

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

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	2
2	TEMA DE INTERÉS DEL MES: Evaluaciones de riesgo por exposición	2
3	CUENCA ATMOSFERICA DE LIMA	3
4.	METODOLOGÍA	5
5.	RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL	10
	5.1 Distribución espacial de contaminantes sólidos sedimentables durante el mes de enero del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	10
	5.2 Análisis del comportamiento del ozono troposferico durante el mes de enero del 2005.	13
	5.3 Análisis del comportamiento de la precipitación ácida durante el mes de enero del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	14
	5.4 Condiciones Meteorológicas durante el mes de enero 2005	15
6.	CONCLUSIONES	23

INDICE DE FIGURAS Y CUADROS

Fig. 1	Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao	8
Fig. 1a	Red de estaciones meteorológicas y de deposición húmeda en la Zona Metropolitana de Lima-Callao	9
Fig. 2	Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados durante el mes de enero 2005 en Lima-Callao	11
Fig. 3	Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de enero del 2005	12
Fig. 4a.-	Variación temporal de la concentración de ozono troposferico durante el mes de enero 2005	13
Fig. 4b.-	Variación media horaria de la concentración de ozono troposferico durante el mes de enero 2005	14
Fig. 4c.-	Variación máxima media para 8 horas de la concentración de ozono troposferico durante el mes de enero 2005	14
Fig. 5.-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Cercado, La Molina y Surco durante el mes de enero del 2005 en Lima-Callao	16
Fig. 6a.-	Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Comas, Callao, Jesús María durante el mes de enero del 2005 en Lima-Callao	17
Fig. 6b.-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Chorrillos durante el mes de enero del 2005 en Lima-Callao	18
Fig. 7	Rosas de viento Diurnas	19
Fig. 8	Rosas de viento Nocturnas	20
Fig. 9.-	Radiosondaje mensual promedio mes de enero	21
Cuadro. 1	Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central del Perú – enero 2005	22

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

1. Introducción

Durante el mes de enero, el SENAMHI, a través de sus representantes de la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales (DGIA), como miembro del Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima-Callao y coordinador del Grupo de Trabajo para la Implementación de la red de monitoreo y del sistema de pronóstico de la Calidad del Aire para Lima-Callao, participó el día 20 en la primera reunión del año del Pleno del Comité, en donde se discutió y aprobó el Plan de Trabajo del Pleno para el año 2005. En la misma línea, personal profesional de esta Dirección participó el día 24 en el Taller de Gestión de la Calidad del Aire en Lima –Callao desarrollado en las instalaciones de la DIGESA en donde se presentó el informe de la misión mexicana sobre el estado de la gestión efectuado por dicha institución en materia de calidad del aire en los rubros de monitoreo, inventario de emisiones y estudios epidemiológicos.

El presente Boletín, muestra el análisis de los resultados del monitoreo de los contaminantes sólidos sedimentables (CSS), del contaminante gaseoso Ozono troposférico (O₃) y algunos lineamientos importantes sobre el monitoreo de la precipitación ácida en la Z.M. de Lima-Callao.

2. Tema de Interés del mes: Contaminación Intramuros – Evaluaciones de riesgos por exposición

Existen numerosos estudios orientados a la medición de las concentraciones en los espacios en donde el hombre interacciona el 90% de su tiempo, es decir, en el interior de las edificaciones. Se ha demostrado que bajo condiciones de baja ventilación las concentraciones se incrementan, e incluso en ambientes de trabajo con ventana abierta resulta importante el aporte de exteriores sobre todo cuando las temperaturas son altas.

La evaluación de los riesgos se realiza de la siguiente forma (Gutiérrez, A., 2004):

Emisión de contaminantes → Transporte y dispersión →
Patrones de exposición → Dosis recibida → Efectos adversos a la salud.

La medición de la exposición del ser humano a la contaminación en interiores requiere considerar tres variables: La magnitud, la duración y la frecuencia. Al realizar una evaluación de la calidad del aire en el interior de un recinto se recomienda disponer de una bitácora que reúna las actividades o quehaceres del día de tal forma de poder contrastar los resultados. De esta manera, el empleo de instrumentos y/o equipos que monitoreen los niveles en interiores en combinación con los patrones de actividad/tiempo, permite la identificación de microambientes en donde los niveles de exposición son altos. (Gutiérrez, A., 2004)

Cuando se realizan estudios comparativos en interiores y exteriores, usualmente se emplean métodos de monitoreo que implican reacciones químicas y análisis en laboratorios. Así, para el ozono se utiliza el método de yoduro de potasio neutro cuyo principio es la absorción del ozono en una solución de yoduro de potasio neutro para su posterior análisis en laboratorio; para la medición del dióxido de nitrógeno se usa el método modificado de Christie, que consiste en la absorción del dióxido de nitrógeno en una solución de arsenito de sodio, formando nitrito de sodio, la cual es medida colorimétricamente previa adición de una solución específica. Las concentraciones del exterior pueden ser comparadas con las medidas por la estación de calidad del aire cercana de tal forma de contrastar las mediciones y evaluar que tan representativas de la exposición humana son las primeras.

Existen referencias de estudios comparativos en escuelas públicas que buscan evaluar los efectos de la exposición a estos contaminantes. A partir de sus resultados es que se pueden dar las recomendaciones técnicas para que la población (en este caso los escolares) regulen sus actividades diarias considerando las horas en las que se encuentran más expuestos a la contaminación. De esta manera, estos estudios son muy importantes como indicadores de riesgo de tal forma que se oriente al planteamiento de estrategias y actividades dirigidas a proteger la salud y a controlar las fuentes de contaminación. (Cortez-Lugo, *et al*, 1997)

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 1a**) 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, Carabaylo, Comas, zona norte-centro de San Martín de Porres, Los Olivos, Independencia y norte del distrito del Callao. Dentro de la cuenca, se configuran las siguientes microcuencas atmosféricas:

M. de Ancón: Distrito de Ancón

M. de Carabaylo: Distrito de Carabaylo

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

Con respecto al monitoreo de los Contaminantes Sólidos Sedimentables (CSS) y de contaminantes gaseosos, el presente Boletín muestra los resultados obtenidos para el mes de enero 2005.

4. Metodología

4.1 Contaminantes Sólidos Sedimentables

Para la presente evaluación se ha utilizado información de la red de monitoreo de contaminantes sólidos sedimentables (CSS) compuesta por 24 estaciones distribuidas en la Zona Metropolitana de Lima-Callao (**figura 1a**); cabe resaltar que en este mes se han instalado dos estaciones más: Una en el distrito de Villa María del Triunfo y otra en el distrito de Villa El Salvador, adicionales a las ya existentes y que permitirán delinear aún más 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, es registrada para validar 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 Contaminantes Gaseosos

La evaluación mensual de los gases contaminantes del aire (CO , SO_2 y O_3) en la Estación de Calidad de Aire ubicada en la Sede Central (**figura 1a**) se realiza de acuerdo a la siguiente metodología:

- **Fase de campo:** Calibración según método aprobado por EPA, Operación continua de analizadores automáticos de Ozono troposférico modelo API 400A, Monóxido de Carbono API 300, Dióxido de Azufre API 100A y estación meteorológica automática por el período de observación establecido. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232 y software API COM para analizadores y software Energy para estación meteorológica automática. Cambio de filtros cada 15 días en promedio. Inspección de fugas y limpieza en la línea de ingreso de muestra.
- **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.

4.3 Monitoreo de la Deposición Ácida

El monitoreo de la deposición ácida durante una fase preparatoria cubre cuatro medios: Deposición húmeda, deposición seca, suelo y vegetación además de ambiente acuático. El monitoreo para deposición seca y húmeda son implementadas en principio para observar concentraciones y flujos de sustancias ácidas depositadas en la tierra, mientras el monitoreo para suelo/vegetación y medio ambiente acuático son en principio implementadas para evaluar impactos adversos sobre ecosistemas terrestres y acuáticos. A continuación se describen los principales criterios metodológicos para la evaluación de la deposición ácida.

a) Deposición Húmeda

- Intervalos de Monitoreo

La deposición húmeda se monitorea cada 24 horas o en función a cada evento de precipitación para un área urbana, rural o zona remota.

- Principales parámetros

Análisis de Precipitación: pH, conductividad eléctrica, concentraciones de iones sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) y otros iones cloruro (Cl^-), amonio (NH_4^+), sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}).

b) Deposición Seca

- Intervalos de Monitoreo

Cada quince días o cada mes

Cada hora, cuando se cuenta con instrumentos automáticos

- Principales mediciones:

Partículas: pH, análisis de concentración de iones sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), cloruros (Cl^-), amonio (NH_4^+), sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+})

c) Suelo y Vegetación

- Intervalo de monitoreo

Más de una vez durante la fase preparatoria.

- Principales Parámetros

Suelo: pH, capacidad de intercambio de cationes y concentración de iones intercambiables

Vegetación: Grado de declinación de árboles y anomalías en las hojas y ramas.

d) Ambiente acuático

- Intervalo de Monitoreo
Más de cuatro veces al año

- Principales Parámetros

Agua: pH, conductividad eléctrica, iones sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), cloruros (Cl^-), amonio (NH_4^+), sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+})

En el caso de la Z.M. de Lima-Callao se ha iniciado la evaluación de la deposición húmeda (lluvia) mediante la colocación de vasos de recolección para medición directa del pH durante un evento cada 24 horas. En la **figura 1b** se muestra la red de estaciones para monitoreo de precipitación húmeda.

En el caso de la deposición seca se pretende el próximo año instalar colectores (jarras) para obtener muestras de partículas sedimentables para el análisis de contenido iónico.

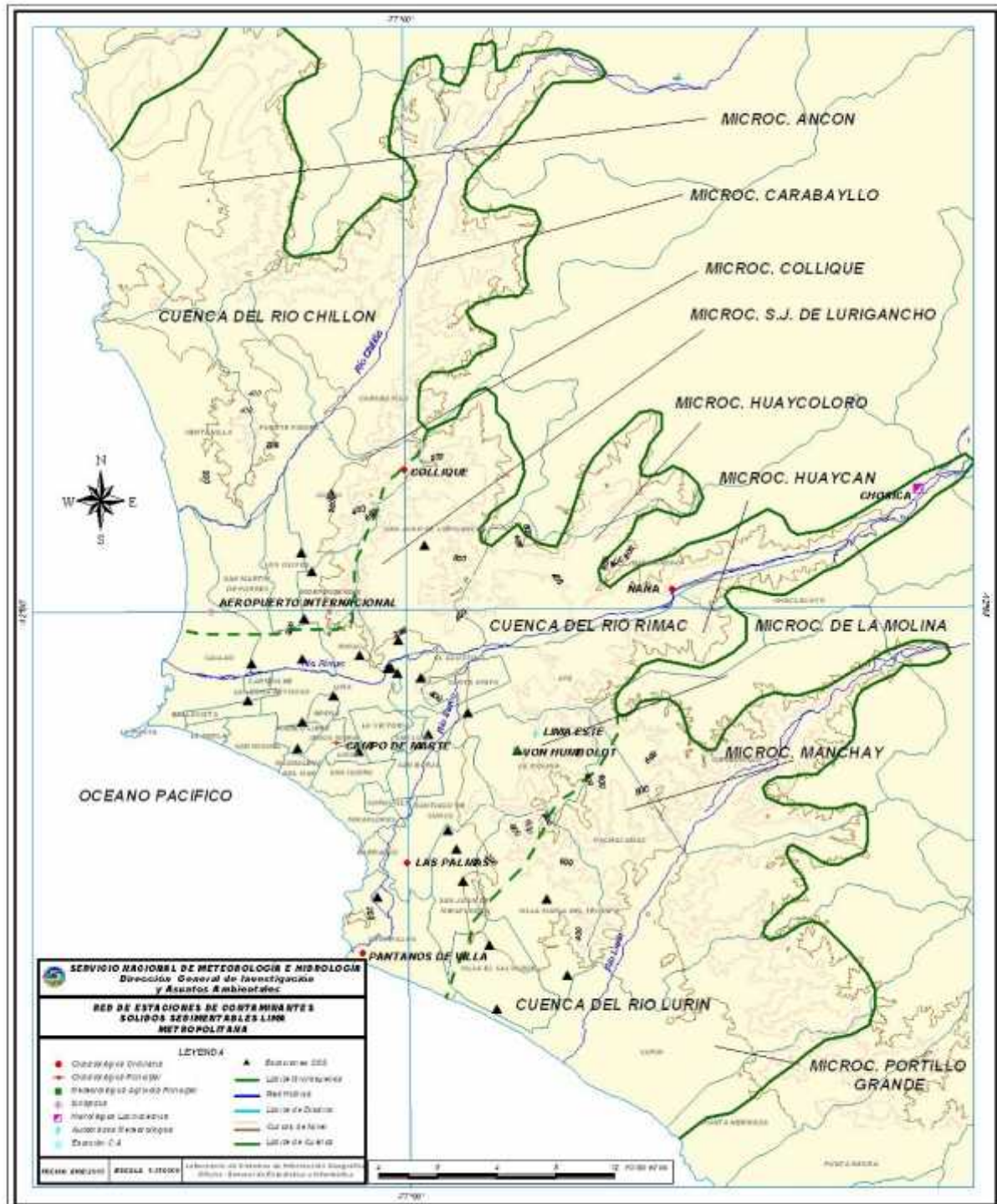


Fig. 1a - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

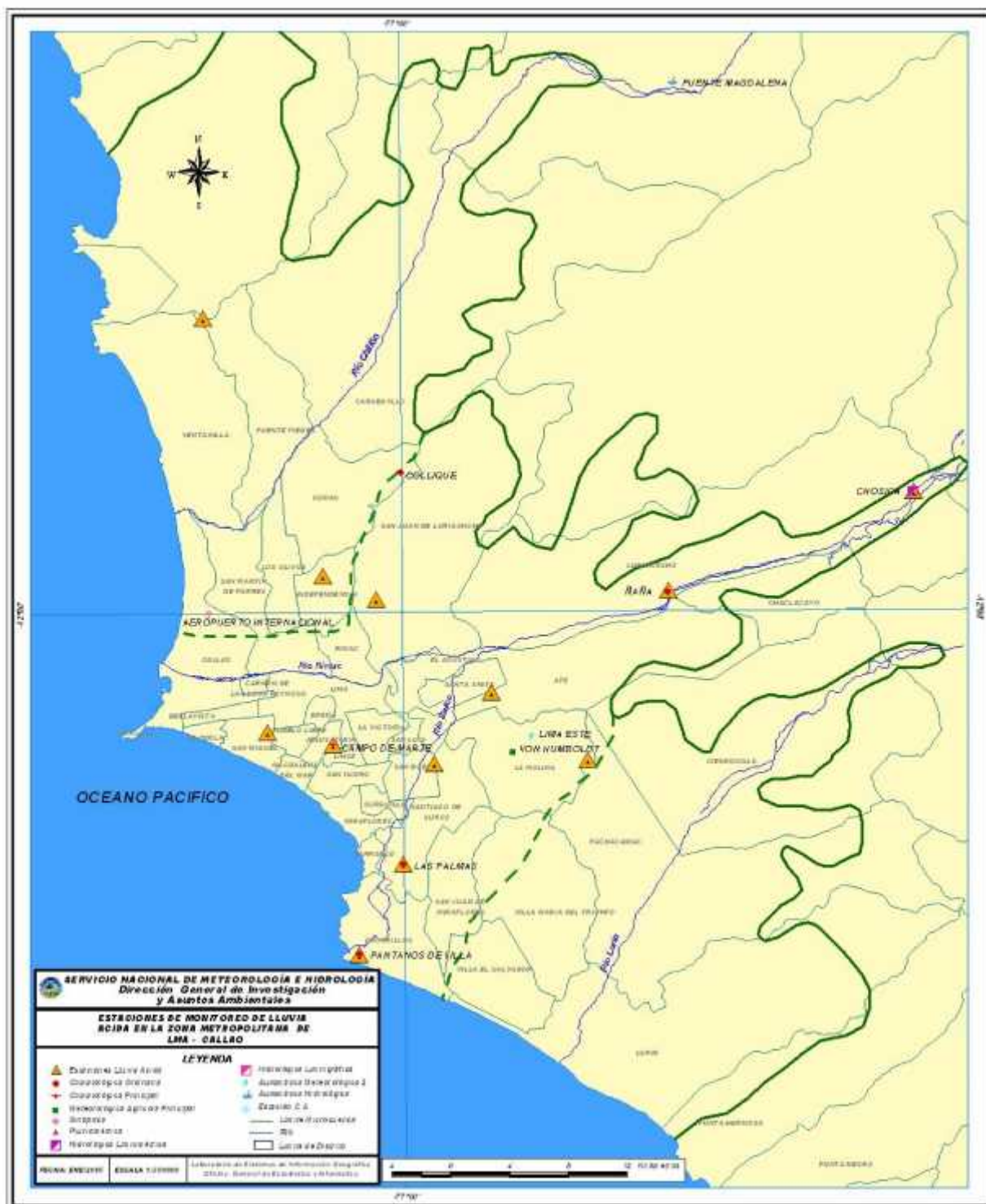


Fig. 1b - Red de estaciones meteorológicas y de monitoreo de deposición húmeda en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

5. Resultados del Monitoreo Ambiental

5.1 Distribución espacial de contaminantes sólidos sedimentables durante el mes de enero del 2005 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.

En la **figura 1a** se presenta la red de contaminantes sólidos sedimentables (CSS). En enero del presente año se recopiló información de las 24 estaciones de muestreo, de las cuales 21 (87,5%) excedieron el límite referencial permisible recomendado por la OMS ($5 \text{ t/km}^2/\text{mes}$), según se muestra en la **figura 2**.

En la **figura 3** se muestra el análisis del comportamiento espacial de la concentración de CSS. Es posible identificar tres centros importantes de alta concentración de contaminantes sólidos sedimentables (CSS) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao que se han configurado como resultado de la generación in situ así como de los procesos de transporte por el viento desde otras zonas de la capital; dichos centros son los siguientes: Hacia el cono norte (Cuenca del río Chillón) se configura el primero, extendiéndose a lo largo de los distritos de Carabaylo, Comas, Los Olivos e Independencia, con un intenso núcleo en el distrito de Comas con un valor de $31,8 \text{ t/km}^2/\text{mes}$, el más alto del mes, sustentado en la creciente carga vehicular de las avenidas (tanto principales que conectan distritos como las secundarias al interior de los mismos) que agrava el fenómeno de resuspensión de CSS, en el desarrollo de una actividad comercial tanto formal como informal a lo largo de la Av. Túpac Amaru, en la presencia de botaderos de basura en algunas avenidas, entre otros, y la importante influencia de las variables meteorológicas, directamente del campo de vientos locales que van contribuyendo a la acumulación e incremento de los niveles de contaminación (**figuras 7 y 8**). 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 $28,3 \text{ t/km}^2/\text{mes}$ en el distrito de El Agustino, en donde la importante actividad industrial de la zona (de fundición, de fabricación de concreto, de papeles, etc.) y la gran densidad vehicular (vía de Evitamiento) configuran en toda la zona un centro de contaminación generalizado. 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, con núcleo en éste último de $29,7 \text{ t/km}^2/\text{mes}$, en donde de manera similar, este centro se conforma por los aportes de fuentes industriales locales (cemento, fundición, metal mecánica, carpintería, zapatería, etc), el transporte, la actividad comercial, la topografía y la configuración del sistema de vientos.

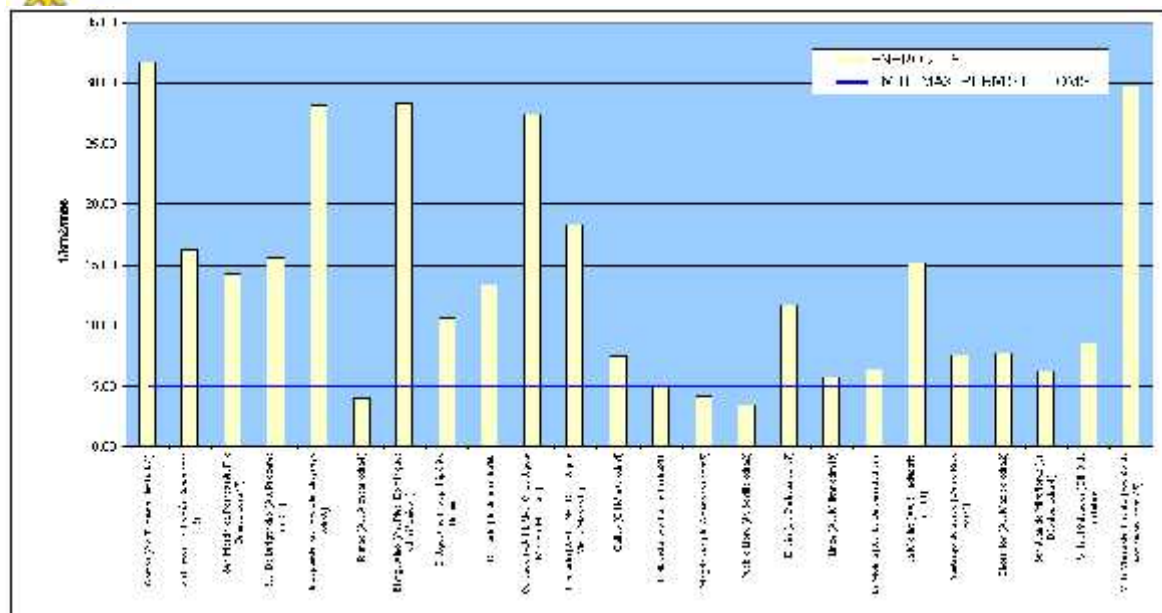


Fig. 2 - Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados durante el mes de enero 2005 en Lima-Callao

En la **figura 3** puede observarse una estrecha franja amarilla que representa aquellos distritos que no exceden el valor referencial establecido por la OMS; éstos por estar situados cerca al litoral costero se ven favorecidos por las brisas marinas que fluyen hacia el este permitiendo la dispersión, mientras que parte de algunos distritos residenciales como son San Isidro, San Borja, Miraflores y parte de Santiago de Surco dadas sus políticas municipales incentivan índices adecuados de vegetación que reducen el fenómeno de resuspensión de CSS.

En términos generales, para el mes de enero la contaminación se ha incrementado en promedio en un 22,6% respecto a los registros del mes anterior, con una media de 13,6 t/km²/mes. Los tres principales centros identificados se han intensificado de forma importante respecto a meses anteriores, con niveles aproximados de 6, 5 y 6 veces, respectivamente para cada área crítica, respecto al valor referencial permisible. Para este mes, la mayor concentración de este contaminante se ha presentado en el cono norte (Comas).

En la edición anterior mencionábamos la importancia de señalar que los aportes de contaminantes provenientes de actividades menores como la quema de rastrojos al aire libre, la acumulación de desechos urbanos en las vías públicas, las actividades de construcción que ocasionan el levantamiento de cenizas y/o polvo, la simple acción de barrido de casa, pistas y/o veredas, por mencionar algunas, en conjunto también agravan los niveles de contaminación del aire paulatinamente y son observadas comúnmente en los distritos de la capital. Un aspecto no señalado pero que merece la atención concierne a la contaminación generada por las heces de los animales domésticos (principalmente perros) y otras especies de la forma que proliferan en los botaderos, por cuanto ellas son portadoras de una gran cantidad de bacterias y virus que se vierten al aire y que al dispersarse en el mismo, entran en contacto con el ser humano ocasionándole serios problemas a la salud,

tanto gastrointestinales como oftalmológicos y nerviosos. Es principalmente, la población más sensible (niños, ancianos y madres gestantes) la más susceptible de experimentar estos trastornos. De acuerdo al diario OJO (enero 2005), existen informes emitidos por el Ministerio de Salud - DIGESA (Programa Nacional de Vigilancia y Control Sanitario de animales) que refieren que dichos desechos ponen en peligro la salud de las personas ya que “los huevos de los parásitos flotan en el ambiente y pueden ser absorbidos al respirar”. Dicho Programa tiene una relación de los distritos capitalinos más afectados por este problema, encontrándose en primer lugar Ate Vitarte, San Isidro, Santa Anita, Magdalena, por mencionar algunos. Estas deposiciones al secarse son suspendidas por acción del viento y trasladadas, para asentarse y ser luego nuevamente resuspendidas, manteniéndose en todo momento en contacto con el ser humano constituyendo de esta manera un potencial peligro.

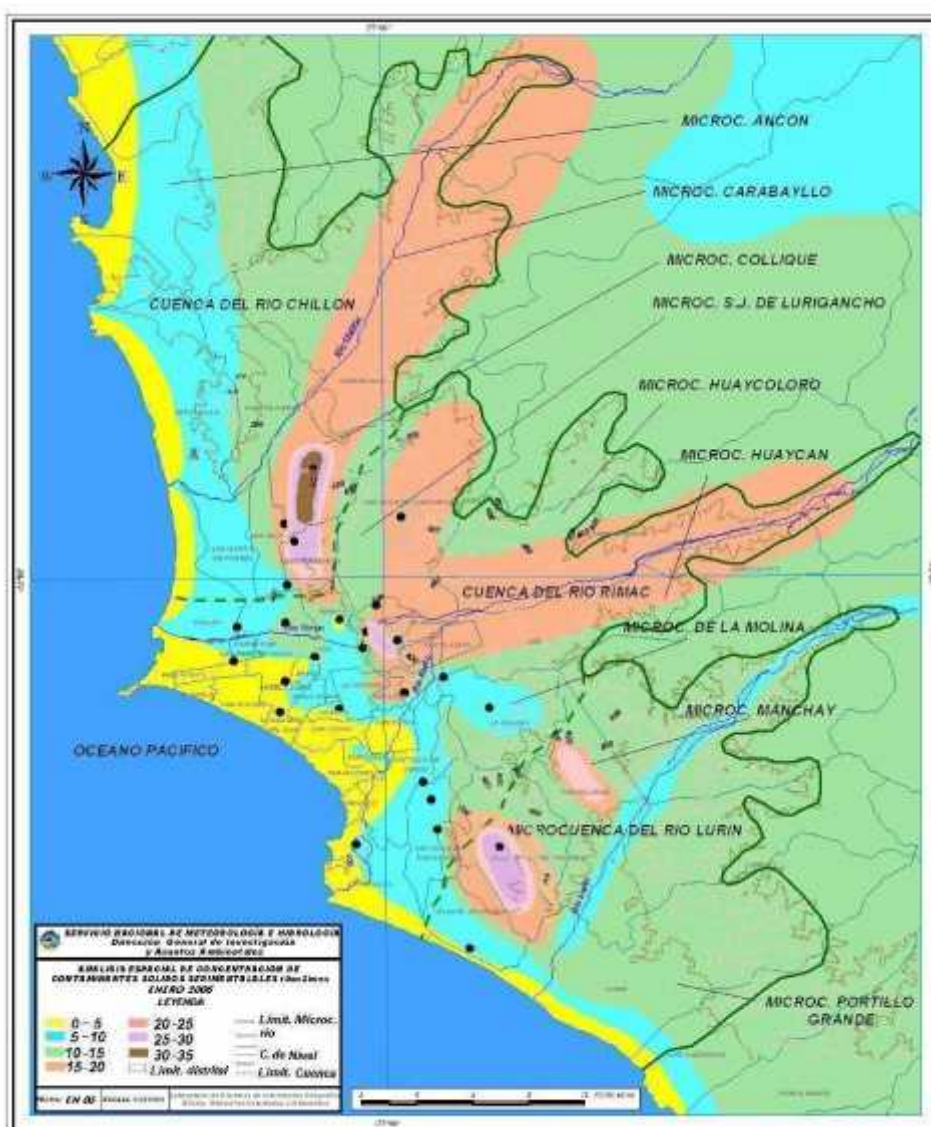


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de enero del 2005

5.2 Análisis del comportamiento del ozono troposferico durante el mes de enero 2005

La información registrada por el analizador modelo API 400A en la estación de calidad de aire con Sede en el SENAMHI según la **figura 4a**, muestra para el presente mes un registro máximo horario de 51,9 ppb ocurrido el día 11 a las 09:00 am, valor superior al mes anterior explicado en los posibles aportes de Ozono desde otros lugares por la conjugación de vientos de alta intensidad y altas temperaturas durante ese período; esto a su vez está en directa relación con la tendencia del índice de radiación ultravioleta que alcanzó un valor máximo de 14 (muy alto a extremo). Las concentraciones registradas por el analizador si bien sobrepasan ligeramente los 50 ppb, resultan siempre inferiores a la norma horaria más exigente correspondiente al Estado de California de 90 ppb.

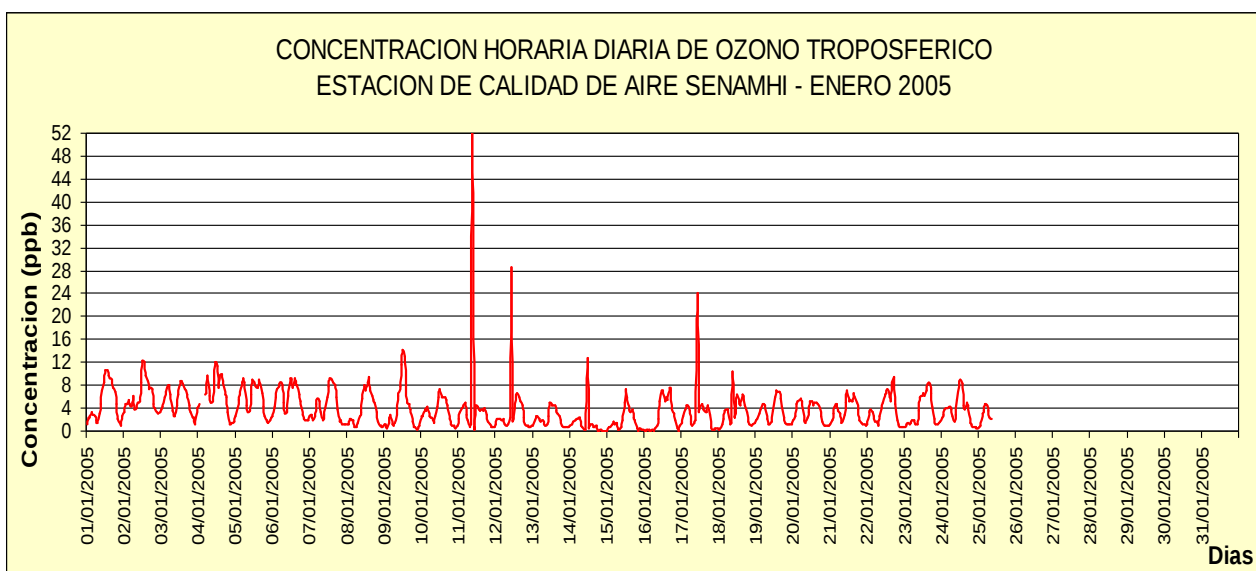


Fig. 4a – Variación temporal de la concentración de Ozono Troposférico durante el mes de enero del 2005

La variación media horaria de la concentración de Ozono Troposferico se presenta en la **figura 4b**, en donde se puede observar episodios de ozono en horas de la madrugada (aproximadamente entre las 3:00 a 6:00 a.m.), el valor máximo horario alcanzado a las 12:00 pm (7,3 ppb) y el valor mínimo alrededor de las 22:00 horas (1,0 ppb).

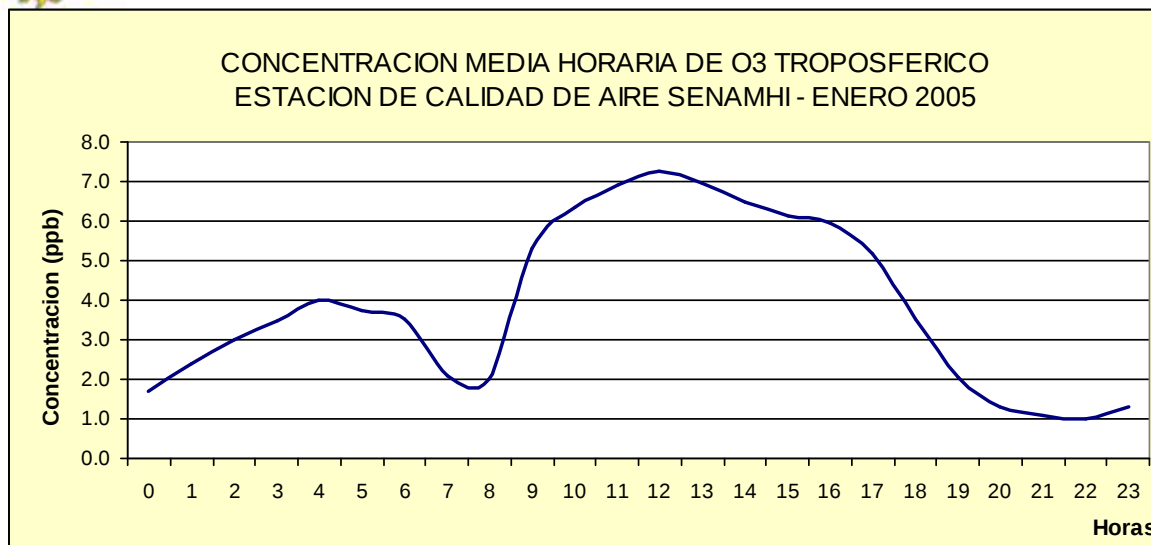


Fig. 4b – Variación media horaria de la concentración de Ozono Troposferico durante el mes de enero del 2005

Asimismo el promedio de las 8 horas alcanzó un valor máximo de 9,5 ppb el día 11 a las 16 horas, representando un 15,8% del ECA correspondiente, establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 60,1 ppb (120 ug/m³). Ver **Figura 4c**

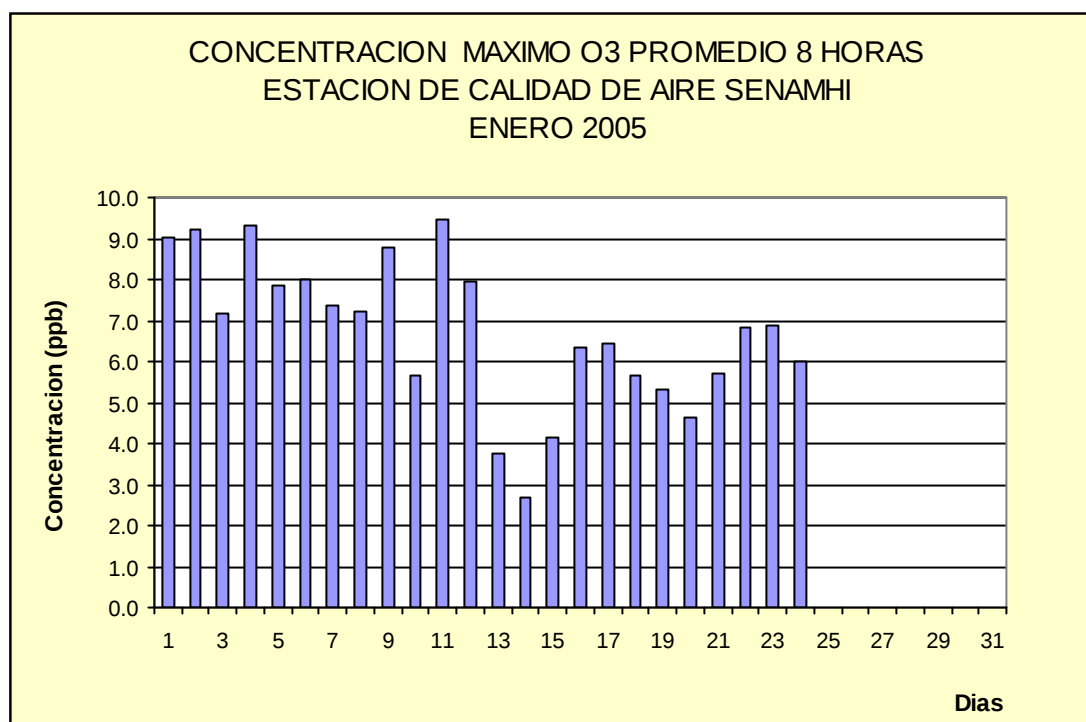


Fig. 4c – Variación media para 8 horas de la concentración de Ozono Troposferico durante el mes de enero del 2005

5.3 Análisis del comportamiento de la precipitación ácida en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

Durante este mes, en la Zona Metropolitana de Lima-Callao se han registrado lluvias muy esporádicas, resultado de trasvases de la sierra central; los ph medidos se encuentran alrededor de 6, no reflejando directamente condiciones de lluvia ácida (valor inferior a 5,6); sin embargo, tal situación se explica en la proveniencia de estas precipitaciones.

Se continuarán con las mediciones de ph en los próximos meses y se iniciarán los análisis de las muestras de agua para evaluar su composición.

5.4 Condiciones meteorológicas durante el mes de enero 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 7 estaciones meteorológicas, convencionales y automáticas, ordenadas de norte a sur que se mencionan a continuación: Estación climatológica Collique (Comas), Estación sinóptica y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), estación climatológica Campo de Marte (Jesús María), estación meteorológica automática El Cercado, estación meteorológica automática Lima Este (La Molina), estación meteorológica automática Las Palmas (Surco) y estación climatológica Pantanos de Villa (Chorrillos). Estas estaciones forman parte de la red meteorológica presentada en la **figura 1**.

5.4.1. Análisis de Temperatura y Humedad Relativa

- Del análisis de la variación temporal diaria de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) extremas se observa lo siguiente: Los valores de la temperatura máxima fluctuaron de 22,0°C en Comas y La Molina a 30,2°C en Comas; mientras que la mínima fue de 16,8°C (Surco) a 24,5°C en Comas; dichos registros fueron superiores a las extremas del mes anterior; con respecto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 76% en Surcos a 100% en el Cercado y La Molina; mientras que la mínima osciló entre 46% (Surco) a 99% en El Cercado (ver **figuras 5 y 6a,b**), registros también inferiores al mes anterior. Durante este mes los días se han presentado principalmente despejados con alta insolación y algunas mañanas cubiertas evolucionando a parcialmente despejadas. Durante la segunda década se reportaron algunas lloviznas aisladas.
- Con respecto al análisis horario de la información, los valores mínimos de la temperatura del aire se registraron de manera predominante entre las 5:00 y 6:00 am mientras que las máximas se presentaron alrededor de las 12:00 y 16:00 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 17:00 pm.

- En cuanto al análisis de las temperaturas de las estaciones indicadas, el día más cálido del mes en la Zona Metropolitana de Lima-Callao se registró en la segunda década (17 de enero) con una media de 29,2°C, registro superior al mes anterior en 3,2°C; mientras que el día más frío se presentó el día 2 con un valor medio de 19,4°C, también superior al registro medio anterior en 2,3°C. Con respecto a la humedad relativa promedio, durante este mes el día más húmedo, coincidente con las trazas reportadas, fue el 14 de enero ($\geq 98\%$); mientras el día más seco fue el 17 de enero (61%).

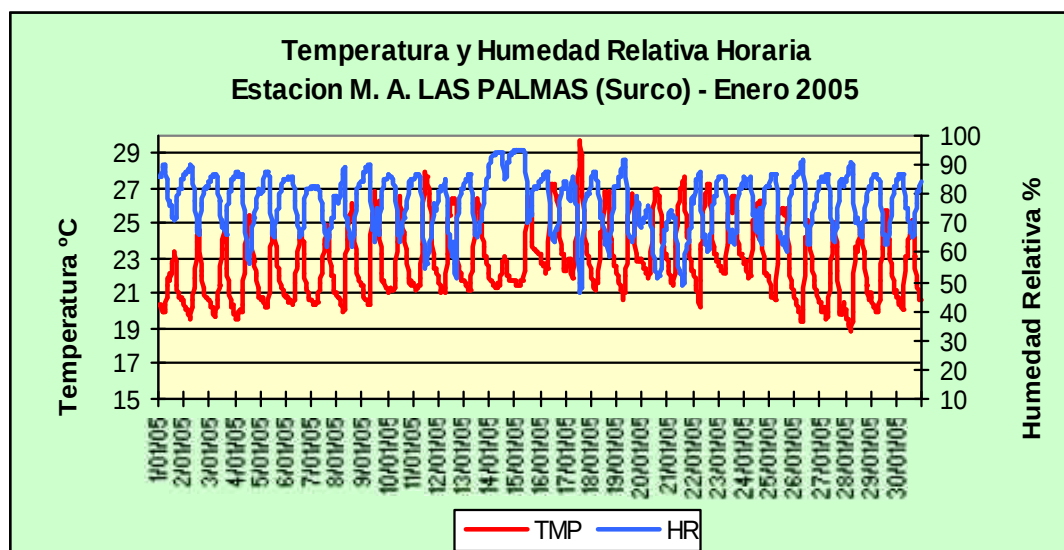
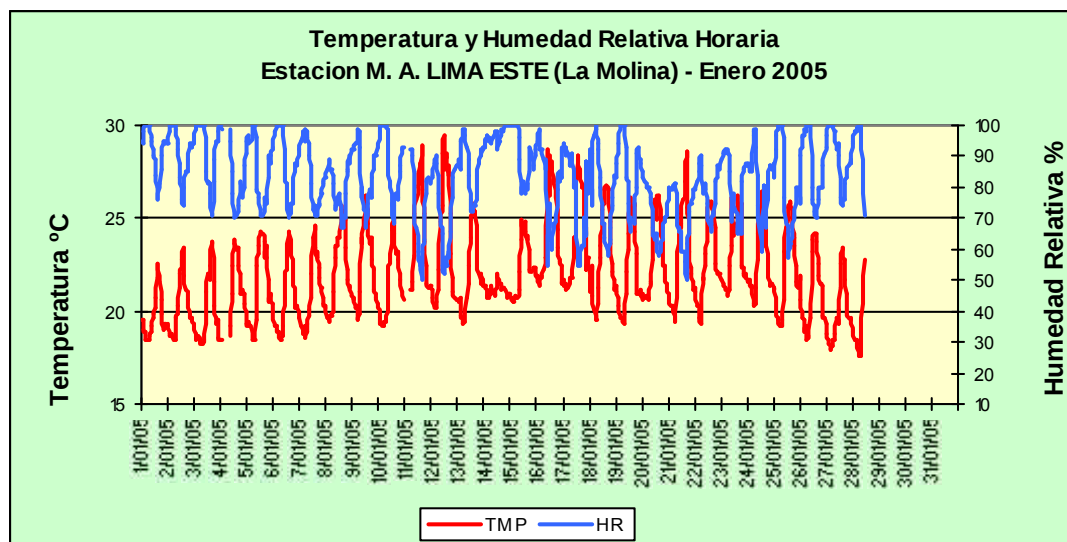
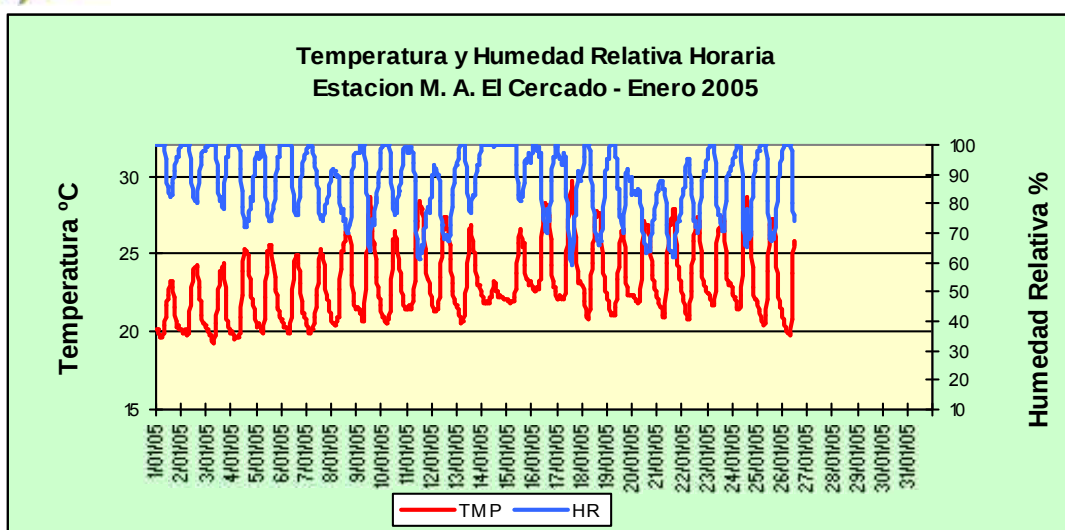


Fig.5.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de enero del 2005 en El Cercado, La Molina y Surco

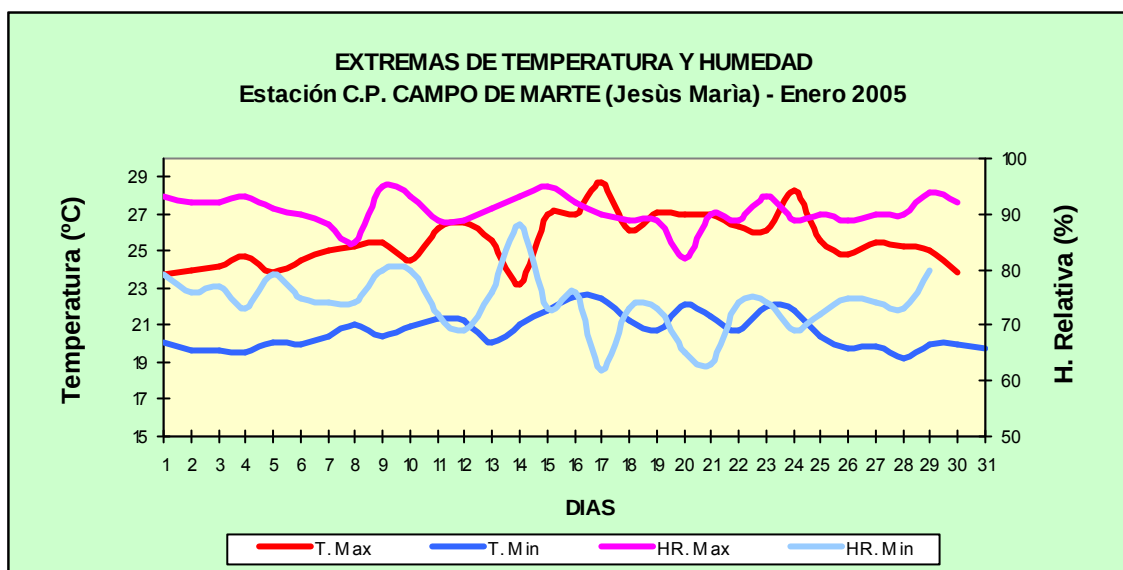
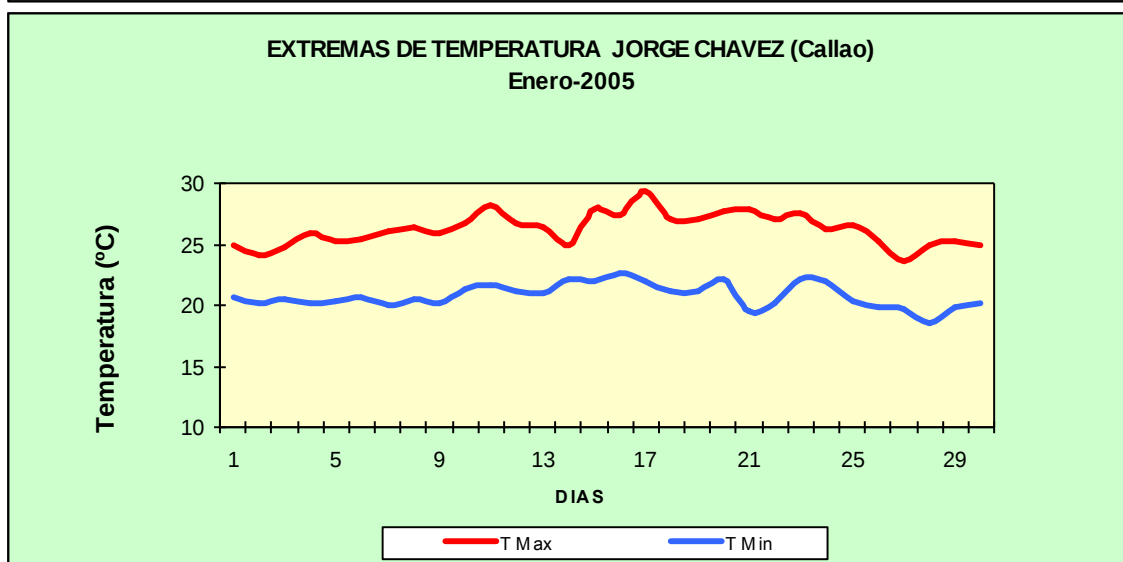
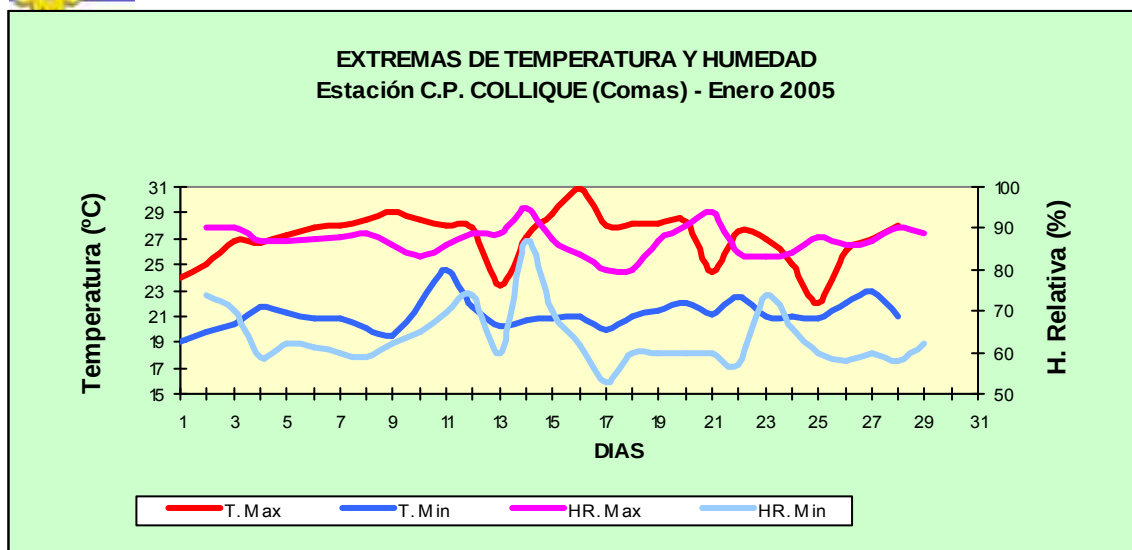


Fig.6a .- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de enero del 2005 en Comas, Callao, y Jesús María

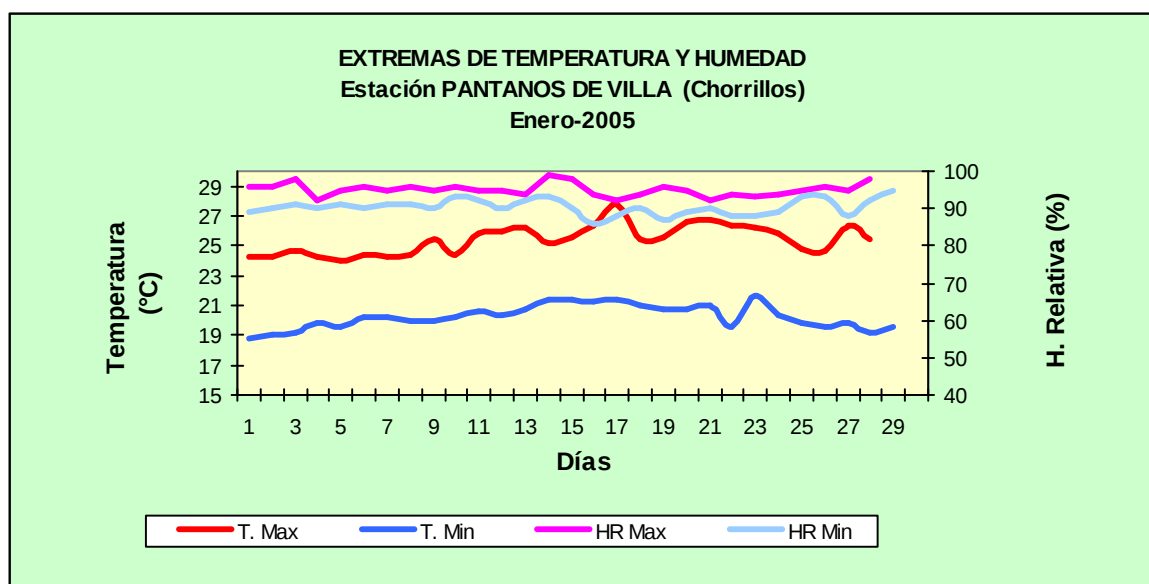


Fig.6b .- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de enero del 2005 en Chorrillos

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

El análisis de la información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes de enero 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 a moderada (alrededor de 2,6 m/s) en las estaciones de Jesús María y El Cercado con direcciones del SW (55%) con ocurrencia de calmas de 38% y del SSW y SW (61% y 19%), respectivamente. Vientos de intensidades moderadas (entre 3,3 a 6 m/s) se registraron hacia el norte (Comas), litoral costero (Callao), este (La Molina) y sur de la ciudad (Surco y Chorrillos) con direcciones del SW y SSW (56 y 21%), S y SSW (58 y 17%), W y WNW (37 y 35%), S y SSW (44 y 29%) y del S y SW (63 y 28%), respectivamente.
- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) en los distritos de Jesús María y El Cercado, se registraron vientos de débil intensidad (alrededor de 2 m/s), con direcciones SW y E (57 y 17%) y del SSW y SW (51 y 23%). Débiles a moderadas en Comas (2,4 m/s) con direcciones SW y SSW (42 y 20%). Intensidades moderadas (entre 3,3 y 4,1 m/s) se registraron hacia el litoral Costero (Callao), este (La Molina) y sur de la ciudad (Surco), con direcciones SSE y S (48 y 44%), E y WNW (30 y 24%) y del S y SSE (52 y 30%), respectivamente. Intensidades fuertes (8,6 m/s) se reportaron en Chorrillos con dirección del SW y S (82 14%).

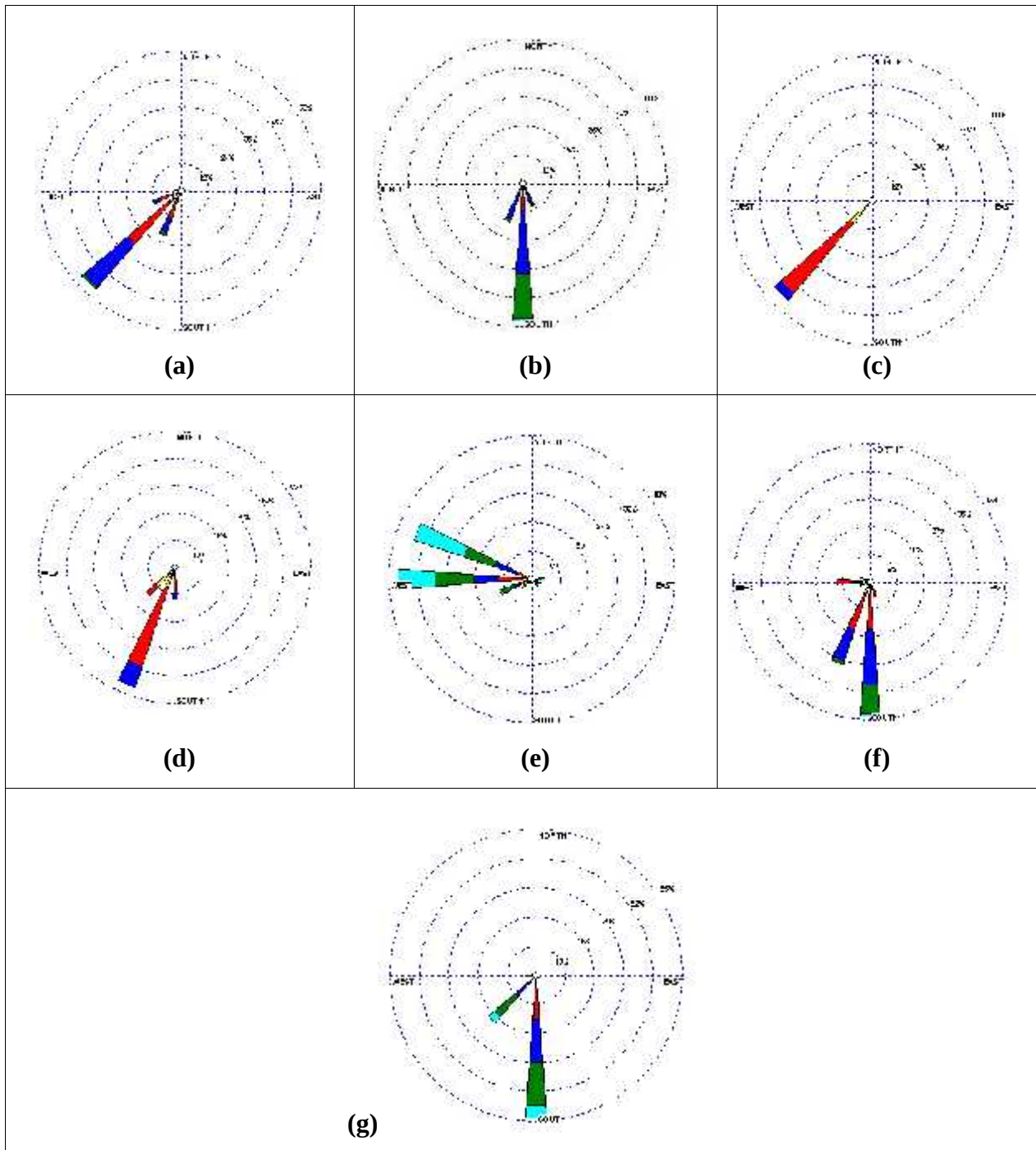


Fig.7 – Rosas de viento (m/s) diurnas de las estaciones de (a) Comas, (b) Callao, (c) Jesús María, (d) El Cercado, (e) La Molina, (f) Surco y (g) Chorrillos. enero 2005

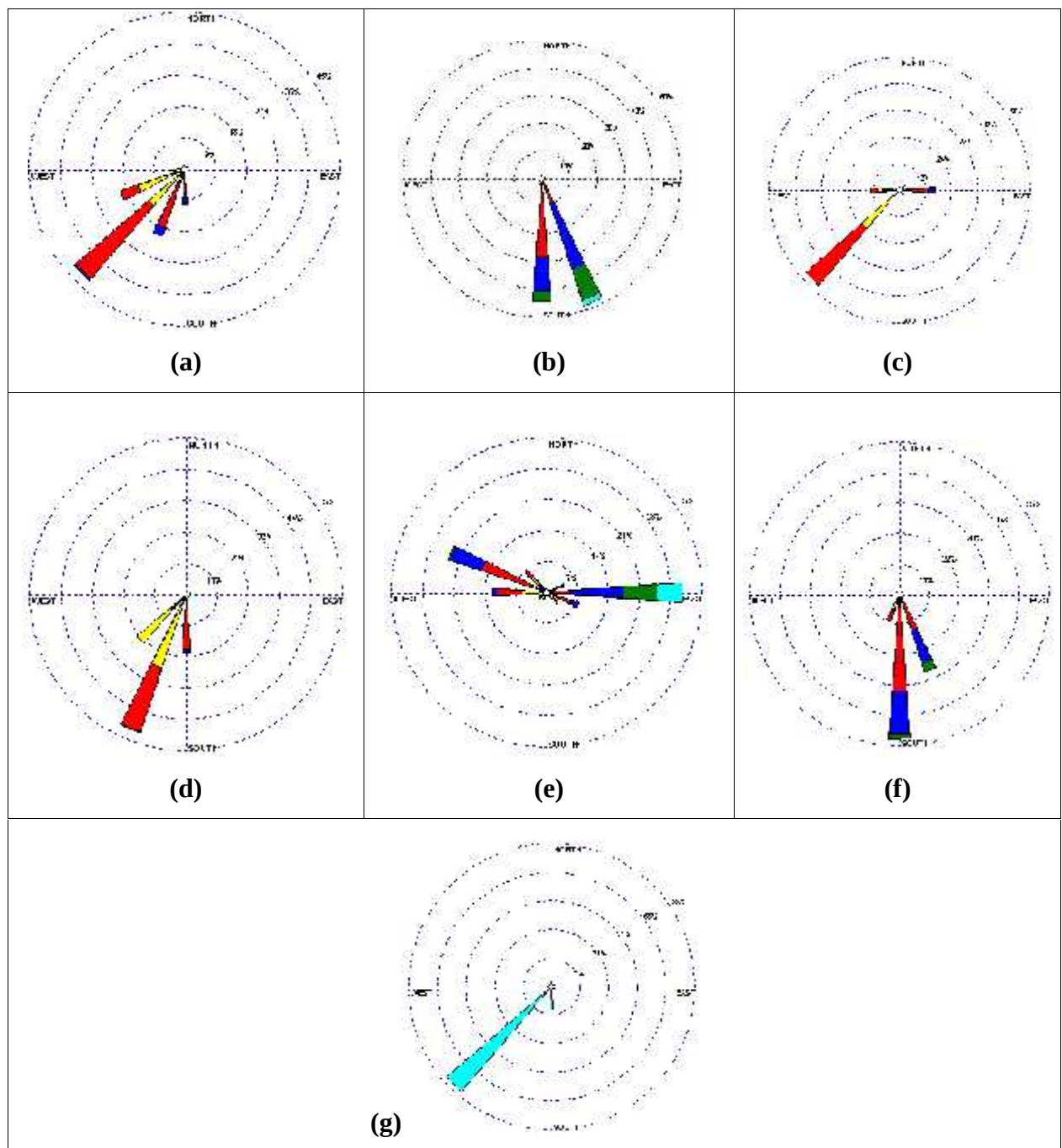


Fig. 8 – Rosas de viento (m/s) nocturnas de las estaciones de (a) Comas, (b) Callao, (c) Jesús María, (d) El Cercado, (e) La Molina, (f) Surco y (g) Chorrillos. enero 2005

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

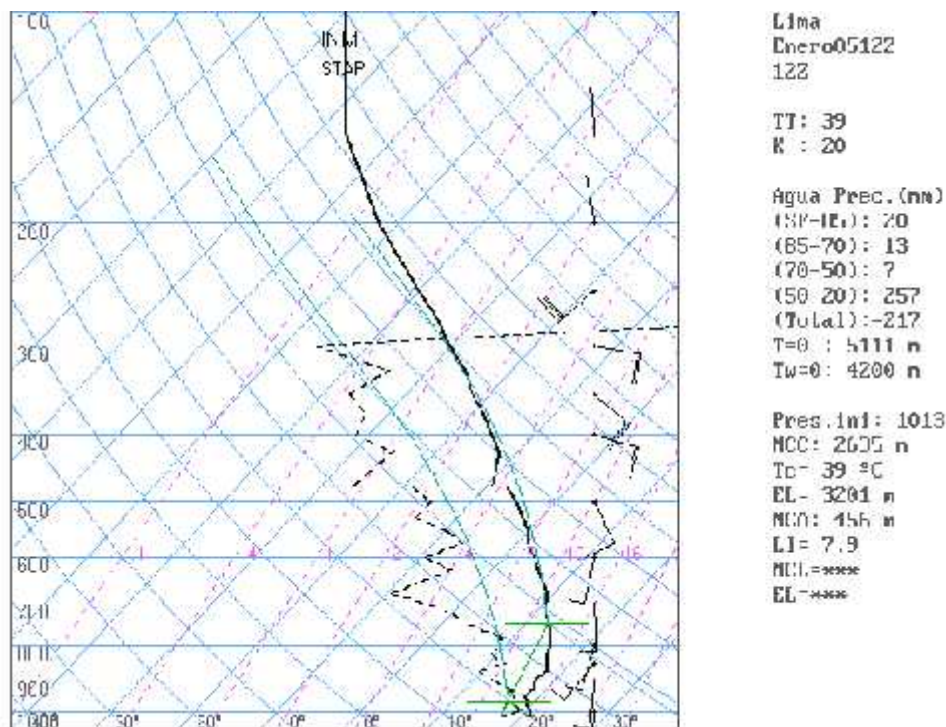


Fig. 9. - Radiosondaje mensual promedio durante el mes de enero del 2005 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)

En la **figura 9** se muestra el sondaje meteorológico promedio para el mes de enero. Del análisis realizado, se observó que la capa de inversión térmica en la costa central de Perú estuvo presente durante 15 de los 17 días considerados para el análisis, con características descritas en el **Cuadro N° 1**.

Cuadro N° 1: Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	795	día 3	91	día 31	353,3
Altura Base	metro	1182	día 23	344	día 18	668,7
Altura Tope	metro	1572	día 3	619	día 31	1022
T Base	° C	19,8	días 8 y 12	14,4	días 4 y 6	17,1
T Tope	° C	20,6	día 12	16,6	día 4	19,4
Gradiente	°C / metro	3,7	día 31	0,1	día 18	1,0
H.R. Base	%	99	días 23 y 29	78	día 25	92,3
H.R. Tope	%	89	día 4	37	día 2	63,1

Desde superficie hasta los 500 hPa los vientos presentaron direcciones del S, cambiaron al SW y SE con intensidades de 5 a 10 m/s. Entre los 400 y 300 hPa los vientos fueron del E con intensidades de 15 a 20 m/s. Desde los 300 hPa hacia niveles superiores, los vientos fueron del SW y del S.

Para el mes de enero la inversión presentó una ligera intensificación respecto al mes anterior, con una altura de base promedio de 668,7 m y una intensidad de 1,0°C/m. Se observaron asimismo días en los que la inversión térmica fue muy intensa con un gradiente de 3,7 °C/m con una altura de la base de 528 m; condiciones que al interaccionar con las actividades antropogénicas, han ocasionado la ocurrencia de los altos niveles de contaminación descritos.

6. Conclusiones

Para el mes de enero, el análisis de la variación espacial de los Contaminantes Sólidos Sedimentables (CSS) en la Zona Metropolitana de Lima – Callao refiere que de los tres centros identificados de altos niveles de concentración de partículas contaminantes, el primero de ellos, ubicado al norte de la ciudad, presentó el valor más alto del mes de 31,8 t/km²/mes; mientras que el segundo ubicado hacia la zona centro-este tuvo un valor de 28,3 t/km²/mes y hacia el sur una concentración de 29,7 t/km²/mes. Sólo en la mayor parte de los distritos cercanos a la costa no se sobrepasa el valor referencial de la OMS.

La variación temporal de los niveles de contaminación durante este mes se han incrementado en un 22,6% respecto al mes anterior, con una media de 13,6 t/km²/mes acentuado hacia la zona sur de la capital. El 87,5% de las estaciones superaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud, de 5 t/km²/mes.

Del análisis del comportamiento del Ozono troposférico, se señala un máximo de 51,9 ppb, registrado el día 11 a las 9 am y un máximo para 8 horas de 9,5 ppb, representando un 15,8% del ECA correspondiente establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 60,1 ppb (120 ug/m³).

Con respecto al monitoreo de la lluvia ácida en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, los pH medidos se encuentran alrededor de 6, no reflejando directamente condiciones de lluvia ácida (valor inferior a 5,6) lo que se explica en la proveniencia de estas precipitaciones. Se continuarán con las mediciones de PH en los próximos meses y se iniciarán los análisis de las muestras de agua para evaluar su composición.

En cuanto al análisis de la temperatura y humedad relativa de las estaciones señaladas en la Z.M. de Lima-Callao, el día más cálido del mes se registró en la segunda década (17 de enero) con una media de 29,2°C; mientras que el día más frío se presentó el día 2 con un valor medio de 19,4°C. Con respecto a la humedad relativa promedio, durante este mes el día más húmedo, coincidente con las trazas reportadas, fue el 14 de enero (>=98%); mientras el día más seco fue el 17 de enero (61%).

Con respecto al comportamiento del viento superficial, durante el día (7:00 a 18:00 horas), las intensidades fueron desde débiles a moderadas (alrededor

de 2,6 m/s) en las estaciones de Jesús María y El Cercado, a moderadas (entre 3,3 a 6 m/s) hacia el norte (Comas), litoral costero (Callao), este (La Molina) y sur de la ciudad (Surco y Chorrillos). Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) se registraron intensidades desde débiles en los distritos de Jesús María y El Cercado (alrededor de 2 m/s) a fuertes (8,6 m/s) en el distrito de Chorrillos.

Para el mes de enero la inversión presentó una ligera intensificación respecto al mes anterior, con una altura de base promedio de 668,7 m y una intensidad de 1,0°C/m. Se presentaron días con alta intensidad de la inversión que al interactuar con las actividades antropogénicas ocasionaron en promedio altos niveles de contaminación durante el mes.