



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología
e Hidrología del Perú - SENAMHI

Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011

Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales
del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
(SENAMHI)



Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011

Elaborado por:

Ph.D. Meteorología
Ing. Ambiental
Ing. Ambiental
Ing. Meteorólogo
Ing. Meteorólogo
Ing. Pesquero
Ing. Sistemas
Lic. Físico
Bach. Ing. Ambiental
Bach. Ing. Ambiental
Técnico en Computación

Odón Román Sánchez Ccoyllo
Carol Geimy Ordoñez Aquino
Mario Eduardo Gavidia Calderón
José Segundo Juan Silva Cotrina
José Fernando Carlos Canales
José Luis Angulo Fierro
David Ricardo Blas Lactayo
José Eulices Chávez Barturen
Rulman Raphael Aliaga Martínez
Aldo Alejandro Zevallos Amasifuén
Rosalinda Cedy Aguirre Almeyda

Colaboración:

PhD. Climatología e Hidrología Waldo Lavado Casimiro
Ing. Estadístico Marcia Valdéz Rosell
Técnico Electrónico Carlos Pardavé Trujillo

Lima 2013



Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011

© Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Jr. Cahuide 785 Jesús María, Lima - Perú

Central telefónica: (511) 614 1414

Email: dgia@senamhi.gob.pe

Página web: <http://www.senamhi.gob.pe>

Se permite su reproducción parcial o total, tratamiento informático, transmisión por cualquier forma o medio, sea electrónico, mecánico, por fotocopia u otros, con la simple indicación de la fuente.

Este estudio debe citarse de la siguiente forma:

Sánchez-Ccoyllo, O. R.; Ordoñez, C. G.; Gavidia, M. E.; Silva, J. S.; Angulo, J. L.; Blas, D. R.; Chávez, J. E.; Aliaga, R. R.; Zevallos, A.; Canales, J. C.; Aguirre, A.R. (2013). **Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011**. Lima: SENAMHI.

Corrección de estilo: Luis Manuel Claps



Presentación

Un medioambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida constituye un derecho fundamental de las personas y la sociedad, reconocido por la Constitución Política del Perú y las normas ambientales vigentes. En este marco, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) cumple un rol primordial en la vigilancia y pronóstico de la contaminación atmosférica en Lima Metropolitana, con la finalidad de preservar el medioambiente de los peligros de la contaminación tal como indica el artículo 4 inciso n) de la Ley 24031.

Numerosos estudios científicos vinculan la contaminación del aire con las enfermedades respiratorias e incluyen, recientemente, a las cardiovasculares, cardíacas y hepáticas. La Organización Mundial de la Salud (en su Nota descriptiva 313 de septiembre de 2011) señala: "La contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo".

El SENAMHI monitorea la calidad del aire en la ciudad de Lima y formula pronósticos de calidad del aire con las variables que intervienen en la dispersión, deposición y transporte de contaminantes, velocidad y dirección del viento, transporte por turbulencia (torbellinos), transporte por tipos de nubes, reacciones químicas en la atmósfera y fuentes contaminantes antropogénicas y biogénicas.

La Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del SENAMHI pronostica los niveles de contaminación atmosférica (partículas menores a 10 micrómetros, dióxido de azufre, ozono troposférico y óxidos de nitrógeno) en cinco distritos de Lima Metropolitana aplicando el modelo químico-dinámico de calidad del aire CCATT-BRAMS¹. Para ello, cuenta con cinco estaciones automáticas de monitoreo en los distritos de Ate (desde abril de 2010), San Borja (junio de 2010), Jesús María (septiembre de 2010), Santa Anita (junio de 2011) y Villa María del Triunfo (diciembre de 2011).

Los pronósticos de calidad del aire de Lima Metropolitana se publican diariamente en la página web: http://www.senamhi.gob.pe/calidad_aire.php

Ph.D. Odón Román Sánchez Ccoyllo

Dirección general de Investigación y Asuntos Ambientales del SENAMHI

¹ Coupled Chemistry Aerosol-Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System.



1. Introducción.....	1
2. Calidad del aire.....	2
2.1. Índice de Calidad del Aire	2
2.2. Contaminantes atmosféricos monitoreados	3
2.2.1. Material particulado menor de 10 micrómetros (PM ₁₀)	5
2.2.2. Dióxido de azufre (SO ₂)	6
2.2.3. Óxidos de nitrógeno (NO _x)	6
2.2.4. Ozono (O ₃).....	6
3. Red de monitoreo de calidad del aire.....	7
3.1. Objetivos	7
3.2. Redes de monitoreo de la calidad del aire.....	7
3.2.1. Red manual	7
3.2.2. Red automática.....	8
4. Calidad del aire en Lima Metropolitana.....	10
4.1. Condiciones meteorológicas sinópticas y climáticas en Lima Metropolitana – Callao.....	10
4.1.1. Aspectos sinópticos y meteorológicos locales.....	10
4.1.1.1. Verano (enero a marzo)	10
4.1.1.2. Otoño (abril a junio)	14
4.1.1.3. Invierno (julio a setiembre)	17
4.1.1.4. Primavera (octubre a diciembre)	20
4.1.2. Aspectos climáticos.....	23
4.1.2.1. Temperatura del aire	23
4.1.2.2. Humedad relativa del aire.....	27
4.1.2.3. Precipitaciones	30
4.1.2.4. Velocidad y dirección del viento superficial	33
4.2. Fuentes de contaminación atmosférica.....	36
4.2.1. Fuentes móviles	37
4.2.2. Fuentes puntuales o fuentes fijas	39
4.2.3. Fuentes de área	39
4.2.4. Fuentes naturales.....	39
4.3. Resultados de la vigilancia de la calidad del aire	40
4.3.1. Material particulado (PM ₁₀).....	40
4.3.2. Dióxido de azufre (SO ₂)	45
4.3.3. Dióxido de nitrógeno (NO ₂).....	49



4.3.4. Ozono (O ₃).....	53
5. Conclusiones	58
6. Referencias	59

Índice de cuadros

Cuadro 1. Índice de Calidad del Aire.....	2
Cuadro 2. Clasificación de los estados de la calidad del aire	3
Cuadro 3. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.....	4
Cuadro 4. Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire	5
Cuadro 5. Ubicación de las estaciones de vigilancia de la calidad del aire	8
Cuadro 6. Características de la capa de inversión térmica – verano 2011.....	11
Cuadro 7. Características de la capa de inversión térmica - otoño 2011	14
Cuadro 8. Característica de la capa de inversión térmica-invierno 2011	17
Cuadro 9. Características de la capa de inversión térmica - primavera 2011	20
Cuadro 10. Estaciones meteorológicas del SENAMHI.....	23
Cuadro 11. Temperatura del aire 2011	24
Cuadro 12. Temperaturas extremas - año 2011	25
Cuadro 13. Humedad relativa media del aire - año 2011	27
Cuadro 14. Humedad relativa extremas 2011	28
Cuadro 15. Lluvia total, mínima y número de días de lluvia	30
Cuadro 16. Lluvias según estaciones meteorológicas 2011	31
Cuadro 17. Velocidad y dirección del viento - año 2011	33
Cuadro 18. Velocidad y dirección del viento 2011	34
Cuadro 19 - Estimación de las emisiones del parque automotor de Lima-Callao del año 2010.....	38
Cuadro 20 - Aspectos e impactos ambientales del parque automotor	38

Índice de mapas

Mapa 1 - Ubicación de las estaciones de vigilancia de la calidad de aire.....	9
Mapa 2 - Vector viento superficial promedio (m/s).....	10
Mapa 3 - Presión a nivel del mar	10
Mapa 4 - Viento en horas vespertinas	13
Mapa 5 - Viento en horas nocturna	13
Mapa 6 - Viento en horas nocturnas	13
Mapa 7 - Vector viento superficial promedio.....	14
Mapa 8 - Presión a nivel del mar	14
Mapa 9 - Viento en horas diurnas.....	16
Mapa 10 - Viento en horas vespertinas	16
Mapa 11 - Viento en horas nocturnas	16
Mapa 12 - Viento superficial promedio (m/s)	17
Mapa 13 - Presión a nivel del mar	17
Mapa 14 - Viento en horas diurnas.....	19



Mapa 15 - Viento en horas vespertinas	19
Mapa 16- Vientos en horas nocturnas	19
Mapa 17 - Presión a nivel del mar	20
Mapa 18 - Vector viento superficial promedio (m/s)	20
Mapa 19 - Viento en horas vespertinas	22
Mapa 20 - Viento en horas nocturnas	22
Mapa 21 - Viento en horas diurnas	22

Índice de figuras

Figura 1 - Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez (verano 2011)	11
Figura 2 - Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez (otoño 2011)	15
Figura 3 - Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez (invierno 2011)	18
Figura 4 - Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez (primavera 2011)...	21
Figura 5 - Temperatura media, máxima media y mínima media de la ZMLC 2011 vs VC.....	24
Figura 6 - Temperatura media en estaciones de la ZMLC 2011	25
Figura 7 - Temperatura máxima media en estaciones de la ZMLC 2011	26
Figura 8 - Temperatura mínima media en estaciones de la ZMLC 2011	26
Figura 9 - Humedad relativa media, máxima media y mínima media de la ZMLC 2011 vs VC ..	28
Figura 10 - Humedad relativa media en estaciones de la ZMLC 2011	29
Figura 11 - Humedad relativa máxima media en estaciones de la ZMLC 2011	29
Figura 12 - Humedad relativa mínima media en estaciones de la ZMLC 2011	30
Figura 13 - Lluvia total y número de días de lluvia en la ZMLC 2011 vs VC.....	31
Figura 14 - Lluvia total en estaciones de la ZMLC 2011	32
Figura 15 - Lluvia máxima en 24h en estaciones de la ZMLC 2011	32
Figura 16 - Número de días con lluvia estaciones de la ZMLC 2011	33
Figura 17 - Velocidad y dirección media y velocidad máxima media del viento 2011 vs VC	35
Figura 18 - Velocidad media del viento en Estaciones de la ZMLC 2011	35
Figura 19 - Velocidad máxima media del viento en estaciones de la ZMLC 2011.....	36
Figura 20 - Comparación de las emisiones vehiculares e industriales.....	37
Figura 21 - Concentración media mensual de PM ₁₀ en las estaciones de SENAMHI 2011	42
Figura 22 - Máximas diarias de concentración de PM ₁₀ para cada estación de calidad de aire del SENAMHI 2011	43
Figura 23 - Distribución porcentual de estados de calidad del aire con respecto al PM ₁₀	44
Figura 24 - Evolución de la concentración media diaria de PM ₁₀ en 2011 en las estaciones de SENAMHI.....	45
Figura 25 - Concentración media mensual de SO ₂ en las estaciones de SENAMHI.....	46
Figura 26 - Máximas diarias de concentración de SO ₂ para cada estación de calidad de aire...47	
Figura 27 - Distribución porcentual de estados de calidad del aire con respecto al SO ₂	48
Figura 28 - Evolución de la concentración media diaria del SO ₂ en las estaciones de SENAMHI	49
Figura 29 - Concentración media mensual de NO ₂ en las estaciones de SENAMHI.....	50
Figura 30 - Máximas diarias de concentración de NO ₂ para cada estación de calidad de aire...51	
Figura 31 - Distribución porcentual de estados de calidad del aire con respecto al NO ₂	52
Figura 32 - Evolución de la concentración media horaria para NO ₂ en la estaciones de SENAMHI 2011	52
Figura 33 - Concentración media mensual de O ₃ en las estaciones de SENAMHI 2011	54
Figura 34 - Máximas diarias de concentración de O ₃ para cada estación de calidad de aire	55
Figura 35 - Distribución porcentual de estados de calidad del aire con respecto al O ₃	56



Figura 36 - Evolución de la concentración media móvil 8h para el O₃ en las estaciones de SENAMHI 201157



1. Introducción

El SENAMHI es uno de los 188 servicios meteorológicos reconocidos por la Organización Meteorológica Mundial² (OMM), por lo cual efectúa las acciones correspondientes en mérito a los convenios sobre composición atmosférica como la Convención sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (LRTAT, por sus siglas en inglés) de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (1979), el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono (1985) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1994).

En cumplimiento de su ley orgánica, el SENAMHI ejecuta la vigilancia de las condiciones meteorológicas y los contaminantes atmosféricos.

En Lima Metropolitana, la vigilancia de la calidad de aire se efectúa en cinco estaciones automáticas ubicadas en los distritos de Ate, San Borja, Jesús María, Santa Anita y Villa María del Triunfo. En estas estaciones se miden los contaminantes criterio, es decir: material particulado menor de 10 micrómetros (PM₁₀), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxidos de nitrógeno (NO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y ozono superficial (O₃). Cabe recalcar que la red de vigilancia de la calidad del aire del SENAMHI inició su funcionamiento a partir del 2010 y las cinco estaciones que actualmente la integran terminaron de instalarse en 2012.

Este informe registra la concentración media mensual por cada contaminante, identifica dos concentraciones máximas diarias, explica la distribución porcentual de la calidad y finalmente presenta la evolución de la concentración media diaria por tipo de contaminante comparándola con las registradas en las demás estaciones. Se considera la información de cuatro estaciones, pues la estación de Villa María del Triunfo inició su funcionamiento recién en diciembre de 2011.

Entre los principales resultados, se destaca que el mayor problema de Lima Metropolitana siguen siendo las altas concentraciones de material particulado menor a 10 micrómetros, que en el distrito de Ate sobrepasaron 48 veces el Estándar de Calidad Ambiental del Aire (ECA) en 2011. Si bien es cierto que los valores de NO₂ no superan el ECA, en algunos días se registraron altas concentraciones asociadas al constante aumento de la flota vehicular. Se reportan también concentraciones bajas de ozono y dióxido de azufre, que pueden deberse a la introducción de mejores combustibles. Las estaciones ubicadas en Ate y Santa Anita muestran los mayores índices de contaminación, mientras que San Borja y Jesús María son los distritos más limpios.

² [https://www.wmo.int/pages/index_es.html]

2. Calidad del aire

2.1. Índice de Calidad del Aire

El estado de la calidad del aire en Lima Metropolitana se emite diariamente a través del portal institucional del SENAMHI (www.senamhi.gob.pe). El Índice de Calidad del Aire (ICA) se categoriza como bueno, moderado, malo, muy malo y alerta máxima.

La clasificación está basada en los valores establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire y los Niveles de Alerta Nacional de Contaminantes del Aire. Expresados en un ICA, los ICA son una herramienta muy simple que explica la calidad del aire en cada distrito monitoreado.

Para establecer la categoría global de cada estación se utiliza el índice más elevado de los contaminantes monitoreados, representados en el cuadro 1. El dióxido de nitrógeno y el ozono no presentan índices en las dos últimas categorías debido que la legislación vigente no lo establece.

Los efectos a la salud humana de acuerdo a la categoría del estado de la calidad del aire y las acciones preventivas, son descritos en el cuadro 2.

Cuadro 1. Índice de Calidad del Aire

Índice de calidad del aire (ICA)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)
	24h	24h	1h	8h
0 – 50	0 - 50	0 - 20	0 - 40	0 - 60
>50 – 100	>50 - 150	>20 - 80	>40 - 200	>60 - 120
>100 – 200	>150 - 250	>80 - 500	>200	>120
>200 – 300	>250 - 420	>500 - 2500		
> 300	>420	>2500		

Fuente: adaptado de <http://www.epa.gov/>, basado en el DS 074-2001-PCM y DS 003-2008-MINAM.

Cuadro 2. Clasificación de los estados de la calidad del aire

Estado de calidad del aire	ICA	Efectos en la salud	Acciones preventivas
Bueno	0 a 50	No hay riesgos en la salud	
Moderado	>50 a 100	Las personas de los grupos sensibles pueden presentar síntomas como tos y cansancio	
Malo	>100 a 200	La población puede padecer síntomas como tos seca, ojos cansados, ardor en la nariz y garganta	Reducir el esfuerzo físico y el trabajo pesado al aire libre
Muy malo	>200 a 300	Toda la población puede presentar agravamiento de los síntomas como tos seca, ojos cansados, ardor en la nariz y garganta	Evitar cualquier esfuerzo físico al aire libre
Alerta máxima	>300 a 500	Toda la población puede padecer riesgos graves y manifestaciones de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Aumento de las muertes prematuras en personas de los grupos más sensibles.	Evitar cualquier actividad al aire libre

Fuente: adaptado de <http://www.epa.gov>

2.2. Contaminantes atmosféricos monitoreados

La red de vigilancia de la calidad del aire del SENAMHI monitorea permanentemente los siguientes contaminantes: dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de nitrógeno (NO), óxido de nitrógeno (NO_x), ozono troposférico (O₃) y partículas menores de 10 micrómetros (PM₁₀).

También verifica que se cumplan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, establecidos por el Decreto Supremo 074-2001-PCM y el Decreto Supremo 003-2008-MINAM (cuadro 3). Asimismo, emite avisos cuando se sobrepasan los Niveles de Estado de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire, señalados en el Decreto Supremo 009-2003-SA y el Decreto Supremo 012-2005-SA (cuadro 4).

**Cuadro 3. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire**

Contaminante	Periodo	Forma del Estándar				Vigencia	Método del Análisis
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb 25°C 1atm	ppm	Formato		
SO ₂	24h	80	30.6	0.03	Media Aritmética, NE más de 1 vez al año	Vigente	Fluorescencia UV
	24h	20	7.7	0.01		Enero 2014	
PM ₁₀	24h	150	-	-	NE más de 3 veces al año	Vigente	Separación inercial/filtración (gravimetría)
	Anual	50	-	-	Media Aritmética anual	Vigente	
PM _{2.5}	24h	50	-	-		Vigente	Separación inercial/filtración (gravimetría)
	Anual	-					
	24h	25	-	-		Enero 2014	
CO	1h	30000	26100.0	26.1	NE más de una vez al año	Vigente	Infrarrojo no dispersivo
	8h	10000	8700.0	8.7	Promedio móvil	Vigente	
NO ₂	1h	200	106.4	-	NE más de 24 veces al año	Vigente	Quimioluminiscencia
	Anual	100	53.2	-	Media Aritmética anual	Vigente	
O ₃	8h	120	61.2	-	NE más de 24 veces al año	Vigente	Fotometría UV
Pb	Mensual	1.5		-		Vigente	
	Anual	0.5		-		Vigente	
Benceno	Anual	4		-		Vigente	
	Anual	2		-		Enero 2014	
Hexano (HT)	24h	100		-		Vigente	
H ₂ S	24h	150	107.9	-		Vigente	

Elaboración propia, basado en el DS 009-2003-PCM y DS 003-2008-MINAM.

Cuadro 4. Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire

Tipos de alerta	Material particulado (PM ₁₀)		Dióxido de azufre (SO ₂)		Monóxido de carbono (CO)		Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S)	
	µg/m ³	Periodo	µg/m ³	Periodo	µg/m ³	Periodo	µg/m ³	Periodo
Cuidado	> 250	promedio aritmético 24 horas	> 500	promedio móvil 3 horas	> 1500	promedio móvil 8 horas	> 1500	promedio móvil 24 horas
Peligro	> 350	promedio aritmético 24 horas	> 1500	promedio móvil 2 horas	> 2000	promedio móvil 8 horas	> 3000	promedio móvil 24 horas
Emergencia	> 420	promedio aritmético 24 horas	> 2500	promedio móvil 90 minutos	> 35000	promedio móvil 8 horas	> 5000	promedio móvil 24 horas

Elaboración propia, basado en Decreto Supremo 009-2003-SA y el Decreto Supremo 012-2005-SA.

2.2.1. Material particulado menor de 10 micrómetros (PM₁₀)

El material particulado se clasifica según su tamaño: PM_{2.5} corresponde a las partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 µm y PM₁₀, a las menores de 10 µm³.

Dichas partículas provienen de los procesos de combustión de fuentes tanto móviles como fijas y de fenómenos naturales. La composición química del material particulado varía de acuerdo a la fuente.

Las partículas son eliminadas de la atmósfera mediante dos mecanismos: la deposición en la superficie de la Tierra (deposición seca) y la incorporación a gotas de las nubes durante la formación de la lluvia (deposición húmeda) (Seinfeld, 2006).

Actualmente el ECA vigente establece un valor promedio horario de PM₁₀ de 150 µg/m³ y un valor promedio anual de 50 µg/m³.

³

Actualmente solo se monitorea PM₁₀, posteriormente se implementará equipos para monitorear PM_{2.5}.

2.2.2. Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre es un gas incoloro que se percibe por un fuerte olor a niveles superiores a 0,5 ppmv.

El SO₂ es un precursor del ácido sulfúrico (H₂SO₄), componente que contribuye a la deposición ácida y el cambio climático.

Algunas fuentes son las plantas eléctricas a carbón, los tubos de escape de los automóviles y los volcanes. El SO₂ se elimina por reacción química, disolución en agua y transferencias a los suelos y los casquetes polares (Jacobson, 2002).

El ECA vigente establece un valor promedio horario de SO₂ de 80 µg/m³. Para el año 2014 será un valor promedio horario de 20 µg/m³.

2.2.3. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es emitido en los procesos de combustión junto con el NO y se forma también en la atmósfera por la oxidación de NO. La suma de NO y NO₂ se suele designar como NO_x.

La importancia del dióxido de nitrógeno radica en su capacidad de absorber toda la gama visible y ultravioleta del espectro solar en la atmósfera inferior.

Además de los efectos a la visibilidad y la salud humana, el NO₂ desempeña un papel primordial en la denominada contaminación atmosférica fotoquímica (Seinfeld, 2006).

El ECA vigente establece un valor horario de 200 µg/m³ y valor promedio anual de 100 µg/m³.

2.2.4. Ozono (O₃)

El ozono se forma en la atmósfera por reacciones fotoquímicas en presencia de luz solar y contaminantes precursores como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y diversos compuestos orgánicos volátiles (COV). Se destruye en reacciones con el NO₂ y se deposita en el suelo (OMS, 2005).

El ECA vigente establece un valor móvil de ocho horas de 120 µg/m³.

3. Red de monitoreo de calidad del aire

3.1. Objetivos

- Realizar la vigilancia atmosférica a fin de prevenir los peligros de la contaminación del aire.
- Analizar las tendencias de la calidad del aire a partir de las alteraciones de las emisiones y las fuentes.
- Informar a los organismos públicos y la sociedad en general sobre los niveles de contaminantes presentes en el aire.
- Evaluar la calidad del aire en situaciones específicas como episodios críticos de contaminación atmosférica.

3.2. Redes de monitoreo de la calidad del aire

3.2.1. Red manual

El SENAMHI cuenta con cuarenta puntos de muestreo de contaminantes sólidos sedimentables (CSS) instalados en la Zona Metropolitana de Lima - Callao que recopilan información desde el año 2002 hasta la fecha.

Estos valores obtenidos son comparados con el límite referencial establecido por la Organización Mundial de la Salud de $5t/km^2/mes$. Se evalúan los valores promedio, máximos y mínimos y se explica su interrelación con las condiciones meteorológicas observadas.

Con la información histórica recopilada se realizó un diagnóstico de la caracterización por contaminantes sólidos sedimentables, donde se identificaron las zonas más críticas de la ciudad de Lima Metropolitana – Callao. El estudio sirvió como línea de base para el diseño de la red automática de calidad de aire del SENAMHI.

La información se divulga en boletines mensuales que se encuentran disponibles en el portal institucional del SENAMHI, en el siguiente enlace: <http://www.senamhi.gob.pe/?p=0400>

3.2.2. Red automática

La red de monitoreo de la calidad del aire del SENAMHI en Lima Metropolitana consta de cinco estaciones dotados con equipos automáticos que monitorean de una manera constante los contaminantes: material particulado (PM_{10}), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y ozono superficial (O_3). Se encuentran ubicadas en los distritos de San Borja, Ate, Jesús María, Santa Anita y Villa María del Triunfo, tal como se muestra en el cuadro 5 y mapa 1. Las estaciones de Santa Anita y Villa María del Triunfo cuentan con una estación meteorológica que mide presión, humedad relativa, radiación ultravioleta y temperatura del aire.

Debido a sus características geográficas, al comportamiento atmosférico, a las fuentes de contaminación que representan un potencial riesgo ambiental y a las emisiones vehiculares e industriales, la vigilancia atmosférica de Lima Metropolitana es una tarea primordial. Por esta razón, el SENAMHI implementará cinco estaciones automáticas adicionales que contarán además con equipos analizadores de $PM_{2.5}$, CO y estaciones meteorológicas. Los distritos beneficiados serán Puente Piedra, Comas, San Martín de Porres, San Juan de Lurigancho y el Centro Poblado de Santa María de Huachipa.

Cuadro 5. Ubicación de las estaciones de vigilancia de la calidad del aire

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Dirección	Referencia
1 San Borja	8661900	283200	136	Calle Malachowki 550	Polideportivo Limatambo
2 Jesús María	8664893	277601	110	Jr. Nazca s/n	Parque Campo de Marte
3 Ate	8669823	291097	362	Carretera Central Km 7.5	Palacio Municipal
4 Santa Anita	8667937	285325	276	Av. Los Eucaliptos cdra. 12	Palacio Municipal
5 Villa María del Triunfo	8654306	291077	292	Av. 26 de Noviembre s/n - Sector Nueva Esperanza	Parque Virgen de Lourdes

Elaboración propia

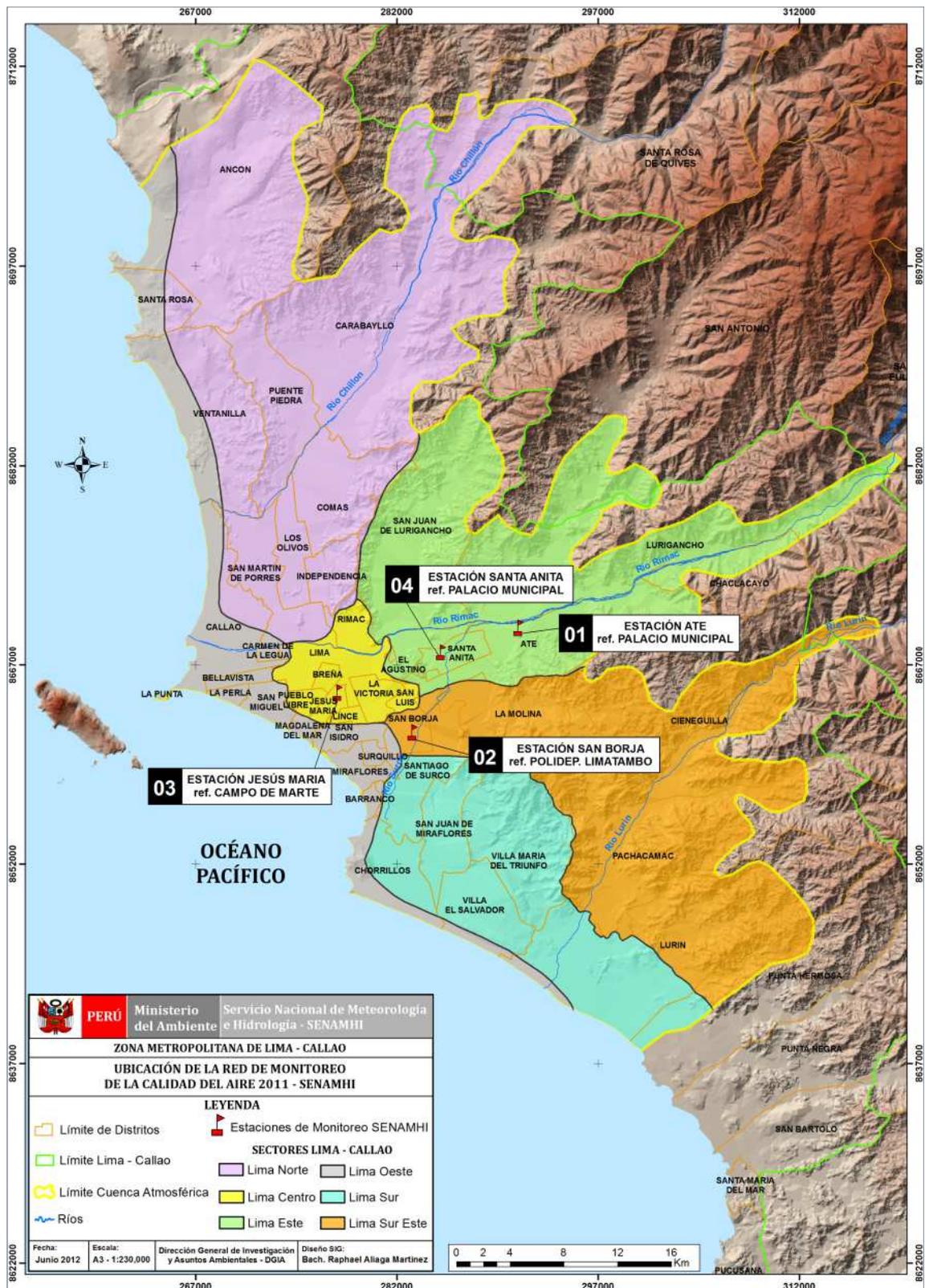


PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Mapa 1 - Ubicación de las estaciones de vigilancia de la calidad de aire



4. Calidad del aire en Lima Metropolitana

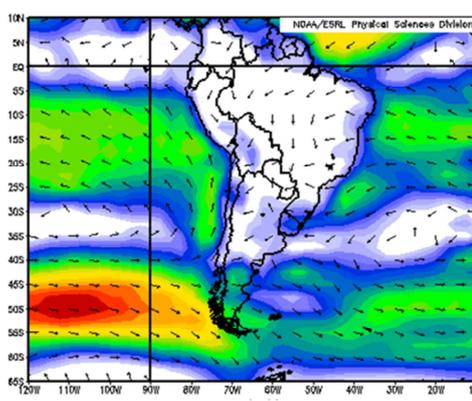
4.1. Condiciones meteorológicas sinópticas y climáticas en Lima Metropolitana – Callao

4.1.1. Aspectos sinópticos y meteorológicos locales

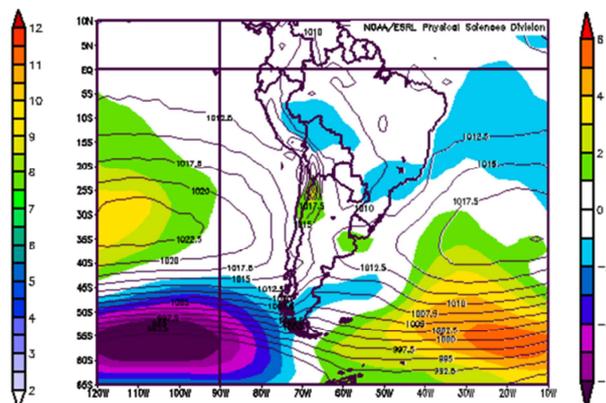
Se realizó la evaluación estacional de las condiciones meteorológicas sinópticas y locales de superficie y altura mediante salidas de reanálisis del National Center for Environmental Prediction (NCEP) y National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), complementado con información de la red meteorológica local de superficie y una de radio sonda (07:00 hora local), respectivamente.

4.1.1.1. Verano (enero a marzo)

Durante el verano 2011, las condiciones sinópticas mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1015 y 1030; media de 1022,5 hPa en los 32° S y 110° W; anomalías entre 0 y +3 hPa en latitudes tropicales y entre 0 y -5 hPa en altas latitudes del SW y S (mapa 3). Las anomalías de TSM varían entre -1,3 y +1,2°C en latitudes tropicales y entre -1,5 y +1.5°C en altas latitudes. En los niveles bajos de la atmósfera, vientos fuertes del oeste en altas latitudes del pacifico suroriental con intensidades mayores a 10 m/s y de débiles a moderados (2 a 4 m/s) mayormente del este sobre el continente sudamericano y del sur y sureste sobre las bajas latitudes del Pacífico suroriental. En el dominio marítimo, vientos con dirección predominante del sur-sureste a sureste y velocidades entre 2 y 7 m/s (mapa 2); afloramiento marino activo e intensa inversión térmica con altura promedio de su base a 358 m, espesor medio 228 m y gradiente promedio de 1,4°C/100 m (cuadro 6).



Mapa 3 - Vector viento superficial promedio



Mapa 2 - Presión a nivel del mar

Cuadro 6. Características de la capa de inversión térmica – verano 2011

PARÁMETRO	UNIDAD	VERANO 2011				
		MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	635	15-feb	54	05-ene	228
Altura Base	metro	2782	04-feb	13	12-mar	358
Altura Tope	metro	3015	04-feb	200	25-feb	594
T Base	°C	22,4	10-mar	6.6	27-mar	17,3
T Tope	°C	23,6	15-mar	10.4	06-feb	20,0
Gradiente	°C/metro	3,4	01-mar	0.1	24-feb	1,4
H.R. Base	%	98	27-feb	54	04-feb	86
H.R.Tope	%	82	12-feb	25	14-mar	54

Estación A.I Jorge Chávez (verano 2011)

Estas condiciones dieron lugar a la presencia eventual de nieblas/neblinas en las primeras horas de la mañana y en horas nocturnas sobre los distritos costeros, así como escasa formación de nubosidad estratiforme baja (base < 500 m.s.n.m.) sobre el resto de la zona urbana (figura 1); fueron muy pocos los días con cielo cubierto con ocurrencia de garúas y la mayor parte de los días con nublado parcial, nubes dispersas y presencia de alta insolación que contribuyó a que la temperatura del aire alcance su máximo valor medio mensual en la parte central del verano; en la Zona Metropolitana de Lima - Callao los promedios de temperatura del aire y humedad relativa fueron de 21,8°C y 80%. Se alcanzaron los valores de 19,1°C el día 28 de marzo (día más frío) y 24.2°C el día 25 de febrero (día más cálido). La humedad relativa fue de 90% el día 14 de febrero (día más húmedo) y 67% el 4 de marzo (día más seco).

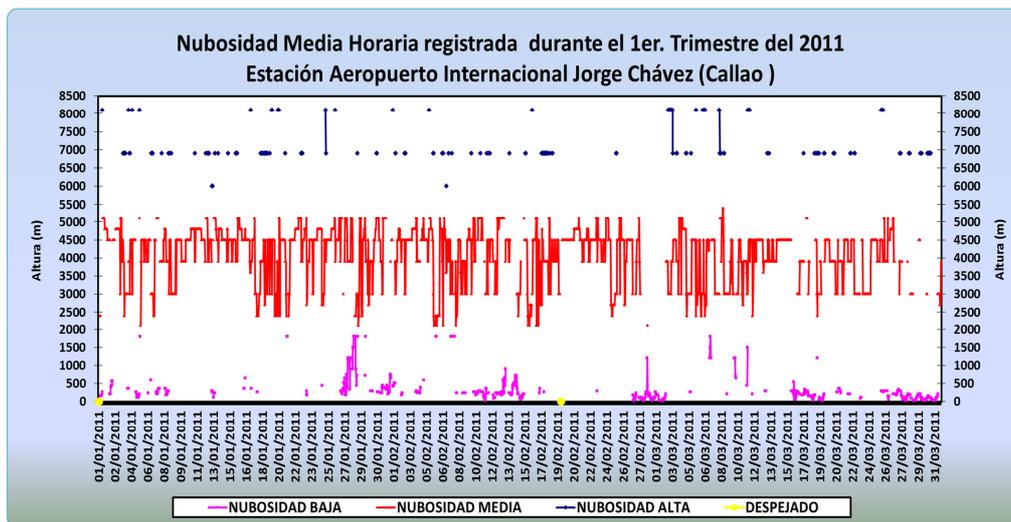


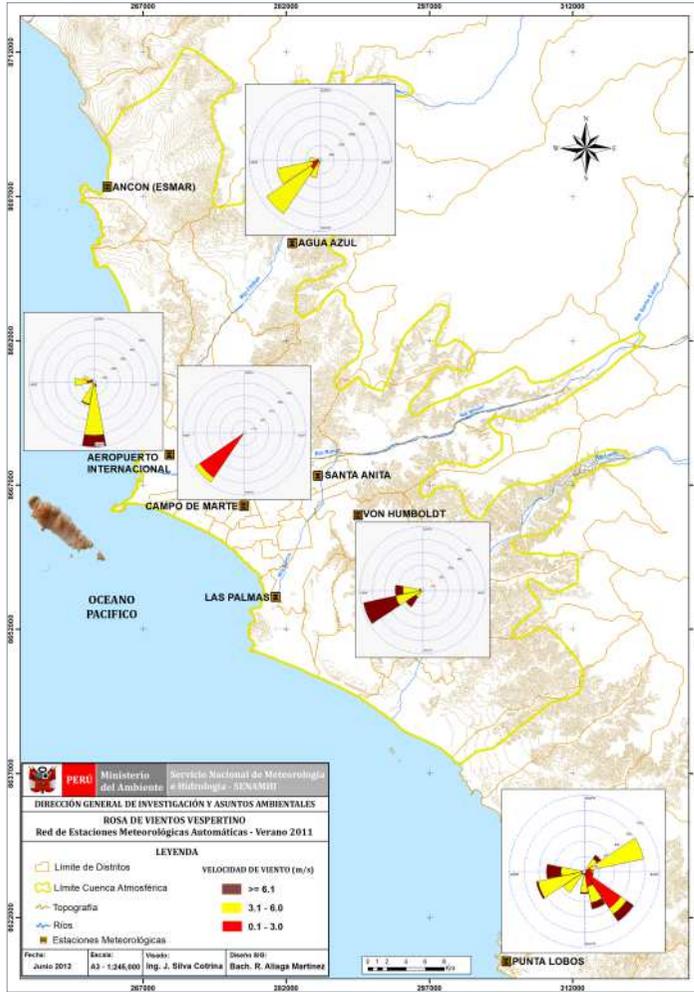
Figura 1 - Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez (verano 2011)

El campo de vientos locales, durante el periodo de verano 2011 (mapas 4, 5 y 6), permite observar que los vientos a lo largo de la costa peruana variaron entre calmos, débiles, moderados y fuertes, con direcciones predominantes del

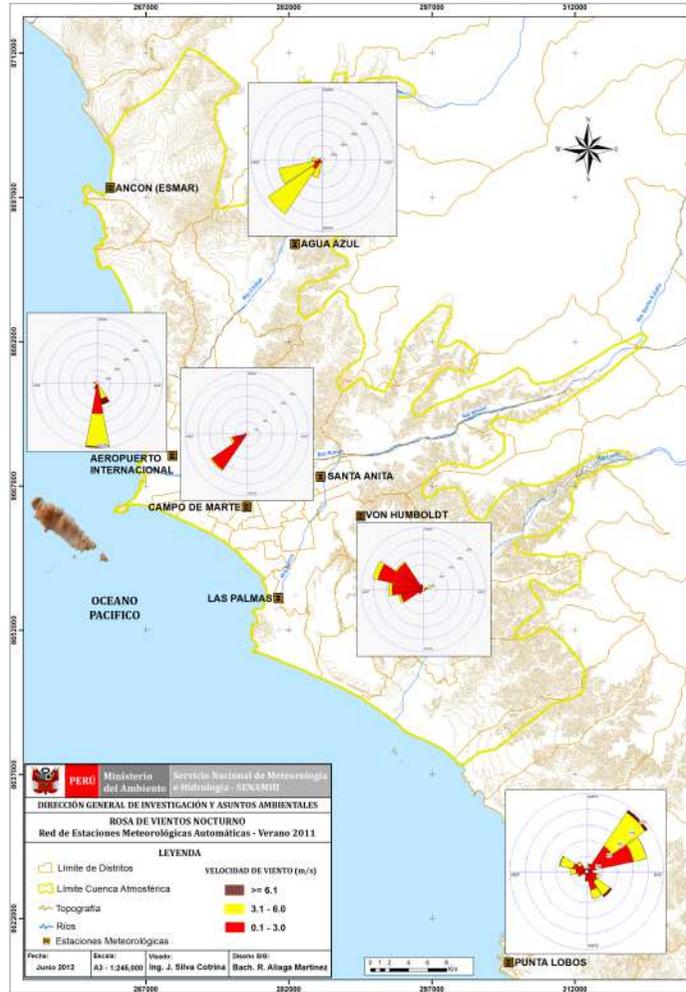


SE, S y SW, con presencia en horas diurnas de flujos del NW y en las horas nocturnas del E y NE en Lima Este; los vientos más intensos (≥ 6 m/s) se presentaron en horario vespertino en Lima Centro, Este y Lima Sur, y los más débiles (1.0-3.0 m/s) fueron en horario diurno (principalmente) y nocturno, con una presencia de hasta del 31.2% en Lima Oeste y Callao.

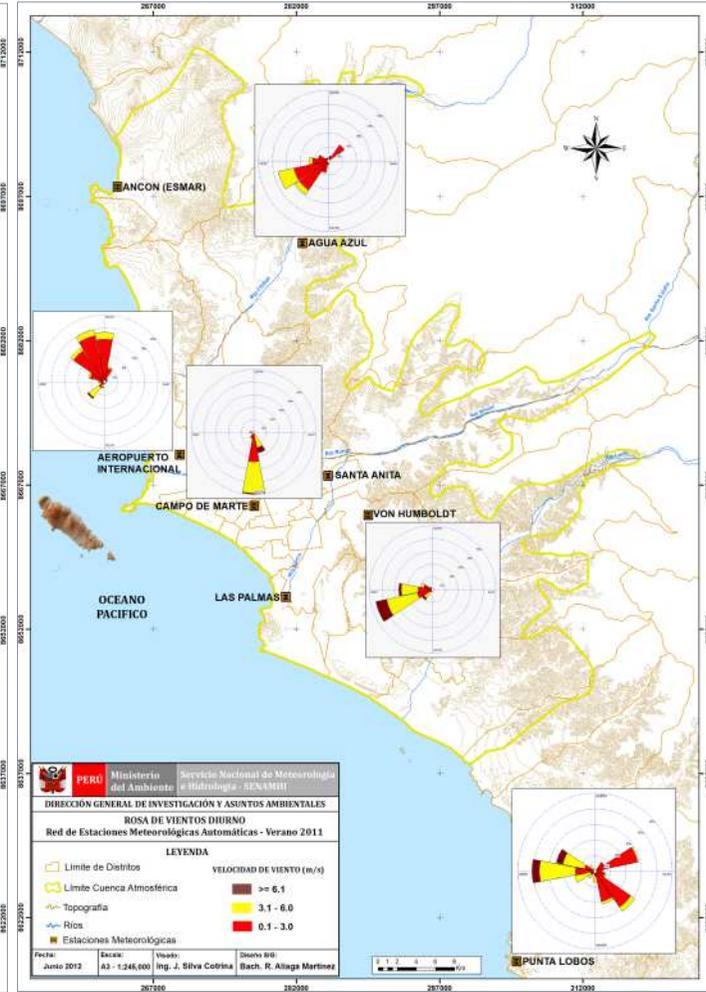
En esta estación de verano 2011, se presentaron lluvias totales medias muy ligeras en los meses de enero y marzo, con un acumulado de 0.7 mm.



Mapa 4 - Viento en horas vespertinas



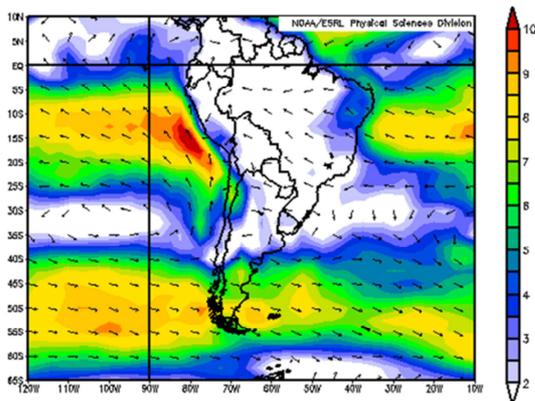
Mapa 5 - Viento en horas nocturna



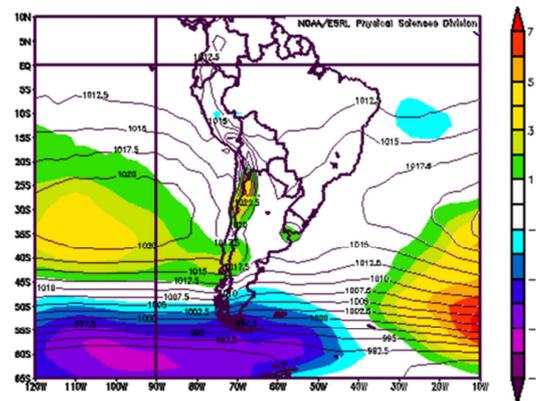
Mapa 6 - Viento en horas nocturnas

4.1.1.2. Otoño (abril a junio)

Durante el otoño 2011, las condiciones meteorológicas sinópticas mostraron un comportamiento muy variable de las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variando entre 1012,5 y 1035 hPa; media de 1020 hPa en los 31° S y 101° W; anomalías entre 0 y +2 hPa en latitudes tropicales a 0 y -3 hPa en altas latitudes del SW y S (mapa 8). Las anomalías de TSM cambiaron a positivas, variando entre 0 a +2°C en latitudes tropicales y entre -1 y 0°C en altas latitudes del SW y S; en los niveles bajos de la atmósfera, si bien disminuye la intensidad de los vientos del oeste (< a 10 m/s) en altas latitudes del Pacífico suroriental; sin embargo, en bajas latitudes del mismo Pacífico suroriental, vientos del SSE y SE superaron los 10 m/s frente a la costa peruana (mapa 7) lo que ocasionó un afloramiento marino de activo a muy activo e intensificación de la inversión térmica por subsidencia con su base a 828 m.s.n.m., espesor de 340 m y gradiente de 1,9° C/100 m (cuadro 7).



Mapa 7 - Vector viento superficial promedio



Mapa 8 - Presión a nivel del mar

Cuadro 7. Características de la capa de inversión térmica - otoño 2011

PARÁMETRO	UNIDAD	OTOÑO 2011				
		MÁXIMO	MÍNIMO		PROMEDIO	
Espesor	metro	999	07-may	100	03-may	340
Altura Base	metro	2016	20-may	13	06-abr	828
Altura Tope	metro	2381	20-may	332	22-abr	1185
T Base	°C	18,8	07-abr	8,8	30-jun	14,0
T Tope	°C	23,2	14-abr	11,4	29-jun	19,4
Gradiente	°C/metro	6,3	15-jun	0,3	08-may	1,9
H.R. Base	%	100	17 y 19 – Mayo	20	21-may	83
H.R.Tope	%	98	11-may	9	12-jun	51

Estación A.I. Jorge Chávez (otoño 2011)

Las condiciones meteorológicas sinópticas descritas y sus interacciones llevaron a un incremento de la frecuencia de nubosidad estratiforme baja sobre los distritos costeros de la capital (base < 500 m.s.n.m.) (figura 2). La altura y

gradiente de la inversión térmica explican el incremento del número de días cubiertos sobre todos los distritos de la ciudad capital. Hubo muy pocos días con nublado parcial, nubes dispersas y presencia de insolación, lo que contribuyó a que la temperatura del aire, en la presente estación, después de haber iniciado su descenso al final del verano y la humedad relativa su ascenso, habiéndose aproximado a sus valores más bajos y más altos, respectivamente, en la Zona Metropolitana de Lima-Callao, presentaron los valores medios de área de $19,2^{\circ}\text{C}$ y 85% . Asimismo, la temperatura del aire y la humedad relativa presentaron valores extremos medios de área de $17,3^{\circ}\text{C}$ el día 24 de junio (día más frío) y $21,4^{\circ}\text{C}$ el 1 de abril (día más cálido). Y la humedad relativa fue de 93% el día 19 de junio (día más húmedo) y de 79% el día 14 de abril (día más seco).

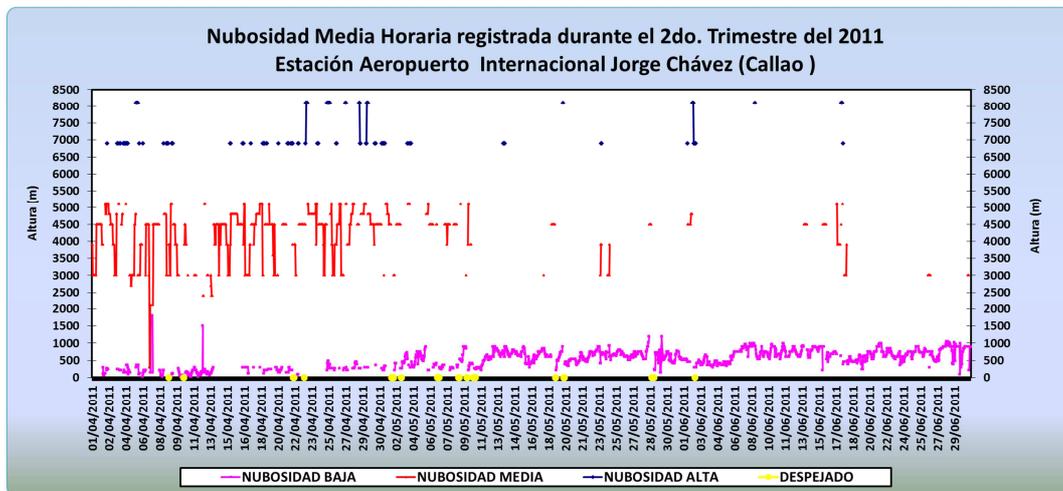
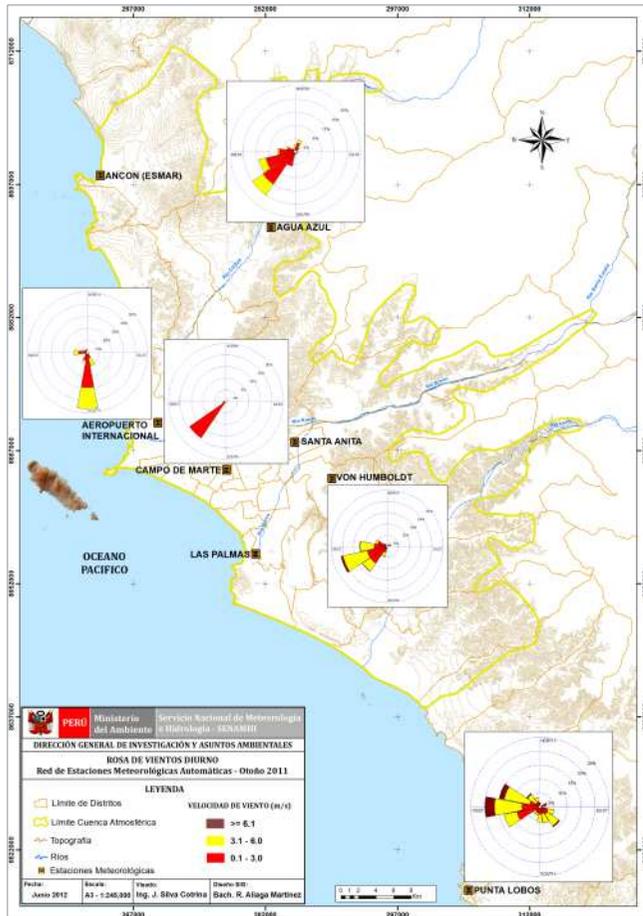


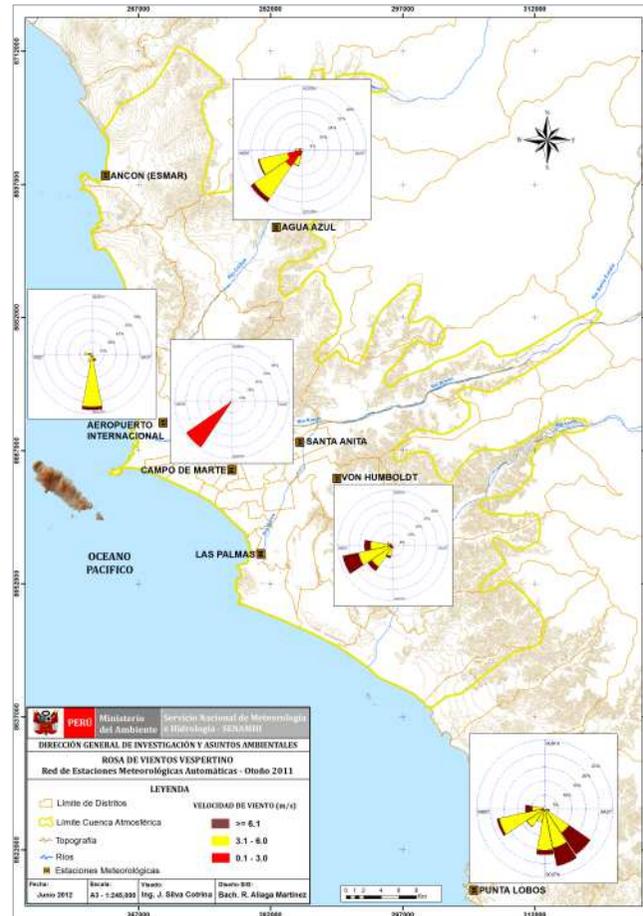
Figura 2 - Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez (otoño 2011)

El campo de vientos locales durante el periodo de otoño 2011 (mapas 9, 10 y 11) permite observar que los vientos de superficie a lo largo de la costa peruana variaron entre calmos, débiles, moderados a fuertes, con direcciones predominantes entre SE, S, SW y W, con intensidades de débiles a moderadas ($1.0\text{-}4.0\text{ m/s}$) durante la mañana. Por la noche, con valores de calmas referencial de hasta 4.8% en la estación del A.I. Jorge Chávez; moderados a fuertes en horas vespertinas ($4\text{ a } > 6\text{ m/s}$) en Lima Norte, Centro, Este y Sur de la ciudad. Los más débiles fueron en horario diurno y nocturno.

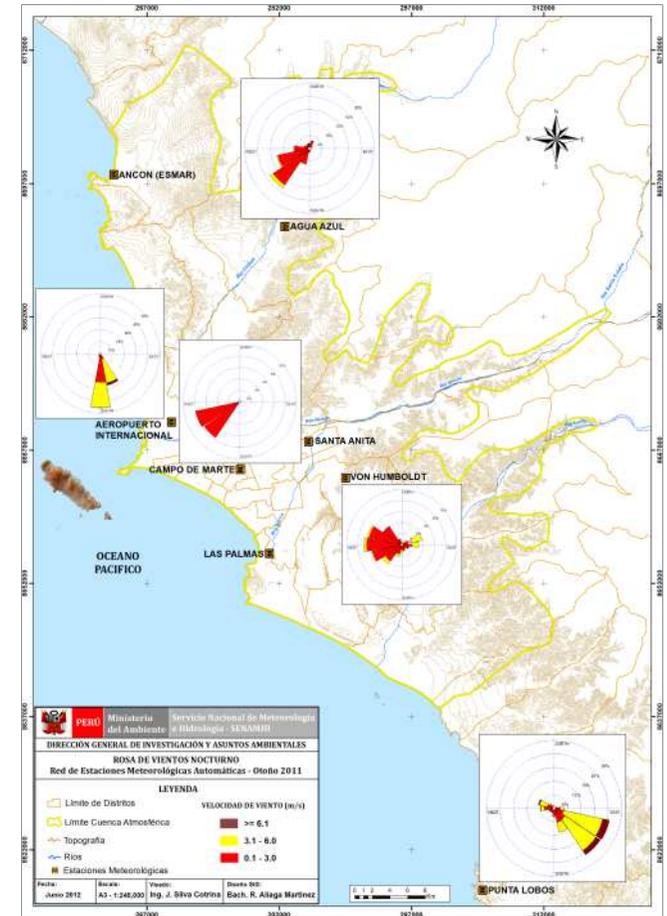
En el período de otoño 2011 se presentaron lluvias totales medias ligeras solo en el mes de junio, con un acumulado de $1,1\text{ mm}$.



Mapa 9 - Viento en horas diurnas



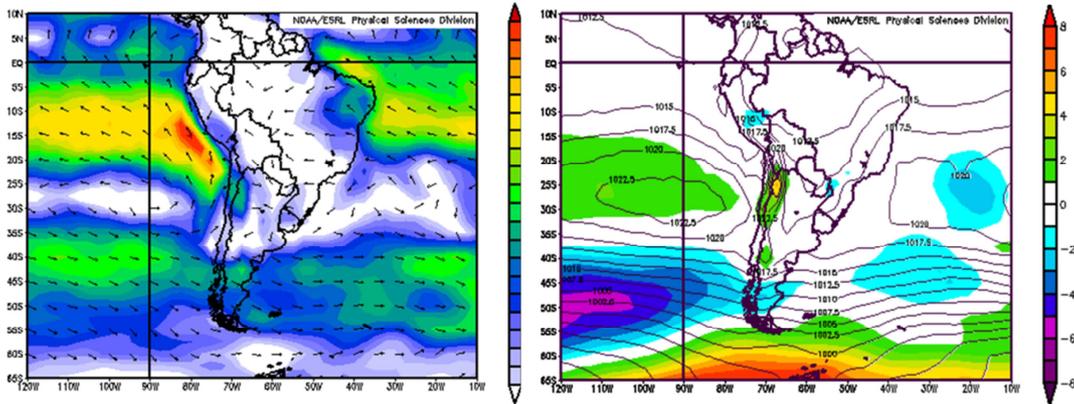
Mapa 10 - Viento en horas vespertinas



Mapa 11 - Viento en horas nocturnas

4.1.1.3. Invierno (julio a setiembre)

Las condiciones meteorológicas sinópticas durante el invierno de 2011 mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1015 y 1035 hPa; media de 1022,5 hPa en los 28° S y 94° W; anomalías entre 0 y +1 hPa en latitudes tropicales a +1 y -3 hPa en altas latitudes del SW y S (mapa 13); las anomalías de TSM oscilaron entre -1 y 0° C en latitudes tropicales y en altas latitudes. La circulación de los vientos en los niveles bajos de la atmósfera (mapa 12), muestran un debilitamiento de los flujos del oeste en altas latitudes del Pacífico suroriental (<8 m/s) y mantienen sus intensidades los vientos del S y SE en latitudes tropicales llegando hasta 12 m/s frente a la costa peruana, lo que ocasionó un afloramiento marino activo, con la consiguiente intensificación de la inversión térmica por subsidencia, con su base en promedio a 1033 m.s.n.m., espesor de 370 m y gradiente medio de 2,0°C/100 m (cuadro 8).



Mapa 13 - Viento superficial promedio (m/s) **Mapa 12** - Presión a nivel del mar

Cuadro 8. Característica de la capa de inversión térmica-invierno 2011

PARÁMETRO	UNIDAD	INVIERNO 2011				
		MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	933	09-ago	100	27-jul	37
Altura Base	metro	2994	16-jul	217	11-sep	1033
Altura Tope	metro	3135	16-jul	742	08-ago	1402
T Base	°C	18,6	01-jul	4,0	16-jul	11,1
T Tope	°C	22,8	23-jul	7,2	15-jul	17,5
Gradiente	°C/metro	6,3	24-jul	0,1	17,27,29 jul	2,0
H.R. Base	%	100	04 agost/10 y 13 set	17	26-sep	79
H.R.Tope	%	97	08-ago	7	25-sep	47

Estación A.I. Jorge Chávez (invierno 2011)

Las condiciones meteorológicas sinópticas descritas y sus interacciones ocasionaron el incremento de la frecuencia de nubosidad baja tipo estratiforme sobre todos los distritos de la capital (base < 500 m.s.n.m.) (figura 3). La altura de la base de la inversión explica que también se incrementó el número de días cubiertos y muy pocos días con nublado parcial y nubes dispersas. La baja insolación contribuyó a que la temperatura del aire, en el presente período, alcance sus valores mínimos y la humedad relativa sus máximos anuales. En la ciudad capital la temperatura del aire y la humedad relativa presentaron el promedio de área 15,8°C y 86%. Los valores de 14,5° C el día 8 de setiembre (día más frío) y 17.5°C el día 15 de julio (día más cálido). La humedad relativa fue de 95 % el día 6 de julio (día más húmedo) y de 69.5% el día 21 de julio (día más seco).

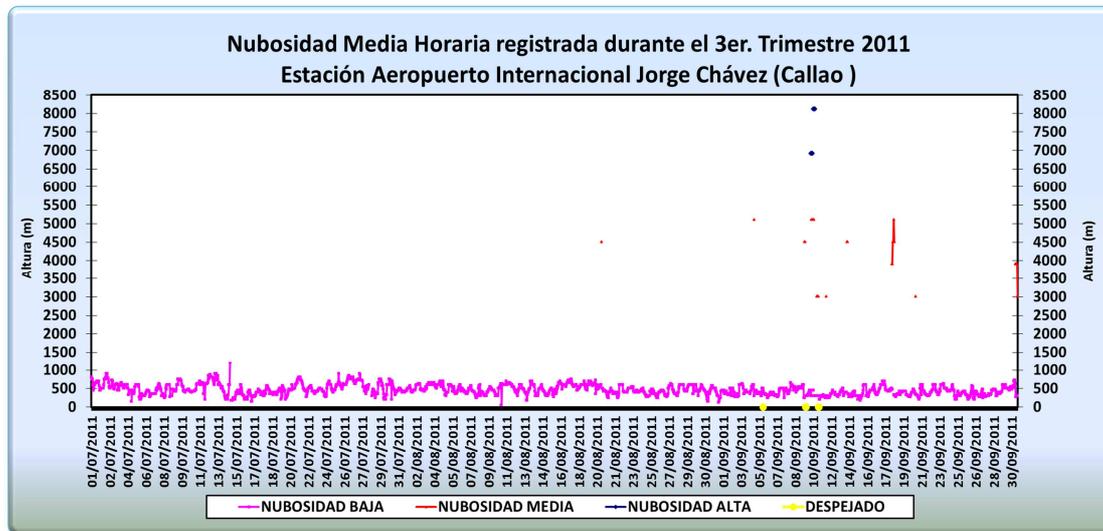
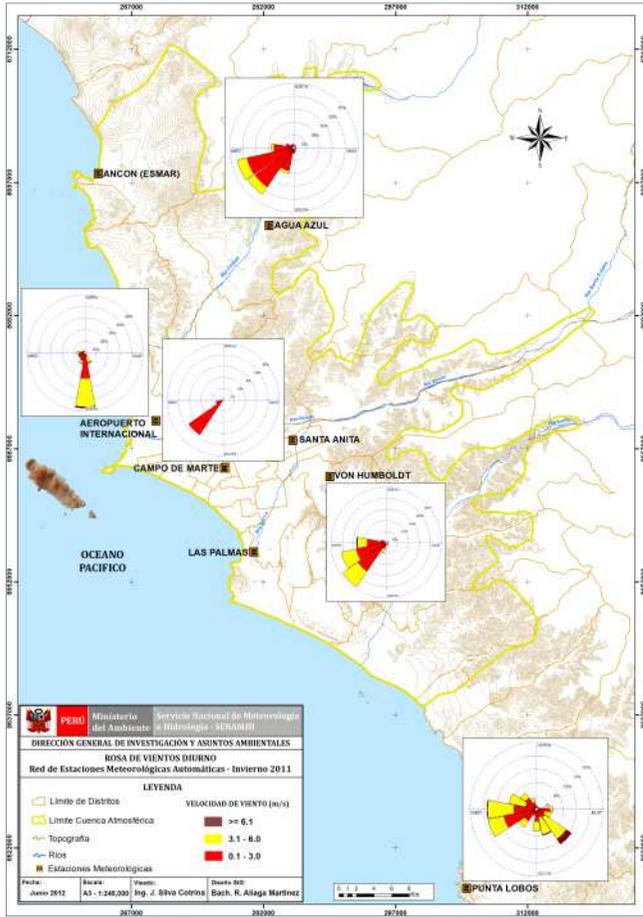


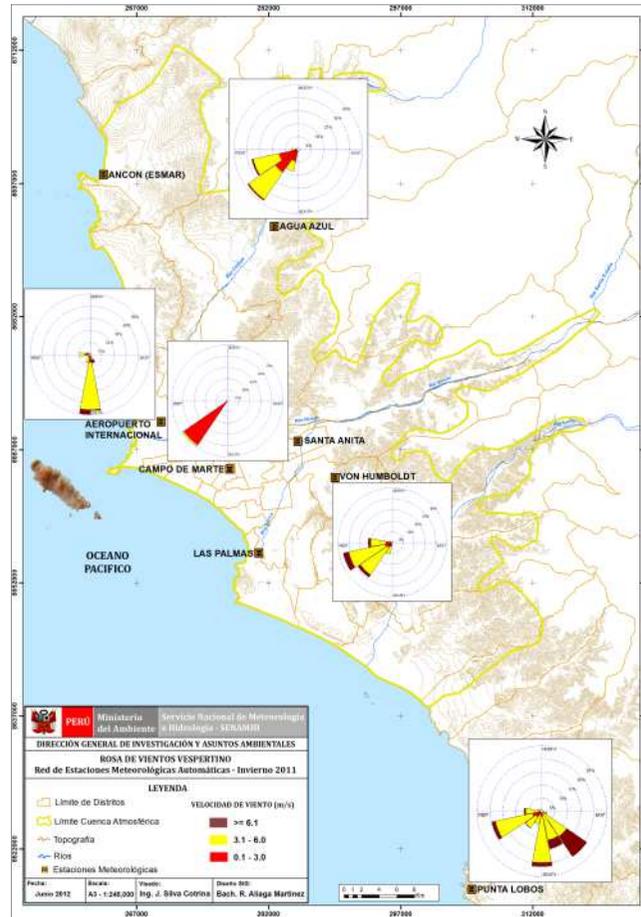
Figura 3 - Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez (invierno 2011)

El campo de vientos locales durante el periodo de invierno 2011 (mapas 14,15 y 16) permite observar que los vientos de superficie a lo largo de la costa peruana variaron entre calmos, débiles, moderados y fuertes, con direcciones predominantes SE, S, SW y W. En Lima Centro, Este y Lima Sur, las intensidades entre débiles y moderadas (2 a 5 m/s) predominaron durante las horas diurnas y nocturnas; y de moderados a fuertes (5 a ≥ 6 m/s) en horas vespertinas. Los más débiles (1.0-3.0 m/s) fueron en horario diurno y nocturno (principalmente), con una presencia de calmas referencial de hasta 2.2% en la estación del A. I. Jorge Chávez del Callao.

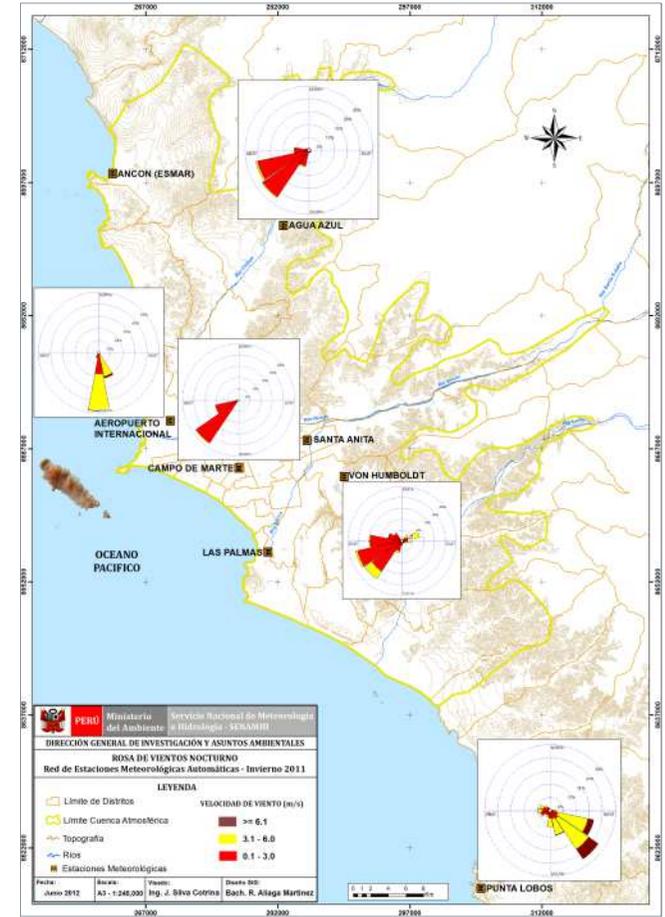
En este período de invierno 2011 se presentaron lluvias totales medias de 3,7 mm en julio, 3.3 mm en agosto y 1.4 mm en setiembre, con un acumulado de 8.4 mm.



Mapa 16 - Viento en horas diurnas



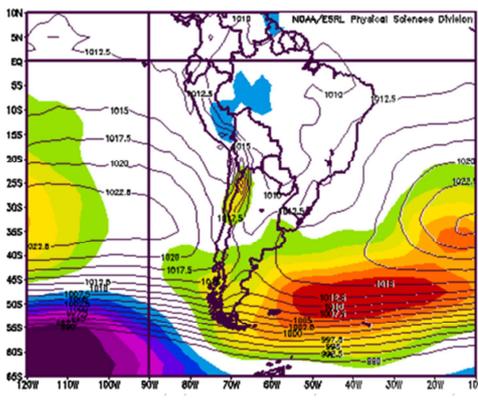
Mapa 14 - Viento en horas vespertinas



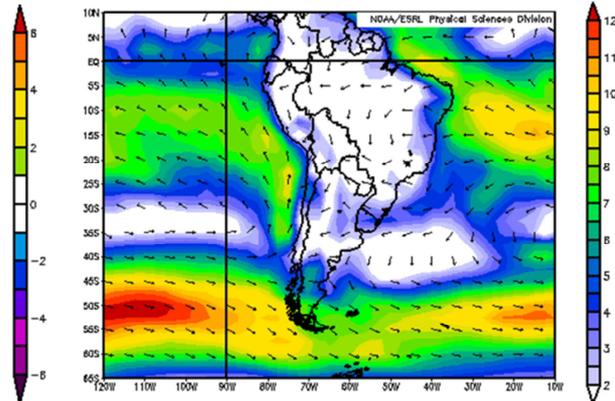
Mapa 15- Vientos en horas nocturnas

4.1.1.4. Primavera (octubre a diciembre)

Las condiciones sinópticas de primavera mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1015 y 1035 hPa; media sinóptica de 1022,5 hPa en los 32° S y 110° W; anomalías entre 0 y +1 hPa en latitudes tropicales a 0 y -2 hPa en altas latitudes del SW y S (mapa 17); las anomalías de TSM variando entre -2 a 0°C en latitudes tropicales y entre -1 a +0,5°C en altas latitudes del SW y S. La circulación de los vientos en los niveles bajos de la atmósfera (mapa 18), muestran una intensificación de los flujos del oeste en altas latitudes del Pacífico suroriental (>11 m/s) y un debilitamiento de los vientos del S, SSE y SE con velocidades desde < 2 a 8 m/s frente a la costa peruana. Esto ocasionó un cierto debilitamiento del afloramiento marino; altura media de la base de inversión térmica en 735 m.s.n.m., espesor promedio de 388 m y gradiente medio de 1,1° C/100 m (cuadro 9).



Mapa 17 - Presión a nivel del mar



Mapa 18 - Vector viento superficial promedio (m/s)

Cuadro 9. Características de la capa de inversión térmica - primavera 2011

PARÁMETRO	UNIDAD	PRIMAVERA 2011				
		MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	807	05-oct	116	26-nov	388
Altura Base	metro	2467	15-dic	118	16-dic	735
Altura Tope	metro	2691	15-dic	345	16-dic	1123
T Base	°C	18,2	16-dic	8,8	13-oct	13,1
T Tope	°C	21,4	17-dic	12,2	17-dic	16,9
Gradiente	°C/metro	2,4	22-nov	0,1	12-dic	1,1
H.R. Base	%	100	30-nov	57	22-nov	93
H.R.Tope	%	93	18-nov	9	06-oct	63

Estación A.I. Jorge Chávez (primavera 2011)

Las condiciones meteorológicas sinópticas descritas y sus interacciones dieron lugar a la disminución de la nubosidad estratiforme baja (base < 500 m.s.n.m.) (figura 4) sobre casi todos los distritos de la capital, en especial en los distritos de Lima Este, la presencia cada vez mayor de nubes medias y altas el incremento de la insolación. Estas condiciones contribuyeron a que, durante la presente estación del año, la temperatura media del aire (18,8°C) continúe en ascenso y la humedad relativa media (81%) en descenso hacia el verano 2012. Asimismo, se presentaron valores de 15,4° C el día 19 de octubre (día más frío) y 22,8°C el día 31 de diciembre (día más cálido). La humedad relativa fue de 88 % el día 19 de octubre (día más húmedo) y 72% el día 16 de diciembre (día más seco).

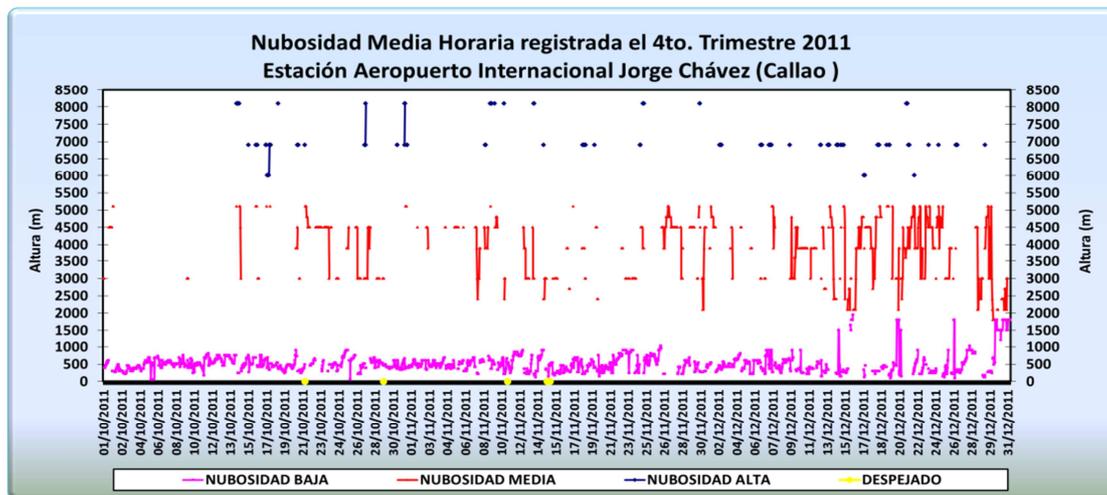
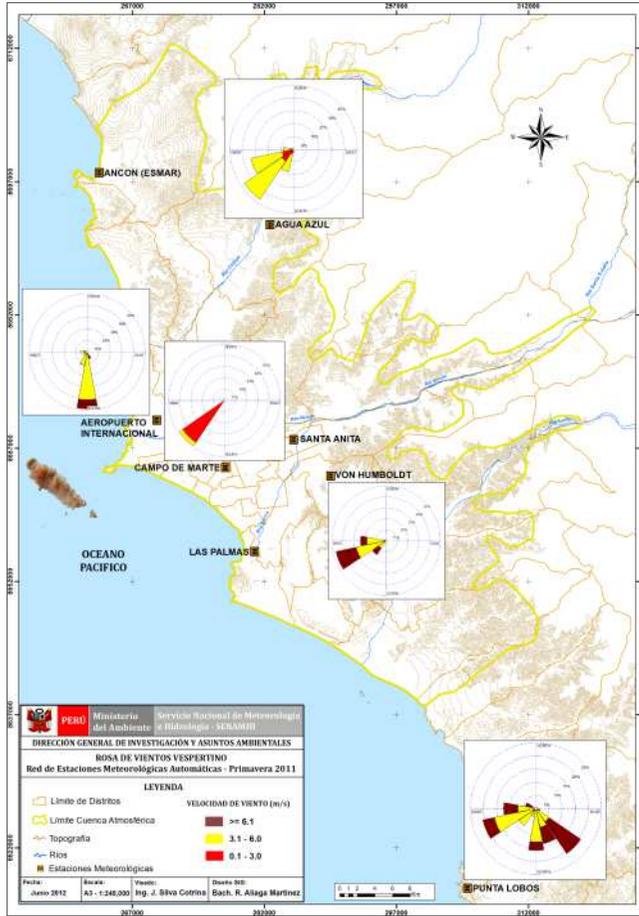


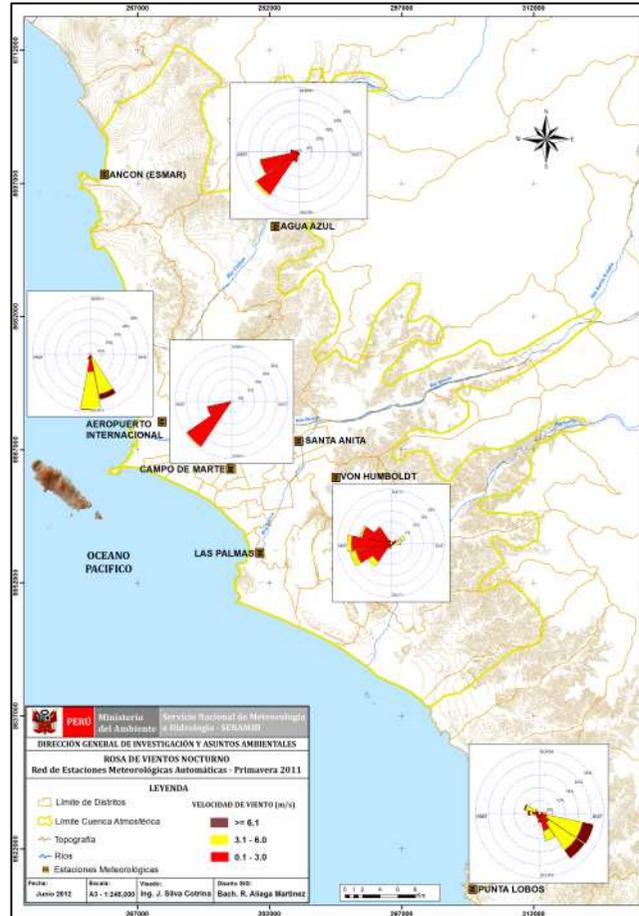
Figura 4 - Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez (primavera 2011)

El campo de vientos locales, durante el periodo de primavera (mapas 19, 20 y 21) permite visualizar que los vientos de superficie a lo largo de la costa peruana variaron entre calmos, débiles y moderados y muy pocos fueron fuertes, con direcciones predominantes entre SE, S y W. Los vientos más intensos (≥ 6 m/s) se presentaron en horario vespertino en Lima Centro, Este y Lima Sur, y los más débiles (1.0-3.0 m/s) fueron en horario diurno y nocturno (principalmente), con una presencia de calmas referencial menor a 1% en Lima Oeste y Callao.

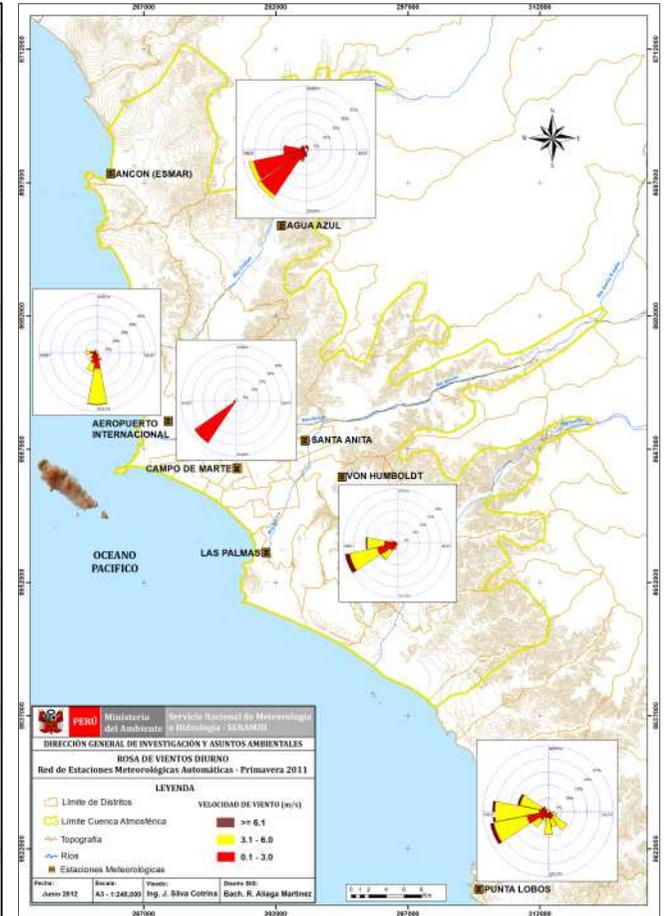
En la estación de primavera 2011, en la ZMLC, se presentaron lluvias totales medias muy ligeras en los meses de octubre y noviembre, con un acumulado de 0.7 mm.



Mapa 21 - Viento en horas vespertinas



Mapa 19 - Viento en horas nocturnas



Mapa 20 - Viento en horas diurnas

4.1.2. Aspectos climáticos

A continuación se presenta una descripción climatológica de las variables meteorológicas de superficie que caracterizaron el año 2011. Se analizaron la temperatura, humedad relativa, precipitaciones y vientos en relación a un valor climático (VC) de los últimos años: 2002-2011 para las precipitaciones y los datos disponibles de 2007–2011 para las demás variables.

Los datos utilizados provienen de estaciones meteorológicas seleccionadas establecidas en la ZMLC (cuadro 10) y, aunque los resultados son preliminares, pueden considerarse de utilidad para comprender la dinámica del clima y su relación con la calidad del aire en Lima.

Cuadro 10. Estaciones meteorológicas del SENAMHI

Nombre de la Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Distrito	Referencia
Aerop. Jorge Chavez	12°1'27.26"	77°6'39"	13	Callao	Lima Oeste
Campo de Marte	12°4'14"	77°2'35.3"	123	Jesús María	Lima Centro
Von Humboldt	12°3'11"	76°55'18"	510	La Molina	Lima Este
Agua Azul	11°49'26.2"	76°59'42"	344	Carabaylo	Lima Noreste
Punta Lobos	12°30'1.3"	76°47'37.3"	92	Pucusana	Lima Sur

Se obtuvieron valores promedio, máximos y mínimos mensuales, estacionales (V: Verano, O: Otoño, I: Invierno y, P: Primavera) y anuales de las diversas variables, para cada estación, así como un valor medio para toda el área de la ZMLC (media areal). Se presentan en gráficos y tablas para su análisis y comparación.

4.1.2.1. Temperatura del aire

La temperatura media del año 2011 para la ZMLC fue 0,1°C mayor con respecto a su valor climático. Con esta diferencia podemos decir que fue un año de temperatura media normal. Asimismo, la temperatura máxima media fue 0,4°C mayor que su valor climático, mientras que la temperatura mínima media no mostró anomalía (cuadro 11).

A nivel estacional, en el mismo cuadro, destacamos que la temperatura media del aire en verano fue menor (0,7°C), mientras que en primavera fue mayor (0,5°C) que el valor climático. La temperatura máxima media fue mayor que el valor climático en verano y primavera (ambos en 0,7°C). La temperatura mínima media fue menor en verano (1,1°C) y mayor en otoño (0,5°C) que sus valores climáticos.

Cuadro 11. Temperatura del aire 2011

TEMPERATURA DEL AIRE						
ESTACIÓN	MEDIA		MÁXIMA MEDIA		MÍNIMA MEDIA	
	2011	VC	2011	VC	2011	VC
VERANO	21,8	22,5	25,7	25,9	19,0	20,1
OTOÑO	19,0	18,7	22,0	21,3	17,1	16,6
INVIERNO	15,9	15,7	18,0	17,9	14,6	14,3
PRIMAVERA	18,5	18,0	21,7	21,0	16,6	16,3
MEDIA	18,8	18,7	21,9	21,5	16,8	16,8

También para la ZMLC, en la figura 5 se muestra la comparación de las medias areales de temperaturas media, máxima media y mínima media mensual del año 2011 respecto al valor climático, observándose pequeñas anomalías negativas en los primeros meses (enero a abril) y positivas (mayo a diciembre) que en general muestran un comportamiento normal.

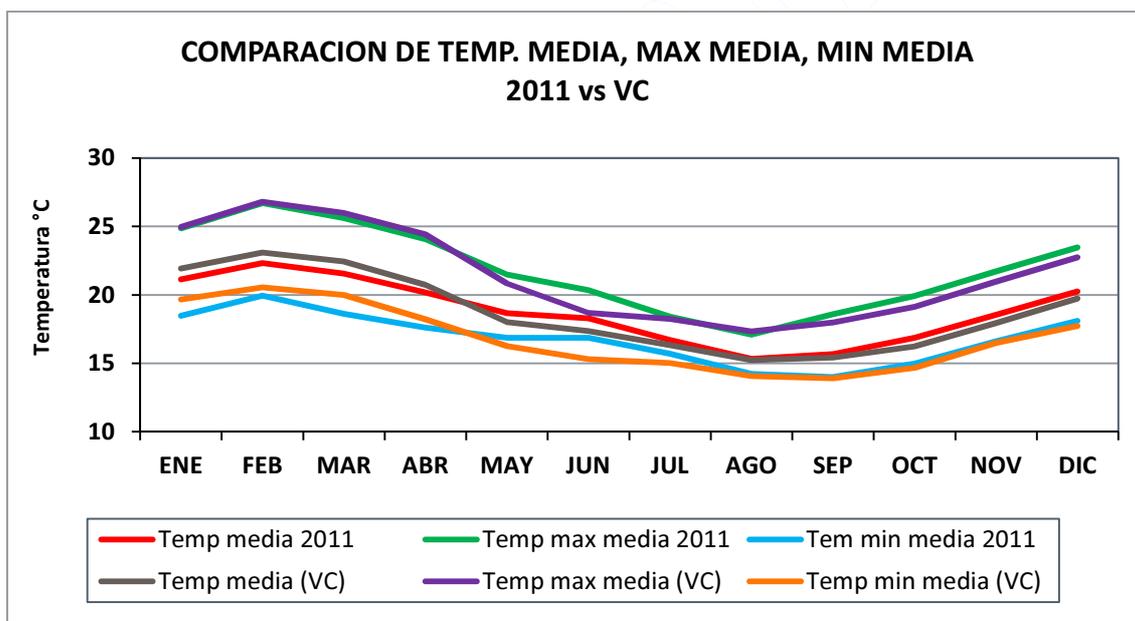


Figura 5 - Temperatura media, máxima media y mínima media de la ZMLC 2011 vs VC

De acuerdo al cuadro 12, el comportamiento de las temperaturas extremas en las estaciones meteorológicas de la ZMLC, en el año 2011, es el siguiente: a) las temperaturas máximas medias en verano, las más altas se presentaron en la parte este (27,8°C), noreste (27,0°C) y centro (26,4°C); y en invierno, se registraron en la parte oeste (18,7°C), este (18,4°C) y noreste (18,4°C); b) las temperaturas mínimas medias, en verano, las más bajas se presentaron en la parte noreste (18,2°C), este (18,5°C) y sur (18,9°C); en invierno, se registraron en la parte este (13,5°C) y noreste (13,8°C).

Cuadro 12. Temperaturas extremas - año 2011

TEMPERATURA DEL AIRE – AÑO 2011								
ESTACIÓN	MÁXIMA MEDIA				MÍNIMA MEDIA			
	V	O	I	P	V	O	I	P
Aerop.J.Chavez	25,6	22,5	18,7	22,3	19,5	18,1	15,6	17,4
C. de Marte	26,4	21,9	18,0	21,3	19,9	18,0	15,2	17,6
V. Humbold	27,8	23,2	18,4	22,9	18,5	15,9	13,5	15,4
Agua Azul	27,0	22,7	18,4	23,2	18,2	16,0	13,8	15,7
Punta Lobos	21,9	19,6	16,7	18,9	18,9	17,5	15,1	16,8

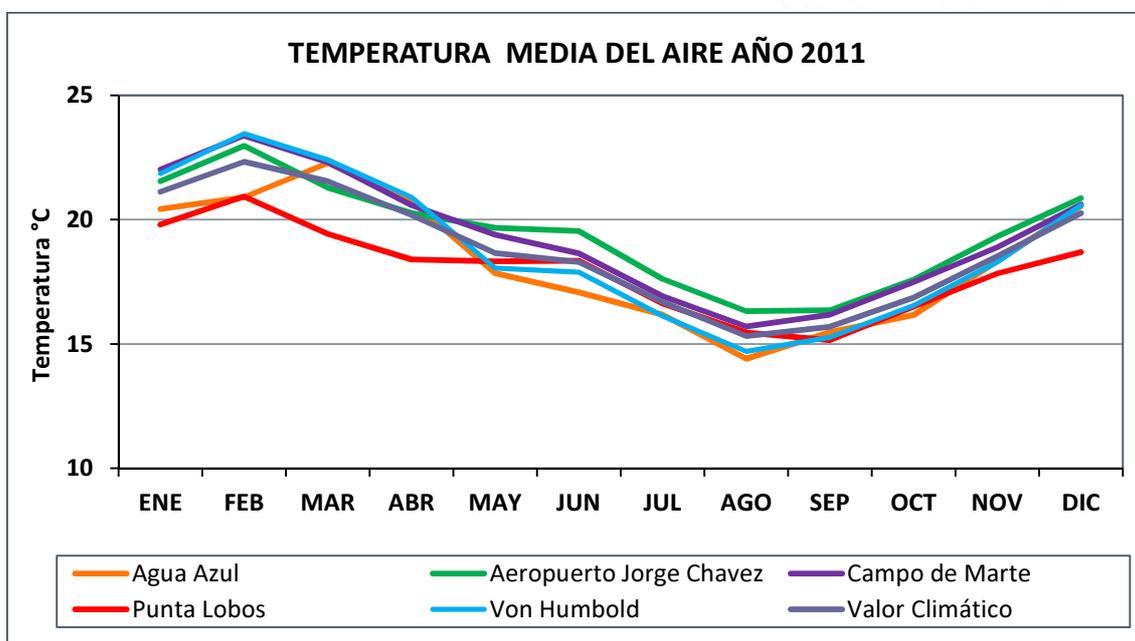


Figura 6 - Temperatura media en estaciones de la ZMLC 2011

Las figuras 6, 7 y 8 muestran la variación de la temperatura media, máxima media y mínima media de cada una de las estaciones consideradas, con valores más altos en verano y mínimos en invierno típicos de la costa peruana.

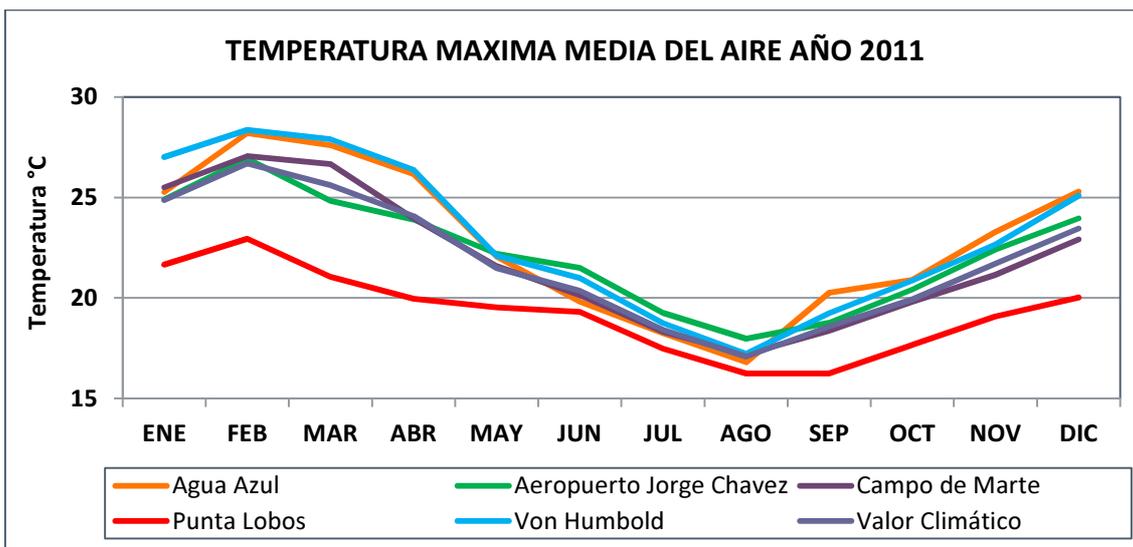


Figura 7 - Temperatura máxima media en estaciones de la ZMLC 2011

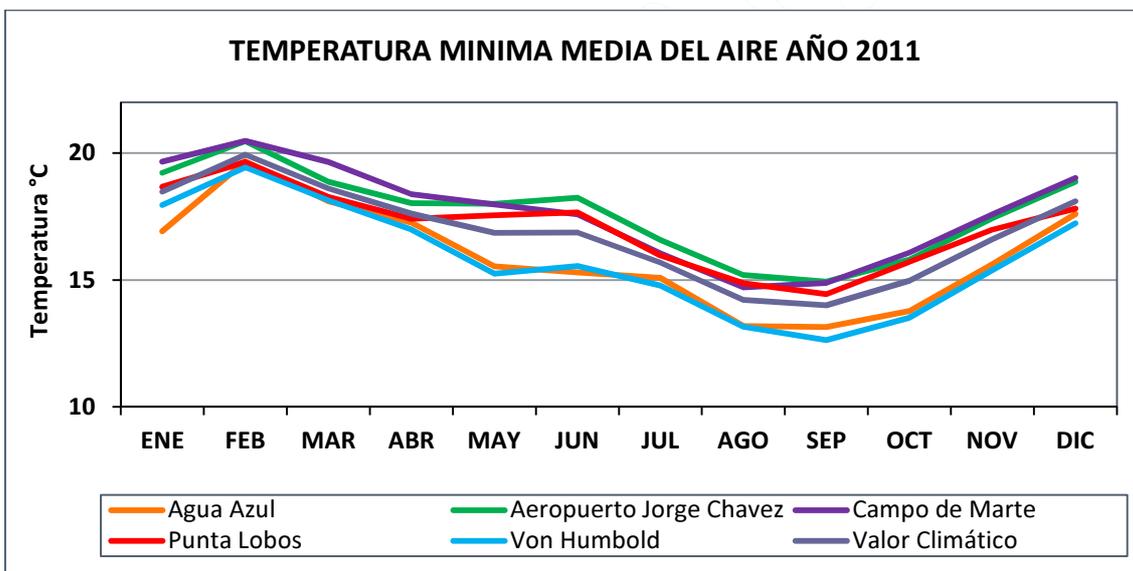


Figura 8 - Temperatura mínima media en estaciones de la ZMLC 2011

4.1.2.2. Humedad relativa del aire

La humedad relativa media del año 2011 para la ZMLC no tuvo diferencia con respecto a su valor climático, por lo que podemos decir que fue un año de humedad relativa normal. Además, la humedad relativa máxima media no presentó anomalía, mientras que la humedad relativa mínima media solo fue 1% menor que su valor climático (cuadro 13).

En el mismo cuadro, a nivel estacional, destaca que la humedad relativa media del aire fue menor en primavera (3%) que el valor climático. La humedad relativa máxima media fue mayor en verano (2%) y en primavera menor (2%) que el valor climático. La humedad relativa mínima media fue menor en verano (3%) y en primavera (5%) que sus valores climáticos.

Cuadro 13. Humedad relativa media del aire - año 2011

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE						
ESTACIÓN	MEDIA		MÁXIMA MEDIA		MÍNIMA MEDIA	
	2011	VC	2011	VC	2011	VC
VERANO	81	81	94	92	62	65
OTOÑO	86	86	94	94	74	74
INVIERNO	89	89	95	94	79	79
PRIMAVERA	83	86	92	94	68	73
MEDIA	85	85	94	94	71	72

Asimismo, también para la ZMLC, la figura 9 muestra la comparación del promedio de las humedades relativas media, máxima media y mínima media mensual del 2011 respecto al valor climático, observándose pequeñas anomalías negativas y positivas de forma alternada durante el año, que en general muestran un comportamiento normal.

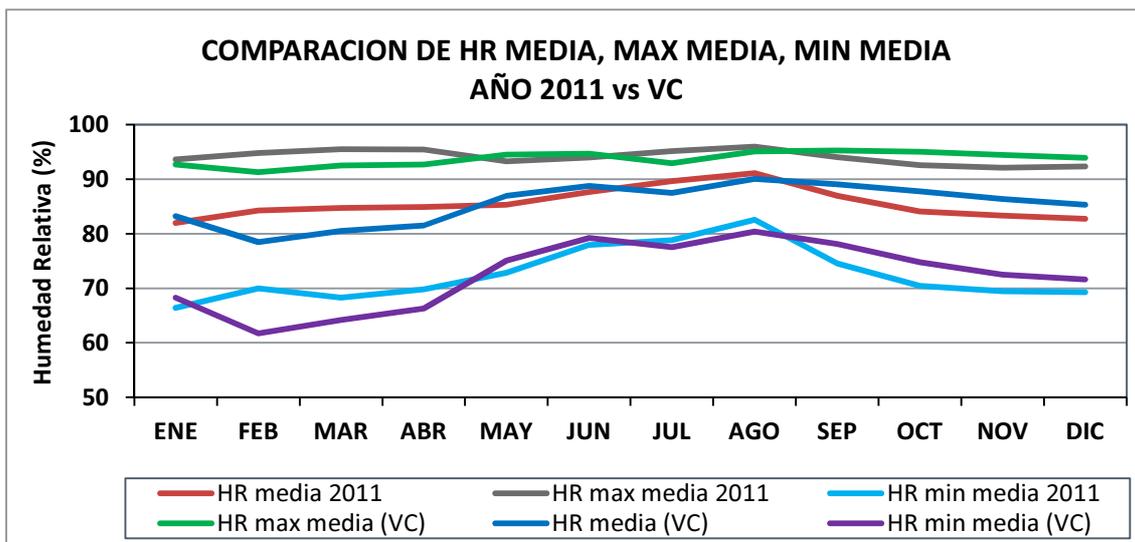


Figura 9 - Humedad relativa media, máxima media y mínima media de la ZMLC 2011 vs VC

En el cuadro 14 observamos el comportamiento de las humedades relativas extremas en el año 2011, en las estaciones meteorológicas de la ZMLC: a) las humedades relativas máximas medias, en verano, las más altas se presentaron en la parte sur (98%) y este (97%); en invierno, se registraron en la parte noreste (99%), este (98%) y sur (95%); b) las humedades relativas mínimas medias, en verano, las más bajas se presentaron en la parte este (53%) y noreste (56%); y en invierno, se registraron en la parte oeste (75%), noreste (77%), este (78%) y centro (79%).

Cuadro 14. Humedad relativa extremas 2011

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE – AÑO 2011								
ESTACIÓN	MÁXIMA MEDIA				MÍNIMA MEDIA			
	V	O	I	P	V	O	I	P
Aerop.J.Chavez	92	90	92	90	64	70	75	69
C. de Marte	90	92	93	85	62	75	79	66
V. Humboldt	97	98	98	93	53	67	78	61
Agua Azul	92	96	99	98	56	71	77	65
Punta Lobos	98	95	95	95	75	85	88	88

En las figuras 10, 11 y 12 se muestra la variación de la humedad relativa media, máxima media y mínima media del 2011, de cada una de las estaciones consideradas, así como el valor medio anual, con valores característicos de la costa peruana a excepción de la estación al sur de la ZMLC que mostró una alta humedad relativa durante todo el año.

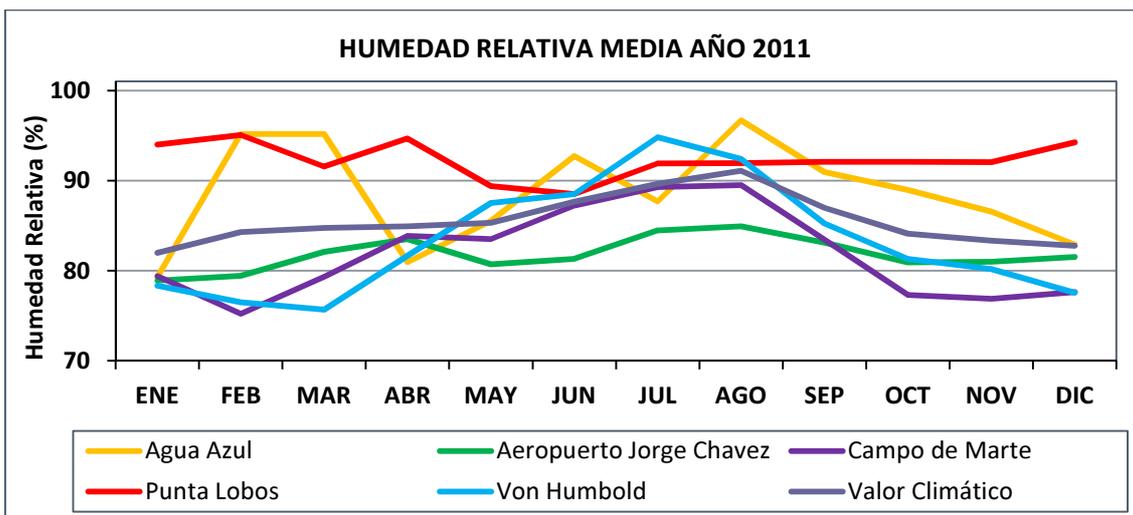


Figura 10 - Humedad relativa media en estaciones de la ZMLC 2011

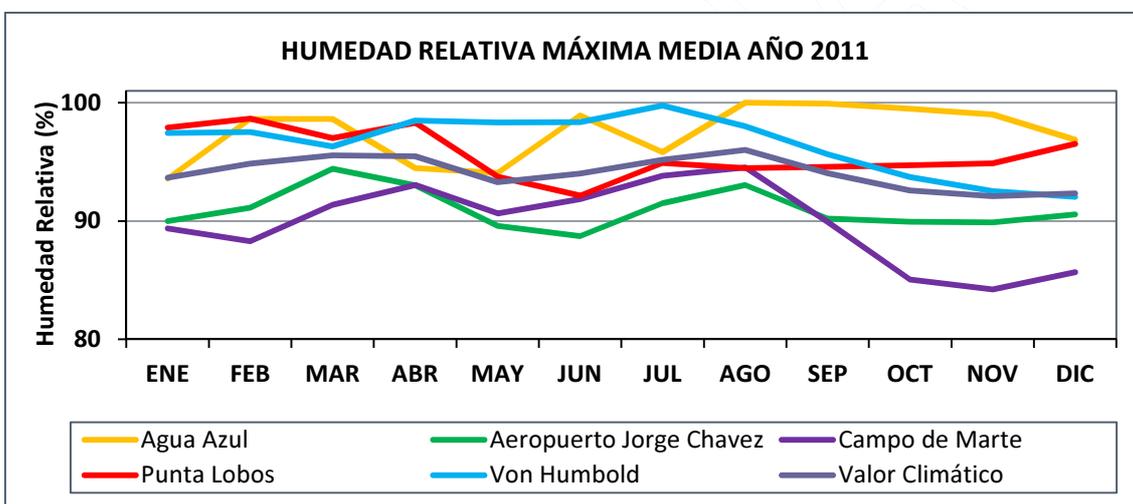


Figura 11 - Humedad relativa máxima media en estaciones de la ZMLC 2011

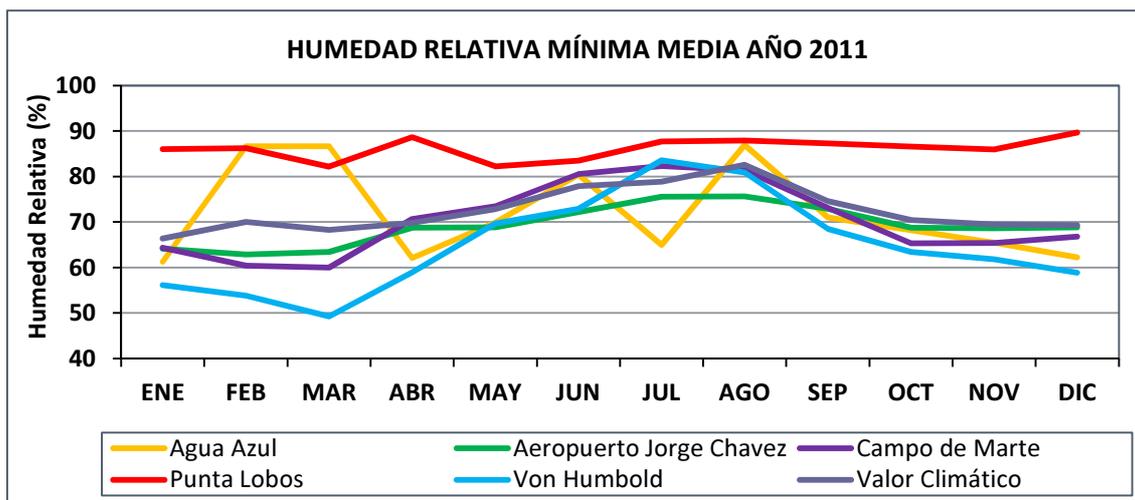


Figura 12 - Humedad relativa mínima media en estaciones de la ZMLC 2011

4.1.2.3. Precipitaciones

Las precipitaciones totales del año para la ZMLC fue 3,2 mm mayor con respecto a su valor climático. Con esta diferencia podemos decir que el 2011 fue ligeramente más lluvioso de la media normal. Asimismo, la lluvia máxima de 24 horas fue 0,4 mm, mayor que su valor climático, mientras que el número de días de lluvia también fue mayor que el valor climático (cuadro 15).

A nivel estacional, resalta del mismo cuadro que la lluvia total en verano, otoño y primavera fue menor (0,5, 0,3 y 0,4 mm), mientras que en invierno fue mayor (4,5 mm) que sus valores climáticos. La lluvia máxima de 24 horas del 2011 fue mayor en verano, invierno y primavera (0,2, 0,4 y 0,6 mm) y menor en otoño (0,1 mm) que los valores climáticos. El número de días de lluvias fue menor en verano y primavera (dos y un día) y notablemente mayor en invierno (ocho días) que sus valores climáticos.

Cuadro 15. Lluvia total, mínima y número de días de lluvia

ESTACIÓN	PRECIPITACION					
	MEDIA		MÁXIMA MEDIA		MÍNIMA MEDIA	
	2011	VC	2011	VC	2011	VC
VERANO	0,7	1,3	1,0	0,8	1	3
OTOÑO	1,1	1,4	0,6	0,7	4	4
INVIERNO	8,4	3,9	1,2	0,8	21	13
PRIMAVERA	0,8	1,2	1,2	0,6	2	3
MEDIA	11,0	7,8	1,2	0,8	28	23

También para la ZMLC, en la figura 13 se muestra la comparación de las precipitaciones totales y el número de días de lluvia mensual del año 2011, respecto al valor climático, observándose anomalías positivas en enero y en los meses de invierno. Asimismo, las anomalías negativas se observan principalmente en otoño, que en general muestran un comportamiento ligeramente más lluvioso que lo normal.

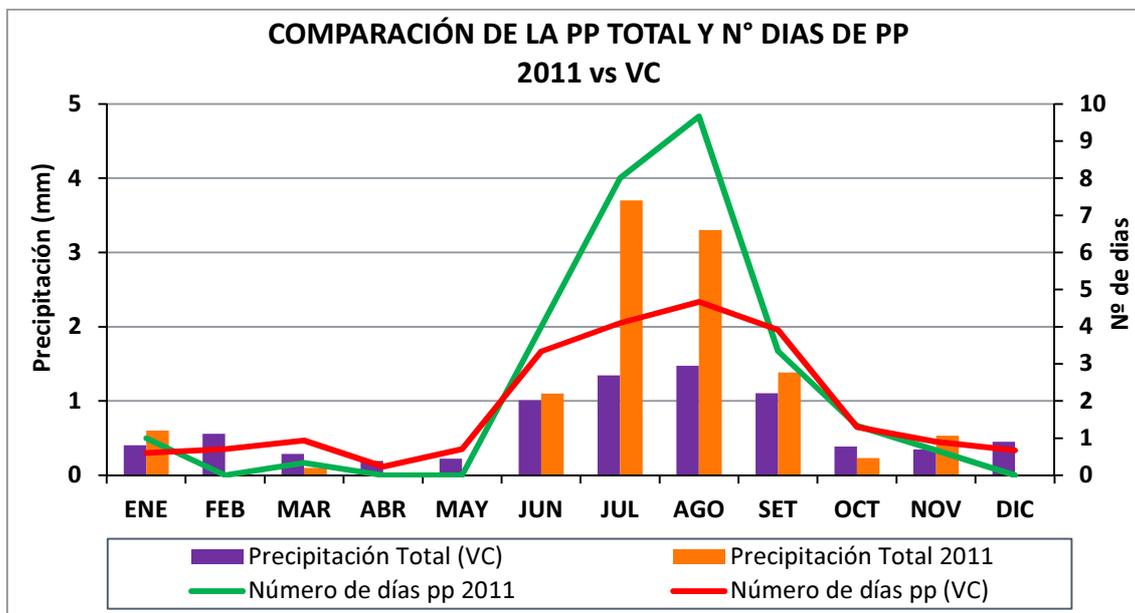


Figura 13 - Lluvia total y número de días de lluvia en la ZMLC 2011 vs VC

En la cuadro 16 observamos el comportamiento de las precipitaciones durante el año 2011, en algunas de las estaciones de la ZMLC: a) las precipitaciones totales, en verano, las más altas se presentaron en la parte este (1,1 mm) y oeste (1,0 mm); y en invierno, se registraron en la parte este (15,1 mm) y centro (8,3 mm); b) las lluvias máximas de 24 horas, en verano, las más altas se presentaron en la parte oeste (1,0 mm) y este (0,5 mm); y en invierno, se registraron en la parte este (1,2 mm) y centro (0,8 mm); en número de días de lluvia, en verano, fueron mayores en la parte este (3 días) y en invierno en la parte centro (32 días) y este (25 días).

Cuadro 16. Lluvias según estaciones meteorológicas 2011

PRECIPITACIÓN – AÑO 2011												
ESTACIÓN	TOTAL (mm)				MAX 24 H (mm)				NRO. DIAS			
	V	O	I	P	V	O	I	P	V	O	I	P
Aerop.J.Chavez	1,0	0,0	1,8	1,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1	0	6	0
C. de Marte	0,0	1,0	8,3	0,0	0,4	0,4	0,8	0,2	0	6	32	2
LE-VH	1,1	2,3	15,1	0,5	0,5	0,6	1,2	1,2	3	6	25	4

En las figuras 14, 15 y 16 se muestra la variación de la lluvia total, lluvia máxima en 24 horas y número de días de lluvia del año 2011, de cada una de las estaciones consideradas, con valores de muy poca lluvia característicos de la costa peruana.

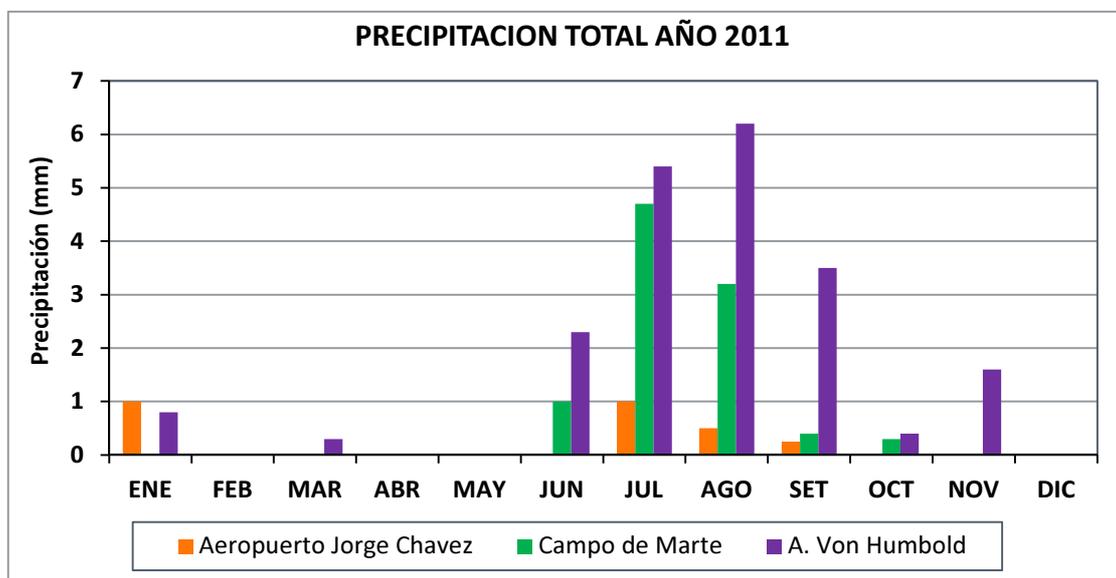


Figura 14 - Lluvia total en estaciones de la ZMLC 2011

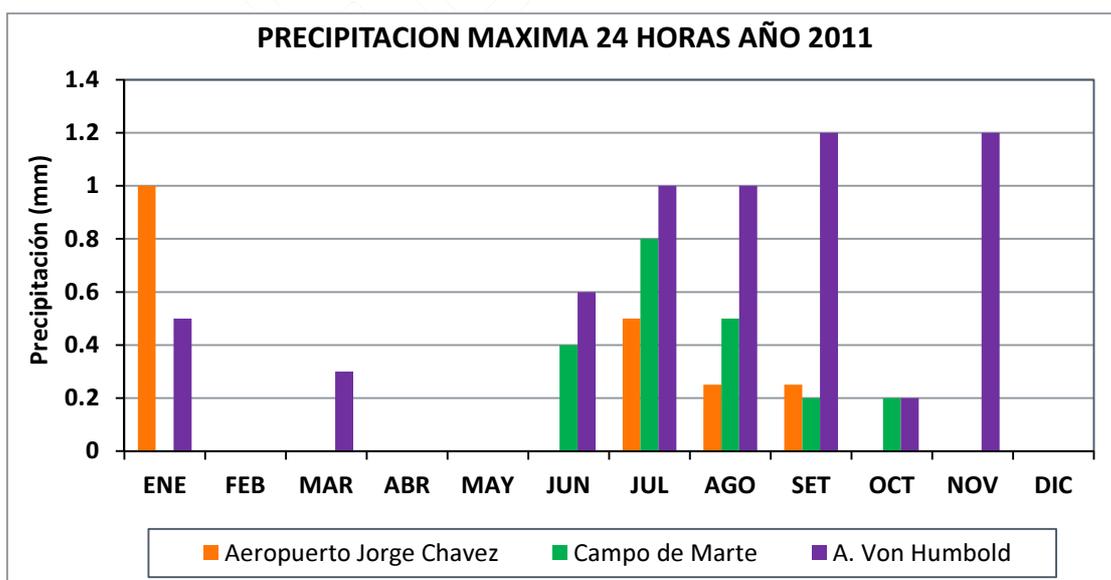


Figura 15 - Lluvia máxima en 24h en estaciones de la ZMLC 2011

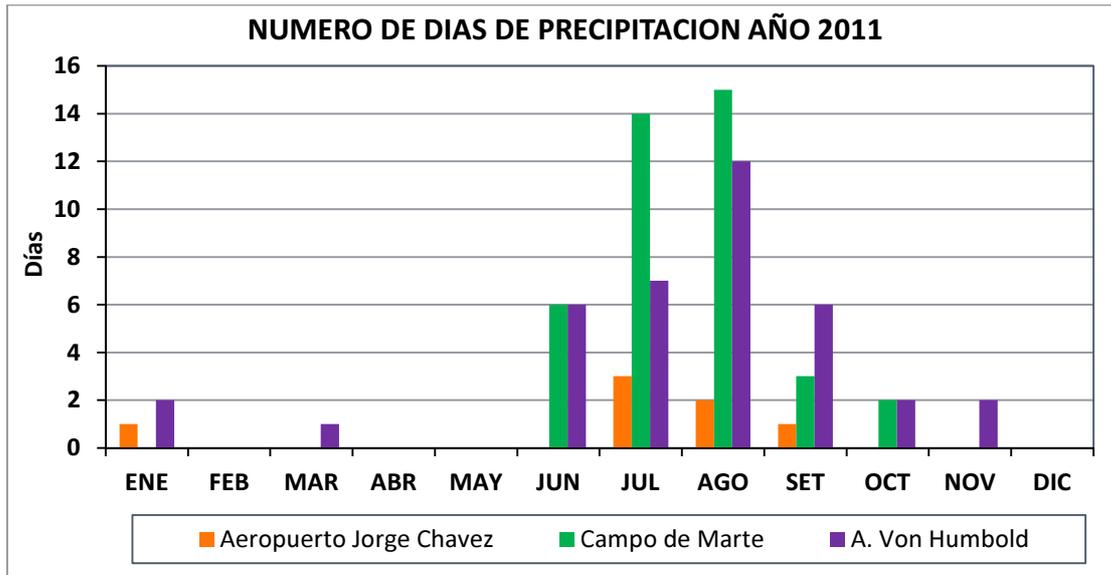


Figura 16 - Número de días con lluvia estaciones de la ZMLC 2011

4.1.2.4. Velocidad y dirección del viento superficial

En la cuadro 17 se puede apreciar que el comportamiento estacional de la velocidad media y dirección de los vientos locales de superficie en la ZMLC durante el 2011, fueron similares a sus correspondientes valores climáticos. Asimismo es importante anotar que la magnitud media indica que son vientos débiles del SW, lo que permite afirmar que los vientos locales en la ZMLC tuvieron un comportamiento normal. También se aprecia que la velocidad máxima media fue ligeramente menor (0,3 m/s) que su valor climático, en la categoría de vientos moderados.

En el mismo cuadro, la velocidad media del viento en verano y otoño fue ligeramente mayor (0,1 y 0,2 m/s), mientras que en primavera fue menor (0,1 m/s) que el valor climático. En lo que respecta a la velocidad máxima media del viento durante el 2011, fue menor en verano (0,6 m/s), en otoño (0,2 m/s), en invierno (0,3 m/s) y en primavera (0,3 m/s), que sus valores climáticos.

Cuadro 17. Velocidad y dirección del viento - año 2011

VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN SUPERFICIE						
ESTACIÓN	VIENTO VECTORIAL MEDIO				MÁXIMO MEDIO	
	2011		VC		2011	VC
	VEL (m/s)	DIR	VEL (m/s)	DIR	VEL (m/s)	VEL (m/s)
VERANO	2,1	SW	2,0	SW	4,9	5,5
OTOÑO	1,8	SW	1,6	SW	4,5	4,7
INVIERNO	1,8	SW	1,7	SW	4,3	4,6
PRIMAVERA	2,1	SW	2,2	SW	5,0	5,3
INVIERNO	1,9	SW	1,9	SW	4,7	5,0

Con respecto al comportamiento espacial de los vientos locales de superficie en estaciones meteorológicas de la ZMLC durante el 2011, en el cuadro 18 se observa que en las cuatro estaciones del año las velocidades medias fueron débiles, independientemente de su dirección.

Se destaca en la velocidad y dirección media del viento que, durante el verano, en Lima Este soplaron vientos del W hasta de 3 m/s, siendo menores en Lima oeste, norte, centro y sur. Por otro lado, en lo que respecta a las velocidades máximas medias de los vientos locales, en verano, las más altas se presentaron en Lima Este (9,3 m/s) y Oeste (6,2 m/s); en invierno, los menores valores, en Lima Este (7,0 m/s), Sur (5,5 m/s) y Oeste (5,0 m/s).

Cuadro 18. Velocidad y dirección del viento 2011

VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN SUPERFICIE - AÑO 2011												
ESTACIÓN	VIENTO VECTORIAL MEDIO								MÁXIMO MEDIO			
	V		O		I		P		V	O	I	P
	VEL	DIR	VEL	DIR	VEL	DIR	VEL	DIR	VEL	VEL	VEL	VEL
Aerop.J.Chavez	2,5	S	2,6	S	2,6	S	3,0	S	6,2	4,6	5,	5,7
C. de Marte	0,8	WSW	0,9	WSW	0,8	SW	1,2	SW	2,1	1,9	2,1	2,4
V. Humboldt	3,0	W	2,2	W	1,9	W	2,7	W	9,3	8,1	7,0	8,2
Agua Azul	2,0	SW	1,2	SW	1,3	SW	1,6	SW	4,6	3,6	3,3	4,4
Punta Lobos	1,9	S	1,9	SSW	2,1	S	1,9	S	5,2	5,1	5,5	5,7

En la figura 17, se visualiza el comportamiento mensual de la velocidad y dirección media y velocidad máxima media del viento y sus correspondientes valores climáticos para ZMLC. La velocidad y dirección media presentan solo pequeñas anomalías positivas en el verano y final de otoño, con vientos que soplan en la misma dirección durante el año. En general muestran un comportamiento normal. La velocidad máxima media fue casi todo el año ligeramente menor que su valor climático.

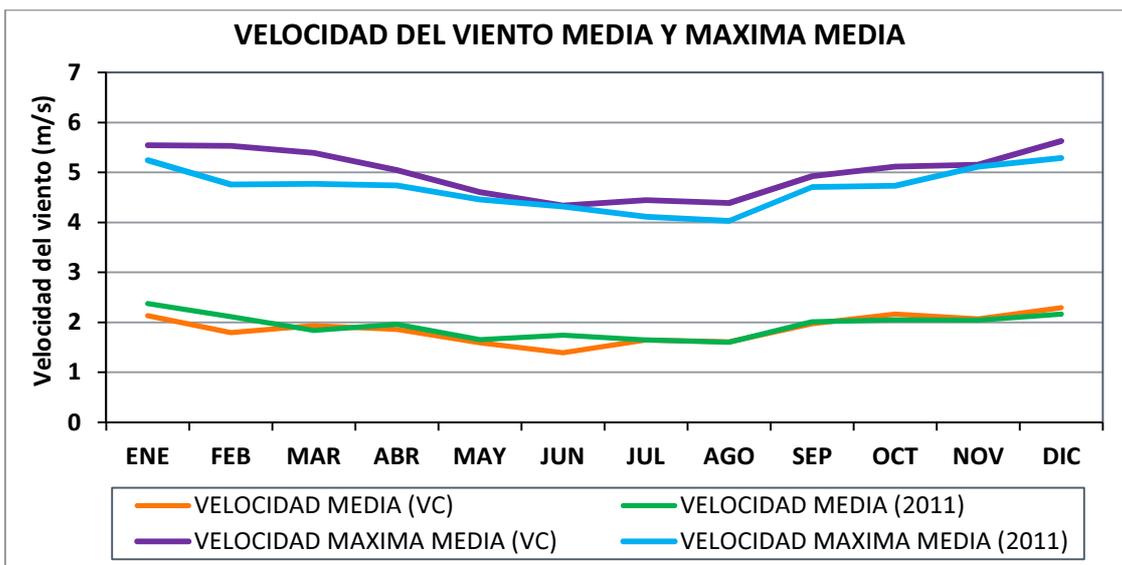


Figura 17 - Velocidad y dirección media y velocidad máxima media del viento 2011 vs VC

En las figuras 18 y 19 se muestra el comportamiento temporal mensual y espacial de las velocidades del viento media y máxima media en las estaciones meteorológicas, así como la media areal del viento durante el 2011 en la ZMLC. La media areal, a lo largo del año, se comporta como un viento débil ($< 3,0$ m/s). Se observa que ocurrieron vientos moderados ($3,0 < v < 6,0$ m/s) durante el verano en Lima Este. En invierno y primavera, en Lima Sur; Centro y Norte los vientos fueron débiles a lo largo del año.

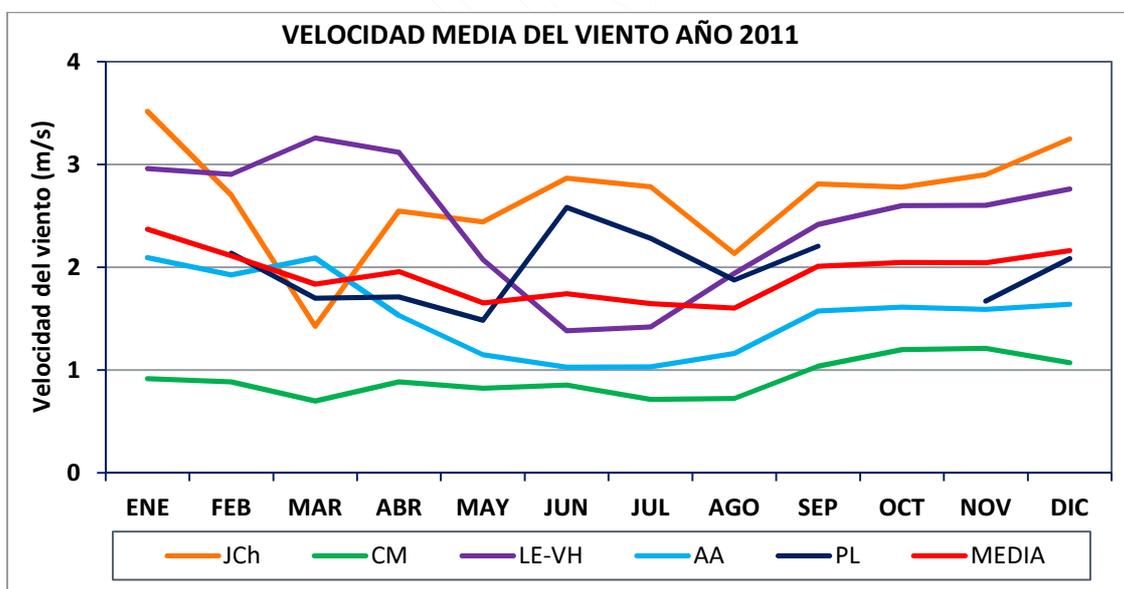


Figura 18 - Velocidad media del viento en Estaciones de la ZMLC 2011

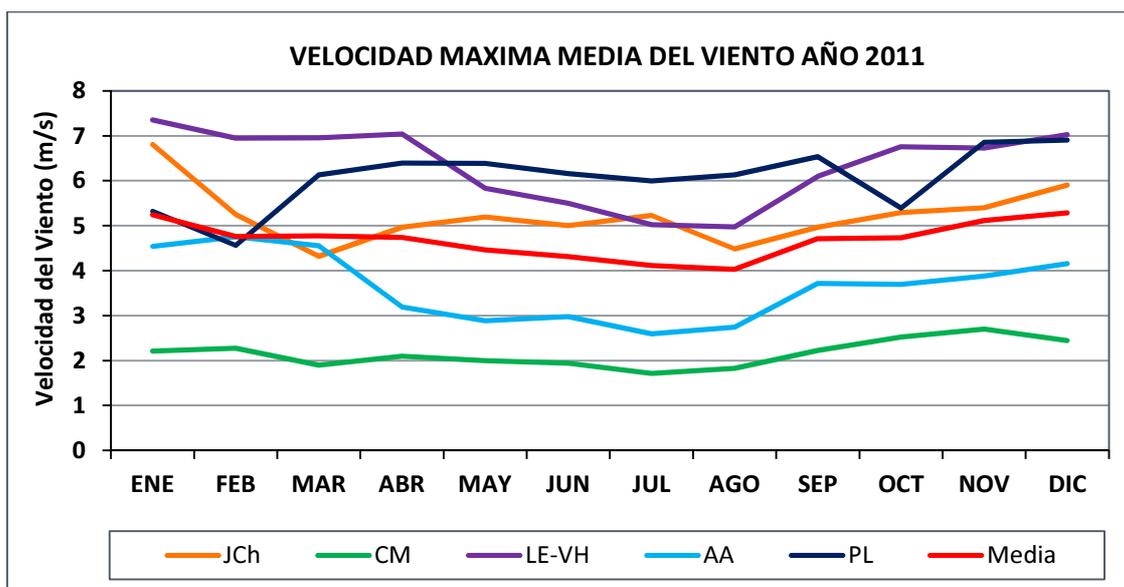


Figura 19 - Velocidad máxima media del viento en estaciones de la ZMLC 2011

Con respecto a la velocidad máxima media del viento, se registraron vientos fuertes ($> 6,0$ m/s) en Lima Este durante el verano y primavera, y en Lima Sur durante el invierno ($7,5$ m/s). En Lima Centro fueron débiles, mientras que en Lima Oeste y Norte fueron moderados a lo largo del año ($5,0$ m/s).

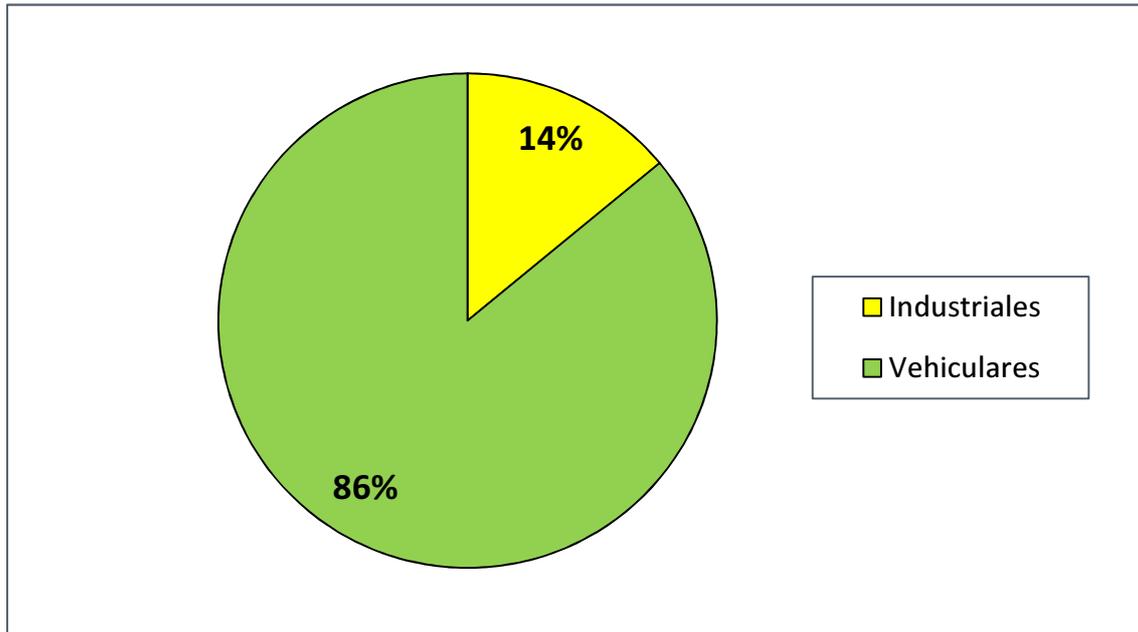
4.2. Fuentes de contaminación atmosférica

En el año 2001, el entonces Consejo Nacional del Ambiente, el actualmente MINAM, realizó el inventario de emisiones atmosféricas totales y estimó que los aportes sectoriales de transporte e industria significaron el 86% y 14% del inventario respectivamente, lo que permite identificar al sector transporte como la principal fuente de emisiones atmosféricas en la zona Metropolitana de Lima y Callao (CONAM, 2001) (figura 20).

La importancia del estudio de las fuentes de emisiones contaminantes radica en que la identificación, clasificación y evaluación de su situación constituye el primer paso en cualquier plan de acción que busque disminuir la contaminación atmosférica.

Nos referiremos a las fuentes fijas, donde se agrupan todos los puntos de emisión establecidos en un lugar (como las plantas industriales) y las fuentes móviles, que agrupan principalmente a la contaminación producida por el sector transporte.

Figura 20 - Comparación de las emisiones vehiculares e industriales



Fuente: Swisscontact – Infras 2000. CONAM. Inventario de Emisiones Totales 2001

4.2.1. Fuentes móviles

Las fuentes móviles incluyen a las diversas formas de transporte como automóviles, camiones y aviones, entre otros.

La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, pues produce grandes cantidades de monóxido de carbono (CO) y cantidades menores de óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

La cantidad de emisiones que produce un vehículo automotor depende de una serie de factores como el tipo y la calidad del combustible que consume, el estado de conservación del motor, su antigüedad, tecnología, si cuenta o no con un sistema de control de emisiones, la morfología de la ciudad donde transita, los hábitos del chofer, el tiempo que permanece operativo, el tráfico en las vías y, finalmente, su recorrido (Pérez, 2010).

Los motores de combustión interna (MCI) generan emisiones tóxicas, contenidas en los vapores del combustible, en los gases del cárter y en el tubo de escape. Cerca del 1% de los gases de escape contienen aproximadamente 300 sustancias, de las cuales la mayoría son tóxicas (CENERGIA, 1998).

Cuadro 19 - Estimación de las emisiones del parque automotor de Lima-Callao del año 2010

Categorías	Porcentaje de emisiones (%)					
	PTS	SO ₂	NO _x	CO	Plomo	COV
Automóviles y vehículos familiares	5	4	6	13	31	21
Taxis y moto-taxis	16	12	21	68	51	46
Camionetas, rural y panel	21	19	11	13	16	16
Camiones, buses y remolcadores	58	65	62	6	2	17
Emisiones (toneladas/año)	6,205	11,261	70,501	329,814	203	72,512

Fuente: (Korc, Figari, Bravo, Pareja, 2009).

El cuadro 20 muestra los principales aspectos ambientales del parque automotor de Lima y Callao, donde se observa que el principal impacto es el consumo de recursos no renovables, la emisión de gases de efecto invernadero, contaminación de suelos y generación de residuos sólidos.

Cuadro 20 - Aspectos e impactos ambientales del parque automotor

Aspectos ambientales	Impactos ambientales
Consumo de combustible	Consumo de recurso no renovable
Emisiones de CO ₂	Cambio climático–Efecto Invernadero Contaminación del suelo (lluvia ácida)
Emisiones de NO _x	Contaminación del suelo (lluvia ácida)
Emisiones de SO ₂	Contaminación del suelo (lluvia ácida)
Emisión de partículas en suspensión	Contaminación del aire y del suelo
Ruidos del motor	Contaminación sonora
Llantas usadas	Generación de residuos sólidos
Partes usadas	Generación de residuos sólidos



Consumo de lubricantes

Generación de residuos

Fuente: (Korc, Figari, Bravo, Pareja, 2009).

4.2.2. Fuentes puntuales o fuentes fijas

Una fuente puntual se refiere a una fuente en un punto fijo o estacionario. Existen cientos de miles de fuentes estacionarias de contaminación del aire, como las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo y fábricas. Según la industria o proceso específico, las fuentes estacionarias pueden emitir uno o varios contaminantes criterio del aire además de muchos otros contaminantes peligrosos.

Muchas de estas fuentes de contaminación, a su vez, generan productos de consumo útiles, crean millones de empleos y prestan servicios y comodidades, por lo que no resulta viable clausurarlas. Pero es urgente que implanten procesos para minimizar y manejar adecuadamente sus emisiones.

Desde el punto de vista ambiental, los distritos con mayor riesgo son Lima, Ate y Callao. El distrito de Lima cuenta con el mayor número de establecimientos, entre los que predominan los dedicados a las industrias de papel, alimentos y bebidas, metálicas y maquinarias, textil, curtido y adobo de cueros, que representan el 52% del total de empresas. A continuación se ubica el distrito de Ate, en el que las industrias de alimentos y bebidas, metálica y maquinaria, textil, curtido y adobo de cueros suman el 53,0% del total de empresas (PISA I, 2004).

4.2.3. Fuentes de área

Las fuentes de área son una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, que no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto pueden afectar la calidad del aire en una región. Por ejemplo: el uso de madera para cocinar o calentar la casa, las imprentas, las estaciones de servicio y las tintorerías, entre otros.

4.2.4. Fuentes naturales

Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida animal y vegetal pueden jugar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. Un gran número de investigadores han establecido que la vegetación (como pastos, cultivos, arbustos y bosques) emite cantidades significativas de hidrocarburos a la atmósfera, llamadas emisiones biogénicas.

4.3. Resultados de la vigilancia de la calidad del aire

El análisis fue realizado para cada contaminante del aire que es monitoreado por el SENAMHI. Para el dióxido de azufre se consideró el promedio diario de 24 horas, para el ozono valores promedios de concentraciones móviles de 8 horas, para el dióxido de nitrógeno promedios horarios y el PM₁₀, valores promedio de concentraciones registradas en 24 horas.

Los gráficos presentan los siguientes análisis:

- Concentración media mensual por cada contaminante
- Identificación de dos concentraciones máximas diarias
- Distribución porcentual de la calidad del aire registrada durante todo el año 2011, es decir según la categoría asignada
- Evolución de la concentración media diaria por tipo de contaminante comparándola con las registradas en las demás estaciones

Se presentan también mapas con la distribución de la calidad del aire por estación de monitoreo (Anexos).

4.3.1. Material particulado (PM₁₀)

Durante los meses de verano las concentraciones medias de PM₁₀ alcanzaron de 132.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 149.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación de Ate, superando significativamente las concentraciones en las estaciones de Campo de Marte y San Borja, que fluctuaron de 46.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 58.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de 48.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 58.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Durante los meses de verano el espesor de la capa de mezcla es menor, contribuyendo a que los contaminantes se encuentren en mayor contacto con la superficie. Sin embargo las concentraciones medias del PM₁₀ (figura 21) en Ate fueron más altas debido también a que la dirección del viento fue predominantemente hacia el este, donde las velocidades máximas medias de los vientos locales fueron más altas (9.3 m/s), por lo que al reportarse vientos de mayor magnitud existe mayor resuspensión del material particulado. Por otro lado, durante esta temporada la humedad relativa máxima media en la Lima Este fue de 97% y la lluvia fue casi inexistente (1.0 mm), lo que desfavoreció la deposición húmeda.

En otoño las concentraciones de PM₁₀ de las estaciones de Ate, San Borja y Campo de Marte disminuyeron significativamente, dado el incremento de la nubosidad estratiforme, por lo que la temperatura del aire y la humedad relativa presentaron 17.3°C el día 24 de junio (día más frío) y 93 % el día 19 de junio (día más húmedo).

Aun cuando en junio ocurrió la disminución de la concentración media mensual de PM_{10} , la estación de Ate mantuvo concentraciones superiores a las registradas por las demás estaciones de monitoreo ($62.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Por su parte, San Borja reportó una concentración media de $49.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Campo de Marte $41.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es necesario señalar que la estación de Santa Anita recién inició sus operaciones en dicho mes, reportando una concentración media mensual de $62.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En el invierno, las condiciones meteorológicas sinópticas y sus interacciones ocasionaron el incremento de la frecuencia de nubosidad baja tipo estratiforme sobre todos los distritos de la capital. La altura de la base de la inversión explica que también se incrementó el número de días cubiertos y muy pocos días con nublado parcial y nubes dispersas, con baja insolación que contribuyó a que la temperatura del aire alcance sus valores mínimos y la humedad relativa sus máximos, dentro del ciclo anual, contribuyendo a que las lluvias medias sean de 3.7 mm en julio, 3.3 mm en agosto y 1.4 mm en setiembre.

Las concentraciones medias mensuales de PM_{10} presentaron registros menores en los meses de julio y agosto, cuando la lluvia fue mayor. La zona este reportó un total de lluvias altas de 15 mm, con 25 días de lluvias, mientras que la zona centro presentó solo 8.3 mm de lluvias altas en 32 días. La estación de Ate presentó una tendencia ascendente de concentraciones medias mensuales de PM_{10} , $99.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $105.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $106.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en julio, agosto y setiembre respectivamente.

San Borja mantuvo concentraciones similares para los tres meses de $48.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $51.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, así como Campo de Marte donde las concentraciones fluctuaron entre $38.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $43.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la presencia de vientos débiles en la zona centro de la ciudad que no favorecieron los procesos de resuspensión.

Campo de Marte, alcanzó concentraciones medias mensuales de PM_{10} ascendentes de $38.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en junio, $45.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en julio y $43.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en setiembre.

Es necesario señalar que Santa Anita inició su funcionamiento recién en el mes de junio. Sin embargo, debido a problemas técnicos con el TEOM, recién se reportaron datos en setiembre, donde el PM_{10} alcanzó una concentración media mensual de $75.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la primavera, la disminución de nubosidad y el incremento de la insolación influenciaron en la presencia de lluvias totales medias muy ligeras, con un acumulado de 0.7 mm. Los vientos de superficie variaron entre calmos, débiles y moderados y muy pocos fueron fuertes, con direcciones predominantes entre SE, S y W. La estación de Ate reportó concentraciones medias mensuales de PM_{10} de $106.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $121.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, una tendencia ascendente observada también en Santa Anita, donde alcanzó $86.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a final de año.

Las estaciones ubicadas en los distritos de Ate y Santa Anita presentan mayores concentraciones que Campo de Marte y San Borja. Las estaciones de Ate y Santa Anita reciben aportes no solo de fuentes móviles sino también de

fuentes industriales, ya que muchas fábricas e industrias se encuentran establecidas en dichos distritos. Mientras que en San Borja y Campo de Marte cuentan con una mayor cantidad de áreas verdes⁴ que evitan la resuspensión de material particulado.

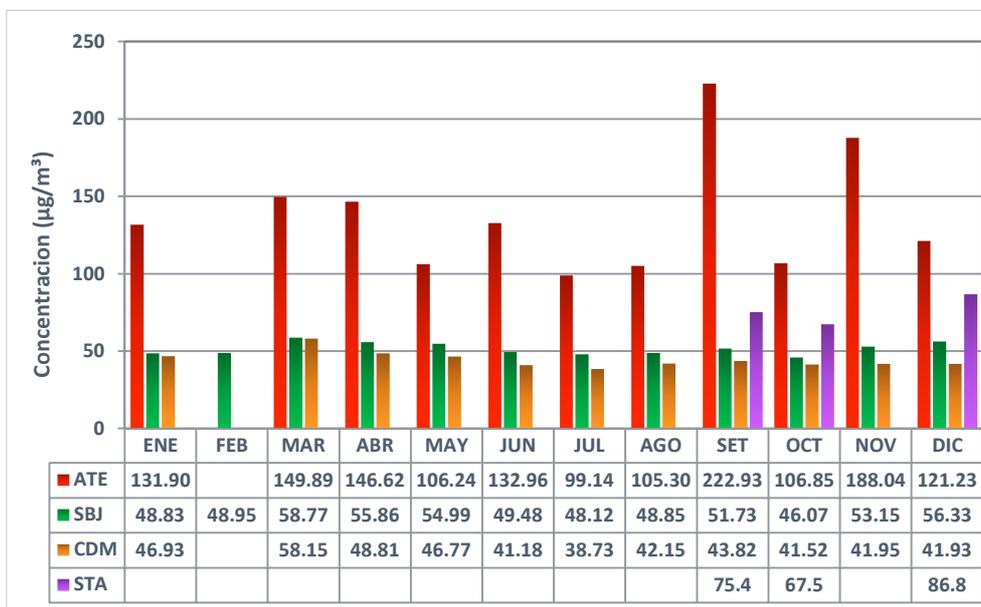


Figura 21 - Concentración media mensual de PM₁₀ en las estaciones de SENAMHI 2011

En la figura 22 se muestran las dos máximas concentraciones diarias mensuales por cada estación de calidad del aire. En la estación de Ate se sobrepasó el ECA diario (150 µg/m³), alcanzándose concentraciones máximas de 268.4 µg/m³ en enero y 224.5 µg/m³ en marzo (las más altas de PM₁₀ en comparación con los demás meses del año).

Cabe recalcar que el Decreto Supremo 074 – 2001 PCM establece que el ECA diario para PM₁₀ no debe superarse más de tres veces al año. Sin embargo, en Ate se sobrepasó el límite 48 veces durante el 2011, lo cual revela que la salud de la población de dicho distrito estuvo expuesta a riesgos.

En las estaciones de San Borja y Campo de Marte las concentraciones máximas de PM₁₀ no superaron el ECA. San Borja reportó concentraciones máximas de 85.2 µg/m³ en abril y 82.6 µg/m³ en el mes de setiembre. Mientras que las máximas concentraciones en Campo de Marte fueron de 87.4 µg/m³ en marzo y 76.3 µg/m³ en setiembre.

La estación de Santa Anita (que inició sus actividades en el mes de junio) registró concentraciones máximas de 115.9 µg/m³ en diciembre y 102.2 µg/m³ en setiembre, que no superaron el ECA diario.

⁴ San Borja cumple con el estándar OMS de áreas verde por habitante (8m²/hab).

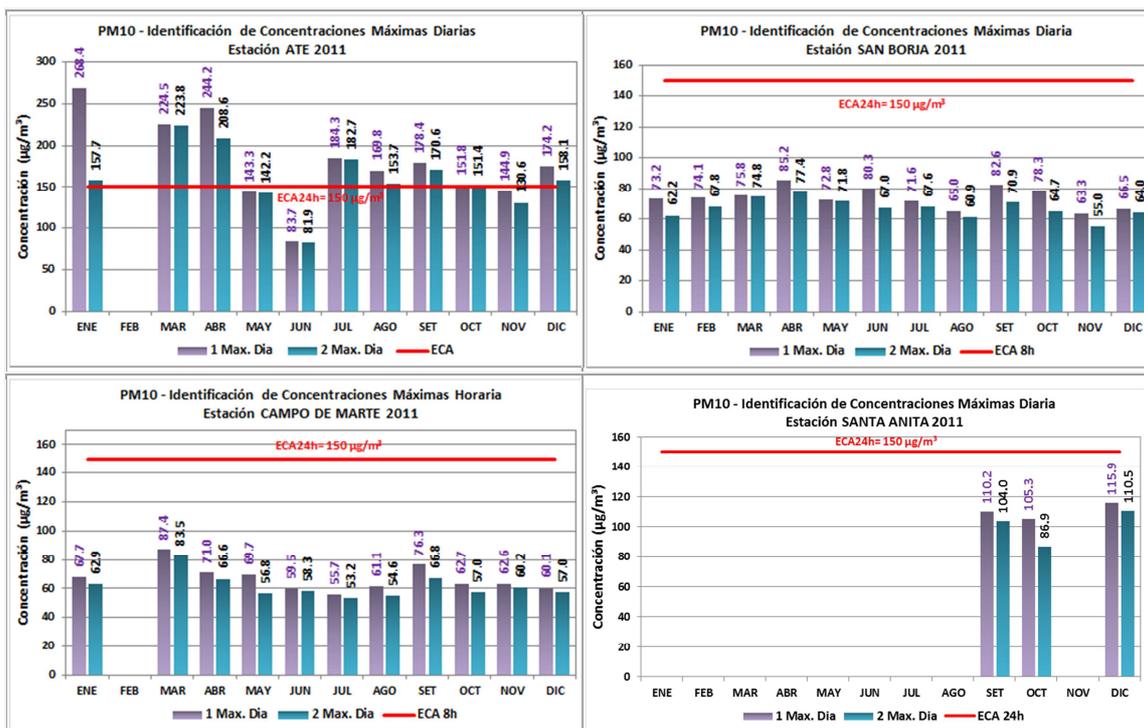


Figura 22 - Máximas diarias de concentración de PM₁₀ para cada estación de calidad de aire del SENAMHI 2011

En 2011 comenzaron a publicarse diariamente los estados de la calidad del aire, con la finalidad de explicar de manera sencilla el nivel de contaminación y el nivel de riesgo de contaminación para la salud. Para ello se establecieron cinco categorías: bueno, moderado, malo, muy malo y alerta máxima. Basado en el conteo de días según dicha clasificación, se calculó la distribución porcentual de la calidad del aire por cada contaminante (figura 23).

Según la distribución porcentual del PM₁₀, el 50% del año Ate se mantuvo dentro de la categoría moderada. En los meses de marzo y abril, se registraron un 36.7% y 50% respectivamente de días clasificados como malos debido a las altas concentraciones de PM₁₀. El mes de junio presentó 11.1 % de días buenos, debido al descenso de las concentraciones de PM₁₀ durante dicho mes.

San Borja reportó días buenos, con porcentajes que variaron de 26.9 % en marzo a 76.7 % en noviembre. Aunque también presentó días considerados moderados, el 22.7 % en noviembre y 73.1% en marzo.

En Campo de Marte, la clasificación porcentual indicó un mayor número de días considerados buenos con 25.8% en marzo y 87.1% en julio.

Finalmente, en la estación de Santa Anita, la distribución porcentual registró días moderados con el 87.5% en setiembre, 80% en octubre y 100% en diciembre.

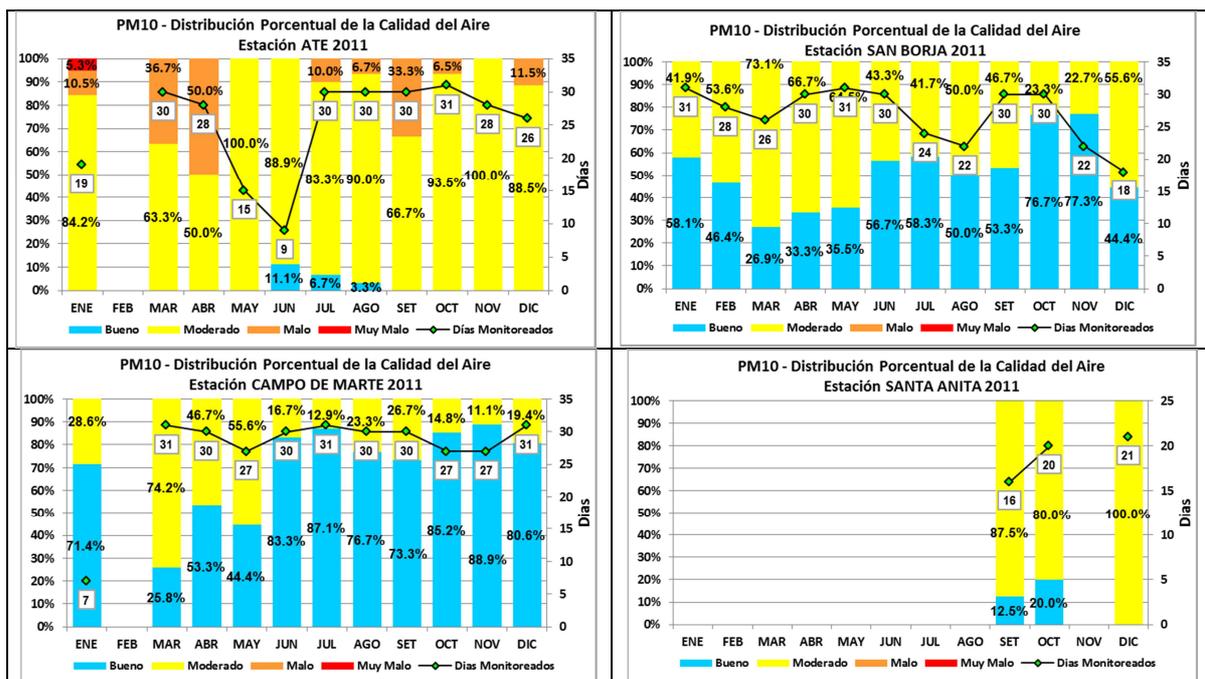


Figura 23 - Distribución porcentual de estados de calidad del aire con respecto al PM₁₀

La figura 24 muestra la evolución de la concentración media diaria del PM₁₀ en las estaciones del SENAMHI, donde se aprecia claramente la diferencia entre Ate y las demás. La mayoría de las diferencias ocurrieron en el cambio de estación, es decir finalizando el verano y en el inicio del otoño. Dicho comportamiento también se observó en el paso del invierno a la primavera, aunque no fue un fenómeno tan significativo.

Las concentraciones medias diarias del PM₁₀ de las estaciones de Campo de Marte y San Borja registraron concentraciones muy parecidas, que en ninguno de los casos superó el ECA diario. Ello responde a sus características similares: el parque automotor ligero que circula por sus vías, pocas zonas industriales, grandes superficies de áreas verdes en su jurisdicción y la ubicación geográfica sin obstáculos naturales que impidan la dispersión de contaminantes, son factores que contribuyeron a reducir las concentraciones.

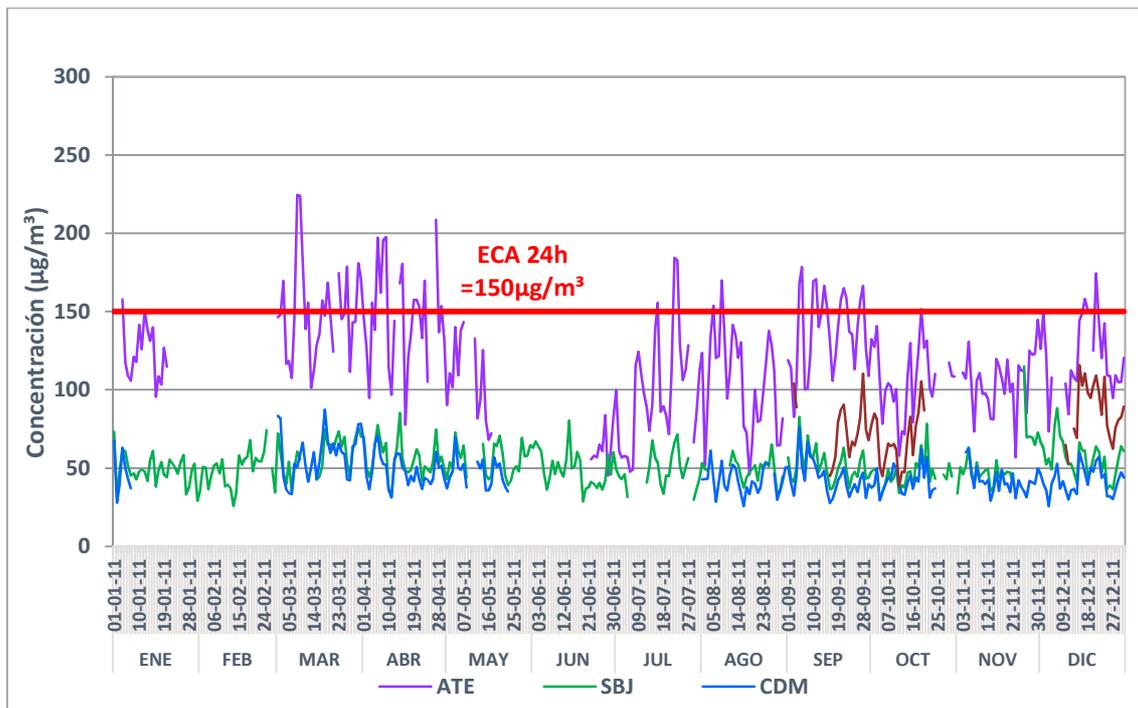


Figura 24 - Evolución de la concentración media diaria de PM10 en 2011 en las estaciones de SENAMHI

4.3.2. Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre es un contaminante formado por la oxidación del contenido de azufre en los combustibles y durante el desarrollo de ciertos procesos industriales. Según Godish (2004) la principal fuente de emisión de SO₂ en las ciudades son las fuentes estacionarias puntuales. Esta información se comprueba en las mayores concentraciones que se registran en el distrito de Ate, que está rodeado de fábricas y zonas de intenso tráfico vehicular. Distritos como San Borja y Jesús María presentan valores más bajos, por ser distritos urbanizados sin una zona industrial.

En términos generales, las concentraciones de SO₂ son bajas (figura 25). Un factor que influye en la disminución de su concentración es la inserción de combustibles más limpios y el uso del gas natural en los sectores industriales y el parque automotor. Este combustible se caracteriza por emitir menores cantidades de CO y concentraciones mucho menores aún de SO₂.

En verano, las concentraciones medias de SO₂ (figura 25) fluctuaron entre 4.3 µg/m³ y 11.3 µg/m³ en San Borja y entre 3.13 µg/m³ y 6.88 µg/m³ en Campo de Marte. En dicha estación del año, la baja altura de la capa de mezcla y la humedad relativa media de 81%, con máximas medias que alcanzaron hasta un 90% en la zona centro, permitieron que el SO₂ mantenga una tendencia ascendente en San Borja y Campo de Marte. La estación de Ate presentó problemas técnicos con el analizador de SO₂ y brindó información a partir del mes de marzo (20.4 µg/m³). En Campo de Marte el analizador presentó problemas técnicos en el mes de febrero.

En otoño las concentraciones medias mensuales de SO₂ en la estación de Ate descendieron gradualmente de 14.2 µg/m³ a 9.4 µg/m³, debido al incremento de la nubosidad estratiforme y la humedad relativa (98%). Sucedió algo similar en San Borja, donde las concentraciones descendieron de 5.4 µg/m³ a 4.3 µg/m³.

Sin embargo, se observó un comportamiento ascendente en Campo de Marte, donde las concentraciones se incrementaron de 2.2 µg/m³ a 7.41 µg/m³, a pesar de contar con humedad máxima media de 92 %, lo que sugiere un incremento de las emisiones de fuentes móviles en la zona.

En el invierno, las concentraciones medias mensuales de SO₂ no presentaron variaciones significativas de mes a mes. Ate presentó concentraciones medias mensuales de 6.9 µg/m³ a 8.3 µg/m³, San Borja de 5.2 µg/m³ a 6.4 µg/m³ y Campo de Marte de 3.52 µg/m³ a 4.0 µg/m³.

En la primavera, la disminución de nubosidad y el incremento de la insolación incidieron en la presencia de lluvias totales medias muy ligeras, con un acumulado de 0.7 mm. Los vientos de superficie variaron entre calmos, débiles y moderados y muy pocos fueron fuertes, con direcciones predominantes entre SE, S y W. La estación de Ate reportó concentraciones medias mensuales de SO₂ de 9.3 µg/m³ a 17.2 µg/m³, una tendencia ascendente que también se observó en San Borja con concentraciones de 6.4 µg/m³ a 7.4 µg/m³ y Campo de Marte de 5.15 µg/m³ a 6.51 µg/m³.

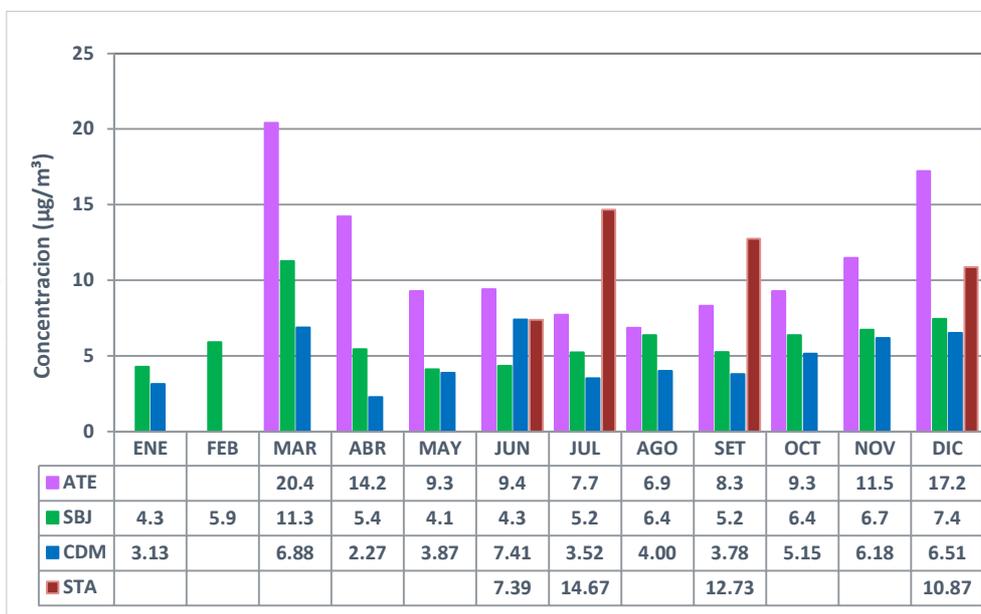


Figura 25 - Concentración media mensual de SO₂ en las estaciones de SENAMHI

En la figura 26 se muestran las dos máximas concentraciones diarias mensuales por cada estación de calidad del aire. En la estación de Ate no sobrepasó el ECA diario (80 µg/m³), alcanzándose concentraciones máximas mensuales de 55.7 µg/m³ en febrero y 55.1 µg/m³ en enero, cuando se

registraron las concentraciones más altas de SO₂ en comparación a los demás meses del año.

En las estaciones de San Borja y Campo de Marte las concentraciones máximas de SO₂ no superaron el ECA. San Borja reportó cifras máximas de 18.4 µg/m³ en marzo y 16.0 µg/m³ en octubre. Mientras que las máximas concentraciones en Campo de Marte fueron de 17.3 µg/m³ en marzo y 14.3 µg/m³ en junio. La estación de Santa Anita registró máximas de 37.8 µg/m³ en diciembre y 33.7 µg/m³ en setiembre, que no superaron el ECA diario.

Si bien es cierto que las concentraciones son menores al ECA, hay que tener en cuenta que a partir del 2014 el nuevo estándar para SO₂ será de 20 µg/m³; por lo que será necesario disminuir las emisiones en Ate y Santa Anita.

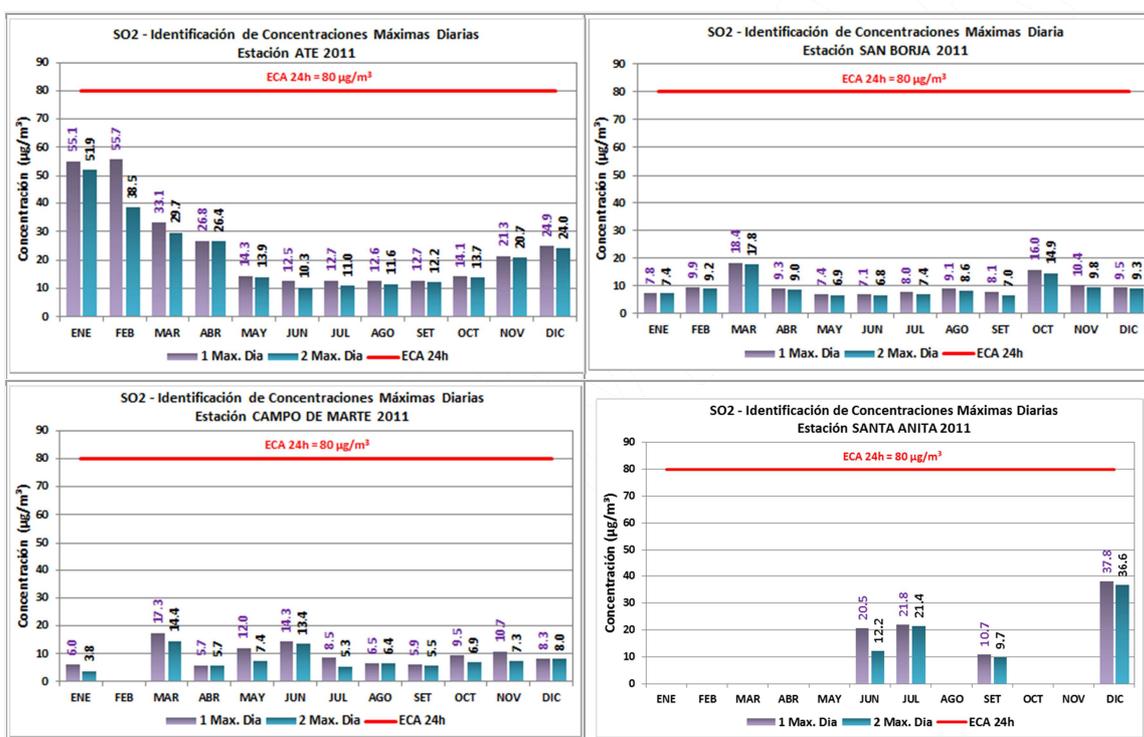


Figura 26 - Máximas diarias de concentración de SO₂ para cada estación de calidad de aire

Según la distribución porcentual del SO₂ (figura 27), Ate mantuvo la clasificación moderada durante los meses de enero, marzo, abril, noviembre y diciembre con 86.7 %, 53.3 %, 30%, 6.7% y 28% respectivamente. Los demás meses del año, reportó días buenos. Esto es concordante con la figura anterior, donde las estaciones no superan el ECA. Sin embargo en algunos casos sus concentraciones fueron superiores respecto a las demás estaciones de calidad del aire.

Tanto San Borja como Campo de Marte reportaron un 100% días buenos todo el año, debido a las bajas concentraciones de este contaminante.

La clasificación porcentual en Santa Anita indicó días considerados moderados en 6.3%, 12.9%, 23.1% y 22.2% en junio, julio, setiembre y diciembre respectivamente.

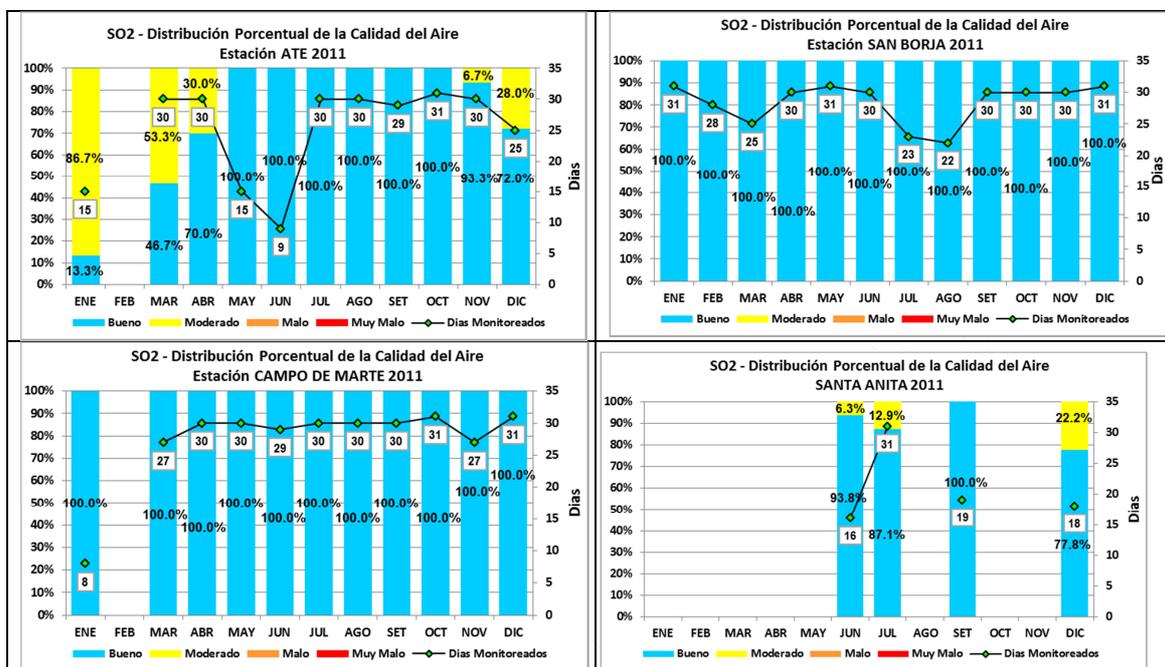


Figura 27 - Distribución porcentual de estados de calidad del aire con respecto al SO₂

En la figura 28 se aprecia la evolución de la concentración media diaria del SO₂ de todas las estaciones, donde se observa que no supera el ECA diario (80 µg/m³) en ninguno de los casos.

Las concentraciones de SO₂ de la estación de Ate son mayores que en las demás estaciones y la mayoría ocurrió en el cambio de estación, es decir finalizando el verano y comenzando el otoño. Dicho comportamiento también se observó en el cambio de estación de invierno a primavera, pero no tan significativo como el anterior.

Las concentraciones medias diarias del SO₂ de las estaciones de Campo de Marte y San Borja registraron concentraciones muy parecidas, que en ninguno de los casos superó el ECA diario. Ello responde a sus similares características: el parque automotor ligero que circula por sus vías, pocas zonas industriales, grandes superficies de áreas verdes y la ubicación geográfica sin obstáculos naturales que impidan la dispersión de contaminantes, son factores que limitaron las concentraciones del SO₂.

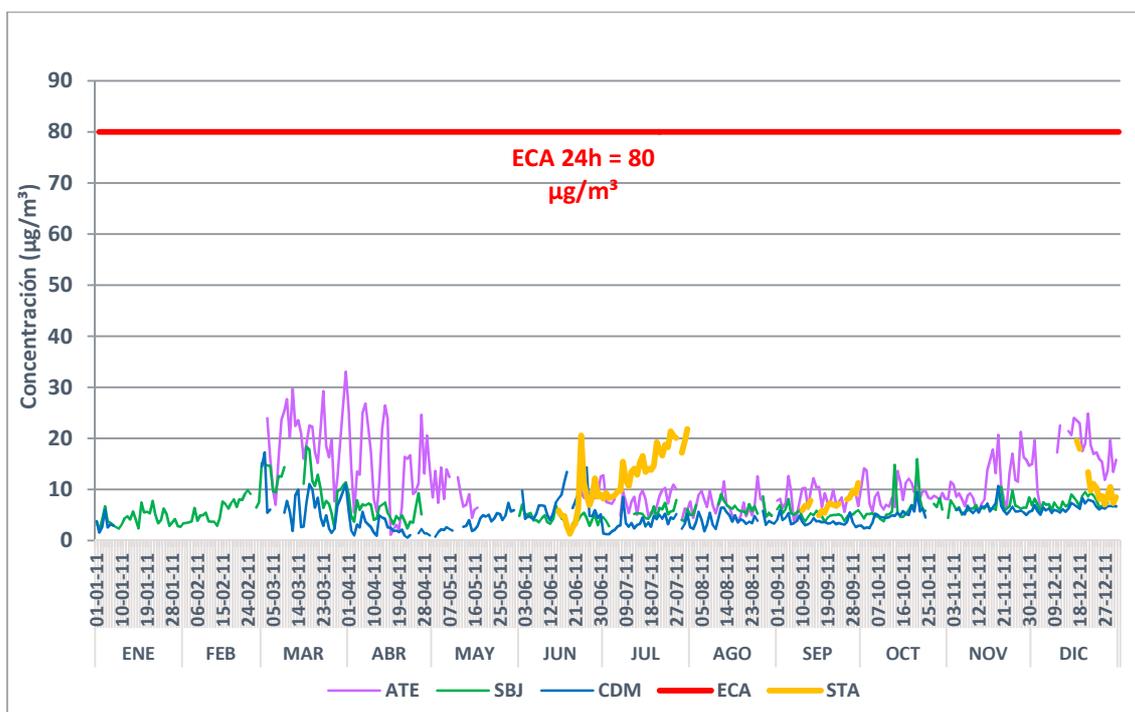


Figura 28 - Evolución de la concentración media diaria del SO₂ en las estaciones de SENAMHI

4.3.3. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno es emitido principalmente por fuentes móviles producto de la combustión de sus motores. Como se mencionó anteriormente, durante el verano el espesor de la capa de mezcla es menor contribuyendo a que los contaminantes se encuentren en mayor contacto con la superficie. Las concentraciones medias del NO₂ (figura 29) en San Borja fluctuaron entre 25.6 µg/m³ y 32.0 µg/m³; en Campo de Marte entre 17.5 µg/m³ y 22.8 µg/m³; y en Ate entre 44.0 µg/m³ y 56.1 µg/m³. Debido a problemas técnicos con el analizador de NO₂, durante febrero no se reportaron datos en Ate ni Campo de Marte.

En otoño las concentraciones de NO₂ de las estaciones de Ate, San Borja y Campo de Marte disminuyeron significativamente con respecto al verano. Las concentraciones medias mensuales en Ate descendieron de 46.3 µg/m³ a 33.0 µg/m³. San Borja también reportó descensos en las concentraciones de 27.8 µg/m³ a 23.1 µg/m³. En Campo de Marte se observó un incremento de dicho contaminante de 19.5 µg/m³ a 21.2 µg/m³. Es necesario señalar que la estación de Santa Anita inició sus operaciones recién en junio, reportando una concentración media mensual de 36.1 µg/m³.

En invierno, las concentraciones medias mensuales de NO₂ en Ate indicaron una disminución gradual mes a mes de 45.4 µg/m³ a 41.6 µg/m³. Algo similar ocurrió en San Borja, donde las concentraciones de NO₂ descendieron de 23.2 µg/m³ a 17.4 µg/m³. Sin embargo, en Campo de Marte y Santa Anita sucedió lo contrario y las concentraciones de dióxido de azufre presentaron una tendencia

ascendente: en Campo de Marte con incrementos de $21.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $26.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Santa Anita de $35.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $40.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En primavera las estaciones de Ate, Santa Anita, San Borja y Campo de Marte presentaron concentraciones medias mensuales de NO_2 descendentes mes a mes, pues en Ate la concentración disminuyó de $62.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $39.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en Santa Anita de $34.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $28.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en Campo de Marte las concentraciones fluctuaron de $20.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $17.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en San Borja de $34.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $28.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En general, los distritos de Ate y Santa Anita presentan mayores concentraciones medias mensuales de NO_2 , mientras que Jesús María y San Borja reportan las menores concentraciones de este contaminante.

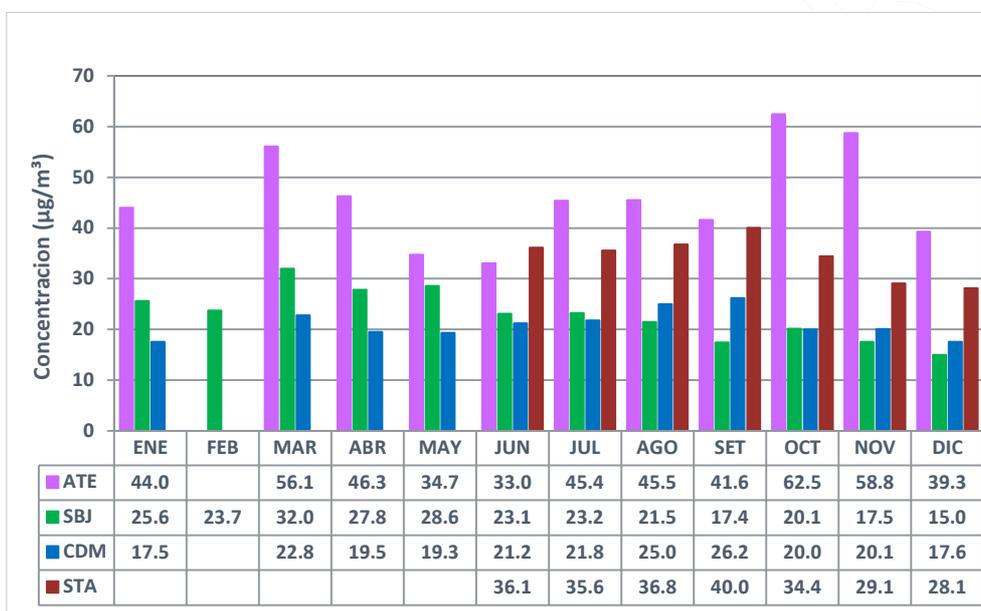


Figura 29 - Concentración media mensual de NO_2 en las estaciones de SENAMHI

Si bien no sobrepasa el ECA en ningún mes, en Ate se reportan concentraciones máximas horarias muy cercanas al estándar, registrándose valores de $173.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante marzo y $152.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en octubre (figura 30).

Por ubicarse cerca de la Carretera Central, vía de intenso tráfico vehicular, la estación de Ate registra emisiones de NO_2 más elevadas. En San Borja las máximas concentraciones se registraron en marzo con $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y abril con $108.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En Campo de Marte la máxima horaria se registró en agosto con $100.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En Santa Anita, la máxima concentración de NO_2 ocurrió en setiembre con $105.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El estándar anual de la OMS ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el NO_2) fue sobrepasado solo en el distrito de Ate, con un promedio anual de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

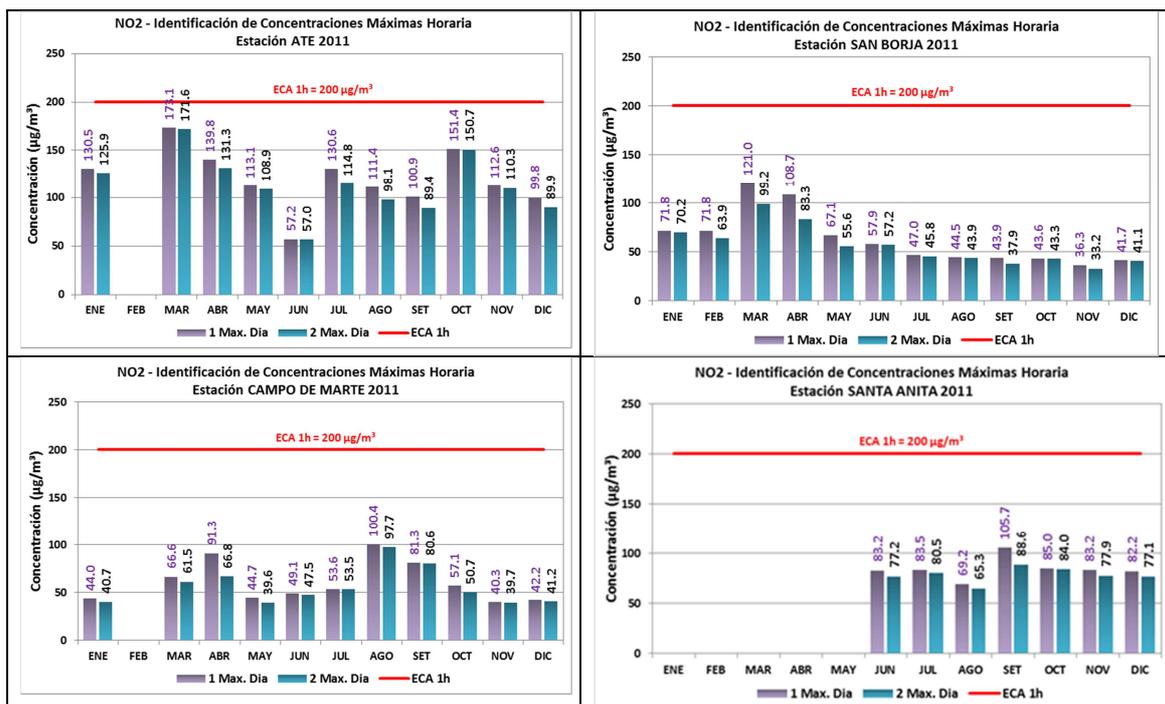


Figura 30 - Máximas diarias de concentración de NO₂ para cada estación de calidad de aire

Según la distribución porcentual del NO₂ (figura 31), Ate mantuvo la clasificación de días moderados en todos los meses monitoreados, desde 96.8% en marzo hasta de 20.0% en mayo. El mes menos contaminado por dióxido de nitrógeno fue junio, pues alcanzó el 100% de días buenos.

En San Borja y Campo de Marte la distribución porcentual de este contaminante fue significativamente baja, pues en la mayoría de los meses se reportaron días buenos. Salvo un 4.0% en marzo, 3.7% en mayo y 3.3% en junio (moderados) en la estación de San Borja y un 6.7% en agosto en Campo de Marte.

La clasificación porcentual en Santa Anita indicó días considerados moderados en junio 25.0%, julio 16.1%, agosto 27.6%, setiembre 46.6%, octubre 17.9% y diciembre 3.4%.

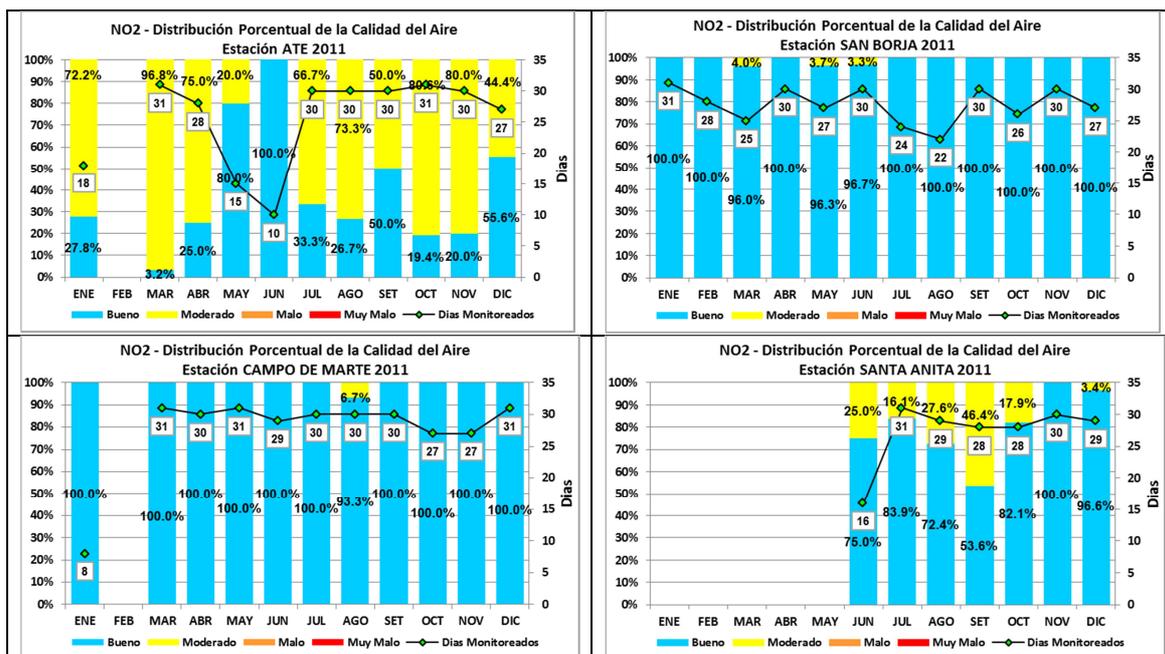


Figura 31 - Distribución porcentual de estados de calidad del aire con respecto al NO₂

En la figura 32 se aprecia la evolución de la concentración media horaria diaria del NO₂ de todas las estaciones, donde se observa que en ninguno de los casos superó el ECA diario (200 µg/m³).

Se puede observar que el comportamiento diario del NO₂ tiene una distribución bimodal (dos picos de concentración durante el día) dado que el NO₂ es un contaminante emitido por fuentes móviles y responde a las horas de mayor congestión vehicular: de 7:00 a 9:00 y de 18:00 a 20:00 horas. En la estación de Ate el aumento de la concentración es constante porque en dicho distrito el tránsito de vehículos es intenso durante todo el día.

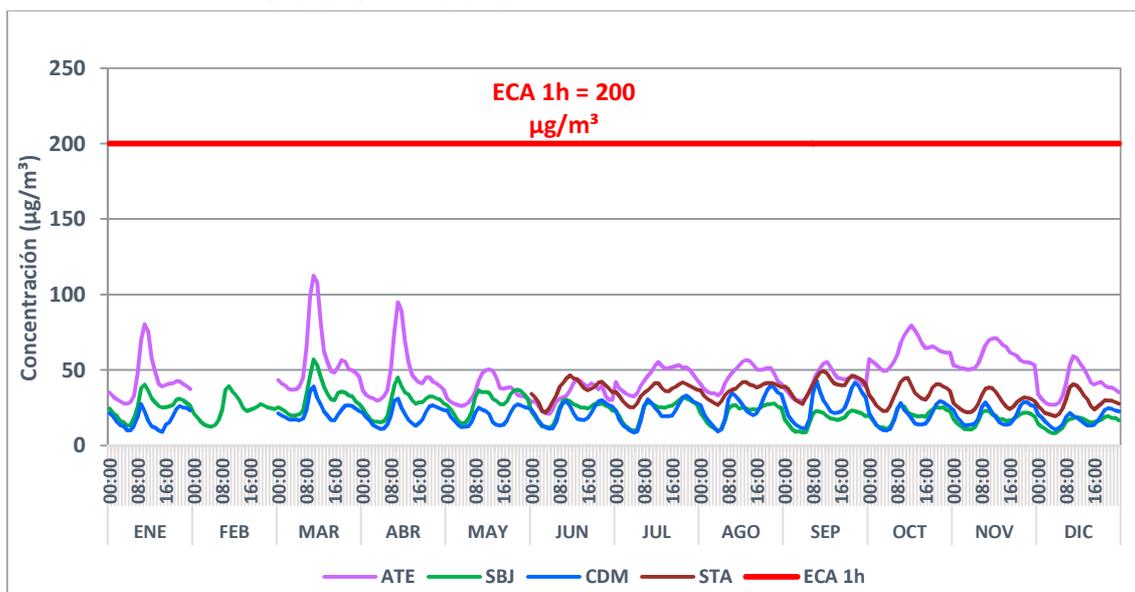


Figura 32 - Evolución de la concentración media horaria para NO₂ en la estaciones de SENAMHI 2011

4.3.4. Ozono (O₃)

El ozono es un contaminante secundario, formado principalmente por reacciones fotoquímicas entre la radiación y sus precursores (NO_x y COV). En tal sentido, uno de los factores meteorológicos más importantes que regulan su concentración es la cobertura nubosa, que reduce la penetración de radiación UV y disminuye las tasas de fotólisis (Jacobson, 2002).

Durante los meses de verano, el menor espesor de la capa de mezcla contribuye a que los contaminantes se encuentren en mayor contacto con la superficie. Las concentraciones medias de O₃ (figura 33) en verano fluctuaron de 15.8 µg/m³ a 15.4 µg/m³ en la estación de Ate. En Campo de Marte se registraron entre 17.7 µg/m³ y 10.9 µg/m³, siguiendo la misma tendencia en la estación de San Borja donde se ubicaron entre 13.4 µg/m³ y 11.6 µg/m³. Las estaciones de Ate y Campo de Marte presentaron problemas técnicos con el analizador de ozono durante el mes de febrero.

En otoño las concentraciones medias mensuales de O₃ tuvieron una tendencia ascendente en San Borja y Campo de Marte, que reportaron de 12.3 µg/m³ a 14.5 µg/m³ y 12.7 µg/m³ a 16.0 µg/m³.

El incremento de la nubosidad estratiforme influyó en la disminución de las concentraciones de ozono en Ate y Santa Anita.

En invierno, la estación de Campo de Marte registró concentraciones medias de O₃ entre 19.7 µg/m³ y 24.5 µg/m³, las mayores concentraciones registradas durante el año 2011, muy superiores a los niveles en Ate y Santa Anita. San Borja también reportó valores mayores que las estaciones localizadas al este de la ciudad: entre 12.3 µg/m³ y 16.6 µg/m³. Las menores concentraciones fueron registradas en la estación de Ate, con 7.5 µg/m³ a 10.7 µg/m³.

En primavera las estaciones de Ate, Santa Anita, San Borja, Campo de Marte y Santa Anita presentaron concentraciones medias mensuales de O₃ descendentes mes a mes, pues en Ate la concentración disminuyó de 9.9 µg/m³ a 8.7 µg/m³, en Santa Anita de 15.2 µg/m³ a 13.1 µg/m³, en Campo de Marte entre 22.6 µg/m³ y 13.1 µg/m³ y en Santa Anita entre 15.2 µg/m³ y 13.1 µg/m³.

Los distritos de Ate y Santa Anita presentan mayor incidencia de radiación solar y emisión de precursores, no obstante tienen menor concentración mensual de ozono. Esto se explica por las reacciones fotoquímicas, que en Ate y Santa Anita registran mayor concentración de NO₂, lo que coincide con las menores concentraciones mensuales de O₃; por lo tanto es posible que haya reaccionado NO con el ozono (un fuerte oxidante) para formar NO₂ (sobre todo durante las noches), reduciendo las concentraciones de O₃ y aumentando las de NO₂. Por otro lado, en San Borja y Jesús María las concentraciones de NO fueron menores porque se consume menos O₃.

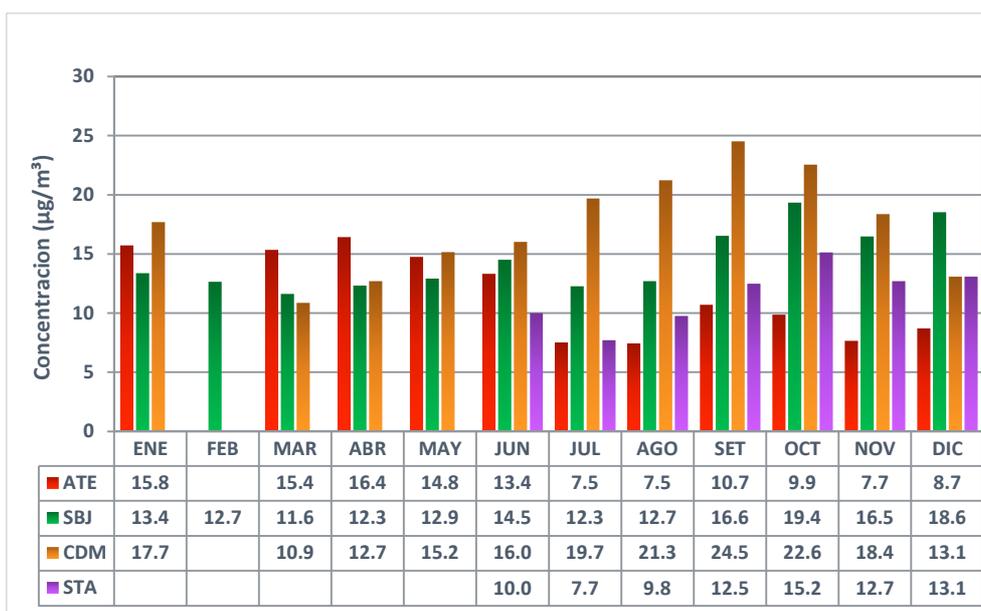


Figura 33 - Concentración media mensual de O₃ en las estaciones de SENAMHI 2011

Si bien las concentraciones de O₃ no sobrepasaron el ECA (120 µg/m³), en la estación de Ate se reportaron concentraciones máximas horarias de 75.9 µg/m³ durante marzo y 65.9 µg/m³ en abril (figura 34).

En San Borja las máximas concentraciones se registraron en abril con 48.7 µg/m³ y 41.2 µg/m³ en junio, mientras que en Campo de Marte la máxima horaria se registró en setiembre con 52.1 µg/m³. Finalmente, en Santa Anita la máxima concentración de O₃ ocurrió en agosto con 71.6 µg/m³.

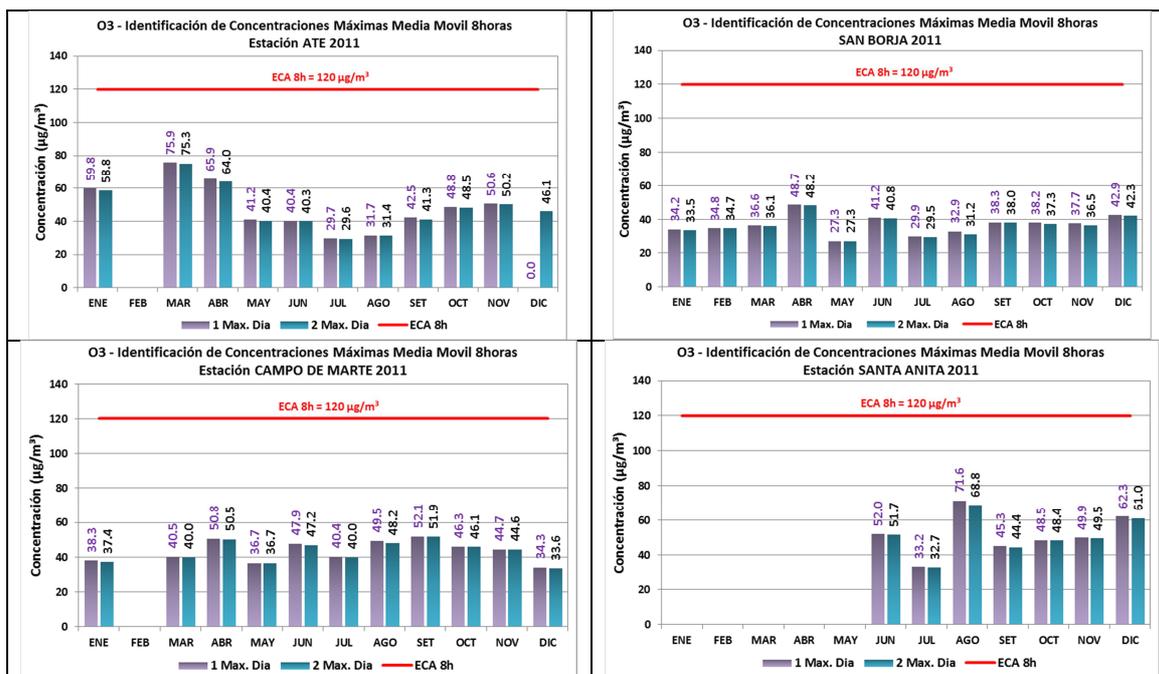


Figura 34 - Máximas diarias de concentración de O₃ para cada estación de calidad de aire

Según la distribución porcentual del O₃ las estaciones de Ate, San Borja, Campo de Marte y Santa Anita reportaron un 100% de días buenos durante todo el año (figura 35) debido a las bajas concentraciones de este contaminante.

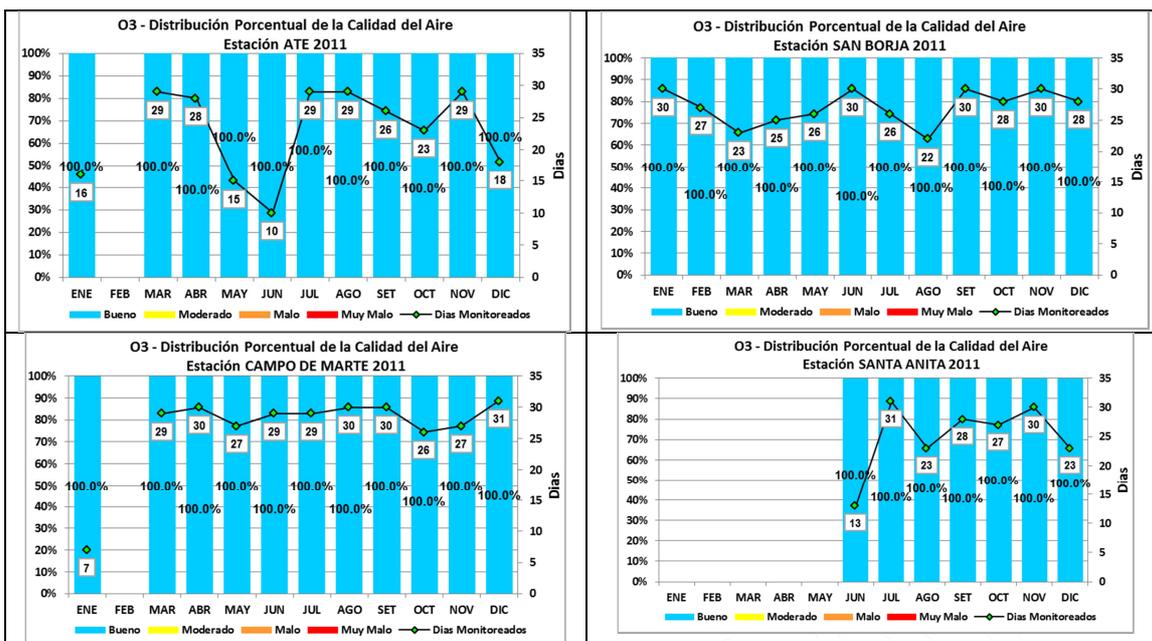


Figura 35 - Distribución porcentual de estados de calidad del aire con respecto al O₃

Debido a que uno de los factores para la formación del ozono es la radiación incidente, este contaminante tiene una distribución gamma diaria con bajas concentraciones durante la noche que aumentan a medida que se incrementa la radiación solar. De esta forma, los mayores valores se registran después del mediodía. La estación de Campo de Marte presenta concentraciones mayores a las demás estaciones a partir del mes de junio.

A partir de junio, se registra un incremento en los niveles de ozono durante la noche. Es posible que se deba al transporte de ozono formado en los distritos del sur – sureste de Lima.

En la figura 36 se muestra la evolución de la concentración media móvil de 8 horas del O₃.

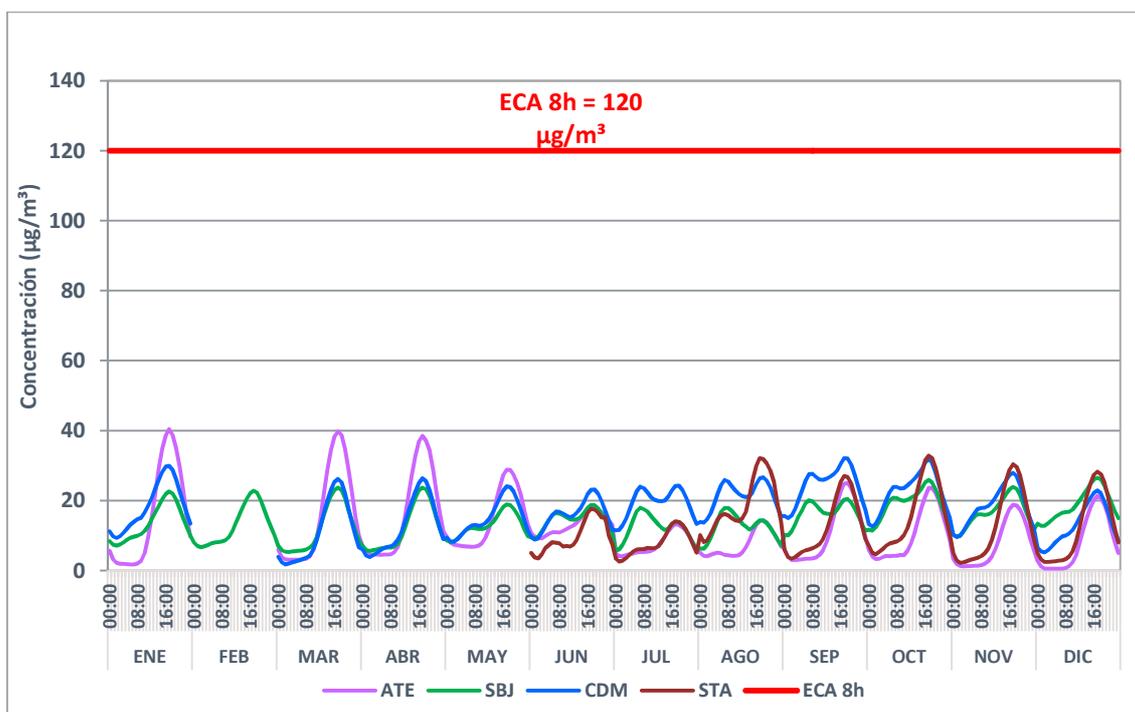


Figura 36 - Evolución de la concentración media móvil 8h para el O₃ en las estaciones de SENAMHI 2011

PRELIMINARIO

5. Conclusiones

La calidad del aire en Lima Metropolitana se encuentra muy influenciada por las concentraciones de material particulado menor a 10 micrómetros (PM_{10}).

Las condiciones meteorológicas y la presencia de fuentes contaminantes son factores determinantes en la distribución de la contaminación del aire. En Lima Metropolitana los vientos predominan hacia el norte, este y sur, así que es natural que se registren mayores concentraciones de material particulado en las estaciones de Ate y Santa Anita que en las de San Borja y Jesús María. Si a ello le sumamos las actividades propias de cada zona, como el intenso tránsito de vehículos pesados y las actividades industriales, la concentración de contaminantes se incrementa.

Con respecto a las concentraciones de NO_2 , SO_2 y O_3 , que no superan los ECA en ninguna de las estaciones de calidad del aire del SENAMHI, se observó que en Ate las concentraciones horarias fueron muy cercanas al límite, lo que nos indica que en determinados días las concentraciones de estos gases son peligrosas para la salud de la población.

Producto de la combustión vehicular, la principal fuente de contaminantes en Lima Metropolitana, estos gases interactúan en la atmósfera produciendo infinidad de reacciones químicas.

Diversas investigaciones científicas han demostrado que la contaminación del aire afecta el sistema respiratorio y cardiovascular, dependiendo del tiempo de exposición. A largo plazo, la contaminación del aire significa una reducción de la esperanza de vida de la población expuesta.

Con la información brindada en el presente estudio los organismos públicos competentes, como municipalidades o ministerios, podrán determinar las acciones más adecuadas para controlar la contaminación del aire. Por otra parte, se requieren mayores estudios que precisen la dinámica atmosférica de Lima Metropolitana y los porcentajes de contribución de las fuentes contaminantes, entre otros aspectos críticos de la problemática. El SENAMHI continuará realizando la vigilancia de la calidad del aire y efectuará estudios más específicos sobre el tema que serán publicados oportunamente.



6. Referencias

CENERGIA (1998). Campaña de Medición de Humos en el Transporte Urbano de pasajeros de Lima, Callao y Huarochirí. Lima: CENERGIA.

CONAM (2001). Inventario de Emisiones Totales. Lima: Comisión Nacional del Ambiente.

Deuman y Walsh (2005). Estudio de línea base ambiental COSAC I. Lima: Deuman International/Walsh Perú Ingenieros y Científicos Consultores.

GESTA (2004). Plan Integral de Saneamiento Atmosférico Lima – Callao. Lima: Grupo de Estudio Técnico Ambiental.

INE (2010). Redes, estaciones y equipos de medición de la calidad del aire 2010. Manual 3. México DF: Instituto Nacional de Ecología.

Jacobson, Mark Z. (2002). Atmospheric Pollution: History, Science, and Regulation. New York: Cambridge University Press.

Korc, M.E., Figari, A.B., Bravo, A., Pareja, J. (2009). Diagnóstico de las emisiones del parque automotor del área metropolitana de Lima y Callao. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Recuperado febrero de 2013 [<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-105.pdf>].

Martínez, A.; Romieu, I. (1997). Introducción al monitoreo atmosférico. Metepec: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud/Organización Mundial de la Salud/GTZ.

Pérez Palomino, P. C. (2010). Propuesta de conversión del parque automotor de Lima y Callao para el uso del gas natural. Tesina de licenciatura. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Seinfeld, J.; Pandis, S. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change. New York: John Wiley & Sons.

SWISSCONTACT (2004). Manual de gestión de la calidad del aire. Lima: DIGESA.

Warner, P. O. (1981). Análisis de los contaminantes del aire. Madrid: Paraninfo.

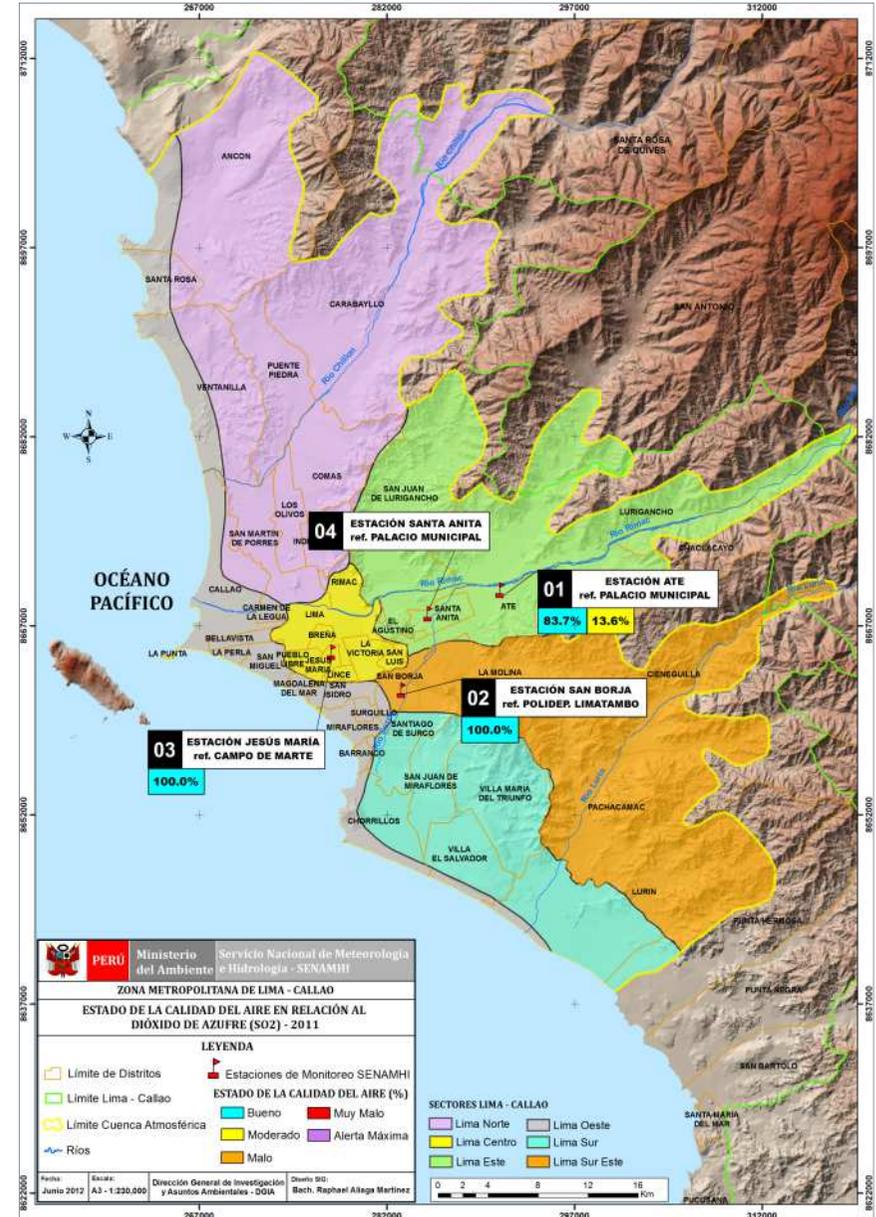
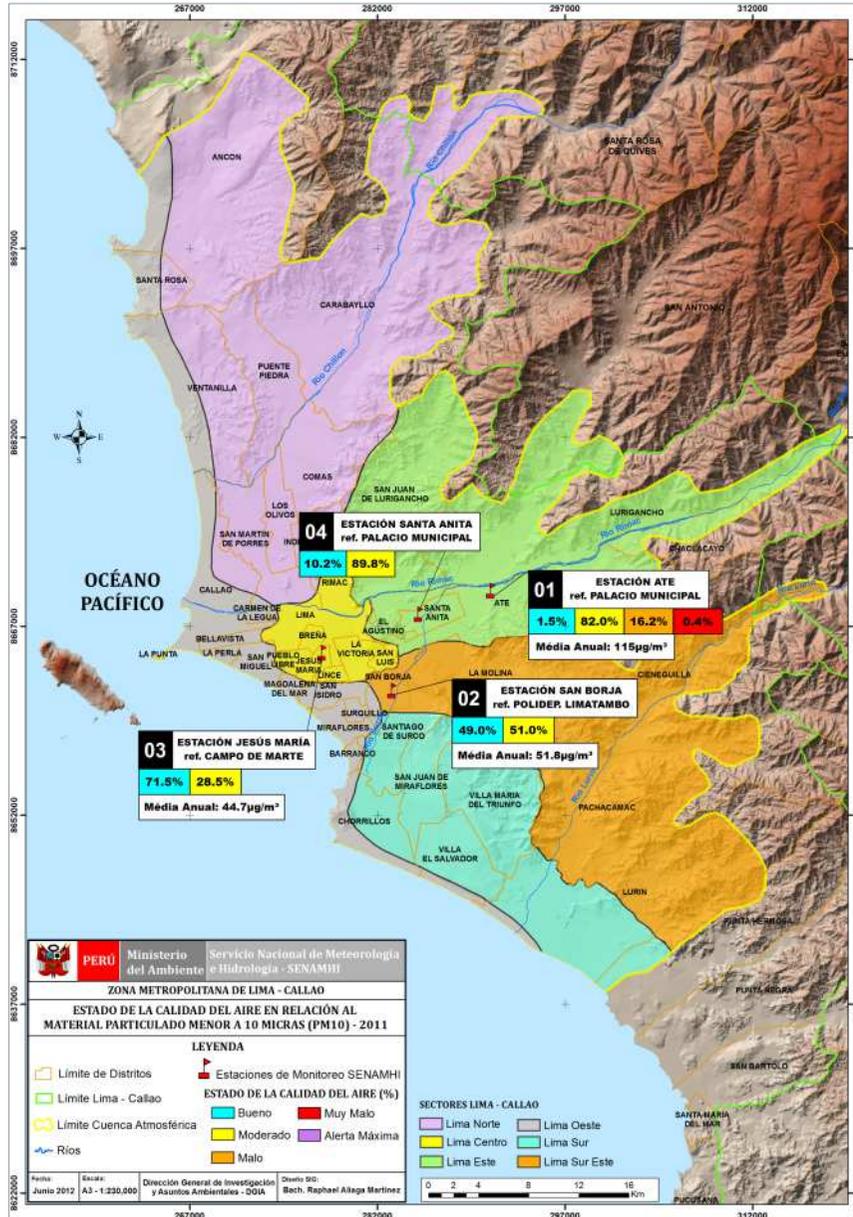


PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

6 Anexos





PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

