

Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2012



Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú





Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2012

Elaborado por:

Ph.D. Meteorología	Odón Román Sánchez Ccoyllo
Ing. Meteorólogo	José Segundo Silva Cotrina
Ing. Ambiental	Carol Geimy Ordoñez Aquino
Ing. Meteorólogo	José Fernando Carlos Canales
Ing. Pesquero	José Luis Angulo Fierro
Lic. Físico	José Eulices Chávez Barturén
Bach. Ing. Ambiental	Rulman Raphael Aliaga Martínez
Ing. Ambiental	Fiorella Vega Jácome
Bach. Ing. Ambiental	Andrés Daniel Bríos Abanto

Colaboración:

Ph. D. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible	Juan Julio Ordoñez Gálvez
Técnico Electrónico	Carlos Pardavé Trujillo
Técnico Computación	Rosalinda Aguirre Almeyda
Ing. Ambiental	José Daniel Ibarra Basurto

Fecha de publicación: Lima 2014



Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2012

© **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.; Silva, J.S.; Ordoñez, C. G.; Canales, J. C.; Angulo, J. L.; Chávez, J. E.; Aliaga, R. R.; Vega, F.; Bríos, A. D (2014). **Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2012**. Lima: SENAMHI.



Presentación

Para lograr que Lima sea una ciudad ecoeficiente y sostenible, la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del SENAMHI realiza el monitoreo de la calidad del aire mediante una red observacional conformada por cinco estaciones automáticas. Esta red permite recabar información sobre la variabilidad y comportamiento de los contaminantes atmosféricos, para generar pronósticos y tendencias mediante la aplicación del modelo químico - dinámico CCATT-BRAMS.¹

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
Director de Proyectos de Desarrollo y Medio Ambiente del SENAMHI

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

**ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO	6
3. ZONA DE ESTUDIO	6
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
4.1. Métodos	10
5. CALIDAD DEL AIRE	10
5.1. Índice de calidad del aire.....	10
5.2. Contaminantes atmosféricos monitoreados.....	12
5.3. Condiciones meteorológicas sinópticas y climáticas en Lima Metropolitana y Callao.....	14
5.3.1. Aspectos sinópticos y meteorológicos.....	14
5.3.1.1. Verano (enero a marzo).....	14
5.3.1.2. Otoño (abril a junio)	18
5.3.1.3. Invierno (julio a setiembre).....	21
5.3.1.4. Primavera (octubre a diciembre).....	24
5.3.1.5. Variación mensual de la capa de mezcla.....	27
5.3.2. Condiciones meteorológicas climáticas en Lima Metropolitana – Callao	27
5.3.2.1. Aspectos climáticos	27
5.3.2.2. Temperatura del aire	28
5.3.2.3. Humedad relativa del aire	30
5.3.2.4. Lluvias	33
5.3.2.5. Velocidad y dirección del viento superficial.....	35
5.4. Resultados de la vigilancia de la calidad del aire	37
5.4.1. Material particulado (PM ₁₀).....	38
5.4.2. Dióxido de azufre (SO ₂)	45
5.4.3. Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	48
5.4.4. Ozono (O ₃).....	51
6. Conclusiones	52
7. Referencias.....	53

1. INTRODUCCIÓN

Entre las especies químicas más frecuentes que causan alteraciones en la composición de la atmósfera se encuentran los aerosoles, óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos ($\text{H}_n \text{C}_m$), ozono (O_3) y dióxido de carbono (CO_2).

Para cuantificar y evaluar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos a nivel espacial y temporal, mediante la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales el SENAMHI opera una red de cinco estaciones automáticas de calidad del aire que contribuye a generar conocimientos sobre los procesos físicos y químicos involucrados.

El presente documento técnico muestra la evolución de la variabilidad espacial y temporal de los contaminantes primarios en la ciudad de Lima.

2. OBJETIVO

Brindar conocimientos sobre la variabilidad y comportamiento de los principales contaminantes atmosféricos primarios en Lima Metropolitana durante el año 2012.

3. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a la ciudad de Lima (Figura 1), localizada a orillas del océano Pacífico a los $12^\circ 04'$ Latitud Sur y $72^\circ 22'$ Longitud Oeste. Su extensión es de 2812 km², de los cuales 798,6 km² son de área urbanizada, 179,9 km² de tierras de cultivo y 1833,5 km² de tierras de morfología colinosa y montañosa con pocas posibilidades de ser urbanizadas. Limita por el este con las estribaciones de la Cordillera de los Andes y por el oeste con el océano Pacífico, con una altitud de 154 msnm en promedio.

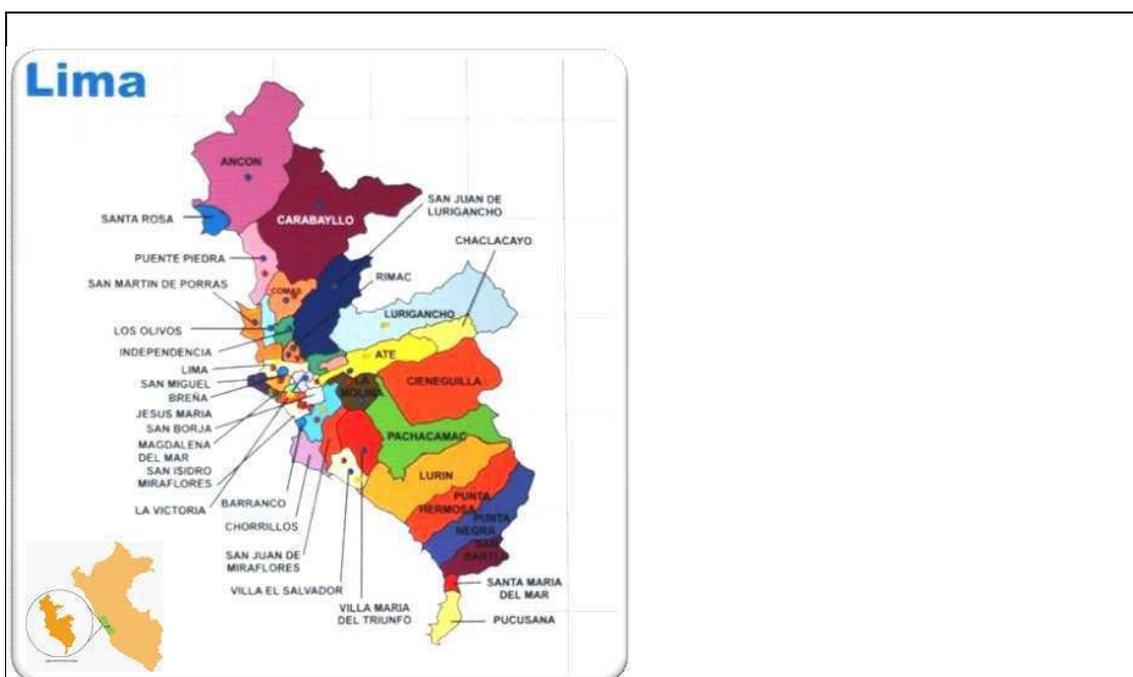


Figura 1. La ciudad de Lima (Fuente: www.chiclayoonline.com)

El Instituto Metropolitano de Planificación clasifica los distritos de Lima Metropolitana de la siguiente manera:

Tabla 1. Estimación de la población por áreas interdistritales de Lima Metropolitana

Orden	Áreas	Distritos	Población total
1	Norte	Ancón, Carabaylo, Comas, Independencia, Los Olivos, Puente Piedra, San Martín de Porres, Santa Rosa.	2'427,936
2	Este	Ate, El Agustino, San Juan de Lurigancho, Santa Anita, Chaclacayo, La Molina, Lurigancho, Cieneguilla.	2'502,668
3	Centro	Breña, Cercado, La Victoria, Rímac, San Luis, Lince, Magdalena, Pueblo Libre, San Miguel, Barranco, Miraflores, San Isidro, Surquillo, Jesús María, San Borja, Santiago de Surco, Chorrillos.	2'105,023
4	Sur	San Juan de Miraflores, Villa el Salvador, Villa María de Triunfo, Pucusana, Lurín, Pachacamac, Punta Hermosa, Punta Negra, Santa María de Mar, San Bartolo.	1'504,944

Fuente: IMP, 2013 e INEI, 2013. Elaboración propia

La red de monitoreo de la calidad del aire del SENAMHI en Lima Metropolitana consta de cinco estaciones con equipos automáticos que monitorean horariamente los contaminantes: material particulado menor de 10 μm (PM_{10}), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y ozono superficial (O_3), contaminantes cuyas características se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Contaminantes monitoreados

Contaminante	Símbolo	Características
Óxido nítrico	NO	Gas incoloro, no inflamable, inodoro y tóxico.
Dióxido de nitrógeno	NO_2	Gas pardo-rojizo, no es inflamable pero sí tóxico y se caracteriza por desprender un olor muy asfixiante.
Dióxido de azufre	SO_2	Gas incoloro de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Es 2.2 veces más pesado que el aire.
Ozono troposférico	O_3	En condiciones normales es un gas incoloro de olor picante característico. Posee un gran poder oxidante y gran tendencia a transformarse en oxígeno.
Partículas menores de 10 micrómetros	PM_{10}	Aquellas partículas con tamaño aerodinámico menor o igual a 10 μm . Estas partículas pueden penetrar las vías respiratorias superiores.

Fuente: adaptado de EPA. Elaboración propia.

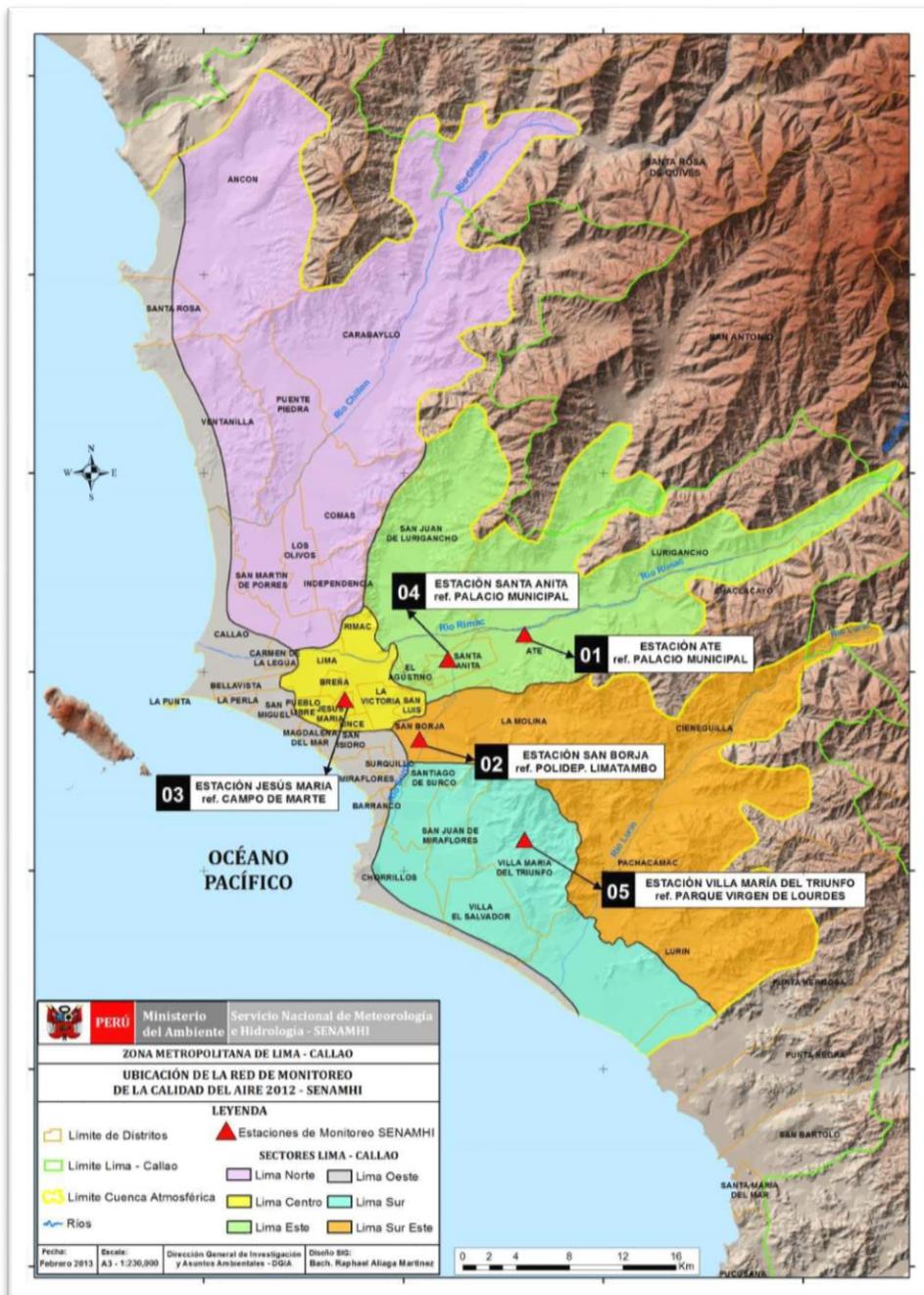
Las estaciones de calidad del aire se encuentran ubicadas en los distritos de San Borja, Ate, Jesús María, Santa Anita y Villa María del Triunfo, tal como se muestra en la Tabla 3 y la Figura 2. Las estaciones de Villa María del Triunfo y Santa Anita cuentan con una estación meteorológica que mide presión, humedad relativa y temperatura del aire.

**Tabla 3.** Relación de estaciones automáticas de monitoreo de la calidad del aire

N°	Estación	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)	Dirección	Parámetros de medición
1	Ate	291097	8669823	362	Carretera Central Km 7.5 (Palacio Municipal)	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ y O ₃
2	San Borja	283200	8661900	136	Calle Malachowki 550 (Polideportivo Limatambo)	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ y O ₃
3	Jesús María	277601	8664893	110	Jr. Nazca s/n (Parque Campo de Marte)	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ y O ₃
4	Santa Anita	285325	8667937	276	Av. Los Eucaliptos cdra. 12 (Palacio Municipal)	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ y O ₃
5	Villa María del Triunfo	291077	8654306	292	Av. 26 de Noviembre s/n - Sector Nueva Esperanza (Parque Virgen de Lourdes)	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ y O ₃

Fuente: Elaboración propia.

Debido a las características geográficas de Lima Metropolitana, el comportamiento atmosférico y las fuentes de contaminación (emisiones vehiculares, industriales y comerciales), existe un potencial riesgo ambiental. La vigilancia atmosférica es una tarea primordial y por tal razón el SENAMHI está ampliando la red de monitoreo actual con cinco estaciones adicionales que incluyen estaciones meteorológicas automáticas. Los distritos beneficiados son Puente Piedra, Carabayllo, San Martín de Porres, San Juan de Lurigancho y el Centro Poblado de Santa María de Huachipa (distrito Lurigancho-Chosica).

Figura 2. Red observacional de calidad de aire para Lima Metropolitana

Fuente: Elaboración propia.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de las actividades técnicas científicas que dan origen al presente documento, se divide en una fase de campo y otra de gabinete. La primera se ocupa de la operatividad y sostenibilidad de la red observacional de calidad del aire, mientras que la segunda contempla los análisis de la variabilidad y comportamiento de los contaminantes monitoreados.

4.1. Métodos

Los aspectos conceptuales y metodológicos que sustentan la elaboración del presente documento técnico, contemplan como línea de base la definición del índice de calidad del aire y la clasificación de su estado.

5. CALIDAD DEL AIRE

5.1. Índice de calidad del aire

El Índice de Calidad del Aire (ICA) está basado en valores establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire y los Niveles de Alerta Nacional de Contaminantes del Aire.

Para establecer la categoría global de cada estación se utiliza el índice más elevado de los contaminantes monitoreados, representados en la Tabla 4. El dióxido de nitrógeno y el ozono no presentan índices en las dos últimas categorías debido a que la legislación vigente no lo establece.

Tabla 4. Índice de calidad del aire

Índice de calidad del aire	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: basado en el DS 074-2001-PCM, DS 003-2008-MINAM y adaptado de EPA.
Elaboración propia

El ICA es una herramienta muy simple que explica la calidad del aire en cada distrito monitoreado y la clasifica en categorías de estados como bueno, moderado, malo, muy malo y alerta máxima. Los efectos en la salud humana de cada categoría y las acciones preventivas se describen en el Tabla 5. El estado de la calidad del aire en Lima Metropolitana se emite diariamente a través del portal institucional del SENAMHI: http://www.senamhi.gob.pe/usr/dgia/est_calidad_aire.jpg

Tabla 5. Clasificación de los estados de la calidad del aire

Estado de calidad del aire	Valores de estado	Efectos en la salud	Acciones que deben tomar las personas
BUENO	0 a 50	La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación del aire no representa ningún riesgo.	Toda la población puede realizar sus actividades cotidianas al aire libre sin ninguna restricción.
MODERADO	>50 a 100	Los grupos de población sensible (niños y ancianos) pueden presentar síntomas como tos y cansancio	Personas particularmente sensitivas a la contaminación del aire: planeen actividades físicas al aire libre cuando mejore la calidad del aire.
MALO Dañino para la salud de los grupos sensitivos	>100 a 200	La población puede padecer síntomas como tos seca, ojos cansados, ardor en la nariz y garganta.	Grupos sensitivos: reduzcan o pospongan actividades físicas al aire libre cuando se detecte la presencia de los siguientes contaminantes: Contaminación por partículas: personas con enfermedades cardíacas o pulmonares (incluyendo diabetes), adultos de edad avanzada y niños. Ozono: niños y adultos activos y personas con enfermedades pulmonares. Dióxido de azufre: niños activos y adultos con asma.
MUY MALO Dañino para la salud	>200 a 300	Toda la población puede presentar agravamiento de síntomas como tos seca, ojos cansados, ardor en la nariz y garganta.	Todos: reduzcan o pospongan las actividades físicas al aire libre. Grupos sensitivos: eviten las actividades físicas al aire libre.
ALERTA MÁXIMA Muy dañino para la salud	>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.	Todos: reduzcan considerablemente las actividades físicas al aire libre. Grupos sensitivos: eviten todas las actividades físicas al aire libre.

Fuente: adaptado de EPA



5.2. Contaminantes atmosféricos monitoreados

La red observacional y la información generada contribuyen a verificar permanentemente que se cumplan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, establecidos por los decretos supremos 074-2001-PCM y 003-2008-MINAM (Tabla 6). Asimismo, se emiten avisos cuando se sobrepasan los Niveles de Estado de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire, señalados en los decretos supremos 009-2003-SA y 012-2005-SA (Tabla 7).

Tabla 6. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire

Contaminante	Periodo	Forma del estándar				Vigencia	Método del análisis
		µg/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	Hasta diciembre de 2013	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	

Fuente: elaboración propia basado en DS 009-2003-PCM y DS 003-2008-MINAM.

Tabla 7. 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

Fuente: elaboración propia basado en DS 009-2003-SA y DS 012-2005-SA.

5.3. Condiciones meteorológicas sinópticas y climáticas en Lima Metropolitana y Callao

5.3.1. Aspectos sinópticos y meteorológicos

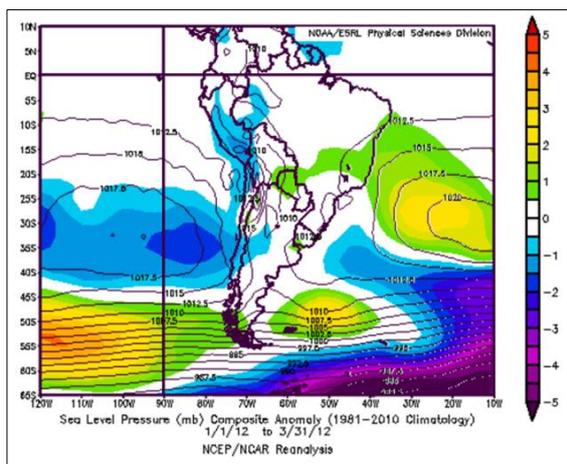
Se realizó la evaluación estacional de las condiciones meteorológicas sinópticas y locales de superficie y altura mediante salidas de reanálisis de NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) y NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), complementado con información de la red meteorológica local de superficie y una de radiosondeo (7:00 AM hora local).

5.3.1.1. Verano (enero a marzo)

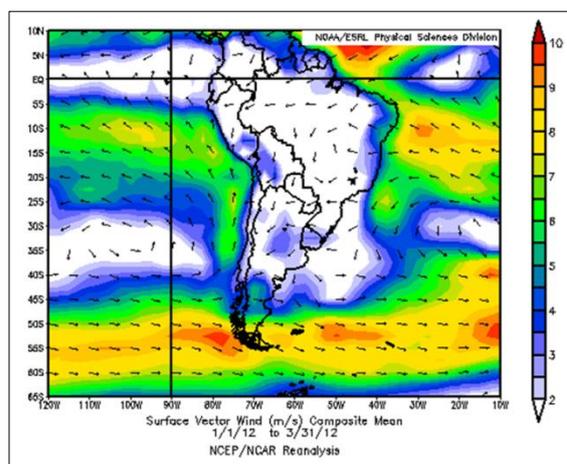
Durante el verano 2012, las condiciones meteorológicas sinópticas mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental varió entre 1015 y 1035 hPa; con una media de 1017,5 hPa en los 32°S y 102°W; anomalías entre -1,0 y condiciones normales (0 hPa) en latitudes tropicales y entre -2 y condiciones normales en altas latitudes del SW y S (Mapa 1). En relación a estas condiciones, la temperatura superficial del mar (TSM) presentó anomalías entre -1,3 y +1,5°C en latitudes tropicales y entre -1,0 y +2,5°C en altas latitudes del S y SW. Así también, el comportamiento variable del anticiclón y su interacción con la presencia de la Cordillera de los Andes dieron origen a vientos fuertes en los niveles bajos de la atmósfera del Pacífico suroriental que disminuyeron a débiles/moderados (2 a 4 m/s) del SE y S, en altas latitudes vientos fuertes del S y SSW con intensidades > 8 m/s, situación que ocasionó vientos fuertes a lo largo de la costa peruana en el dominio marítimo (Mapa 2).

La consecuencia del campo de vientos descrito es el afloramiento marino activo de la corriente fría de Humboldt, que en conjunto propiciaron la presencia de una inversión térmica por subsidencia con altura promedio de su base a 452 msnm, espesor medio 274 m y gradiente promedio de 1,2°C/100 m (Tabla 8), que originó condiciones atmosféricas entre medianas y fuertemente estables durante la estación de verano.

Verano - 2012



Mapa 1. Presión a nivel del mar y anomalías (hPa) (NCEP/NCAR Reanalysis), verano del hemisferio sur
Fuente: Elaboración propia



Mapa 2. Vector viento superficial promedio (m/s) (NCEP/NCAR Reanalysis), verano del hemisferio sur

Tabla 8. Características de la capa de inversión térmica en la costa central de Perú. Estación A.I. Jorge Chávez, verano (ENE-MAR) - 2012

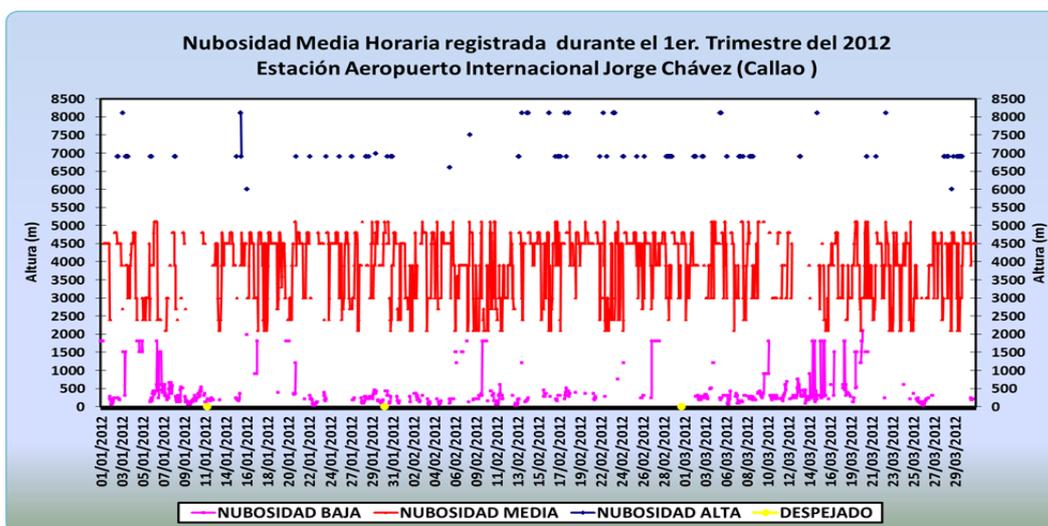
PARÁMETRO	UNIDAD	VERANO - 2012				
		MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	635,0	Febrero	75,0	Marzo	274
Altura Base	metro	2324,0	Febrero	13	Marzo	452
Altura Tope	metro	2648,0	Febrero	88	Marzo	725
T Base	° C	22,4	Febrero	-0,1	Febrero	17,7
T Tope	° C	25,4	Febrero	6,2	Febrero	20,8
Gradiente	°C / metro	4,9	Enero	0,1	Enero-Febrero	1,2
H.R. Base	%	100	Enero-Febrero	68	Marzo	92
H.R. Tope	%	100	Enero	26	Enero	61

Fuente: elaboración propia.

Las condiciones descritas dieron lugar a la presencia eventual de nieblas y neblinas estratiformes 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 msnm) que en algunos días cubrieron toda la zona metropolitana Lima-Callao (Figura 3) con la consiguiente generación de garúas. Ello explica que la mayor parte de los días presentaron condiciones con nublado parcial, nubes dispersas y presencia de alta insolación que contribuyó a que en la ciudad capital la temperatura del aire alcance su máximo valor medio mensual en la parte central del verano austral, donde los promedios de temperatura del aire y humedad relativa fueron de 22,7°C y 79%. Se alcanzaron los 20,6°C el 10 de enero (día más frío) y 24,7°C el 15 de febrero (día más cálido). La humedad relativa fue de 87% el 10 de enero, 7 de febrero y 13 de marzo (días más húmedos) y 70% el 29 de febrero (día más seco).

En la Figura 3 se puede observar que durante el verano del hemisferio sur, las condiciones meteorológicas de la costa central del Perú se caracterizaron por una marcada presencia de nubosidad media y alta, originada por los trasvases de masas húmedas de aire desde la Amazonía, gracias a la alta humedad atmosférica que caracteriza al verano del sur en estas latitudes e impulsadas por el centro de alta presión denominado Alta de Bolivia, que durante este periodo se configura sobre el continente.

Figura 3. Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez, verano - 2012



Fuente: elaboración propia.

Durante el periodo de verano 2012 (Mapas 3, 4 y 5) se observa que en estrecha interacción con el campo de vientos regionales (Mapa 2), en la cuenca atmosférica de Lima-Callao los vientos locales variaron entre débiles, moderados y fuertes con direcciones predominantes del SW y S, con presencia en horas diurnas de flujos del NW en Lima norte y en las horas nocturnas del SE en Lima sur. Los vientos más intensos (≥ 6 m/s) se presentaron en horario vespertino en Lima norte, oeste, sureste, sur y los más débiles (1-3 m/s) fueron en horario diurno y nocturno, principalmente, con una presencia de calmas referencial de hasta 1,9% en la estación del A. I. Jorge Chávez del Callao.

En relación a las condiciones descritas, que caracterizaron al verano 2012 del hemisferio sur, en la cuenca atmosférica de Lima-Callao se presentaron lluvias totales medias de 0,0 mm en enero, 3,3 mm en febrero y 0,9 mm en marzo, con un acumulado de 4,2 mm.

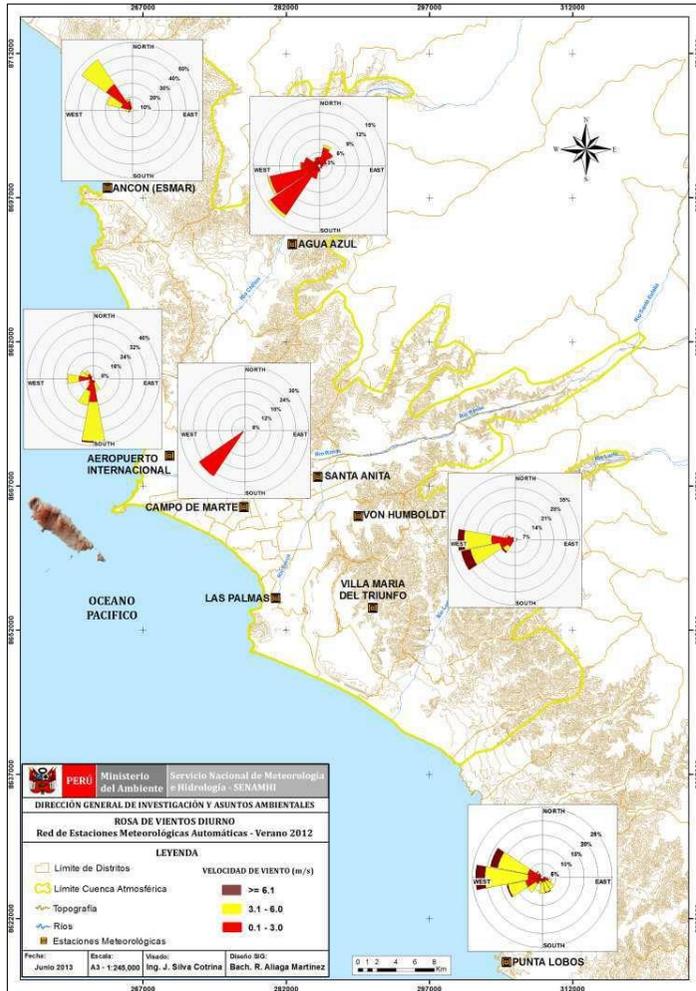


PERÚ

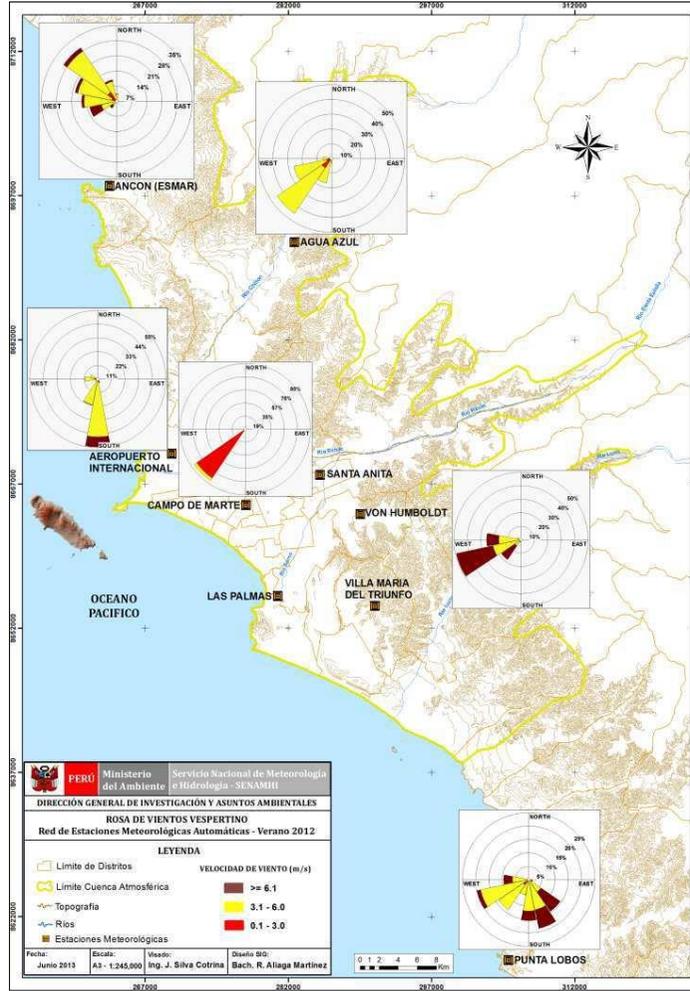
Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

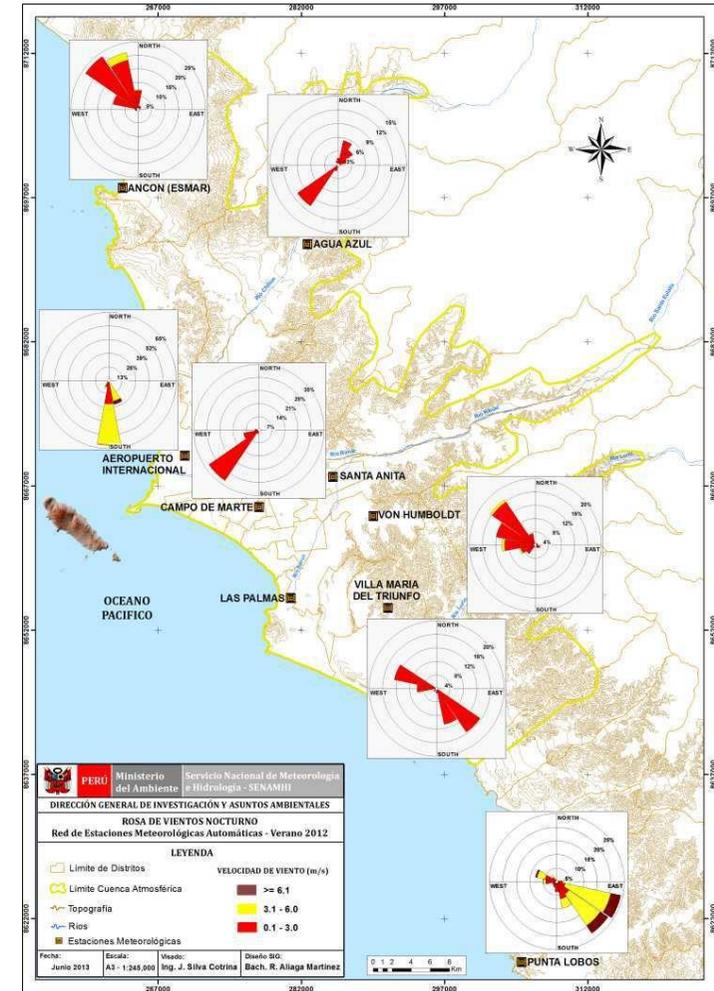
VERANO 2012: ENERO - MARZO



Mapa 3: Viento horas diurnas



Mapa 4: Viento horas vespertinas



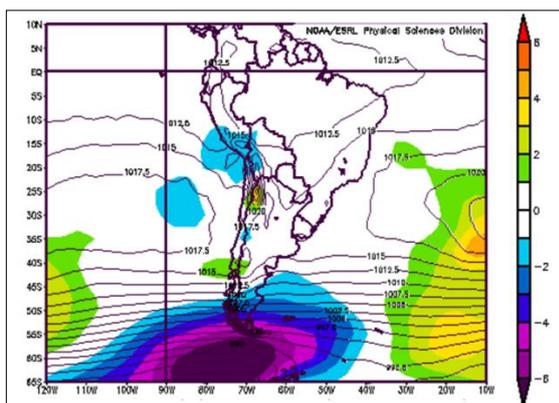
Mapa 5: Viento horas nocturnas



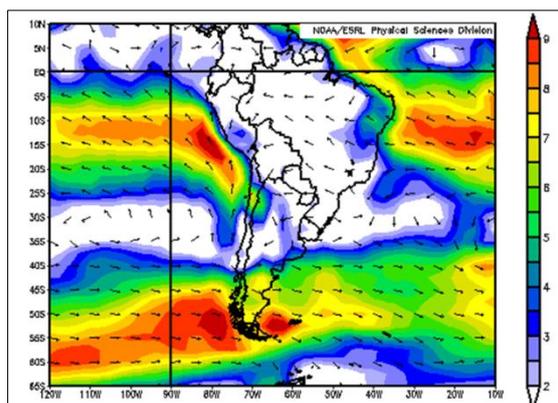
5.3.1.2. Otoño (abril a junio)

Durante el otoño 2012, las condiciones meteorológicas sinópticas mostraron un comportamiento muy variable del Anticiclón del Pacífico suroriental con valores entre 1012,5 y 1040 hPa con una media de 1017,5 hPa en los 30°S y 100°W; anomalías entre -2 hPa y condiciones normales (0 hPa) en latitudes tropicales y entre condiciones normales y +2 hPa en altas latitudes del SW y S (Mapa 6); relacionado a estas condiciones, las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) variaron desde condiciones normales a +2 °C en latitudes tropicales y tuvieron un comportamiento alrededor de sus condiciones normales en altas latitudes del SW y S. Asimismo, el comportamiento variable del Anticiclón y su interacción con la presencia de la cordillera de los Andes, propiciaron que, en los niveles bajos de la atmósfera en altas latitudes del Pacífico suroriental disminuya la intensidad de los vientos del SE (< 9 m/s), mientras que en bajas latitudes, los vientos del W incrementaron su velocidad superando los 9 m/s, situación que ocasionó vientos, frente y a lo largo de la costa de Perú entre débiles, moderados y fuertes (Mapa 7); tales condiciones derivaron en un afloramiento marino de activo a muy activo de la corriente fría de Humboldt y la consiguiente configuración de una inversión térmica por subsidencia con una altura promedio de su base a 612 msnm, espesor de 335 m y gradiente de 1,3°C/100 m (Tabla 9), dando unas condiciones meteorológicas de fuerte estabilidad atmosférica.

Otoño - 2012



Mapa 6. Presión a nivel del mar y anomalías (hPa) (NCEP/NCAR Reanalysis), otoño del hemisferio sur
Fuente: Elaboración propia



Mapa 7. Vector viento superficial promedio (m/s) (NCEP/NCAR Reanalysis), otoño del hemisferio sur

Tabla 9. Características de la capa de inversión térmica en la costa central de Perú. Estación A.I. Jorge Chávez, otoño (ABR-JUN) - 2012

PARÁMETRO	UNIDAD	OTOÑO - 2012				
		MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	1171,0	08 Junio	93,0	23 Mayo	335
Altura Base	metro	1395,0	17 Junio	13	24 Abril	612
Altura Tope	metro	2195,0	08 Junio	237	26 Junio	946
T Base	° C	19,2	21 y 24 Abril	8	29 Junio	15,7
T Tope	° C	23,6	26 Mayo	13,0	17 Junio	19,3
Gradiente	° C / metro	4,1	23 Mayo	0,1	18 junio	1,3
H.R. Base	%	100	16 Mayo / 28 Junio	43	24 Junio	89
H.R. Tope	%	94	31 Mayo / 18 Junio	14	28 Mayo	63

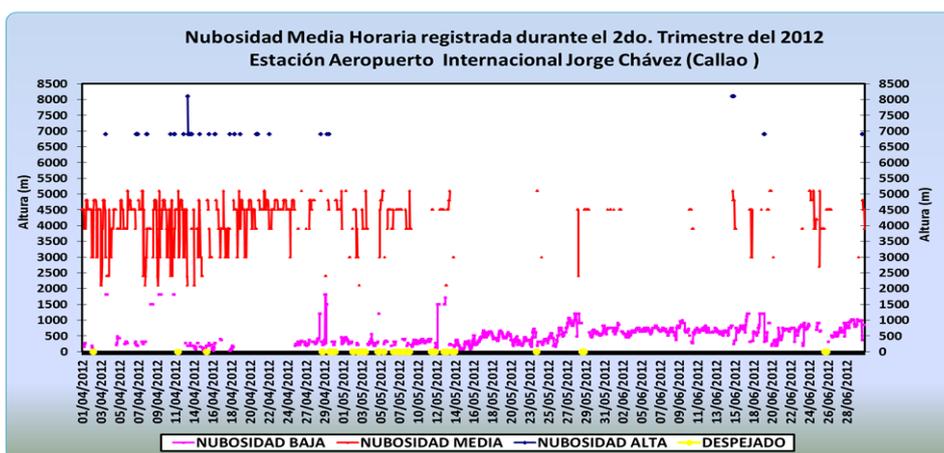
Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones meteorológicas sinópticas descritas y sus interacciones, llevaron a una relativa disminución de la frecuencia de la nubosidad estratiforme baja sobre los distritos costeros de la capital (base < 500 msnm) (Figura 4). La altura, espesor y gradiente de

la inversión térmica explican el menor número de días cubiertos, sobre todos en los distritos de la ciudad capital, con varios días de nublado parcial, nubes dispersas y presencia de insolación, lo que contribuyó a que en la presente estación la temperatura del aire y la humedad relativa, después de haber iniciado su descenso al final del verano, asciendan a partir de sus valores medios más altos y más bajos. En la zona metropolitana de Lima-Callao, presentaron los valores medios de área de $20,3^{\circ}\text{C}$ y 80% . La temperatura del aire y la humedad relativa, dentro del ciclo anual, presentaron valores extremos medios de área de $17,6^{\circ}\text{C}$ el 28 de junio (día más frío) y $24,4^{\circ}\text{C}$ el 12 de abril (día más cálido); y la humedad relativa fue de 91% el 28 de junio (día más húmedo) y 64% el 12 de abril (día más seco).

En la Figura 4 también se puede observar que durante el otoño del hemisferio sur, las condiciones meteorológicas de la costa central de Perú se caracterizaron por una marcada presencia de nubosidad media y alta en la primera parte de otoño (abril), originada por los trasvases de masas húmedas de aire provenientes de la Amazonía que disminuyeron en la parte central y final del otoño, con tendencia hacia sus niveles mínimos como consecuencia de la drástica disminución de la humedad atmosférica que caracteriza al periodo frío del hemisferio sur y al debilitamiento del Alta de Bolivia, que ocasiona los trasvases de masas de aire húmedo desde la Amazonía durante el verano.

Figura 4. Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez, otoño – 2012



Fuente: Elaboración propia

Durante el periodo de otoño 2012 (Mapas 8, 9 y 10) los vientos locales, en estrecha interacción con el campo de vientos regionales (Mapa 7), variaron entre débiles, moderados y fuertes con pocas calmas a lo largo de la costa central de Perú. Sus direcciones predominantes variaron entre S, SW y W. Los vientos con intensidades de débiles a moderados ($2-5\text{ m/s}$) se presentaron en horas de la mañana y noche particularmente en Lima noreste, centro y este. Fueron de moderados a fuertes en horas vespertinas ($5\text{ a } > 6\text{ m/s}$) en Lima noreste, oeste, sureste y sur de la ciudad. Los más débiles ($1-3\text{ m/s}$) fueron en horario diurno y nocturno, con una presencia de calmas referencial de hasta $1,6\%$ en la estación del A. I. Jorge Chávez del Callao.

En cuanto a las lluvias, en relación a las condiciones que caracterizaron al otoño 2012 del hemisferio sur, en la cuenca atmosférica de Lima-Callao se presentaron lluvias totales medias de $0,1\text{ mm}$ en abril, $0,8\text{ mm}$ en mayo y $0,6\text{ mm}$ en junio, con un acumulado de $1,5\text{ mm}$.

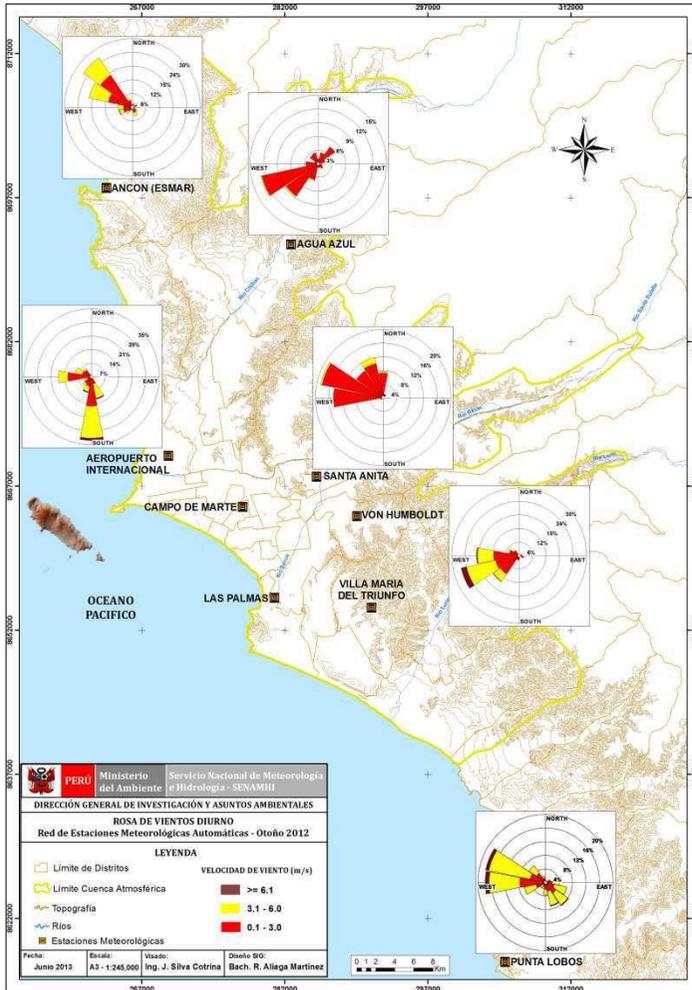


PERÚ

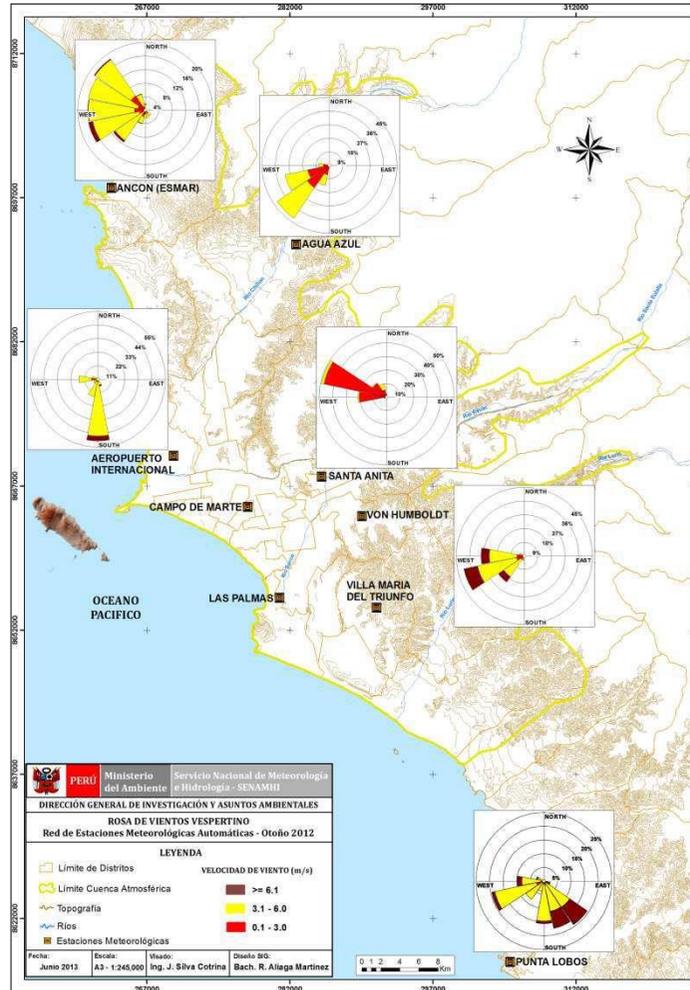
Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

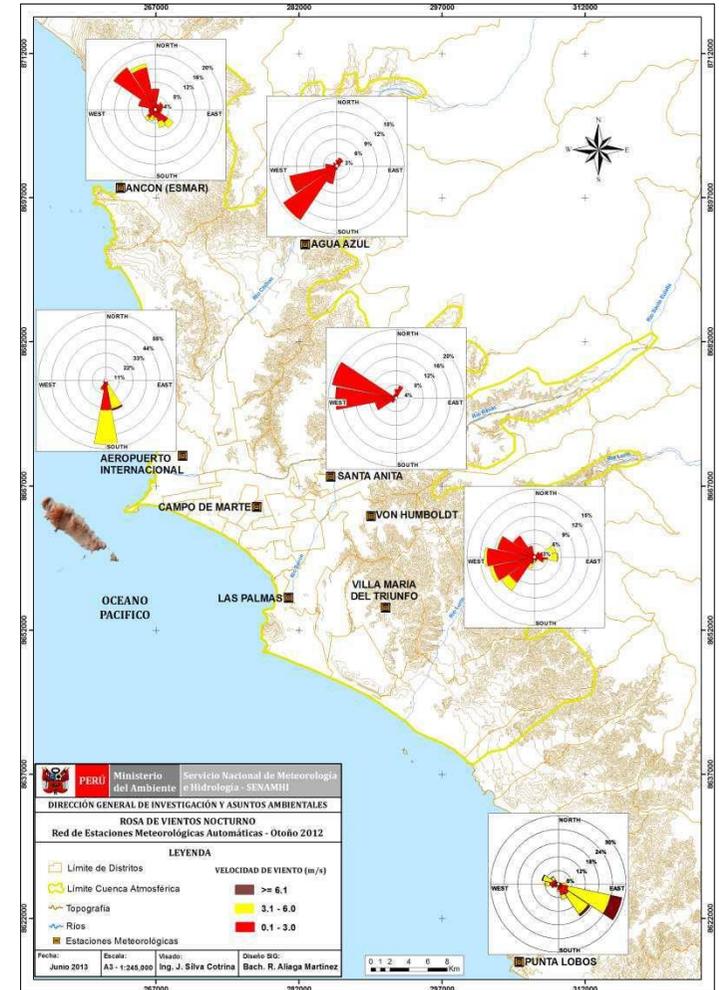
OTOÑO 2012: ABRIL - JUNIO 2012



Mapa 8. Viento horas diurnas



Mapa 9. Viento horas vespertinas



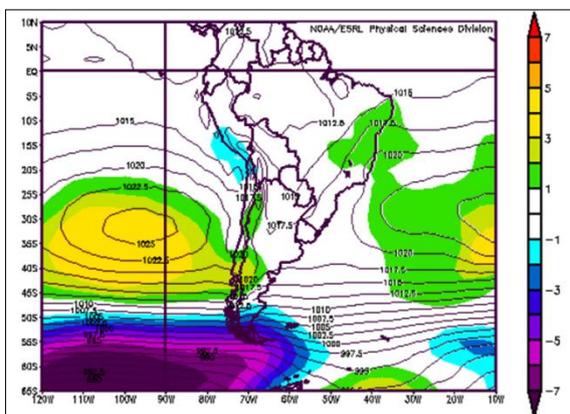
Mapa 10. Viento horas nocturnas



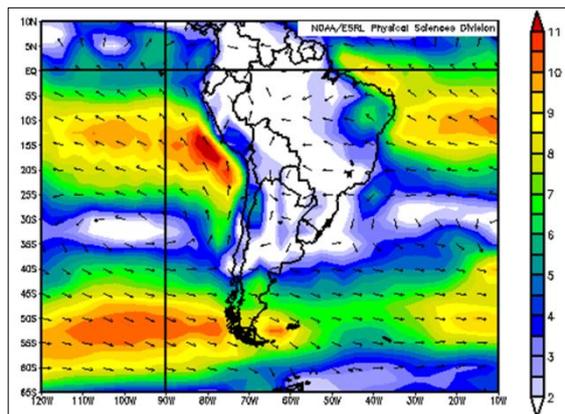
5.3.1.3. Invierno (julio a setiembre)

Las condiciones meteorológicas sinópticas durante la estación de invierno 2012 mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1017,5 y 1037,5 hPa; media sinóptica de 1025 hPa en los 31°S y 96° W con anomalías desde las condiciones normales (0 hPa) en latitudes tropicales y entre +1 y +3 hPa en altas latitudes del SW y S (Mapa 11). En relación a estas condiciones, las anomalías de la temperatura superficial del mar variaron entre condiciones normales y +1,5°C en latitudes tropicales hasta condiciones alrededor de normales en altas latitudes del S y SW. Como consecuencia de las interacciones entre el comportamiento del anticiclón y la presencia de la Cordillera de los Andes, el campo de vientos regionales en los niveles bajos de la atmósfera (Mapa 12), muestra una menor intensidad de los vientos del S y SE en latitudes tropicales (< 6 m/s) y un debilitamiento de los flujos del oeste en altas latitudes del Pacífico suroriental (< 4 m/s) y con una intensificación de los vientos del S y SE de hasta 11 m/s frente a la costa de Perú, lo que ocasionó un afloramiento marino activo de la corriente fría de Humboldt y la consiguiente intensificación de una inversión térmica por subsidencia, con su base en promedio a 988 msnm, espesor de 433 m y gradiente medio de 2,0°C/100 m (Tabla 10), en condiciones meteorológicas de medianas a fuertemente estables.

Invierno - 2012



Mapa 11. Presión a nivel del mar y anomalías (hPa) (NCEP/NCAR Reanalysis), invierno del hemisferio sur
Fuente: elaboración propia



Mapa 12. Vector viento superficial promedio (m/s) (NCEP/NCAR Reanalysis), invierno del hemisferio sur

Tabla 10. Características de la capa de inversión térmica en la costa central de Perú. Estación A.I. Jorge Chávez, invierno-2012

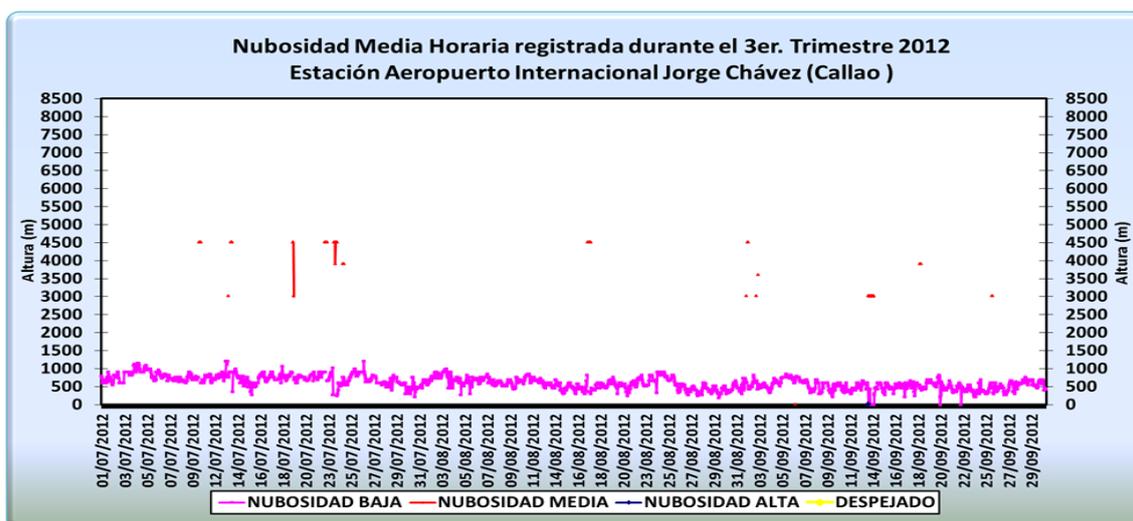
PARÁMETRO	UNIDAD	INVIERNO - 2012				
		MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	1503,0	11 setiembre	103,0	05 Agosto	433
Altura Base	metro	1640,0	12 julio	565	13 Julio	988
Altura Tope	metro	2221,0	11 setiembre	692	13 Julio	1421
T Base	°C	18,0	12 julio	7,6	03 Agosto	10,9
T Tope	°C	21,6	10 agosto	12,2	21 Agosto	17,4
Gradiente	°C / metro	7,1	11 julio	0,2	28 Julio	2,0
H.R. Base	%	99	02 julio	20	12 Julio	83
H.R. Tope	%	95	25 agosto	8	02 Agosto	48

Fuente: elaboración propia.

Las condiciones meteorológicas sinópticas descritas y sus interacciones ocasionaron el incremento de la cubierta de nubosidad estratiforme baja sobre todos los distritos de la capital (base < 500 msnm) (Figura 5). La altura de la base de la inversión explica el mayor número de días cubiertos de toda la ciudad incluyendo los distritos del este, con muy pocos días de nublado parcial y nubes dispersas. Las horas de insolación alcanzaron sus mínimos, lo que contribuyó a que en el presente período la temperatura del aire alcance valores mínimos y la humedad relativa los máximos del ciclo anual. En la ciudad capital la temperatura del aire y la humedad relativa presentaron en promedio 17,2°C y 83% respectivamente; asimismo, los valores de 15,4 C el 1 de setiembre (día más frío) y 20,2 C el 13 de julio (día más cálido); así también la humedad relativa fue de 90% el 1 de agosto (día más húmedo) y 73% el 21 de julio (día más seco).

En la misma Figura 5, también se puede observar que durante el invierno del hemisferio sur, la nubosidad media y alta alcanzó sus niveles mínimos debido a la ausencia de trasvases de masas húmedas de aire provenientes de la Amazonia. Como consecuencia, la humedad atmosférica en el periodo frío del hemisferio sur alcanzó sus valores mínimos dentro del ciclo anual.

Figura 5. Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez, invierno – 2012



Fuente: elaboración propia.

Durante el periodo de invierno 2012 (Mapas 13, 14 y 15), los vientos locales, en estrecha interacción con el campo de vientos regionales (Mapa 12), variaron entre débiles, moderados y fuertes a lo largo de la costa central de Perú, con direcciones predominantes S y SW, con intensidades entre débiles y moderadas (2 a 5 m/s) durante las horas diurnas y nocturnas, moderados a fuertes (5 a > 6 m/s) en horas vespertinas en Lima noreste, oeste, sureste y sur, y los más débiles (1-3 m/s) fueron en horario diurno y nocturno principalmente, con una presencia de calmas referencial de hasta 2,1% en la estación del A. I. Jorge Chávez del Callao.

En lo referente a las lluvias en la cuenca atmosférica de Lima-Callao, en este período de invierno 2012 se presentaron lluvias totales medias de 0,2 mm en julio, 1,3 mm en agosto y 1,0 mm en setiembre, con un acumulado de 2,5 mm.

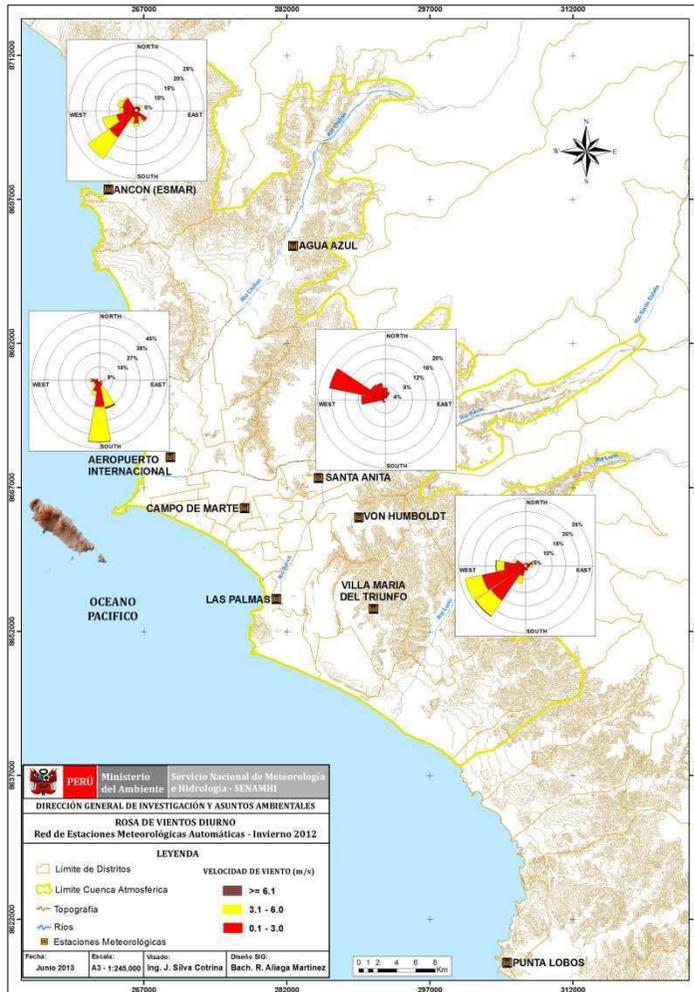


PERÚ

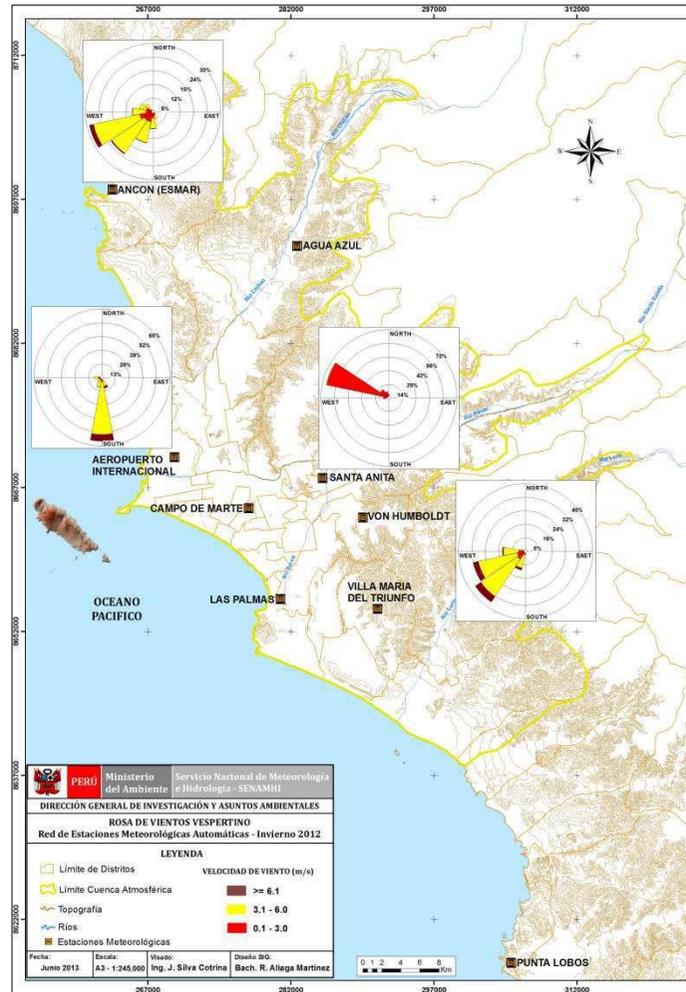
Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

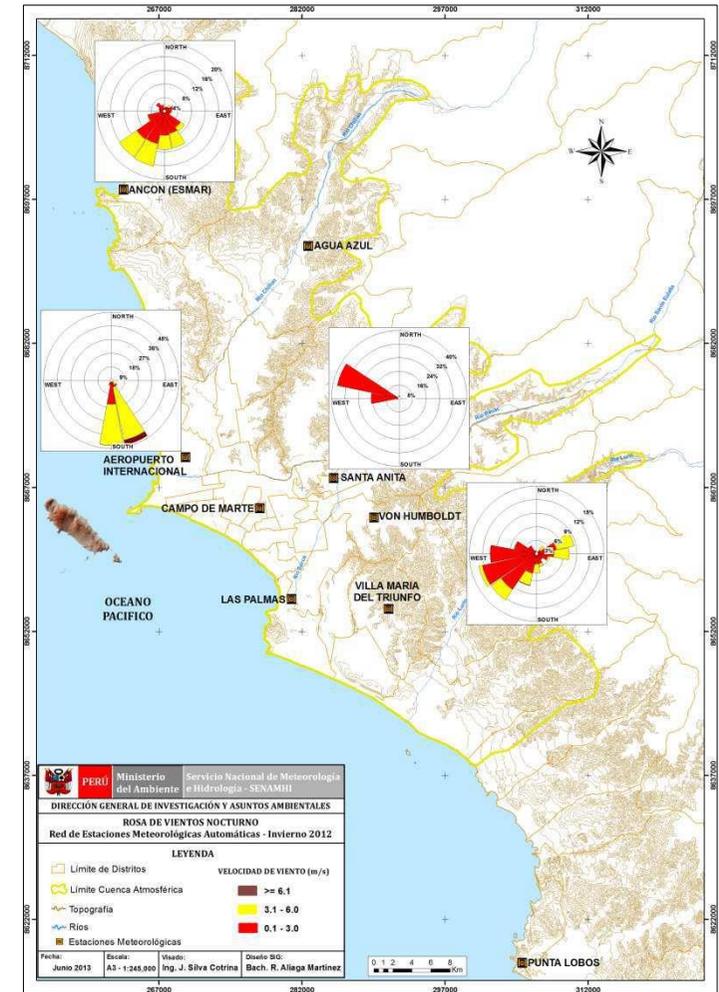
INVIERNO 2012: JULIO - SETIEMBRE



Mapa 13. Viento horas diurnas



Mapa 14. Viento horas vespertinas



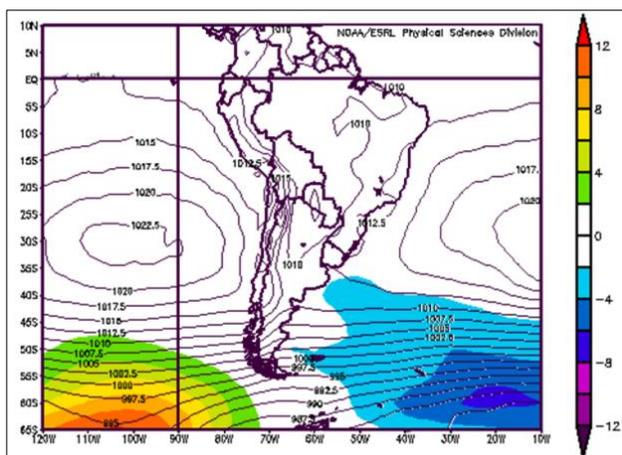
Mapa 15. Viento horas nocturnas



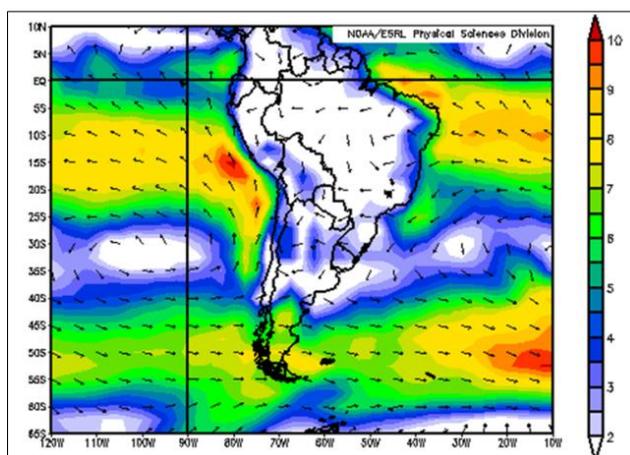
5.3.1.4. Primavera (octubre a diciembre)

Las condiciones sinópticas de primavera mostraron que las intensidades del Anticiclón del Pacífico suroriental variaron entre 1012,5 y 1032,5 hPa; media sinóptica de 1022,5 hPa en los 30°S y 100°W; anomalías alrededor de sus condiciones normales (0 hPa) en latitudes tropicales y desde -4 hPa a condiciones normales en altas latitudes del SW y S (Mapa 16). En relación a estas condiciones, las anomalías de la temperatura superficial del mar variaron entre -1 a +1°C en latitudes tropicales y entre -1 a +0,5°C en altas latitudes del SW y S. En cuanto al campo de vientos regionales, en los niveles bajos de la atmósfera (Mapa 17), como consecuencia de las interacciones entre el comportamiento del Anticiclón del Hemisferio Sur y la presencia de la Cordillera de los Andes, la circulación de los vientos muestra una intensificación de los flujos del S y SSE en bajas latitudes (> 9 m/s), disminución de vientos del W en altas latitudes del Pacífico suroriental (< 7 m/s) y un incremento de los vientos del SE con velocidades de hasta 10 m/s frente a la costa de Perú, lo que ocasionó un afloramiento marino activo de la corriente fría de Humboldt y la consiguiente configuración de una inversión térmica por subsidencia con altura media de su base en 774 msnm, espesor promedio de 415 m y gradiente medio de 1,3°C/100 m (Tabla 11), generando condiciones meteorológicas medianamente estables.

Primavera - 2012



Mapa 16. Presión a nivel del mar y anomalías (hPa) (NCEP/NCAR Reanalysis), primavera del hemisferio sur
Fuente: elaboración propia



Mapa 17. Vector viento superficial promedio (m/s) (NCEP/NCAR Reanalysis), primavera del hemisferio sur.

Tabla 11. Características de la capa de inversión térmica en la costa central de Perú. Estación A.I. Jorge Chávez, primavera – 2012

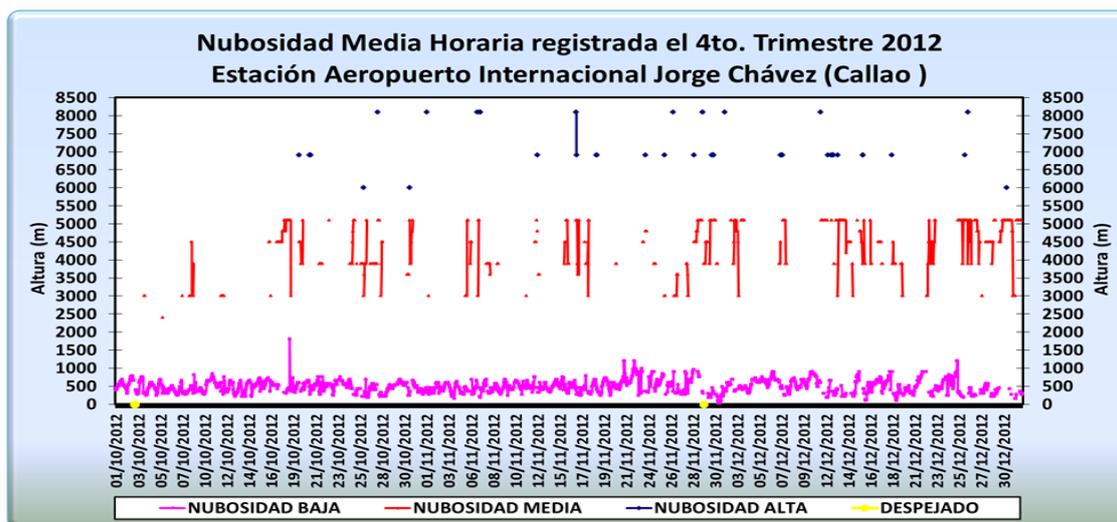
PARÁMETRO	UNIDAD	PRIMAVERA - 2012				
		MÁXIMO		MÍNIMO		PROMEDIO
Espesor	metro	1326,0	28 Octubre	132,0	06 Noviembre	415
Altura Base	metro	3144,0	23 Noviembre	234	27 Octubre	774
Altura Tope	metro	3276,0	23 Noviembre	609	27 Octubre	1190
T Base	° C	16,4	29 Noviembre	8,4	22 Octubre	12,8
T Tope	° C	21,2	27 Octubre	11,2	06 Noviembre	17,5
Gradiente	°C / metro	3,9	20 Octubre	0,3	06 Noviembre	1,3
H.R. Base	%	99	23 Oct / 10 y 16 Nov	43	19 Octubre	85
H.R. Tope	%	98	07 Noviembre	10	26 Noviembre	63

Fuente: elaboración propia

Las condiciones meteorológicas sinópticas descritas y sus interacciones dieron lugar a la disminución de la nubosidad estratiforme baja (base < 500 msnm) (Figura 6) sobre casi todos los distritos de la capital, en especial los de Lima este, aunque hubo neblinas y lloviznas aisladas en horas de la madrugada; se acentuó la presencia cada vez mayor de nubes medias y altas y el incremento de la insolación. Estas condiciones contribuyeron a que durante la estación de primavera la temperatura media del aire (18,7°C) continuó en ascenso y la humedad relativa media (79%) en descenso hacia la estación de verano 2013. Asimismo, se presentaron valores de 16,1 °C el 27 de octubre (día más frío) y 22,3°C el 31 de diciembre (día más cálido); así también, la humedad relativa fue de 88% el 28 de octubre (día más húmedo) y 70% el 25 de noviembre (día más seco).

En la Figura 6 también se puede observar que durante la primavera del hemisferio sur, las condiciones meteorológicas de la costa central de Perú se caracterizaron porque la nubosidad media y alta inició su gradual aumento como consecuencia de que la humedad atmosférica, después de haber alcanzado sus valores mínimos dentro del ciclo anual, durante el periodo frío del hemisferio sur inició su gradual aumento. Sumado a esto, se iniciaron los trasvases de masas húmedas de aire desde la Amazonía, impulsados por la gradual configuración del centro de alta presión atmosférica de Alta de Bolivia.

Figura 6. Nubosidad media horaria trimestral. Estación A.I. Jorge Chávez, invierno – 2012



Fuente: elaboración propia

El campo de vientos locales durante el periodo de primavera (Mapas 18, 19 y 20) permite visualizar que en estrecha interacción con el campo de vientos regionales (Mapa 17), a lo largo de la costa central de Perú variaron entre débiles y moderados, con direcciones predominantes del SW y S. Los vientos más intensos (≥ 6 m/s) se presentaron en horario vespertino en Lima sureste y sur, y los más débiles (1.0-3.0 m/s) fueron principalmente en horario diurno y nocturno, con una presencia de calmas referencial menor de 0,6% en Callao.

En cuanto a las lluvias, durante la primavera 2012 en la cuenca atmosférica Lima-Callao se presentaron lluvias totales medias de 1,6 mm en octubre, 0,2 mm en noviembre y 0,7 mm en diciembre, con un acumulado de 2,5 mm.

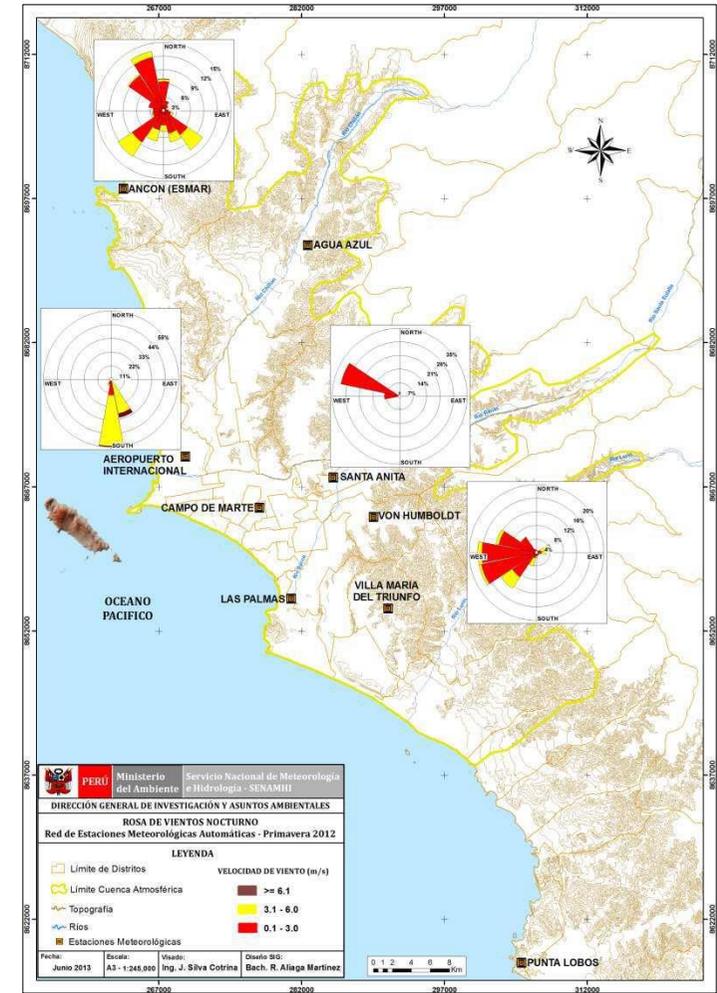
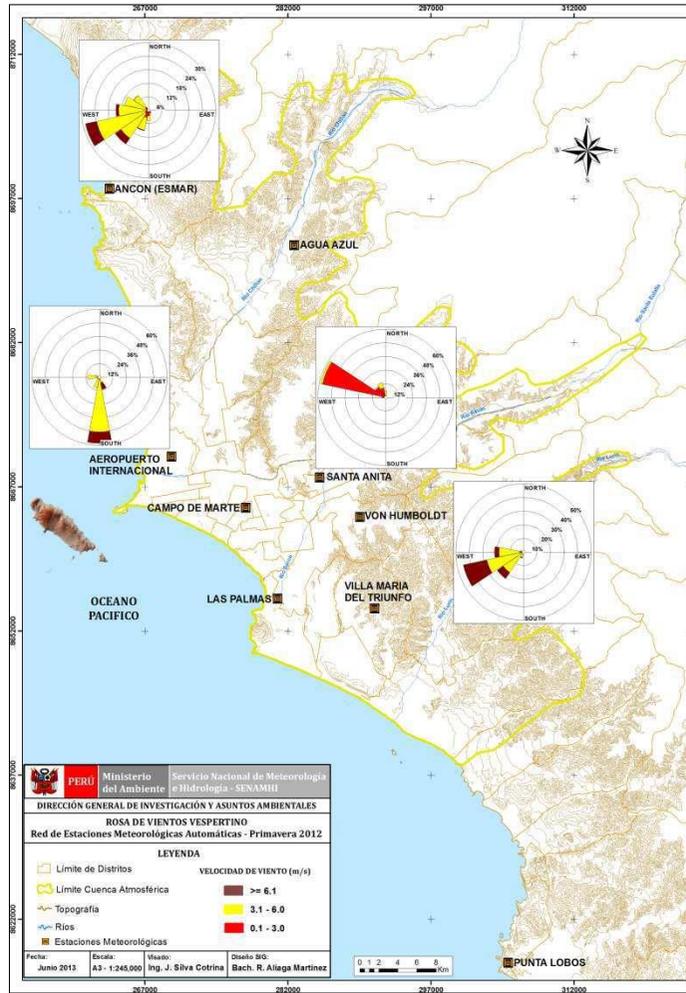
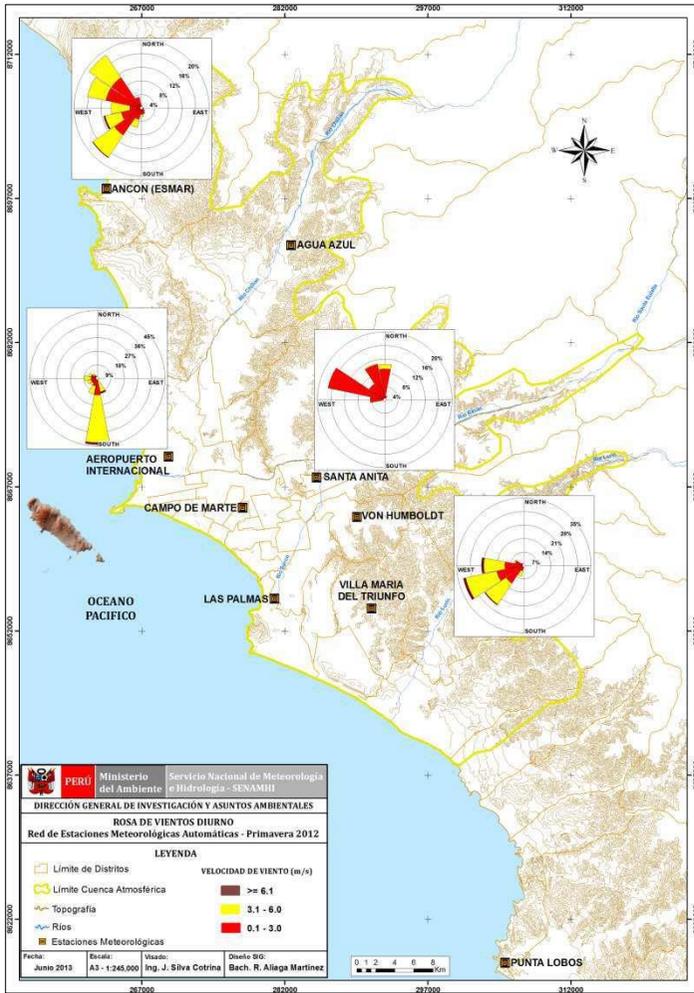


PERÚ

Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

PRIMAVERA 2012: OCTUBRE - DICIEMBRE

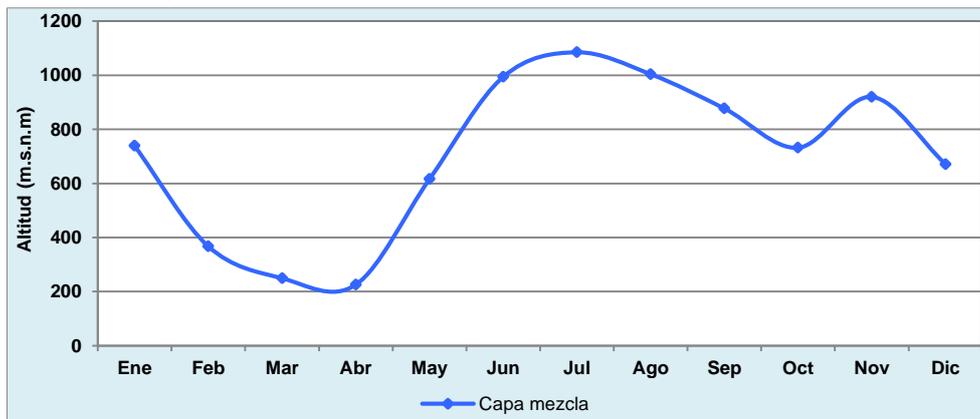


5.3.1.5. Variación mensual de la capa de mezcla

La Figura 7 muestra la variación mensual de la capa de mezcla medida con el sistema de radiosondeo en el Aeropuerto Jorge Chávez. La capa de mezcla es la porción del aire influenciada por la superficie terrestre (Ayra, 1976). En el litoral de Lima, el valor de la capa de mezcla varía de 225 metros en el mes de abril a 1085 metros en el mes de julio.

La altura de la capa de mezcla es baja durante los meses de verano debido a disminución de la intensidad del Anticiclón del Pacífico sur, contrario a lo que sucede en los meses de invierno, donde el Anticiclón se intensifica generando una mayor actividad del afloramiento marino, lo que conlleva al enfriamiento de un mayor espesor de capa atmosférica por sobre la superficie.

Figura 7. Variación mensual de la capa de mezcla 2012



Fuente: elaboración propia

5.3.2. Condiciones meteorológicas climáticas en Lima Metropolitana – Callao

5.3.2.1. Aspectos climáticos

Se presenta una descripción climatológica de las variables meteorológicas de superficie que caracterizaron el año 2012. Se analizan la temperatura, humedad relativa, lluvias y vientos en relación a un valor climático promedio de los últimos diez años para lluvias y datos disponibles de 2007 a 2012 para las demás variables. Los datos utilizados provienen de estaciones meteorológicas seleccionadas establecidas en la zona metropolitana de Lima y Callao (Tabla 12).

Tabla 12. Relación de estaciones meteorológicas

N°	Nombre de la Estación	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (m)	DISTRITO	REFERENCIA
1	Ancon	11°44'51"	77°06'46"	277	Ancón	Lima Noroeste
2	Agua Azul	11°49'26.2"	76°59'42"	344	Carabayllo	Lima Noreste
4	Aerop. Jorge Chávez	12°1'27.26"	77°06'39"	13	Callao	Lima Oeste
5	Campo de Marte	12°04'14"	77°02'35.3"	123	Jesús María	Lima Centro
3	Santa Anita	12°02'34.8"	76°58'17.2"	276	Santa Anita	Lima Este
6	A. Von Humboldt	12°06'00"	76°57'00"	244	La Molina	Lima Sureste
7	Punta Lobos	12°30'1.3"	76°47'37.3"	92	Pucusana	Lima Sur

Fuente: elaboración propia

Se obtuvieron valores promedios, máximos y mínimos mensuales, estacionales y anuales de las diversas variables para cada estación, así como un valor medio para toda el área (media areal), que se presentan en gráficos y tablas con fines de análisis y comparación.

5.3.2.2. Temperatura del aire

La temperatura media del año 2012 fue 1 °C mayor con respecto a su valor climático. Con esta diferencia podemos decir que 2012 fue un año de temperatura media ligeramente superior a lo normal. Asimismo, la temperatura máxima media fue 1,2 °C mayor que su valor climático, mientras que la mínima media mostró una anomalía de +0,8 °C (Tabla 13).

A nivel estacional, la Tabla 13 resalta que la temperatura media del aire en verano fue casi normal (anomalía +0,2 °C), mientras que en las siguientes estaciones del año fue mayor que el valor climático con +1,3°C en otoño e invierno y mayor en primavera (+1,5 °C). La temperatura máxima media fue superior al valor climático en todas las estaciones del año, aunque mayor en otoño (2,0 °C) y menor en verano (0,5 °C). La temperatura mínima media que fue casi normal salvo en verano y también superó su valor climático en las otras estaciones, con la mayor anomalía en invierno (+1,5 °C) y la menor en primavera (+0,4 °C).

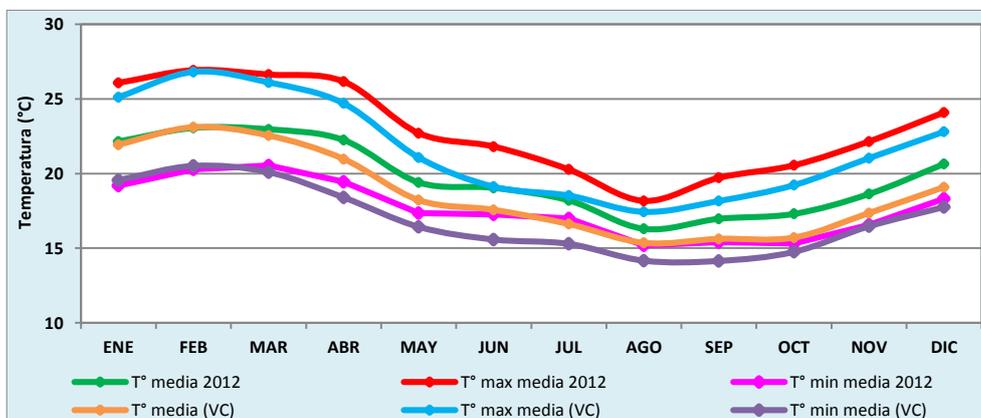
Tabla 13. Temperatura del aire en la zona metropolitana de Lima y Callao 2012 vs valor climático

TEMPERATURA DEL AIRE (°C)						
ESTACION	MEDIA		MAXIMA MEDIA		MINIMA MEDIA	
	2012	valor climático	2012	valor climático	2012	valor climático
VERANO	22.7	22.5	26.5	26.0	20.0	20.1
OTOÑO	20.2	18.9	23.6	21.6	18.0	16.8
INVIERNO	17.2	15.9	19.4	18.0	15.9	14.5
PRIMAVERA	18.9	17.4	22.3	21.0	16.7	16.3
MEDIA	19.7	18.7	22.9	21.7	17.7	16.9

Fuente: elaboración propia

En la Figura 8 se muestra la comparación de las temperaturas media, máxima media y mínima media mensual del año 2012 respecto al valor climático, observándose un comportamiento casi normal en los primeros meses (enero a marzo) y positivas (abril a diciembre) que muestran un comportamiento ligeramente cálido.

Figura 8. Temperaturas media (n), máxima media (r) y mínima media (m) de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012 vs valor climático



Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 14, el comportamiento de las temperaturas extremas en las estaciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima y Callao en 2012 es el siguiente: a) en verano las temperaturas máximas medias más altas se presentaron en Lima noreste (28,8°C), sureste (28,5°C) y este (27,9°C); mientras que en invierno en Lima noreste (20,5°C), oeste (19,8°C) y sureste (19,7°C); b) en verano las temperaturas mínimas medias más bajas se presentaron en Lima sureste (19,0°C), sur (19,6°C) y norte (20,0°C); y en invierno en la parte sureste (14,8°C) y este (14,9°C).

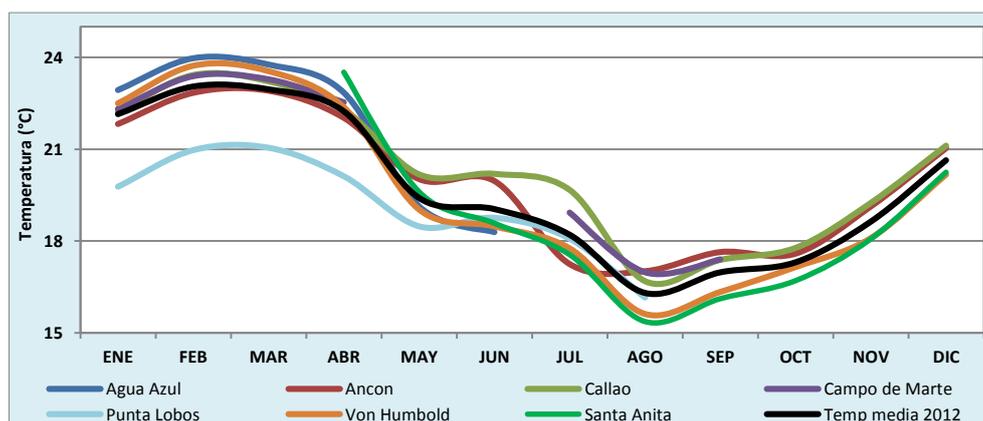
Tabla 14. Temperatura del aire en estaciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012

TEMPERATURA DEL AIRE (°C)								
ESTACION	MAXIMA MEDIA				MINIMA MEDIA			
	V	O	I	P	V	O	I	P
Ancón	26.5	23.5	19.4	22.1	20.0	18.7	16.0	17.2
Agua Azul	28.8	24.6	20.5		20.0	17.3	15.3	
Aeropuerto. J. Chávez	26.6	23.8	19.8	22.1	20.3	18.9	16.7	17.7
Campo Marte	26.1	26.0	19.3		20.8	20.2	16.7	
Sta. Anita	27.9	24.5	19.2	22.1	20.3	18.1	14.9	16.2
A. Von Humboldt	28.5	24.6	19.7	22.7	19.0	16.6	14.8	15.8
Punta Lobos	22.1	20.4	18.1	18.1	19.6	18.2	16.4	

Fuente: elaboración propia

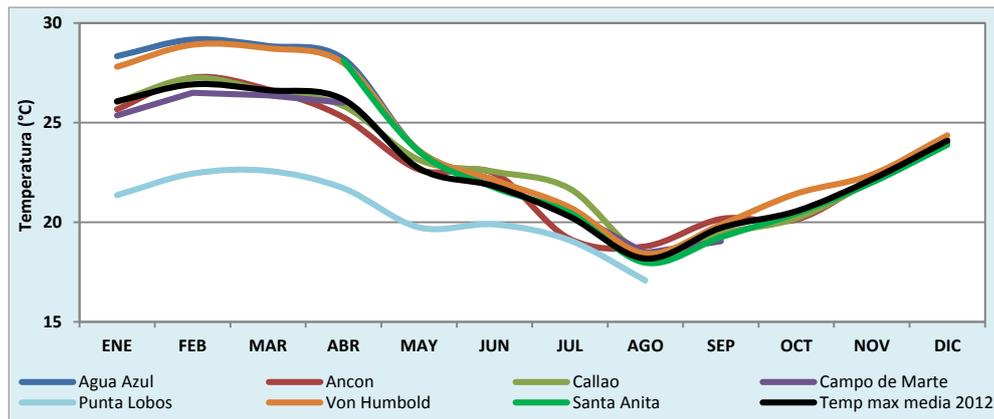
En las figuras 9, 10 y 11 se muestra la variación de la temperatura media, máxima media y mínima media de 2012 de cada una de las estaciones consideradas, así como el valor medio 2012 para la zona metropolitana de Lima y Callao, con sus valores más altos en verano y mínimos en invierno, típico de la costa peruana.

Figura 9. Temperatura media en estaciones y de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



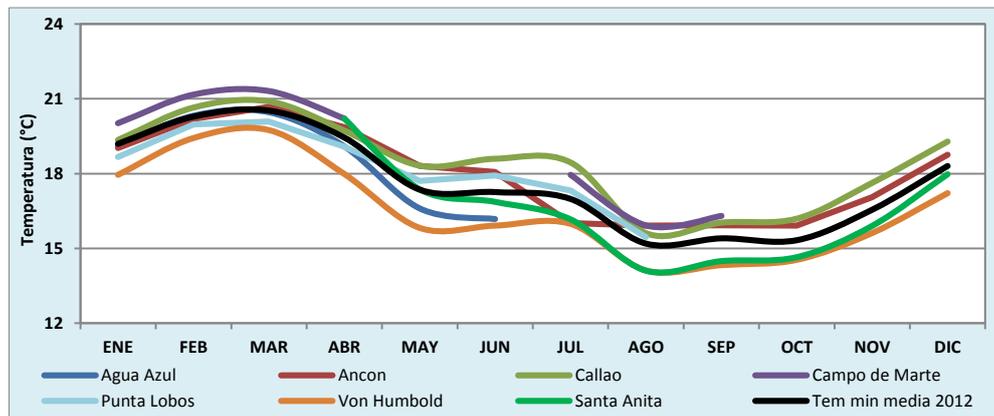
Fuente: elaboración propia

Figura 10. Temperatura máxima media en las estaciones de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



Fuente: elaboración propia

Figura 11. Temperatura mínima media en estaciones de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



Fuente: elaboración propia

5.3.2.3. Humedad relativa del aire

La humedad relativa media de 2012 fue 5% menor que su valor climático, por lo que podemos decir que fue un año con humedad relativa ligeramente menor que lo normal. Asimismo, la humedad relativa máxima media presentó una ligera disminución (-3%), mientras que la humedad relativa mínima media fue menor (-6%) que su valor climático (Tabla 15).

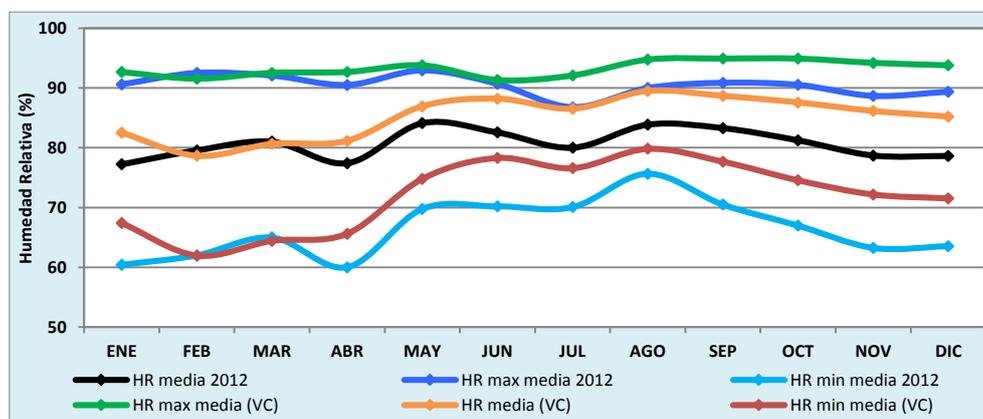
A nivel estacional, la humedad relativa media del aire fue menor que el valor climático en todas las estaciones, con las menores anomalías en invierno y primavera (-6%); la humedad relativa máxima media también tuvo su menor anomalía en invierno (-5%); la humedad relativa mínima media presentó menores valores que sus valores climáticos en todas las estaciones, con una anomalía menor en primavera (-8%).

Tabla 15. Humedad relativa del aire en la zona metropolitana de Lima y Callao 2012 vs valor climático

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (%)						
ESTACION	MEDIA		MAXIMA MEDIA		MINIMA MEDIA	
	2012	valor climático	2012	valor climático	2012	valor climático
VERANO	79	81	92	92	62	65
OTOÑO	81	85	91	93	67	73
INVIERNO	82	88	89	94	72	78
PRIMAVERA	80	86	90	94	65	73
MEDIA	81	85	90	93	66	72

Fuente: elaboración propia

Asimismo, la Figura 12 muestra la comparación del promedio de las humedades relativas media, máxima media y mínima media mensual de 2012, respecto al valor climático. Se observan pequeñas diferencias en los meses de verano y anomalías negativas durante el resto del año.

Figura 12. Humedad relativa media, máxima media y mínima media de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012 vs valor climático


Fuente: elaboración propia

En la Tabla 16 observamos el siguiente comportamiento de las humedades relativas extremas en 2012, en las estaciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima y Callao: a) en verano las humedades relativas máximas medias se presentaron en Lima sur (97%) y noreste (94%); y en invierno en Lima noreste (97%) y sur (93%); b) en verano las humedades relativas mínimas medias se presentaron en Lima este (46%) y noreste (53%); en invierno se registraron en la parte este (69%), noroeste (70%) y centro (71%).

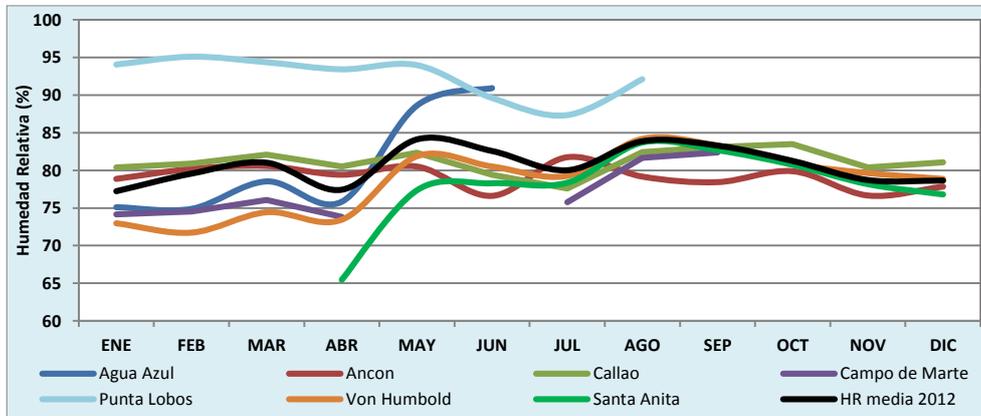
Tabla 16. Humedad relativa en estaciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012

HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE - AÑO 2012								
ESTACIÓN	MAXIMA MEDIA				MINIMA MEDIA			
	V	O	I	P	V	O	I	P
Ancón	92	88	87	88	61	65	70	65
Agua Azul	94	98	97		53	65	73	
Aeropuerto J. Chávez	93	91	89	91	66	68	72	69
Campo Marte	86	86	86		60	57	71	
Sta. Anita	81	86	89	89	46	57	70	62
A. Von Humboldt	92	92	90	91	50	59	69	62
Punta Lobos	97	96	93	93	89	86	85	

Fuente: elaboración propia

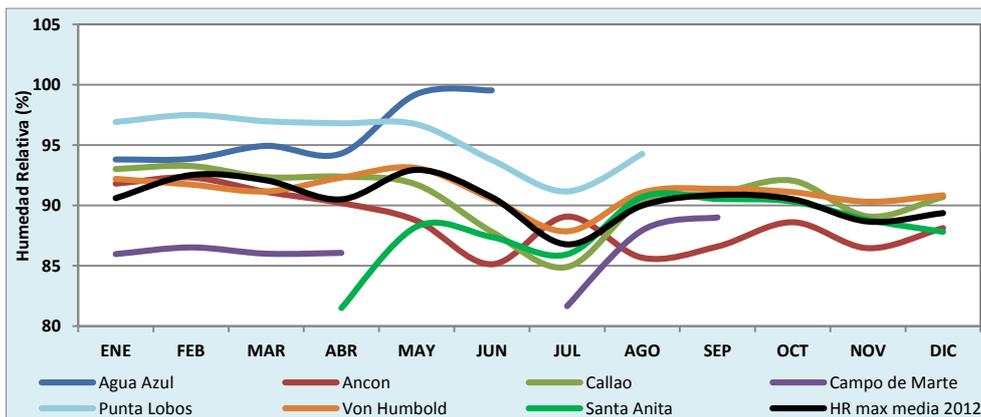
En las figuras 13,14 y 15 se muestra la variación de la humedad relativa media, máxima media y mínima media de 2012 en cada una de las estaciones consideradas, así como el valor medio. Se observa que en general los menores valores corresponden a las estaciones de Von Humboldt (Sureste), Santa Anita (Este) y Ancón (noroeste) y los mayores valores a Punta Lobos (Sur) y el Aeropuerto Jorge Chávez (Oeste).

Figura 13. Humedad relativa media en estaciones de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



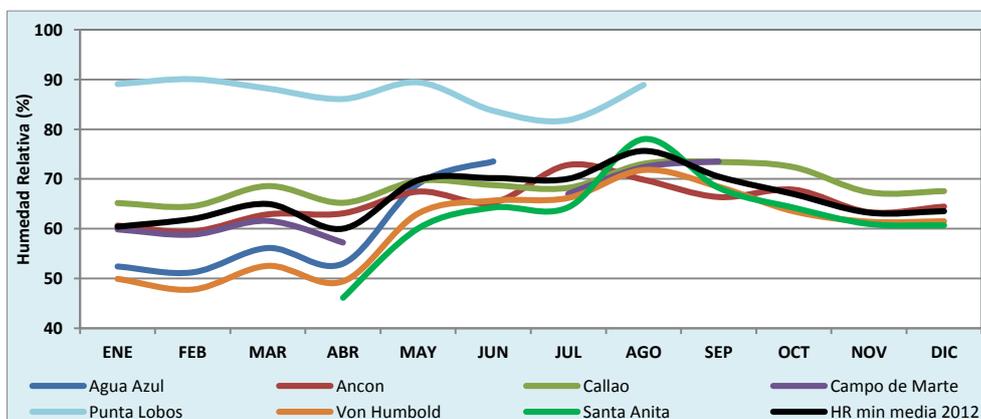
Fuente: elaboración propia

Figura. 14 Humedad relativa máxima media en estaciones y en la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



Fuente: elaboración propia

Figura 15. Humedad relativa mínima media en estaciones y en la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



Fuente: elaboración propia

5.3.2.4. Lluvias

De la Tabla 17, observamos que la lluvia total media de 2012 para la zona metropolitana de Lima y Callao fue 4,6 mm menor que su valor climático (anomalía 63%), con lo cual podemos decir que fue un año con lluvias por debajo de su valor normal. Asimismo, la lluvia máxima media de 24 horas fue 3,1 mm menor que su valor climático (anomalía, -78%), mientras que el número días de lluvia fue uno mayor que el valor climático.

A nivel estacional, en la misma tabla se observa que solo la lluvia total del 2012 en verano estuvo dentro de su normal, mientras que en otoño, invierno y primavera fueron menores en 4,5 mm, 10,1 mm y 3,6 mm que sus valores climáticos. Las máximas de 24 horas fueron menores que los valores climáticos en todas las estaciones del año (0,9 mm en verano, 3,5 mm en otoño, 4,0 mm en invierno y 3,9 mm en primavera); sin embargo, el número de días de lluvia solo fue menor en invierno (3 días) y mayor en verano, otoño y primavera (1, 2 y 3 días) que sus valores climáticos.

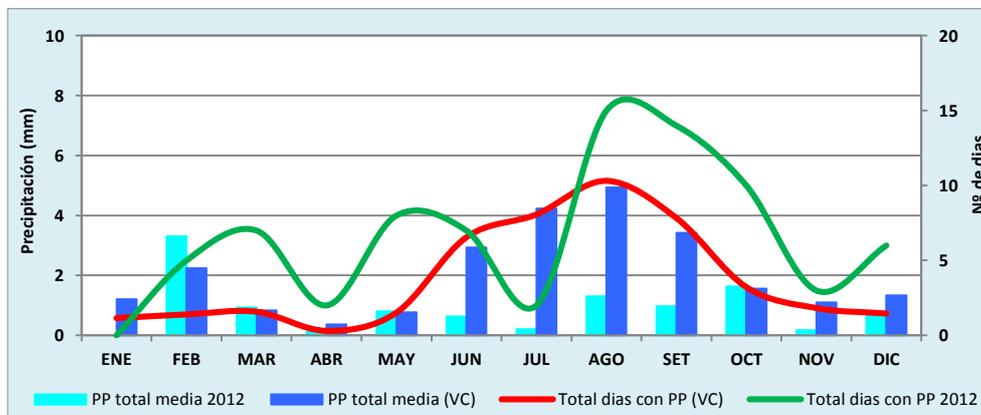
Tabla 17. Lluvia total media, máxima 24 horas y número de días de lluvia en la zona metropolitana de Lima y Callao 2012 vs valor climático

PRECIPITACIÓN						
ESTACIONES DEL AÑO	TOTAL (mm)		MÁX 24 HRS (mm)		DIAS	
	2012	Valor climático	2012	Valor climático	2012	Valor climático
Verano	4.2	4.3	2.0	2.9	4	3
Otoño	1.6	6.1	0.5	4.0	6	4
Invierno	2.5	12.6	0.4	4.5	10	13
Primavera	2.5	6.1	0.8	4.7	6	3
Media	2.7	7.3	0.9	4.0	7	6

Fuente: elaboración propia

En la Figura 16 se muestra la comparación de la lluvia total media y el número de días de lluvia mensual de 2012 respecto al valor climático. Solo en febrero se observa una anomalía positiva importante, mientras que muy ligera en marzo, mayo y octubre. Asimismo, las anomalías negativas se observan principalmente en los meses de invierno y primavera, que en general muestran un comportamiento menos lluvioso que lo normal.

Figura 16. Lluvia total media y número de días de precipitación de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012 vs valor climático



Fuente: elaboración propia

En la Tabla 18 observamos el comportamiento estacional de las lluvias en algunas de las estaciones: a) en verano la mayor lluvia se presentó en Lima este (11,6 mm) y menor

en el centro y oeste (1,0 y 0,1 mm); en invierno, la más alta se registró en Lima este (4,6 mm) seguido por el centro y oeste (1,9 y 0,9 mm); b) las lluvias máximas más altas de 24 horas en verano se presentaron en la parte este (5,0 mm) y centro (0,8 mm); en invierno se registraron en la parte centro (0,6 mm) y este (0,4 mm); c) en número de días de lluvia en verano fue mayor en la parte de Lima este (8 días) y en invierno también en el este (19 días), seguido por la parte centro (9 días).

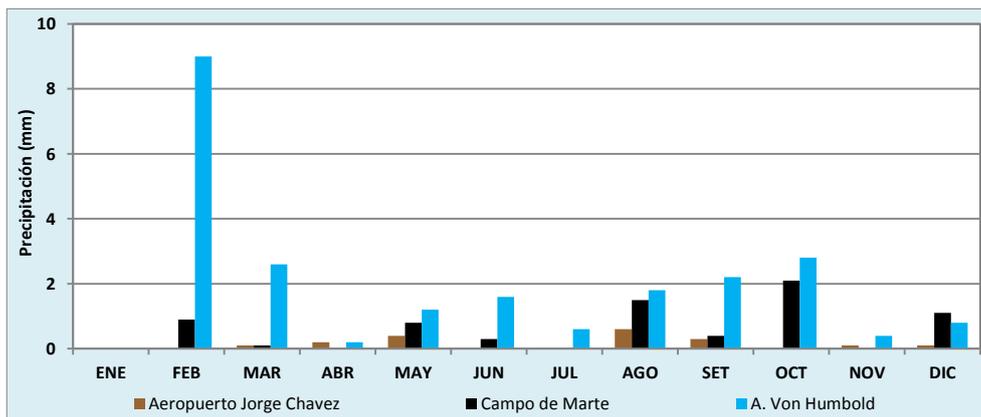
Tabla 18. Lluvias en estaciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012

ESTACIONES	PRECIPITACIÓN											
	TOTAL (mm)				MAX 24 HRS (mm)				Nº DIAS			
	V	O	I	P	V	O	I	P	V	O	I	P
Aeropuerto Jorge Chávez	0.1	0.6	0.9	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	1	3	3	2
Campo de Marte	1.0	1.1	1.9	3.2	0.8	0.5	0.6	0.9	3	4	9	7
A. Von Humboldt	11.6	3.0	4.6	4.0	5.0	0.8	0.4	1.4	8	10	19	10

Fuente: elaboración propia

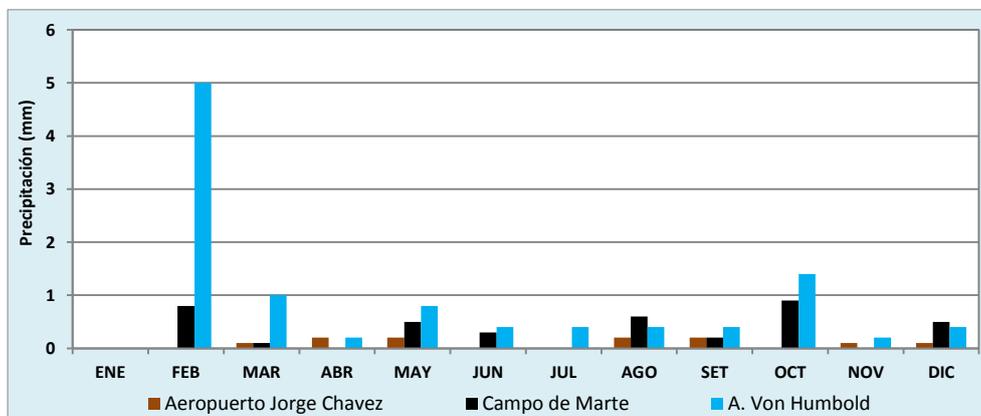
En las Figuras 17,18 y 19 se muestra la variación de la lluvia total, máxima en 24 horas y número de días de lluvia de 2012 de cada una de las estaciones consideradas, con valores de lluvia escasos característicos de la costa peruana.

Figura 17. Lluvias totales en estaciones de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012

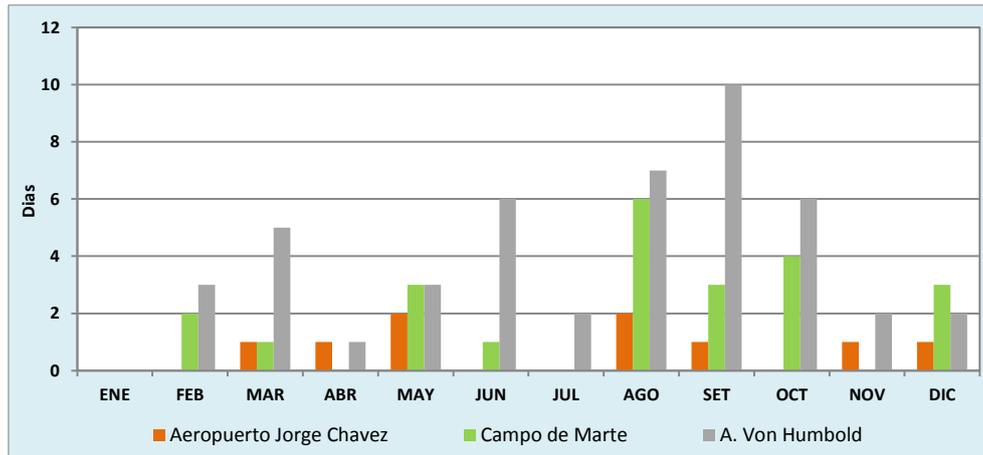


Fuente: elaboración propia

Figura 18. Lluvias máximas en 24 horas en estaciones de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



Fuente: elaboración propia

Figura 19. Número de días de lluvia en estaciones de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012


Fuente: elaboración propia

5.3.2.5. Velocidad y dirección del viento superficial

En la Tabla 19 se puede apreciar que el comportamiento estacional del cálculo vectorial de la velocidad media y dirección de los vientos locales en la Zona Metropolitana de Lima y Callao durante 2012 fue ligeramente superior en velocidad (0,6 m/s) y similares en dirección (SW) que sus correspondientes valores climáticos. Asimismo, es importante anotar que la magnitud media indica que son vientos débiles del SW, lo que permite afirmar que tuvieron un comportamiento normal. También se aprecia que la velocidad máxima media fue ligeramente menor (0,6 m/s) que su valor climático, en la categoría de vientos moderados.

Por otro lado, es necesario destacar que la velocidad vectorial media del viento fue ligeramente mayor que los valores climáticos en todas las estaciones del año, particularmente en otoño, invierno y primavera (0,6, 0,5 y 0,5 m/s). En lo que respecta a la velocidad máxima media del viento fue, al contrario, menores que sus valores climáticos en todas las estaciones del año, particularmente en verano (1,1 m/s) y otoño (0,5).

Tabla 19. Velocidad y dirección del viento en la zona metropolitana de Lima y Callao 2012 vs valor climático

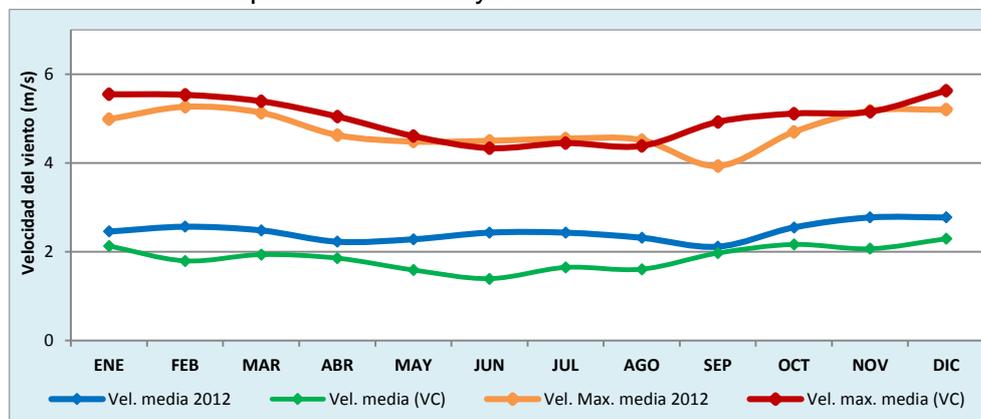
VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN SUPERFICIE (m/s, rumbo)						
ESTACIÓN	VECTORIAL MEDIA				MÁXIMA MEDIA	
	2012		Valor climático		2012	Valor climático
	VEL	DIR	VEL	DIR	VEL	VEL
Verano	2.4	SW	2.1	SW	4.1	5.2
Otoño	2.4	SW	1.8	SW	4.0	4.5
Invierno	2.4	SW	1.9	SW	4.2	4.6
Primavera	2.7	SW	2,2	SW	5.0	5.2
Media	2.5	SW	1.9	SW	4.3	4.9

Fuente: elaboración propia

Respecto al comportamiento espacial de los vientos locales de superficie en las estaciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima y Callao durante 2012, en la Tabla 20 es posible observar que en las cuatro estaciones del año las velocidades vectoriales medias fueron débiles en magnitud, independientemente de su dirección.

Durante el verano, en Lima oeste y sur soplaron vientos del S y SE mayores a 3 m/s, menores que en Lima este y centro. Por otro lado, en lo que respecta a las velocidades máximas medias de los vientos locales durante 2012, en verano las más altas se presentaron en Lima sur (6,6 m/s) y sur este (5,5 m/s); en invierno, también Lima sur y sur este alcanzaron los mayores valores (6,7 y 5,7 m/s).

Figura 20. Velocidad y dirección media y velocidad máxima media del viento en la zona metropolitana de Lima y Callao 2012 vs valor climático



Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Velocidad y dirección del viento en estaciones meteorológicas de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012

VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO EN SUPERFICIE (m/s, rumbo)												
ESTACIÓN	VECTORIAL MEDIA								MÁXIMA MEDIA			
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera		V	O	I	P
	VEL	DIR	VEL	DIR	VEL	DIR	VEL	DIR	VEL	VEL	VEL	VEL
Ancón	2.2	NW	2.5	NW	2.6	SW	2.8	SW	4.3	4.9	4.9	5.6
Agua Azul	1.9	SW	1.5	SW	1.6	SW			2.3	1	1.2	
Aeropuerto. J. Chávez	3.3	S	3	S	3.3	S	3.6	S	3.8	4.1	5.3	5.5
C. de Marte	1.1	SW	0.9	SW	0.9	SW			1.9	0.9	2	
Santa Anita	0.9	W	1.4	WNW	1.3	WNW	1.3	WNW	3.1	2.7	2.3	2.6
A. Von Humboldt	2.7	WSW	2.9	WSW	2.7	SW	3.2	WSW	5.5	6.2	5.7	6.5
Punta Lobos	3.8	SE	3.6	SE	4.2	SE			6.6	6.1	6.7	

Fuente: elaboración propia

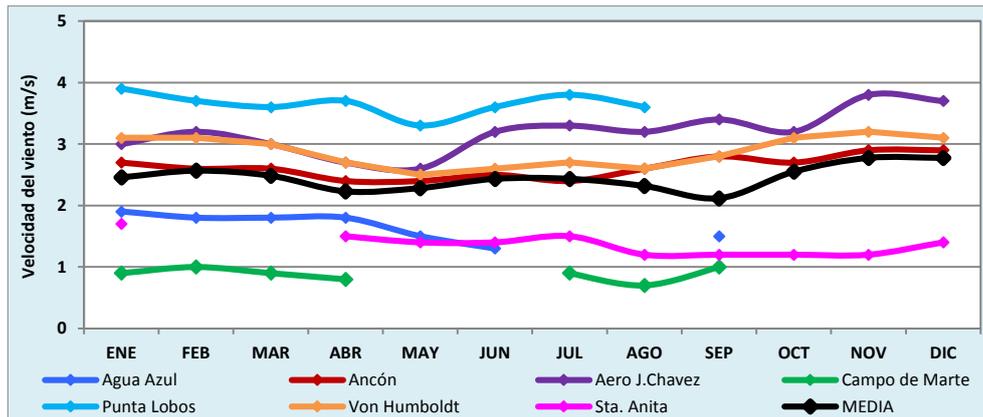
En la Figura 20, se visualiza el comportamiento mensual de la velocidad y dirección media y velocidad máxima media del viento en 2012 y sus correspondientes valores climáticos. Se puede observar que en la velocidad y dirección media se presentan anomalías positivas durante todo el año, con mayores valores en los meses de invierno (+1,0 m/s), con vientos que soplan en la dirección SW durante el año, en general con un comportamiento normal. En la velocidad máxima media, fue ligeramente menor en los meses de verano y otoño, muy similar en invierno y ligeramente menor en primavera que sus correspondientes valores climáticos.

En las Figuras 21 y 22 se muestra el comportamiento de las velocidades media y máxima media del viento en las estaciones meteorológicas, así como la media espacial

del viento. Se observa que la media espacial a lo largo del año se comportó como un viento débil ($< 3,0$ m/s). Solo las estaciones de Lima oeste y sur presentaron vientos moderados (entre $3,0$ y $6,0$ m/s) durante casi todos los meses del año; los vientos más débiles se observan en Lima noreste, este y centro.

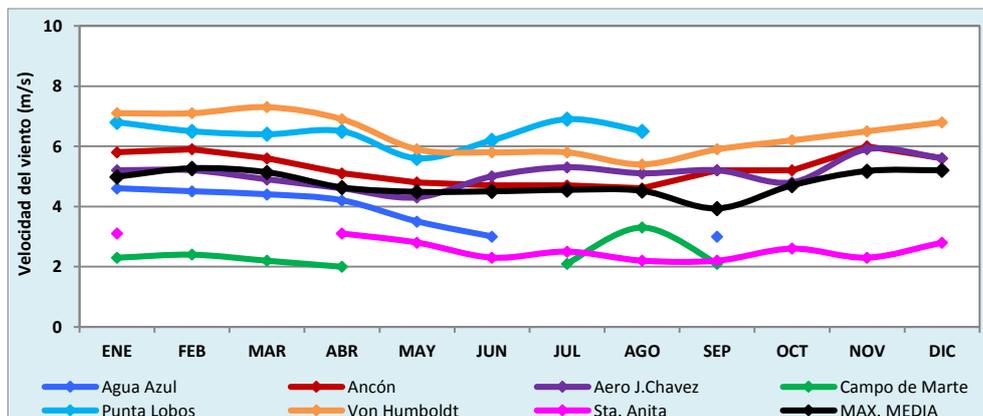
Respecto a la velocidad máxima media espacial del viento, se encuentra en la categoría de vientos moderados ($\sim 5,0$ m/s) durante todo el año. Solo las estaciones de Lima sureste y sur presentaron vientos fuertes ($> 6,0$ m/s) a lo largo del año; asimismo, los valores más bajos de vientos máximos medios ocurrieron en Lima este y centro ($< 3,0$ m/s), durante casi todos los meses del año.

Figura 21. Velocidad media del viento en estaciones de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



Fuente: elaboración propia

Figura 22. Velocidad máxima media del viento en estaciones de la zona metropolitana de Lima y Callao 2012



Fuente: elaboración propia

5.4. Resultados de la vigilancia de la calidad del aire

El análisis fue realizado para cada contaminante del aire 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 para el PM_{10} , valores promedio de concentraciones registradas en 24 horas.

5.4.1. Material particulado (PM₁₀)

En la Figura 23 se muestran las concentraciones promedio mensuales de PM₁₀ en Lima Metropolitana para el año 2012, registradas en las estaciones de calidad de aire ubicadas en los distritos de Ate, Santa Anita, San Borja, Jesús María (Campo de Marte) y Villa María del Triunfo, expresadas en µg/m³.

La estación ubicada en el distrito de Ate registró los promedios mensuales más elevados en comparación con el resto de las estaciones. En el mes de abril alcanzó la concentración promedio más elevada con 166.7 µg/m³ mientras que en julio registró la más baja con 94.5 µg/m³.

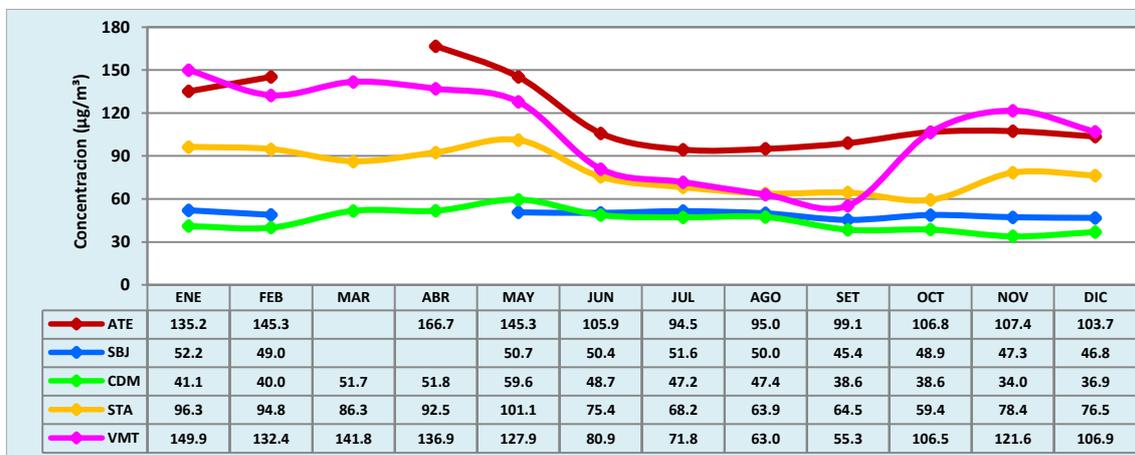
La estación de Villa María del Triunfo también registró valores altos durante todo el año. En el mes de enero registró la concentración más alta de PM₁₀ con 149.9 µg/m³ y el mes de setiembre la más baja con 55.3 µg/m³.

La estación de Santa Anita presentó en el mes de mayo el promedio de concentración mensual más alto con 101.1 µg/m³ y en octubre el más bajo con 59.4 µg/m³.

La estación de Jesús María (Campo de Marte) registró valores con poca variabilidad a lo largo de todo el año, con un rango de variación entre 59.6 µg/m³ (mayo) y 34 µg/m³ (noviembre).

La estación de calidad de aire ubicada en el distrito de San Borja registró bajas concentraciones en comparación con las demás estaciones, con un comportamiento relativamente estable durante todo el año. La concentración promedio mensual más alta se obtuvo en enero con 52.2 µg/m³ y la más baja en setiembre con 45.4 µg/m³.

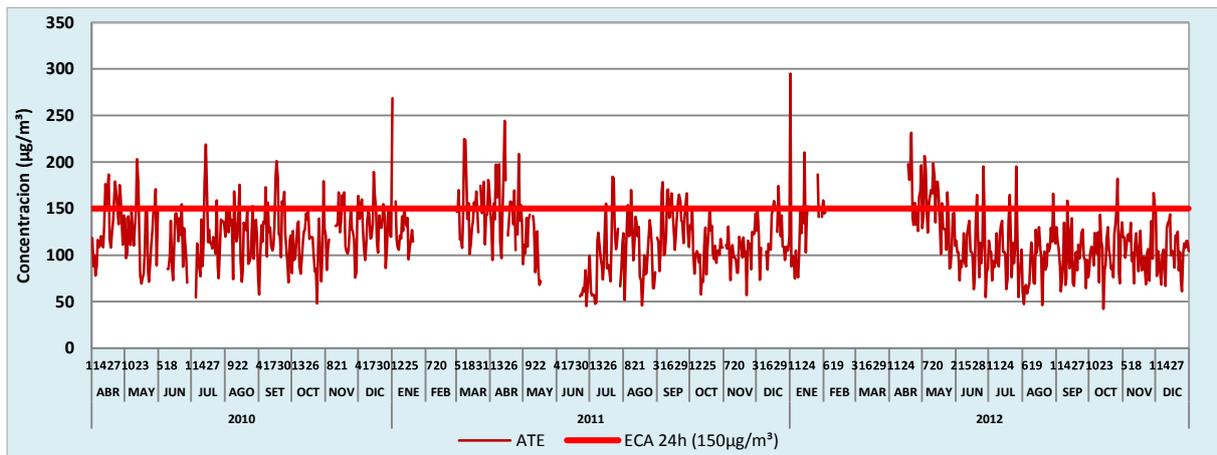
Figura 23. Concentración media mensual de PM₁₀ - Estaciones SENAMHI 2012



Fuente: elaboración propia

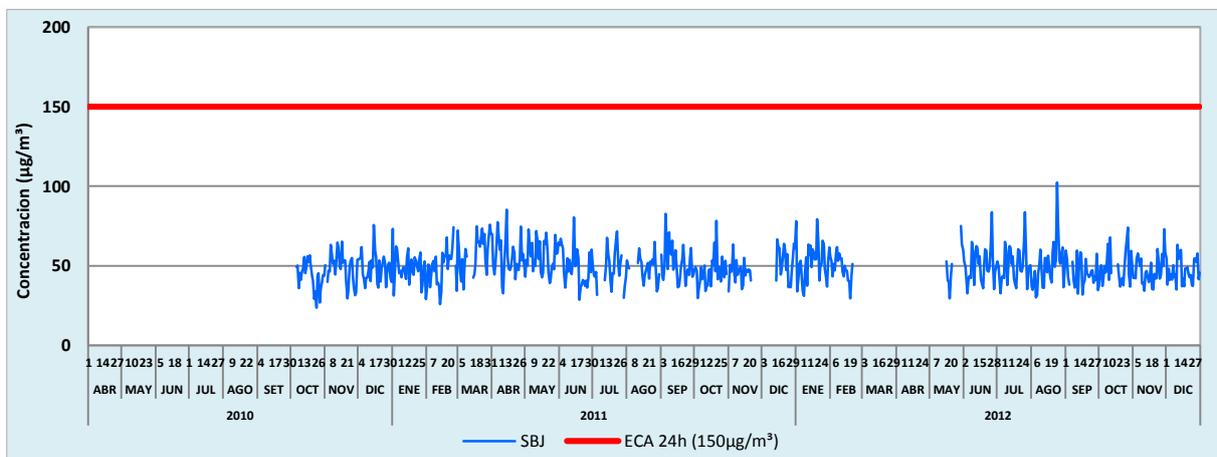
En la Figura 24 se observa el comportamiento histórico de las concentraciones de promedios diarios de PM₁₀ registradas por la estación de calidad del aire del distrito de Ate desde abril de 2010 hasta diciembre de 2012, donde se aprecia claramente que en varios días del año se sobrepasó el ECA de calidad de aire (150 µg/m³). Esto ocurrió de manera significativa durante las festividades de Navidad y Año Nuevo por la quema de juegos pirotécnicos y muñecos.

Esta serie histórica demuestra que el material particulado menor de 10 µm en Ate tiende a mantener un comportamiento elevado, influenciado por las diferentes actividades desarrolladas en el distrito.

Figura 24. Concentración diaria de PM₁₀ en la Estación Ate 2010 - 2012

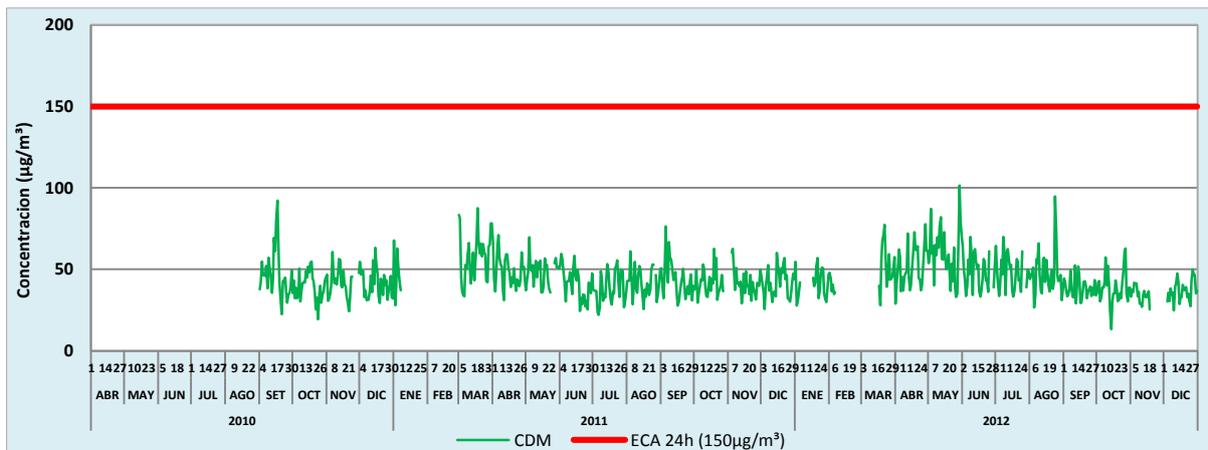
Fuente: elaboración propia

En la Figura 25 se observa el comportamiento histórico de las concentraciones de promedios diarios de PM₁₀ tomados por la estación de calidad del aire ubicada en el distrito de San Borja, desde octubre de 2010 hasta diciembre de 2012. Podemos apreciar que en ningún caso se logró superar el ECA de 150 µg/m³. La calidad del aire en San Borja no se encuentra alterada por la presencia de este contaminante en el ambiente.

Figura 25. Concentración diaria de PM₁₀ en la Estación de San Borja 2010 – 2012

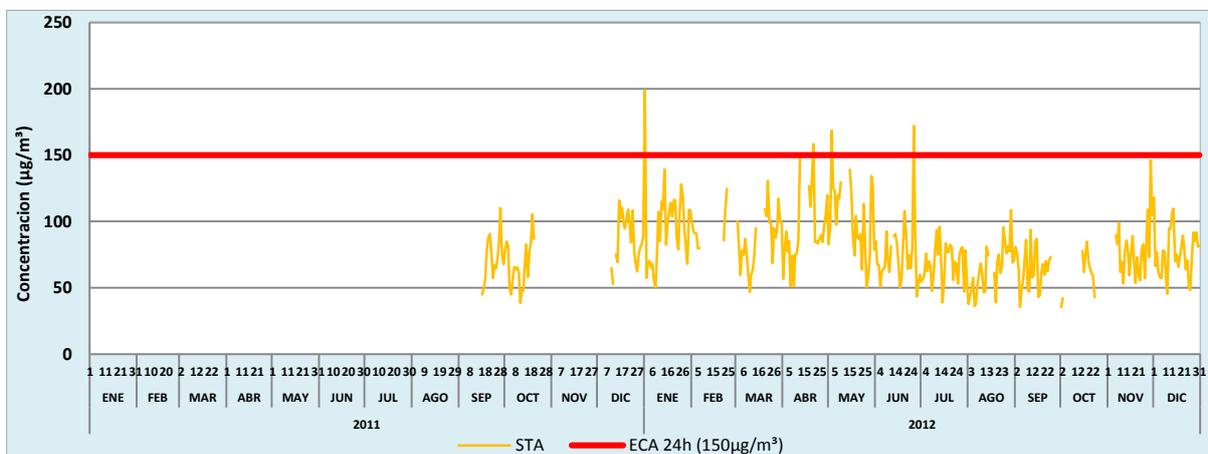
Fuente: elaboración propia

En la Figura 26 se aprecia el comportamiento histórico de las concentraciones de promedios diarios de PM₁₀ tomados de la estación de calidad del aire Campo de Marte, ubicada en el distrito de Jesús María, desde setiembre de 2010 hasta diciembre de 2012. Se observa que, al igual que en la estación anterior, en ningún caso se logró superar el ECA de calidad de aire de 150 µg/m³.

Figura 26. Concentración diaria de PM₁₀ en la Estación de Campo de Marte 2010 - 2012

Fuente: elaboración propia

En la Figura 27 se observa el comportamiento histórico de las concentraciones de los promedios diarios de PM₁₀ registrados en la estación de calidad del de Santa Anita, desde setiembre de 2011 hasta diciembre de 2012. Solo en cuatro oportunidades se superó el ECA de calidad del aire: una de ellas en el mes de enero por Navidad y Año Nuevo y tres casos aislados entre abril y junio. Según a serie histórica del material particulado menor de 10 µm, este contaminante no deterioró la calidad del aire del distrito.

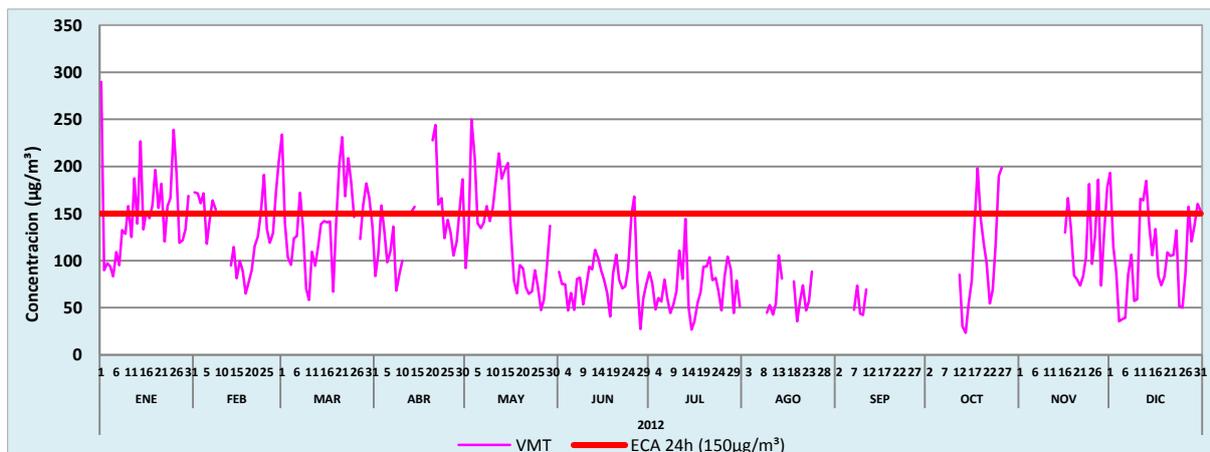
Figura 27. Concentración diaria de PM₁₀ en la Estación de Santa Anita 2010 - 2012

Fuente: elaboración propia

En la Figura 28 podemos observar el comportamiento histórico de las concentraciones de los promedios diarios de PM₁₀ registrados en la estación de calidad del aire de Villa María del Triunfo, desde enero a diciembre de 2012. Aquí se sobrepasó el ECA de calidad del aire en varias oportunidades, una de ellas en enero por Navidad y Año Nuevo. Es evidente que la población se encontró expuesta a altas concentraciones de PM₁₀ durante el 2012.



Figura 28. Concentración diaria de PM₁₀ en la Estación de Villa María del Triunfo 2010 - 2012



Fuente: elaboración propia

En las figuras 29, 30, 31, 32 y 33 se observan las dos concentraciones máximas diarias de PM₁₀ para cada estación de calidad de aire. En el mes de enero se registraron los valores máximos diarios más altos del año de 294.8 µg/m³, 289.8 µg/m³ y 199.1 µg/m³ en Ate, Villa María de Triunfo y Santa Anita, por encima del ECA diario (24 horas) de 150 µg/m³. Asimismo, las tres estaciones en mención registraron valores máximos diarios altos durante casi todo 2012.

A diferencia de las tres estaciones mencionadas, el comportamiento de las concentraciones del PM₁₀ en las ubicadas en Jesús María (Campo de Marte) y San Borja, no registraron ningún dato máximo que supere el ECA en todo el año.

Fig. 29. Concentraciones máximas diarias - PM10 Estación Ate 2012

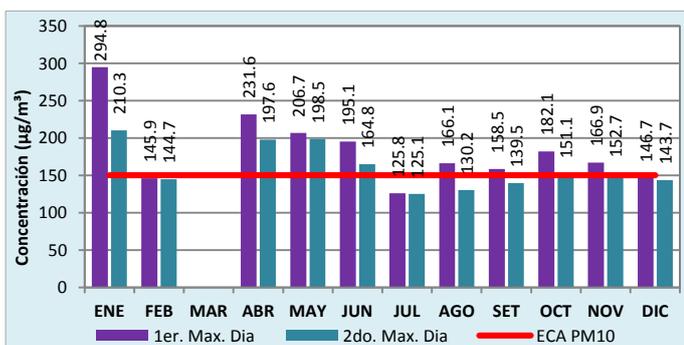


Fig. 30. Concentraciones máximas diarias - PM10 Estación San Borja 2012

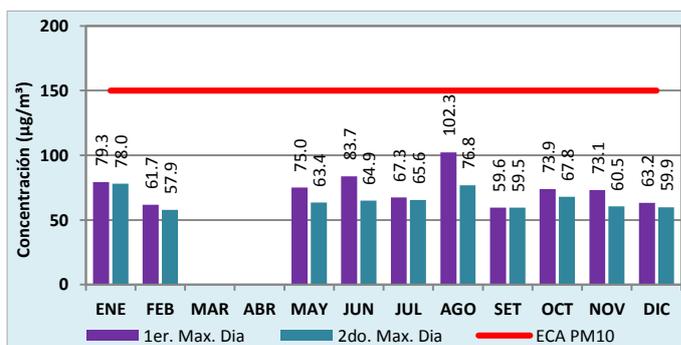


Fig. 31. Concentraciones máximas diarias - PM10 Estación Campo de Marte 2012

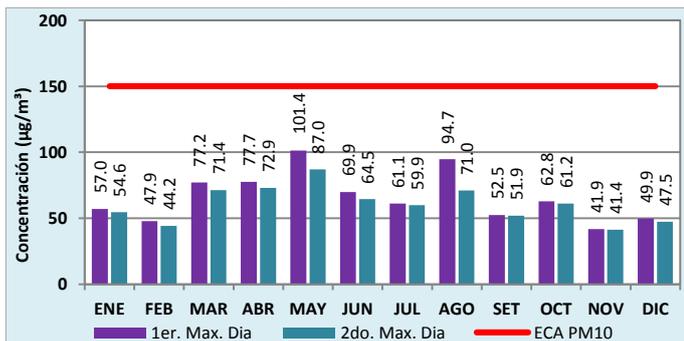
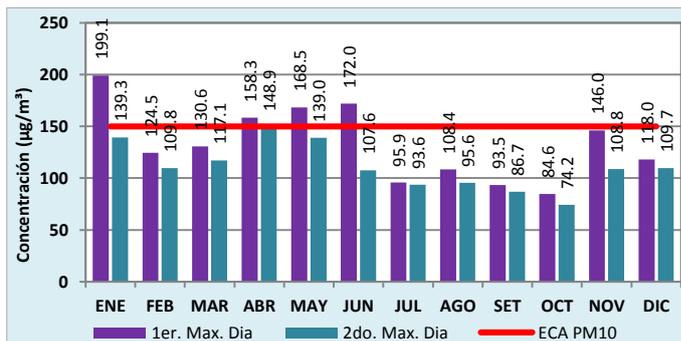
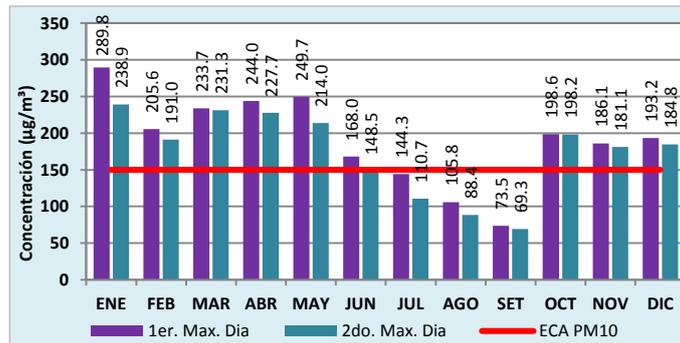


Fig. 32. Concentraciones máximas diarias - PM10 Estación Santa Anita 2012



Fuente: elaboración propia

Fig. 33. Concentraciones máximas diarias - PM10 Estación Villa María del Triunfo 2012

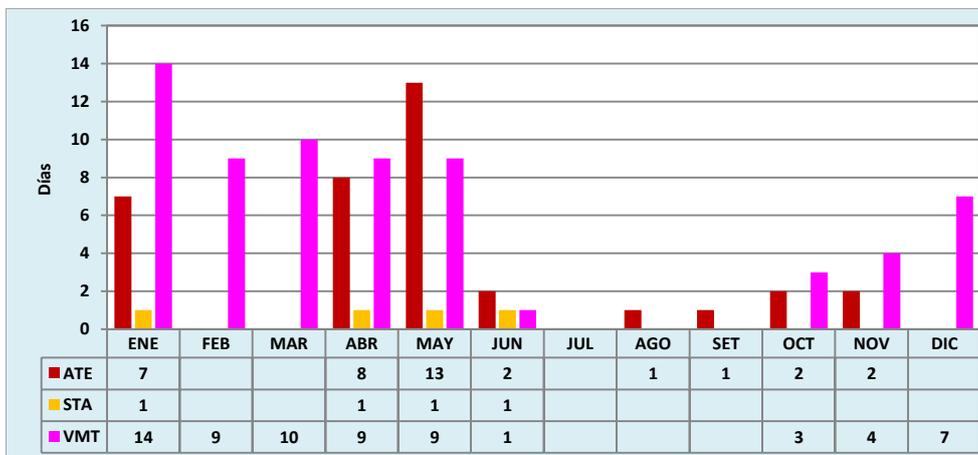


Fuente: elaboración propia

En la Figura 34 se observa el número de días en que se superó el ECA diario de PM₁₀. Solo las estaciones de Ate, Villa María del Triunfo y Santa Anita superaron el límite diario durante 2012. La estación de Villa María del Triunfo suma el mayor número de días de superación al ECA con 14 en el mes de enero.

Ate registró 13 días que superaron el ECA durante el mes de mayo. La estación de Santa Anita superó el ECA solo una vez entre abril y junio.

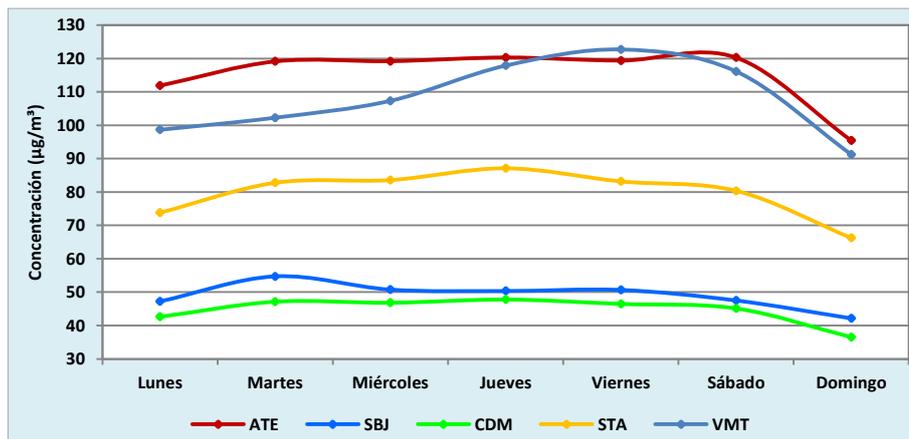
Figura 34. Días de superación al ECA de PM₁₀. Estaciones SENAMHI 2012



Fuente: elaboración propia

La Figura 35 nos muestra el comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ por días de la semana. Las estaciones de Ate y Villa María del Triunfo son las que presentaron mayores concentraciones. La estación de Santa Anita reportó concentraciones medias y las de San Borja y Jesús María (Campo de Marte) concentraciones bajas de PM₁₀ durante toda la semana.

En todas las estaciones se reportan concentraciones de PM₁₀ casi constante de lunes a sábado y una clara reducción de las concentraciones el día domingo, lo cual es atribuido a la reducción del tránsito vehicular por ser no laborable. La reducción es evidente en Ate, Villa María del Triunfo y Santa Anita, distritos de importante flujo vehicular, mientras que no es considerable en San Borja y Jesús María.

Figura 35. Evolución de las concentraciones de PM₁₀ por días de la semana 2012

Fuente: elaboración propia

Las figuras 36, 37, 38, 39 y 40 muestran la distribución porcentual de los estados de la calidad del aire para las cinco estaciones de la red de monitoreo. Dichos estados son calculados en base a un índice de calidad del PM₁₀ con datos obtenidos de las estaciones Ate, Santa Anita, Jesús María, San Borja y Villa María del Triunfo. El índice de calidad del aire permite expresar en términos sencillos el estado del aire que se respira en estos cinco distritos de Lima Metropolitana en diferentes categorías: bueno, moderado, malo, muy malo y alerta máxima.

La máxima categoría alcanzada durante 2012 fue un aire de calidad “muy malo”, que se presentó en bajos porcentajes solo en el mes de enero y en las estaciones de Ate y Villa María del Triunfo con 4% y 3% respectivamente.

Ate se caracterizó por presentar un estado de la calidad del aire “moderado” casi durante todo el año, aunque reportó estado “malo” en mayor porcentaje durante los meses de abril (62%) y mayo (42%). Dichos estados indicaron que las personas de los grupos sensibles pudieron presentar síntomas como tos y cansancio.

San Borja y Jesús María presentaron únicamente estados de calidad del aire “bueno” y “moderado”, con predominancia del estado “bueno” durante la mayor parte del año.

Santa Anita presentó estado “moderado” durante la mayor parte del año, con escasos episodios de calidad de aire “buena” en los meses de julio a octubre. En Villa María del Triunfo, el estado “malo” se presentó de enero a junio y de octubre a diciembre, hasta 43% en el mes de enero. Sin embargo, el estado predominante durante la mayor parte del año fue “moderado”.



Fig. 36. Estados de la calidad del aire - PM₁₀ Estación Ate 2012

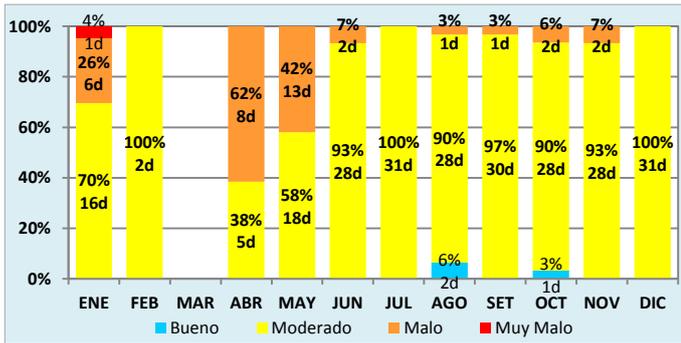


Fig. 37. Estados de la Calidad del aire - PM₁₀ Estación San Borja 2012

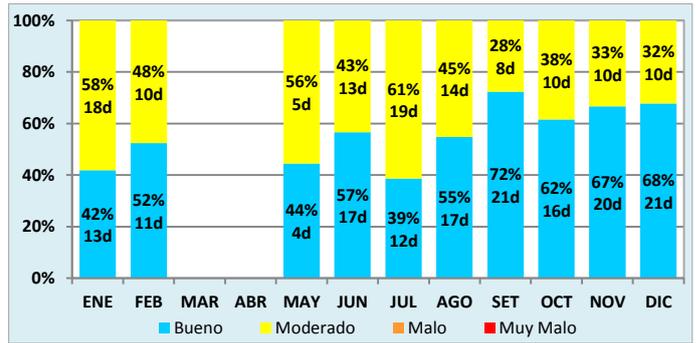


Fig. 38. Estados de la calidad del aire - PM₁₀ Estación Campo de Marte 2012

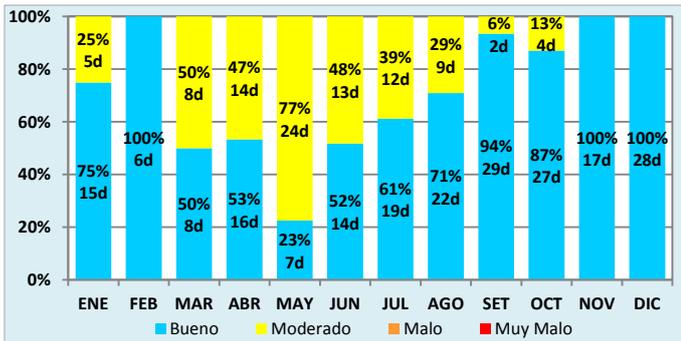


Fig. 39. Estados de la Calidad del aire - PM₁₀ Estación Santa Anita 2012

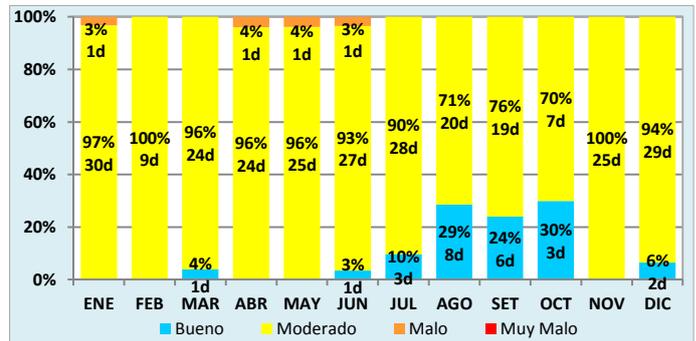
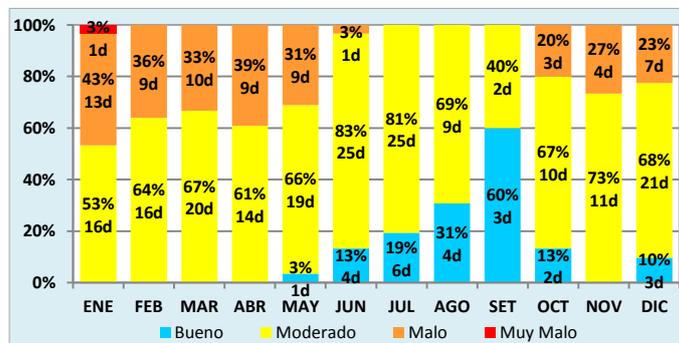


Fig. 40. Concentraciones máximas diarias - PM₁₀ Estación Villa María del Triunfo 2012

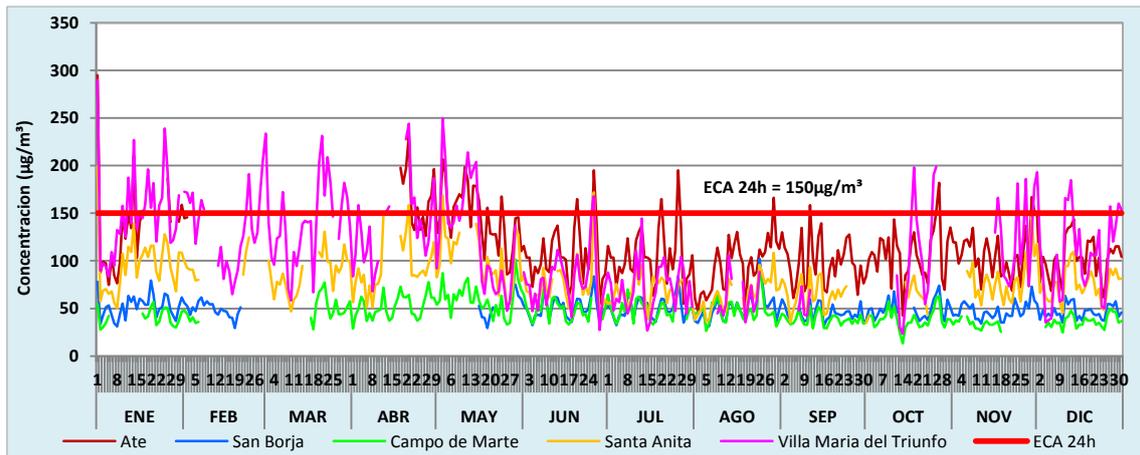


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41 se observa la variación diaria de las concentraciones de PM₁₀ en 2012, donde las mayores concentraciones fueron de las estaciones de Ate y Villa María del Triunfo, seguidos por Santa Anita. Con valores más bajos siguen las estaciones de Jesús María y San Borja. Se puede apreciar también que en Ate y Villa María del Triunfo sobrepasaron en muchas oportunidades el ECA diario de 150 µg/m³, a diferencia de las estaciones ubicadas en Santa Anita, Jesús María y San Borja que no superaron el ECA a lo largo de todo el año.

La tendencia fue de altas concentraciones de PM₁₀ de enero a mayo, disminuyendo significativamente de junio a setiembre para luego incrementarse de octubre a diciembre.

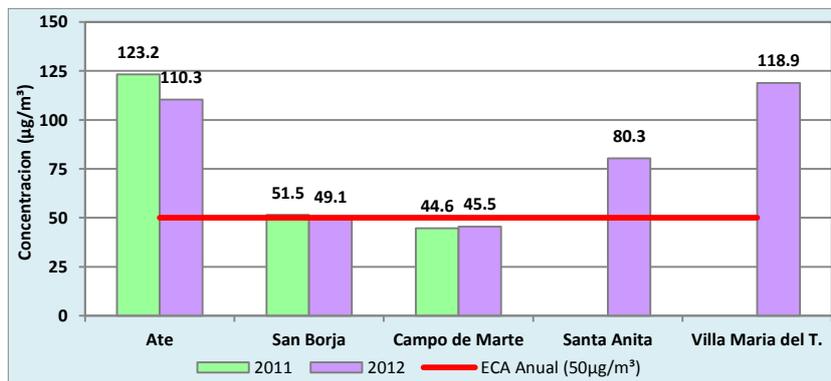
Figura 41. Variación diaria de PM₁₀ – Estaciones SENAMHI 2012



Fuente: elaboración propia

La Figura 42 muestra la evolución de la media anual de PM₁₀, donde se observa una considerable superación del ECA anual (50 µg/m³), principalmente en las estaciones de Ate, Villa María del Triunfo y Santa Anita. Al contrario, las estaciones de San Borja y Campo de Marte cumplen la norma. En Santa Anita y Villa María no se cuenta con información en 2011 porque las estaciones comenzaron a operar recién desde 2012.

Figura 42. Evolución de la media anual de PM₁₀ – Estaciones SENAMHI



Fuente: elaboración propia

5.4.2. Dióxido de azufre (SO₂)

En las figuras 43, 44, 45, 46 y 47 se observan las dos concentraciones máximas diarias de SO₂ para cada estación de calidad de aire. En ningún caso sobrepasaron el ECA diario (24 horas) de 80 µg/m³ durante todo el 2012.



Fig. 43. Concentraciones máximas diarias – SO₂ Estación Ate 2012

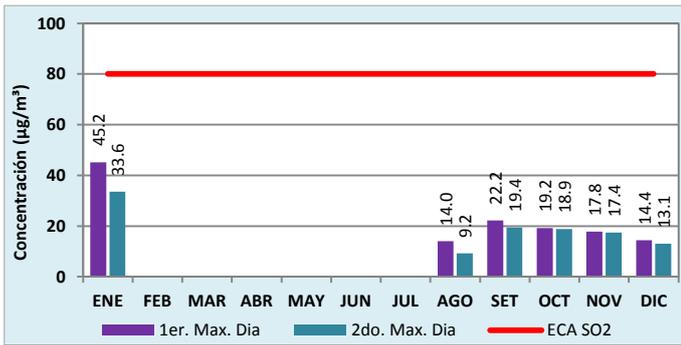


Fig. 44. Concentraciones máximas diarias – SO₂ Estación San Borja 2012

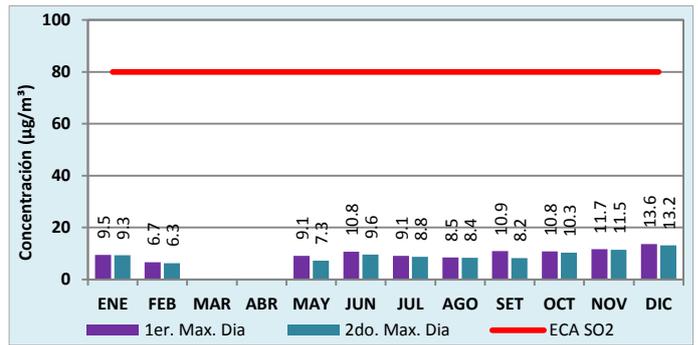


Fig. 45. Concentraciones máximas diarias – SO₂ Estación Campo de Marte 2012

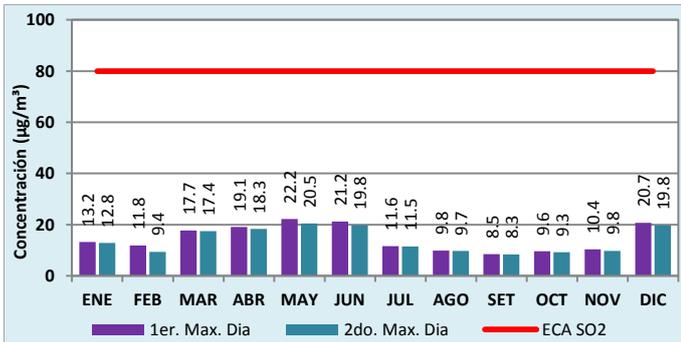


Fig. 46. Concentraciones máximas diarias – SO₂ Estación Santa Anita 2012

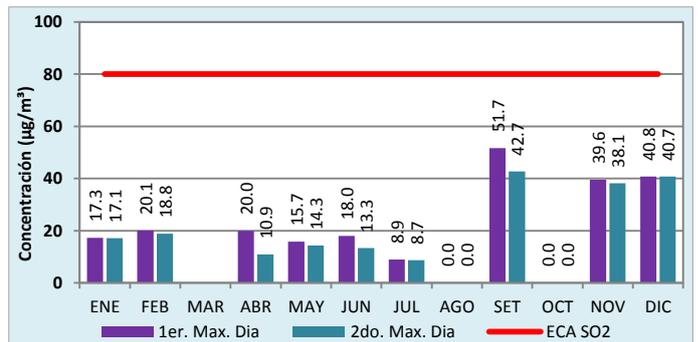
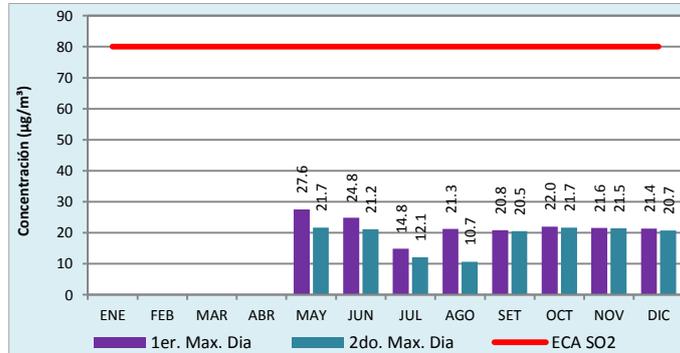


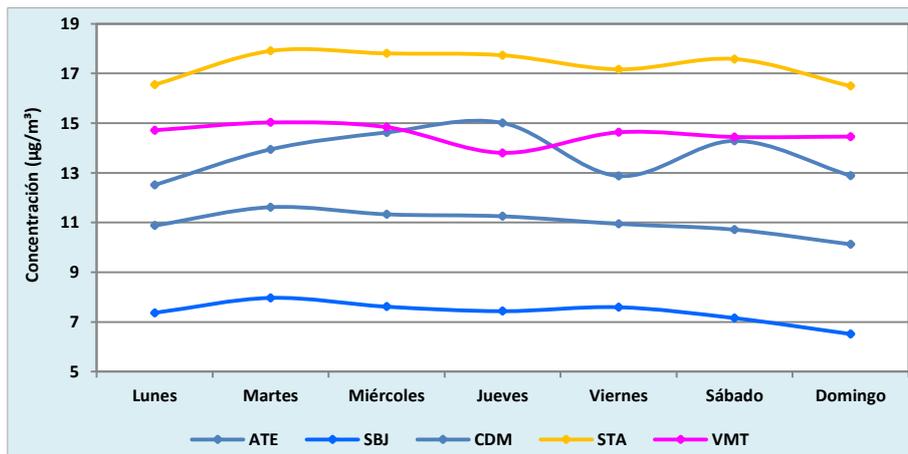
Fig. 47. Concentraciones máximas diarias – SO₂ Estación Villa María del Triunfo 2012



Fuente: elaboración propia

La Figura 48 nos muestra el comportamiento de las concentraciones de SO₂ por días de la semana. Las estaciones de Santa Anita, Villa María del Triunfo y Ate son las que presentaron mayores concentraciones en comparación a las demás. La estación ubicada Jesús María (Campo de Marte) reportó concentraciones medias y la ubicada en San Borja presentó concentraciones bajas de SO₂ durante toda la semana.

En todas las estaciones se reportan concentraciones de SO₂ casi constantes durante toda la semana, sin diferencias entre días laborables y no laborables.

Figura 48. Evolución de las Concentraciones de SO₂ por días de la semana 2012


Fuente: elaboración propia

Las figuras 49, 50, 51, 52 y 53 muestran la distribución porcentual de los estados de la calidad del aire por SO₂ para las cinco estaciones de la red de monitoreo. Ate se caracterizó por presentar un estado “bueno” durante casi todo el año y solo reportó estado “moderado” en enero (46%) y septiembre (3%). San Borja presentó únicamente estado de calidad del aire “bueno” durante todos los meses monitoreados.

Jesús María presentó estado “bueno” durante la mayor parte del año, con escasos episodios de calidad de aire “moderado” en enero, marzo, mayo, junio y diciembre. Santa Anita también presentó mayormente estado “bueno” y solo en febrero y setiembre se reportaron estados de calidad del aire “moderado” con 17% y 57% respectivamente.

Villa María del Triunfo, presentó un mayor porcentaje de días en estado “bueno” para el SO₂ en la mayoría de los meses.

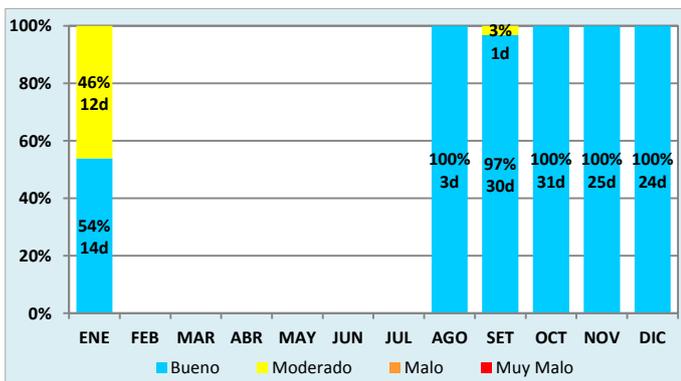
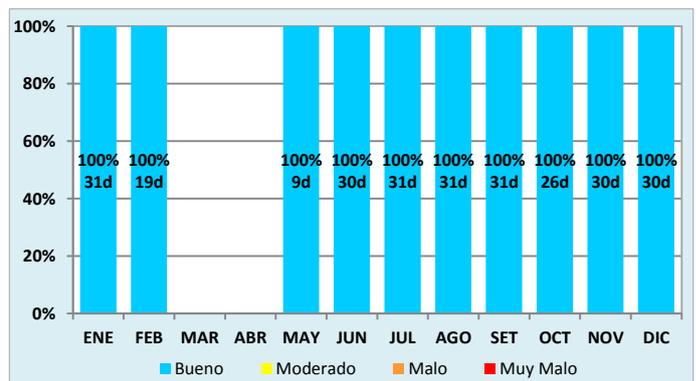
Fig. 49. Estados de la calidad del aire – SO₂ Estación Ate 2012

Fig. 50. Estados de la Calidad del aire – SO₂ Estación San Borja 2012




Fig. 51. Estados de la calidad del aire – SO₂ Estación Campo de Marte 2012

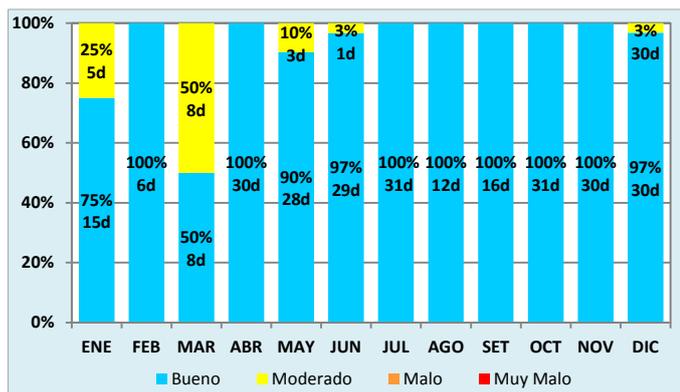


Fig. 52. Estados de la Calidad del aire – SO₂ Estación Santa Anita 2012

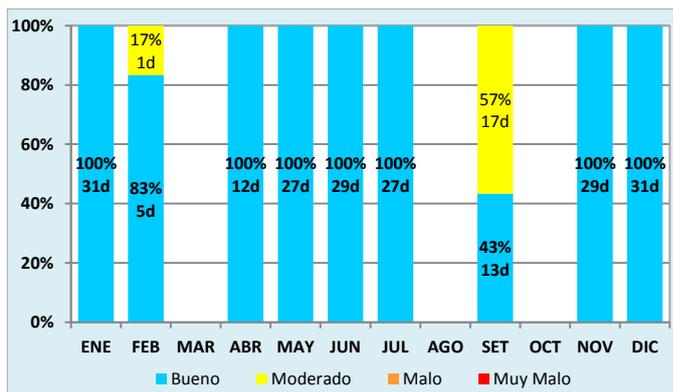
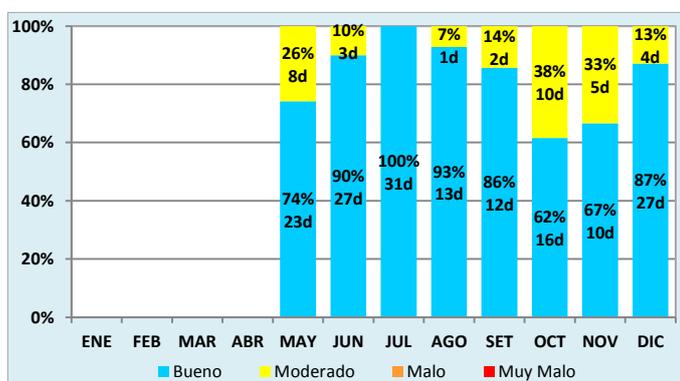


Fig. 53. Concentraciones máximas diarias - SO₂ Estación Villa María del Triunfo 2012



Fuente: elaboración propia

5.4.3. Dióxido de nitrógeno (NO₂)

En la figura 54 se aprecia la concentración media mensual de NO₂ obtenida de la red de estaciones de calidad del aire en Lima Metropolitana. En verano, la estación de Villa María del Triunfo presentó concentraciones que fluctuaron entre 25,1 µg/m³ a 21,3 µg/m³. Por su parte, la estación San Borja varió de 17,1 µg/m³ a 13,2 µg/m³.

En otoño las concentraciones medias mensuales de NO₂ reportadas fueron las más altas del año, particularmente en mayo en las estaciones de Ate (73.1 µg/m³), Santa Anita (55.6 µg/m³) y Campo de Marte (25.8 µg/m³).

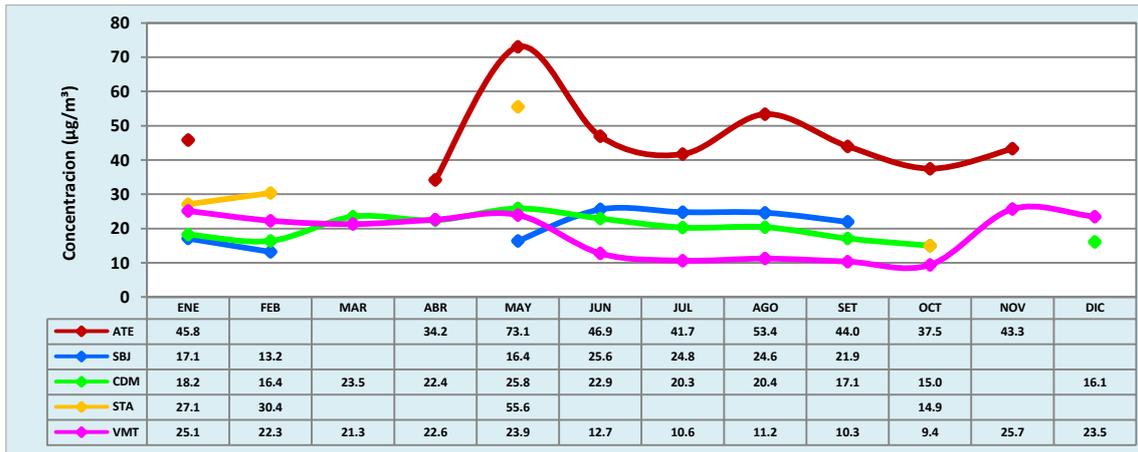
En invierno las concentraciones de dióxido de nitrógeno presentaron una tendencia descendente respecto al otoño en todas las estaciones de la red de calidad de aire. En San Borja las concentraciones variaron desde 24,8 µg/m³ a 21,9 µg/m³; en Campo de Marte descendieron mes a mes desde 20.3 µg/m³ a 17,1 µg/m³; en Villa María del Triunfo la variación no fue significativa: desde 10,6 µg/m³ a 10,3 µg/m³.

En primavera se observó que las estaciones ubicadas en los distritos de Ate y Villa María del Triunfo presentaron concentraciones medias mensuales de NO₂ con tendencia ascendente desde 37,5 µg/m³ a 43,3 µg/m³ y 9,4 µg/m³ a 23,5 µg/m³.

Es necesario señalar que debido a problemas técnicos en las estaciones de monitoreo, algunos meses no cuentan con información.



Figura 54. Concentración media mensual de NO₂



Fuente: elaboración propia

En las figuras 55, 56, 57, 58 y 59 se presentan la primera y la segunda concentración máxima horaria de NO₂, las cuales muestran que en las estaciones de la red del SENAMHI no se ha superado el ECA de una hora para el NO₂ (200 µg/m³). Sin embargo, cabe mencionar que las concentraciones máximas en la estación de Ate, entre los meses de abril y mayo de NO₂ estuvieron muy cercanas al ECA. Debido al intenso tráfico vehicular se reportaron concentraciones máximas de 191.9 µg/m³ y 169.7 µg/m³ en abril, y 185.9 y 180.8 µg/m³ en mayo. En Santa Anita la concentración máxima registrada fue de 160.8 µg/m³ en el mes de mayo; en Campo de Marte la máxima concentración ocurrió en abril con 119.2 µg/m³; en San Borja la máxima concentración de NO₂ se registró en junio con 71.2 µg/m³. Asimismo en Villa María del Triunfo se registró una máxima concentración de dióxido de nitrógeno de 89.0 µg/m³, en abril.

Fig. 55. Concentraciones máximas horarias – NO₂ Estación Ate 2012

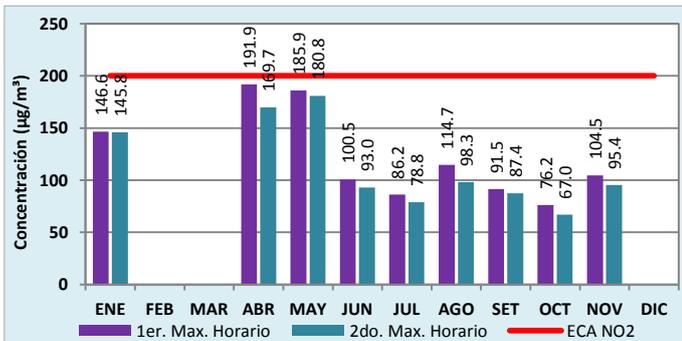


Fig. 56. Concentraciones máximas horarias – NO₂ Estación San Borja 2012

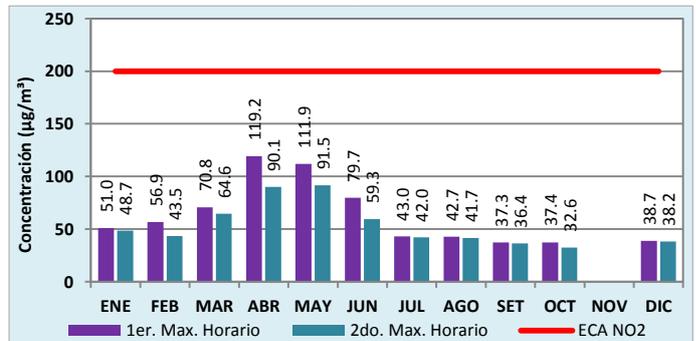


Fig. 57. Concentraciones máximas horarias – NO₂ Estación Campo de Marte 2012

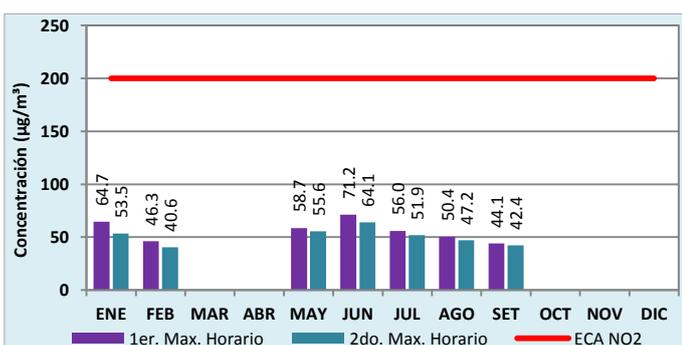


Fig. 58. Concentraciones máximas horarias – NO₂ Estación Santa Anita 2012

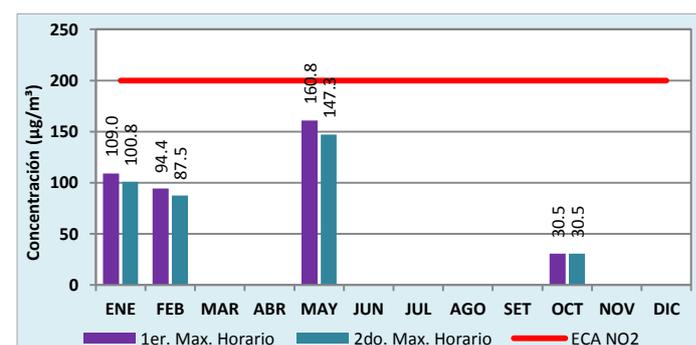
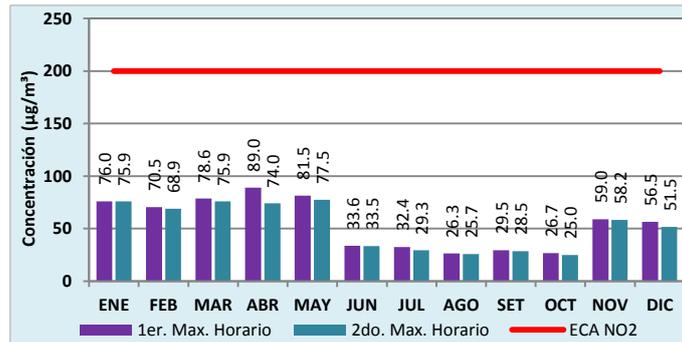


Fig. 59. Concentraciones máximas diarias – NO₂
Estación Villa María del Triunfo 2012



Fuente: elaboración propia

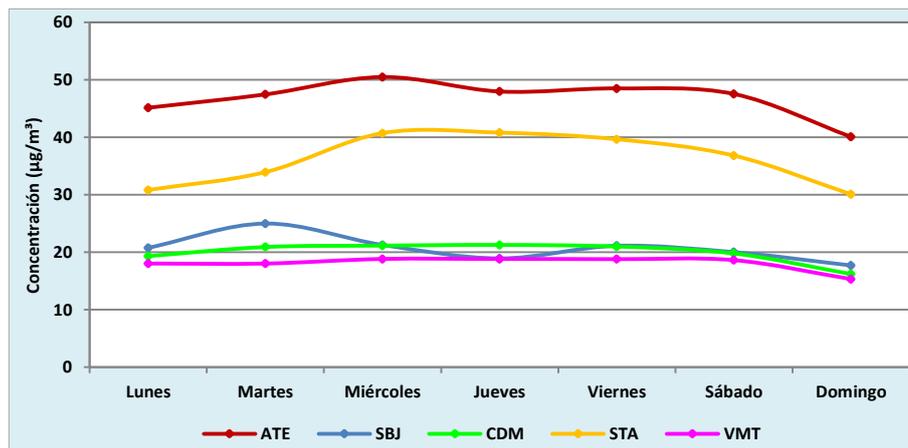
En la figura 60 se puede apreciar la evolución de las concentraciones de dióxido de nitrógeno por días de la semana. Las concentraciones de NO₂ en Ate y Santa Anita fueron más altas que en el resto de las estaciones de monitoreo. Durante los primeros días de la semana las concentraciones aumentaban a medida que pasaba los días, para luego presentar una disminución los domingos.

En Campo de Marte las concentraciones son casi similares de lunes a viernes, disminuyendo los domingos. Se entiende que esta variabilidad se encuentra influenciada por la disminución del flujo vehicular por ser día no laborable.

Mientras que en San Borja el incremento sucede los lunes a miércoles, con el martes como el día de mayor concentración de NO₂ de la semana, los jueves disminuye notablemente para incrementarse los días viernes y disminuir nuevamente los domingos.

En Villa María del Triunfo las concentraciones son homogéneas durante toda la semana, lo que denotaría que la fuente de contaminación es constante; solo se observó una ligera disminución los domingos.

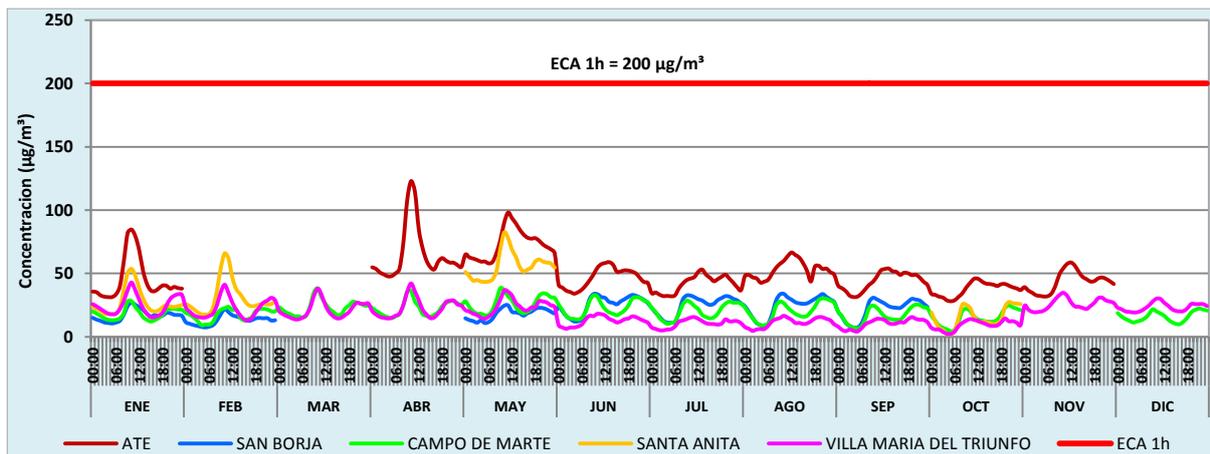
Figura 60. Evolución de las concentraciones de NO₂ por días de la semana - 2012



Fuente: elaboración propia

En la Figura 61 se aprecia la variación horaria del NO₂ en todas las estaciones, observándose que en ningún caso superó el ECA diario (200 µg/m³). En la estación de Ate se presentaron las mayores concentraciones debido a que en dicho distrito el tránsito de vehículos es intenso durante todo el día, con mayores concentraciones en los meses de abril y mayo.

Figura 61. Variación horaria de NO₂ - Estaciones SENAMHI 2012



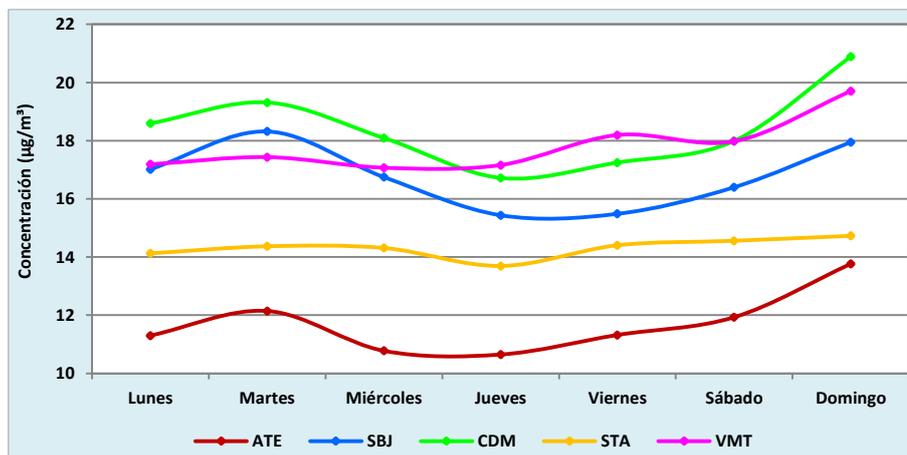
Fuente: elaboración propia

5.4.4. Ozono (O₃)

La Figura 62 muestra la evolución de la concentración de ozono por días de la semana durante el año 2012. Se evidenció que las mayores concentraciones se reportaron en las estaciones de Campo de Marte, San Borja y Villa María del Triunfo y en menor proporción en las estaciones de Santa Anita y Ate.

La explicación del incremento de la concentración de ozono los domingos podría depender de la disminución del flujo vehicular ya que hay menores emisiones de NO, y por tanto existe menor concentración de NO (óxido nítrico) disponible en la atmósfera para destruir al ozono.

Figura 62. Evolución de la concentración de O₃ por días de la semana - 2012



Fuente: elaboración propia



6. Conclusiones

- Las estaciones ubicadas en los distritos de Ate y Villa María del Triunfo registraron las concentraciones promedio mensuales de PM₁₀ más altas a lo largo del año 2012. La estación de Santa Anita reportó concentraciones medias y las estaciones de San Borja y Jesús María reportaron similares y bajos promedios mensuales.
- Las estaciones de Ate, Villa María de Triunfo y Santa Anita presentaron las mayores concentraciones diarias de PM₁₀ a lo largo del año 2012, superando incluso el ECA diario (150 µg/m³). Villa María del Triunfo superó el ECA en 14 días solo en el mes de enero, mientras que Ate 13 días en mayo. La estación de Santa Anita superó el ECA una vez en los meses de abril a junio. Dicho contaminante representó un riesgo para la salud de las personas de dichos distritos, que se encontraron expuestos a altas concentraciones de PM₁₀. Respecto a las concentraciones diarias máximas Ate alcanzó 294.8 µg/m³ en Año Nuevo 2012, Villa María del Triunfo 289.8 µg/m³ y Santa Anita 199.1 µg/m³ ampliamente por encima del ECA.
- Al realizar un análisis de la evolución del PM₁₀ por días de la semana, se encontró que las cinco estaciones reportaron concentraciones casi constantes de lunes a sábado y una clara reducción el día domingo, lo cual es atribuido a la reducción del tránsito vehicular por ser día no laborable. La reducción fue más evidente en Ate, Villa María del Triunfo y Santa Anita, distritos de importante flujo vehicular.
- Durante 2012 la altura de la capa de mezcla fue mucho más baja en abril (225 metros), lo que determinó que los contaminantes se quedaran más cerca de la superficie. Por tal motivo, se registraron mayores concentraciones. Lo contrario sucedió en el mes de julio, periodo en que la capa de mezcla alcanzó los 1085 metros y contribuyó a la dispersión de los contaminantes atmosféricos.
- Las concentraciones de SO₂ se mantuvieron casi constante los días de la semana, pero más altas en Santa Anita, Ate y Villa María del Triunfo que en Jesús María (Campo de Marte) y San Borja, lo cual se debe al mayor flujo vehicular.
- Las concentraciones de NO₂ no superaron los ECA diarios, sin embargo las concentraciones en Ate y Santa Anita fueron más altas que en el resto de las estaciones de monitoreo. Durante los primeros días de la semana las concentraciones aumentaban, para luego presentar una disminución los domingos. Se entiende que esta variabilidad se encuentra influenciada por la disminución del flujo vehicular.
- El incremento de la concentración de ozono los domingos podría depender de la disminución del flujo vehicular, por tanto hay menores emisiones de NO (óxido nítrico) y menor concentración de NO (óxido nítrico) disponible en la atmósfera para destruir al ozono.



7. Referencias

Instituto Metropolitano de Planificación, IMP. 2013. "Plan Regional de Desarrollo Concertado de Lima (2012-2025)"

Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú, INEI. Estado de la Población Peruana 2013, disponible en:

http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1095/libro.pdf

Notario, A., I. Bravo, et al. (2013). "Variability of oxidants ($O_x=O_3+NO_2$), and preliminary study on ambient levels of ultrafine particles and VOCs, in an important ecological area in Spain." Atmospheric Research 128(0): 35-45.

Mavroidis, I. and M. Iliá (2012). "Trends of NO_x , NO_2 and O_3 concentrations at three different types of air quality monitoring stations in Athens, Greece." Atmospheric Environment 63(0): 135-147.