

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

Por: Ing. José Silva Cotrina
Ing. Zarela Montoya Cabrera
SO1 FAP Rigoberto Duránd Montes

INDICE GENERAL

1. Resumen	3
2. Metodología	3
3. Resultados del monitoreo ambiental.	7
4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable	23
5. Conclusiones.	23

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1- Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable en la zona metropolitana de Lima-Callao.	7
Fig. 2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable registrados en octubre y diciembre 2008 en Lima-Callao.	11
Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de diciembre del 2008.	9
Fig. 4- Concentraciones horarias de óxidos de nitrógeno registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI - diciembre 2008	10
Fig. 5- Concentración media horaria de óxidos de nitrógeno - Estación de Calidad del Aire SENAMHI. diciembre 2008	10
Fig. 6- Rosas de concentración horaria de dióxido de nitrógeno registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI - diciembre 2008	11
Fig. 7- Variación semanal de las concentraciones de dióxido de azufre registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI. diciembre 2008	12
Fig.8- Concentraciones horarias de dióxido de azufre registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI - diciembre 2008	12
Fig. 9- Concentración media horaria de dióxido de azufre - Estación de Calidad del Aire SENAMHI. diciembre 2008	13
Fig. 10- Concentraciones diarias de dióxido de azufre registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI. diciembre 2008	13
Fig. 11- Rosas de concentración horaria de dióxido de azufre registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI. diciembre 2008	14
Fig. 12- Variación semanal de las concentraciones de Dióxido de Azufre registradas en la Estación de Calidad del Aire SENAMHI. diciembre 2008	14

Fig. 13- Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez – diciembre 2008	15
Fig. 14- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre 2008 en El Callao, Jesús María y La Molina	16
Fig. 15a-Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en las estaciones de la Zona Metropolitana de Lima y Callao – El Callao y Jesús María diciembre 2008.	16
Fig. 15b-Variación horaria de la temperatura y humedad relativa en las estaciones de la Zona Metropolitana de Lima y Callao – La Molina	17
Fig. 16- Rosas de viento (m/s) en las estaciones El Callao, Jesús María y La Molina	19
Fig. 17- Radiosondaje del mes de diciembre del 2008 en la Estación de radiosondeo Las Palmas (Surco)	21

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N ° 1. Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables: octubre y diciembre 2008.	6
Cuadro N ° 2. Concentraciones semanales de PM2.5 registradas en la Estación Campo de Marte Jesús María, diciembre 2008	9
Cuadro N ° 3. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO ₂) diciembre 2008	14
Cuadro N ° 4. Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú	20

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

1. Resumen

El boletín del mes de diciembre 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, La Molina y Surco. En cuanto al primero, el polvo atmosférico sedimentable (PAS) registró una media de 12,5 t/km²/mes, máxima de 36,5 t/km²/mes en el distrito de Lurín y mínima de 2,6 t/km²/mes en Jesús María. En cuanto a los contaminantes gaseosos, el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, ambos normados en el Reglamento Nacional de Estándares de Calidad del Aire D.S. N° 074-PCM-2001, presentaron sus máximas concentraciones horarias el día martes 23 de diciembre equivalente a 34,7 ppb, y diaria (para el SO₂) de 5,6 ppb, no excediendo en ningún caso los ECAs establecidos, lo que sin embargo, no exime estrictamente a la población de estar expuestas a sustancias que pueden generar alteraciones a su salud. De acuerdo a la vigilancia sinóptica, utilizando la base de datos y los modelos de NCAR/NCEP para obtener salidas de reanálisis, 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 sur-oriental –APS- presentó un comportamiento variable, con núcleo oscilando entre 1020 a 1030 hPa, promedio de 1020 hPa y anomalías variando entre -2 y +2 hPa en latitudes tropicales a -20 y +25 hPa en altas latitudes. Así, en la primera, segunda y tercera décadas del mes presentó promedios de 1025; 1020; y 1025 hPa, respectivamente, con anomalías de cero en latitudes tropicales a +15; -8; y +10 hPa en altas latitudes, Como consecuencia de lo anterior, los vientos a lo largo de la costa variaron entre 2 y 4 m/s los días en que el APS presentó debilitamiento a 6 y 8 m/s cuando éste se intensificó como en los primeros y últimos días del mes; del mismo modo, el afloramiento 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, mostraron también un comportamiento variable, con un sostenido incremento de la TSM y de la temperatura del aire respecto al mes anterior, debido al inicio 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 de algunos días con presencia de fina garúa, variando alrededor del medio día a condiciones de nublado parcial a nubes dispersas o despejado con presencia de intensa insolación cuando la inversión se rompe o debilita, para volver en la mayoría de días, las condiciones de cielo nublado o cubierto en las ultimas horas de la tarde. De este modo, las condiciones descritas y sus interacciones con la rugosidad del terreno debida a las edificaciones, propiciaron en promedio, un incremento de los fenómenos de turbulencia térmica y mecánica del aire que se manifestaron en un incremento de los fenómenos de suspensión y resuspensión del polvo atmosférico 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), automática Lima Este (La Molina), Las Palmas (Surco), 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.

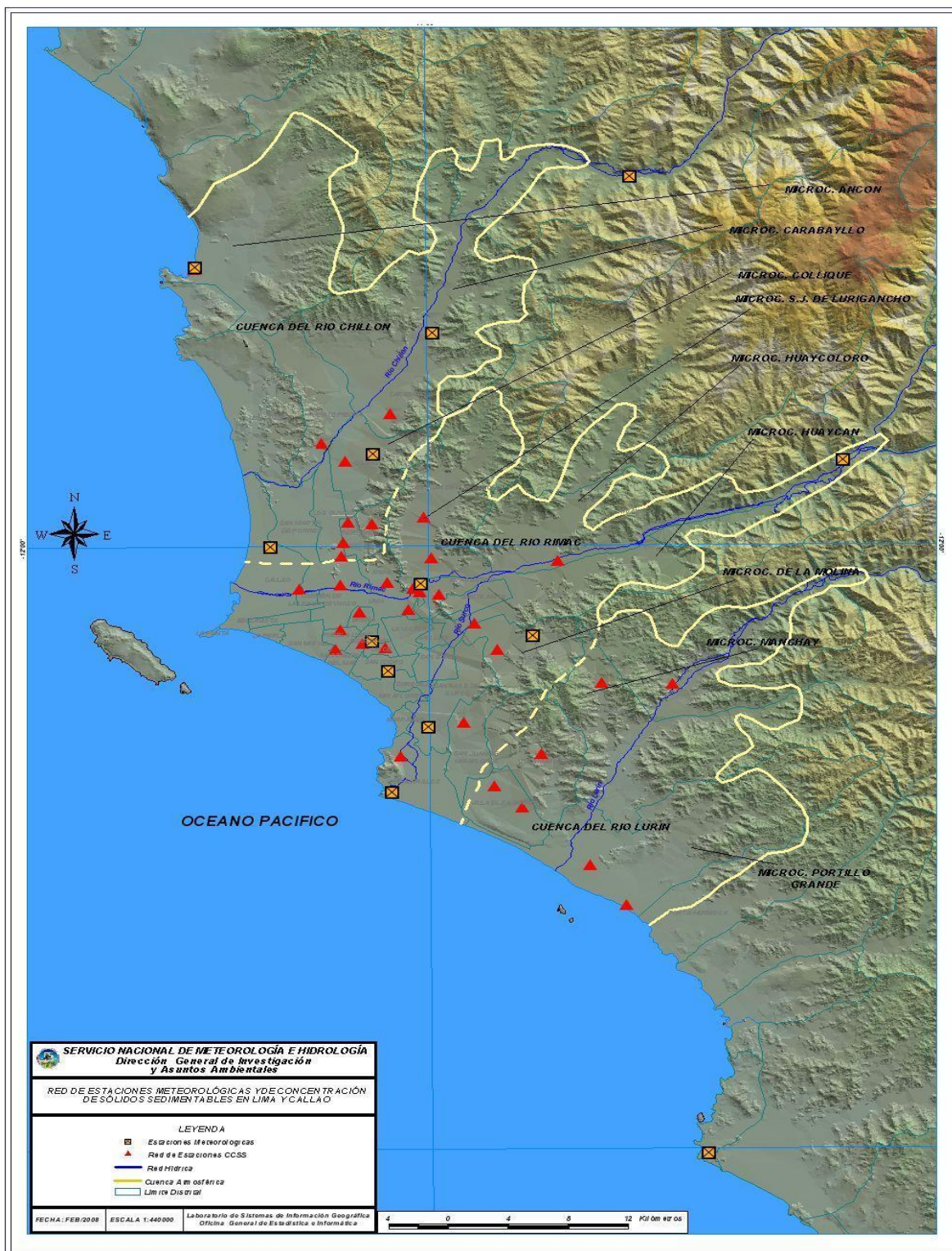


Fig. 1 - Red de estaciones meteorológicas y de muestreo del polvo atmosférico sedimentable (PAS) en la Zona Metropolitana de Lima-Callao

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 diciembre se recopiló información de 40 estaciones, el 73 % de las estaciones superaron el nivel referencial permisible de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 5 t/km²/mes, con una media de 12,5 t/km²/mes.

En el **cuadro N° 1** se observan los principales núcleos de la zona de Lima y Callao. En cuanto a los valores extremos, el máximo se registró en el distrito de Independencia (37,0 t/km²/mes), y el mínimo de 2,6 t/km²/mes en Jesús María. 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 en las estaciones principalmente colindantes al litoral y de componente oeste hacia el este de la ciudad, 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 noviembre y siempre superiores al nivel permisible (2,5 veces).

Cuadro N° 1: Concentraciones de polvo atmosférico sedimentable o contaminantes sólidos sedimentables noviembre y diciembre 2008 (t/km².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			
Noviem bre 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)
Diciem bre 2008	40	75	37,0 (Independencia)	22,8 (El Agustino, El Cercado, Lurigancho)	24,5 (Pachacamac)	34,6 (V.M.T.; Lurín)	12,5	37,0 (Independencia)	2,6 (J. María)

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

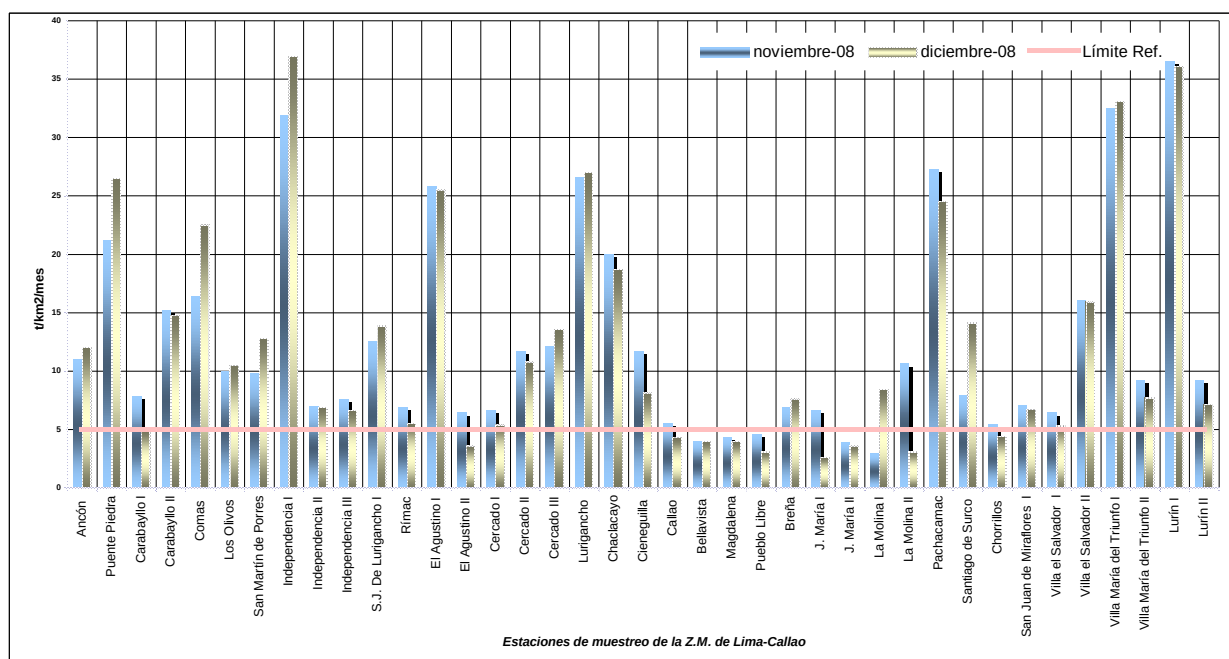


Fig.2-Totales mensuales de polvo atmosférico sedimentable (contaminantes sólidos sedimentables) registrados en noviembre y diciembre 2008 en Lima-Callao

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 diciembre, 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, Carabaylo, Pte. Piedra, Ancón, Sta. Rosa, Ventanilla, Los Olivos y San Martín de Porres, cuyo núcleo en el distrito de Independencia tiene un valor de 37,0 t/km²/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 distrito de Lurigancho de 26,6 t/km²/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 24,5 t/km²/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 33,1 y 36,5 t/km²/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.

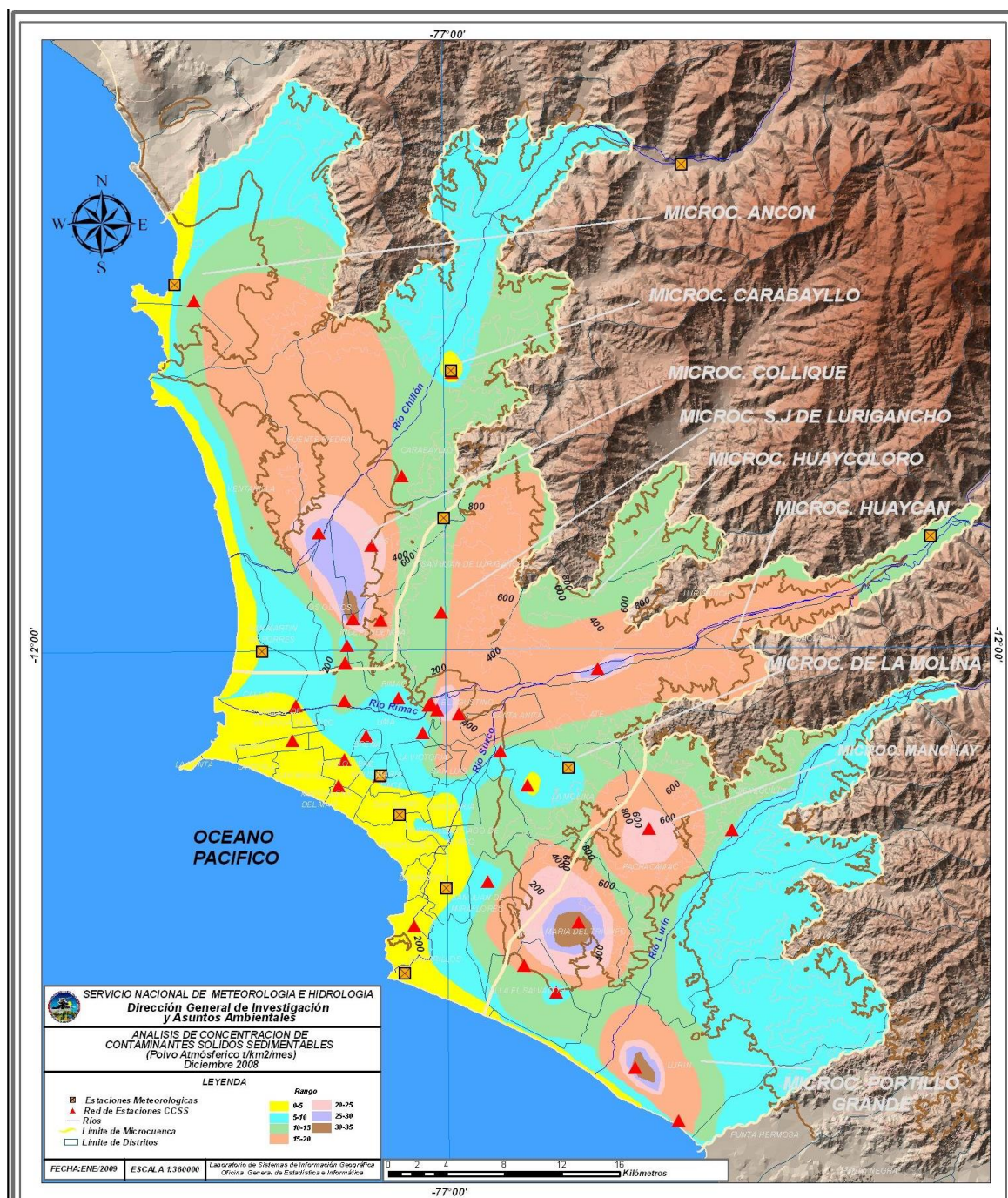


Fig. 3- Análisis espacial de la concentración del polvo atmosférico sedimentable en la cuenca atmosférica de Lima-Callao durante el mes de diciembre 2008

3.1.2 De los contaminantes gaseosos:

3.1.2.1 Óxidos de Nitrógeno

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

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 4**, muestra registros máximos horarios de NO de 119,2 ppb y de NO₂ de 34,7ppb, ocurridos el viernes 05 de diciembre a las 09:00 horas y el martes 23 a las 11:00 horas; y mínimos horarios entre 0 y 2 ppb en horas comprendidas entre las 4 y 5:00 horas de la madrugada. El valor medio del mes del gas dióxido de nitrógeno (NO₂), contemplado en el D.S. N ° 074 PCM -2001 por asociarse su exposición a efectos observables sobre la salud humana, fue de 14,1 ppb, inferior respecto al mes anterior. Bajo las condiciones meteorológicas reportadas en el mes de diciembre caracterizado por temperaturas medias de 20,7 ° C y la presencia de días con brillo solar desde las primeras horas de la mañana y hacia el atardecer, se favorecieron los rápidos procesos de reconversión de NO₂ a NO como resultado de la fotólisis. Por ello, el 80 % de las veces la concentración de NO es superior a las concentraciones de NO₂ (20 %), 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 NO₃. Propio del asentamiento de la estación de verano, se espera el incremento de las concentraciones de NO.

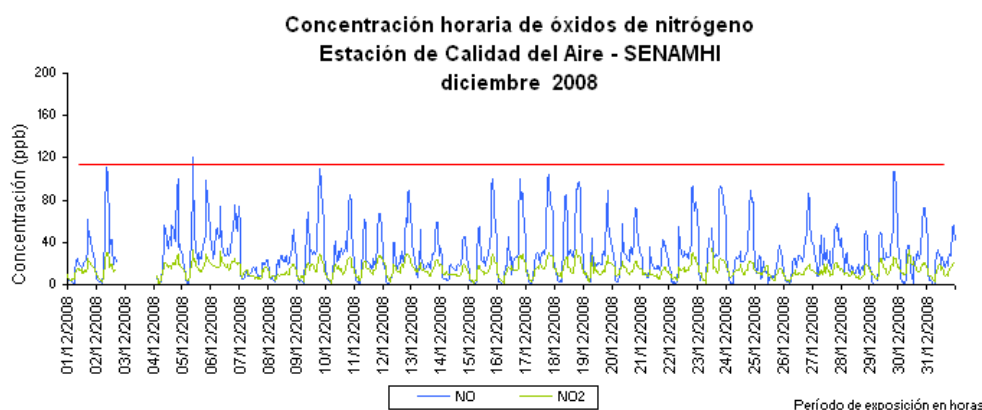


Figura 4.

El máximo valor horario registrado en el período de estudio para el NO₂ (34,7 ppb) correspondió al 33 % del estándar nacional de calidad del aire para una hora, equivalente a 104,6 ppb (200 ug/ m³). 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 NO₂ gaseoso no ha cambiado con respecto a las Directrices anteriores.

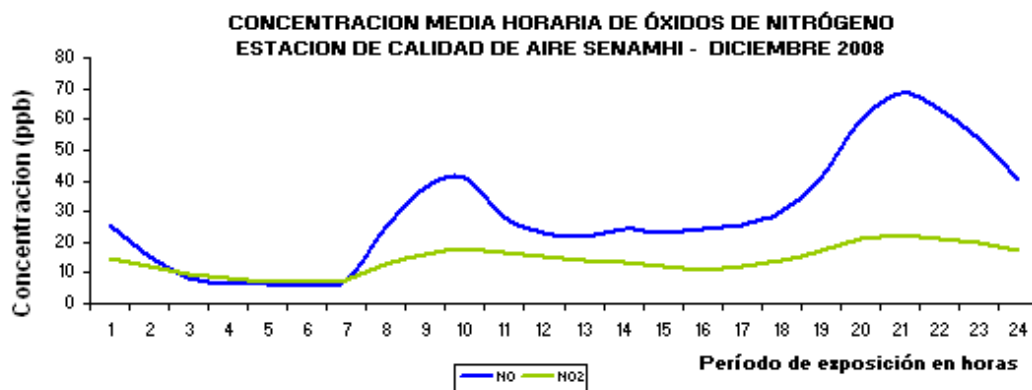


Figura 5.

En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de los NO_x presentadas en la **figura 5**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 40,8 ppb y 18,1 ppb a las 09:00 horas y de 68,3 y 22,6 ppb a las 20:00 horas, respectivamente, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular, caracterizándose siempre por presentar los mayores valores en horas de noche. De otro lado, según se explicó, el NO₂ 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 NO₂.

Las Rosas de Concentración presentadas en la **figura 6** muestran principalmente la dirección predominante del gas dióxido de nitrógeno en relación a la distribución de sus concentraciones para el mes de diciembre 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). De acuerdo a ello, la dirección predominante es del SW con una media de dióxido de nitrógeno de 14,1 ppb.

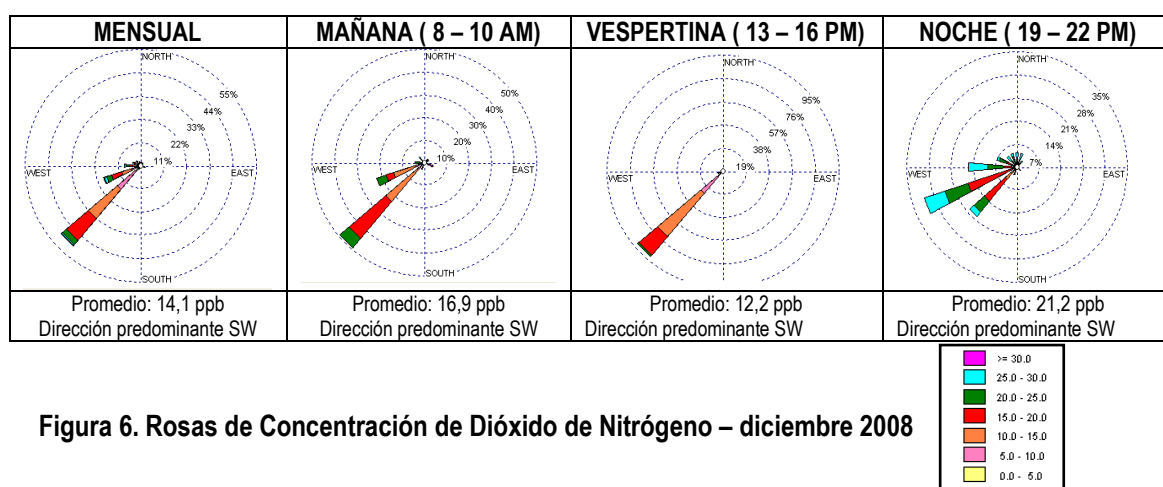


Figura 6. Rosas de Concentración de Dióxido de Nitrógeno – diciembre 2008

En el **Cuadro N° 3** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de NO₂. Las mayores concentraciones se presentaron los días martes y jueves (34,7 y 33,3 ppb), respectivamente. Mientras que el día domingo se registró en promedio la menor concentración (11,1 ppb), mostrándose, de forma similar al comportamiento de otros contaminantes, su asociación al desplazamiento humano, con menores concentraciones los días no laborales.

Cuadro N° 3. Estadística semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) diciembre 2008

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	29.5	22/12	20:00	1.9	15/12	4:00	13.4
Martes	34.7	23/12	11:00	2	16/12	5:00	15.2
Miércoles	29.5	17/12	19:00	2	10/12	5:00	14.1
Jueves	33.3	18/12	17:00	1.6	04/12	5:00	14.8
Viernes	32.5	5/12	09:00	2.4	26/12	4:00	14.5
Sábado	30.9	6/12	08:00	8.1	20/12	4:00	15.8
Domingo	19.7	28/12	19:00	4.8	28/12	16:00	11.1

Asimismo, en la **figura 7** se presenta el comportamiento medio de cada uno de los días de la semana del mes de diciembre del dióxido de nitrógeno.

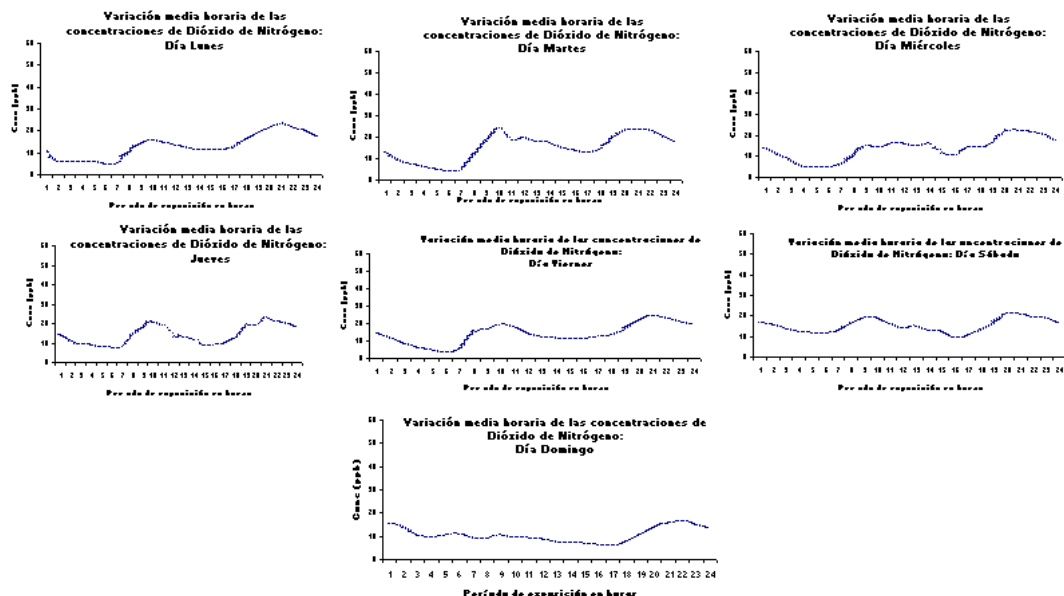


Figura 7. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de nitrógeno – diciembre 2008

3.1.2.2 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 8**, muestra un registro máximo horario de 34,7 ppb, ocurrido el martes 23 de diciembre a las 10:00 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 3,1 ppb.

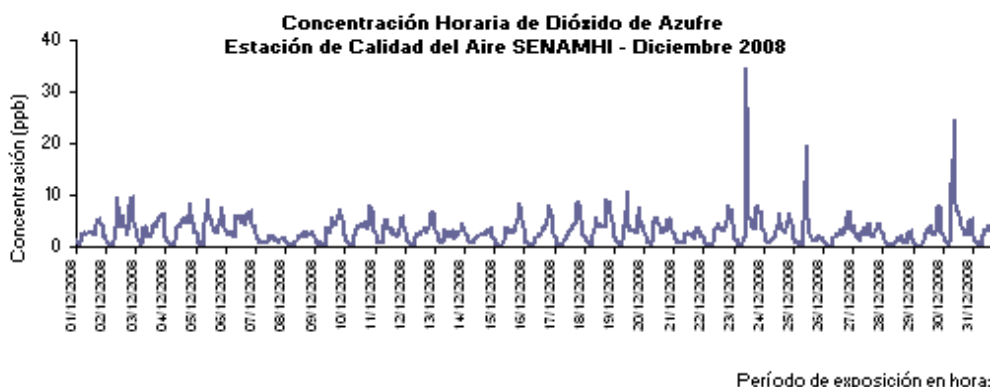


Figura 8.

En cuanto a la variación de las concentraciones máximas medias horarias de SO_2 presentada en la **figura 9**, se observa un patrón definido por dos picos horarios máximos de 5,3 ppb a las 10:00 y de 5,6 a las 20:00 horas, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular, y con los mayores valores hacia horas de la noche.

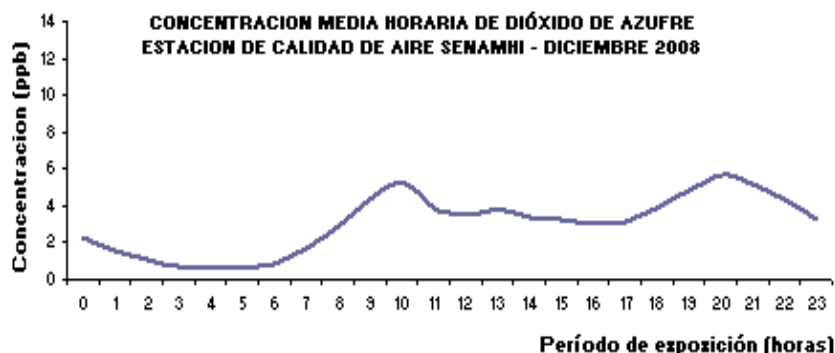


Figura 9.

El valor medio diario mensual correspondió a 3,1 ppb. De acuerdo a lo observado en la **figura 10**, el ECA nacional para 24 horas de SO₂ 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 5,6 ppb correspondió al 4 % del estándar nacional de calidad del aire. La Organización Mundial recomendó el cambio de los valores guía de SO₂ de 125 a 20 µg/ m³ 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.

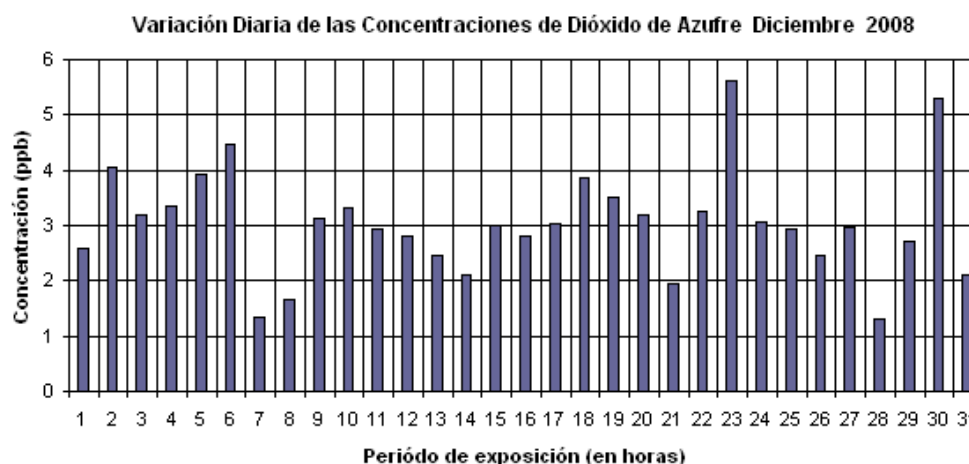


Figura 10.

Las Rosas de Concentración presentadas en la **figura 11** muestran principalmente la dirección predominante del gas dióxido de azufre en relación a la distribución de sus concentraciones para el mes de diciembre 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). De acuerdo a ello, la dirección predominante es del SW con una media de dióxido de nitrógeno de 3,1ppb.

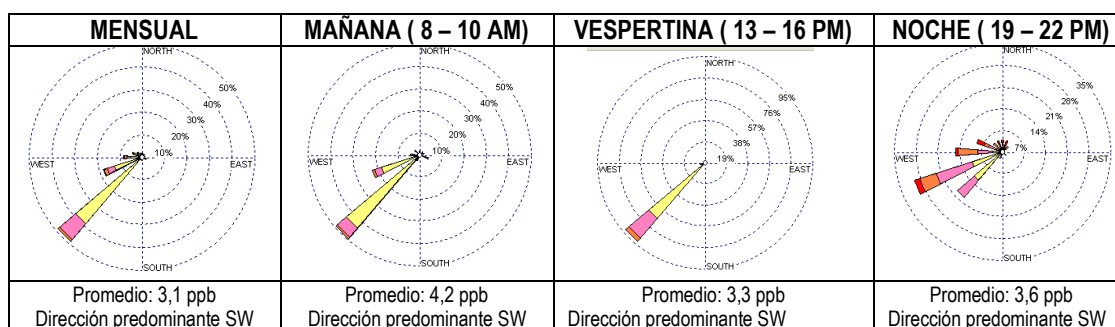


Figura 11. Rosas de Concentración de Dióxido de Azufre – diciembre 2008



En el **Cuadro N° 4** se muestra el comportamiento semanal de las concentraciones de SO₂. La máxima concentración se presentó el día martes 23 de diciembre de 34,7 ppb a las 11:00 horas. Hacia el día domingo se registraron en promedio los menores valores, con una media de 1,7 ppb, mostrándose, de forma similar al comportamiento de otros contaminantes, su asociación al desplazamiento humano, con menores concentraciones los días no laborables.

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

Día	máximo	día	hora	mínimo	día	hora	promedio
Lunes	8.4	15/12	20:00	0.0	15/12	4:00	2.7
Martes	34.7	30/12	11:00	0.1	16/12	6:00	4.3
Miércoles	9	17/12	13:00	0.1	10/12	5:00	3
Jueves	13.5	25/12	10:00	0.2	4/12	4:00	3.3
Viernes	11	13/12	10:00	0.0	26/12	6:00	3.2
Sábado	7	6/12	20:00	0.6	20/12	5:00	3.3
Domingo	3.8	14/12	21:00	0.1	28/12	7:00	1.7

Asimismo, en la **figura 12** se presenta el comportamiento medio de cada uno de los días de la semana del mes de diciembre del dióxido de azufre.

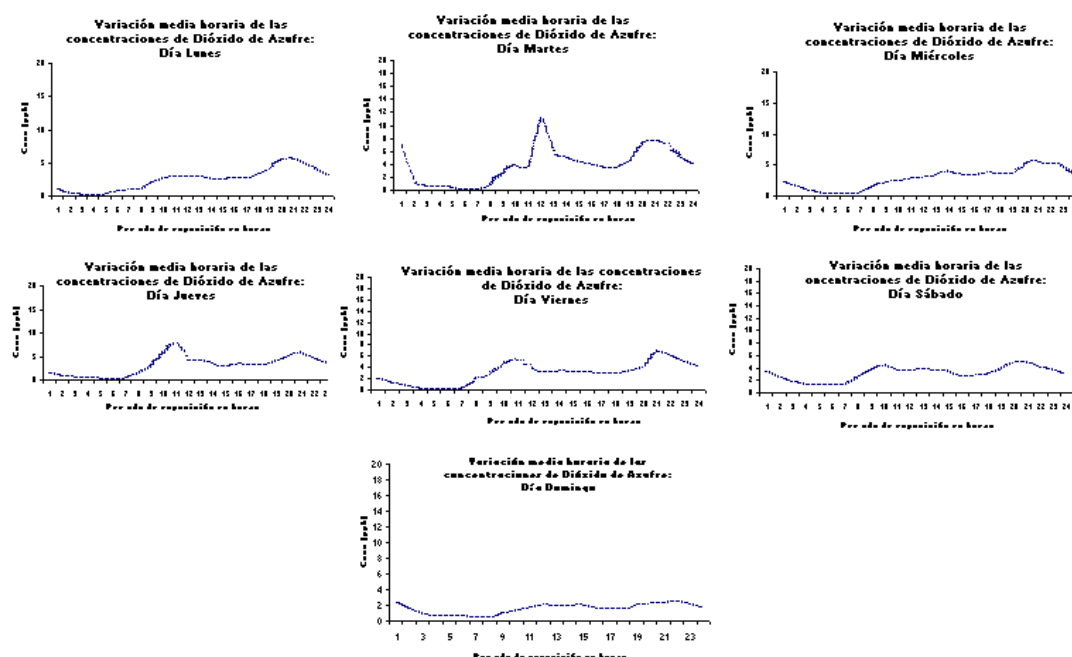


Figura 12. Variación semanal de las concentraciones de dióxido de azufre – diciembre 2008

3.1.3 De las condiciones meteorológicas

El análisis de las condiciones meteorológicas para la Zona Metropolitana de Lima-Callao durante el mes de diciembre 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 13**, el mes de diciembre 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 en las mañanas de algunos, variando cerca del medio día a nublado parcial y nubes dispersas o despejado con presencia de intensa insolación cuando la inversión se rompe o debilita, para volver en la mayoría de los días a las condiciones de cielo nublado o cubierto en las últimas horas de la tarde. Asimismo, desde el mes de octubre se inició la configuración de las nubes medias y altas que durante el mes de diciembre se ha incrementado como consecuencia de los trasvases de masas de aire húmedas desde la Amazonía hacia las vertientes occidentales de los Andes, que están ocurriendo con mayor frecuencia e intensidad a medida que se ingresa a la estación de verano.

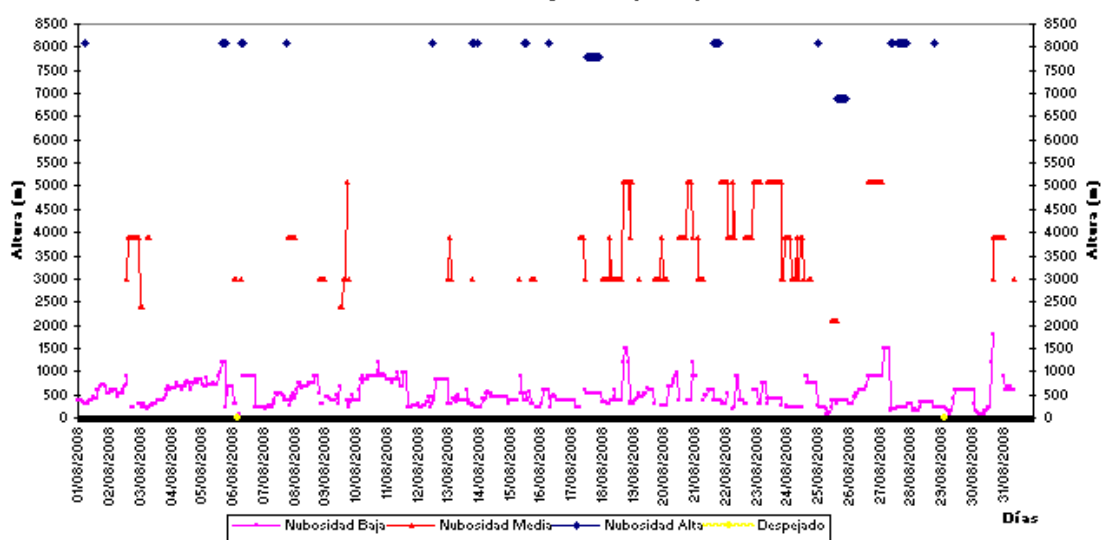


Figura 13. Variación temporal horaria de la Nubosidad en la estación A.I. Jorge Chávez diciembre 2008

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 martes 23 de diciembre como el más cálido con una máxima media de 26,1 ° C y el día lunes 01 como el más frío con un valor medio de 19,2 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el viernes 26 de diciembre con la mínima media de 78 %, y el más húmedo el miércoles 03 de diciembre (88 %). **Ver figura 14.**

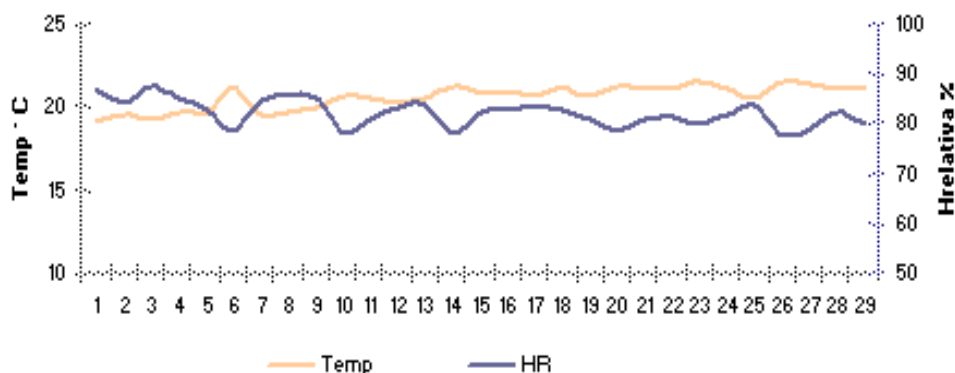


Figura 14- Variación media diaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2008 en El Callao, Jesús María, La Molina y Surco

- Del análisis de la variación temporal diaria de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%) extremas se observa lo siguiente: la temperatura máxima fluctuó entre los valores de $19,4^{\circ}\text{C}$ a $26,5^{\circ}\text{C}$ en La Molina, y la mínima fluctuó entre $16,0^{\circ}\text{C}$ en La Molina a $20,4^{\circ}\text{C}$ en Jesús María; la temperatura media del mes, considerando las estaciones analizadas, fue de $20,7^{\circ}\text{C}$. En cuanto a las humedades relativas, la máxima fluctuó entre 86 % en Jesús María a 100 % en La Molina; y la mínima osciló entre 54 % en El Callao a 85 % en La Molina (ver **figuras 15a y b**); la humedad relativa media fue de 82 %. El mes de diciembre presentaron días con brillo solar desde tempranas horas de la mañana hacia el atardecer que se manifestaron principalmente desde la segunda década.

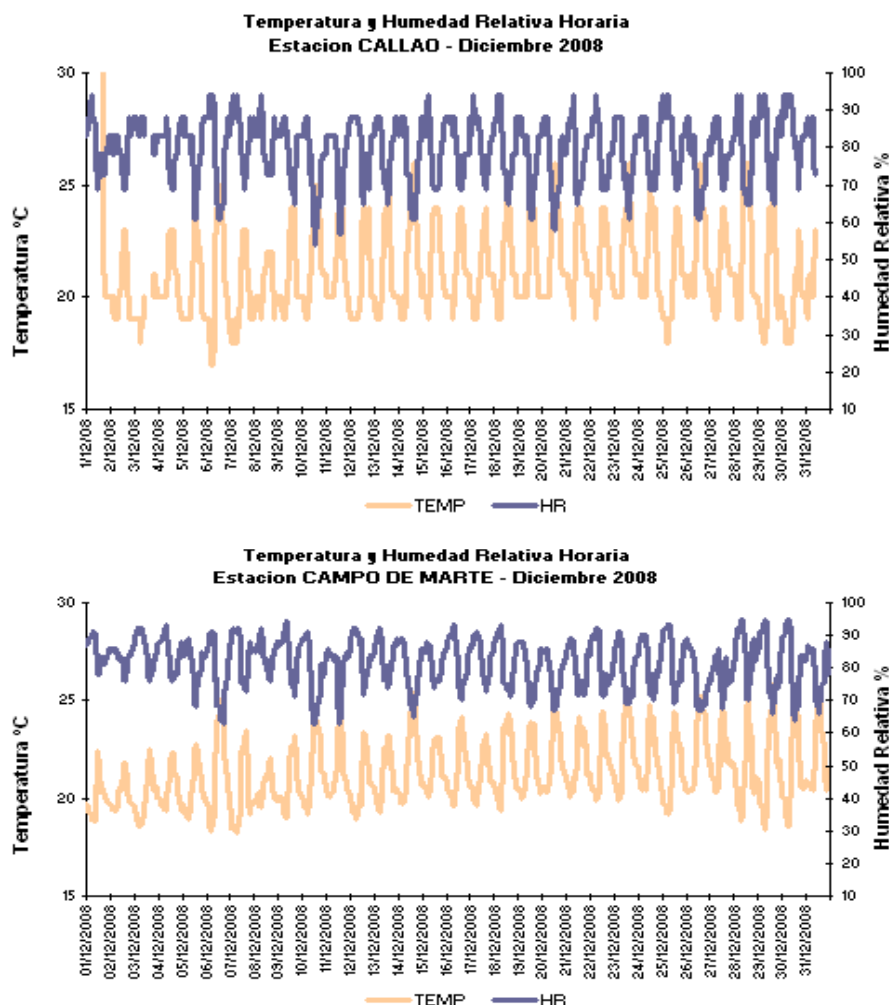


Fig 15a – Variación horaria de la Temperatura y Humedad relativa en las estaciones de El Callao y Jesús María - Diciembre 2008

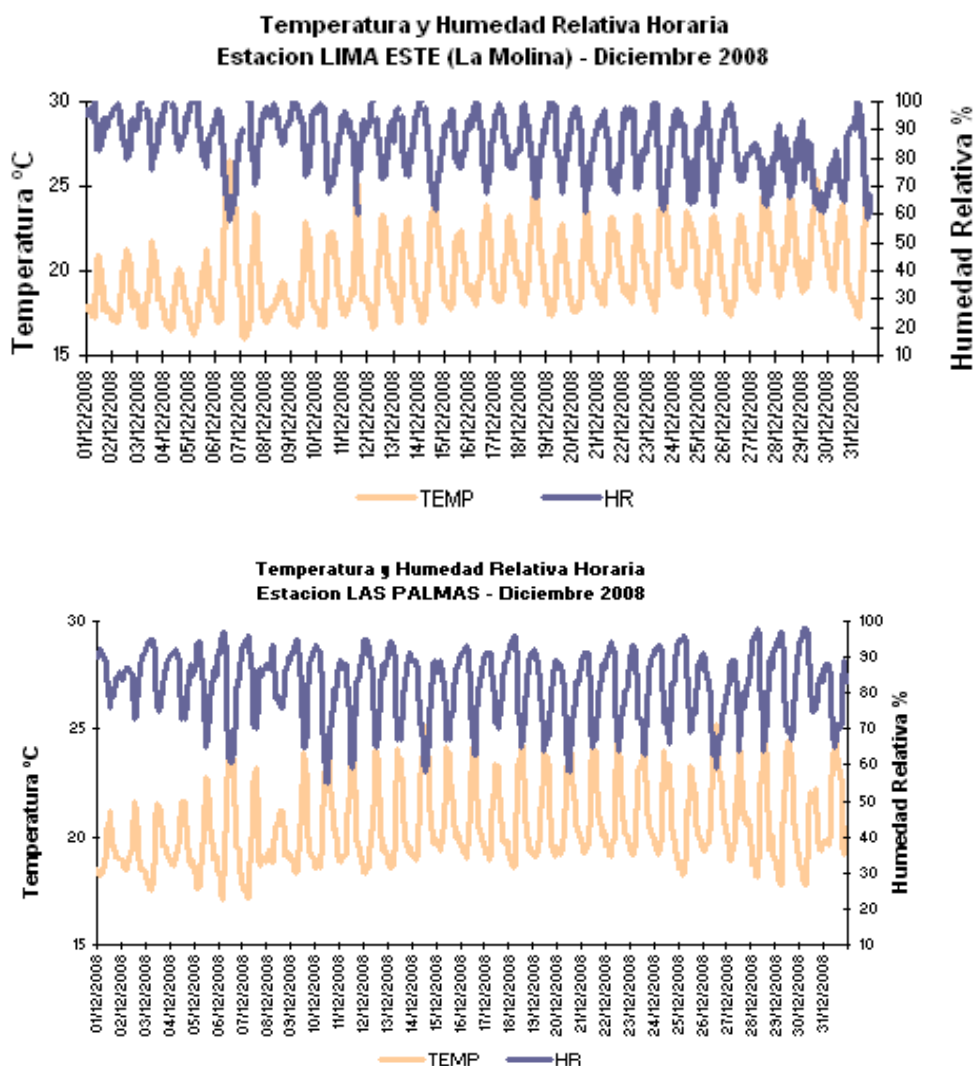


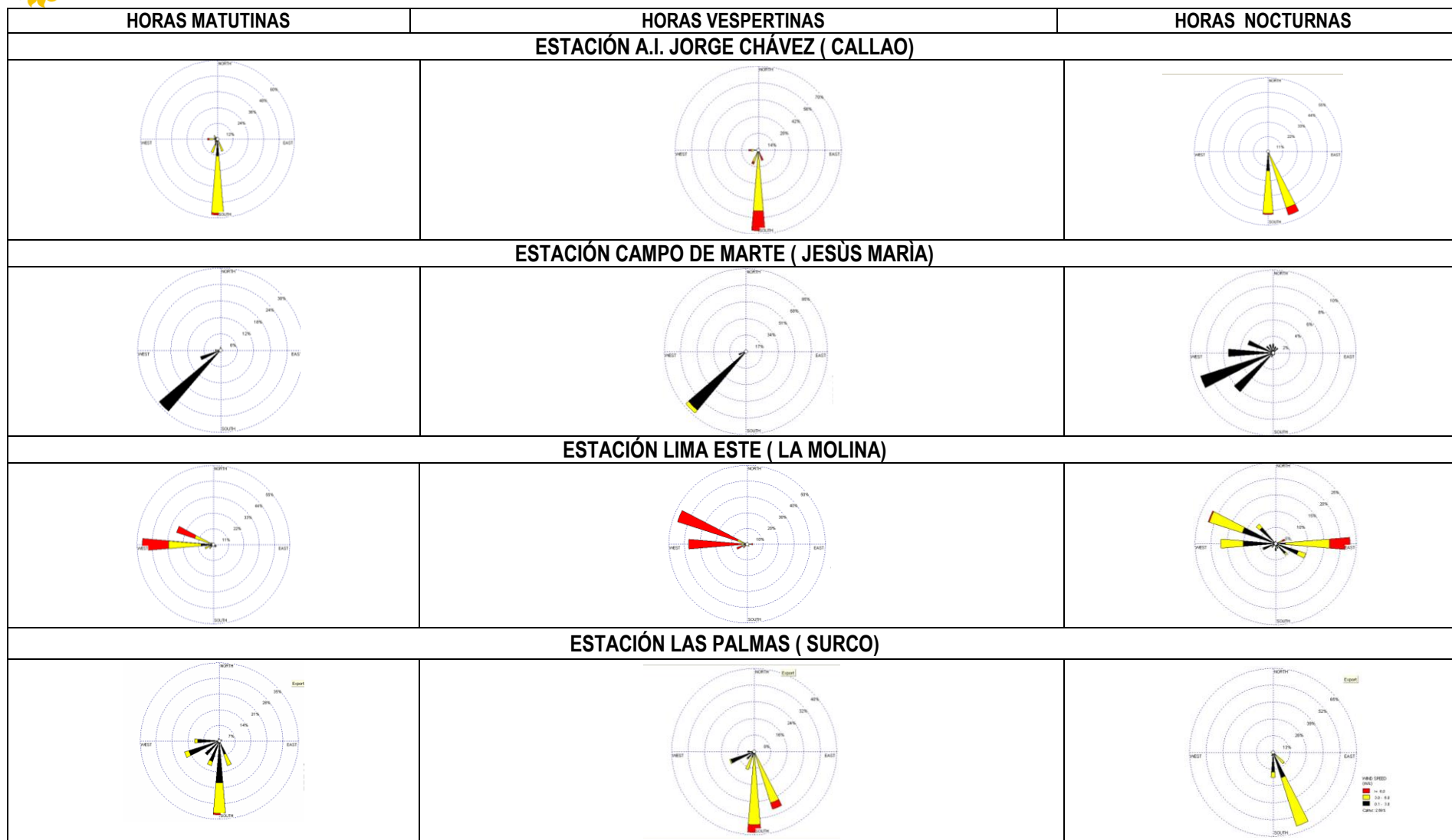
Figura 15b.- Variación horaria de la temperatura y humedad relativa durante el mes de diciembre del 2008 en La Molina y Santiago de Surco

c. Del viento superficial

La información horaria de viento superficial (velocidad y dirección) correspondiente al mes de diciembre es presentada en la **figura 16** 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) y El Callao que reportó velocidades medias entre 3 y 4,7 m/s. En la estación Campo de Marte se registró ocurrencia significativa de calmas (56,8 %).
- Durante el período vespertino (12:00 a 18:00 horas) se registraron vientos de intensidades débiles en Jesús María (1,1 m/s), moderadas en El Callao y Surco con velocidades medias de alrededor de 4, 5 m/s y con intensidades fuertes en La Molina (7,9 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 el Callao (0,1 m/s), La Molina (2,9 m/s) y Surco (2,9 m/s); mientras que la estación El Callao reportó intensidad moderada de 3,7 m/s. En la estación Campo de Marte se registró ocurrencia significativa de calmas (70,2 %).
- 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 (57 %) y NNW (13 %); manteniéndose en horas vespertinas vientos de componente sur con frecuencias de 66,8 % (S), 12,5 % (SSW) y 9 % (SSE); hacia horas de la noche predominaron vientos del SSE (50 %) y del S (47 %). En la estación Campo de Marte, se presentaron direcciones del SSW (29 %) y del SW (7,7 %) en horas matutinas, manteniéndose en horas vespertinas con frecuencias de 82 y 7,8 %, y en horas de la noche con frecuencias variables entre SW (%), SSW (6 %), S (5 %) y W (5 %)., se presentaron vientos de dirección N (80 %), SW (5 %) y WSW (6 %). En la estación Lima Este, en horas de la mañana predominaron vientos del W (51 %) y WNW (28 %), que se mantuvieron hacia horas vespertinas con frecuencias del 37 y 47 %, respectivamente, y en horas de la noche, con frecuencias de 22 % y 17 %, respectivamente. La estación Las Palmas (Surco), reportó direcciones del S (33 %) y SSW (16 %) en horas de la mañana; en horas vespertinas se presentaron vientos de componente sur con frecuencias de 39 % (S) y 29 % (SSE); hacia horas de la noche predominaron vientos del SSE (60 %) y del S (19 %).



WIND SPEED
(m/s)

- >= 6.0
- 3.0 - 6.0
- 0.1 - 3.0

**Fig 16 – Rosas de viento (m/s) en las estaciones de El Callao, Jesús María, La Molina y Surco
Diciembre 2008**

d. Del perfil de la troposfera

De acuerdo a la vigilancia sinóptica, utilizando salidas de la base de datos reanálisis y 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 entre -2 y +2 hPa en latitudes tropicales a -20 y +25 hPa en altas latitudes. Como consecuencia 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 (502.8 msnm) y la intensidad de la inversión (2,3°C/m). Asimismo, en la **figura 17**, se ha elegido el diagrama del sondeo del 08 de diciembre, en donde se puede observar que, el viento entre superficie y 700 hPa fue mayormente del SE, con 5 m/s de velocidad; entre 700 y 400 hPa cambió a vientos del N con velocidades variando entre 5 a 10 m/s; entre 400 y 250 hPa los vientos fueron del W con velocidades de hasta 25 y 30 m/s;; más arriba, los vientos del N fueron muy intensos hasta de 40 m/s.

**Cuadro N° 4: Características de la Capa de Inversión Térmica en la Costa Central de Perú
diciembre 2008**

PARÁMETRO	UNIDAD	MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	311	20 dic	10	08 dic	123
Altura Base	metro	1000	20 dic	128	06 dic	502,8
Altura Tope	metro	1311	20 dic	208	06 dic	625,9
T Base	° C	18.5	06 dic	3.7	20 dic	15,0
T Tope	° C	20.2	10 dic	16.1	08 y 20 dic	18,2
Gradiente	°C / metro	7,6	10 dic	0,4	06 dic	2,3
H.R. Base	%	100	03, 05, 06 dic	79	8,10,12,13, 17,19,20, 27,31 dic	84
H.R. Tope	%	100	03, 05 dic	64	8,10,12,13, 17,19,20 ,27,31 dic	72

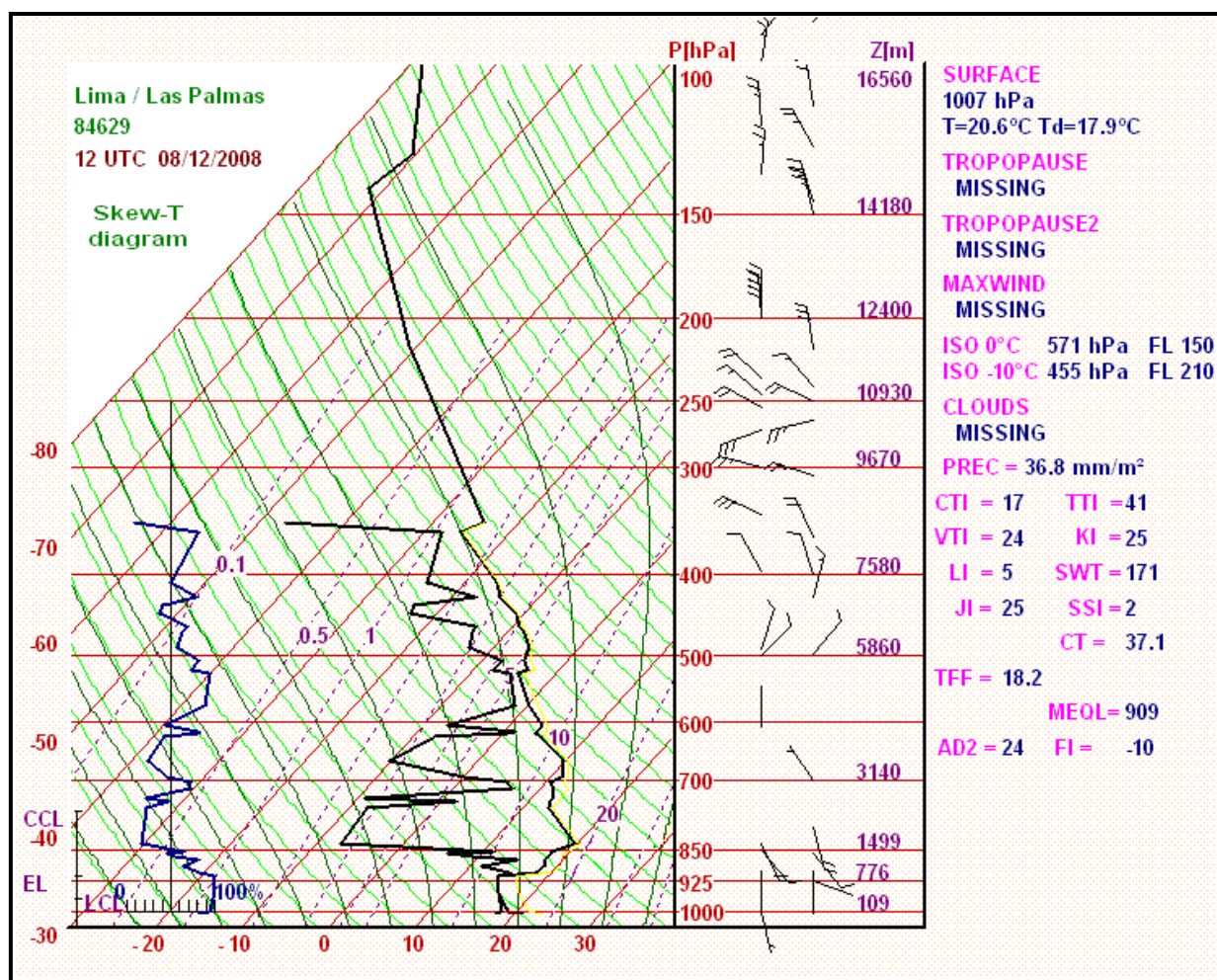


Figura 17.- Radiosondaje del día 08 de diciembre del 2008 en la Estación de radiosondeo Las Palmas (Surco)

4. Perspectivas Ambientales: Del Polvo Atmosférico Sedimentable

Tomando como referencia las condiciones climáticas de superficie pronosticadas para enero 2009, 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 enero.

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/km²/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 diciembre presentó el siguiente comportamiento:

Los niveles de contaminación en los principales núcleos durante diciembre fueron en promedio superiores a los registrados el mes de noviembre. La configuración resultante fue de 4 centros de alta contaminación: el primer núcleo se presentó en Lima norte con 37,0 t/km².mes; el segundo en Lima centro-este con un valor medio de 22,8 t/km².mes; el tercero en Lima sur-este con 24,5 t/km².mes; y el cuarto en Lima sur con una media de 34,6 t/km².mes.

El 73 % de las estaciones sobrepasaron el nivel referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud. La media mensual para las estaciones evaluadas fue de 12,5 t/km².mes; el valor máximo registrado fue de 37,0 t/km².mes en Independencia y el mínimo de 2,6 t/km².mes en Jesús María.

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

Las máximas concentraciones de **óxido nítrico (NO)** y **dióxido de nitrógeno (NO₂)** fueron de 119,2 ppb el día viernes 05 a las 9:00 horas y 34,7 ppb el día martes 23 a las 11:00 horas. Las mínimas concentraciones (0 – 2 ppb) se registraron en horas de la madrugada comprendidas entre las 4: 00 y 5:00 horas.

La concentración media de NO₂ para el mes de mayo fue de 14,1 ppb y la máxima (34,7 ppb) equivalió al 33 % del ECA Nacional horario para este contaminante. Las máximas concentraciones de NO₂ se presentaron los días martes y jueves (34,7 y 33,3 ppb, respectivamente); el día domingo la media fue de 11,1 ppb, menor en relación al resto de la semana.

El **dióxido de azufre (SO₂)** registró su valor máximo de 34,7 ppb el día martes 23 de diciembre a las 10:00 horas. Se observaron además dos picos horarios máximos de 5,3 ppb a las 10:00 y de 5,6 ppb a las 20:00 horas, coincidiendo de esta manera con las horas de mayor actividad vehicular.

La concentración media diaria mensual de SO₂ para el mes de diciembre fue de 3,0 ppb y la máxima diaria de 5,6 equivalió al 4 % del ECA Nacional horario para este contaminante.

El día martes 23 de diciembre (11:00 horas) se registró la mayor concentración de SO₂ equivalente a 34,7 ppb, mientras que la media del domingo fue de 1,7 ppb.

- ✓ En cuanto a la nubosidad horaria, la nubosidad baja estratiforme estuvo presente durante todos los días del mes, dando como resultado condiciones de cielo cubierto con presencia de fina garúa por las mañanas de algunos días, variando alrededor del medio día a condiciones de nublado parcial a nubes dispersas con presencia de insolación. Asimismo, se mostró en incremento la configuración de nubes medias y altas, producto de los trasvases.
- ✓ El mes de diciembre se caracterizó por presentar, principalmente desde la segunda década, días con brillo solar en horas desde tempranas horas de la mañana, manteniéndose hacia el atardecer. En cuanto al comportamiento de la temperatura y humedad relativa del aire, las medias de las estaciones analizadas en diciembre fueron de 19,2° C y 82 %. Así mismo el análisis medio señala el día martes 23 de diciembre como el más cálido con una máxima media de 26,1 ° C y el día lunes 1 como el más frío con un valor medio de 19,2 ° C. Con respecto a la humedad relativa, el día más seco fue el viernes 26 con la mínima media de 78 %, y el más húmedo el miércoles 03 de diciembre (88 %).
- ✓ 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 y El Callao con intensidades moderadas (3 – 4 m/s m/s) y con ocurrencia de calmas significativas en Jesús María; en horas vespertinas se presentaron intensidades medias débiles en Jesús María, moderadas en El Callao y Surco, y fuertes en La Molina (> 6 m/s); mientras que hacia horas de la noche se registraron intensidades medias débiles en todas las estaciones con excepción de El Callao (3, 7 m/s) y con ocurrencia significativa de calmas en Jesús María. En cuanto a las direcciones predominantes, se registraron principalmente vientos de componente sur, con excepción de la estación Lima Este (La Molina) en donde predominaron vientos de componente W.
- ✓ Durante el mes de diciembre 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 502,8 msnm e intensidad de 2,3°C/m.