

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

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	2
II.	CUENCA ATMOSFERICA DE LIMA	7
III.	METODOLOGÍA	8
IV.	RESULTADOS	11
	4.1 Distribución espacial de contaminantes sólidos sedimentables durante el mes de Agosto del 2004 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.	11
	4.2 Condiciones Meteorológicas durante el mes de Agosto 2004	13
V.	CONCLUSIONES	20

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Diseño de un Transmisómetro	5
Fig. 2	Diseño de Nefelómetro	5
Fig. 3	Monitor de aerosoles - Tipo Ciclón	6
Fig. 4	Sistema Fotográfico	6
Fig. 5	Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao	10
Fig. 6	Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados durante el mes de Agosto 2004 en Lima-Callao	12
Fig. 7	Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de Agosto del 2004	13
Fig. 8	Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de Agosto del 2004 en el Callao y La Molina	15
Fig. 9a.	Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de Agosto del 2004 en Comas y Jesús María	15
Fig. 9b.	Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de Agosto del 2004 en el Santiago de Surco y Chorrillos	16
Fig. 10	Rosas de viento Diurnas	17
Fig. 11	Rosas de viento Nocturnas	18
Fig. 12	Radiosondaje mensual promedio mes de Agosto	19

INDICE DE CUADROS

Cuadro N°1	Límites de Visibilidad de algunos objetos de referencia	3
Cuadro N°2	Factores que disminuyen la visibilidad horizontal	3
Cuadro N°3	Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú	19

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

1. Introducción

Durante el mes de agosto, el SENAMHI a través de la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales, ha iniciado actividades de monitoreo de Ozono Troposférico en el valle de Ica durante un mes, a partir del día 11 del presente, con el objetivo de recopilar información que permita determinar los impactos de este contaminante en la calidad del aire para la salud y en la baja de los rendimientos de los cultivos agrícolas. De otro lado, el día 13 se participó en las celebraciones del "Día Interamericano de la Calidad del Aire", organizado por el CONAM; como parte de la celebración se informó sobre la normatividad vigente que eliminará el Plomo de la gasolina desde enero del 2004.

Respecto a la recopilación de antecedentes sobre la reducción de la visibilidad por el material particulado, se presenta a continuación, información en lo concerniente a sus formas de medición y/o determinación desde la perspectiva visual hasta a través del uso de aparatos más sofisticados.

Así, se sabe que la capacidad para poder apreciar un objeto está limitada en la atmósfera libre (sin contaminar) por la dispersión de la luz de parte de moléculas que componen la atmósfera. Estas moléculas son primariamente el Nitrógeno y el Oxígeno, conjuntamente con algunos gases traza tales como el Argón y el Hidrógeno, aerosoles como gotas de agua, polvo arrastrado por el viento y aerosoles secundarios que son resultado de reacciones atmosféricas de emisiones de gases precursores.

Es por todos conocido que la contaminación atmosférica es uno de los problemas ambientales más severos que afecta la calidad de vida de las poblaciones y por ello está siendo objeto de innumerables estudios. Uno de los aspectos de sumo interés que ha sido observado es el concerniente a la reducción de la visibilidad. De hecho, el incremento en la cantidad de partículas finas y gases en la atmósfera está asociado con reducciones en la capacidad del ojo humano para ver a través de la atmósfera o identificar un objeto a distancia (Health Canadá, 2004- On Line).

De acuerdo a Guardiola *et al.* (1968), la transparencia del aire atmosférico cambia de un lugar a otro y de un momento a otro en un mismo lugar entre límites bastante amplios; así hay días en los cuales se destacan detalladamente objetos muy lejanos y otros días en los que no pueden verse sino confusamente aún objetos relativamente próximos. El grado de transparencia de la atmósfera es una característica física de la masa de aire relacionada con su origen y su evolución.

Al medir la visibilidad se consideran sus grados extremos como son la visibilidad nula, producida cuando se presenta niebla bastante densa y la visibilidad máxima que corresponde a la transparencia absoluta en la que todos los objetos serían visibles a cualquier distancia pero conservando la perspectiva geométrica; es decir cuando aún pueden verse objetos de tamaño real (Guardiola, *et al.*, 1968). Por ello, la visibilidad puede considerarse como el promedio de las distancias

máximas a que puede identificarse un objeto, tomando las distancias en todos los sentidos. Durante la noche, se mide por la distancia a que pueden verse las luces de una determinada potencia (Longley, 1970).

Asimismo, es necesario considerar el umbral de sensibilidad del ojo. Se sabe que el ojo humano distingue bien los objetos cuyo tamaño aparente es de 1 a 2 minutos de arco, es decir más o menos equivalente a 1 disco de 1 cm de diámetro colocado a la distancia de unos 15 metros o a 1 disco de 1 metro colocado a 1 ½ km. Así por ejemplo, en el **Cuadro 1**, se observan límites de visibilidad para el tamaño máximo de los objetos.

Distancia	Tamaño del Objeto	Ejemplo
50 m	5 cm	Flor
200 m	20 cm	Ladrillo
500 m	50 cm	Cordero
1 000 m	1 m	Mata
2 000 m	2 m	Puerta
4 000 m	4 m	Casita
10 km	10 m	Casa
20 km	20 m	Iglesia
50 km	50 m	Colina

Fuente. *Manual del Observador de Meteorología. Jansa Guardiola. 1960*

Cuadro 1: Límites de visibilidad de algunos objetos de referencia

De acuerdo a Guardiola *et al.* (1968), las causas por las cuales se puede hablar de “oscuridad atmosférica”, es decir aquellas que disminuyen o hacen nula la visibilidad se enumeran a continuación junto con sus principales componentes (ver **Cuadro 2**):

Factores que ↓ la visibilidad	Componentes principales		
	Gotas de Agua	Partículas de hielo	Impurezas sólidas
Niebla o Neblina	X		
Nubosidad y precipitación	X	X	
Bruma proveniente del mar	X		
Humo			X
Polvo y arena			X

Fuente: *Handbook of Aviation Meteorology (1960)*

Cuadro 2. Factores que disminuyen la visibilidad horizontal

Longley (1970) menciona que la principal causa de la disminución de la visibilidad es el agua condensada en forma de niebla, la cual dependiendo de su espesor puede disminuirla o hacerla tan pobre tal que no se puedan distinguir los objetos situados a 100 m de distancia. Con respecto a la lluvia y la llovizna la disminución de la visibilidad es menor dependiendo para la segunda principalmente de la proximidad de la nube. De otro lado, la nieve y las tormentas de nieve y el humo también reducen la visibilidad. Con respecto al humo, cuando el aire se encuentra húmedo, algunos productos de la combustión se comportan como núcleos de condensación, de ahí que la niebla resultante se mezcle con éste formando la niebla de humo o smog muy perjudicial; así cuando el aire caliente se eleva por encima de la niebla de humo, éste queda atrapado debajo trayendo consigo la disminución de la visibilidad hasta que un cambio en la dirección del viento se

lleva el aire contaminado. Asimismo, partículas sólidas derivadas del polvo, sal, humo, entre otras pueden servir de núcleo de condensación en condiciones de mucha humedad formando bruma sobre la superficie de la tierra.

En el Boletín del mes anterior, en el acápite correspondiente a este tema, se señaló que el deterioro de la visibilidad responde a la interacción de la luz con partículas en la atmósfera, mientras que los contaminantes gaseosos desempeñan respecto a éste un rol menor. Se sabe que la interacción de las partículas con la luz se da a través de dos (2) importantes mecanismos: Absorción de luz y dispersión en una dirección diferente de la original.

El coeficiente de extinción es una medida importante de la transparencia atmosférica y es la más directamente relacionada a la composición de la atmósfera (Air Quality Laboratory – Visibility Group – On Line) y es definida como la fracción de luz atenuada por unidad de recorrido a través de la atmósfera (Mm⁻¹). De acuerdo a Malm (1999) es equivalente a:

$$\mathbf{Bext = bscat + babs}$$

Donde:

bscat, es la medida de la habilidad de las partículas para dispersar fotones de luz.

babs, es la medida de la habilidad de las partículas para absorber fotones de luz.

y también es equivalente a **Bext = bray + bsp + bag + bap** (Air Quality Laboratory – Visibility Group), donde:

bray, es la dispersión de la luz por molécula de gas y es casi íntegramente atribuible a moléculas de N₂ y O₂ en el aire y con frecuencia referido a la dispersión ocasionada de forma natural por el cielo.

bsp, es la dispersión de la luz por partículas y es dominada por partículas finas que en el rango de 0,1 a 1 μ tienen la mayor eficiencia.

bag, es la absorción de la luz por los gases. El NO₂ es la especie gaseosa que absorbe significativamente la luz.

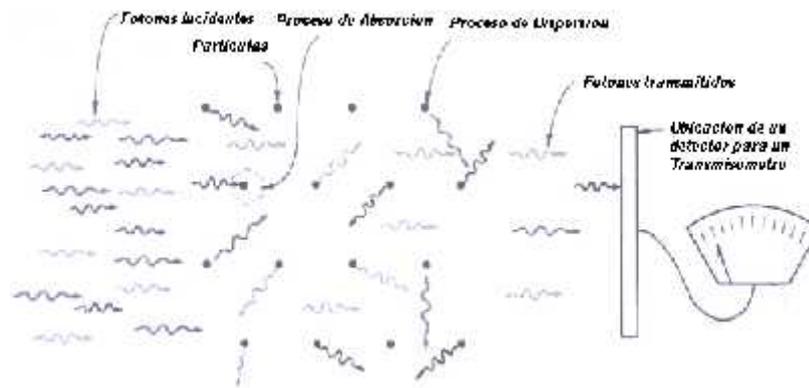
bap, es la absorción de la luz por partículas.

La visibilidad o transparencia atmosférica, se expresa en metros. Así, se empieza por indicar el alcance visual en metros, más una dirección específica de la rosa de los vientos. También se pueden notificar diferentes visibilidades alrededor del área de observación.

Los métodos para el monitoreo de la visibilidad pueden ser subdivididos en tres clases: Monitoreo óptico, monitoreo de aerosoles y monitoreo visual.

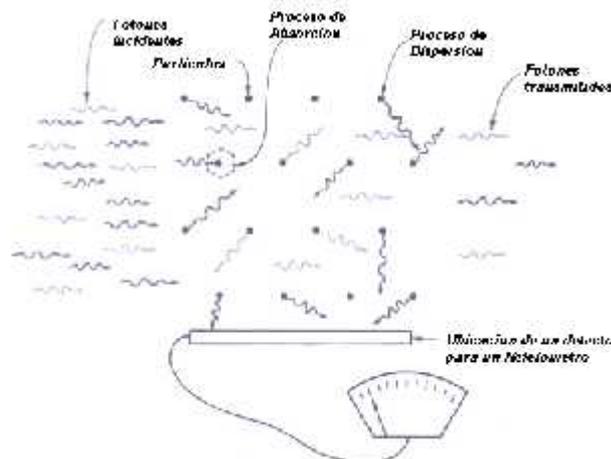
a). Monitoreo Óptico. Malm (1999) menciona que la suma de la dispersión y absorción está referido al grado de extinción o atenuación. El instrumento que mide dicha extinción es conocido como Transmisómetro. En la **figura 1** puede

observarse un rayo de luz compuesto de fotones que inciden sobre una concentración de partículas y gases. Conociendo el número de fotones que pasan a través de dicha concentración, es posible calcular el número de fotones absorbidos y dispersados. Así, se emplea como fuente de luz una lámpara incandescente y el receptor es un telescopio ajustado a un detector a una determinada distancia. Este sistema constituye el Transmisómetro.



Fuente: *Introduction to Visibility.C. Malm. Colorado State. 1999*
Figura N°1. Diseño de un Transmisómetro

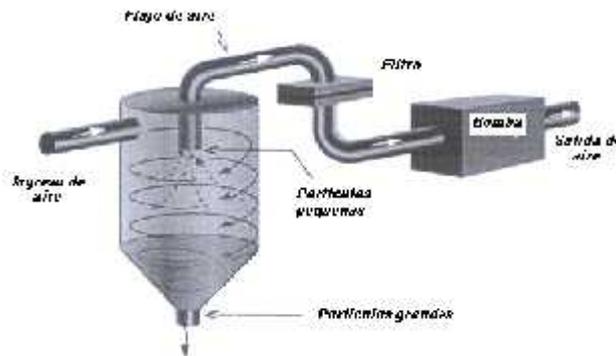
Una similar configuración de fuente-detector de la luz puede ser usado para medir la habilidad de dispersión de las partículas y gases. Si el detector es colocado en paralelo a los fotones incidentes, sólo aquellos fotones que son dispersados serán detectados. El instrumento es llamado Nefelómetro (ver **Figura 2**), y si mide la dispersión en todas las direcciones se llama Nefelómetro Integrado. Tanto los Nefelómetros como los Transmisómetros se usan conjuntamente.



Fuente: *Introduction to Visibility.C. Malm. Colorado State. 1999*
Figura N°2. Diseño de un Nefelómetro

b). Monitoreo de aerosoles. Estas mediciones de partículas son generalmente hechas conjuntamente con instrumentos ópticos para ayudarse a inferir la causa del deterioro de la visibilidad y la estimación de la fuente de reducción de visibilidad por aerosoles. El tamaño y composición de las partículas son las dos dimensiones más caracterizadas en los programas de monitoreo de la visibilidad (Air Quality Laboratory – Visibility Group – On Line). De acuerdo a Malm (1999), las partículas con tamaños entre 0,1 a 1,0 μ son las más efectivas en la reducción

de la visibilidad y conocer su composición (sean sulfatos, nitratos, material orgánico, carbón elemental y suelo) permite determinar las características químico-ópticas y su habilidad para absorber agua. Así, un monitor de partículas tipo ciclón mostrado en la **figura 3** permite separar todas aquellas partículas menores a $2,5 \mu$ que ingresan en una muestra de aire y coleccionarlas sobre un sustrato para su posterior análisis; las partículas más pesadas son precipitadas del muestreador.



Fuente: *Introduction to Visibility.C. Malm. Colorado State. 1999*
Figura N°3. Monitor de Aerosoles- Tipo Ciclón

c). Monitoreo Visual. El monitoreo visual relaciona los efectos que tienen las partículas sobre la apariencia de la atmósfera horizontal y es la forma más simple y directa de determinar el deterioro de la visibilidad (Air Quality Laboratory – Visibility Group – On Line). Malm (1999) menciona que la fotografía permite relacionar los efectos que las partículas tienen sobre la apariencia de las características horizontales y es una forma directa para determinar el deterioro de la visibilidad. Esta metodología se combina con los índices de visibilidad existentes.

Por lo tanto, un programa sistemático de fotografía consigue la apariencia de una escena específica bajo una variedad de condiciones de luz y de concentración de aerosoles. Dicha cámara consiste de un lente que captura la imagen sobre la película y una ventana que controla la cantidad de luz que ingresa a la cámara. En realidad la conjunción de la información extraída por la cámara y las mediciones visuales es necesaria para lograr una adecuada determinación de la visibilidad. Ver **Figura 4**.



Fuente: *Introduction to Visibility.C. Malm. Colorado State. 1999*
Figura N°4. Sistema Fotográfico

En la práctica para medir la visibilidad se recurre a puntos naturales de referencia siempre y cuando éstos sean de dimensiones y distancias conocidas por el

observador. Para ello se deberá tener en cuenta puntos de referencia dando la vuelta completa al horizonte y para cada rumbo a todas las distancias (Guardiola, *et al.*, 1968). Puede trabajarse con una fotografía aérea y hacer los trazos respectivos sobre el área de trabajo. En todo caso, para fines más simples, puede optarse por hacer uso de las herramientas SIG y obtener de esta manera distancias conocidas en base a la determinación de las coordenadas geográficas de los puntos que se elijan como de referencia.

2. 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 a través de su Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales (DGIA), 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 5**) que son las siguientes:

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

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

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), el presente Boletín muestra los resultados obtenidos para el mes de agosto 2004.

3. Metodología

A) Contaminantes Sólidos Sedimentables

Para la presente evaluación se ha utilizado información de la red de monitoreo de contaminantes sólidos sedimentables (CSS) compuesta inicialmente por 27 micro estaciones distribuidas en la Zona Metropolitana de Lima-Callao (**figura 5**), para lo cual se ha desarrollado el método de muestreo pasivo que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de gabinete:** Se codifica y prepara todo el 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.
- **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.

B) Contaminantes Gaseosos

La evaluación mensual de los gases contaminantes del aire (CO, SO₂ y O₃) en la Estación de Calidad de Aire ubicada en la Sede Central (**figura 5**) 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 Davis 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 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.

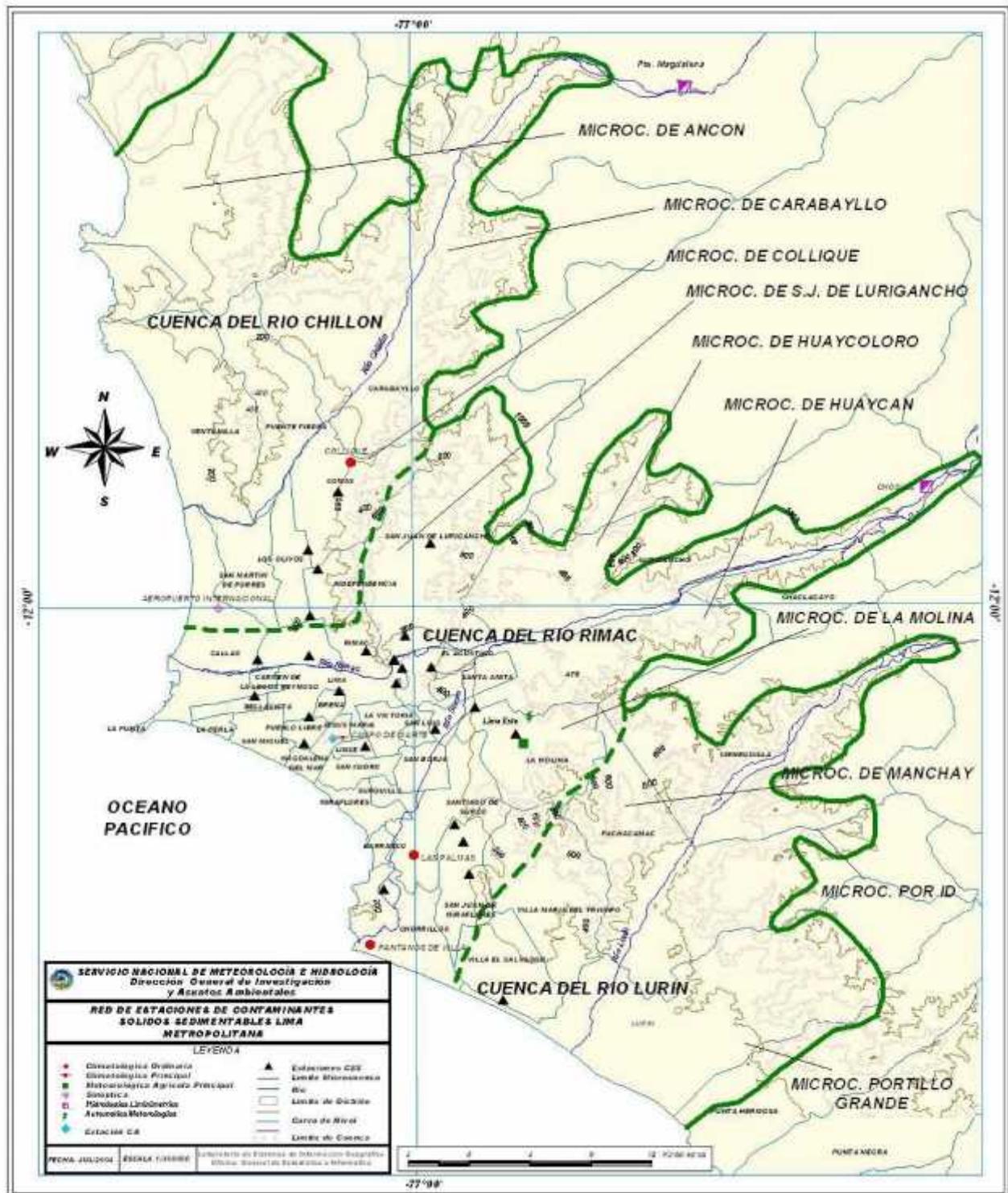


Fig. 5 - Red de estaciones meteorológicas y de contaminantes sólidos sedimentables en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

4 Resultados del Monitoreo Ambiental

4.1 Distribución espacial de contaminantes sólidos sedimentables durante el mes de Agosto del 2004 en la Zona Metropolitana de Lima- Callao.

En la **figura 5** se presenta la red de contaminantes sólidos sedimentables (CSS). Durante el mes de agosto, se recopiló información de campo de 21 estaciones de muestreo, de las cuales el 62% (13 estaciones) excedieron el límite referencial permisible recomendado por la OMS ($5 \text{ t/km}^2/\text{mes}$).

En la **figura 7** se observa el comportamiento espacial de la concentración de CSS presentado en la **figura 6**. Son tres los centros importantes de alta concentración de contaminantes sólidos sedimentables (CSS) que se pueden identificar 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; 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, con núcleo en éste último con $20,7 \text{ t/km}^2/\text{mes}$, valor más alto del mes, explicado en el importante movimiento vehicular y en el desarrollo de una actividad comercial tanto formal como informal a lo largo de la Av. Túpac Amaru, a lo que se suma la influencia del campo de vientos locales que van contribuyendo a su acumulación (**figuras 10 y 11**). El segundo centro importante de contaminación abarca el cono centro-este (Cuenca del río Rímac) y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Santa Anita, el Cercado de Lima (zona este) y el Agustino con núcleo en éste último con un valor de $18,3 \text{ t/km}^2/\text{mes}$, explicado en las propias condiciones de informalidad de la actividad industrial, comercial y alta densidad vehicular de la zona. Mientras que el tercer centro ubicado en el cono sur, se situó cerca al límite de los distritos de Villa María del Triunfo y Villa el Salvador con valores comprendidos entre los 15 a $25 \text{ t/km}^2/\text{mes}$, por similares causas locales y la influencia de los vientos locales ya descrita.

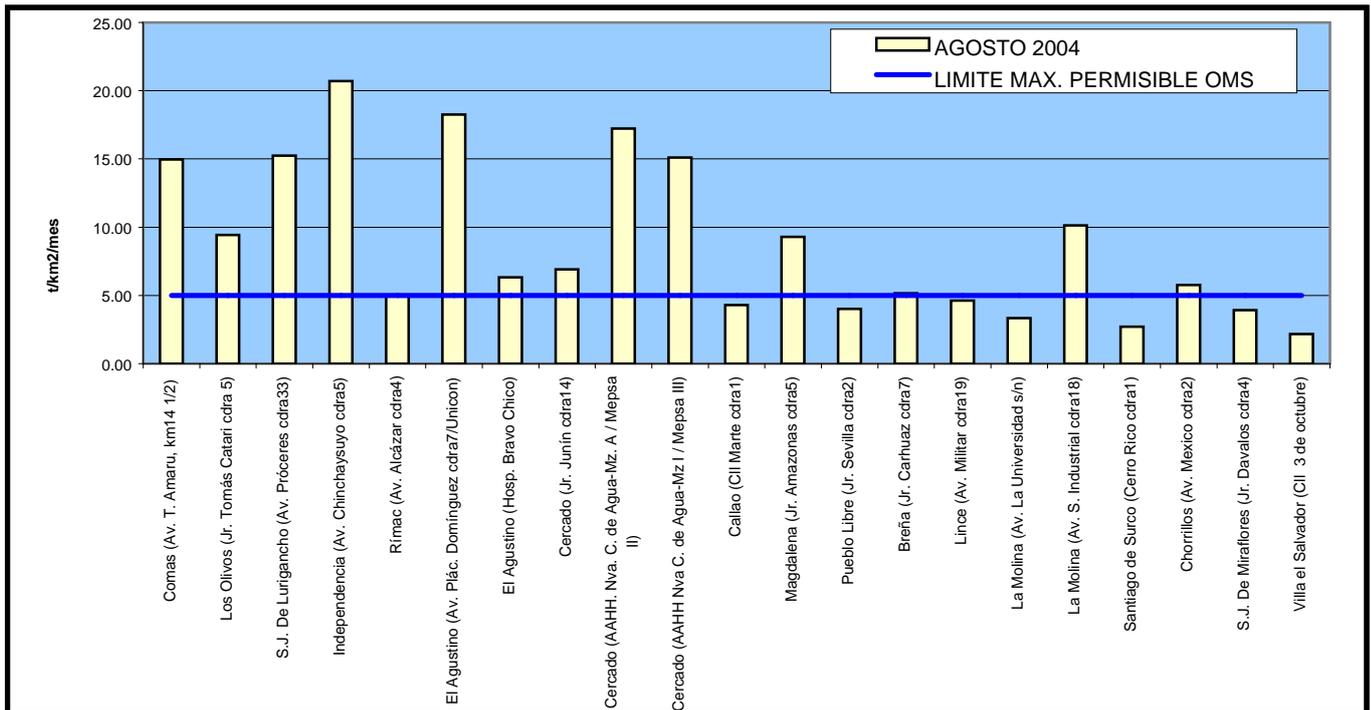


Fig. 6 - Totales mensuales de contaminantes sólidos sedimentables registrados durante el mes de Agosto 2004 en Lima-Callao

A lo descrito líneas arriba, se suma el bajo índice de área verde/habitante principalmente en los conos, cuando la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda de 8 a 9 m²/habitante. De acuerdo a informaciones procedentes de organizaciones ambientales especialistas en el tema, se dice que es probable que la ciudad de Lima haya perdido más de un tercio de sus áreas verdes a la fecha. El menor porcentaje de áreas verdes se localiza principalmente en los conos y en áreas industriales mientras que las zonas de carácter mayormente residencial o algunas zonas del centro de la ciudad tienen índices de áreas verdes cercanos o ligeramente mayores a lo establecido por la OMS.

El sector que comprende la estrecha franja costera y parte de aquellos distritos residenciales como San Isidro, San Borja, Miraflores, parte de Santiago de Surco y Barranco, debido a su alto índice de área verde por habitante, la presencia de los vientos que circulan paralelos a la costa y las brisas marinas que fluyen hacia el este, limitan la generación de material particulado y favorecen la dispersión por lo que no exceden el valor referencial establecido por la OMS.

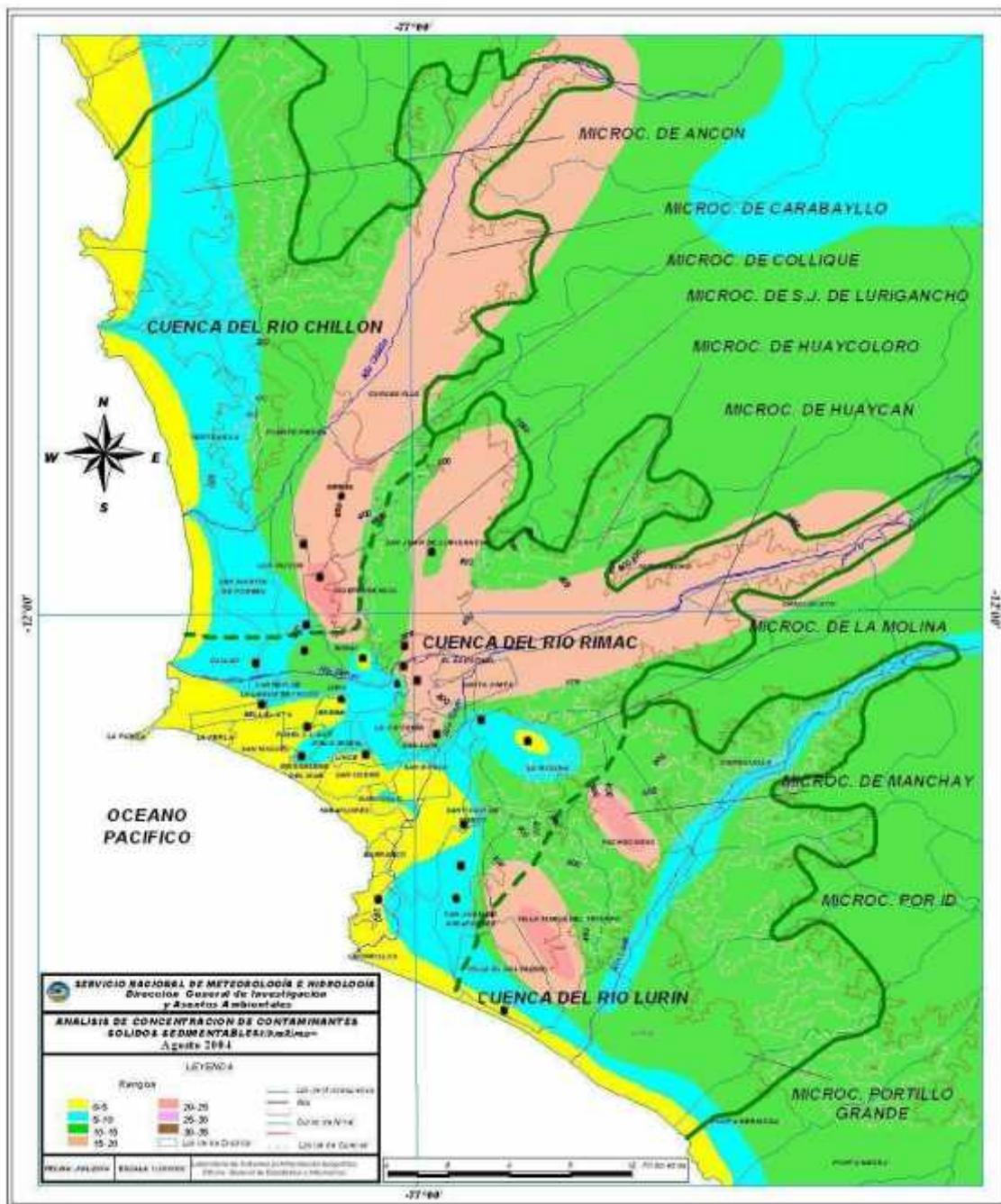


Fig.7 - Distribución espacial de la concentración de sólidos sedimentables en Lima-Callao durante el mes de Agosto del 2004

4.2 Condiciones meteorológicas durante el mes de Agosto del 2004

Para el presente mes, el análisis de las condiciones meteorológicas horarias y diarias para la Zona Metropolitana de Lima-Callao se ha basado en la información de 6 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 Lima Este (La Molina), estación climatológica Las Palmas (Santiago de Surco) y estación climatológica Pantanos de Villa (Chorrillos). Estas estaciones forman parte de la red meteorológica presentada en la **figura 5**.

A. Análisis de Temperatura y Humedad Relativa

- Del análisis puntual de variación temporal diaria de la temperatura (°C) y humedad relativa (%) extremas se observa lo siguiente: Los valores de la temperatura máxima fluctuaron de 14°C (La Molina) a 22°C (Comas) y la mínima de 12°C (La Molina) a 16°C en el Callao; con respecto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 84% (Comas) a 100% (Callao, La Molina y Surco), mientras que la mínima osciló entre 64% (Callao) a 95% en Chorrillos (ver **figuras 8 y 9a,b**). Durante el mes, los días se presentaron nublados parciales a despejados con brillo solar hacia el mediodía y con ligeras precipitaciones en horas de la noche principalmente durante la segunda quincena.
- 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 13:00 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 15:00 pm.
- El análisis de las temperaturas mínimas de 6 estaciones meteorológicas, permitió establecer que el día más frío del mes en la Zona Metropolitana de Lima-Callao correspondió al 17 de agosto con un valor promedio de 13,5°C. Asimismo, de los 31 días del mes la humedad relativa promedio indicó que en 6 de ellos (9,19,21,23,24 y 26), a diferencia del mes anterior en que el número de días fue mayor, la atmósfera de Lima-Callao estuvo saturada de humedad, con valores iguales o mayores a 98%, con presencia de garúas ligeras en toda la capital principalmente desde la segunda quincena.

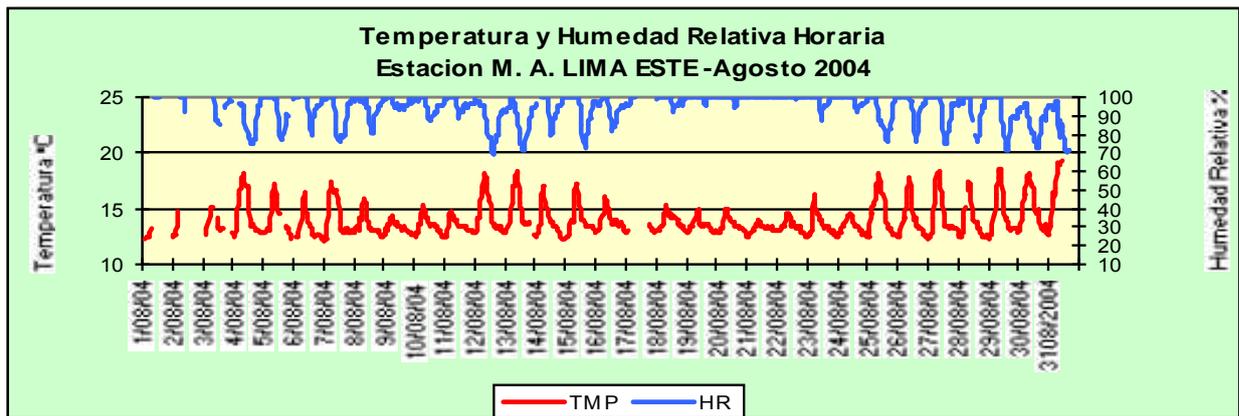
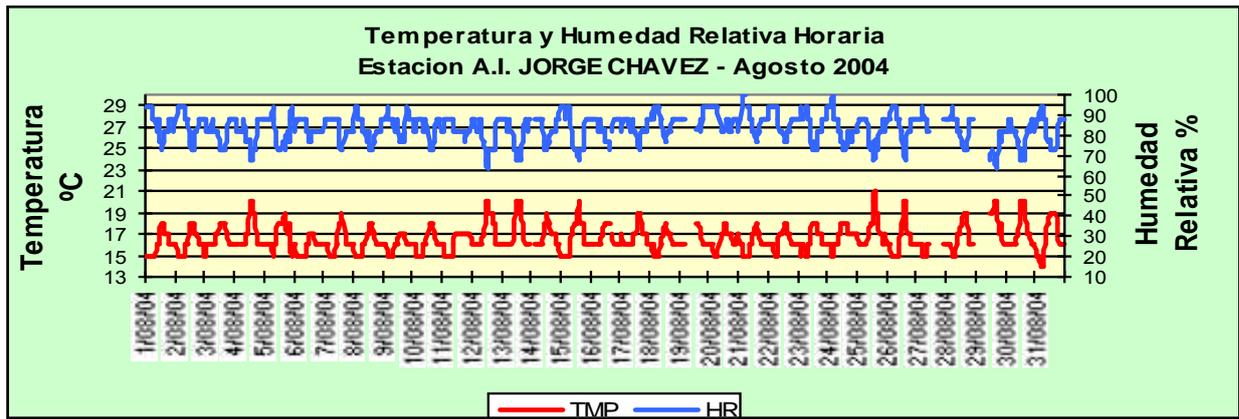


Fig.8 .- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de Agosto del 2004 en el Callao y La Molina

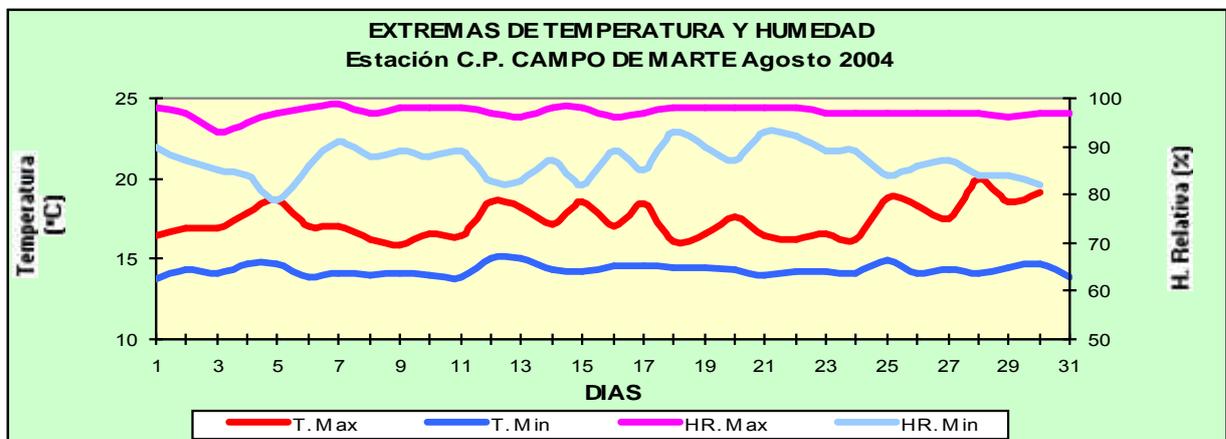
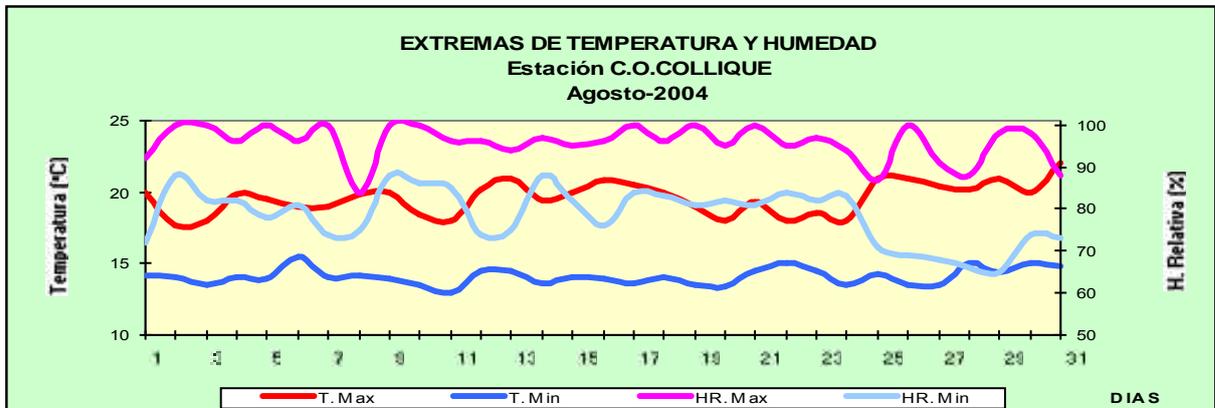


Fig.9a .- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de Agosto del 2004 en Comas y Jesús María

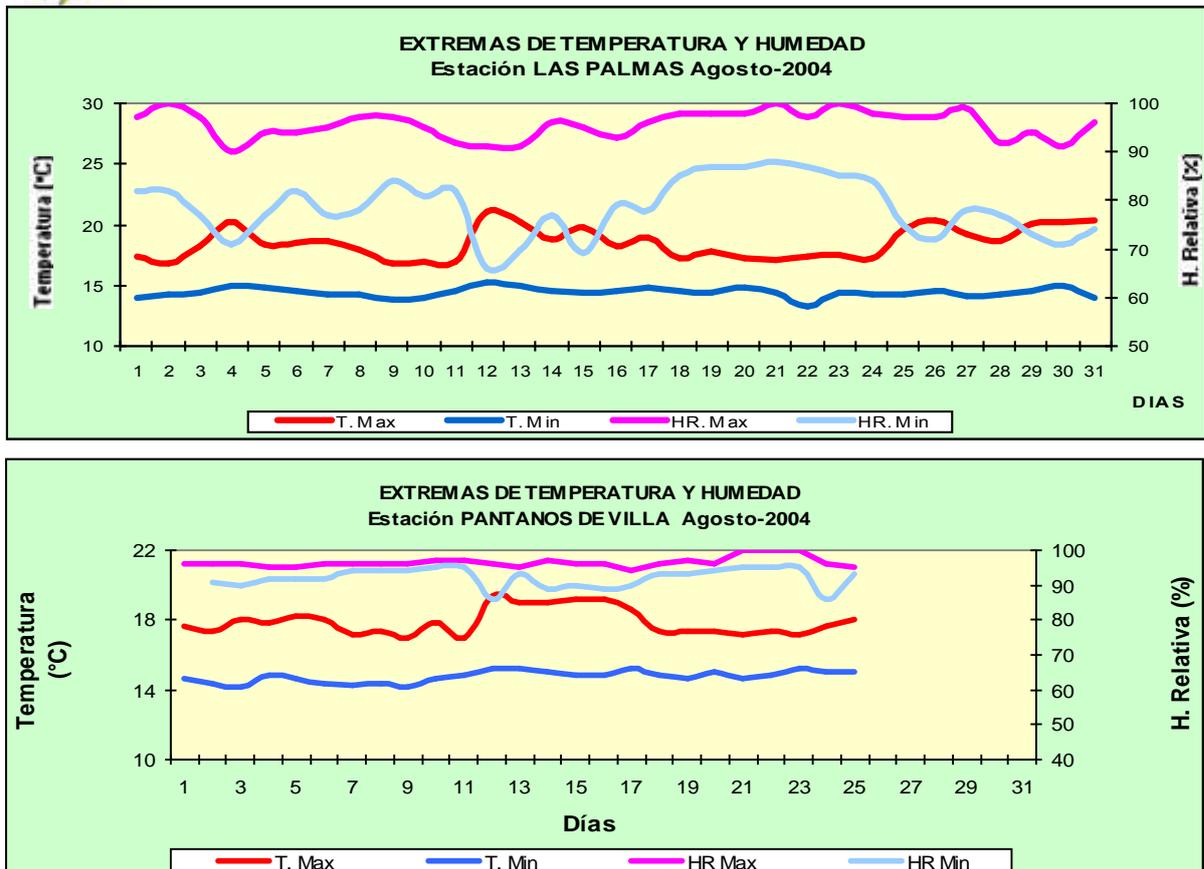


Fig.9b .- Variación diaria de la temperatura y humedad relativa extremas durante el mes de Agosto del 2004 en Santiago de Surco y Chorrillos

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

El análisis de la información horaria de viento superficial (velocidad, dirección y frecuencia) correspondiente al mes en estudio presentado en las **figuras 10 y 11** 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), los vientos se presentaron débiles (<2,2m/s) hacia el norte (Comas), centro (Jesús María) y sur de la ciudad (Surco) con direcciones provenientes del SW y SSW (20 y 11%) con registros de calmas de 53%, SW y W (60 y 10%) con registros de calmas de 27% y del S (7%) con predominancia de calmas de 80%, respectivamente. Intensidades moderadas (entre 3,3 y 5 m/s) se presentaron hacia el litoral costero (Callao), este (La Molina) y sur (Chorrillos) de la ciudad con direcciones provenientes del S y SSW (37 y 19%), W Y WNW (58 y 20%) y del SW y S (48 y 45%), respectivamente.
- Durante la noche (19:00 a 6:00 horas) hacia el centro de la ciudad (Jesús María) se registraron vientos con intensidades débiles (<2,2m/s) con direcciones SW y E (44 y 20%) y con ocurrencia de calmas del 36%. En el distrito de Comas, norte de la ciudad, las intensidades de los vientos fueron de débiles a moderadas con direcciones SSW y SW (45 y 39%). En las estaciones ubicadas hacia el litoral costero (Callao), Este (La Molina) y Sur de la ciudad (Surco) las intensidades fueron moderadas con direcciones S y SSE (51 y 30%), W y WNW (31 y 18%) y del SSE (30%) y ESE,SE (13%) con ocurrencia de calmas de 35%, respectivamente. Mientras que

intensidades fuertes (<6m/s) se presentaron en el distrito de Chorrillos con vientos provenientes del SW y del S (85 y 15%).

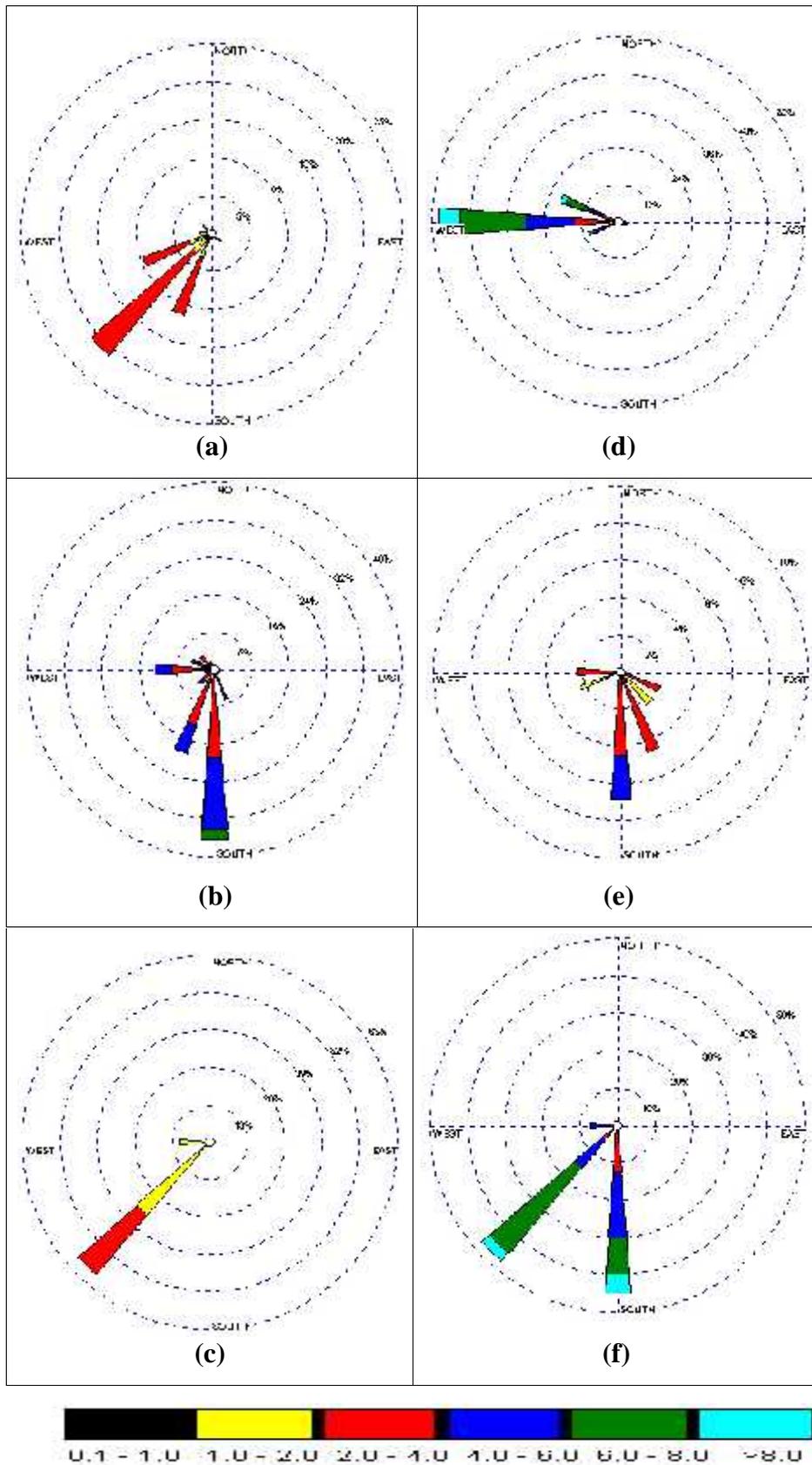


Fig.10 – Rosas de viento (m/s) diurnas de las estaciones de (a) Comas, (b) Callao, (c) Jesús María, (d) La Molina, (e) Santiago de Surco y (f) Chorrillos

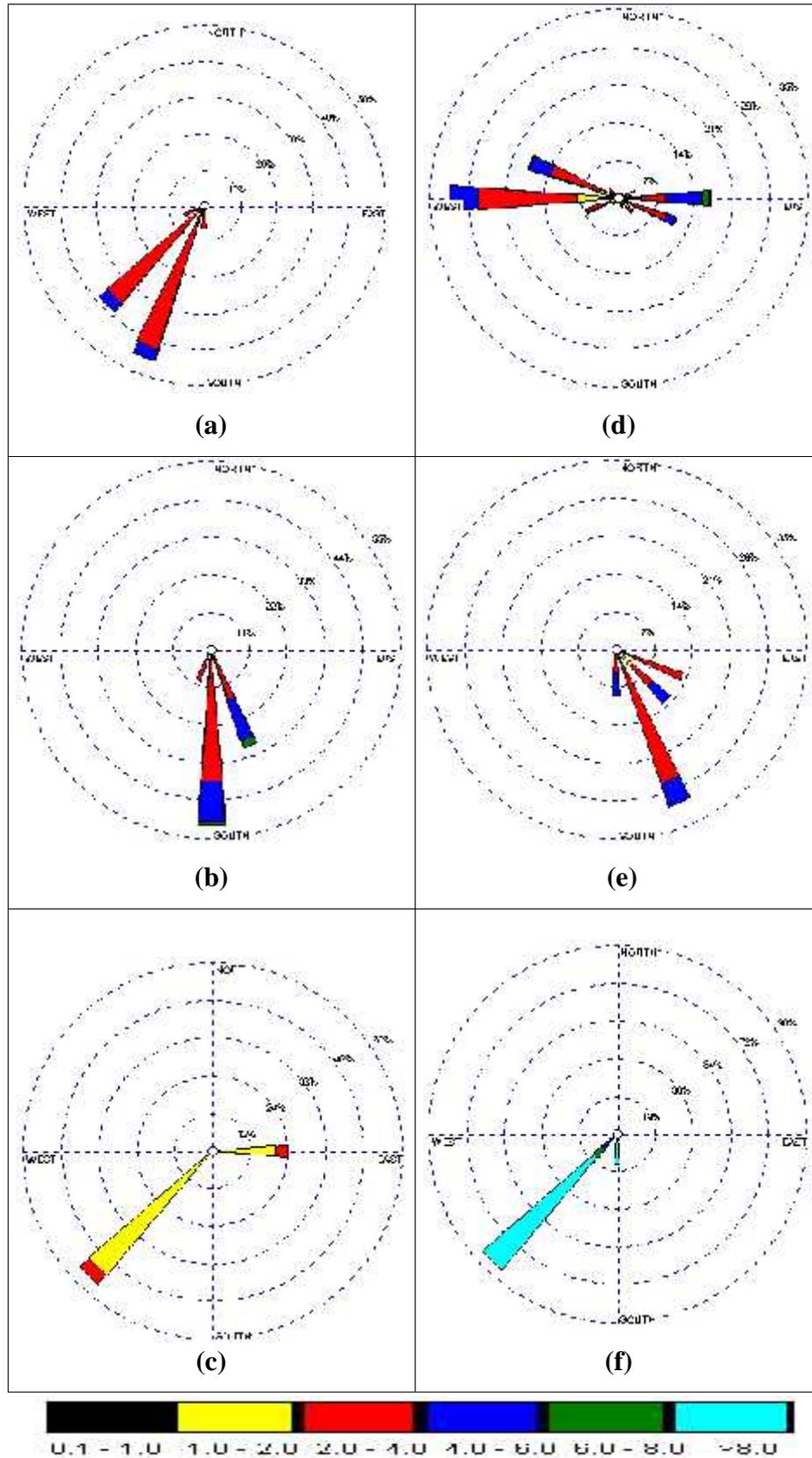


Fig. 11 – Rosas de viento (m/s) nocturnas de las estaciones de (a) Comas, (b) Callao, (c) Jesús María, (d) La Molina, (e) Santiago de Surco y (f) Chorrillos

C. Análisis de la temperatura y vientos en el perfil de la tropósfera de la costa central del Perú durante el mes de Agosto del 2004

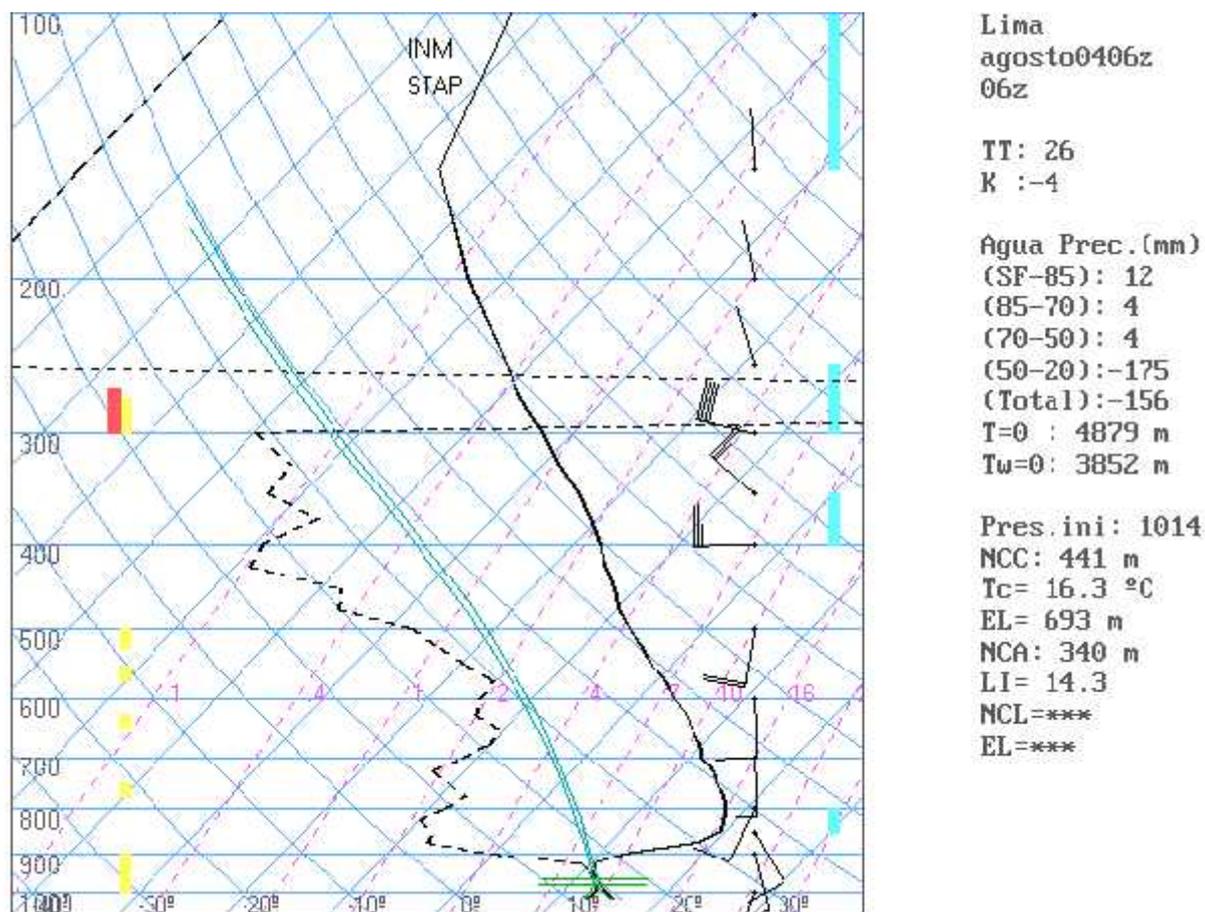


Fig. 12. - Radiosondaje mensual promedio durante el mes de Agosto del 2004 (Aeropuerto Internacional Jorge Chávez)

En la **figura 12** se muestra el sondaje meteorológico promedio para el mes de agosto. Al analizar la información recopilada durante cada sondaje, se observó que la capa de inversión térmica en la costa central de Perú estuvo presente durante los 24 días en que se realizaron observaciones, con características descritas en el **Cuadro N° 3**.

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

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metros	946	día 4	239	día 3	584
Altura Base	metros	1317	día 2	361	día 31	848
Altura Tope	metros	1867	día 5	796	día 31	1432
T Base	°C	12,8	día 31	7,4	día 2	9,7
T Tope	°C	25,2	día 21	17,2	día 3	20,2
Gradiente	°C / metros	4,3	día 2	0,9	día 4	2,0
H.R. Base	%	98	días 4,6,9,13,18,19, 25,29,31	95	día 30	94
H.R. Tope	%	40	días 2,31	2	día 10	17

Los vientos entre superficie y 500 hPa fluctuaron entre SE, S y SW con intensidades de 2,5 a 10 m/s. Desde los 400 hPa hacia arriba, los vientos fueron del W con intensidades de 12,5 a 25 m/s.

Las características de altura de la Base de la Inversión (848 m), intensidad (2 °C/ 100m) que muestra la más intensa estabilidad atmosférica y la alta humedad relativa en 9 de los 24 días con observaciones (38%) que ocasionó garúas principalmente en los distritos adyacentes al litoral, constituyeron en conjunto y en una forma muy relativa, buenas condiciones de calidad del aire para amplias áreas de la capital, con excepción de las zonas críticas.

5. Conclusiones

Para el mes de agosto, el análisis de la variación espacial de los Contaminantes Sólidos Sedimentables (CSS) en la Zona Metropolitana de Lima – Callao muestra la configuración de tres centros de altos niveles de concentración de sólidos sedimentables: El primero de ellos está ubicado al norte de la ciudad con un valor de 20,7 t/km²/mes; el segundo, ubicado hacia la zona centro-este, con un valor de 18,3 t/km²/mes y el tercero, hacia el cono sur presenta valores comprendidos entre 15-25 t/km²/mes; con excepción de la estrecha franja paralela a la costa y de parte de algunos distritos residenciales.

De acuerdo al análisis realizado, solamente en el 62% de las estaciones, las concentraciones de los CSS, superaron el nivel referencial establecido por la OMS.

Del análisis de las temperaturas y humedades relativas extremas promedio de 6 estaciones meteorológicas, se encontró que el día más frío del mes en la Zona Metropolitana de Lima-Callao fue el 17 de agosto con una media de 13,5°C; asimismo, en 6 de los días analizados (9,19,21,23,24 y 26) la atmósfera de Lima-Callao estuvo saturada de humedad (>=98%).

El análisis de la información meteorológica de los vientos de superficie, permite observar que en horas de la mañana los vientos oscilaron desde débiles hacia el centro (Jesús María) y sur de la ciudad (Surco) con dirección predominante del SW (60%) y presencia de calmas al 80%, respectivamente, hasta intensidades moderadas registradas en el litoral costero (Callao), este (La Molina) y Sur (Surco) con direcciones predominantes del S (37%), W (58%) y del SW (48%), respectivamente. En horas de la noche, se reportaron intensidades que fueron desde débiles hacia el centro de la ciudad (Jesús María) con dirección SW (44%) a fuertes hacia el sur (Chorrillos) con dirección SW (85%).

Las características de altura de la Base de la Inversión (848 m), intensidad (2 °C/ 100m) que muestra la más intensa estabilidad atmosférica y la alta humedad relativa en 9 de los 24 días con observaciones (38%) que ocasionó garúas principalmente en los distritos adyacentes al litoral, constituyeron en conjunto y en una forma muy relativa, buenas condiciones de calidad del aire en amplias áreas de la capital, con excepción de las zonas críticas.