

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/DICIEMBRE-2004

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	2
II.	TEMA DE INTERÉS DEL MES: CONTAMINACION INTRAMUROS -GENERALIDADES-	2
III.	CUENCA ATMOSFERICA DE LIMA	3
IV.	METODOLOGÍA	5
V.	RESULTADOS DEL MONITOREO AMBIENTAL	10
	5.1 Distribución espacial de contaminantes sólidos sedimentables durante el mes de Diciembre del 2004 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	10
	5.2 Análisis del comportamiento del ozono troposferico durante el mes de Diciembre del 2004.	12
	5.3 Análisis del comportamiento de la precipitación ácida durante el mes de Diciembre del 2004 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	14
	5.4 Condiciones Meteorológicas durante el mes de Diciembre 2004	14
VI.	CONCLUSIONES	22

INDICE DE FIGURAS

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 Diciembre 2004 en Lima-Callao	11
Fig. 3	Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de Diciembre del 2004	12
Fig. 4a.-	Variación temporal de la concentración de ozono troposferico durante el mes de diciembre 2004	13
Fig. 4b.-	Variación media horaria de la concentración de ozono troposferico durante el mes de diciembre 2004	13
Fig. 4c.-	Variación máxima media para 8 horas de la concentración de ozono troposferico durante el mes de diciembre 2004	14
Fig. 5a.-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Comas, Cercado y La Molina durante el mes de Diciembre del 2004 en Lima-Callao	16
Fig. 5b.-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Surco durante el mes de Diciembre del 2004 en Lima-Callao	17
Fig. 6a.-	Variación diaria de la temperatura y humedad relativa en Callao, Jesús María durante el mes de Diciembre del 2004 en Lima-Callao	17
Fig. 6b.-	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en Chorrillos durante el mes de Diciembre del 2004 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 Diciembre	21

INDICE DE CUADROS

Cuadro. 1	Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central del Perú – Diciembre 2004	18
-----------	---	----

EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO/DICIEMBRE-2004

Elaboración

Ing. José Silva Cotrina
Ing. Eric Concepción Gamarra
Bach. Zarela Montoya Cabrera

1. Introducción

Durante el mes de diciembre, el SENAMHI, a través de la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales (DGIA), entregó a los propietarios de los predios en donde están instaladas las microestaciones de muestreo de los contaminantes sólidos sedimentables (CSS), un resumen de los resultados obtenidos a la fecha sobre los niveles de contaminación como una retribución simbólica al invalorable apoyo prestado desde hace varios años atrás.

Como parte del apoyo técnico a instituciones públicas, el SENAMHI se integró al grupo de trabajo para la elaboración del Atlas Ambiental de Lima Metropolitana y Callao bajo la coordinación del Instituto Metropolitano de Planificación (IMP); así, durante el presente mes se ha efectuado una capacitación en el manejo de herramientas SIG a cargo de expertos del International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation de Holanda (ITC), desde el 29 de noviembre al 17 de diciembre.

Asimismo, del 1° al 3 de diciembre, funcionarios de la DGIA participaron en representación del SENAMHI en el V Ecodiálogo Nacional y III Ecodiálogo Regional y Local, organizado por el Consejo Nacional del Ambiente donde se analizó los avances a la fecha, rediseño de las políticas y los próximos pasos a seguir en la gestión ambiental y el desarrollo sostenible en el país.

Por otro lado, el día 10 de diciembre, personal de nuestra Dirección General participó en el debate del tema "Indicadores para monitoreo y vigilancia de contaminantes orgánicos persistentes con miras a determinar el riesgo poblacional organizado como parte del proyecto Sistema de Información del Medio Ambiente (SIMA), contando para ello con la presencia del Viceministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Bolivia.

El presente Boletín, muestra el análisis de los resultados del monitoreo de los contaminantes sólidos sedimentables (CSS), del contaminante gaseoso Ozono troposférico (O_3) 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 - Generalidades

Podría pensarse que un individuo está menos expuesto a la contaminación cuando se encuentra en el interior de los recintos; muchos gobiernos invierten importantes cantidades de dinero en planes de control de la contaminación ambiental extramuros, cuando muchos reportes aseguran que exposiciones mayores a los agentes contaminantes pueden ocurrir al interior de los ambientes (intramuros).

Existe información respecto a que el aire contaminado no sólo se encuentra en exteriores, sino que también el interior de edificios públicos, comerciales, y residenciales, está contaminado por una gran variedad de gases y partículas las cuales pueden presentarse en concentraciones que afectan la salud; dicha exposición puede variar desde 8 horas/día en oficinas y establecimientos comerciales, etc., hasta 16 a 24 horas en residencias (Godish, Thad; 1999). Estudios culminados en Santiago de Chile (CONAMA, 1999) refieren que la concentración de material particulado en el interior puede llegar a ser de tres a diez veces más nociva que al exterior contribuyendo a agudizar cuadros de enfermedades y deficiencias respiratorias.

Al referirnos a la Calidad del Aire en las viviendas de ciudades con crecimiento desordenado, como es el caso de la Z. M. de Lima-Callao, el nivel socioeconómico, hábitos y costumbres, índice de tugurización en todos los distritos y la deficiente asimilación de las corrientes de globalización, entre otras, son variables muy importantes que en conjunto ponen en mayor riesgo la salud de amplios sectores de la población. Si se considera los centros de labor, se debe tener en cuenta tanto el número de ocupantes, los materiales y la disposición de los equipos de trabajo, así como la ventilación del ambiente. Ya desde la década del 70' existían publicaciones en donde se venían observando algunas afecciones a los trabajadores; molestias como dolor de cabeza, náuseas, irritaciones mucosas, agudización de enfermedades respiratorias, entre otras atribuidas al ambiente del centro de labores. Este fenómeno ha sido denominado como el "Síndrome del Edificio Enfermo"; la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que afecta al 30% de los edificios modernos y que causa molestias al 10-30% de sus ocupantes. La OMS también refiere que un 60% de los 2,2 millones de muertes anuales de menores de cinco años causadas por infecciones respiratorias agudas se asocian a la contaminación del aire interior producida por insuficiente ventilación, sistemas de calefacción inadecuados, quema de combustibles, hacinamiento, presencia de fumadores, entre otras.

Las concentraciones ambientales intra y extramuros difieren significativamente en tipos como en sus niveles. Los contaminantes propios de ambientes extramuros incluyen al dióxido de azufre (SO_2), el ozono (O_3), polen y una gran variedad de compuestos químicos orgánicos. Mientras que los contaminantes primariamente intramuros incluyen radón, asbesto, amonio, una variedad de compuestos químicos orgánicos, materia viva, etc. Contaminantes comunes a ambos ambientes consideran el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2), Material particulado, compuestos químicos orgánicos, principalmente.

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

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 diciembre 2004.

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 1**), para lo cual se ha desarrollado el método de muestreo pasivo 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 1**) 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 inclinación 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 1a** 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.

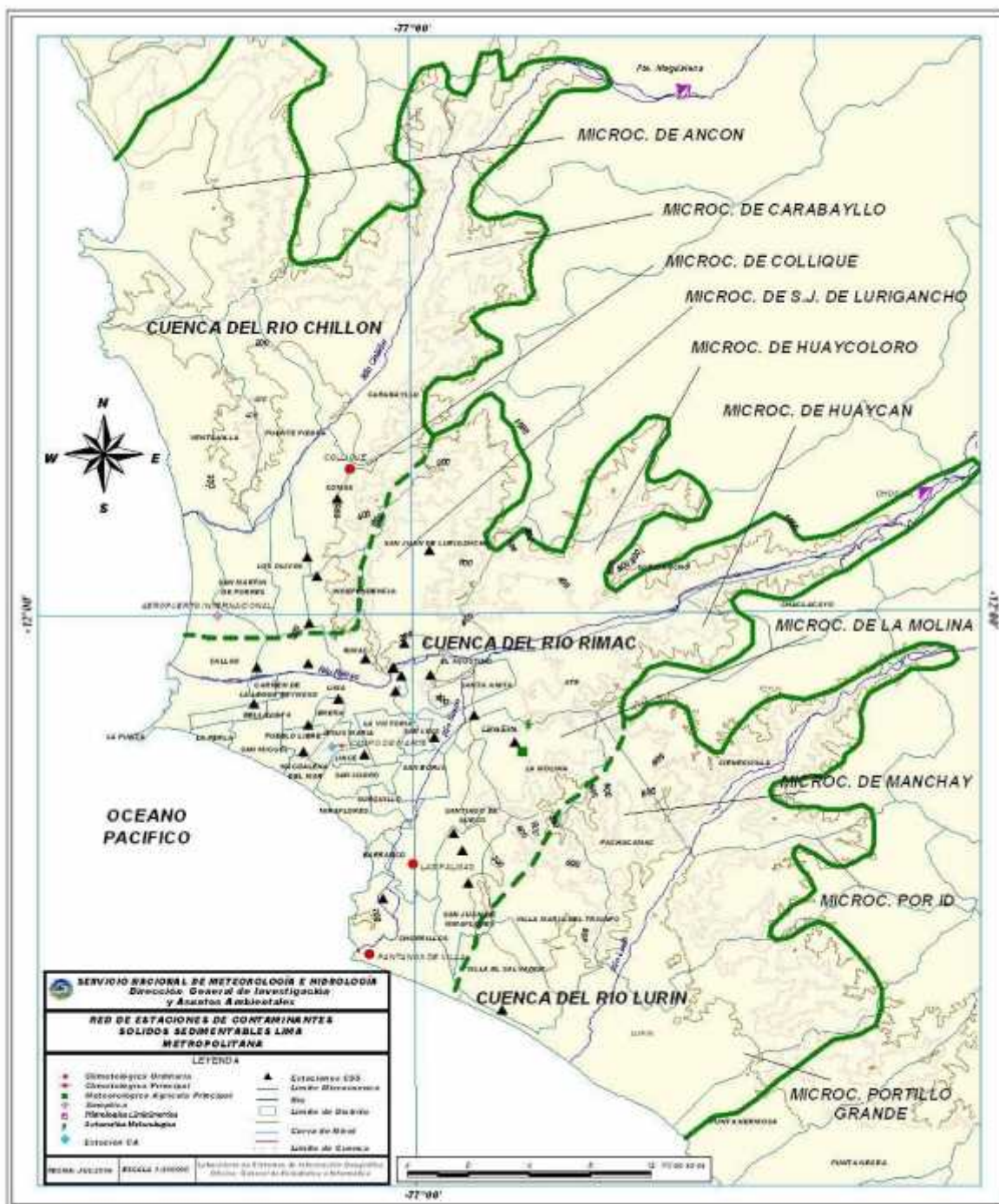


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao



Fig. 1a - 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 diciembre del 2004 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.

En la **figura 1** se presenta la red de contaminantes sólidos sedimentables (CSS). Durante el presente mes, se recopiló información de las 24 estaciones de muestreo, de las cuales 19 estaciones (equivalente al 79,2%) 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. Se identifican tres centros importantes de alta concentración de contaminantes sólidos sedimentables (CSS) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao que se mantienen, debilitándose y reforzándose durante todo el año y 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 observa el primero de ellos extendiéndose a lo largo de los distritos de Carabaylo, Comas, Los Olivos e Independencia y cuyo núcleo se presenta en éste último distrito con un valor de $26,0 \text{ t/km}^2/\text{mes}$ (superior al de meses anteriores), y que se sustenta 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, al desarrollo de una actividad comercial tanto formal como informal a lo largo de la Av. Túpac Amaru, a la presencia de botaderos de basura en algunas avenidas, entre otros, a lo que se suma la influencia del campo de vientos locales que van contribuyendo a su acumulación e incremento de los niveles de contaminación (**figuras 7 y 8**). El segundo centro identificado 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 $27,4 \text{ t/km}^2/\text{mes}$, sustentado en la importante actividad industrial de la zona (de fundición, de fabricación de concreto, de papeles, etc.) y la gran densidad vehicular (vía de Evitamiento). 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 $28,1 \text{ t/km}^2/\text{mes}$, valor más alto del mes, explicado en 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.

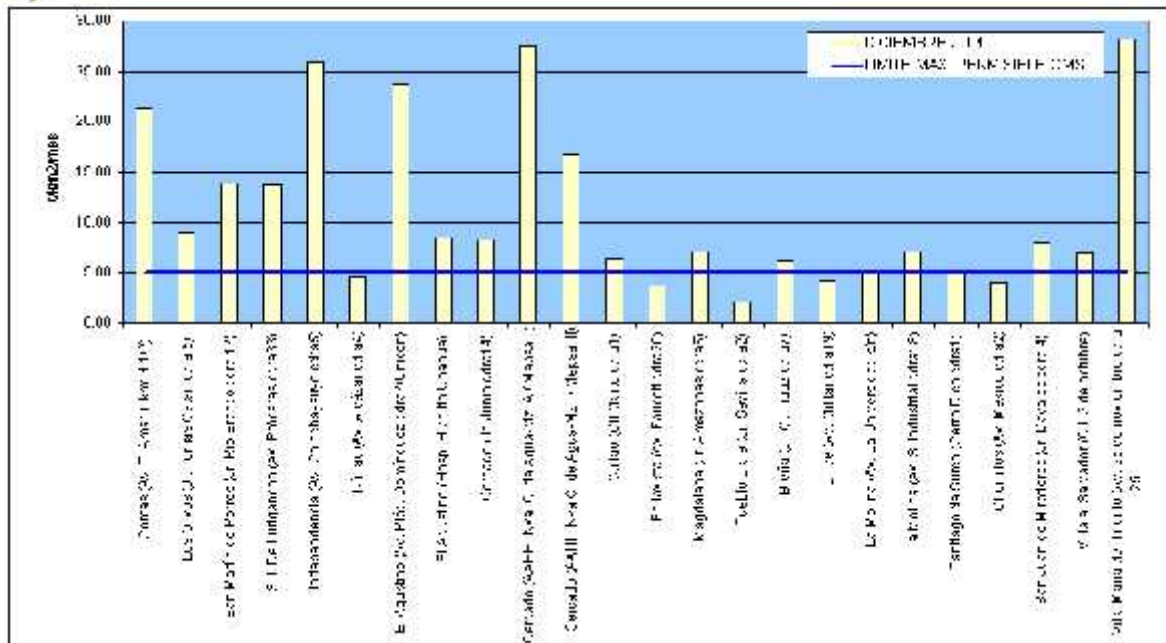


Fig. 2 - Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados durante el mes de diciembre 2004 en Lima-Callao

En la **figura 3**, los distritos comprendidos en la estrecha franja costera y parte de los distritos de San Isidro, San Borja, Miraflores y parte de Santiago de Surco, cuyas políticas municipales incentivan índices adecuados de vegetación que reducen el fenómeno de resuspensión de CSS y las brisas marinas que fluyen hacia el este favorecen la dispersión, por lo que no exceden el valor referencial establecido por la OMS.

En términos generales, para el mes de diciembre la contaminación se ha incrementado en promedio en un 5,7% respecto a los registros del mes anterior, con una media de 11,1 t/km²/mes; asimismo, las mayores concentraciones se han acentuado en la zona sur de la capital. Hacia el este de la ciudad se mantienen altas concentraciones propias de los aportes locales a descritos.

Resulta necesario mencionar que las fuentes que aportan al ambiente cantidades significativas de partículas (como también de gases) no sólo están constituidas por las emisiones provenientes de los complejos industriales, las actividades de comercio formal e informal, el tránsito de un parque automotor viejo y obsoleto, entre otros, ya que si bien son las principales, hay que considerar también los aportes provenientes de actividades menores, pero no menos importantes, como son 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, que en conjunto también agravan los niveles de contaminación del aire paulatinamente y que se observan comúnmente en los distritos de la capital.

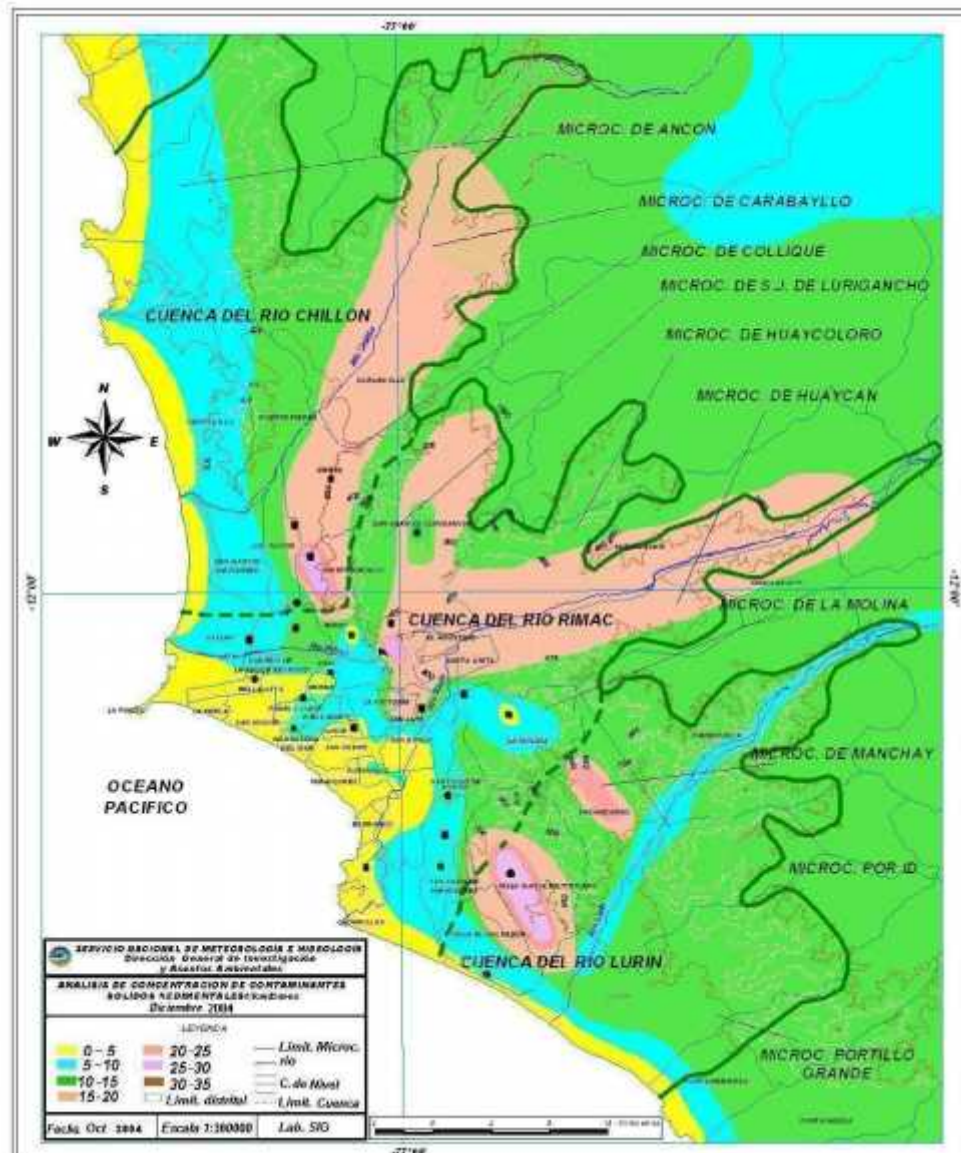


Fig.3 - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de diciembre del 2004

5.2 Análisis del comportamiento del ozono troposferico durante el mes de diciembre 2004

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 21,5 ppb ocurrido el día 6 a las 12:00 pm, en directa relación con la tendencia del índice de radiación ultravioleta para diciembre, donde alcanzó un máximo de 10. Las concentraciones registradas por el analizador ligeramente sobrepasan los 20 ppb, siendo para esta zona y época del año, inferiores a la norma horaria más exigente correspondiente al Estado de California de 90 ppb.

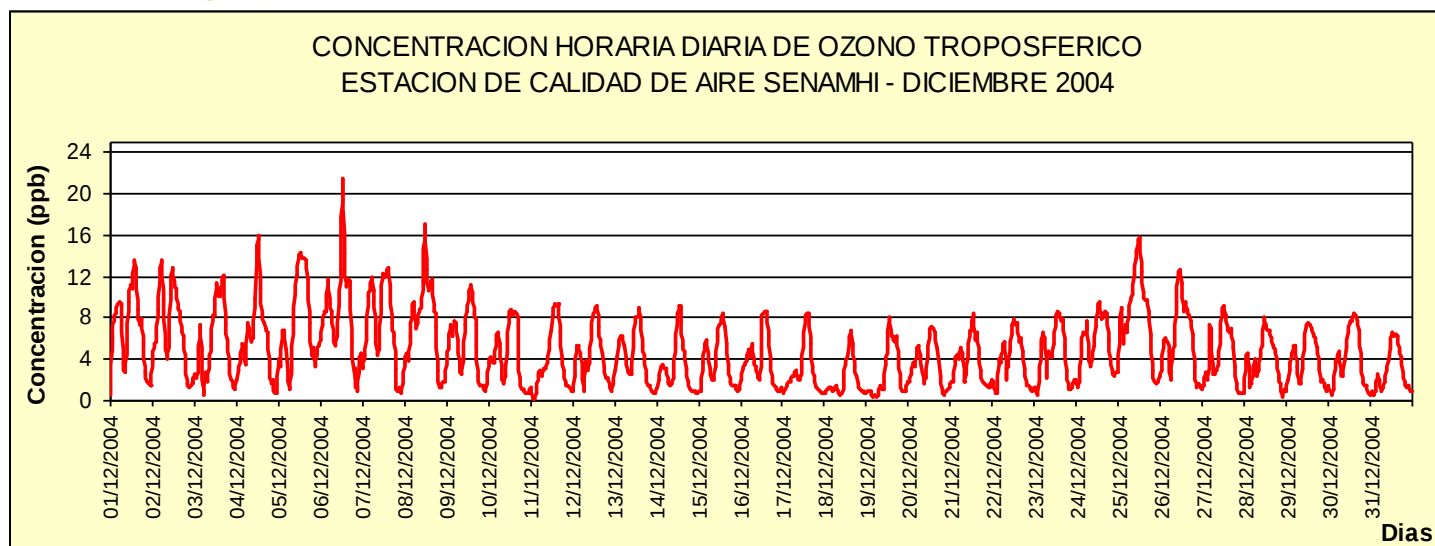


Fig. 4a – Variación temporal de la concentración de Ozono Troposférico durante el mes de Diciembre del 2004

La variación media horaria de la concentración de Ozono Troposférico 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 (9,6 ppb) y el valor mínimo entre las 20:00 y 22:00 horas (1,4 ppb).

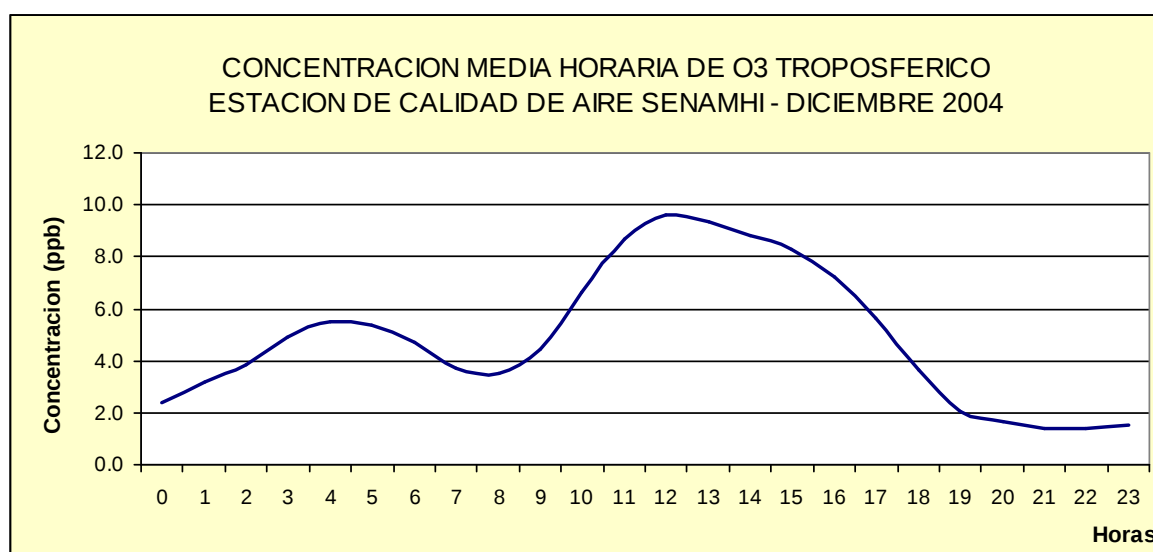


Fig. 4b – Variación media horaria de la concentración de Ozono Troposférico durante el mes de diciembre del 2004

Asimismo el promedio de las 8 horas alcanzó un valor máximo de 12,9 ppb el día 5 a las 16 horas, representando un 21% del ECA correspondiente, establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 60,1 ppb ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ver **Figura 4c**

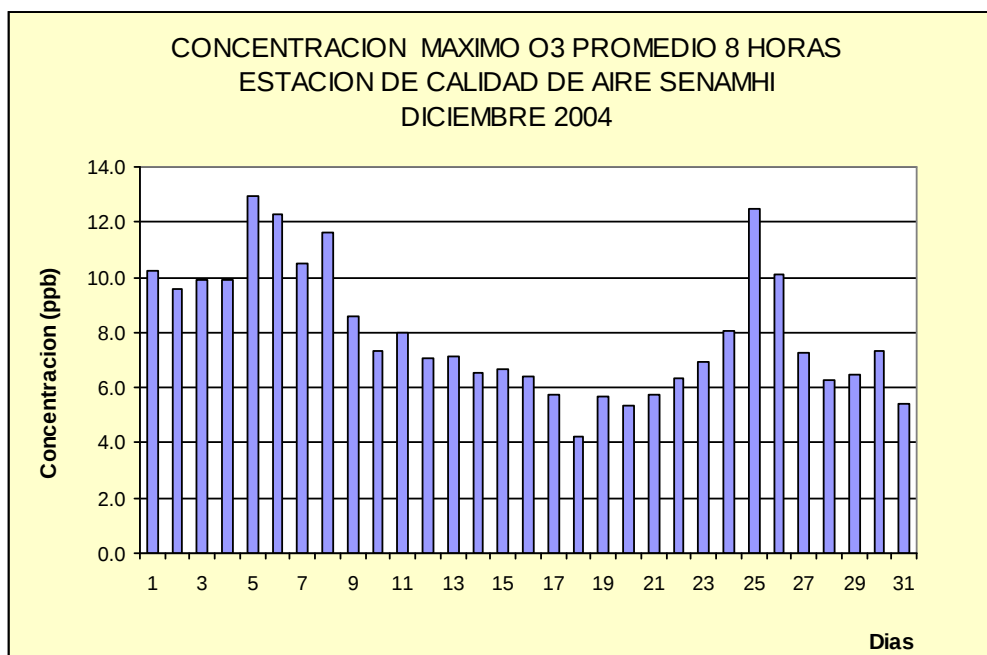


Fig. 4c – Variación máxima media para 8 horas de la concentración de Ozono Troposferico durante el mes de diciembre del 2004

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

Desde el inicio de los trabajos de recolección (agosto 2004) de información de precipitación ácida en las estaciones de control hasta el presente mes, se han registrado valores de pH en un rango de 4 a 8, principalmente en las estaciones ubicadas en la costa (garúas de invierno) justificando de esta manera la tarea de continuar las mediciones durante las lluvias de verano, fundamentalmente en las estaciones de Vitarte, Ñaña y Chosica. Todo valor inferior a 5.6 evidencia condiciones de lluvia ácida.

Los volúmenes de las muestras colectadas no fueron suficientes para efectuar mayores análisis (conductividad, iones, etc); sin embargo se espera que durante la estación de lluvias de verano en la zona central pueda colectarse muestras suficientes para el análisis respectivo.

5.4 Condiciones meteorológicas durante el mes de diciembre del 2004

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 meteorológica automática 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 20,1°C en La Molina a 28,0°C en el Callao y la mínima de 15,4°C (La Molina) a 21,0°C en Comas y el Callao; dichos registros son bastante superiores a las extremas del mes anterior; con respecto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 78% en Comas a 100% en el Cercado y La Molina; mientras que la mínima osciló entre 48% (Comas) a 94% en Chorrillos (ver **figuras 5a,b y 6a,b**), registros inferiores al mes anterior, comportamiento propio del asentamiento de la nueva estación. Durante el mes de diciembre, se han alternado condiciones de alta insolación con algunos días nublados parciales y lloviznas aisladas la primera década.
- 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 15:00 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, los días más fríos del mes en la Zona Metropolitana de Lima-Callao se presentaron en la primera década (2 y 3 de diciembre) con una media de 16,9°C, registro superior al mes anterior; mientras que el día más cálido se presentó a mediados de mes (día 15) con un valor medio de 26,2°C. Con respecto a la humedad relativa promedio, durante este mes la atmósfera de la Z.M. de Lima-Callao no estuvo saturada de humedad; sin embargo, el día más húmedo fue el 24 de diciembre (97%) y el más seco el 25 de diciembre (65%).

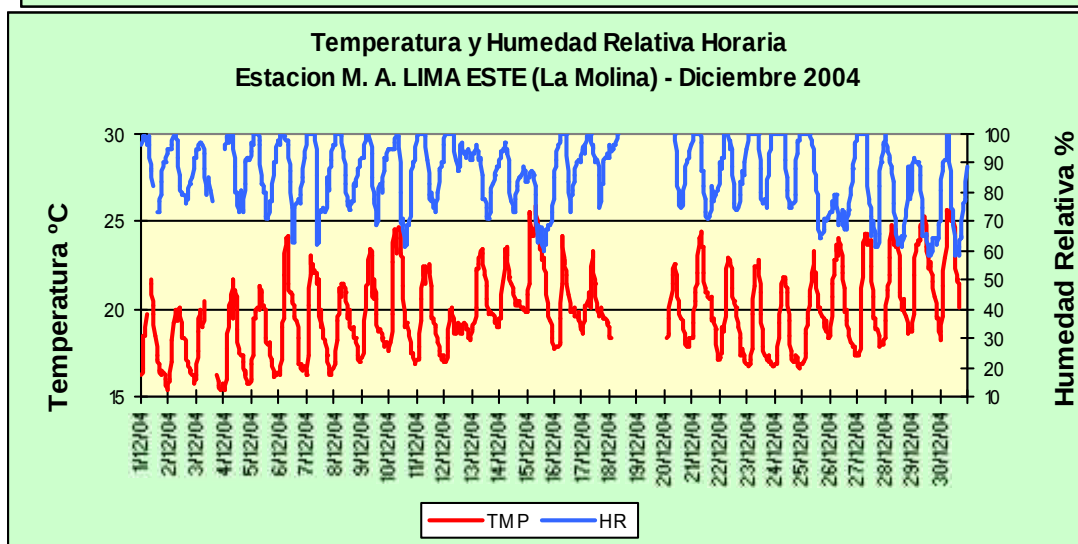
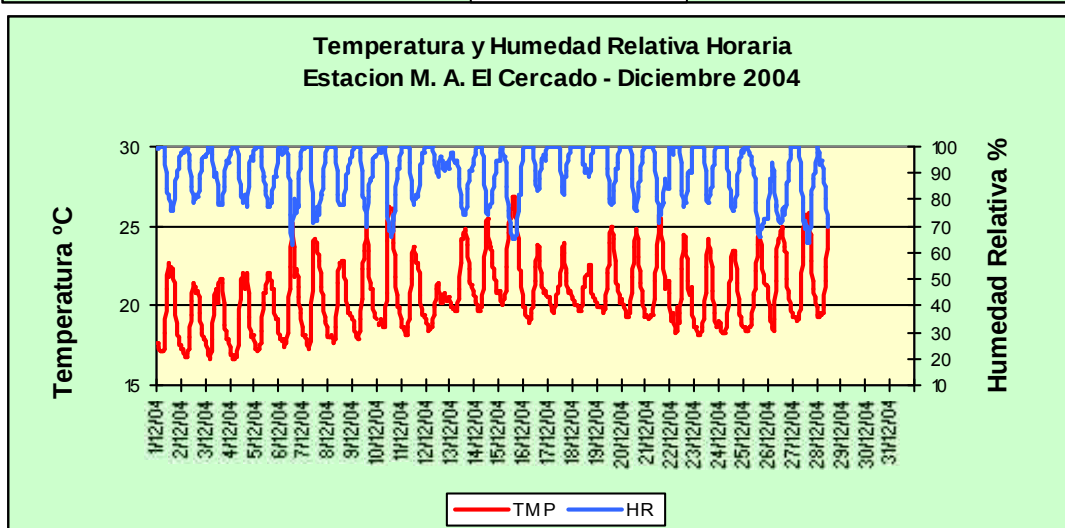
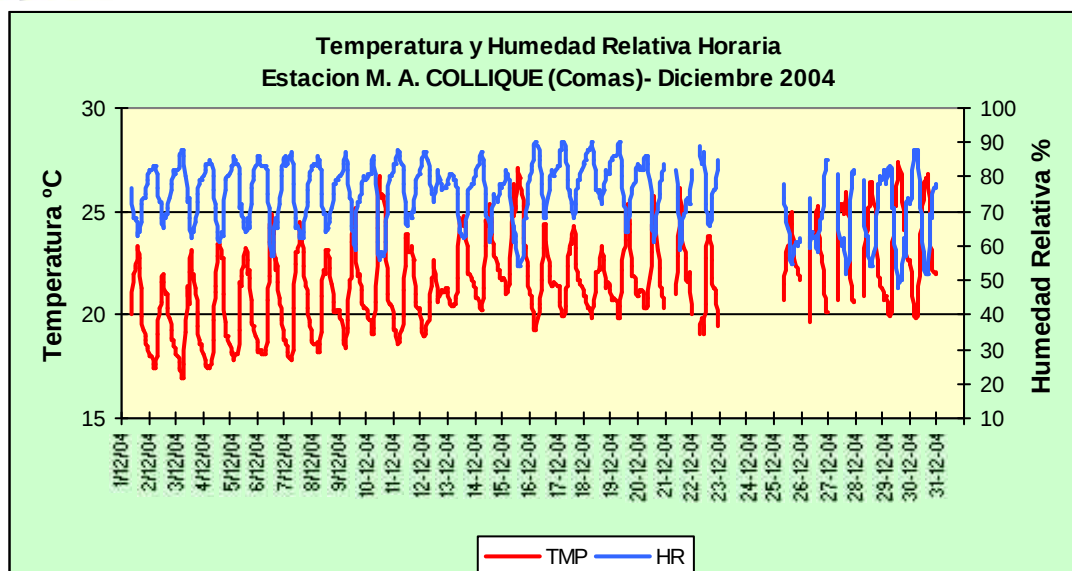


Fig.5a .- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2004 en Comas, El Cercado y La Molina

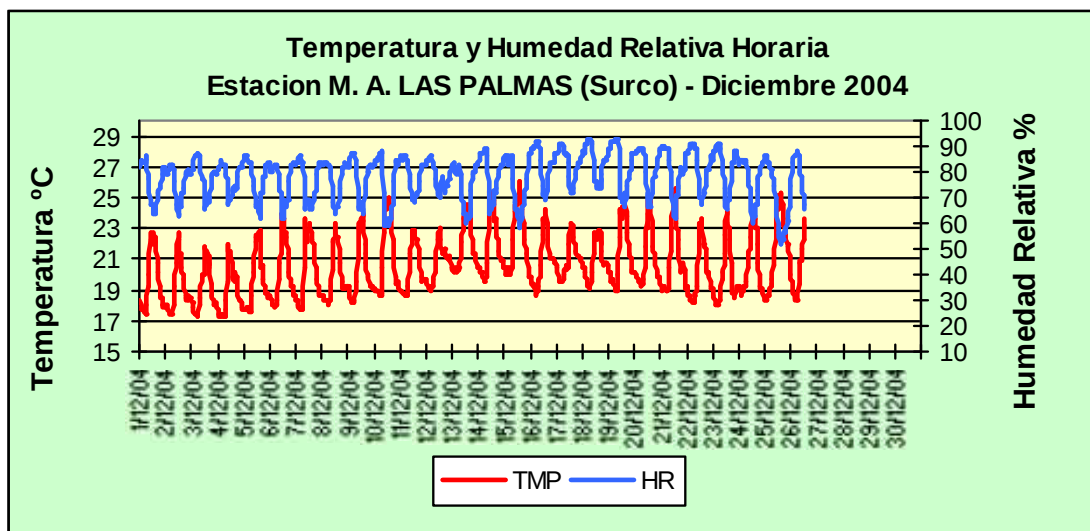


Fig.5b .- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2004 en Surco

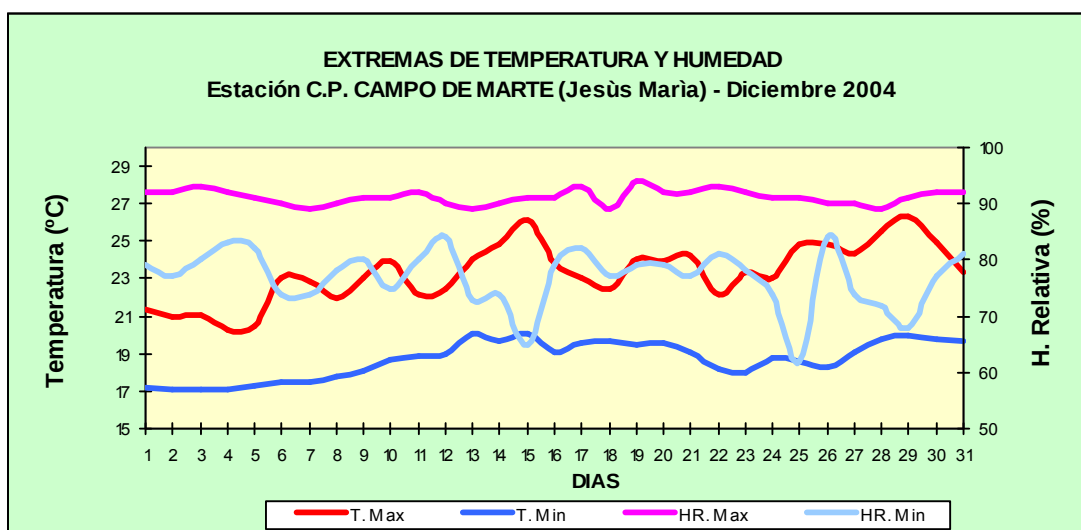
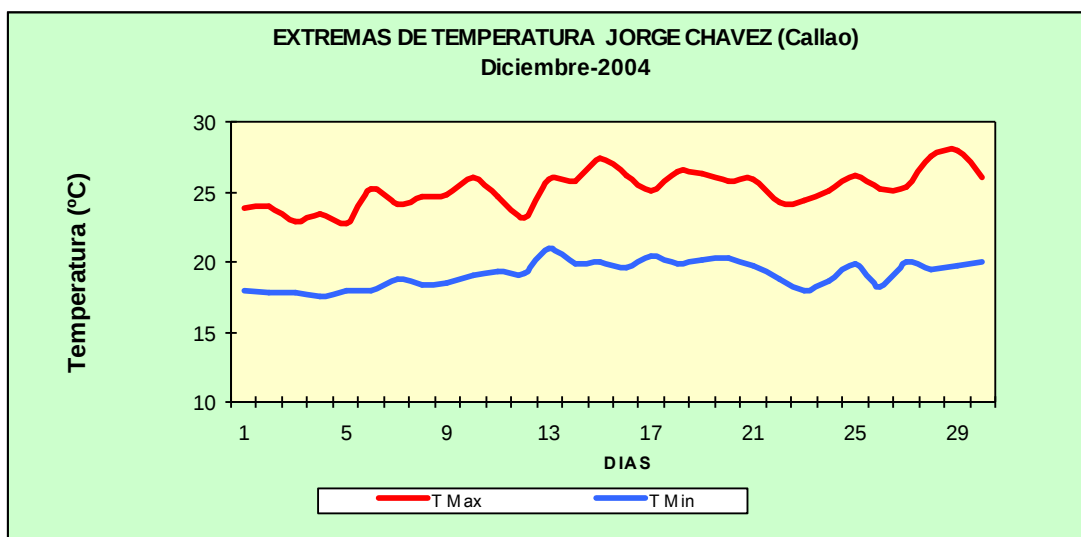


Fig.6a .- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2004 en el Callao y Jesús María

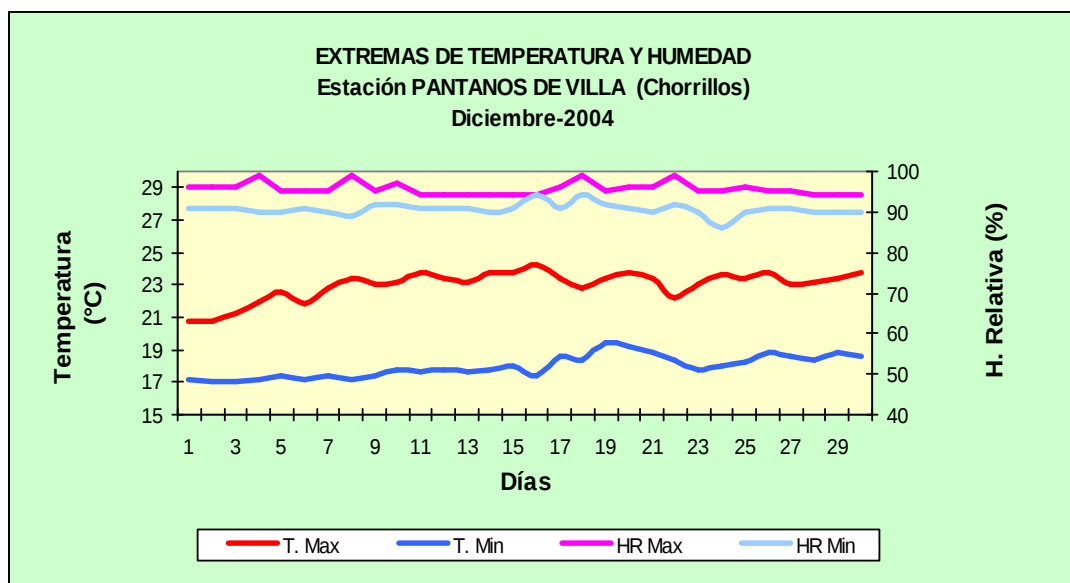


Fig.6b .- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2004 en Chorrillos

5.4.2 Análisis del viento superficial en la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de Diciembre del 2004.

El análisis de la información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente a diciembre 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 (entre 1,9 – 2,2 m/s) con direcciones del SW (56%) y del SSW y SW (44% y 34%) en los distritos de Jesús María y El Cercado, respectivamente. Intensidades moderadas (entre 3,6 a 4,5 m/s) se registraron hacia el norte (Comas), litoral costero (Callao) y sur de la ciudad (Surco y Chorrillos) con direcciones provenientes del SW (65%), SW y SSW (27 y 26%), S y SW (55 y 45%) y del S y SSW (34 y 32%), respectivamente. Hacia el lado este (La Molina), predominaron vientos fuertes del WNW y W (49 y 33%).
- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) se registraron intensidades débiles en los distritos de Jesús María (2,1 m/s) y El Cercado (1,6 m/s), de forma similar que en horas de la mañana, con direcciones SW y SE (63 y 30%) y del SSW y SW (47 y 31%). Hacia el norte (Comas), litoral Costero (Callao), este (La Molina) y sur de la ciudad (Surco), las intensidades fueron moderadas (2,5-5,1 m/s) con direcciones SW y WSW (40 y 29%), SE y SSE (36 y 32%), WNW y E (25 y 21%) y del S y SSE (60 y 21%), respectivamente. Intensidades fuertes se reportaron en Chorrillos con dirección SW (97%)

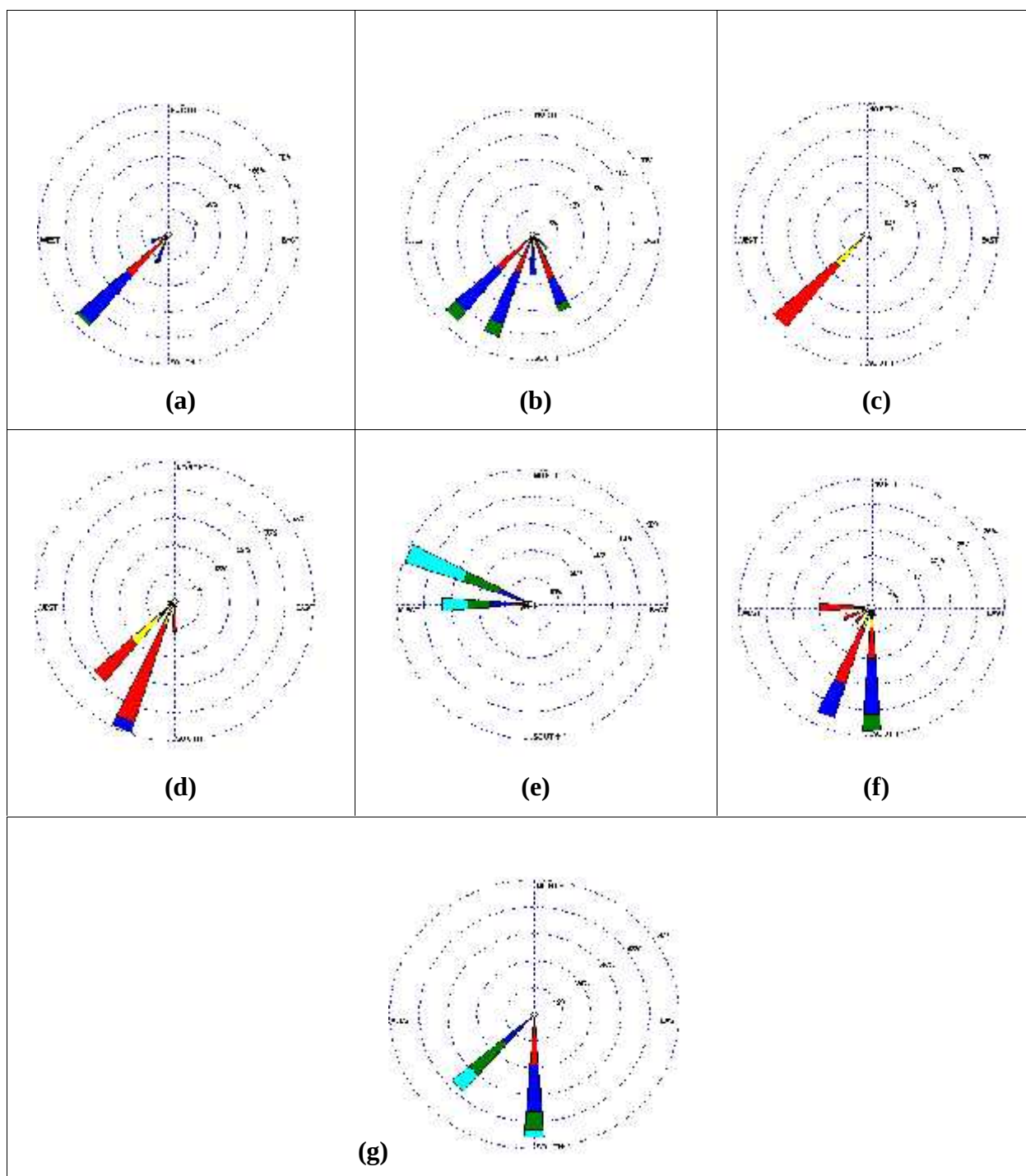


Fig.7 – Rosas de viento (m/s) diurnas de las estaciones de (a) Comas, (b) Callao, (c) Jesús María, (d) El Cercado, (e) La Molina, (f) Surco y (g) Chorrillos. Diciembre 2004

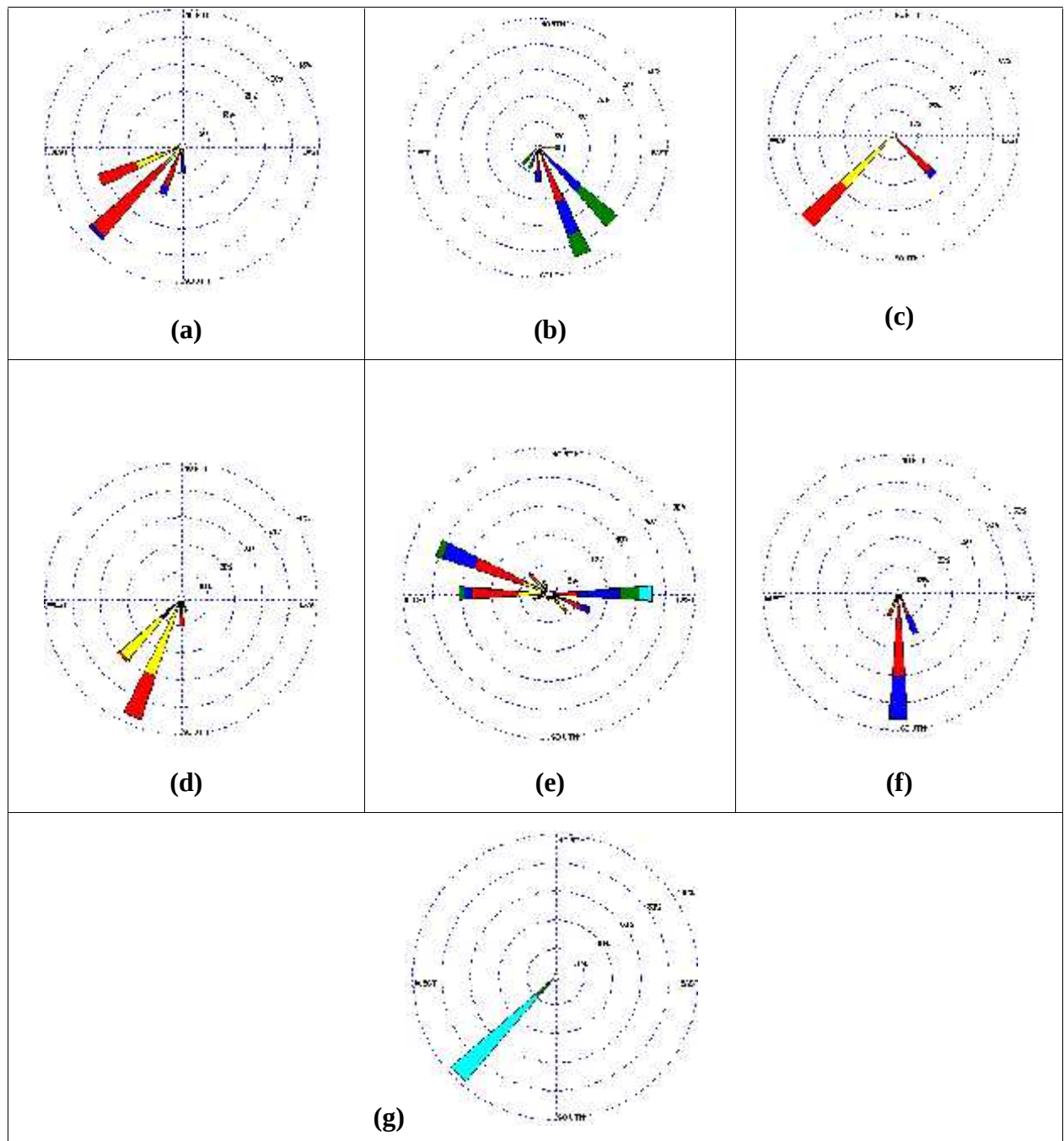


Fig. 8 – Rosas de viento (m/s) nocturnas de las estaciones de (a) Comas, (b) Callao, (c) Jesús María, (d) El Cercado, (e) La Molina, (f) Surco y (g) Chorrillo. Diciembre 2004

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 diciembre del 2004

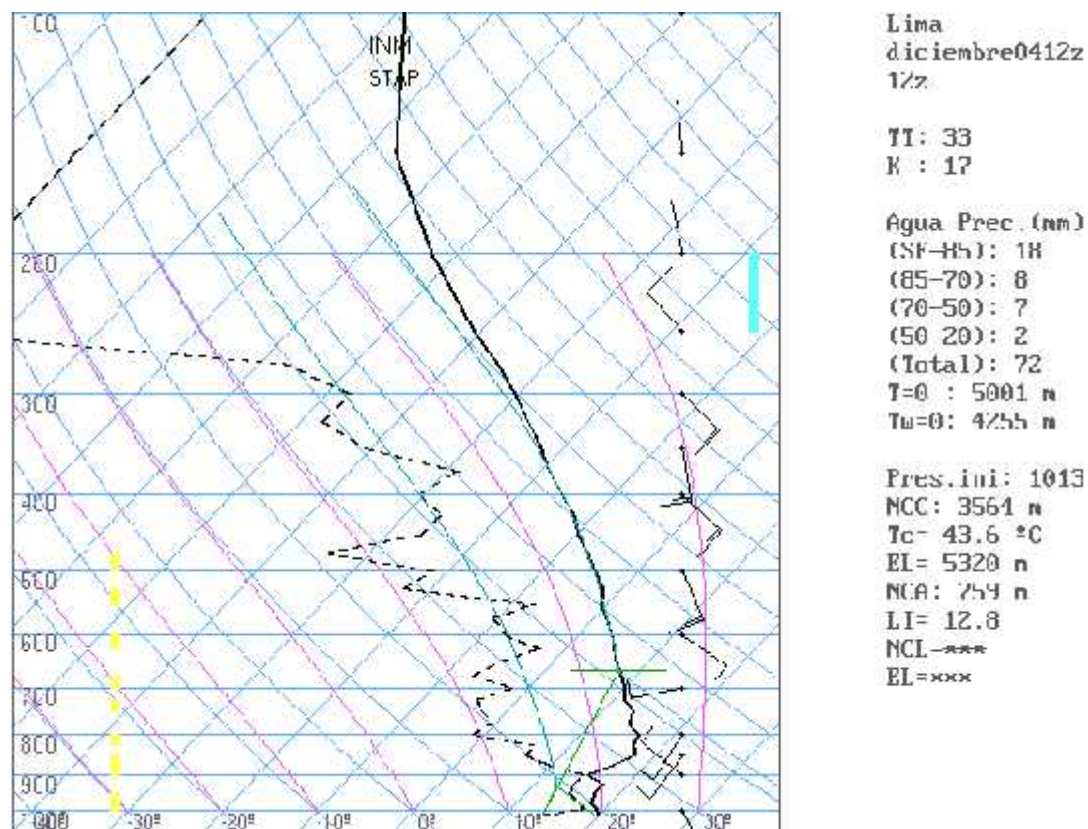


Fig. 9. - Radiosondaje mensual promedio durante el mes de diciembre del 2004 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)

En la **figura 9** se muestra el sondaje meteorológico promedio para el mes de diciembre. Del análisis realizado, se observó que la capa de inversión térmica en la costa central de Perú estuvo presente durante 8 de los 10 días en que se realizaron observaciones (del 21 al 31), pero en forma debilitada, 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	804	día 27	109	día 28	421,3
Altura Base	metro	963	día 24	13	día 28	553,4
Altura Tope	metro	1472	día 25	122	día 28	974,6
T Base	° C	19,8	días 22 y 28	13,4	día 23	16,7
T Tope	° C	23,0	día 23	18,8	día 30	20,4
Gradiente	°C / metro	1,9	día 24	0,5	día 26	0,9
H.R. Base	%	98	días 24 y 27	60	día 30	78,0
H.R. Tope	%	78	día 22	16	día 25	48,6

Desde superficie hasta los 900 hPa los vientos presentaron direcciones del SW con intensidades de 5 a 10 m/s. Entre los 800 y 700 hPa las direcciones

variaron de NW a WSW. Desde los 600 hPa a 300 hPa los vientos presentaron dirección SW con intensidades de 10 a 15 m/s; desde los 300 hPa hacia niveles superiores, los vientos fueron del NW.

Para el mes de diciembre la inversión se presentó debilitada; en promedio la altura de la base de la Inversión fue de 553,4 m y su intensidad de 0,9°C/m.

6. Conclusiones

Para el mes de diciembre, el análisis de la variación espacial de los Contaminantes Sólidos Sedimentables (CSS) en la Zona Metropolitana de Lima – Callao presenta la conformación de tres centros de altos niveles de concentración de partículas: El primero de ellos está ubicado al norte de la ciudad con un valor de 26,0 t/km²/mes; el segundo ubicado hacia la zona centro-este, con un valor de 27,4 t/km²/mes y el tercero, hacia el cono sur, equivalente a 28,1 t/km²/mes, valor más alto del mes; en la mayor parte de los distritos cercanos a la costa no se sobrepasa el valor referencial de la OMS.

Respecto al mes anterior, se han incrementado los niveles de contaminación en un 5,7%, con una media de 11,1 t/km²/mes y se han acentuado hacia la zona sur de la capital. El 79,2% de las estaciones superan el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud, de 5 t/km²/mes.

En cuanto a los contaminantes gaseosos, el valor máximo del Ozono troposférico fue de 21,5 ppb, registrado hacia el mediodía y su máximo para 8 horas fue de 12,9 ppb, representando un 21% del ECA correspondiente establecido por el D.S. 074-PCM-2001 de 60,1 ppb (120 ug/m³).

Con respecto a la precipitación ácida, se han registrado precipitaciones con valores de pH comprendidos en el rango 4 a 8, cuyos valores inferiores a 5,6 como valor referencial, evidencian condiciones de lluvia ácida. Sin embargo el volumen de las muestras recogidas no fueron suficientes para efectuar mayores análisis; se espera que con la temporada de lluvias en la zona central se pueda obtener mayor información.

En cuanto al análisis de las temperaturas de las estaciones indicadas, los días más fríos del mes en la capital se presentaron en la primera década (2 y 3 de diciembre) con una media de 16,9°C; mientras que el día más cálido se presentó el día 15 (media de 26,2°C). Con respecto a la humedad relativa promedio, durante este mes la atmósfera de la Z.M. de Lima-Callao no estuvo saturada de humedad; sin embargo, el día más húmedo fue el 24 de diciembre (97%) y el día más seco fue el 25 (65%).

En cuanto al comportamiento del viento superficial, durante el día (7:00 a 18:00 horas), las intensidades fueron desde débiles (entre 1,9 a 2,2 m/s) a fuertes (6,4 m/s), pero de carácter moderado en la mayor parte de las estaciones con una velocidad media comprendida entre 3,6 a 4,5 m/s.

Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) las intensidades de los vientos mantuvieron un comportamiento similar respecto a la mañana; así, fueron desde débiles (en Comas y Cercado) con una velocidad media comprendida entre 1,6 a 2,1 m/s a fuertes (La Molina) con intensidad de 8,6 m/s.

Para el mes de diciembre la inversión térmica se presentó muy debilitada; en promedio la altura de la base de la Inversión fue de 553,4 m y su intensidad de 0,9°C/m.