EVALUACION DE LA CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LIMA-CALLAO NOVIEMBRE - 2008

1. Resumen

El boletín del mes de noviembre 2008 muestra los resultados de la evaluación del material particulado y contaminantes gaseosos en relación a las condiciones meteorológicas registradas en la red automática de la Zona Metropolitana de Lima-Callao compuesta por las estaciones de El Callao, Jesús María y La Molina. En cuanto al primero, el polvo atmosférico sedimentable (PAS) registró una media superior a la de setiembre de 12,7 t/km^2/mes, máxima de 36,5 t/km^2/mes en el distrito de Lurín y mínima de 2,9 t/km^2/mes en La Molina; para las partículas menores a 10 micras y 2.5 micras (PM10 y PM2.5) las máximas concentraciones se presentaron el día lunes y miércoles de 77,8 ug/m^3 y el martes de 30 ug/m^3, respectivamente. En cuanto a los contaminantes gaseosos, el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno presentaron su máxima concentración de 144,1 y 34,4 ug/m3, respectivamente, con una media mensual de 14,5 pbb. En cuanto al dióxido de azufre, éste tuvo su máxima concentración de 21,3 ppb, con una media mensual de 3,6 ppb. De la evaluación realizas, en ninguno de los casos se superó el ECA Nacional; ecepto el Polvo Atmosférico Sedementable, que se rige por el valor referencial de la Organización Mundial de la Salud. De acuerdo a la vigilancia sinóptica, utilzando salidas de reanálisis de los modelos NCAR/NCEP, la evolución de los sistemas atmosférico-oceánicos y terrestres y sus interacciones que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestran que el Anticiclón del Pacífico suroriental –APS- presentó un comportamiento variable, con núcleo oscilando entre 1020 a 1030 hPa, promedio de 1020 hPa y anomalías variando desde +2 hPa en latitudes tropicales a -12 hPa en altas latitudes. Como concecuencia de lo anterior, los vientos, el afloraiento marino de la corriente fría de Humboldt a lo largo de la costa peruana, la temperatura superficial del mar y el fenómeno de la inversión térmica por subsidencia, ante la presencia de la cordillera de los Andes, mostraron también un comportamiento variable, con un ligero incremento de la TSM y de la temperatura del aire respecto al mes anterior, en su marcha hacia finales de primavera e inicios del verano del Hemisferio Sur. La nubosidad estratiforme que se configura por debajo de la base de la inversión térmica, originó condiciones de cielo cubierto en horas de la mañana con presencia de fina garúa, variando alrededor del medio día a condiciones de nublado parcial a nubes dispersas con presencia de insolación cuando la inversdión se rompe o debilita, para volver las condiciones de cielo cubierto en las ùltimas horas de la tarde. De este modo, las condiciones descritas y sus interacciones, propiciaron en promedio, un incremento de los fenómenos de turbulencia térmica y mecánica del aire que se manifestaron en un incremento de los fenomenos de suspension y resuspension del polvo atmosferico sedimentable.

2. Metodología

2.1 Del monitoreo de los contaminantes sólidos sedimentables

La información empleada para el análisis corresponde a la obtenida de la red de muestreo de polvo atmosférico compuesta por 43 estaciones ubicadas en el ámbito de la cuenca atmosférica de la zona metropolitana de Lima-Callao (**figura 1**). El método de muestreo pasivo desarrollado es el que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de gabinete**: consiste en la preparación en laboratorio de las placas receptoras que serán empleadas en campo.

- **Fase de campo**: consiste en el reemplazo de las placas receptoras impregnadas de contaminantes por las que recién han sido pesadas, y su posterior evaluación en laboratorio. Observaciones tales como actividades de construcción cercana a la estación, manipulación por terceros, mantenimiento, paralización, entre otras, son anotadas en una bitácora para la validación posterior de la calidad de la información.

- **Fase de laboratorio**: por el método gravimétrico se determinan las concentraciones correspondientes a cada una de las estaciones de observación.

- **Fase de gabinete**: involucra el procesamiento, análisis e interpretación de la información, salida de reportes preliminares, cuadros, mapas, gráficos y la elaboración del boletín mensual.

2.2 Del monitoreo de partículas en suspensión menores a 10 micras y menores a 2.5 micras (PM10 y PM2.5)

La información diaria de las concentraciones de partículas PM10 y PM2.5 se obtiene de equipos Minivol (flujo de 5 l/min) instalados en la estación meteorológica Campo de Marte (**figura 1**). El método de muestreo activo es el que se describe a continuación:

- **Fase preliminar de laboratorio**: consiste en la preparación en laboratorio (gravimetría) de los filtros que serán expuestos durante 24 horas en campo.

- **Fase de campo**: consiste en la exposición de los filtros que han sido preparados en laboratorio; toma de datos de los flujos, tiempo acumulado y condiciones del tiempo al iniciar y culminar las 24 horas de exposición. De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental (EPA), se realizará el muestreo en campo cada 6 días, de tal manera de tener concentraciones representativas de todos los días de la semana del mes en curso. Para circunstancias particulares, se puede incrementar la frecuencia de muestreo. La bitácora de campo es fundamental durante el desarrollo de las actividades en el campo.

- **Fase de laboratorio**: por el método gravimétrico se determinan las concentraciones correspondientes para el material particulado menor a 10 micras y menor a 2.5 micras.

- **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.

2.3 Monitoreo de contaminantes gaseosos

La evaluación horaria, diaria y mensual de los gases contaminantes del aire (óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre) en la Estación de Calidad de Aire ubicada en la Sede Central (figura 1) se realiza de acuerdo a la siguiente metodología:

- Fase de campo: operación continua de analizador automático de óxidos de nitrógeno API200E y dióxido de azufre 43i en la estación de calidad del aire SENAMHI. Descarga de la información in situ (downloading) mediante cable RS-232, Ethernet y Softwares API COM y iPORT. Se realiza el cambio de filtros cada 15 días en promedio y la inspección de fugas y limpieza en la línea de ingreso de muestra. Calibración según método aprobado por EPA.

- Fase de gabinete: involucra el procesamiento, análisis e interpretación de la información tomando como referencia el D.S. N°074 –PCM-2001 “Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire” y la R.D. N ° 1404/2005/DIGESA/SA “Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos”.

2.4 De la Información Meteorológica

Para la evaluación de las condiciones meteorológicas de la Zona Metropolitana de Lima-Callao en el presente informe se ha utilizado la información proveniente de los siguientes lugares de observación: automática y radiosondaje del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (Callao), automática Campo de Marte (Jesús María) y automática Lima Este (La Molina), las mismas que son presentadas en la **figura 1**. La metodología de trabajo es la siguiente:

- **Fase de recopilación:** involucra el proceso de obtención y concentración de la información meteorológica de las estaciones señaladas.

- **Fase de control de calidad y consistencia:** involucra la revisión de los datos, eliminación de inconsistencias y completación de la data a través de herramientas estadísticas.

- **Fase de procesamiento, análisis e interpretación:** involucra el procesamiento numérico, gráfico, análisis e interpretación de los resultados.

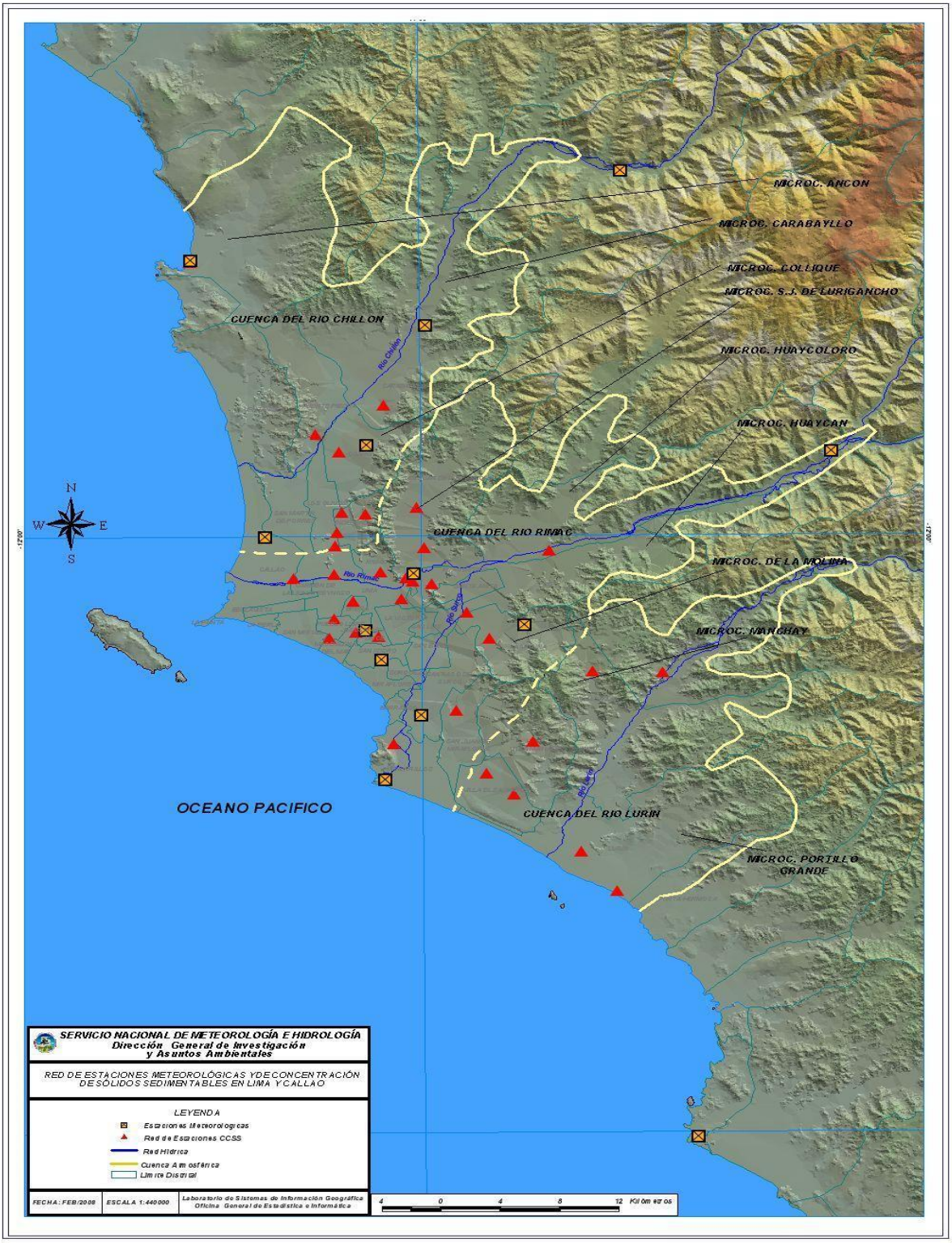


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

3. Resultados del monitoreo ambiental

3.1.1 Del Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS)

La evaluación del polvo atmosférico sedimentable se realiza en el ámbito de la cuenca atmosférica de Lima-Callao. La red compuesta de 43 estaciones de muestreo es presentada en la **figura 1**.

Durante el mes de noviembre se recopiló información de 41 estaciones, el 90 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km^2/mes, con una media de 12,0 t/km^2/mes, superior a la del mes anterior.

Los niveles de contaminación por polvo sedimentable en los principales núcleos fueron superiores respecto al mes anterior, con excepción del promedio de la zona Lima Centro-este (ver **cuadro N° 1)**. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Lurín (36,5 t/km^2/mes), y el mínimo de 2,9 t/km^2/mes en La Molina. La dirección predominante de los vientos para las estaciones de la red meteorológica automática de SENAMHI varió durante las horas del día, siendo en promedio de componente sur, con intensidades predominantemente débiles a moderadas; éstos, en interacción con la rugosidad natural y artificial impuesta por las edificaciones, determinaron niveles medios ligeramente superiores a los registrados en octubre y siempre superiores al nivel permisible (2,5 veces).

Cuadro Nº 1: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables octubre y noviembre 2008 (t/km^2.mes)

Conc t/km^2. mes	**N° est.**	**% de estaciones Sobrepasa nivel ref.**	**Núcleos principales (puntuales y promedios)**				**X t/km^2 /mes**	**Máx t/km^2/mes**	**Mín t/km^2/mes**
			Lima Norte	*Lima Centro-este*	*Lima Sur-este*	*Lima Sur*			
Octubre 2008	41	85	24,5 (Independencia)	27,3 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	22,7 (Pachacamac)	28,7 (V.M.T.; Lurín)	12,0	35,7 (Lurigancho)	3,8 (La Molina)
Noviembre 2008	41	90	31,9 (Independencia)	21,4 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	27,3 (Pachacamac)	24,5 (V.M.T.; Lurín)	12,7	36,5 (Lurín)	2,9 (La Molina)

En la **figura 2** se muestran las concentraciones registradas en los meses de octubre y noviembre 2008.

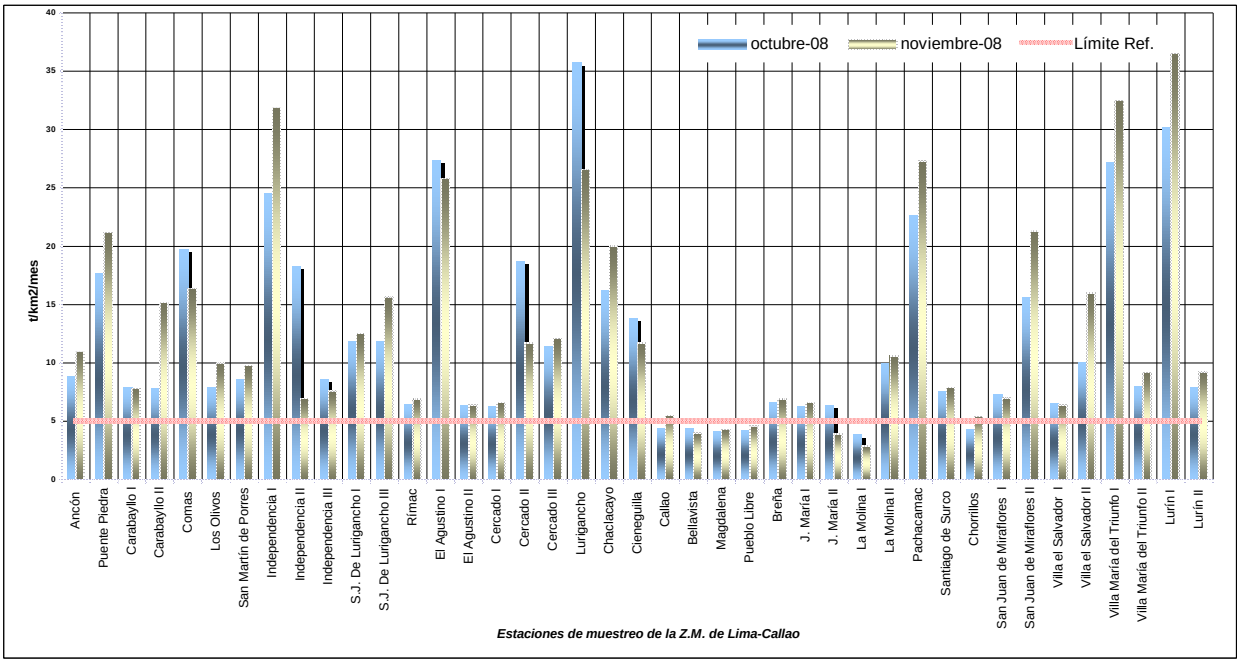


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en octubre y noviembre 2008 en Lima-Callao

La configuración urbana local, el incremento tanto del tráfico vehicular y de una red vial con deficiente mantenimiento, así como de las actividades industriales, comerciales y de servicios con una postergada política nacional de ordenamiento territorial, ello en interacción con las condiciones meteorológicas que se presentaron durante noviembre, facilitaron la configuración de persistentes zonas críticas de alta contaminación en Lima-Callao, con una media inferior y valores también inferiores en las zonas críticas respecto al mes anterior. De acuerdo a lo descrito, en **la figura 3**, las 4 principales zonas críticas son: hacia Lima norte (cuenca del río Chillón) se observa el primer centro, extendiéndose hacia la jurisdicción de los distritos de Independencia, Comas, Carabayllo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Independencia tiene un valor de 31,9 t/km^2/mes. El segundo centro abarca Lima centro-este (cuenca del río Rímac y microcuencas de San Juan de Lurigancho y Huaycán, y comprende los distritos de San Juan de Lurigancho, Lurigancho, Chaclacayo, Ate-Vitarte, Sta. Anita, el Agustino, y el Cercado (lado este), con núcleo en el de El Agustino de 25,8 t/km^2/mes. El tercer centro ubicado en Lima sur-este tiene su núcleo en el oeste del distrito de Pachacamac (microcuenca de Manchay), comprende los distritos de Pachacamac, sureste de La Molina y suroeste de Cieneguilla, con valor de 27,3 t/km^2/mes en Pachacamac; mientras que el cuarto centro en Lima sur que comprende los distritos de Villa El Salvador, Villa María del Triunfo y Lurín, se presenta fraccionado en Villa María del Triunfo y Lurín con valores de 32,5 y 36,5 t/km^2/mes, respectivamente. Los distritos cercanos al litoral costero y parte de algunos residenciales, comprendidos dentro de la estrecha franja amarilla, se mantuvieron por debajo del límite (5 t/km2.mes), favorecidos por la influencia de las brisas marinas y políticas de gestión municipal saludables.

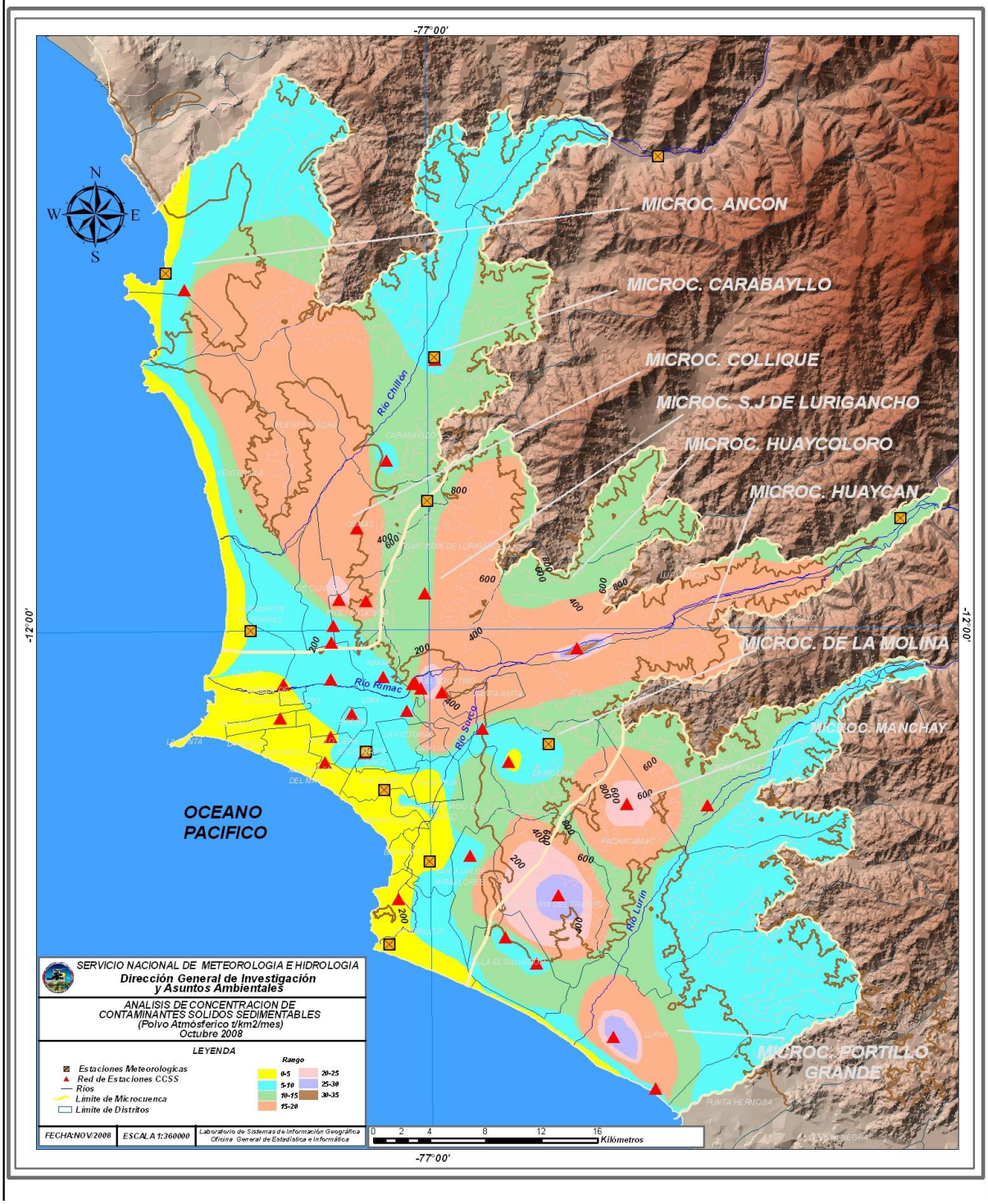


Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de noviembre 2008

3.1.2 De las Partículas en suspensión: menores a 10 micras y 2.5 micras (PM10 y PM2.5)

La información semanal registrada en el mes de noviembre por los muestreadores activos MiniVol PM10 y PM2.5 instalados en la estación meteorológica Campo de Marte del SENAMHI corresponde a 5 días de la semana. De los valores obtenidos, la máxima concentración de partículas menores a 10 se obtuvo los días lunes y miércoles; y de PM2.5 el día martes, equivalentes a 77,8 ug/m^3 y 30,0 ug/m^3, respectivamente según se observa en el **cuadro N ° 2**.

Cuadro N °2. Concentraciones semanales de PM10 y PM2.5 registradas en la Estación Campo de Marte Jesús María, Noviembre 2008

Cont. (ug/m3)	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
PM10	77.8	53.4	77.8	44.4	64.7
PM2.5	29.1	30	29.9	29.1	23.3

Las Partículas Totales en Suspensión (PTS) incluyen en su composición a las PM10 y PM2.5. Por lo general, éstas provienen de fuentes diferentes y tienen mecanismos de formación distintos, aunque es probable que haya cierta superposición. La cercanía entre las concentraciones de PTS y PM2.5 se explica en que el principal aporte de las partículas para la zona evaluada corresponde a las provenientes del parque automotor, de por sí finas con centro carbonado, más no tanto a las gruesas derivadas de fuentes terrestres.

La variación diaria de las concentraciones de PM10 y PM2.5 es comparada con el Estándar de Calidad del Aire (ECA) y de tránsito para el PM10 y PM2.5, respectivamente, encontrándose ambas por debajo de los valores referenciales. Ver **Figura 4**. La normatividad (guías) dada por la Organización Mundial de la Salud (25 ug/ m^3) respecto a la normatividad nacional es mucho más exigente, sobrepasando las concentraciones de PM2.5 el 80 % durante los días evaluados.

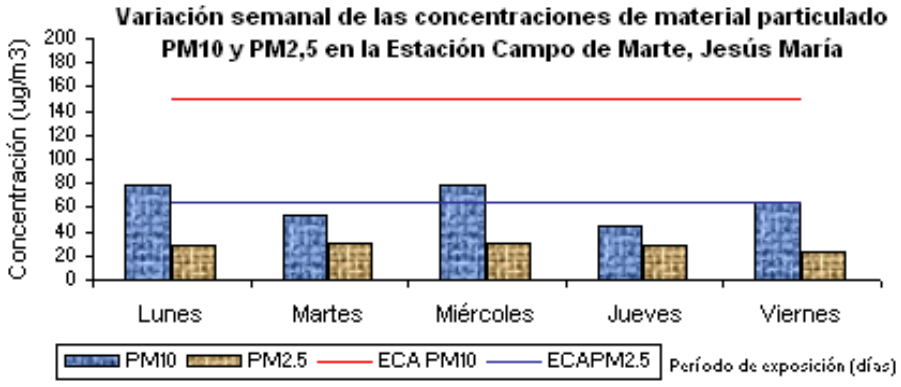


Figura 4.

El material particulado fino PM2.5, según se mencionó líneas arriba, es el más peligroso para el ser humano. De los elementos presentes en ésta, el más peligroso es el carbón orgánico, debido a la acción cancerígena de algunos de sus compuestos y a las propiedades tóxicas de otros. El otro derivado, es conocido como "carbón elemental" y sobre éste se adhieren partículas de sulfatos, nitratos, amonio que, junto con la alta humedad atmosférica de la ciudad de Lima-Callao, generan la acidez del material particulado.

3.1.3 De los contaminantes gaseosos:

3.1.3.1 Óxidos de Nitrógeno

El término genérico para denominar al óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2) es el de óxidos de nitrógeno (NOx).

La información registrada por el analizador modelo API 200E en la estación de calidad de aire de la sede central del SENAMHI según la **figura 5**, muestra registros máximos horarios de NO de 144,1 ppb y de NO_2 de 34,4 ppb, ocurridos el lunes 03 de noviembre a las 08:00 horas y el sábado 08 a las 22:00 horas, respectivamente; y mínimos horarios entre 0 y 2 ppb en horas comprendidas entre las 5 y 6:00 horas de la madrugada. El valor medio

del mes del gas dióxido de nitrógeno (NO_2) fue de 14,5 ppb. Bajo las condiciones meteorológicas reportadas en el mes de noviembre caracterizado por temperaturas medias de 18,5 ° C y aún la presencia de cielos parcialmente nublados aunque alternados con días de brillo solar desde las primeras horas de la mañana y hacia el atardecer, se favorecieron parcialmente los rápidos procesos de reconversión de NO_2 a NO como resultado de la fotólisis. Por ello, el 62 % de las veces la concentración de NO es superior a las concentraciones de NO_2 (38 %), salvo en horas de la noche, en donde éste no es capaz de fotodisociarse, por ausencia de luz solar, y tiende a acumularse y lentamente reaccionar con otros óxidos de nitrógeno tales como el NO_3.

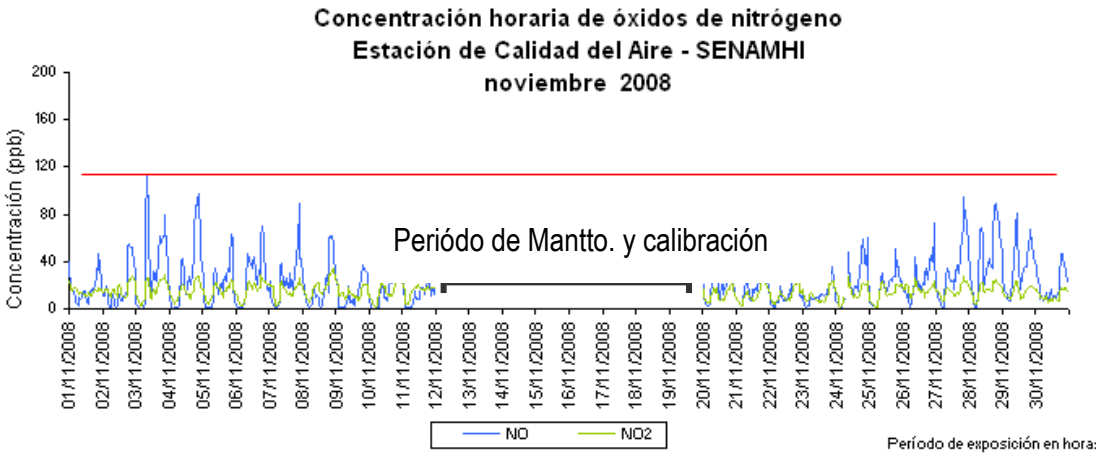


Figura 5.

El máximo valor horario registrado en el período de estudio para el NO_2 (34,4 ppb) correspondió al 33 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora, equivalente a 104,6 ppb (200 ug/ m^3). Sin embargo, no sobrepasar un valor estándar, no garantiza que la calidad del aire de los alrededores sea buena si se analiza el ámbito de estudio; es necesario realizar muchas observaciones y buscar siempre representar lo mejor posible la influencia de las fuentes de los contaminantes sobre la calidad del aire y el impacto sobre la salud de los receptores. Además de la interacción entre los contaminantes y las condiciones meteorológicas presentes que pueden favorecer o no altas concentraciones, normalmente en microambientes si estos gases pueden superar los estándares.

El valor recomendado en las actuales directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para proteger a la población de los efectos nocivos del NO_2 gaseoso no ha cambiado con respecto a las Directrices anteriores.

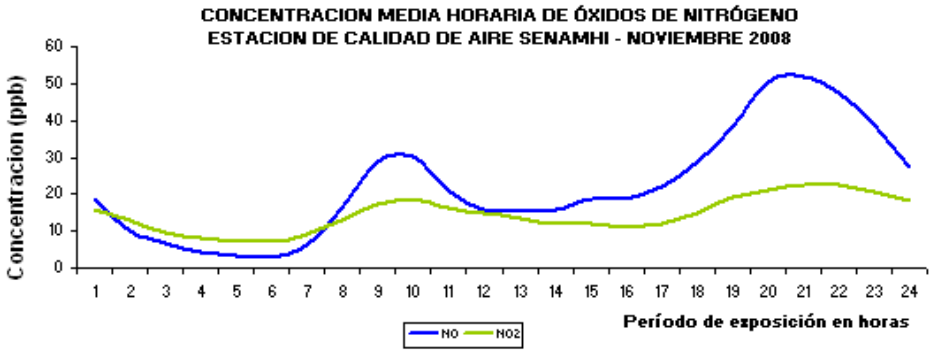


Figura 6.

En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de los NOx presentadas en la **figura 6**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 30 ppb y 18,6 ppb a las 09:00 horas y de 51,8 y 22,4 ppb a las 20:00 horas, respectivamente, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular. Según se explicó, el NO_2 se forma a partir de las concentraciones de NO, que está

estrechamente ligado al parque automotor, a través de un proceso de interconversión química; por ello, es que existe un desfase horario entre las concentraciones del NO y del NO_2.

Las Rosas de Concentración presentadas en la **figura 7** muestran principalmente la dirección predominante del gas dióxido de nitrógeno en relación a la distribución de sus concentraciones para el mes de noviembre y por períodos horarios que corresponden a los momentos del día en donde se reportan las máximas (09 horas y 20 horas) y mínimas concentraciones (entre 12 y 16 horas horas). De acuerdo a ello, la dirección predominante es del SW con una media de dióxido de nitrógeno de 14,5 ppb.

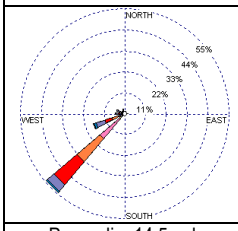
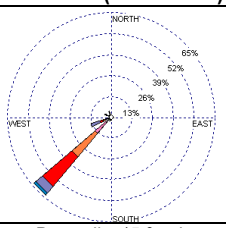
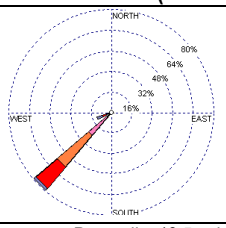
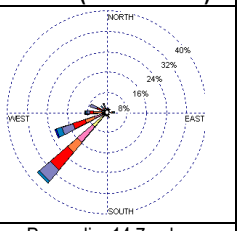
MENSUAL	MAÑANA (8 – 10 AM)	VESPERTINA (13 – 16 PM)	NOCHE (19 – 22 PM)
			
Promedio: 14,5 ppb Dirección predominante SW	Promedio: 15,9 ppb Dirección predominante SW	Promedio: 13,5 ppb Dirección predominante SW	Promedio: 14,7 ppb Dirección predominante SW

Figura 7. Rosas de Concentración de Dióxido de Nitrógeno – noviembre 2008

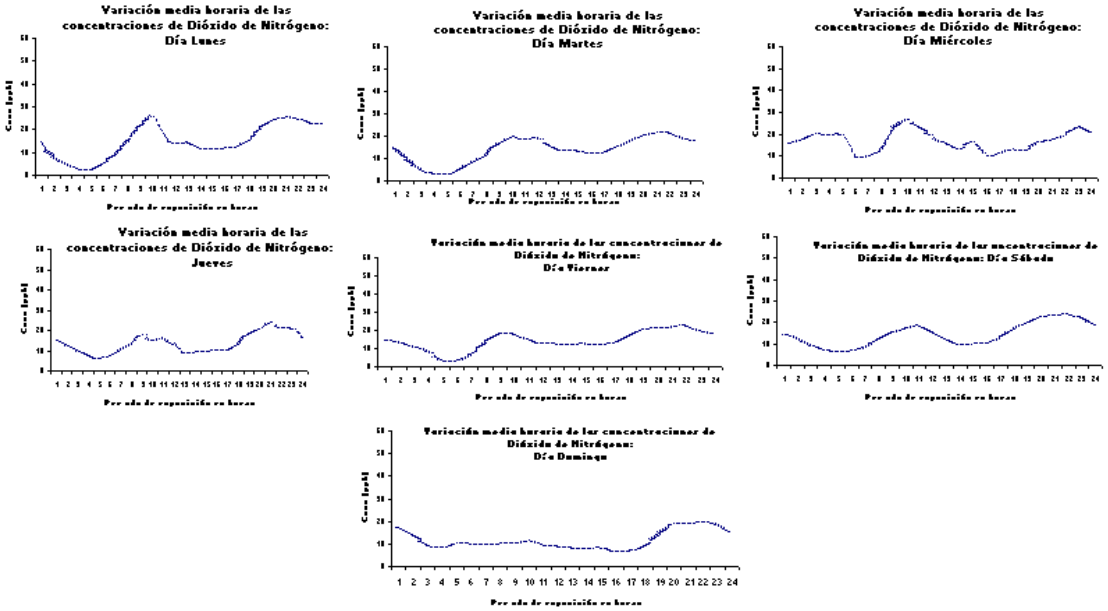
En el **Cuadro N° 3** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de NO_2. Las mayores concentraciones se presentaron los días lunes y sábado (30,3 y 34,4 ppb), respectivamente. Mientras que el día domingo se registró en promedio la menor concentración (12,1 ppb), mostrándose, de forma similar al comportamiento de otros contaminantes, su asociación al desplazamiento humano.

Cuadro N° 3. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO_2) noviembre 2008

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	30.3	10/11	20:00	1.7	10/11	4:00	15.1
Martes	27.9	4/11	21:00	1.6	25/11	5:00	14.3
Miércoles	26.7	26/11	9:00	4.5	5/11	4:00	16
Jueves	28.6	6/11	18:00	2.2	6/11	5:00	14.6
Viernes	25.5	7/11	21:00	2.8	7/11	5:00	14.6
Sábado	34.4	8/11	22:00	4.4	22/11	4:00	14.8
Domingo	23.8	23/11	21:00	5.6	23/11	15:00	12.1

Asimismo, en la **figura 8** se presenta el comportamiento medio de cada uno de los días de la semana del mes de noviembre del dióxido de nitrógeno.

Figura 8. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno – noviembre 2008



3.1.3.2 Dióxido de Azufre

El dióxido de azufre es un contaminante del aire que provoca efectos negativos sobre la salud humana, principalmente sobre el sistema cardiovascular, sobre los ecosistemas, como la acidificación del agua y los suelos, y sobre los materiales.

La información registrada por el analizador modelo 43i en la estación de calidad de aire de la sede central del SENAMHI según la **figura 9**, muestra un registro máximo horario de 21,3 ppb, ocurrido el martes 04 de noviembre a las 21:00 horas; y mínimos horarios de 0 ppb en horas comprendidas entre las 3 y 6:00 horas. El valor medio del mes del gas dióxido de azufre (SO_2) fue de 3,6 ppb.

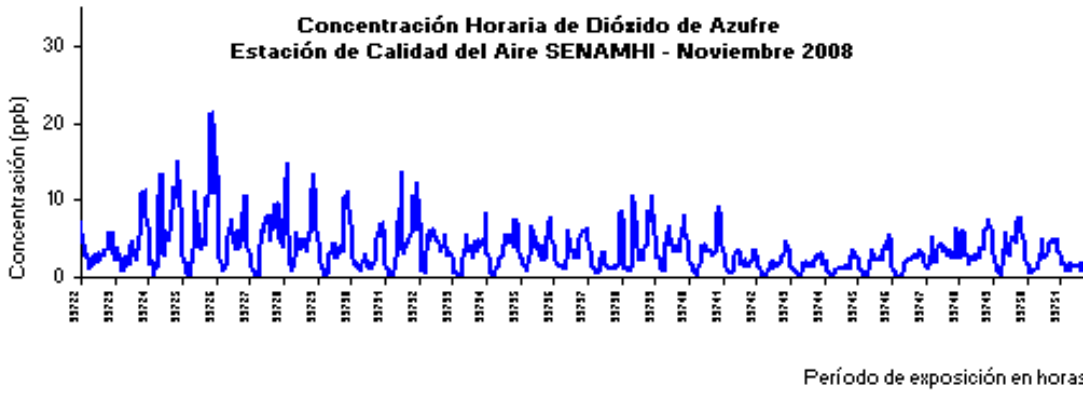


Figura 9.

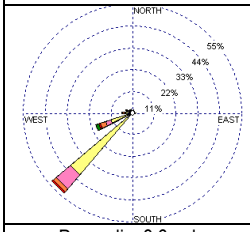
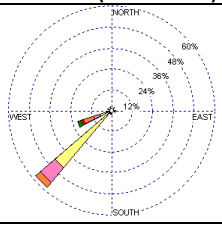
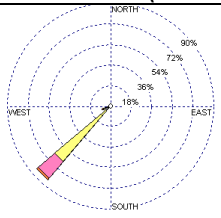
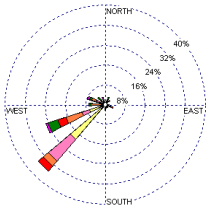
En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de SO_2 presentada en la **figura 10**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 4,5 ppb a las 09:00 y de 6,8 a las 20:00 horas, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular. Coincidiendo a su vez con las horas de mayor concentración horaria de los óxidos de nitrógeno.

Figura 10.

De acuerdo a lo observado en la **figura 11**, el ECA nacional para 24 horas de SO_2 equivalente a 144,9 ppb no fue superado durante el período de evaluación. El máximo valor promedio diario registrado en el período de estudio de 7,3 ppb correspondió al 5 % del estándar nacional de calidad del aire. La Organización Mundial recomendó el cambio de los valores guía de SO_2 de 125 a 20 µg/ m^3 tomando en cuenta consideraciones tales como la comprobación de que el SO2 tiene efectos en la salud a concentraciones muy inferiores a los aceptados hasta ahora por lo que se necesita un mayor grado de protección.

Figura 11.

Las Rosas de Concentración presentadas en la **figura 12** muestran principalmente la dirección predominante del gas dióxido de azufre en relación a la distribución de sus concentraciones para el mes de noviembre y por períodos horarios que corresponden a los momentos del día en donde se reportan las máximas (09 horas y 20 horas) y mínimas concentraciones (entre 12 y 16 horas horas). De acuerdo a ello, la dirección predominante es del SW con una media de dióxido de nitrógeno de 3,6 ppb.

MENSUAL	MAÑANA (7 – 10 AM)	VESPERTINA (12 – 16 PM)	NOCHE (19 – 22 PM)
			
Promedio: 3,6 ppb Dirección predominante SW	Promedio: 4,0 ppb Dirección predominante SW	Promedio: 3,1 ppb Dirección predominante SW	Promedio: 6,3 ppb Dirección predominante SW

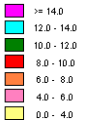


Figura 12. Rosas de Concentración de Dióxido de Azufre – noviembre 2008

En el **Cuadro N° 4** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de SO_2. La máxima concentración se presentó el día martes 4 de noviembre de 21,3 ppb a las 21:00 horas. Hacia el día domingo se registraron en promedio los menores valores, con una media de 2,5 ppb, mostrándose, de forma similar al comportamiento de otros contaminantes, su asociación al desplazamiento humano.

Cuadro N° 4. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de azufre (SO2) – noviembre 2008

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	15.0	10/11	21:00	0.1	10/11	5:00	4.6
Martes	21.3	4/11	21:00	0.0	25/11	5:00	4.3
Miércoles	15.7	5/11	0:00	0.2	12/11	4:00	3.8
Jueves	9.4	6/11	18:00	0.2	6/11	5:00	3.6
Viernes	14.9	7/11	02:00	0.2	21/11	5:00	3.8
Sábado	11.3	8/11	21:00	0.3	22/11	6:00	3.1
Domingo	11.3	2/11	20:00	0.3	23/11	6:00	2.5

Asimismo, en la **figura 13** se presenta el comportamiento medio de cada uno de los días de la semana del mes de noviembre del dióxido de azufre.

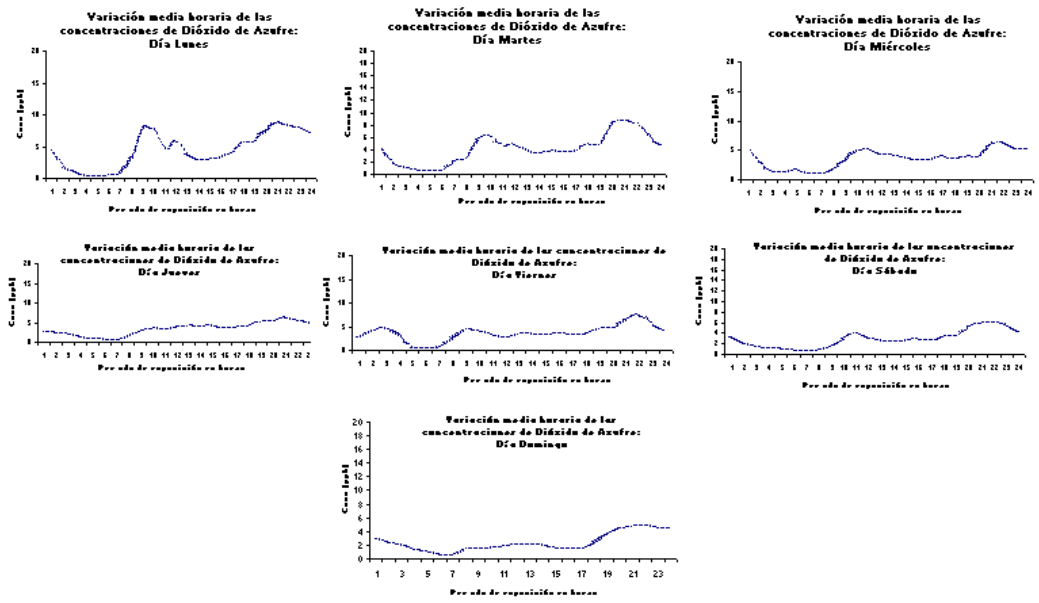


Figura 13. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de azufre – noviembre 2008

3.1.3 De las condiciones meteorológicas

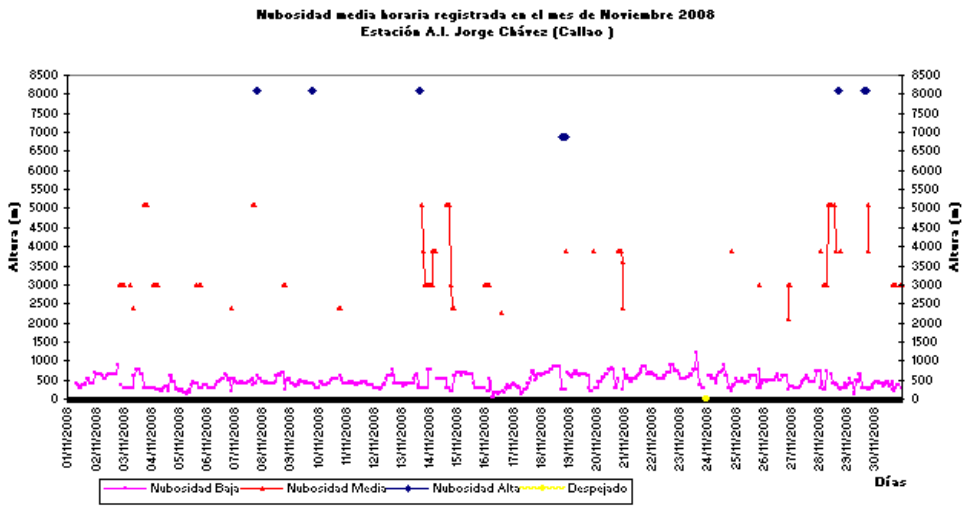
El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de noviembre 2008, se ha realizado en base a información derivada disponible sobre la evolución sinóptica de los sistemas meteorológicos que influyen en el clima de la costa central de Perú, y de la información recopilada de la red de estaciones automáticas descrita en el acápite **2.3**.

A continuación se presentan las variables analizadas durante el período de muestreo del polvo atmosférico sedimentable, partículas gruesas, finas y gases contaminantes del aire.

a. De la Nubosidad

De acuerdo a lo presentado en la **figura 14**, el mes de noviembre 2008, se caracterizó porque la nubosidad estratiforme que se configura por debajo de la base de la inversión térmica por subsidencia, entre superficie y 1000 m.s.n.m., estuvo presente durante casi todos los días del mes, dando condiciones de cielo cubierto a nublado con presencia de fina garúa por las mañanas, variando cerca del medio día a nublado parcial y nubes dispersas con presencia de insolación cuando la inversión se rompe o debilita, para volver las condiciones de cielo cubierto en las últimas horas de la tarde.

Figura 14. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez noviembre2008



b. De la Temperatura y Humedad Relativa

- El análisis medio mensual de las variables temperatura y humedad relativa de las estaciones analizadas: automática sinóptica y de radiosondaje A.I. Jorge Chávez, automática Campo de Marte y automática La Molina, señala el día miércoles 28 de noviembre como el más cálido con una máxima media de 20,3 ° C y el día sábado 01 como el más frío con un valor medio de 17,1 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el sábado 15 de noviembre con la mínima media de 81 %, y el más húmedo el sábado 08 de noviembre (89 %). **Ver figura 15**

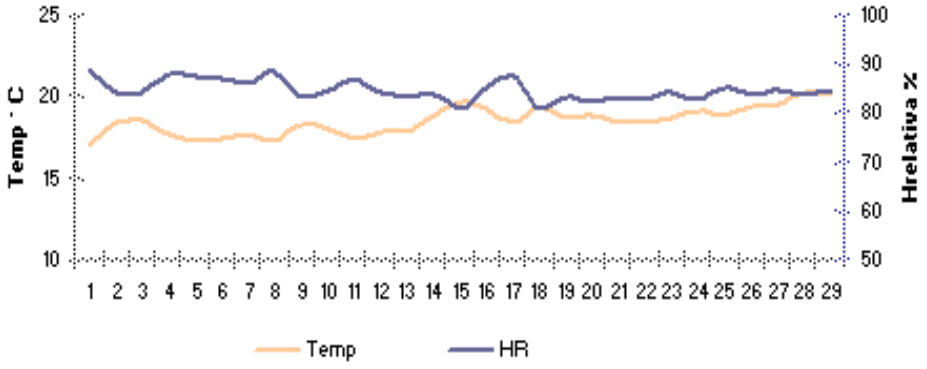


Figura15- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de noviembre del 2008 en El Callao, Jesús María y La Molina

- Del análisis de la variación temporal diaria de la temperatura (° C) y humedad relativa (%) extremas se observa lo siguiente: la temperatura máxima fluctuó entre los valores de 17,4 ° C en La Molina a 23,9 ° C en El Callao, y la mínima fluctuó entre 14,7° C en La Molina a 19,4 ° C en Campo de Marte; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de 18,5 ° C. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 84 % en Campo de Marte a 100 % en La Molina; y la mínima osciló entre 61 % en El Callao a 92 % en La Molina (ver **figuras 16a y b**); la humedad relativa media fue de 84 %. El mes de noviembre presentó condiciones meteorológicas bastante variables, alternando días con brillo solar en horas y nublado; incluso se presentaron algunas lloviznas en la capital.

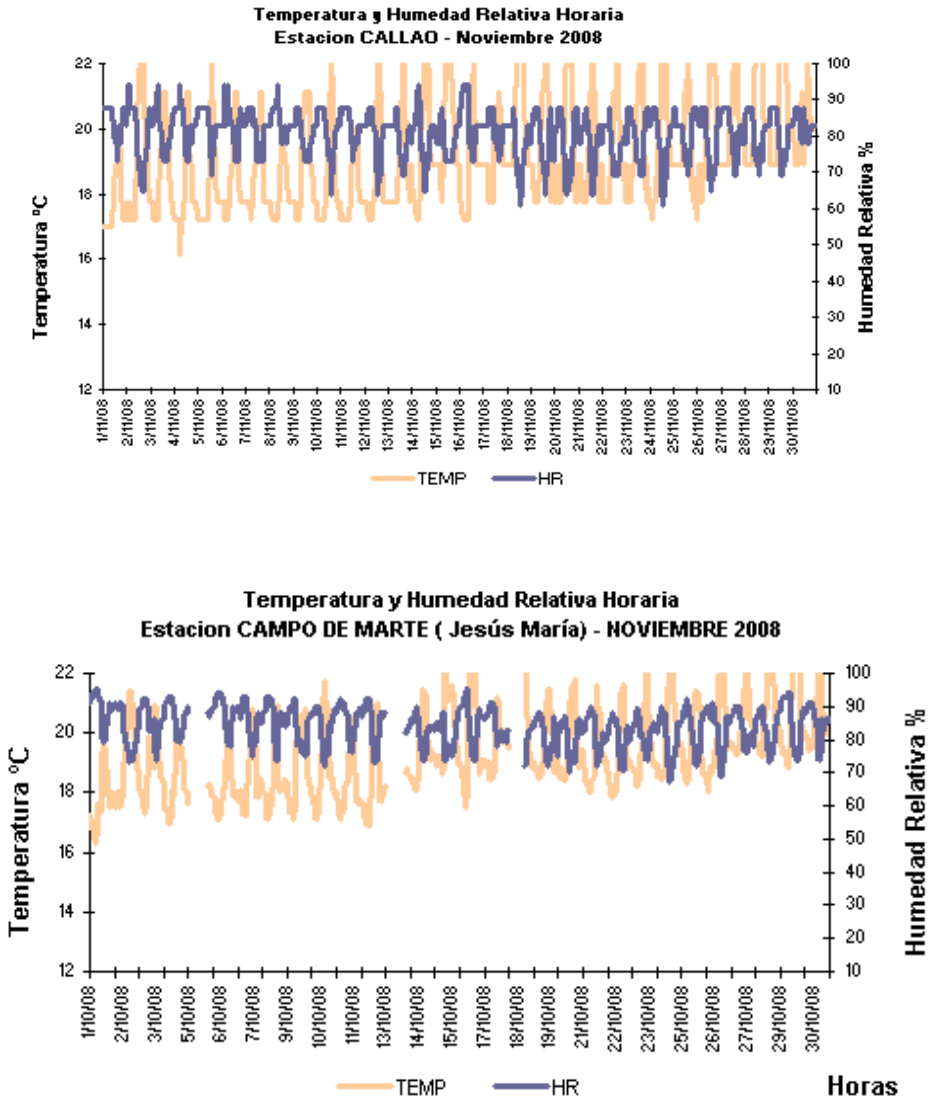


Fig 16a – Variación horaria de la Temperatura y Humedad relativa en las estaciones de El Callao y Jesús María Noviembre 2008

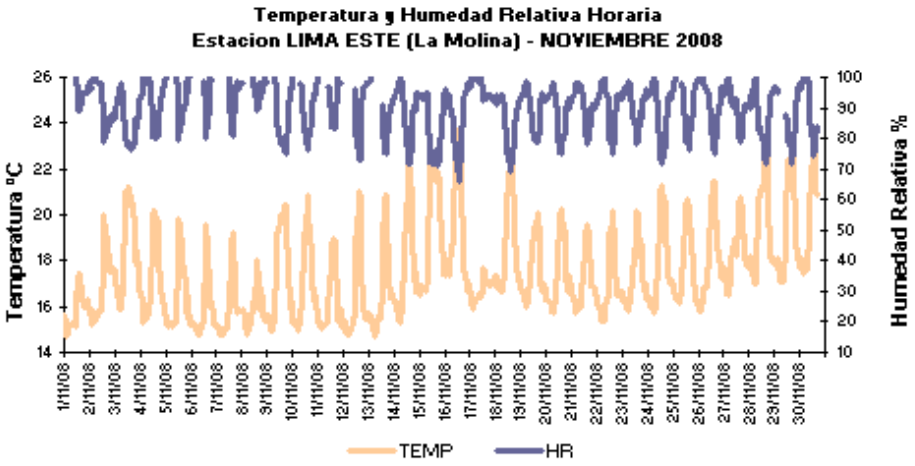


Figura 16b.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de noviembre del 2008 en La Molina

c. Del viento superficial

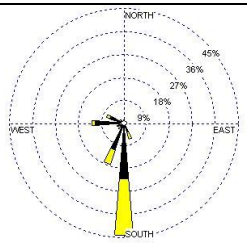
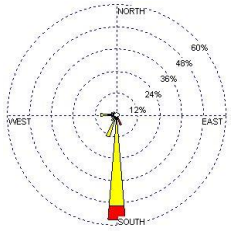
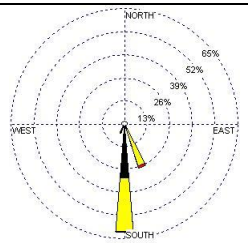
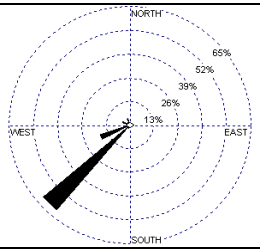
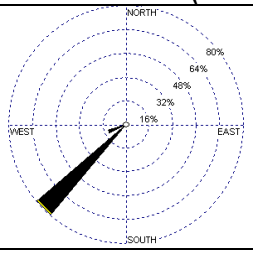
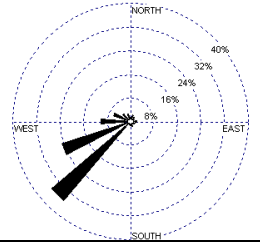
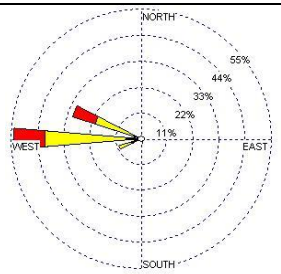
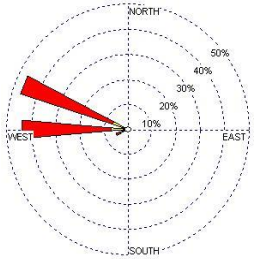
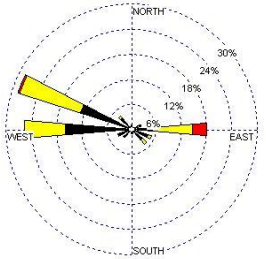
La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de noviembre es presentada en la **figura 17** para el período matutino (07:00 – 11:00), vespertino (12:00 – 18:00) y nocturno (19:00 – 06:00), respectivamente. Este análisis es importante por cuanto esta variable meteorológica influye directamente en los procesos de transporte y dispersión de los contaminantes determinando tanto la localización como los niveles altos o bajos de concentración de éstos.

- Durante el período matutino (7:00 a 11:00 horas), predominaron vientos de intensidad media débil (< 3 m/s) en la mayoría de las estaciones analizadas, con excepción de La Molina (Lima Este) que reportó velocidades medias de 4,6 m/s. No se registró ocurrencia significativa de calmas.

- Durante el período vespertino (12:00 a 18:00 horas) se registraron vientos de intensidades débiles en Jesús María (0,6 m/s), moderadas en El Callao (4,0 m/s) y con intensidades fuerte en La Molina (7,1 m/s). No se registró ocurrencia significativa de calmas.

- Durante el período nocturno (19:00 a 6:00 horas) se registraron vientos de intensidad débil en casi todas las estaciones evaluadas con intensidades medias inferiores a 3 m/s, con excepción del Callao que reporto intensidad moderada de 3,0. No se registró ocurrencia significativa de calmas.

- En cuanto a las direcciones predominantes del viento superficial, en horas matutinas (7:00-11:00 horas) la estación A.I. Jorge Chávez (Callao) reportó direcciones del S (44 %), SSW (17 %), y W (12 %); manteniéndose en horas vespertinas con vientos de componente S (57 %), SSW (12 %), y W (9 %); hacia horas de la noche predominaron vientos del SSE (26 %) y de componente sur con frecuencias de 61 % (S) y 6 % (SSW). En la estación Campo de Marte, se presentaron direcciones del SW (61 %) y del WSW (17 %) en horas matutinas, manteniéndose en horas vespertinas con frecuencias de 79 % (SW) y 13 % (WSW); en horas de la noche, se presentaron vientos de dirección SW (35 %), WSW (25 %) y W (10 %). En la estación Lima Este, en horas de la mañana predominaron vientos del WSW (10 %), W (54 %) y WNW (30 %), que se mantuvieron hacia horas vespertinas con frecuencias del 5, 43 y 46 %, respectivamente; en horas de la noche, predominaron vientos de dirección E (18 %), W (25 %) y WNW (28 %).

HORAS MATUTINAS	HORAS VESPERTINAS	HORAS NOCTURNAS
ESTACIÓN A.I. JORGE CHÁVEZ (CALLAO)		
		
ESTACIÓN CAMPO DE MARTE (JESÙS MARÌA)		
		
ESTACIÓN LIMA ESTE (LA MOLINA)		
		

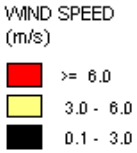


Fig 17 – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de El Callao, Jesús María y La Molina noviembre 2008

d. Del perfil de la troposfera

De acuerdo a la vigilancia sinóptica, utilzando salidas de reanálisis de los modelos NCAR/NCEP, la evolución de los sistemas atmosférico-oceánicos y terrestres y sus interacciones, que influyen en el clima de la costa central de Perú, muestran que el Anticiclón del Pacífico suroriental –APS- presentó un comportamiento variable, con núcleo oscilando entre 1020 a 1030 hPa, promedio de 1020 hPa y anomalías variando desde +2 hPa en latitudes tropicales a -12 hPa en altas latitudes. Como concecuencia de lo anterior, el fenómeno de la inversión térmica por subsidencia, presentó las características que se muestran en el **Cuadro N° 4,** donde es importante observar la altura media de la base de la inversión (683,2 msnm) y la intensidad de la inversión (2,6ºC/m). Asimismo, en la **figura 18**, se ha elegido uno de los días evaluados, 24 de noviembre, en donde se puede observar que el viento entre superficie y 400 hPa fue mayormente del SE, con 5 m/s de velocidad; entre 400 y 250 hPa cambiò a vientos del W con velocidades variando entre 5 a 20 m/s; más arriba, los vientos del NW fueron muy intensos hasta de 40 m/s.

Cuadro N° 4: Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú
Del 21 al 28 noviembre 2008

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	161	26 nov.	10	22 nov.	67
Altura Base	metro	892	24 nov.	167	28 nov.	**683,2**
Altura Tope	metro	1019	26 nov.	231	28 nov.	750,4
T Base	° C	17,7	22 nov.	12,9	24 nov.	15
T Tope	° C	19,7	26 nov.	14,4	24 nov.	17,1
Gradiente	°C / metro	4	21 nov.	1	22 nov.	**2,6**
H.R. Base	%	100	22, 24 y 26 nov.	79	28 nov.	92
H.R. Tope	%	100	22, 24 nov.	64	28 nov.	85

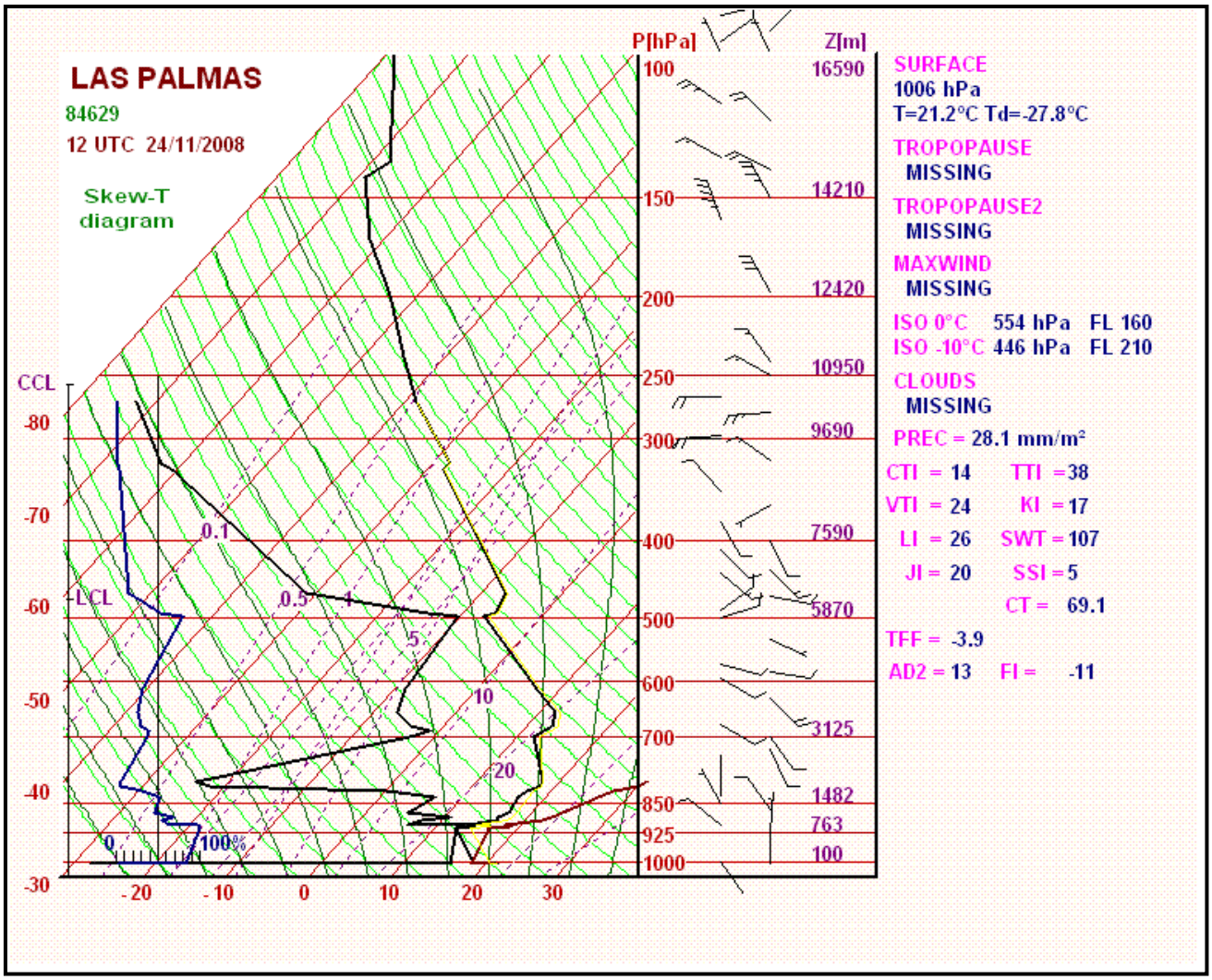


Figura 18.- Radiosondaje del día 24 de noviembre del 2008 en la Estación de radiosondeo Las Palmas (Surco)

4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para diciembre 2008, el comportamiento de la base de la inversión térmica y las tendencias proporcionadas por modelos estadísticos, se prevé que la media de las concentraciones del polvo atmosférico sedimentable se incrementen en promedio para el mes de diciembre.

Para una tendencia más puntual, se recoge el comportamiento referencial de 5 estaciones de la red de Lima y Callao; éstas han sido elegidas considerando su ubicación representativa y/o amplia data histórica, son: Lima Norte (Independencia) Lima Centro (Cercado I), Lima Este (Cercado II/ zona este) Lima Oeste (Callao) y Lima Sur (VMT), todas por encima del nivel referencial permisible de la OMS equivalente a 5 t/km^2/mes.

Dada la naturaleza del contaminante (partículas gruesas sujetas a fuerzas gravitatorias) generado principalmente por la industria de la construcción, mala disposición de residuos sólidos, pistas deterioradas o sin pavimento, desgaste de llantas y frenos de los vehículos, actividades comerciales y actividades de limpieza pública, la estación de Lima Centro presenta bajas concentraciones por estar exenta de algunas de estas fuentes.

5. Conclusiones

- ✓ El material particulado para el mes de noviembre presentó el siguiente comportamiento:

Los niveles de contaminación en los principales núcleos durante noviembre fueron superiores a los registrados el mes de octubre. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 34,9 t/km2.mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 21,4 t/km^2.mes; el tercero en Lima sur-este con 27,3 t/km^2.mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 24,5 t/km^2.mes.

El 90 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 12,7 t/km^2.mes, superior a la media del mes anterior de 12 t/km^2.mes; el valor máximo registrado fue de 36,5 t/km^2.mes en Lurín y el mínimo de 2,9 t/km^2.mes en La Molina.

La máxima concentración de partículas menores a 10 micras (PM10) fue de 77,8 ug/m^3 los días lunes y miércoles y de partículas menores a 2.5micras (PM2.5) el día martes equivalente a 30 ug/m^3.

- ✓ En cuanto a los contaminantes gaseosos, se observó lo siguiente:

Las máximas concentraciones de **óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2)** fueron de 144,1 ppb el día lunes 03 a las 8:00 horas y 34,4 ppb el día sábado 8 a las 22:00 horas. Las mínimas concentraciones (0 – 2 ppb) se registraron en horas de la madrugada comprendidas entre las 5: 00 y 6:00 horas.

La concentración media de NO_2 para el mes de mayo fue de 14,5 ppb y la máxima (34,4 ppb) equivalió al 33 % del ECA Nacional horario para este contaminante. Las máximas concentraciones de NO_2 se presentaron los días lunes y sábado (30,3 y 34,4 ppb, respectivamente); el día domingo la media fue de 14,1 ppb, menor en relación al resto de la semana.

El **dióxido de azufre (SO2)** registró su valor máximo de 34,9 ppb el día martes 02 de noviembre a las 17:00 horas. Se observaron además dos picos horarios máximos de 3,9 ppb a las 10:00 y de 8,2 ppb a las 8,2 ppb a las 20:00 horas, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular.

La concentración media de SO2 para el mes de noviembre fue de 3,6 ppb y la máxima diaria de 7,3 equivalió al 5 % del ECA Nacional horario para este contaminante.

- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, la nubosidad baja estratiforme estuvo presento durante todos los días del mes, dando como resultado condiciones de cielo cubierto con presencia de fina garúa por las mañanas, variando alrededor del medio día a condiciones de nublado parcial a nubes dispersas con presencia de insolación.

- ✓ El mes de noviembre presentó condiciones meteorológicas bastante variables, alternando días con brillo solar en horas y nublado; incluso se presentaron algunas lloviznas en la capital. En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en noviembre fueron de 18,5° C y 84 %. Así mismo el análisis medio señala el día 28 de noviembre como el más cálido con una máxima media de 20,3 ° C y el día 01 como el más frío con un valor medio de 17,1 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el 15 con la mínima media de 81 %, y el más húmedo el 08 de noviembre (89 %).

- ✓ Con respecto al análisis de las intensidades del viento superficial en los períodos analizados, en horas matutinas predominaron vientos de intensidad media débil (< 3 m/s), con excepción de La Molina de intensidad moderada (4,6 m/s); en horas vespertinas la intensidad fue tanto débil (Jesús María) como moderada en El Callao de 4 m/s; y fuerte en La Molina donde se registró superior a 6 m/s; mientras que hacia horas de la noche se registraron intensidades medias débiles; en ninguno de los períodos del día se registró ocurrencia de calmas. En cuanto a las direcciones predominantes, se registraron principalmente vientos de componente sur que se mantuvieron en todas las horas del día, principalmente de dirección SW, SSW, W y WNW.

- ✓ Durante el mes de noviembre 2008, la inversión térmica por subsidencia presentó un comportamiento muy variable, desde días con condiciones muy estables a días con ligera estabilidad atmosférica, con configuración de su base en promedio en 683,2 msnm e intensidad de 2,6ºC/m.