el 30 con un valor medio de $15,6^\circ\text{C}$. Con respecto a la humedad relativa el día más seco fue el 24 de mayo (64%), mientras que no se alcanzó la saturación durante el mes, con una media de 96% cuando se reportaron lloviznas.
- ✓ En cuanto al análisis del viento superficial, durante el día se presentaron vientos de intensidad débil en Jesús María de dirección SW (51,7%), hasta intensidades moderadas en el Callao, La Molina y Chorrillos de direcciones S, WNW y SW (35,42 y 58%), respectivamente. Mientras que durante la noche, se reportaron intensidades débiles hacia los distritos de Jesús María y Surco de direcciones SW y SSE (63 y 30 %), respectivamente, y fuertes en Chorrillos de dirección SW (97%).
- ✓ Con respecto al análisis de la información de altura, la inversión térmica presentó una altura de base promedio de 626,1 m con una intensidad de $1,14^\circ\text{C}/100\text{m}$, condiciones que en forma relativa contribuyeron la calidad del aire en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, con respecto al mes anterior.