

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LIMA METROPOLITANA 2014



Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana, 2014

COORDINADOR TÉCNICO:

JOSÉ SEGUNDO SILVA COTRINA

ELABORADO POR:

Ph. D. Meteorología
Ingeniera Ambiental
Bachiller en Ingeniería Ambiental
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Odón Román Sánchez Ccoyllo
Carol Geimy Ordóñez Aquino
Rulman Raphael Aliaga Martínez
Jhojan Pool Rojas Quincho

COLABORACIÓN:

Ph. D. Medio Ambiente y
Desarrollo Sostenible
Ingeniero Electrónico
Técnico electrónico
Técnico electrónico
Técnica en Computación
Ph.D Química
Diseñadora Gráfica

Juan Julio Ordóñez Gálvez
Augusto Fernández Jibaja
Carlos Simeón Pardavé Trujillo
José Luis Hinojosa Fernández
Rosalinda Aguirre Almeyda
Manuel Andrés Leiva Guzmán
Rosa Emperatriz Bermúdez Talavera

Lima, 2015

Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana, 2014

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

© Dirección de Proyectos de Desarrollo y Medio Ambiente del SENAMHI.

Jr. Cahuide 785 Jesús María, Lima, Perú

Central Telefónica: (511) 614 1414

Correos electrónicos: osanchez@senamhi.gob.pe, dgia@senamhi.gob.pe

Sitios web: www.senamhi.gob.pe / www.peruclima.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.; Ordóñez-Aquino, C. G.; Aliaga-Martínez, R. R. y Rojas-Quincho, J. P. (2015). Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana, 2014. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	8
2. ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD DEL AIRE	10
3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE	11
4. CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN LIMA METROPOLITANA, 2014	13
4.1 Capa de mezcla	13
4.2 Temperatura	14
4.3 Humedad relativa	15
4.4 Precipitación	16
4.5 Vientos	17
5. CALIDAD DEL AIRE EN LIMA METROPOLITANA, 2014	18
5.1 Material particulado (PM_{10})	18
5.1.1 Evolución horaria del PM_{10} en los días de la semana en la zona norte	18
5.1.2 Evolución horaria del PM_{10} en los días de la semana en la zona sur y centro	20
5.1.3 Evolución horaria del PM_{10} en los días de la semana en la zona este	22
5.1.4 Evolución diaria del PM_{10} en los días de la semana	23
5.1.5 Evolución diaria del PM_{10} en la estación de Ate	25
5.1.6 Evolución diaria del PM_{10} en la estación de San Borja	26
5.1.7 Evolución diaria del PM_{10} en la estación de Jesús María	27
5.1.8 Evolución diaria del PM_{10} en la estación de Santa Anita	28
5.1.9 Evolución diaria del PM_{10} en la estación de Villa María del Triunfo	28
5.1.10 Evolución diaria del PM_{10} en la estación de Huachipa	30

5.1.11	Evolución diaria del PM_{10} en la estación de San Juan de Lurigancho	31
5.1.12	Evolución diaria del PM_{10} en la estación de San Martín de Porres	32
5.1.13	Evolución diaria del PM_{10} en la estación de Carabayllo	33
5.1.14	Evolución diaria del PM_{10} en la estación de Puente Piedra	34
5.1.15	Días de superación del ECA de PM_{10}	35
5.1.16	Estado de la calidad del aire con relación al PM_{10} en la zona norte	36
5.1.17	Estado de la calidad del aire con relación al PM_{10} en la zona sur	37
5.1.18	Estado de la calidad del aire con relación al PM_{10} en la zona centro	38
5.1.19	Estado de la calidad del aire con relación al PM_{10} en la zona este	39
5.2	Material particulado ($PM_{2.5}$)	41
5.2.1	Evolución horaria del $PM_{2.5}$ en los días de la semana en la zona norte	41
5.2.2	Evolución horaria del PM_{10} en los días de la semana en la zona sur y centro	42
5.2.3	Evolución horaria del PM_{10} en los días de la semana en la zona este	44
5.2.4	Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en los días de la semana	45
5.2.5	Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de Ate	47
5.2.6	Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de San Borja	48
5.2.7	Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la Estación de Jesús María	49
5.2.8	Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de Santa Anita	50
5.2.9	Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de Villa María del Triunfo	51
5.2.10	Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de Huachipa	52
5.2.11	Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de San Juan de Lurigancho	53

5.2.12	Evolución diaria del PM _{2.5} en la estación de San Martín de Porres	54
5.2.13	Evolución diaria del PM _{2.5} en la estación de Carabayllo	55
5.2.14	Evolución diaria del PM _{2.5} en la estación de Puente Piedra	56
5.2.15	Días de superación del ECA de PM _{2.5}	57
6.	RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LIMA METROPOLITANA	58
6.1.	Información técnica	58
6.1.1	Estaciones de la zona norte	58
6.1.1.1	Estación de Puente Piedra	58
6.1.1.2	Estación de Carabayllo	59
6.1.1.3	Estación de San Martín de Porres	60
6.1.2	Estaciones de la zona sur	61
6.1.2.1	Estación de Villa María del Triunfo	61
6.1.3	Estaciones de la zona centro	62
6.1.3.1	Estación de Jesús María (Campo de Marte)	62
6.1.3.2	Estación de San Borja	63
6.1.4	Estaciones de la zona este	64
6.1.4.1	Estación de Ate	64
6.1.4.2	Estación de Santa Anita	65
6.1.4.3	Estación de Huachipa	66
6.1.4.4	Estación de San Juan de Lurigancho	67
7.	CONCLUSIONES	68
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

Presentación

El objetivo de este informe es realizar la caracterización de la contaminación del aire en Lima Metropolitana mediante la descripción de los valores horarios, diarios, semanales, mensuales y anuales de los aerosoles atmosféricos.

La evaluación de la contaminación del aire en el año 2014 tomó en cuenta el material particulado inhalable PM_{10} (partículas atmosféricas con diámetro aerodinámico menor de 10 micrómetros) y el material particulado fino $PM_{2.5}$ (partículas atmosféricas con diámetro aerodinámico menor de 2.5 micrómetros), además de las siguientes variables meteorológicas: altura de inversión térmica, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento en Lima Metropolitana.

Dr. Odón Sánchez Ccoyllo
Director de Proyectos de Desarrollo y Medio Ambiente del SENAMHI

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día se observa, en las grandes ciudades del mundo, una degradación de la calidad del aire a consecuencia de la emisión de sustancias a la atmósfera que pueden resultar perjudiciales para la salud humana y que sobrepasan las concentraciones establecidas en normas nacionales e internacionales. Ello, a pesar de que en las últimas décadas se han evidenciado significativos avances tecnológicos y se ha incrementado, además, la conciencia medioambiental. Los diferentes gobiernos en todo el mundo continúan la lucha contra la contaminación del medioambiente y en especial del aire. Centros urbanos de América como São Paulo, Ciudad de México, Buenos Aires, Santiago y Lima, muestran niveles significativos de contaminación del aire que representan un riesgo para la salud de sus poblaciones. Consecuentemente, se necesitan estudios y mediciones de la tendencia de los contaminantes atmosféricos para contribuir a proteger la salud de las personas y el ecosistema, así como evaluar e implementar planes de prevención y reducción de la contaminación atmosférica (OMS, 2015).

La degradación del aire urbano se puede explicar por la rápida expansión de la ciudad, el aumento de la quema de biomasa, el incremento diario de vehículos y el crecimiento de la actividad industrial y comercial. A ello se suman las condiciones geográficas y meteorológicas particulares de las localidades en la que se emplazan las grandes urbes (lo que da cuenta de la presencia de inversiones térmicas, por ejemplo), que pueden hacer que la dispersión de contaminantes se vea imposibilitada y se produzcan condiciones de estancamiento que generan episodios de alta contaminación (OMS, 2015).

La contaminación del aire implica la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que pueden afectar la vida de las personas, animales y plantas, e interfiere en el goce de la vida, la propiedad y el ejercicio de las actividades (Wark & Warner, 2007). La contaminación del aire se asocia también al aumento de la morbilidad y la

mortalidad, principalmente debido a enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón, infecciones respiratorias agudas, asma y a los efectos nocivos en el embarazo. El parto prematuro (menos de 37 semanas de gestación) y el bajo peso al nacer (menos de 2.500 g) se han asociado con la exposición a la contaminación del aire (Souza, 2015).

Este informe presenta la situación de la contaminación del aire en el año 2014 en Lima Metropolitana y es una continuación de los informes anuales que edita el SENAMHI desde el año 2011, en cumplimiento de la Ley Orgánica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, en cuyo artículo 4, inciso n) señala la función de: Organizar, normar y promover un sistema de vigilancia atmosférica del país, a fin de preservar los peligros de la contaminación ambiental.

En su inciso e), el referido artículo dispone: Divulgar la información técnica y científica; el inciso f) señala como otra de sus funciones: Promover en coordinación con las universidades, la capacitación técnica y profesional en especialidades relativas al estudio, investigación y aplicación de los diversos elementos atmosféricos; y el inciso i): Participar en todas las actividades de estudios y proyectos relacionados con el medioambiente.

2. ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE

El presente documento solo presenta información del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ debido a que los equipos analizadores de gases de la red de calidad del aire tuvieron problemas técnicos. A continuación, se indican los estándares nacionales de calidad ambiental para el material particulado (Tabla 1) y los estados de alerta (Tabla 2).

Tabla 1. Estándar nacional de calidad ambiental del aire

Contaminante	Periodo	Forma del estándar				Vigencia	Método del análisis
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ppb 25 °C 1 atm	ppm	Formato		
PM_{10}	24h	150	-	-	NE más de 3 veces al año	Vigente	Separación inercial/filtración (gravimetría)
	Anual	50	-	-	Media aritmética anual	Vigente	
$PM_{2.5}$	Anual	-	-	-	-	-	Separación inercial/filtración (gravimetría)
	24 h	25	-	-	-	Enero 2014	

Elaboración basada en el DS 009-2003-PCM y DS 003-2008-MINAM

Tabla 2. Estados de alerta nacionales

Tipos de alerta	Material particulado (PM_{10})	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Periodo
Cuidado	>250	Promedio aritmético 24 horas
Peligro	>350	Promedio aritmético 24 horas
Emergencia	>420	Promedio aritmético 24 horas

Elaboración basada en el Decreto Supremo 009-2003-SA y el Decreto Supremo 012-2005-SA.

3. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE

El índice de calidad del aire (ICA) se basa en valores establecidos por los estándares nacionales de calidad ambiental del aire y los niveles de alerta nacional de contaminantes del aire (MINAM, 2015).

Para establecer la categoría global de cada estación se utiliza el índice más elevado de los contaminantes monitoreados, representados en las **Tablas 3 y 4**.

La información del índice de calidad del aire permite que las personas puedan conocer y entender mejor el estado de la calidad del aire que respiran, pues

Tabla 3. Índice de calidad del aire para PM₁₀

Índice de calidad del aire	PM ₁₀	
	(µg/m ³)	
0 - 50	0 - 75	
51 - 100	76-150	
101 - 167	151-250	
>167	>250	

Fuente: Resolución Ministerial 112-2015-MINAM

Tabla 4. Índice de calidad del aire para PM_{2.5}

Índice de calidad del aire	PM _{2.5}	
	(µg/m ³)	
0 - 50	0 - 12.5	
51 - 100	12.6 - 25	
101 - 500	25.1 - 125	
>500	>125	

Fuente: Resolución Ministerial 112-2015-MINAM

además se indican los riesgos que implican y las recomendaciones que deben tomar (MINAM, 2015) **Tabla 5.**

Tabla 5. Clasificación del estado de la calidad del aire

	Estado de la calidad del aire	Riesgo	Recomendaciones
	BUENA	La calidad del aire se considera satisfactoria y no representa ningún riesgo.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA* de aire. Se puede realizar actividades al aire libre.
	MODERADA	Las personas de los grupos sensibles (niños, personas de la tercera edad, embarazadas, personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares crónicas) podrían experimentar algunos síntomas respiratorios.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de aire. Se puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para los grupos vulnerables.
	MALA	Las personas de los grupos sensibles podrían experimentar daños a la salud. La población en general podría sentirse afectada.	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
	UMBRAL DE CUIDADO	Toda la población puede verse afectada en su salud.	Implementar estados de alerta.

Fuente: Resolución Ministerial 112-2015-MINAM.

*ECA: Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el Aire

4. CONDICIONES METEOROLÓGICAS EN LIMA METROPOLITANA, 2014

4.1 Capa de mezcla

La altura de la capa de mezcla es un parámetro esencial en los estudios de dispersión de la contaminación atmosférica, ya que representa el volumen de aire disponible para la dispersión y transporte de los contaminantes. La altura de la capa de mezcla es la zona inferior de la atmósfera y está influenciada por la superficie terrestre (Jacobson, 2002).

En la **Figura 1**, se muestra la variación promedio mensual en 2014 de la altura de la capa de mezcla en el Aeropuerto Jorge Chávez, determinada con el sistema de radiosondeo de la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC S.A.). La menor altura de la capa de mezcla fue de 241 metros en el mes de febrero, lo cual se debió a la disminución de la intensidad del anticiclón del Pacífico Sur. En los meses de junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero la altura de capa de mezcla varió de 739 metros a 1186 metros y mantuvo en dicho periodo una tendencia decreciente.



Figura 1. Variación del promedio mensual de la capa de mezcla, 2014

4.2 Temperatura

La temperatura del aire depende del lugar y del momento, por ejemplo, lo próximo o distante que esté el lugar respecto del Ecuador, su cercanía o lejanía de la costa, estación del año, hora del día, entre otros. La temperatura del aire disminuye con la altura en los primeros kilómetros de la atmósfera.

En la **Figura 2**, se muestra la variación mensual de la temperatura del aire en las siguientes estaciones meteorológicas: Antonio Raimondi (Ancón), Aeropuerto Jorge Chávez (Callao), Villa María (Villa María del Triunfo), Campo de Marte (Jesús María) y Alexander Von Humboldt (La Molina). Se observó baja variabilidad térmica en todos los meses de 2014, producto del calor específico del agua de mar, debido a que la ciudad de Lima se encuentra cerca de la zona marino costera frente al océano Pacífico. La temperatura máxima media fue de 23.4 °C registrada en el mes de enero en la estación meteorológica del Aeropuerto Jorge Chávez (Callao), mientras que la temperatura mínima media fue de 14.4 °C en la estación Alexander Von Humboldt (La Molina) en el mes de agosto.

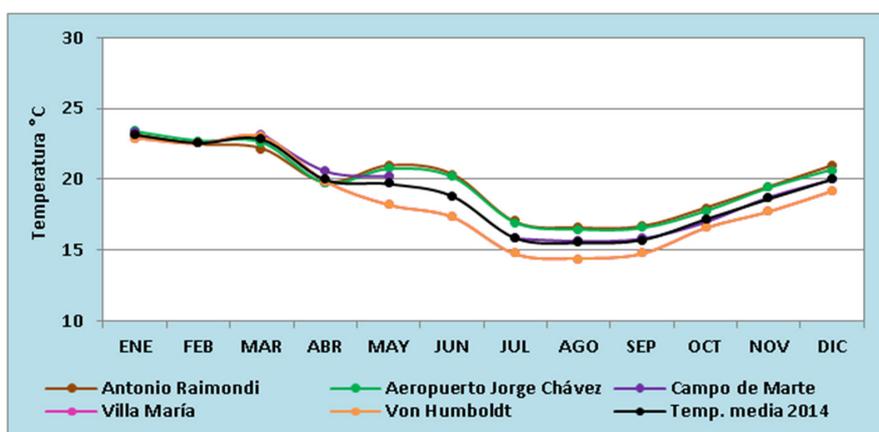


Figura 2. Variación mensual de la temperatura del aire, 2014

4.3 Humedad relativa

La humedad relativa hace referencia a la cantidad de agua transportada por el aire, lo que es importante para determinar el desarrollo de las nubes y el factor de precipitación.

En la **Figura 3**, se muestra la variación promedio mensual de la humedad relativa registrada en las estaciones meteorológicas Antonio Raimondi, Aeropuerto Jorge Chávez, Villa María, Campo de Marte, Alexander Von Humboldt; así como la media de las cinco estaciones (HR media 2014). El promedio anual fue de 81 % de humedad relativa. En el periodo de verano, la humedad relativa media fue de 76 %; en otoño, de 81 %; en invierno, de 87 % y en primavera, de 82 %. La estación Villa María del Triunfo presentó la mayor humedad relativa con 95 % en julio, mientras que la estación Von Humboldt presentó la menor humedad relativa en febrero y marzo con 71 %.

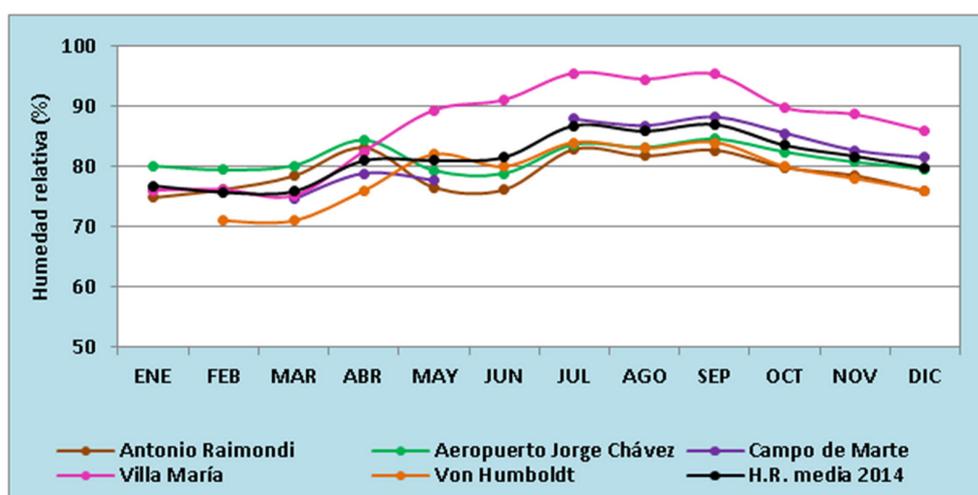


Figura 3. Variación del promedio mensual de la humedad relativa, 2014

4.4 Precipitación

La **Figura 4**, muestra las variaciones mensuales de precipitación en las estaciones meteorológicas del Aeropuerto Jorge Chávez (Callao), Campo de Marte (Jesús María) y Alexander Von Humboldt (La Molina). Las mayores precipitaciones se produjeron durante el periodo de junio a septiembre, con valores que alcanzaron 5.1 mm/mes (setiembre en la Estación Alexander Von Humboldt); mientras que en abril y diciembre se presentaron aportes mínimos o escasa precipitación (0.5 mm/mes). La estación de Campo de Marte presentó mayor precipitación en julio con 2.7 mm/mes y mínima en marzo con 0.2 mm/mes. El Aeropuerto Jorge Chávez presentó mayor precipitación en el mes de enero con 1 mm/mes y 0.4 mm/día en junio y julio de 2014.

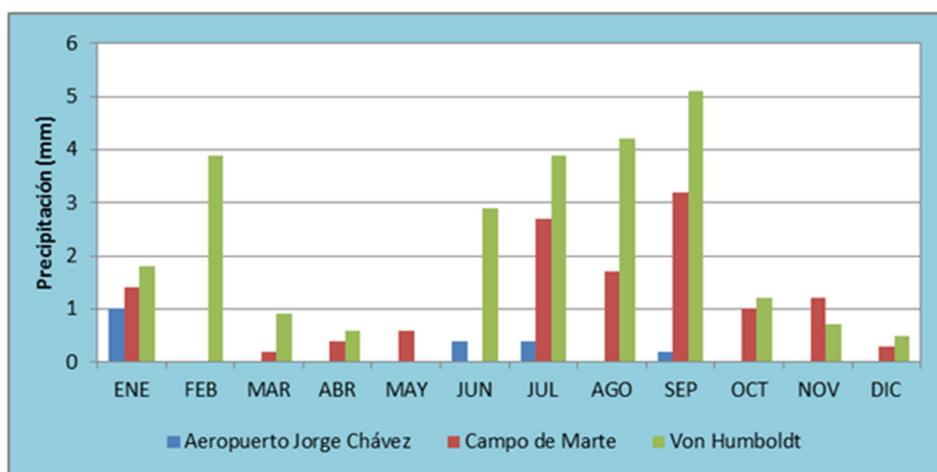


Figura 4. Evolución mensual del comportamiento de la precipitación, 2014

4.5 Vientos

Las variaciones mensuales de la velocidad del viento fueron registradas en cinco estaciones meteorológicas (Antonio Raimondi, Aeropuerto Jorge Chávez, Villa María del Triunfo, Campo de Marte y Alexander Von Humboldt). Se observó que los vientos en el aeropuerto fueron mayores que en las demás estaciones con una fluctuación entre 2.4 m/s a 2.7 m/s, mientras que la estación de Campo de Marte registró velocidades entre 1.2 m/s y 1.6 m/s.

El valor mínimo de la velocidad promedio del viento fue de 1.1 m/s en julio en la estación de Villa María del Triunfo y el máximo fue de 4.4 m/s en diciembre en la estación meteorológica del Aeropuerto Jorge Chávez (Figura 5).

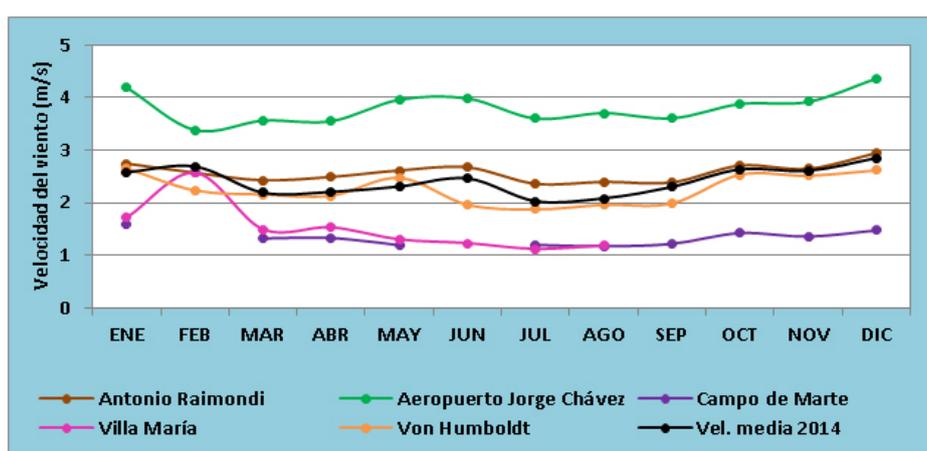


Figura 5. Evolución mensual del comportamiento de la velocidad del viento, 2014

5. CALIDAD DEL AIRE EN LIMA METROPOLITANA, 2014

5.1 Material particulado (PM₁₀)

5.1.1 Evolución horaria del PM₁₀ en los días de la semana en la zona norte

En la **Figura 6**, se muestra la evolución horaria de las concentraciones de PM₁₀ en los días de la semana del 2014 registrada en las estaciones ubicadas en la zona norte de Lima: San Martín de Porres, Carabayllo y Puente Piedra.

Puente Piedra y Carabayllo presentaron las mayores concentraciones de material particulado menor de 10 micrómetros, en tanto que San Martín de Porres tuvo las concentraciones más bajas de la zona norte.

En horas de la madrugada (de 00:00 a 5:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron 117.7 µg/m³, 88.1 µg/m³ y 52.8 µg/m³ en Puente Piedra, Carabayllo y San Martín de Porres, respectivamente. En la madrugada, cuando la atmósfera es estable y los vientos débiles, las partículas se mantienen en suspensión y el aumento progresivo de la humedad relativa hasta aproximadamente las 5:00 horas ayuda a la disminución de las concentraciones de las partículas. Pasada esa hora, la disminución de la humedad relativa, el incremento de la temperatura y el aumento de la actividad vehicular favorecen que las partículas en suspensión aumenten.

En horas de la mañana (de 6:00 a 12:00 horas), la concentración máxima registrada en Puente Piedra fue de 123.4 µg/m³, en Carabayllo fue de 107.1 µg/m³ y de 67.9 µg/m³ en San Martín de Porres.

En horas de la tarde (de 13:00 a 18:00 horas), las concentraciones máximas registradas en Puente Piedra, Carabayllo y San Martín de Porres fueron de 157 µg/m³, 106.7 µg/m³ y 60.3 µg/m³, respectivamente.

En horas de la noche (de 19:00 a 23:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron $154.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $91.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $60.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Puente Piedra, Carabayllo y San Martín de Porres, respectivamente.

Las concentraciones máximas de PM_{10} estarían asociadas a las horas de congestión vehicular alta, debido al traslado de la población a sus centros de labores o de estudios. Lo mismo estaría ocurriendo en las tardes (traslados por cambio de turnos u horario de almuerzo) y en las noches, por el retorno de la población a sus hogares. En la madrugada, cuando la atmósfera es estable con vientos de calma a muy débiles, se propiciaría la suspensión de partículas en el aire.

Comparando el comportamiento diario de las 3 estaciones también se puede apreciar que en las estaciones de Carabayllo y San Martín la concentración del PM_{10} aumenta aproximadamente a las 10:00 y a las 20:00 horas, mientras que en la estación de Puente Piedra solo hay un aumento considerable a las 18:00 horas, cuando entonces disminuye hasta las primeras horas del día siguiente, debido a la influencia de las características geográficas y al movimiento de masas de aire en los alrededores de la estación.

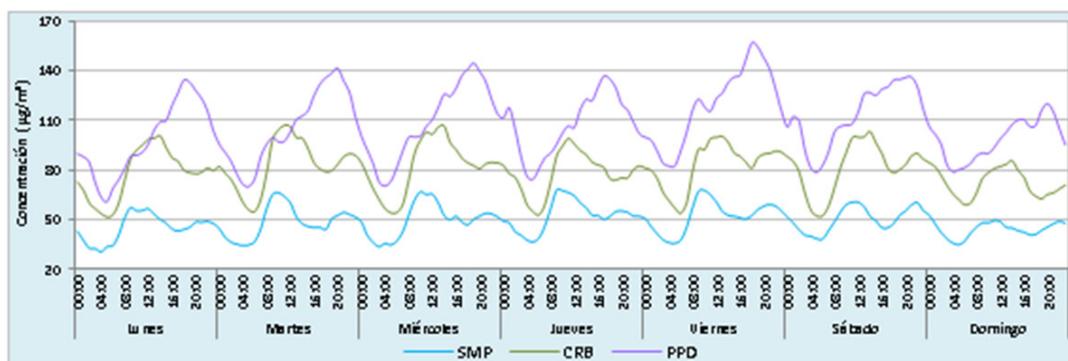


Figura 6. Evolución horaria del PM_{10} en la zona norte

5.1.2 Evolución horaria del PM₁₀ en los días de la semana en la zona sur y centro

En la **Figura 7**, se muestra la evolución horaria de las concentraciones de PM₁₀ en los días de la semana del año 2014 registrada en las estaciones de Villa María del Triunfo y San Borja. En este grafico se consideró también a la estación de Jesús María (zona centro).

En la madrugada (de 00:00 a 5:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron 101 µg/m³ y 61.4 µg/m³ en Villa María del Triunfo y San Borja, respectivamente.

En horas de la mañana (de 6:00 a 12:00 horas), la concentración máxima registrada en Villa María del Triunfo fue de 130.9 µg/m³ y de 75.9 µg/m³ en San Borja.

En horas de la tarde (de 13:00 a 18:00 horas), las concentraciones máximas registradas en Villa María del Triunfo y San Borja fueron de 123.9 µg/m³ y 61.9 µg/m³, respectivamente.

En horas de la noche (de 19:00 a 23:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron 116.5 µg/m³ y 72.6 µg/m³ en Villa María del Triunfo y San Borja, respectivamente.

En Jesús María, se presentaron, en la madrugada, concentraciones máximas de 48 µg/m³ en la mañana de 66.9 µg/m³, por la tarde de 53.7 µg/m³ y en la noche de 56.9 µg/m³.

Las tres estaciones muestran una tendencia similar con respecto a la presencia de contaminantes particulados durante el día; aumentan en las primeras

horas del día a consecuencia de la disminución de la velocidad del viento y la humedad relativa, y el aumento de la temperatura y de la actividad vehicular. Al finalizar el periodo de máximas temperaturas (16:00 horas), el incremento de la velocidad del viento y la humedad relativa propician la disminución de los contaminantes, para luego aumentar nuevamente con la actividad vehicular hasta las últimas horas del día.

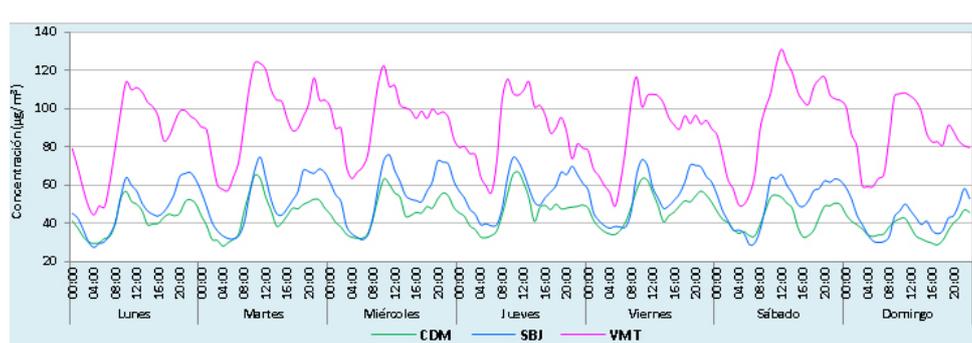


Figura 7. Evolución horaria del PM₁₀ en la zona sur y centro

5.1.3 Evolución horaria del PM₁₀ en los días de la semana en la zona este

En la **Figura 8**, se muestra la evolución horaria de las concentraciones de PM₁₀ en los días de la semana del 2014 registrada en las estaciones ubicadas en la zona este de Lima: Ate, Santa Anita, Huachipa y San Juan de Lurigancho.

Ate y Huachipa presentaron las mayores concentraciones de material particulado menor de 10 micrómetros, en tanto que San Juan de Lurigancho y Santa Anita, las más bajas de la zona este.

En horas de la madrugada (de 00:00 a 05:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron 125.8 µg/m³, 100.1 µg/m³, 90.6 µg/m³ y 78.7 en Ate, Huachipa, San Juan de Lurigancho y Santa Anita, respectivamente.

En horas de la mañana (de 6:00 a 12:00 horas), la concentración máxima registrada en Ate fue de 161.9 µg/m³, en Huachipa fue de 136.3 µg/m³, de 113.4 µg/m³ en San Juan de Lurigancho y de 108 µg/m³ en Santa Anita.

En horas de la tarde (de 13:00 a 18:00 horas), las concentraciones máximas registradas en Ate, Huachipa, San Juan de Lurigancho y Santa Anita fueron de 124.8 µg/m³, 120.5 µg/m³, 114.2 µg/m³ y 87.3 µg/m³, respectivamente.

En horas de la noche (de 19:00 a 23:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron 137 µg/m³, 120.9 µg/m³, 112.5 µg/m³ y 93.4 µg/m³ en Ate, Huachipa, San Juan de Lurigancho y Santa Anita, respectivamente.

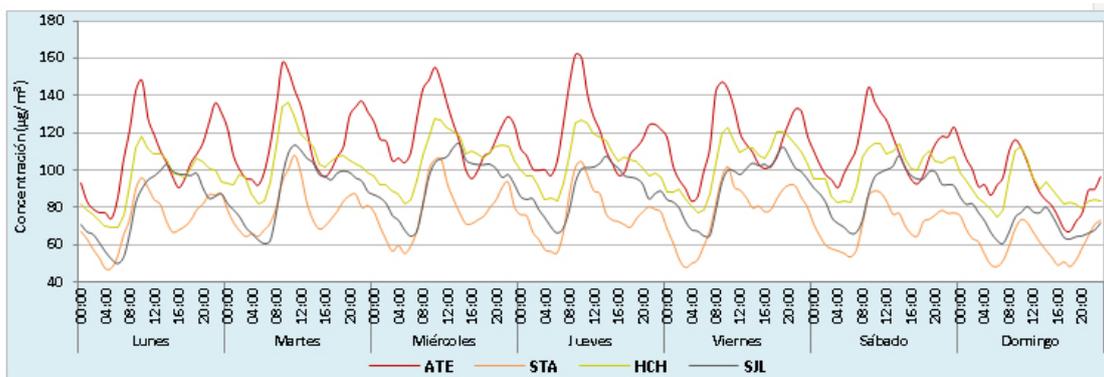


Figura 8. Evolución horaria del PM₁₀ en la zona este

5.1.4 Evolución diaria del PM₁₀ en los días de la semana

La **Figura 9** muestra la evolución diaria de las concentraciones de PM₁₀ en los días de la semana. En todas las estaciones se observa que los lunes las concentraciones son bajas y tienden a incrementarse en los siguientes días; se mantienen casi constante de martes a sábado y disminuyen al finalizar la semana (domingo), lo cual estaría asociado a la reducción de la actividad vehicular en Lima.

Asimismo, hay tres agrupaciones de concentraciones de PM₁₀; en el primer grupo se encuentran las estaciones de Ate, Puente Piedra y Huachipa con

concentraciones de PM_{10} en el rango de $89.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $120.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El segundo grupo incluye a las estaciones de Villa María y San Juan de Lurigancho, Carabaylo y Santa Anita, cuyas concentraciones fluctúan entre los $60.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $94.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el tercer grupo están las estaciones de San Borja, San Martín de Porres y Jesús María, cuyas concentraciones varían entre $37.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $55.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los rangos de concentraciones estarían influenciados por la dinámica de las actividades de la población, el alto flujo vehicular y la dirección de vientos dominantes hacia el norte y este de la ciudad y la distribución de áreas verdes; generalmente, los días martes y miércoles tuvieron mayores concentraciones de PM_{10} .

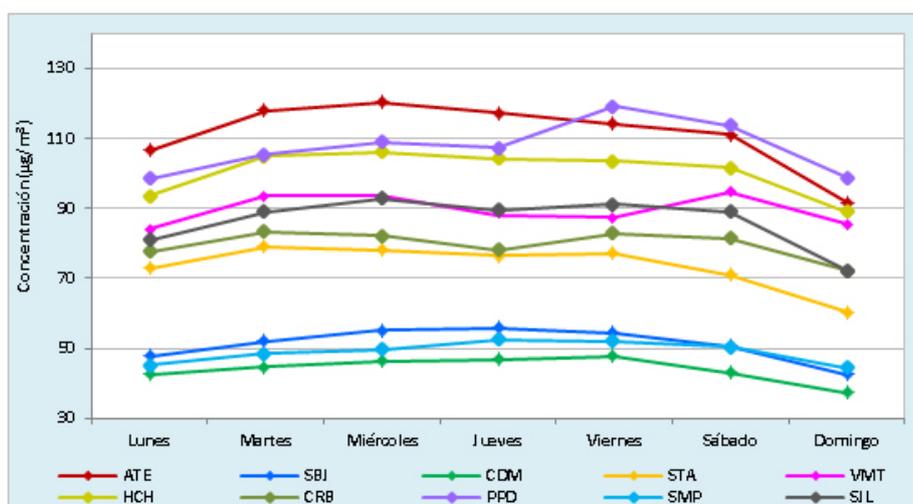


Figura 9. Evolución diaria del PM_{10} en los días de la semana, 2014

5.1.5 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Ate

En la **Figura 10**, se observa la evolución de las concentraciones diarias del PM₁₀ registradas en la estación de Ate en el 2014; se aprecia claramente que durante varios días se ha sobrepasado el Estándar de Calidad Ambiental para Aire (ECA), que es de 150 µg/m³ para el periodo de 24 horas, cuando la norma señala que no se debe exceder dicho valor más de tres veces al año.

El comportamiento del material particulado menor de 10 µm en Ate tiende a ser variable en su distribución temporal; sin embargo, se identificó que cuando disminuye la altura de la capa de mezcla (ver ítem 4.1) en verano y otoño las concentraciones de PM₁₀ son más elevadas, pues estas quedan aprisionadas y no se genera una buena dispersión del contaminante.

Al comienzo del año se aprecia un valor de hasta 211.6 µg/m³, debido a la contaminación causada por la utilización de juegos pirotécnicos y quema de muñecos en las celebraciones de fin de año, sin embargo la mayor concentración ocurrió el 1 de abril, con 246.2 µg/m³.

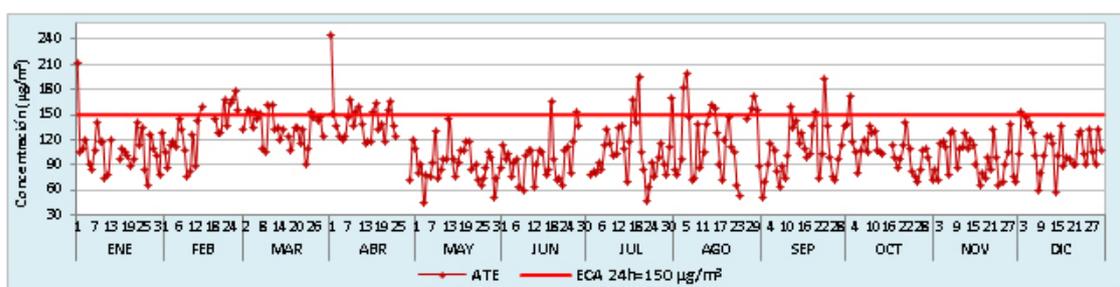


Figura 10. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Ate, 2014

5.1.6 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de San Borja

El muestreador de PM₁₀ en la estación de San Borja tuvo averías técnicas, por lo que la serie de tiempo se encuentra segmentada en varios periodos del 2014. No obstante, las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ (**Figura 11**) no superaron el ECA.

Las concentraciones promedio más altas se registraron en los meses de invierno, específicamente el 24 de julio cuando alcanzó 133.7 µg/m³ y el 5 de agosto con 122.2 µg/m³.

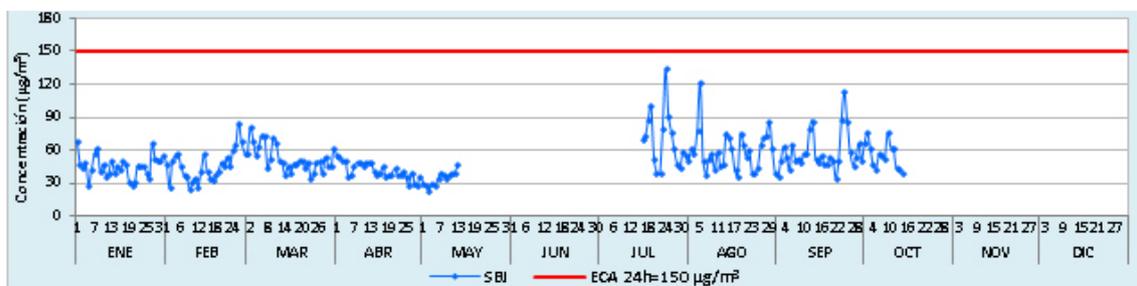


Figura 11. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de San Borja, 2014

5.1.7 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Jesús María

En la **Figura 12**, se aprecia la evolución de las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ registrada en la estación de Jesús María. Se observa que no se superó el valor del ECA en ningún día, por lo que la calidad del aire en la zona de influencia de la estación no se encuentra alterada de manera significativa por la presencia de este contaminante.

La concentración promedio más alta se presentó el 27 de junio y el 24 de julio con 133.1 µg/m³ y 125.2 µg/m³, respectivamente.

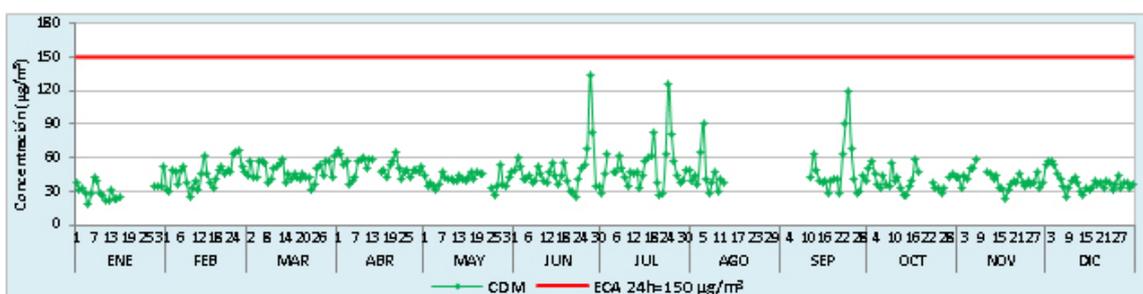


Figura 12. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Jesús María (Campo de Marte), 2014

5.1.8 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Santa Anita

La **Figura 13** muestra el comportamiento de las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ en la estación de Santa Anita, en donde solo en dos oportunidades se superó el ECA.

Las mayores concentraciones de PM₁₀ se registraron el 5 de agosto y el 1 de abril con 175.2 µg/m³ y 153.5 µg/m³, respectivamente.

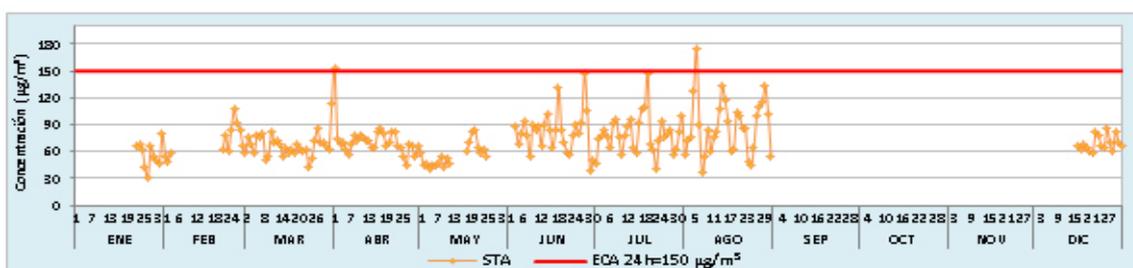


Figura 13. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Santa Anita, 2014

5.1.9 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Villa María del Triunfo

El muestreador de PM₁₀ en la estación de Villa María del Triunfo tuvo averías técnicas, por lo que la serie de tiempo se encuentra segmentada en varios periodos del 2014.

En la **Figura 14**, se observa que las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ de la estación Villa María del Triunfo sobrepasaron el ECA en marzo y abril y alcanzaron concentraciones de 246.4 µg/m³ y 200.7 µg/m³ el 2 de diciembre y el 1 de abril, respectivamente.

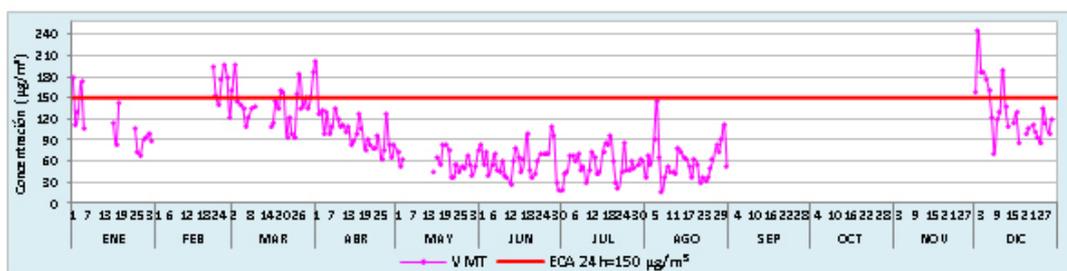


Figura 14. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Villa María del Triunfo, 2014

5.1.10 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Huachipa

En la **Figura 15**, se observa el comportamiento de las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ registradas en la estación de Huachipa a partir de abril, dado que en dicho mes inició su funcionamiento.

Las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ en la estación de Huachipa alcanzaron 265.2 µg/m³ y 197 µg/m³, el 1 de abril y el 5 de agosto respectivamente.

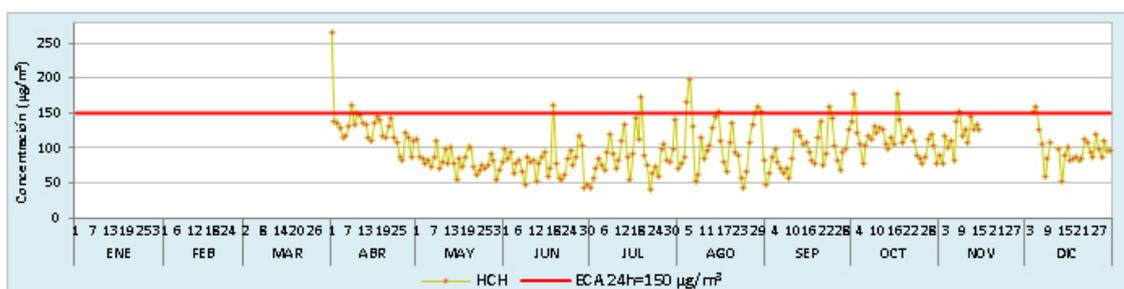


Figura 15. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Huachipa, 2014

5.1.11 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de San Juan de Lurigancho

La estación de San Juan de Lurigancho empezó a funcionar en abril de 2014; se observa que las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ registradas en la estación de San Juan de Lurigancho sobrepasaron el ECA en tres oportunidades a lo largo del año (Figura 16).

Las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ en la estación de San Juan de Lurigancho alcanzaron 174.4 µg/m³ y 154.5 µg/m³, el 5 de agosto y el 19 de julio respectivamente.

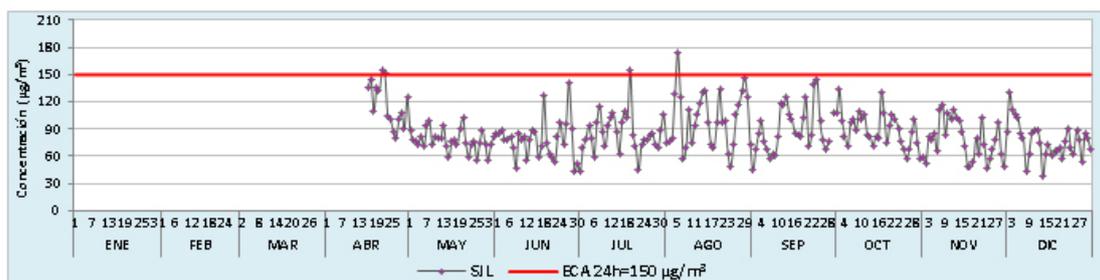


Figura 16. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de San Juan de Lurigancho, 2014

5.1.12 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de San Martín de Porres

En la **Figura 17**, se observa el comportamiento de las concentraciones promedio diarias de PM₁₀ registrado en la estación de San Martín de Porres a partir de abril de 2014, dado que empezó a funcionar en dicho mes.

Los valores registrados indican que no se superó el ECA en ninguna oportunidad a lo largo del año y se registraron concentraciones de hasta 123.7 µg/m³ y 119.6 µg/m³, el 27 de junio y el 24 de julio, respectivamente.

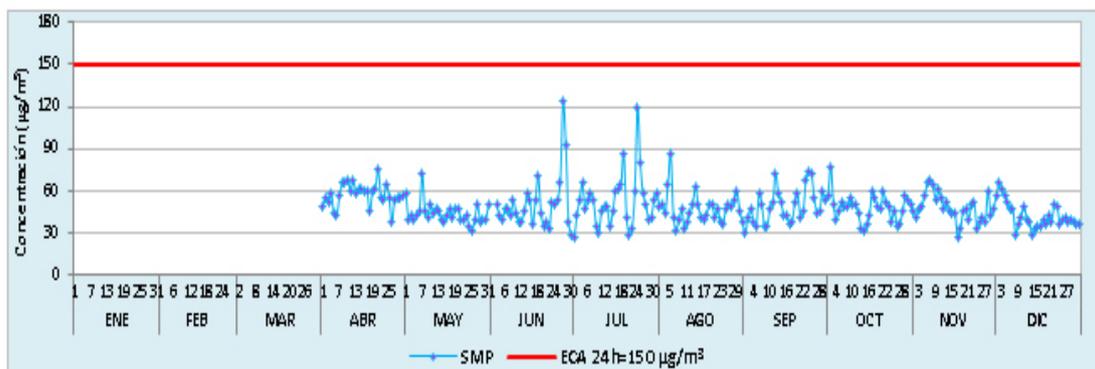


Figura 17. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de San Martín de Porres, 2014

5.1.13 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Carabayllo

Al igual que la estación de San Martín de Porres, esta también inició su funcionamiento en abril de 2014, por lo que en la **Figura 18** se presenta la evolución diaria del PM₁₀ registrada en la estación de Carabayllo a partir de dicho mes.

Las concentraciones diarias de PM₁₀ más elevadas que se registraron en Carabayllo fueron los días 1 y 17 de abril, con 184.4 µg/m³ y 150.5 µg/m³ respectivamente.

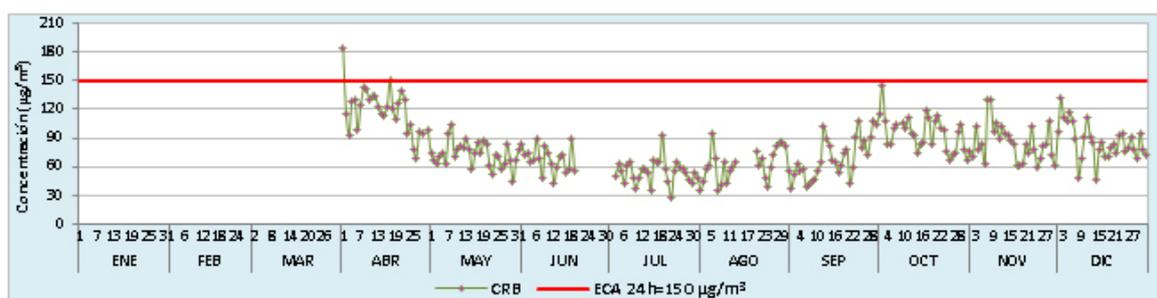


Figura 18. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Carabayllo, 2014

5.1.14 Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Puente Piedra

La estación de Puente Piedra inició su funcionamiento en abril de 2014, por lo que en la **Figura 19** se presenta la evolución diaria del PM₁₀ a partir de dicho mes.

Las concentraciones diarias de PM₁₀ sobrepasaron el ECA en varias oportunidades a lo largo del año, con concentraciones que alcanzaron 198.6 µg/m³ y 195.7 µg/m³ los días 13 de setiembre y 10 de diciembre, respectivamente.

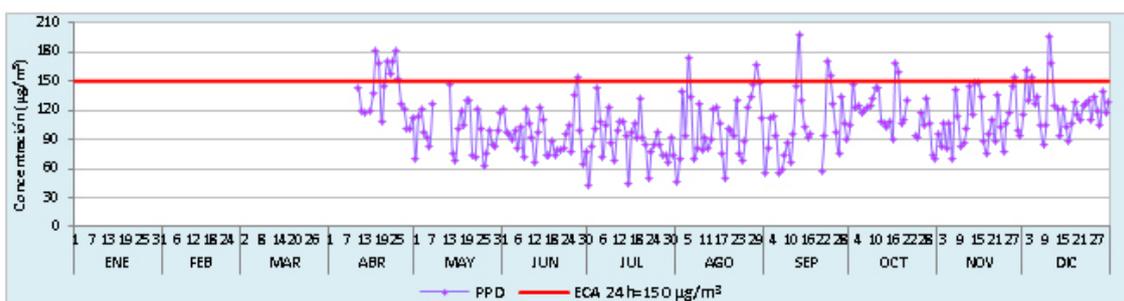


Figura 19. Evolución diaria del PM₁₀ en la estación de Puente Piedra, 2014

5.1.15 Días de superación del ECA de PM₁₀

La **Figura 20** presenta el número de días de superación del material particulado menor de 10 micrómetros (PM₁₀) desde 2010 hasta 2014. El distrito de Ate es la estación con mayor datos históricos, seguido por Santa Anita y Villa María del Triunfo, y se puede apreciar que todos los años sobrepasaron el ECA. Respecto a las estaciones de Huachipa, San Juan de Lurigancho, Carabayllo y Puente Piedra, estas iniciaron sus operaciones en 2014 y cuentan con superaciones significativas.

El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el Aire indica que la concentración promedio diaria del PM₁₀ no debe superar el ECA más de tres veces al año; sin embargo, en 2014, la estación de Ate registró el mayor número de días de superación del ECA con un total de 40 días al año, mientras que Villa María del Triunfo lo superó 23 días; Puente Piedra, 20 días; Huachipa, 16 días; San Juan de Lurigancho, 3 días, y Carabayllo y Santa Anita dos días al año. Si bien las superaciones del ECA en 2014 son considerables, estas representan disminuciones significativas respecto al año anterior en las estaciones de Santa Anita, Villa María del Triunfo y Ate, de 91 %, 29 % y 79 %, respectivamente.

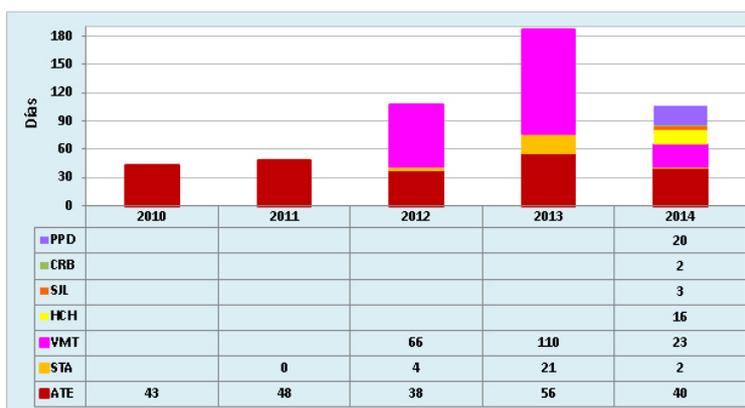


Figura 20. Superaciones del ECA de PM₁₀ 2010-2014

5.1.16 Estado de la calidad del aire con relación al PM₁₀ en la zona norte

Las tres estaciones de la zona norte: Puente Piedra, Carabayllo y San Martín de Porres iniciaron sus operaciones en abril de 2014, las dos primeras monitorearon 254 días y la última, 273 días.

La estación de Puente Piedra reportó 78 % de días moderados, 14 % fueron días buenos y 8 % días malos (20 días). La estación de Carabayllo presentó 48 % de días buenos, 52 % de moderados y 1 % de malos. La estación de San Martín de Porres presentó 97 % de días buenos y 3 % de moderados.

Dichos valores indican que el estado de la calidad del aire en la zona norte no fue óptimo en 2014, lo que puede afectar la salud de la población a mediano o largo plazo, especialmente a los que residen en Puente Piedra y Carabayllo (Figura 21).

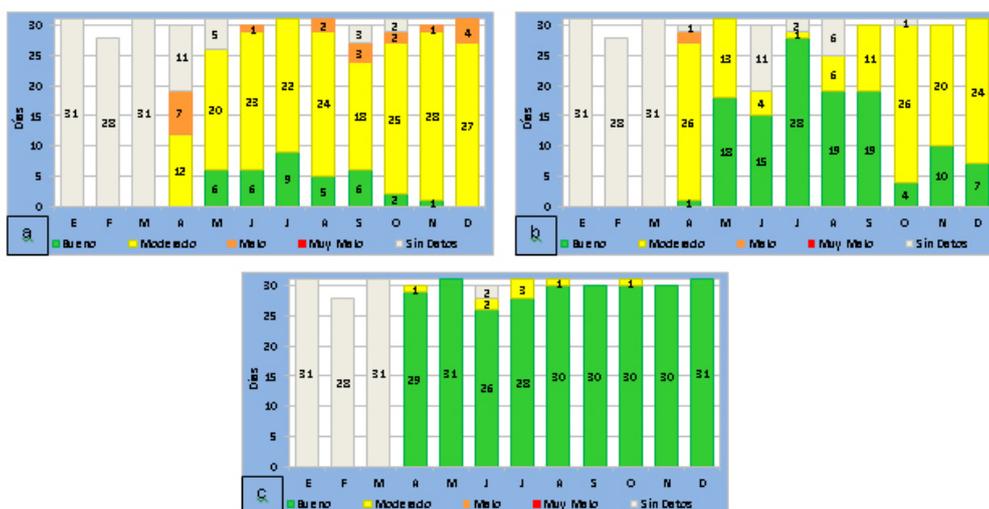


Figura 21. Estado de la calidad del aire con relación al PM₁₀ en la zona norte a) Puente Piedra, b) Carabayllo y c) San Martín de Porres

5.1.17 Estado de la calidad del aire con relación al PM_{10} en San Borja y Villa María del Triunfo.

La estación de San Borja monitoreó 208 días en 2014 y reportó mayormente días buenos y algunos moderados, principalmente en los meses de agosto y setiembre. El 93 % representaron días buenos y el 7 % días moderados.

La estación de Villa María del Triunfo monitoreó 216 días en 2014 y presentó mayormente días buenos y moderados, pero con varios días malos en la temporada de verano, lo que es un comportamiento característico desde años anteriores. El 45 % fueron días buenos, 44 % fueron días moderados y 11 % fueron malos (23 días).

Los valores registrados indican que el estado de la calidad del aire en San Borja es bueno; sin embargo, en Villa María del Triunfo el estado de la calidad del aire presentó días malos, lo que podría afectar la salud de la población (**Figura 22**).

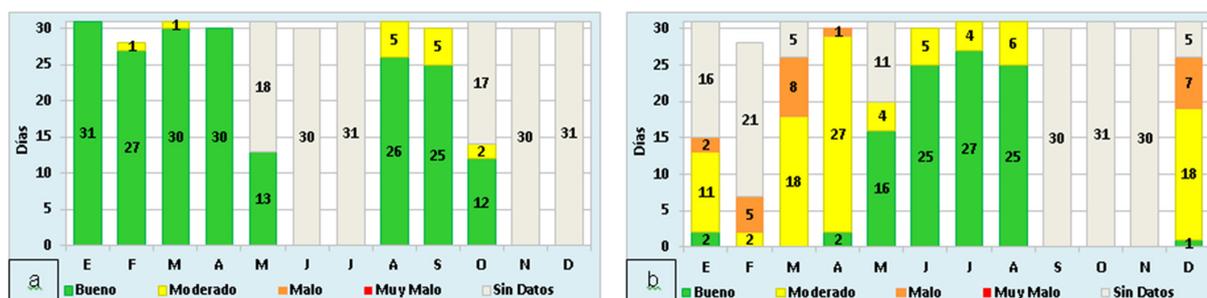


Figura 22. Estado de la calidad del aire con relación al PM_{10} en a) San Borja y b) Villa María del Triunfo

5.1.18 Estado de la calidad del aire con relación al PM₁₀ en Jesús María

La estación de Jesús María (Campo de Marte) monitoreó 312 días en 2014 y registró días buenos y moderados, con un porcentaje de 97 % y 3 %, respectivamente.

Jesús María se caracteriza por ser un distrito principalmente de zonas residenciales con algunas zonas comerciales y viviendas que tienen áreas verdes; generalmente, circulan vehículos livianos, en su mayoría de uso particular. En suma, el estado de la calidad del aire en Jesús María es bueno (**Figura 23**).

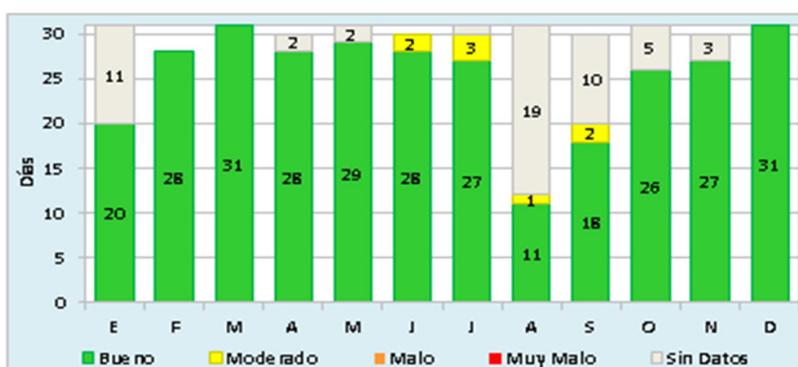


Figura 23. Estado de la calidad del aire con relación al PM₁₀ en Jesús María

5.1.19 Estado de la calidad del aire con relación al PM_{10} en la zona este

En la estación de Ate se monitorearon 320 días en 2014, de los cuales 76 % fueron días moderados y 12 % fueron días buenos y malos (40 días).

Los días malos nos indican que se sobrepasó el ECA, que según la norma (DS 074-2001) no debe superarse más de tres días durante un año; en este sentido, la población de esta zona estaría afectada por este contaminante en el mediano o largo plazo.

En la estación de Santa Anita se observa principalmente días buenos y moderados, con solo 2 días malos (superación del ECA); en total, durante el año se monitorearon 157 días; el 57 % de días fueron buenos, 42 % moderados y 1 % malos. Entonces, se puede afirmar que la zona cumple con el ECA de este contaminante.

La estación de Huachipa inició sus operaciones en abril de 2014 por lo que monitoreó 255 días en 2014. Registró 74 % de días moderados; 51 % de días buenos, 5.5 % de días malos (15 días) y 0.5 % de días muy malos. En total, se superó el ECA 16 días, por lo que no cumplió con la norma ECA de este contaminante, lo que puede afectar a la población a mediano o largo plazo.

La estación de San Juan de Lurigancho también inició sus operaciones en abril de 2014 monitoreó 260 días y registró principalmente días buenos y moderados; 65 % fueron días moderados, 34 % fueron días buenos y 1 % malos (3 días). Se puede afirmar que esta zona cumplió con la norma ECA de este contaminante, aunque la calidad del aire no fue óptima, ya que registró menores días buenos. (Figura 24)

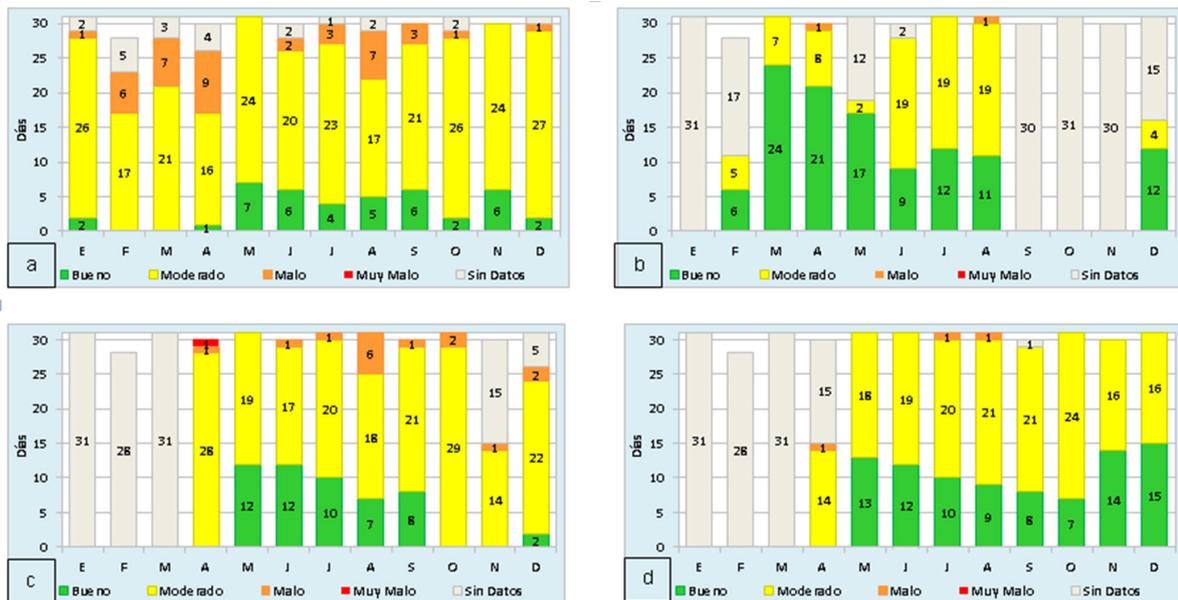


Figura 24. Estado de la calidad del aire con relación al PM₁₀ en la zona este
a) Ate b) Santa Anita c) Huachipa y d) San Juan de Lurigancho

5.2 Material particulado (PM_{2.5})

5.2.1 Evolución horaria del PM₁₀ en los días de la semana en la zona norte

En la **Figura 25**, se muestra la evolución horaria de las concentraciones de PM_{2.5} en los días de la semana del año 2014 registrada en las estaciones ubicadas en la zona norte de Lima: San Martín de Porres, Carabayllo y Puente Piedra.

Puente Piedra y Carabayllo presentaron las mayores concentraciones de material particulado menor de 2.5 micrómetros, en tanto que San Martín de Porres reportó las más bajas de la zona norte.

En horas de la madrugada (de 00:00 a 05:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron 39.5 µg/m³, 38.1 µg/m³ y 20.1 µg/m³ en Puente Piedra, Carabayllo y San Martín de Porres, respectivamente.

En horas de la mañana (de 6:00 a 12:00 horas), la concentración máxima registrada en Carabayllo fue de 47.3 µg/m³, en Puente Piedra fue de 43.4 µg/m³ y de 27.1 µg/m³ en San Martín de Porres.

En horas de la tarde (de 13:00 a 18:00 horas), las concentraciones máximas registradas en Carabayllo, Puente Piedra y San Martín de Porres fueron de 42.3 µg/m³, 40.2 µg/m³ y 20.3 µg/m³, respectivamente.

En horas de la noche (de 19:00 a 23:00 horas), las concentraciones máximas llegaron a 39.9 µg/m³, 36 µg/m³ y 23 µg/m³ en Puente Piedra, Carabayllo y San Martín de Porres, respectivamente.

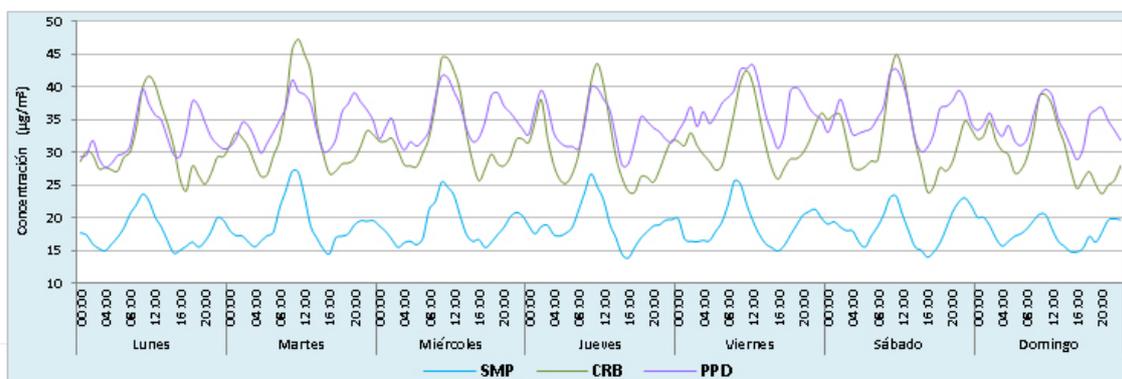


Figura 25. Evolución horaria del $PM_{2.5}$ en los días de la semana en la zona norte

5.2.2 Evolución horaria del $PM_{2.5}$ en los días de la semana Villa María del Triunfo, Campo de Marte y San Borja

En la **Figura 26**, se muestra la evolución horaria de las concentraciones de PM_{10} en los días de la semana del año 2014 registrada en las estaciones ubicadas en la zona sur de Lima: Villa María del Triunfo. En este gráfico se consideraron también las estaciones de Jesús María y San Borja (zona centro).

En la madrugada (de 00:00 a 05:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $23.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Villa María del Triunfo y San Borja respectivamente.

En horas de la mañana (de 6:00 a 12:00 horas), la concentración máxima registrada en Villa María del Triunfo fue de $28.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $27.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en San Borja.

En horas de la tarde (de 13:00 a 18:00 horas), las concentraciones máximas registradas en Villa María del Triunfo y San Borja fueron de 39.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 23.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

En horas de la noche (de 19:00 a 23:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron 46.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 24.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Villa María del Triunfo y San Borja, respectivamente.

En Jesús María se presentaron concentraciones máximas en la madrugada de 23.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en la mañana de 25.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por la tarde de 23.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en la noche de 25.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

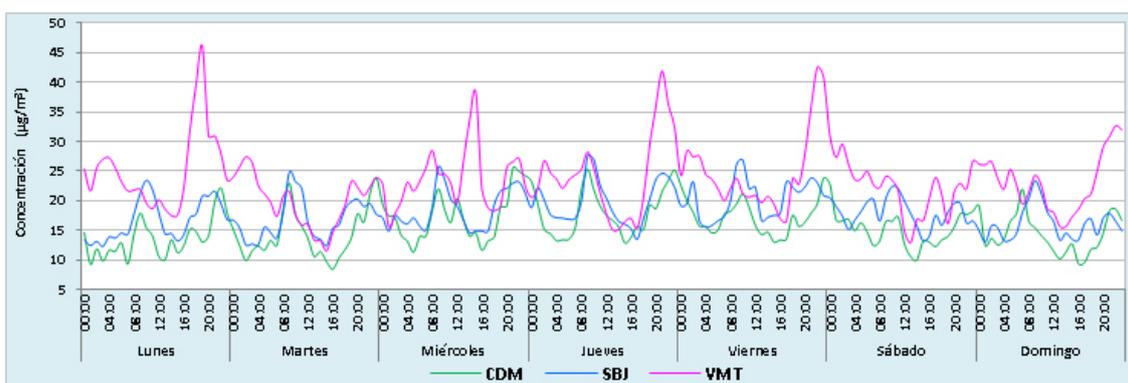


Figura 26. Evolución horaria del $\text{PM}_{2.5}$ en los días de la semana en Jesús María, San Borja y Villa María del Triunfo

5.2.3 Evolución horaria del $PM_{2.5}$ en los días de la semana en la zona este

En la **Figura 27**, se muestra la evolución horaria de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en los días de la semana del año 2014 registrada en las estaciones ubicadas en la zona este de Lima: Ate, Santa Anita, Huachipa y San Juan de Lurigancho.

Ate, Huachipa y San Juan de Lurigancho presentaron las mayores concentraciones de material particulado menor de 10 micrómetros, en tanto que Santa Anita, las más bajas de la zona este.

En la madrugada (de 00:00 a 5:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron $51.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $41.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $22.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Ate, Huachipa, San Juan de Lurigancho y Santa Anita, respectivamente.

En la mañana (de 6:00 a 12:00 horas), la concentración máxima registrada en Ate fue de $76.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en Huachipa fue de $58.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de $47.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en San Juan de Lurigancho y de $42.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Santa Anita.

En la tarde (de 13:00 a 18:00 horas) las concentraciones máximas registradas en Huachipa, Ate, San Juan de Lurigancho y Santa Anita fueron de $45.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $46.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $41.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $25.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

En la noche (de 19:00 a 23:00 horas), las concentraciones máximas alcanzaron $50.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $37.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $36.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y 30.4 en Ate, Huachipa, San Juan de Lurigancho y Santa Anita, respectivamente.

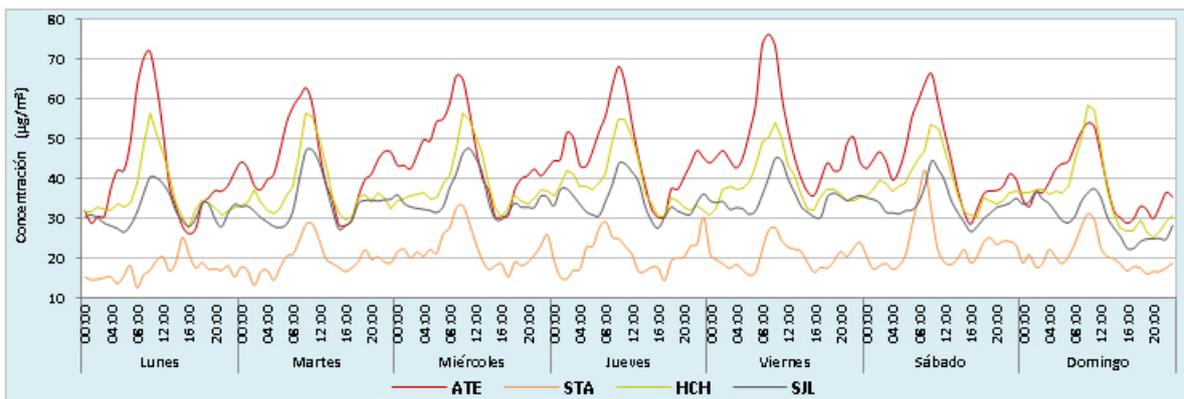


Figura 27. Evolución horaria del PM_{2.5} en los días de la semana, 2014

5.2.4 Evolución diaria del PM_{2.5} en los días de la semana

La **Figura 28** muestra el promedio de las concentraciones de PM_{2.5} por días de la semana. De manera similar a lo que ocurre con el PM₁₀ las concentraciones son bajas los lunes, se incrementan en los días siguientes, se mantienen casi constantes entre martes y viernes, y luego la concentración disminuye al finalizar la semana. La única estación que no muestra esta tendencia es Villa María del Triunfo, donde la concentración de los lunes es más alta que el resto de días de la semana, lo cual estaría asociado a las actividades socioeconómicas que se realizan en ese lugar.

Ate destaca en la figura, porque las concentraciones de PM_{2.5} están muy por encima del resto de las estaciones con valores más altos los días viernes, que llegan a 49.4 µg/m³.

Se aprecian dos agrupaciones de estaciones por concentraciones de $PM_{2.5}$; el primer grupo comprende a Huachipa, Puente Piedra, Carabayllo y San Juan de Lurigancho con concentraciones que fluctúan entre $29.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $39.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el segundo grupo están Villa María del Triunfo, Santa Anita, San Martín de Porres, San Borja y Jesús María con concentraciones que fluctúan entre $13.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $25.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los días jueves y viernes son los que presentan mayores concentraciones de $PM_{2.5}$

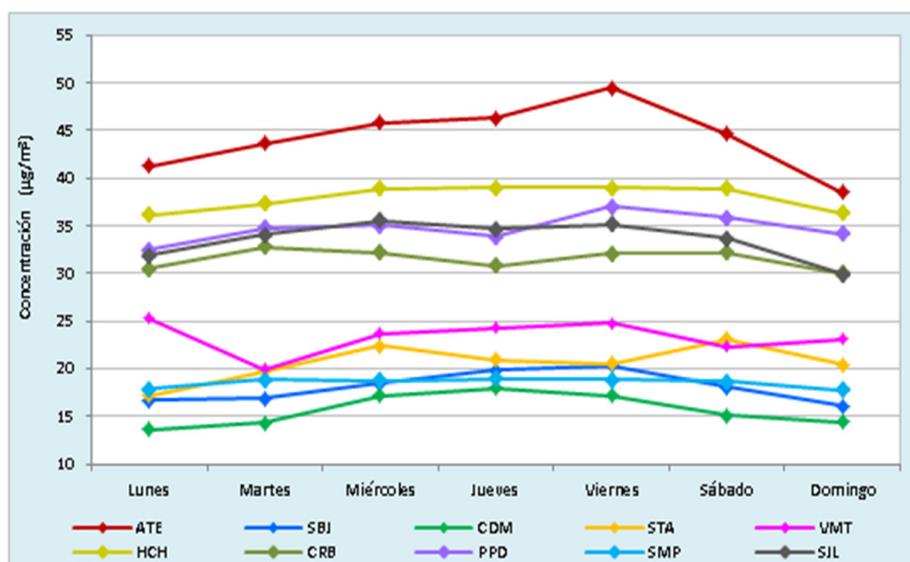


Figura 28. Evolución diaria de $PM_{2.5}$ en los días de la semana, 2014

5.2.5 Evolución diaria del PM_{2.5} en la estación de Ate

En el último trimestre de 2014 recién se instaló el monitor de material particulado menor de 2.5 micrómetros en las estaciones de Ate, San Borja, Campo de Marte, Santa Anita y Villa María del Triunfo, por lo que se tiene datos a partir de dicho periodo.

La **Figura 29** muestra las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} registradas en la estación de Ate durante el 2014. Se observan concentraciones altas durante el tiempo de monitoreo, pues se sobrepasó el nivel del ECA de calidad de aire (25 µg/m³ para el periodo de 24 horas); dichas concentraciones disminuyeron en el mes de diciembre, pero aun así sobrepasaron el estándar.

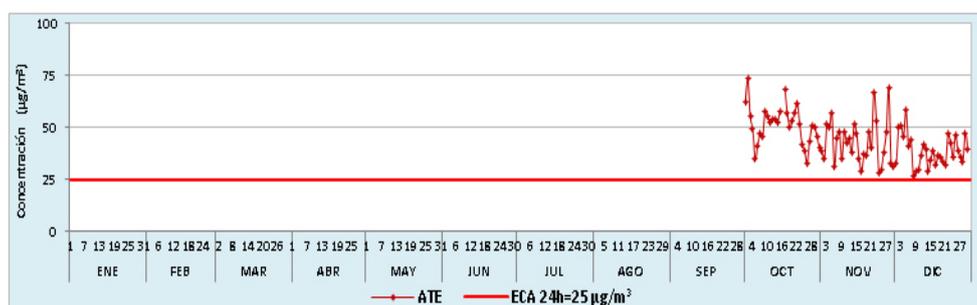


Figura 29. Concentración diaria del PM_{2.5} en la estación de Ate, 2014

5.2.6 Evolución diaria del PM_{2.5} en la estación de San Borja

Las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} registradas por la estación de San Borja sobrepasaron el ECA en nueve oportunidades a lo largo del periodo de monitoreo (Figura 30).

Al igual que en la estación de Ate, las concentraciones disminuyeron durante el último mes por debajo del límite del ECA.



Figura 30. Concentración diaria del PM_{2.5} en la estación de San Borja, 2014

5.2.7 Evolución diaria del PM_{2.5} en la estación de Jesús María

Las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} solo superaron el ECA en una oportunidad a lo largo de los meses monitoreados en la estación de Jesús María (Figura 31).



Figura 31. Concentración diaria del PM_{2.5} en la estación de Jesús María (Campo de Marte), 2014

5.2.8 Evolución diaria del PM_{2.5} en la estación de Santa Anita

En la **Figura 32**, se observa el comportamiento de las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} registrado por la estación Santa Anita en el año 2014. Se aprecia que las concentraciones sobrepasaron el ECA en cinco oportunidades durante la primera quincena de diciembre y que las concentraciones disminuyeron a medida que finalizaba el año.

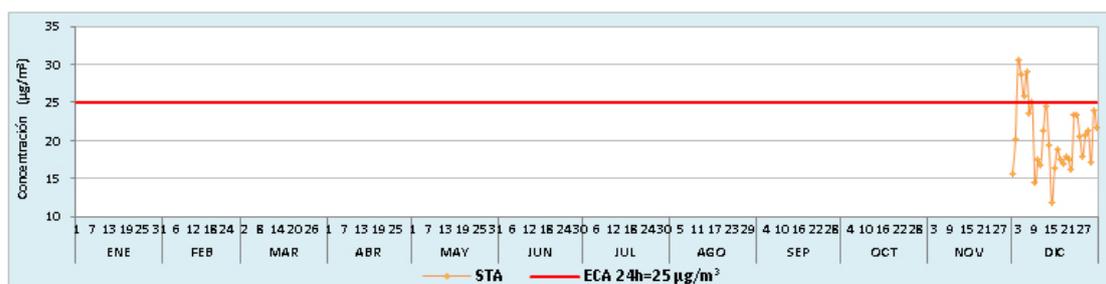


Figura 32. Concentración diaria del PM_{2.5} en la estación de Santa Anita, 2014

5.2.9 Evolución diaria del PM_{2.5} en la estación de Villa María del Triunfo

En la **Figura 33**, se observa el comportamiento de las concentraciones de los valores promedio diarios de PM_{2.5} registrados por la estación de Villa María del Triunfo. Se aprecia que se sobrepasó el nivel del ECA de forma recurrente durante la primera quincena de diciembre y luego hubo una disminución gradual de la concentración hasta fin de año.



Figura 33. Concentración diaria del PM_{2.5} en la estación de Villa María del Triunfo, 2014

5.2.10 Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de Huachipa

En abril de 2014, se instaló el monitor del material particulado menor de 2.5 micrómetros en las estaciones de Huachipa, San Juan de Lurigancho, Puente Piedra, Carabayllo y San Martín de Porres, por lo que se muestran los datos a partir de dicho periodo.

Las concentraciones promedio diarias de $PM_{2.5}$ registradas en la estación de Huachipa (**Figura 34**) superaron el ECA ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el periodo de 24 horas) casi todos los días durante el intervalo de tiempo monitoreado. Las concentraciones aumentaron desde los meses de otoño hasta invierno y disminuyeron gradualmente hasta finalizar el año.

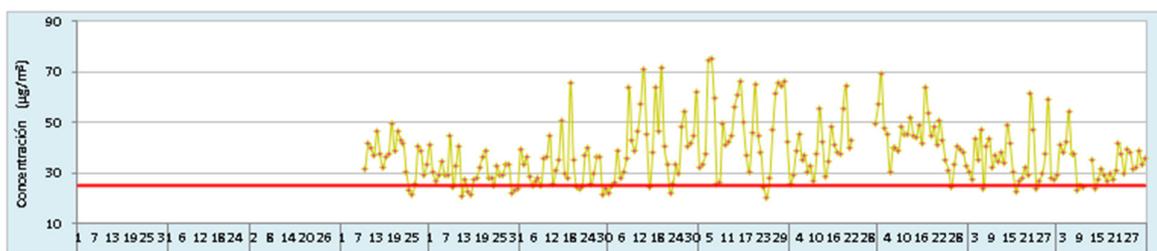


Figura 34. Concentración diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de Huachipa, 2014

5.2.11 Evolución diaria del PM_{2.5} en la estación de San Juan de Lurigancho

En la **Figura 35**, se observa el comportamiento de las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} registradas por la estación San Juan de Lurigancho.

Se aprecia que se sobrepasó el ECA casi todos los días del periodo que duró el monitoreo; las concentraciones aumentaron en los meses correspondientes a las estaciones de otoño e invierno y disminuyeron progresivamente en la estación de primavera.

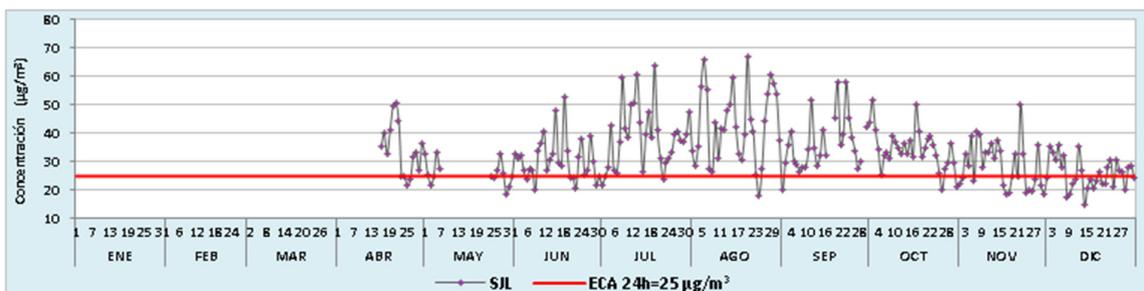


Figura 35. Concentración diaria del PM_{2.5} en la estación de San Juan de Lurigancho, 2014

5.2.12 Evolución diaria del $PM_{2.5}$ en la estación de San Martín de Porres

En la **Figura 36**, se observa el comportamiento de las concentraciones promedio diarias de $PM_{2.5}$ registradas por la estación de San Martín de Porres.

Se aprecia que se sobrepasó el nivel del ECA casi todos los días correspondientes a la estación de invierno y luego hay una disminución gradual de la frecuencia de superación a inicios de la primavera hasta finalizar el año.

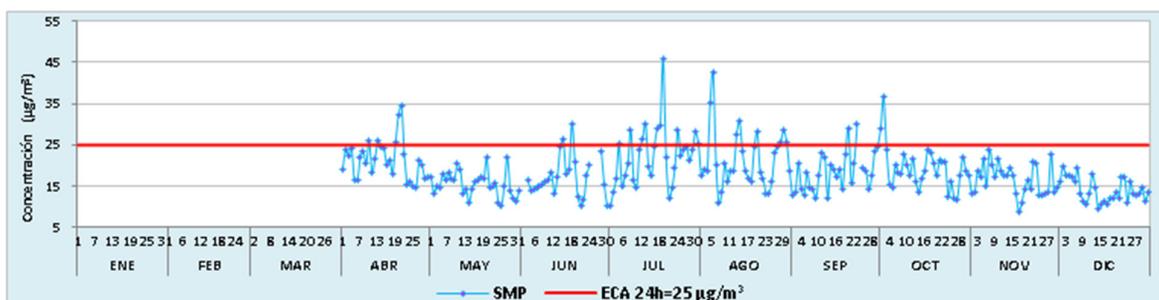


Figura 36. Concentración diaria del $PM_{2.5}$ en la estación San Martín de Porres, 2014

5.2.13 Evolución diaria del PM_{2.5} en la estación de Carabayllo

En la **Figura 37**, se observa el comportamiento de las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} registradas por la estación de Carabayllo.

Se aprecia que se sobrepasó el nivel del ECA casi todos los días evaluados; en las estaciones de otoño e invierno hubo mayor frecuencia y magnitud de las superaciones.

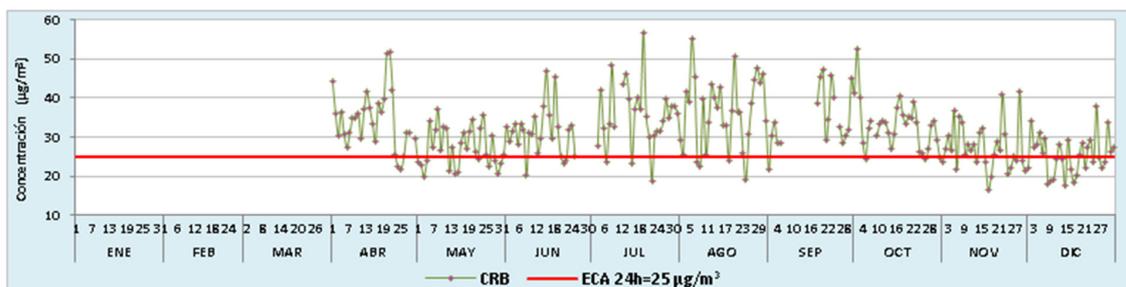


Figura 37. Concentración diaria del PM_{2.5} en la estación de Carabayllo, 2014

5.2.14 Evolución diaria del PM_{2.5} en la estación de Puente Piedra

En la **Figura 38**, se observa el comportamiento de las concentraciones promedio diarias de PM_{2.5} registrado por la estación de Puente Piedra.

Se aprecia que se sobrepasó el nivel del ECA casi todos los días evaluados; en las estaciones de otoño e invierno fueron más frecuentes y las magnitudes fueron mucho mayores que en todo el año.

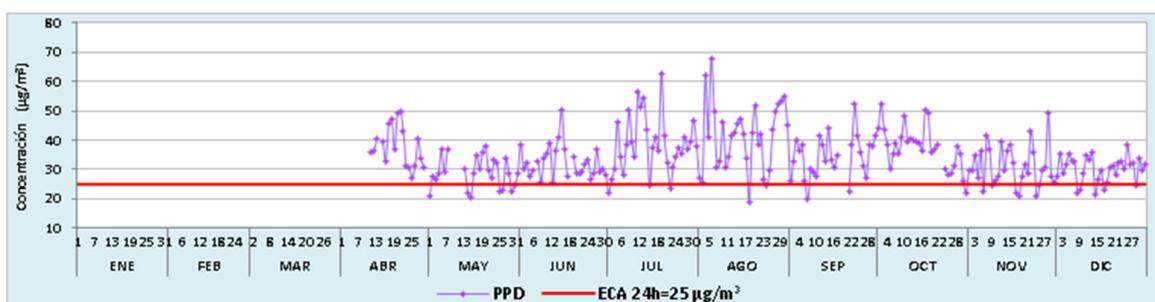


Figura 38. Concentración diaria del PM_{2.5} en la estación de Puente Piedra, 2014

5.2.15 Días de superación del ECA de $PM_{2.5}$

En la **Figura 39**, se presenta el número de días en los que el material particulado menor de 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) sobrepasó el ECA en 2014, pues recién en ese año se empezó a monitorear dicho contaminante.

De la figura se deduce una situación muy crítica para la ciudad de Lima y es alarmante específicamente para la zona norte y este de la ciudad. En la zona norte, los distritos de Puente Piedra, Carabayllo y San Martín excedieron significativamente los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que establece la norma, con 225, 197 y 29 días de superación, respectivamente.

La zona este, es decir los distritos de Huachipa, San Juan de Lurigancho, Ate y Santa Anita, sobrepasaron el ECA 230, 187, 90 y 5 días, respectivamente. Mientras que en la zona sur, Villa María del Triunfo y San Borja sobrepasaron el ECA 9 y 10 días, respectivamente, en tanto que la zona centro, Jesús María (Campo de Marte), superó el ECA 10 días.

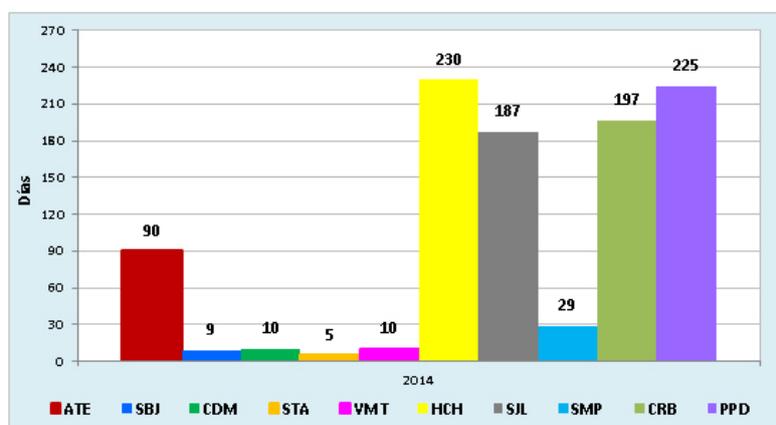


Figura 39. Superación del ECA de $PM_{2.5}$ 2014

6. RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LIMA METROPOLITANA



6.1 Información técnica

6.1.1 Estaciones de la zona norte

6.1.1.1 Estación de Puente Piedra

Coordenadas geográficas	Latitud: -11° 51' 47.71" S	Longitud: -77° 4' 26.88" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Calle 9 de Junio N° 100	
Localización de la toma de muestra	Cerca de la piscina municipal	
Altura de la toma de muestra	3 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM ₁₀	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
PM _{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO ₂	Teledyne 200T	Quimioluminiscencia
SO ₂	Teledyne 300T	Fluorescencia UV
O ₃	Teledyne 400T	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

6.1.1.2 Estación de Carabaylo

Coordenadas geográficas	Latitud: 11° 54' 7.9" S	Longitud: -77° 2' 1.1" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Av. Micaela Bastidas, cuadra 4	
Localización de la toma de muestra	Urb. Santa Isabel Cerca de la piscina municipal	
Altura de la toma de muestra	6 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM₁₀	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
PM_{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO₂	Teledyne 200T	Quimioluminiscencia
SO₂	Teledyne 300T	Fluorescencia UV
O₃	Teledyne 400T	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

6.1.1.3 Estación de San Martín de Porres

Coordenadas geográficas	Latitud: 12° 0' 32" S	Longitud: -77° 5' 4.1" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Calle Germán Stiglich, Urb. Antares, 2ª. Etapa	
Localización de la toma de muestra	Parque Ecológico	
Altura de la toma de muestra	6 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM₁₀	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
PM_{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO₂	Teledyne 200T	Quimioluminiscencia
SO₂	Teledyne 300T	Fluorescencia UV
O₃	Teledyne 400T	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

Estación de Villa María del Triunfo



6.1.2 Estaciones de la zona sur

6.1.2.1 Estación de Villa María del Triunfo

Coordenadas geográficas	Latitud: -12°9'59" S	Longitud: -76°55'12" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Av. 26 de Noviembre s/n Sector Nueva Esperanza	
Localización de la toma de muestra	Parque Virgen de Lourdes	
Altura de la toma de muestra	3 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM ₁₀	Thermo TEOM1405	Microbalanza oscilatoria
PM _{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO ₂	Thermo 43i	Fluorescencia UV
SO ₂	Teledyne 200E	Quimioluminiscencia
O ₃	Thermo 49i	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

Estación de Jesús María (Campo de Marte)



6.1.3 Estaciones de la zona centro

6.1.3.1 Estación de Jesús María (Campo de Marte)

Coordenadas geográficas	Latitud: 12° 4' 13.9" S	Longitud: -77° 2' 35.4" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Jr. Nazca s/n	
Localización de la toma de muestra	Parque Campo de Marte	
Altura de la toma de muestra	3 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM ₁₀	Thermo TEOM1405	Microbalanza oscilatoria
PM _{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO ₂	Teledyne 300E	Fluorescencia UV
SO ₂	Teledyne 200E	Quimioluminiscencia
O ₃	Teledyne 400E	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

Estación de San Borja



6.1.3.2 Estación de San Borja

Coordenadas geográficas	Latitud: 12° 6' 31.06" S	Longitud: 77° 0' 27.96" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Calle Ricardo Malachowski 550	
Localización de la toma de muestra	Polideportivo Limatambo	
Altura de la toma de muestra	3 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM ₁₀	Thermo TEOM1405	Microbalanza oscilatoria
PM _{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO ₂	Teledyne 300E	Fluorescencia UV
SO ₂	Teledyne 200E	Quimioluminiscencia
O ₃	Teledyne 400E	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

Estación de Ate



6.1.4 Estaciones de la zona este 6.1.4.1 Estación de Ate

Coordenadas geográficas	Latitud: 12° 1' 34" S	Longitud: 76° 55' 7" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Carretera Central, km. 7.5	
Localización de la toma de muestra	Plaza de Armas de Ate	
Altura de la toma de muestra	3 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM ₁₀	Thermo TEOM1405	Microbalanza oscilatoria
PM _{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO ₂	Teledyne 300E	Fluorescencia UV
SO ₂	Teledyne 200E	Quimioluminiscencia
O ₃	Teledyne 400E	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

Estación de Santa Anita



6.1.4.2 Estación de Santa Anita

Coordenadas geográficas	Latitud: 12° 2' 34.8" S	Longitud: 76° 58' 17.1" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Av. Los Eucaliptos, cuadra 12	
Localización de la toma de muestra	Azotea del Palacio Municipal	
Altura de la toma de muestra	13 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM ₁₀	Thermo TEOM1405	Microbalanza oscilatoria
PM _{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO ₂	Teledyne 300E	Fluorescencia UV
SO ₂	Teledyne 200E	Quimioluminiscencia
O ₃	Teledyne 400E	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

6.1.4.3 Estación de Huachipa

Coordenadas geográficas	Latitud: 12° 1' 8" S	Longitud: 76° 56' 55.8" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Calle los Canarios s/n Huachipa	
Localización de la toma de muestra	Azotea del Palacio Municipal	
Altura de la toma de muestra	13 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM₁₀	Thermo Beta 5014i	Microbalanza oscilatoria
PM_{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO₂	Teledyne 200T	Fluorescencia UV
SO₂	Teledyne 300T	Quimioluminiscencia
O₃	Teledyne 400T	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

6.1.4.4 Estación de San Juan de Lurigancho

Coordenadas geográficas	Latitud: 12° 1' 8" S	Longitud: 76° 59' 55.8" W
Tipo de zona	Urbana	
Dirección	Av. Del Parque, cuadra 6	
Localización de la toma de muestra	Azotea de las Oficinas administrativas de la Universidad César Vallejo	
Altura de la toma de muestra	6 m	

Parámetros	Marca de equipo	Principio de funcionamiento
PM ₁₀	Thermo Beta 5014i	Microbalanza oscilatoria
PM _{2.5}	Thermo Beta 5014i	Atenuación de rayos beta
NO ₂	Teledyne 200T	Fluorescencia UV
SO ₂	Teledyne 300T	Quimioluminiscencia
O ₃	Teledyne 400T	Fotometría UV
CO	Teledyne 300T	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas

7. CONCLUSIONES

1. En Lima metropolitana, la capa de mezcla más baja se presenta en los meses de verano y la altura máxima, en invierno. En 2014, ocurrió en febrero con 241 metros y 1186 metros en junio, respectivamente. Cuando la capa es más baja no permite la dispersión de los contaminantes.
2. En la zona norte de Lima Metropolitana, las concentraciones horarias de PM_{10} fueron mayores durante las tardes (de 13:00 a 18:00 horas) y por las noches (de 19:00 a 23:00 horas) y alcanzaron concentraciones máximas en Puente Piedra, Carabayllo y San Martín de Porres con $157 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $106.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $60.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Esto se asocia a las horas en que la congestión vehicular es alta, debido al traslado de la población hacia sus centros de labores o de estudios y de retorno a sus viviendas.
3. Por las mañanas (de 6:00 a 12:00 horas) y por las tardes (de 13:00 a 18:00 horas), las concentraciones horarias de PM_{10} en la zona sur y centro de Lima alcanzaron concentraciones máximas de $130.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $75.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Villa María del Triunfo y San Borja, respectivamente. En la zona centro (Jesús María), las concentraciones máximas de $66.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $56.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ocurrieron durante las mañanas y las noches, respectivamente.
4. En la zona este de Lima, las concentraciones horarias de PM_{10} se presentaron en horas de la mañana (de 6:00 a 12:00 horas) y por la noche (de 19:00 a 23:00 horas) y alcanzaron concentraciones máximas en Ate de $161.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en Huachipa de $136.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de $113.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en San Juan de Lurigancho y de $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Santa Anita.
5. La población de Lima Metropolitana diariamente se traslada hacia sus centros de labores o de estudios, ya sea por medio de transporte

público o privado, lo que aumenta directamente la intensidad del flujo vehicular y se asocia a la evolución diaria de las concentraciones de PM_{10} en la semana. Las concentraciones fueron menores al inicio de semana (lunes), luego se incrementan y mantiene casi constante de martes a sábado, y disminuyen el domingo. Los días martes y miércoles tuvieron mayores concentraciones de PM_{10} y fueron más altas en la zona este (Ate y Huachipa) y norte (Puente Piedra y Carabayllo) de Lima Metropolitana, y fueron menores en la zona sur y centro, lo cual estaría asociado al patrón dominante de los vientos.

6. Las máximas concentraciones de PM_{10} registradas en el año 2014 se asociaron a eventos que demandaron gran desplazamiento de vehículos, como el martes 1 de abril que ocurrió un sismo de 8.2 grados en Chile, lo que generó una alerta de tsunami en Lima y el cierre de la vía de la Costa Verde. Esto provocó el desplazamiento de la población hacia zonas alejadas del mar; se registraron concentraciones pico en Santa Anita, Villa María del Triunfo, Huachipa y Carabayllo. En tanto que el martes 5 de agosto, las concentraciones de PM_{10} se dispararon en varios puntos de la ciudad (Santa Anita, San Juan de Lurigancho, Huachipa y San Borja), lo que habría estado asociado al inicio de las obras del proyecto de infraestructura vial Parque Rímac en San Juan de Lurigancho y el cierre de varias vías importantes, que causó gran congestión vehicular. El viernes 24 de julio (San Borja, Jesús María, San Martín de Porres) hubo gran congestión vehicular debido al retraso en el ingreso a la feria del Hogar en Chorrillos y a un incendio en el paseo Colón, en el mercado de Lima.
7. El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM “Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el Aire” indica que la concentración promedio diaria del PM_{10} no debe superar el ECA más de tres veces al año; sin embargo,

en 2014, la estación ubicada en Ate registró el mayor número de días de superación del ECA con un total de 40 días al año; mientras que Villa María del Triunfo lo superó 23 días; Puente Piedra, 20 días; Huachipa, 16 días y Santa Anita, 2 días.

8. El índice de calidad ambiental del aire se diseña en función del ECA y clasifica la calidad del aire en cuatro categorías: bueno, moderado, malo y umbral de cuidado. En 2014, la zona norte presentó mayormente días moderados, debido a la confluencia del alto tráfico vehicular y vientos de dirección norte, de velocidad baja que no permiten la dispersión de contaminantes. Esta situación se presentó de manera similar en la zona este. En la zona centro, hay un contraste, en San Borja se presentaron más días buenos, debido a la poca congestión de vehículos automotores y a la presencia de áreas verdes que actúan como receptores de partículas, mientras que en Villa María del Triunfo el alto tráfico de vehículos pesados y las características geográficas del distrito (pocas áreas verdes, rodeados de cerros áridos) condicionan que la mayoría de los días sean moderados en verano cuando la capa de mezcla es más baja.
9. En la zona norte de Lima Metropolitana, las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ son mayores durante la mañana (de 6:00 a 12:00 horas) y la noche (de 19:00 a 23:00 horas). Las concentraciones máximas se presentaron en Carabayllo, Puente Piedra y San Martín de Porres con $47.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $43.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $27.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Esto, al igual que el PM_{10} , estarían asociados a las horas en que la congestión vehicular es alta, debido al traslado de la población hacia sus centros de labores o de estudios y el retorno a sus viviendas.
11. Por la noche (de 19:00 a 23:00 horas) y por la tarde (de 13:00 a 18:00 horas) las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en la zona sur y centro de

Lima alcanzaron concentraciones máximas en Villa María del Triunfo de $46.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $24.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en San Borja, respectivamente. En la zona centro (Jesús María), las concentraciones máximas de $25.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ocurrieron durante la noche y de $25.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la mañana.

12. En la zona este de Lima, las concentraciones horarias de $\text{PM}_{2.5}$ se presentaron en horas de la mañana (de 6:00 a 12:00 horas) y por la madrugada (de 00:00 a 5:00 horas) y alcanzaron concentraciones máximas en Ate de $76.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en Huachipa de $58.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de $47.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en San Juan de Lurigancho y de $42.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Santa Anita.
13. Las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ son alarmantes en las zonas norte y este de la ciudad de Lima. En la zona norte, los distritos de Puente Piedra, Carabayllo y San Martín superaron significativamente los $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que establece la norma, con 225, 197 y 29 días de superación, respectivamente. En la zona este, las estaciones de Huachipa, San Juan de Lurigancho, Ate y Santa Anita registraron 230, 187, 90 y 5 días de superación, respectivamente.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Jacobson, Mark Z. (2002). Atmospheric pollution: history, science, and regulation. New York: Cambridge University Press.
- OMS, 2015. <http://www.who.int/es/>. MINAM, 2015. Resolución Ministerial 112-2015-MINAM.
- Souza J. P. (2015). Contaminación del aire y salud reproductiva. En XXIV Reunión Bianual de la Asociación Latinoamericana de Investigación en Reproducción Humana. 19-21 de noviembre 2015. Lima: 2015.
- Venegas, L. E. y Mazzeo, N. A. (2013). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. Disponible en: [ile:///C:/Users/Invitado/Downloads/15.Venegas.CLIV2.pdf](file:///C:/Users/Invitado/Downloads/15.Venegas.CLIV2.pdf)
- Wark, K., Warner, C.F. (2007). Contaminación del aire. Origen y control. México, D.F.: Limusa Noriega Editores.



**Servicio Nacional de Meteorología e
Hidrología del Perú - SENAMHI**
Jr. Cahuide 785, Jesús María
Lima 11 - Perú

Central telefónica: [51 1] 614-1414 anexo 481
Teléfono directo: [51 1] 614-1411
Telefax: [51 1] 471-7287

Consultas y sugerencias:
dgia@senamhi.gob.pe



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Servicio Nacional de
Meteorología e Hidrología
del Perú - SENAMHI