

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS CELEBRACIONES
DE FIN DE AÑO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE
EN LIMA METROPOLITANA”**

Presentada por:

DANIEL LEONIDAS SUASNABAR RAMOS

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Lima – Perú

2023

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

Document Information

Analyzed document	Tesis final Daniel Suasnabar En 2023.pdf
Submitted	(D156463029) 2023-01-20 18:46:00
Submitted by	SERGIO PACSI VALLDIVIA
Submitter email	spv@lamolina.edu.pe
Similarity	4%
Analysis address	spv.unalm@analysis.arkund.com



Sources included in the report

SA	Informe Final de Tesis_Ruiz Cruz.pdf Document Informe Final de Tesis_Ruiz Cruz.pdf (D114092406)		9
SA	02 RECSYS corregido.docx Document 02 RECSYS corregido.docx (D120427880)		2
SA	1A_ARANDA_VARILLAS_ELMER_TESIS_2020_FIGAE.docx Document 1A_ARANDA_VARILLAS_ELMER_TESIS_2020_FIGAE.docx (D80896439)		1
SA	TESIS FINAL_HAROLD AMÉRICO OROPEZA TELLO.docx Document TESIS FINAL_HAROLD AMÉRICO OROPEZA TELLO.docx (D122556835)		3
SA	velarde_mj.pdf Document velarde_mj.pdf (D30808287)		4
SA	1A_CISNEROS_VILLACORTA_LUIS_DANIEL_DE_JESUS_TITULACION.docx Document 1A_CISNEROS_VILLACORTA_LUIS_DANIEL_DE_JESUS_TITULACION.docx (D61685306)		1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / MMA2022-IMIG6.T2.docx Document MMA2022-IMIG6.T2.docx (D135400303) Submitted by: jcpalma@lamolina.edu.pe Receiver: jcpalma.unalm@analysis.arkund.com		1
SA	GESTION AULICA_SEMANA_10_ASIGNATURA_CONTROL DE LA CONTAMINACIÒN ATMOSFÈRICA Y ACÙ STICA_GRUPO#3.pdf Document GESTION AULICA_SEMANA_10_ASIGNATURA_CONTROL DE LA CONTAMINACIÒN ATMOSFÈRICA Y ACÙ STICA_GRUPO#3.pdf (D127222163)		3
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/335209098_Changes_in_the_concentration_of_volatile_or... Fetched: 2021-08-16 14:33:13		49
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / Proyecto_de_tesis.docx Document Proyecto_de_tesis.docx (D131427483) Submitted by: luciovilla@lamolina.edu.pe Receiver: luciovilla.unalm@analysis.arkund.com		1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / MMA2022-ILUG2.T2.docx Document MMA2022-ILUG2.T2.docx (D135969703) Submitted by: jcpalma@lamolina.edu.pe Receiver: jcpalma.unalm@analysis.arkund.com		1

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LAS CELEBRACIONES
DE FIN DE AÑO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE
EN LIMA METROPOLITANA”**

Presentada por:

DANIEL LEONIDAS SUASNABAR RAMOS

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg. Sc. Jerónimo García Villanueva
PRESIDENTE

Ing. Franklin Delio Unsihuay Tovar
MIEMBRO

Mg. Sc. Armando Javier Aramayo Bazzetti
MIEMBRO

Ph.D. Sergio Artemio Pacsi Valdivia
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres: Leonidas Suasnabar (†) y Gladis Ramos, mis hermanos: Elena, Cesar y Miguel, por ser parte fundamental de mi vida y por el apoyo incondicional que me han brindan día a día.

A María, que durante estos años me dio palabras de aliento y apoyo, motivándome a culminar este proyecto.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis, Ph.D. Sergio A. Pacsi Valdivia, por el apoyo, conocimientos y tiempo brindado durante todo este proceso.

A los miembros del jurado, por su disposición en atender mis consultas y brindar sus consejos durante la revisión y sustentación.

Al Decano y personal administrativo de la Facultad de Ciencias, quienes me alentaron a seguir adelante, brindando consejos y recomendaciones en los tramites a seguir.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiv
SUMMARY	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Características generales de la contaminación del aire	3
2.2. Fuentes de emisión de los contaminantes gaseosos y particulados en zonas urbanas	4
2.3. Características fisicoquímicas, composición y efectos de los contaminantes del aire	6
2.4. Métodos de muestreo, análisis y evaluación de los contaminantes del aire	8
2.5. Marco normativo sobre calidad del aire	8
2.6. Características de la variación temporal de los contaminantes del aire	12
2.7. Técnicas de análisis estadísticos de datos	12
2.8. Características, composición y efectos de los fuegos artificiales	14
2.9. Investigaciones relacionadas con el tema.....	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Materiales	25
3.2. Metodología.....	25
3.2.1. Área de estudio.....	25
3.2.2. Determinación horaria y diaria del material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5} generado en las celebraciones de fin de año.....	26
3.2.3. Determinación horaria y diaria de los gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO ₂) y dióxido de azufre (SO ₂) generado en las celebraciones de fin de año.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Determinación temporal del material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5} generado en las celebraciones de fin de año.	30

4.1.1. Evaluación de la concentración de PM ₁₀ para las estaciones de Lima Centro	30
4.1.2. Evaluación de la concentración de PM ₁₀ para las estaciones de Lima Sur	35
4.1.3. Evaluación de la concentración de PM ₁₀ para las estaciones de Lima Este.....	38
4.1.4. Evaluación de la concentración de PM ₁₀ para las estaciones de Lima Norte.....	46
4.1.5. Evaluación de la concentración de PM _{2.5} para las estaciones de Lima Centro	53
4.1.6. Evaluación de la concentración de PM _{2.5} para las estaciones de Lima Sur	58
4.1.7. Evaluación de la concentración de PM _{2.5} para las estaciones de Lima Este.....	61
4.1.8. Evaluación de la concentración de PM _{2.5} para las estaciones de Lima Norte.....	69
4.2. Determinación temporal de los gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO ₂) y dióxido de azufre (SO ₂) generado en las celebraciones de fin de año.	76
4.2.1. Evaluación de la concentración de CO para las estaciones de Lima Centro	76
4.2.2. Evaluación de la concentración de CO para las estaciones de Lima Sur	80
4.2.3. Evaluación de la concentración de CO para las estaciones de Lima Este.....	83
4.2.4. Evaluación de la concentración de CO para las estaciones de Lima Norte.....	89
4.2.5. Evaluación de la concentración de NO ₂ para las estaciones de Lima Centro	94

4.2.6. Evaluación de la concentración de NO ₂ para las estaciones de Lima Sur.....	99
4.2.7. Evaluación de la concentración de NO ₂ para las estaciones de Lima Este.....	102
4.2.8. Evaluación de la concentración de NO ₂ para las estaciones de Lima Norte.....	110
4.2.9. Evaluación de la concentración de SO ₂ para las estaciones de Lima Centro.....	116
4.2.10. Evaluación de la concentración de SO ₂ para las estaciones de Lima Sur.....	119
4.2.11. Evaluación de la concentración de SO ₂ para las estaciones de Lima Este.....	122
4.2.12. Evaluación de la concentración de SO ₂ para las estaciones de Lima Norte.....	128
V. CONCLUSIONES.....	135
VI. RECOMENDACIONES.....	137
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información técnica de equipos utilizados por SENAMHI.....	8
Tabla 2: Estándares Nacionales de Calidad de Aire	10
Tabla 3: Estándares Nacionales de Calidad de Aire	10
Tabla 4: Límite de Concentración de la Calidad de Aire	11
Tabla 5: Niveles recomendados de las directrices sobre la Calidad de Aire.....	12
Tabla 6: Ubicación geográfica de las Estaciones de Calidad de Aire en Lima Metropolitana.....	26
Tabla 7: Ubicación por zona de las estaciones de Calidad de Aire	26
Tabla 8: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro.....	32
Tabla 9: Resultados estadísticos, Estación Campo de Marte en Lima Centro	34
Tabla 10: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur	37
Tabla 11: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este	41
Tabla 12: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este.....	42
Tabla 13: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año	44
Tabla 14: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este.....	45
Tabla 15: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte	49
Tabla 16: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte.....	50
Tabla 17: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte	52
Tabla 18: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro.....	55
Tabla 19: Resultados estadísticos, Estación Campo de Marte en Lima Centro	56
Tabla 20: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur	60
Tabla 21: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este	64
Tabla 22: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este.....	65
Tabla 23: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año	66
Tabla 24: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este.....	68

Tabla 25: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte	72
Tabla 26: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte	73
Tabla 27: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte	74
Tabla 28: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro	78
Tabla 29: Resultados estadísticos, Estación Campo de Marte en Lima Centro	79
Tabla 30: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur	82
Tabla 31: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este	84
Tabla 32: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este	86
Tabla 33: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año	87
Tabla 34: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este	88
Tabla 35: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte	91
Tabla 36: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte	92
Tabla 37: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte	93
Tabla 38: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro	97
Tabla 39: Resultados estadísticos, Estación Campo de Marte en Lima Centro	98
Tabla 40: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur	101
Tabla 41: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este	105
Tabla 42: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este	106
Tabla 43: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año	107
Tabla 44: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este	109
Tabla 45: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte	112
Tabla 46: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte	113
Tabla 47: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte	115
Tabla 48: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro	118
Tabla 49: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur	121
Tabla 50: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este	124
Tabla 51: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este	125

Tabla 52: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año	126
Tabla 53: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este.....	127
Tabla 54: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte	131
Tabla 55: Resultados estadísticos, Estación Carabaylo en Lima Norte.....	132
Tabla 56: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes	4
Figura 2: Composición de algunos tipos de pirotecnia más comúnmente utilizado.....	16
Figura 3: Concentración observada de metales en el aire durante diversos festivales alrededor del mundo.....	17
Figura 4: Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire	27
Figura 5: Evolución diaria de la concentración de PM ₁₀ en las estaciones de Lima Centro	30
Figura 6: Registro horario de PM ₁₀ para navidad en las estaciones de Lima Centro	31
Figura 7: Registro horario de PM ₁₀ para fin de año en las estaciones de Lima Centro	32
Figura 8: Diagrama de cajas y bigotes de PM ₁₀ , Estación San Borja en Lima Centro	33
Figura 9: Diagrama de cajas y bigotes de PM ₁₀ , Estación Campo de Marte en Lima Centro	35
Figura 10: Evolución diaria de la concentración de PM ₁₀ en las estaciones de Lima Sur.....	35
Figura 11: Registro horario de PM ₁₀ para navidad en la estación de Lima Sur	36
Figura 12: Registro horario de PM ₁₀ para fin de año en la estación de Lima Sur	37
Figura 13: Diagrama de cajas y bigotes de PM ₁₀ , Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur	38
Figura 14: Evolución diaria de la concentración de PM ₁₀ en las estaciones de Lima Este	39
Figura 15: Registro horario de PM ₁₀ para navidad en la estación de Lima Este.....	39
Figura 16: Registro horario de PM ₁₀ para fin de año en la estación de Lima Este.....	40
Figura 17: Diagrama de cajas y bigotes de PM ₁₀ , Estación Ate en Lima Este	42

Figura 18: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación Santa Anita en Lima	
Este	43
Figura 19: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación Huachipa en Lima	
Este	44
Figura 20: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación San Juan de Lurigancho	
en Lima Este.....	46
Figura 21: Evolución diaria de la concentración de PM_{10} en las estaciones de Lima	
Norte	46
Figura 22: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para	
PM_{10} en Lima Norte.....	47
Figura 23: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para	
PM_{10} en Lima Norte.....	48
Figura 24: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación San Martin de Porres en	
Lima Norte	50
Figura 25: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación Carabayllo en Lima	
Norte	51
Figura 26: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación Puente Piedra en Lima	
Norte	52
Figura 27: Evolución diaria de la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones de Lima	
Centro.....	53
Figura 28: Registro horario de $PM_{2.5}$ para navidad en las estaciones de Lima	
Centro.....	54
Figura 29: Registro horario de $PM_{2.5}$ para fin de año en las estaciones de Lima	
Centro.....	55
Figura 30: Diagrama de cajas y bigotes de $PM_{2.5}$, Estación San Borja en Lima	
Centro.....	56
Figura 31: Diagrama de cajas y bigotes de $PM_{2.5}$, Estación Campo de Marte en Lima	
Centro.....	57
Figura 32: Evolución diaria de la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones de Lima	
Sur.....	58

Figura 33: Registro horario de PM _{2.5} para navidad en la estación de Lima Sur	59
Figura 34: Registro horario de PM _{2.5} para fin de año en la estación de Lima Sur	59
Figura 35: Diagrama de cajas y bigotes de PM _{2.5} , Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur	60
Figura 36: Evolución diaria de la concentración de PM _{2.5} en las estaciones de Lima Este	62
Figura 37: Registro horario de PM _{2.5} para navidad en la estación de Lima Este	62
Figura 38: Registro horario de PM _{2.5} para fin de año en la estación de Lima Este	63
Figura 39: Diagrama de cajas y bigotes de PM _{2.5} , Estación Ate en Lima Este	65
Figura 40: Diagrama de cajas y bigotes de PM _{2.5} , Estación Santa Anita en Lima Este	66
Figura 41: Diagrama de cajas y bigotes de PM _{2.5} , Estación Huachipa en Lima Este	67
Figura 42: Diagrama de cajas y bigotes de PM _{2.5} , Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este	68
Figura 43: Evolución diaria de la concentración de PM _{2.5} en las estaciones de Lima Norte	69
Figura 44: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para PM _{2.5} en Lima Norte	70
Figura 45: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para PM _{2.5} en Lima Norte	71
Figura 46: Diagrama de cajas y bigotes de PM _{2.5} , Estación San Martin de Porres en Lima Norte	72
Figura 47: Diagrama de cajas y bigotes de PM _{2.5} , Estación Carabayllo en Lima Norte	74
Figura 48: Diagrama de cajas y bigotes de PM _{2.5} , Estación Puente Piedra en Lima Norte	75
Figura 49: Evolución diaria de la concentración de CO en las estaciones de Lima Centro	76
Figura 50: Registro horario de CO para navidad en las estaciones de Lima Centro	77

Figura 51: Registro horario de CO para fin de año en las estaciones de Lima Centro.....	77
Figura 52: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación San Borja en Lima Centro.....	78
Figura 53: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Campo de Marte en Lima Centro.....	79
Figura 54: Evolución diaria de la concentración de CO en las estaciones de Lima Sur.....	80
Figura 55: Registro horario de CO para navidad en la estación de Lima Sur	81
Figura 56: Registro horario de CO para fin de año en la estación de Lima Sur.....	81
Figura 57: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur.....	82
Figura 58: Evolución diaria de la concentración de CO en las estaciones de Lima Este	83
Figura 59: Registro horario de CO para navidad en la estación de Lima Este.....	84
Figura 60: Registro horario de CO para fin de año en la estación de Lima Este	84
Figura 61: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Ate en Lima Este	85
Figura 62: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Santa Anita en Lima Este	86
Figura 63: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Huachipa en Lima Este	87
Figura 64: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este.....	89
Figura 65: Evolución diaria de la concentración de CO en las estaciones de Lima Norte	89
Figura 66: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para CO en Lima Norte	90
Figura 67: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para CO en Lima Norte	90
Figura 68: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación San Martin de Porres en Lima Norte	92

Figura 69: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Carabayllo en Lima	
Norte	93
Figura 70: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Puente Piedra en Lima	
Norte	94
Figura 71: Evolución diaria de la concentración de NO ₂ en las estaciones de Lima	
Centro.....	95
Figura 72: Registro horario de NO ₂ para navidad en las estaciones de Lima	
Centro.....	95
Figura 73: Registro horario de NO ₂ para fin de año en las estaciones de Lima	
Centro.....	96
Figura 74: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación San Borja en Lima	
Centro.....	97
Figura 75: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación Campo de Marte en Lima	
Centro.....	98
Figura 76: Evolución diaria de la concentración de NO ₂ en las estaciones de Lima	
Sur.....	99
Figura 77: Registro horario de NO ₂ para navidad en la estación de Lima Sur	100
Figura 78: Registro horario de NO ₂ para fin de año en la estación de Lima Sur	100
Figura 79: Diagrama de cajas y bigotes de NO, Estación Villa María del Triunfo en	
Lima Sur.....	102
Figura 80: Evolución diaria de la concentración de NO ₂ en las estaciones de Lima	
Este	102
Figura 81: Registro horario de NO ₂ para navidad en la estación de Lima Este	103
Figura 82: Registro horario de NO ₂ para fin de año en la estación de Lima Este.....	104
Figura 83: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación Ate en Lima Este.....	106
Figura 84: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación Santa Anita en Lima	
Este	107
Figura 85: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación Huachipa en Lima Este.....	108
Figura 86: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación San Juan de Lurigancho	
en Lima Este.....	109

Figura 87: Evolución diaria de la concentración de NO ₂ en las estaciones de Lima Norte	110
Figura 88: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para NO ₂ en Lima Norte.....	111
Figura 89: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para NO ₂ en Lima Norte.....	112
Figura 90: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación San Martín de Porres en Lima Norte	113
Figura 91: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación Carabayllo en Lima Norte	114
Figura 92: Diagrama de cajas y bigotes de NO ₂ , Estación Puente Piedra en Lima Norte	115
Figura 93: Evolución diaria de la concentración de SO ₂ en las estaciones de Lima Centro.....	116
Figura 94: Registro horario de SO ₂ para navidad en las estaciones de Lima Centro	117
Figura 95: Registro horario de SO ₂ para fin de año en las estaciones de Lima Centro.....	117
Figura 96: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación San Borja en Lima Centro.....	118
Figura 97: Evolución diaria de la concentración de SO ₂ en las estaciones de Lima Sur.....	119
Figura 98: Registro horario de SO ₂ para navidad en la estación de Lima Sur	120
Figura 99: Registro horario de SO ₂ para fin de año en la estación de Lima Sur.....	120
Figura 100: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur	121
Figura 101: Evolución diaria de la concentración de SO ₂ en las estaciones de Lima Este	122
Figura 102: Registro horario de SO ₂ para navidad en la estación de Lima Este.....	123
Figura 103: Registro horario de SO ₂ para fin de año en la estación de Lima Este.....	123
Figura 104: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación Ate en Lima Este	124

Figura 105: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación Santa Anita en Lima Este	126
Figura 106: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación Huachipa en Lima Este	127
Figura 107: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este.....	128
Figura 108: Evolución diaria de la concentración de SO ₂ en las estaciones de Lima Norte	129
Figura 109: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para SO ₂ en Lima Norte	130
Figura 110: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para SO ₂ en Lima Norte	130
Figura 111: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación San Martin de Porres en Lima Norte	131
Figura 112: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación Carabayllo en Lima Norte	132
Figura 113: Diagrama de cajas y bigotes de SO ₂ , Estación Puente Piedra en Lima Norte	134

RESUMEN

La presente investigación es del tipo estratégica – No experimental, ya que surge del interés de interpretar la variación a escala temporal de los datos de PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO, NO_2 y SO_2 registrados en las estaciones de monitoreo de Lima Centro, Lima Este, Lima Norte y Lima Sur del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y comparados con valores del Estándar de Calidad Ambiental para aire (ECA aire) y el valor guía establecido por La Organización Mundial de la Salud (OMS). En este sentido, al evaluar el impacto de las celebraciones de fin de año sobre la calidad del aire en la zona metropolitana de Lima, en el periodo 2013 al 2021; los resultados para material particulado obtenidos mostraron que, son las fiestas de año nuevo donde se presentaron los valores máximos de concentración, principalmente en los años 2016 y 2017; asimismo, las estaciones de Lima Centro registraron el menor impactos sobre la calidad del aire para las celebraciones de fin de año, no superando el valor del ECA aire; en cuanto a la evolución horaria de PM_{10} y $PM_{2.5}$, los valores máximos se registraron en horas de la media noche hasta las 3 a 4am del día siguiente. En cuanto a los resultados para el promedio diario de la concentración de CO, SO_2 y NO_2 , en las estaciones de Lima Este, Lima Centro, Lima Sur y Lima Norte, no se sobrepasó el ECA aire, ni el valor guía de la OMS, en el periodo en evaluación. Por último, se recomienda realizar campañas de sensibilización a la población en general, sobre los peligros por el uso de fuegos artificiales en las celebraciones, el daño ambiental o contaminación ambiental que genera esta actividad, así como los riesgos a la salud pública.

Palabra Clave: Contaminación Ambiental, Fuegos Artificiales, Material Particulado.

SUMMARY

The present research is of the strategic type – Non-experimental, since it arises from the interest of interpreting the timescale variation of the data of PM₁₀, PM_{2.5}, CO, NO₂ and SO₂ recorded in the monitoring stations of Downtown Lima, East Lima, North and South Lima of the National Service of Meteorology and Hydrology (SENAMHI) and compared with values of the Environmental Quality Standard for air (ECA air) and the guide value established by the World Health Organization (WHO). In this sense, when evaluating the impact of the year-end celebrations on air quality in the metropolitan area of Lima, from 2013 to 2021; the results for particulate matter obtained showed that, are the New Year holidays where the maximum concentration values were presented, mainly in the years 2016 and 2017; also, the stations of Downtown Lima registered the least impact on air quality for the year-end celebrations, not exceeding the value of the ECA air; as for the hourly evolution of PM₁₀ and PM_{2.5}, the maximum values were recorded in midnight hours until 3 to 4am the following day. In terms of the results for the average daily concentration of CO, SO₂ and NO₂, in the stations of East Lima, Downtown Lima, South Lima and North Lima, the ECA air was not exceeded, nor the guide value of the WHO in the period under evaluation. Lastly, it is recommended to awareness-raising campaigns for the general population about the dangers of the use of fireworks in celebrations, the environmental damage or environmental pollution generated by this activity, and the risks to public health.

Keyword: Environmental pollution, fireworks, particulate matter.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, las celebraciones de fin de año son un periodo de compartir y alegría familiar, también se relacionan a la generación de muchos impactos ambientales. Si bien la quema de fuegos artificiales es una de las actividades más llamativas por el espectáculo de luces que ofrecen, también se realizan otros tipos de actividades como son: las fogatas, la quema de trastes viejos, entre otras. Estas actividades que se realizan cada celebración de por fiestas de fin de año, han generado por esas fechas el incremento en la emisión de material particulado y gases, que no solo afectan la calidad del aire, sino también afectan a la salud de las personas y generan gran cantidad de residuos que no son dispuestos adecuadamente.

De acuerdo a Han *et al.*, (2014), la quema de fuegos artificiales en la víspera de Año Nuevo Chino, deterioran la calidad del aire. Lai & Brimblecombe (2017), también refirieron que las actividades humanas son uno de los factores clave para la contaminación del aire por lo que no es sorpresa que las celebraciones de fin de año la afecten.

En diversas partes del mundo, la pirotecnia es ampliamente usada durante celebraciones religiosas, culturales, deportivas y celebraciones nacionales, que, aunque son actividades lúdicas y de espectáculo, han generado preocupación por la emisión de contaminantes que no solo dañan la calidad del aire, sino que pueden provocar efectos tóxicos en los espectadores y en los ecosistemas. (Robles *et al.*, 2017).

Caso similar Dickerson *et al.*, (2016), señala que en Filadelfia y Boston se dio la primera conmemoración oficial por el Día de la Independencia la cual se celebró con fuegos artificiales el 4 de julio de 1777 y que la tradición ha continuado. Asimismo, refiere que los fuegos artificiales pueden influenciar en las concentraciones de diversos contaminantes en el aire; las celebraciones pueden producir material particulado (MP), una mezcla heterogénea de partículas y otros componentes.

Singh *et al.*, (2009), Mandal *et al.*, (2012) y Chatterjee *et al.*, (2013), refieren al festival de Diwali festival de las luces que se celebra en la India, durante octubre / noviembre de cada año, están asociados con la quema de una gran cantidad de fuegos artificiales que emiten

gases traza y partículas que incluyen metales a la atmósfera, que generan densas nubes de humo, cuya concentración depende de la composición de los fuegos artificiales.

De acuerdo a lo expuesto y los antecedentes de estudios similares en otros países, y considerando que existe información diaria recopilada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en sus estaciones de monitoreo de la zona metropolitana de Lima; en la presente investigación se busca como objetivo principal evaluar el impacto de las celebraciones de fin de año sobre la calidad del aire en la zona metropolitana de Lima, durante los últimos años, a su vez desliga en dos objetivos específicos, los cuales son: determinar la variación temporal del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ y determinar la variación temporal de los gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2); con el fin de que los resultados permitan identificar los posibles impactos que se generan y que estos mismos resultados sirvan de base para futuras investigaciones que pudieran surgir a partir de esta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Características generales de la contaminación del aire

a) Definición

Boldo (2016) en su libro “La Contaminación del aire”, define que la contaminación atmosférica se refiere a cualquier condición que rompa el equilibrio del aire, esa mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre y que es esencial para la existencia de la vida en la Tierra. Supone la modificación de la proporción de sus componentes o la introducción en la atmósfera de elementos indeseables, es decir, materias, sustancias o formas de energía que tengan un efecto nocivo para la salud humana, que causen daños en el medio ambiente o que deterioren los bienes materiales.

Chavez (2020), cita a Yassi *et al.*, (2002) quienes definen la contaminación del aire como: “emisión al aire de sustancias peligrosas a una tasa que excede la capacidad de los procesos naturales de la atmósfera para transformarlos, precipitarlos (lluvia o nieve), y depositarlos o dispersarlos por medio del viento”.

Oliveros (2021), refiere que de acuerdo con la agencia Estatal de Meteorología de España, se habla de calidad de aire cuando se refiere a la presencia en mayor o menor medida de contaminantes atmosféricos con la posibilidad de ser nocivos para la salud humana, el ambiente y las infraestructuras. Asimismo, cita a Rebollo (2017) que señala que en el Perú los Estándares de Calidad Ambiental del Aire están orientados a la protección de la salud humana, ya que el material particulado ocasiona problemas a la salud como deficiencias respiratorias, problemas cardiovasculares e inclusive cáncer

b) Contaminantes primarios y secundarios

Para Ballester (2005), los contaminantes atmosféricos, normalmente medidos en la atmósfera urbana, provienen de fuentes móviles (tráfico rodado) y de fuentes fijas de combustión (industrias, usos residenciales – climatización-, y procesos de eliminación de residuos). Se distingue entre contaminantes primarios y secundarios. Los primeros son los que proceden directamente de la fuente de emisión. Los contaminantes secundarios se

producen como consecuencia de las transformaciones y reacciones químicas y físicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera, distinguiéndose, sobre todo, la contaminación fotoquímica y la acidificación del medio.

Las características de los principales contaminantes químicos y sus fuentes más importantes se resumen en la figura 1.

Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera como el dióxido de azufre SO_2 , que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones. Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Son importantes los contaminantes secundarios, el ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que se forma por la oxidación del SO_2 , el dióxido de nitrógeno NO_2 , que se forma al oxidarse el contaminante primario NO y el ozono, O_3 , que se forma a partir del oxígeno O_2 . Ambos contaminantes, primarios y secundarios pueden depositarse en la superficie de la tierra por precipitación. (Amable *et al.*, 2003).

Contaminante	Formación	Estado físico	Fuentes
Partículas en suspensión (PM): PM ₁₀ , Humos negros.	Primaria y secundaria	Sólido, líquido	Vehículos Procesos industriales Humo del tabaco
Dióxido de azufre (SO_2)	Primaria	Gas	Procesos industriales Vehículos
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Primaria y secundaria	Gas	Vehículos Estufas y cocinas de gas
Monóxido de carbono (CO)	Primaria	Gas	Vehículos Combustiones en interiores Humo de tabaco
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	Primaria, secundaria	Gas	Vehículos, industria, humo del tabaco Combustiones en interiores
Plomo (Pb)	Primaria	Sólido (partículas finas)	Vehículos, industria
Ozono (O_3)	Secundaria	Gas	Vehículos (secundario a foto-oxidación de NO_x y COVs)

Figura 1: Descripción de los principales contaminantes atmosféricos químicos y sus fuentes

FUENTE: Ballester (2005)

2.2. Fuentes de emisión de los contaminantes gaseosos y particulados en zonas urbanas

a) Partículas (PM₁₀ y PM_{2,5})

Aránguez *et al.*, (1999) definen en términos de velocidad de depósito de las mismas. En este sentido, se denominan “partículas en suspensión” aquellas con diámetros desde muy por debajo de 0.1 μm hasta 5 – 10 μm , que permanecen suspendidas durante horas o días; las partículas más grandes caen rápidamente cerca de la fuente que las produce. Otra forma de

distinguir las se refiere a los diferentes métodos usados en su vigilancia de rutina. Se habla de «humos negros» en el caso de partículas con capacidad de tizar (refiriéndose sólo a la sustancia oscura característica de la combustión incompleta del carbón y de los hidrocarburos) y «total de partículas en suspensión» para las observaciones que se basan directamente en el peso, pudiéndose filtrar por tamaños (por ejemplo, la medición se referirá a PM_{10} o $PM_{2.5}$ si pasan a través de un orificio de entrada calibrado con un rendimiento de separación de 50% para un diámetro aerodinámico de 10 μm o 2,5 μm respectivamente).

b) Gases (CO, NO_2 y SO_2)

- Dióxido de azufre

Aránguez *et al.*, (1999) definen al dióxido de azufre como un gas incoloro que a altas concentraciones puede ser detectado por su sabor y por su olor caustico e irritante. Se disuelve con facilidad en el agua para formar ácido sulfuroso (H_2SO_3), el cual se oxida lentamente y forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) con el oxígeno del aire. El SO_2 también puede formar trióxido de azufre (SO_3), vapor muy reactivo que se combina rápidamente con vapor de agua para formar un aerosol ultra fino de ácido sulfúrico, de gran importancia desde el punto de vista de efectos en salud. Este puede ser entonces neutralizado por el amonio, formando primero el ácido fuerte bisulfato de amonio (NH_4HSO_4) y después la sal casi neutra sulfato de amonio [$(NH_4)_2SO_4$], dependiendo las tasas de neutralización de las tasas de emisiones terrestres de amonio, altas en ciudades y zonas agrícolas, bajas en bosques. En la atmósfera urbana está representada una amplia gama de compuestos de azufre, pero desde un punto de vista práctico los más importantes son el dióxido de azufre gaseoso, el ácido sulfúrico y los sulfatos.

- Monóxido de carbono

Aránguez *et al.*, (1999) definen al monóxido de carbono como un gas incoloro, inodoro e insípido, ligeramente menos denso que el aire. En la naturaleza se genera CO en la producción y degradación de la clorofila, mientras que su origen antropogénico se sitúa en las combustiones incompletas. Este contaminante se combina con la hemoglobina en los glóbulos rojos de la sangre y forma carboxihemoglobina (COHb), siendo la afinidad de la hemoglobina por el CO unas 250 veces mayor que por el O_2 . La formación de COHb disminuye la capacidad de la sangre de transportar O_2 y además aumenta la afinidad de los lugares de unión del O_2 por el mismo, lo que interfiere con su liberación en los tejidos y

produce hipoxia y alteraciones del funcionamiento celular (en las neuronas, en las células del corazón y de otros músculos). Esto conlleva efectos psicológicos y cardiovasculares (aterosclerosis, arritmias). La exposición crónica a CO induce la aparición de fenómenos adaptativos tipo aumento del número de glóbulos rojos, del volumen sanguíneo y el tamaño del corazón.

- Dióxido de nitrógeno

Aránguez *et al.*, (1999) definen al dióxido de nitrógeno como un gas sin olor, color ni sabor, que constituye el 78% del aire. Aunque en condiciones normales no es perjudicial para la salud, se puede combinar con oxígeno para formar diversos óxidos de nitrógeno. La importancia biológica del óxido nítrico (NO) y del dióxido de nitrógeno (NO₂) es la mejor estudiada; ambos se consideran contaminantes ambientales, y son los más abundantes óxidos de nitrógeno producidos por el hombre en áreas urbanas. Tanto el NO como el NO₂ se producen de forma natural en cantidades muy superiores a las generadas por la actividad humana, pero al estar distribuidos sobre toda la superficie terrestre, las concentraciones atmosféricas resultantes son muy pequeñas. La química atmosférica de los óxidos de nitrógeno es muy compleja. La mayoría de las combustiones liberan sobre todo óxido nítrico, el cual se convierte fácilmente en dióxido de nitrógeno en la atmósfera. La oxidación del NO a NO₂ por oxidantes atmosféricos como el ozono, ocurre rápidamente, siendo ésta una de las principales rutas de producción de NO₂. El NO₂ es también un importante contaminante del aire en ambientes interiores, debido al tabaco y a fuentes de combustión de gas inadecuadas o mal ventiladas.

2.3. Características fisicoquímicas, composición y efectos de los contaminantes del aire

a) Material Particulado (PM_x)

Sánchez (2012), refiere que son partículas finas que pueden permanecer suspendidas en el aire; provienen de fuentes naturales (volcanes, incendios forestales, polinización, aerosol marino) o de fuentes creadas por el hombre (combustibles derivados de fósiles, industrias, canteras). Además, se conoce como partículas volátiles pequeñas a las que tienen un tamaño menor de 10µm y su importancia radica en que pueden quedar suspendidas en el aire por largo tiempo. Se dividen en tres grupos según su tamaño: partículas gruesas (PM₁₀), partículas finas (PM_{2,5}) y partículas ultrafinas (PM_{0,1}).

La composición química del PM_x es variada y depende de la fuente productora. El carbono elemental que forma su núcleo resulta de la combustión incompleta de derivados fósiles (gasolina, diésel, petróleo), madera o biomasa. En este núcleo de carbono se pueden adherir por fuerzas electrostáticas minerales, VOC, alérgenos y otras moléculas de carbono haciendo conglomerados.

b) Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Para Sánchez (2012), entre los compuestos que contienen nitrógeno, el dióxido de nitrógeno (NO_2) es el contaminante ambiental más reconocido por sus efectos tóxicos cuando la exposición es prolongada, aun en concentraciones no muy altas; sin embargo, otros compuestos que contienen nitrógeno pueden ser igualmente dañinos para la salud: el amoníaco (NH_3), el amonio (NH_4), el óxido nítrico (N_2O), el óxido de nitrógeno (NO), el ácido nitroso (HNO_2), el ácido nítrico (HNO_3) y muchos otros.

Aparte de sus efectos directos, el NO_2 por reacciones fotoquímicas puede dar como resultado la formación de ozono, que es un reconocido oxidante. Algunos estudios demuestran que la inhalación de NO_2 junto con altas cantidades de superóxido puede producir peroxinitrito un radical oxidante muy potente.

Al igual que la mayoría de los contaminantes las principales fuentes de NO_x son la combustión de derivados del petróleo, el humo del cigarrillo y de otros combustibles caseros como el gas natural.

c) Óxidos de Azufre (SO_x)

Para Sánchez (2012), entre los óxidos de azufre los de mayor importancia por su efecto en la salud son el dióxido (SO_2) y las partículas de sulfatos ácidos; ambos se producen principalmente a partir de combustibles fósiles como el diésel y llevan a muchos problemas de salud tanto respiratorios como de otros sistemas del cuerpo humano.

d) Monóxido de carbono (CO) y Dióxido de Carbono (CO_2)

Sánchez (2012), hace mención a que el CO y el CO_2 son dos compuestos indispensables para el desarrollo de la vida en la tierra. Los producen todos los seres vivos: plantas, animales, seres humanos, hongos, etc., y también se originan por eventos naturales como las erupciones volcánicas. En la medida en que ha avanzado globalmente la industrialización, la emisión de estos gases ha aumentado exponencialmente. Muchos países monitorizan constantemente las concentraciones de CO y CO_2 , lo que ha permitido observar cómo los

niveles elevados de estos gases están asociados a una mayor incidencia de asma y otras enfermedades respiratorias o alérgicas.

Las células utilizan el CO y el CO₂ para diferentes procesos que contribuyen a regular la respuesta inflamatoria del cuerpo. Una persona exhala en la respiración aproximadamente 4,5% de dióxido de carbono por volumen espirado; sin embargo, estudios epidemiológicos muestran que la exposición a CO y CO₂ puede ser nociva incluso en concentraciones no muy altas: la inhalación de CO en concentraciones mayores del 5% puede resultar peligrosa e incluso mortal si es por tiempo prolongado.

2.4. Métodos de muestreo, análisis y evaluación de los contaminantes del aire

En el siguiente cuadro se resume la metodología, el principio de funcionamiento o técnicas utilizada por el SENAMHI para la recolección y registros de datos.

Tabla 1: Información técnica de equipos utilizados por SENAMHI

Parámetro	Método	Técnica	Equipo
PM ₁₀	Automático	Atenuación de rayos beta	Thermo Beta 5014i
	Automático	Micro balanza oscilatoria	Thermo TEOM 1405
PM _{2.5}	Automático	Atenuación de rayos beta	Thermo Beta 5014i
NO ₂	Automático	Quimioluminiscencia	Teledyne 200T
	Automático	Fluorescencia UV	Teledyne 300E
	Automático	Fluorescencia UV	Thermo 43i
SO ₂	Automático	Fluorescencia UV	Teledyne 300T
	Automático	Quimioluminiscencia	Teledyne 200E
CO	Automático	Infrarrojo no dispersivo con filtro de correlación de gas	Teledyne 300T

FUENTE: SENAMHI (2015)

2.5. Marco normativo sobre calidad del aire

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (publicada 15 de octubre de 2005).

El objetivo de la Ley General del Ambiente, es establecer el marco normativo legal para la gestión ambiental del país.

Artículo 1.- Del objetivo: La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar

el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país (MINAM, 2005).

En cuanto a los estándares de calidad ambiental, sirven de referente de comparación en la elaboración de línea base ambiental e informes de monitoreo ambiental.

Artículo 31.- Del Estándar de Calidad Ambiental: 31.1 El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. (...). 31.2 El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental (MINAM, 2005).

- D.S. N° 074-2001-PCM, Reglamento de Estándares Nacional de Calidad Ambiental de Aire (publicada 24 de junio de 2001).
- D.S. N° 003-2008-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire (publicada 22 de agosto de 2008).

Ambas normas citadas líneas arriba tienen por objetivo la aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

Tabla 2: Estándares Nacionales de Calidad de Aire

Parámetro	Periodo	Unidad	Estándar	Norma de Referencia	
Material Particulado PM ₁₀	24 horas	µg/m ³	150	D.S. N° 074-2001-PCM	
	Anual	µg/m ³	50		
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	µg/m ³	200		
	Anual	µg/m ³	100		
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	µg/m ³	30 000		
	8 horas	µg/m ³	10 000		
Dióxido de Azufre (SO ₂)	Anual	µg/m ³	80		
Material Particulado PM _{2.5} (como valor referencial)	24 horas	µg/m ³	15		
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	µg/m ³	20		D.S. N° 003-2008-MINAM
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	24 horas	µg/m ³	150		
Material Particulado PM _{2.5}	24 horas	µg/m ³	25		

FUENTE: MINAM.

- D.S. N° 003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire y establecen Disposiciones Complementarias (publicada 07 de junio de 2017).

La norma citada corresponde a la actualización de los Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

Tabla 3: Estándares Nacionales de Calidad de Aire

Parámetro	Periodo	Unidad	Estándar	Norma de Referencia
Material Particulado PM ₁₀	24 horas	µg/m ³	100	D.S. N° 003-2017-MINAM
	Anual	µg/m ³	50	
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	µg/m ³	200	
	Anual	µg/m ³	100	
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	µg/m ³	30 000	
	8 horas	µg/m ³	10 000	
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	µg/m ³	250	
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	24 horas	µg/m ³	150	
Material Particulado PM _{2.5}	24 horas	µg/m ³	50	
	Anual	µg/m ³	25	

FUENTE: MINAM.

- Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre (Actualización mundial 2005).

La guía de calidad del aire de la OMS tiene por objetivo orientar de qué manera reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud.

La nueva información incluida en esta última actualización, refiere a cuatro de los contaminantes comunes del aire material particulado (MP), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂).

Tabla 4: Límite de Concentración de la Calidad de Aire

Parámetro	Periodo	Unidad	Estándar	Norma de Referencia
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	µg/m ³	10 000	Guía OMS (1997)
	Anual	µg/m ³	500 - 700	
Material Particulado PM ₁₀	24 horas	µg/m ³	50	Guía OMS (Actualización 2005)
	Anual	µg/m ³	20	
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	µg/m ³	200	
	Anual	µg/m ³	40	
Ozono (O ₃)	8 horas	µg/m ³	100	
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	µg/m ³	20	
Material Particulado PM _{2.5}	24 horas	µg/m ³	25	
	Anual	µg/m ³	10	

FUENTE: OMS.

- Directrices Mundiales de la OMS sobre Calidad del Aire (Actualización mundial 2021).

El objetivo general de estas directrices mundiales actualizadas es ofrecer recomendaciones, cuantitativas relativas a la salud para la gestión de la calidad del aire, expresadas como concentraciones a largo o corto plazo de una serie de contaminantes atmosféricos clave. Sobrepasar los niveles que figuran en las directrices sobre la calidad del aire está asociado a riesgos importantes para la salud pública. Las directrices no son normas jurídicamente vinculantes, pero proporcionan a los Estados Miembros de la OMS una herramienta basada en pruebas que pueden utilizar como guía para la elaboración de leyes y políticas. En última instancia, el objetivo de estas directrices es proporcionar orientación para ayudar a que se reduzcan los niveles de contaminantes atmosféricos, con miras a disminuir la enorme carga para la salud que supone la exposición a la contaminación atmosférica en todo el mundo. (OMS, 2021)

Tabla 5: Niveles recomendados de las directrices sobre la Calidad de Aire

Parámetro	Periodo	Unidad	Estándar	Norma de Referencia
Monóxido de Carbono (CO)	24 horas	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	4 000	Guía OMS (Actualización 2021)
Material Particulado PM_{10}	24 horas	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	45	
	Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	15	
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	24 hora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	25	
	Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	10	
Ozono (O_3)	8 horas	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	40	
Material Particulado $\text{PM}_{2.5}$	24 horas	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	15	
	Anual	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	5	

FUENTE: OMS (2021).

2.6. Características de la variación temporal de los contaminantes del aire

Es la tendencia de la variación horaria, diaria o estacional de las concentraciones del contaminante, en las estaciones de monitoreo para un mismo periodo analizado.

Para ver la variación o evolución temporal y asegurar la consistencia y homogeneidad de la serie histórica, a pesar de tener menos representatividad espacial, es mejor utilizar las estaciones que han permanecido en la red durante el periodo analizado. Y el conocimiento de estas variaciones temporales es importante para el análisis del cambio global. (Cañada, 2012)

La variación o temporalidad horaria, diaria o estacional, nos permitiría comprender la tendencia o comportamiento del contaminante por un periodo de análisis.

2.7. Técnicas de análisis estadísticos de datos

a) Estadísticos descriptivos

La estadística descriptiva es una disciplina que se encarga de recoger, almacenar, ordenar, realizar tablas o gráficos y calcular parámetros básicos sobre el conjunto de datos derivados de una muestra o de toda la población, de una manera tal que los describa fácil y rápidamente.

Para definir conceptualmente las pruebas estadísticas, utilizaremos el Manual de Estadística Descriptiva de la Facultad de Ingeniería, Área de Estadística – USAC Guatemala (2011).

- Medidas de posición; Las medidas de posición facilitan información sobre la serie de datos que se está analizando.
- Medidas de tendencia central; Informan sobre los valores medios del conjunto de datos. Son indicadores usados para señalar que porcentaje de datos dentro de una distribución de frecuencias superan estas expresiones, cuyo valor representa el valor del dato que se encuentra en el centro de la distribución de frecuencia, es por esto que se les llama "Medidas de Tendencia Central".
 - o Media Aritmética, Es una medida matemática, un número individual que representa razonablemente el comportamiento de todos los datos. Aunque es confiable porque refleja todos los valores del conjunto de datos puede ser afectada por los valores extremos, y de esa forma llegar a ser una medida menos representativa, por lo que, si la distribución es asimétrica, la media aritmética no constituye un valor típico.
 - o Mediana, Es el valor de la observación que ocupa la posición central de un conjunto de datos ordenados según su magnitud. La mediana es un valor de la variable que deja por debajo de él un número de casos igual al que deja por arriba. Es una medida de tendencia central no afectada por los valores extremos.
- Medidas de tendencia no central; Las medidas de posición no centrales permiten conocer otros puntos característicos de la distribución que no son los valores centrales. Entre otros indicadores, se suelen utilizar una serie de valores que dividen la muestra en tramos iguales.
 - o Cuartiles, Son 3 valores que distribuyen la serie de datos, ordenada de forma creciente o decreciente, en cuatro tramos iguales, en los que cada uno de ellos concentra el 25% de los resultados.

b) Análisis exploratorio y gráfico de los datos

Para definir el análisis exploratorio, tablas y gráficos, utilizaremos el artículo sobre Estadística Descriptiva de Rendon *et.al.*, (2016).

- Cuadros o tablas; Estos consisten en matrices de datos que permiten fijar cifras puntuales sobre las mediciones realizadas. Constan de tres partes fundamentales: el título, el cuerpo (cabecera de tabla y matriz de datos) y los acotamientos o aclaraciones.

- Gráficas; Las gráficas tienen como objetivo mostrar tendencias más que datos puntuales. También son muy útiles para comparar visualmente los resultados de los grupos; sobre todo se emplean para resaltar hallazgos o resultados importantes.
- Figuras o imágenes; Estas consisten en iconografías que pretenden mostrar resultados específicos. En particular son muy útiles cuando la descripción de un fenómeno con textos se hace compleja.
- Gráfico de cajas y bigotes; Es una gráfica de cajas, la cual muestra una raya interior horizontal que corresponde al valor de la mediana, el borde inferior de la caja es el percentil 25 o cuartil 1 (Q1) y el borde superior equivale al percentil 75 o cuartil 3 (Q3). Los bigotes o líneas horizontales superior e inferior equivalen a los percentiles 10 y 90. Esta gráfica es muy útil para la comparación de grupos cuando la distribución no es normal, es decir, cuando no hay simetría de las cajas respecto a la mediana.

2.8. Características, composición y efectos de los fuegos artificiales

Singh *et al.*, (2019) señalan que, a pesar de los impactos potenciales de los eventos de contaminación antropogénica a corto plazo del uso de fuegos artificiales, hay un número limitado de estudios centrados en el impacto de las emisiones relacionadas con los fuegos artificiales en la calidad del aire y la salud pública. La mayoría de los estudios son de India y China. La literatura actual, incluyendo datos de diferentes países alrededor del mundo, proporciona evidencia clara del impacto de los fuegos artificiales sobre la calidad del aire y la visibilidad, aunque sea por cortos períodos de tiempo.

Robles *et al.*, (2017), definen que la composición de los fuegos artificiales son una mezcla de productos químicos que mediante reacciones de oxidación – reducción, producen efectos visuales, térmicos y auditivos.

Robles *et al.*, (2017), cita a Conklig, 1985; Steinhäuser y Klapötke, 2008; refieren en la pirotecnia, las especies químicas utilizadas incluyen una variedad de iones negativos (aniones) que contienen enlaces de alta energía como Cl-O o N-O. Los agentes oxidantes más comúnmente utilizados en pirotecnia son nitrato de potasio (KNO_3), nitrato de amonio (NH_4NO_3), nitrato de sodio (NaNO_3), clorato de potasio (KClO_3), perclorato de potasio (KClO_4), perclorato de amonio (NH_4ClO_4), nitrato de bario ($\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$) y nitrato de estroncio ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$). Con menor frecuencia, se utilizan compuestos orgánicos tales como nitrato de guanidinio ($\text{CH}_5\text{N}_3\text{HNO}_3$) y nitrato de nitroguanidina ($\text{CH}_4\text{N}_4\text{O}_2\text{HNO}_3$). En otros casos se

utiliza el perclorato de nitronio (NO_2ClO_4), cromato de bario (BaCrO_4), cromato de calcio (CaCrO_4), cromato de plomo (PbCrO_4), dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y peróxidos alcalinotérreos (SrO_2 , BaO_2). Pocas veces se utilizan mezclas que contienen tetraóxido de trihierro (Fe_3O_4) o nitrato de plomo (II) ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$)

Además de un oxidante, las mezclas pirotécnicas también contienen un combustible o donador de electrones, que reacciona con el oxígeno producido por el oxidante, y como consecuencia, produce un compuesto oxidado además de calor. Los combustibles deben de presentar estabilidad al aire y a la humedad, y se pueden dividir en tres categorías: metales, no metálicos y compuestos orgánicos. Los combustibles metálicos más utilizados son el Al y el Mg. También, varios elementos no metálicos fácilmente oxidados tienen un amplio uso en el campo de la pirotecnia, que incluyen al C, S, B, Si y P. Asimismo, en la pirotecnia se utiliza una gran variedad de combustibles orgánicos, que además de generar calor, generan una presión significativa de gas a través de la producción de CO_2 y vapor de agua en la zona de reacción. De la familia de los carbohidratos se utilizan la glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), sacarosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), lactosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) y almidón ($(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$). Las dextrinas obtenidas de la hidrólisis del almidón son utilizadas ampliamente en la pirotecnia como combustible y aglutinante. Los agentes colorantes son normalmente sales de metales, en general se utiliza Ba^{2+} para el color verde, Sr^{2+} para el color rojo, Cu^+ o Cu^{2+} para el azul y Na^+ para el amarillo. La presencia de metales en los fuegos artificiales genera bastante preocupación ya que son emitidos en una cantidad significativa al medio ambiente. En la Figura 2 observamos la composición de algunos tipos de pirotecnia más comúnmente utilizado.

Robles *et al.*, (2017), cita a Kulshrestha *et al.*, 2004; Moreno *et al.*, 2007; en la identificación y cuantificación de metales presentes en el material particulado se lleva a cabo principalmente por espectroscopia de emisión atómica por plasma acoplado por inducción (ICP-AES) para cationes y espectroscopia de masas por plasma acoplado por inducción (ICP-MS) para trazas de metales, Otra técnica es la fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, también se ha utilizado la emisión de rayos X inducida por partículas. Es necesario el uso de este tipo de técnicas con límites de detección lo suficientemente bajos como para detectar concentraciones mínimas de metales presentes en el ambiente.

Composición (%) de algunos tipos de pirotecnia más comúnmente utilizados											
Compound	Roman Candle			Microstars			Firefly	Strobe lights	Stars rain	Chrysan- themum	Stars bomb
	Red	Green	White	1	2	3					
KClO ₃	70	28									
KClO ₄										70	
Ba(ClO ₃) ₂		53									
NH ₂ ClO ₄								50-60			50-60
KNO ₃			51			50	45-55			7	
Sr(NO ₃) ₂						30					
Ba(NO ₃) ₂						40					
BaSO ₄							7				
K ₂ Cr ₂ O ₇									5		5
Na ₂ SO ₄									10-20		10-20
SrCO ₃	15										
S			18	20	30	12.5	0-10			12	
Mg				40	40				20-30		20-30
Accaroid resin	10	10									
Dextrine	4	4	3								
Carbon 150 mesh	1	5	3								
Gunpowder			15							72	
Antimony powder			10								
Charcoal pine						37.5	35-65				
Aluminum 18-30 mesh							4.6				
Rice starsch							5			2	
Hemp coal										18	
Carbon 40/100 mesh										7	
Aluminum dark pyro										7	
Aluminum 80/120										7	

Figura 2: Composición de algunos tipos de pirotecnia más comúnmente utilizado
FUENTE: Robles, et al. (2017)

En la Figura 3. Se observa que en diversas festividades alrededor del mundo el principal metal presente en dichas emisiones es el K, debido a su presencia en muchas sales usadas para la preparación de las mezclas; le siguen en concentración S, Al, Ba, Mg, Ca, Na, Si, Fe, Sr, Cu, P, Co, Ti, Pb, Zn, Mn, Cr, V, As y Ni. Para la US Environmental Protection Agency (EPA).

Concentración observada de metales en el aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante diversos festivales alrededor del mundo								
Metal	Diwali festival in Hyderabad, India	Las Fallas festival in Valencia, España	Celebration of FIFA 2006 in Milan, Italia	Sant Joan fiesta in Girona, España	Diwali festival in Delhi, India	New Year's eve 2005 in Hawaii, Estados Unidos	Sant Joan fiesta in Alicante, España	Spring festival in Beijing, China
Al	35		0.698		38.4	7.295	22.5	
As	0.025	0.0016		0.0006		0.0076	0.08	
Ba	15	0.236	0.156	0.261	16.8	0.504	7.43	1.079
Ca		1.2	0.645	0.3	16.5		6.84	2.011
Co		0.0004		0.0002			1.7	0.00427
Cr		0.0026	0.011		0.29	0.158	0.15	
Cu		0.061	0.105	0.0175	0.55	6.697	2.2	0.158
Fe	1.2	0.4	1.731	0.1	6.3	0.606	0.850	
K	58	3.8	0.991	1.3	46.8	61.016	384	8.855
Mg	2	0.3	0.598	0.2	21.3	18.409	7.060	1.284
Mn	0.1		0.030	0.005	0.93	0.088	0.065	
Na	0.4	0.2		0.3	13.5	21.743	1.44	2.32
Ni	0.075	0.0031	0.005	0.0045	0.007	0.006	0.018	
P		0.05		0.0158	1.4			
Pb		0.247	0.057	0.0228	0.36	0.253	1.27	0.287
S			1.176		53.2		80.9	
Si			1.368				3.0	
Sr	0.58	0.031	0.139	0.106	0.14	1.719	5.75	0.233
Ti		0.04	0.046	0.014	1.7	0.057	0.610	0.14
V	0.012	0.012		0.0046	0.33		0.190	0.00594
Zn		0.077	0.190	0.0746	0.82	0.581	0.362	0.1285
Meteorological conditions	---	---	VV (~1 m/s)	---	T (14.7 - 35 °C) VV (0.7 - 1 m/s) HR (19 - 92 %)	VV (2 - 4 m/s)	T (19 - 30 °C)	T (-9 - 2 °C)
Reference	Kulshrestha et al., 2004	Moreno et al., 2007	Vecchi et al., 2008	Moreno et al., 2010	Saïkar et al., 2010	Licardine et al., 2012	Crespo et al., 2012	Jing et al., 2014

Figura 3: Concentración observada de metales en el aire durante diversos festivales alrededor del mundo
FUENTE: Robles, et al. (2017)

a) Tipos y características de los fuegos artificiales

El Departamento de Recursos Naturales de Wisconsin de Estados Unidos, señala que los fuegos artificiales brillantes tienen el potencial de generar altas concentraciones de humo, lo que puede tener efectos en la salud. De otro lado, los colores brillantes de los fuegos artificiales se crean a partir de las sales metálicas en polvo que los fabricantes de pirotecnia agregan a los proyectiles explosivos de los fuegos artificiales. El cobre produce azul, el bario proporciona verde y el estroncio produce rojo. El magnesio en polvo proporciona destellos blancos intensamente brillantes; de hecho, el magnesio se quema con tanta intensidad que también se usa en bengalas de iluminación militar

b) Composición química de la emisión de los juegos artificiales

Según UTAH Department of Environmental Quality (2021), el humo de los fuegos artificiales se compone principalmente de dos tipos de partículas: partículas gruesas (PM_{10}) y partículas finas ($\text{PM}_{2.5}$). La exposición a corto plazo a la contaminación por partículas finas puede generar problemas de salud, especialmente para los niños, los adultos mayores y las personas con afecciones respiratorias. Este humo puede agravar la enfermedad pulmonar, causar ataques de asma y bronquitis aguda, y también puede aumentar la susceptibilidad a las infecciones respiratorias. En personas con enfermedades cardíacas, las exposiciones a corto plazo se han relacionado con ataques cardíacos y arritmias.

Las partículas no son los únicos contaminantes relacionados con los fuegos artificiales. Desde el azufre y el potasio en la pólvora que los alimenta hasta los metales pesados que proporcionan las explosiones de color, los fuegos artificiales contienen una potente mezcla de compuestos tóxicos. Aunque el perclorato, un oxidante que alimenta la reacción, tiende a disiparse durante la combustión, aún se pueden encontrar restos en el suelo y el agua después de los espectáculos de fuegos artificiales. Los metales pesados proporcionan los colores que asociamos con los espectáculos de fuegos artificiales: bario para los verdes brillantes, compuestos de litio y estroncio para los estallidos de rojo, cobre para los destellos de azul y aluminio para el blanco deslumbrante. Estos metales se pueden inhalar o llegar al agua y al suelo. Si bien es poco probable que una exhibición de fuegos artificiales cause efectos duraderos en la salud, la exposición repetida puede ser problemática.

c) Efectos del uso de los fuegos artificiales en la salud y ambiente

Yao *et al.*, (2019) mencionan que los fuegos artificiales fueron una fuente importante de $PM_{2.5}$ en Shanghái durante los Festivales del 2013 al 2017 en China. Las concentraciones de $PM_{2.5}$ en Shanghái aumentaron más de 10 veces en unas pocas horas en la víspera del Festival, debido a los fuegos artificiales. Los fuegos artificiales hicieron una contribución promedio del 51,9% a las $PM_{2.5}$ en Shanghái durante el Festival de 2013, con una contribución horaria máxima del 90,5%. El feriado del Festival tuvo una duración de 168h, y el 73% de esta duración estuvo afectado por fuegos artificiales.

De otro lado, según el Departamento de Recursos Naturales de Wisconsin de Estados Unidos, los más afectados por la generación de contaminantes provenientes de los fuegos artificiales son los niños, los adultos mayores y las personas con afecciones respiratorias o cardíacas. Las exposiciones a corto plazo pueden agravar la enfermedad pulmonar, causando asma y bronquitis aguda, y aumentando la susceptibilidad a infecciones respiratorias. En personas con enfermedades cardíacas, las exposiciones breves al humo de los fuegos artificiales se han relacionado con ataques cardíacos y arritmias.

- Efectos sobre la salud del material particulado

Alfaro (2020), menciona que los efectos agudos y crónicos a la salud han sido positivamente asociados con la exposición al material particulado. Cuánto más pequeña es la partícula más probable será que penetre más profundamente en los pulmones, llegando, a veces, a alterar los procesos celulares. Asimismo, cita a la OMS (2018), donde indican que los efectos agudos y crónicos a la salud han sido positivamente asociados con la exposición al material

particulado. Cuánto más pequeña es la partícula más probable será que penetre más profundamente en los pulmones, llegando, a veces, a alterar los procesos celulares.

De acuerdo a la Organización Mundial de Salud (OMS), si los niveles de contaminación de aire se encuentran por debajo o muy debajo de sus valores máximos referenciales, mejor será la salud de la población.

- Efectos sobre la salud de Dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO)

Alfaro (2020), describe que el dióxido de azufre (SO_2) puede afectar al sistema respiratorio y las funciones pulmonares, y causa irritación ocular. La inflamación que se produce en el sistema respiratorio puede provocar tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y bronquitis crónica, asimismo, aumenta el riesgo de que las personas contraigan infecciones del sistema respiratorio. Por otro lado, la combinación con el agua, el SO_2 se convierten en ácido sulfúrico, que es el principal componente de la lluvia ácida.

Asimismo, Alfaro (2020), refiere que la exposición al monóxido de carbono puede provocar dolores de cabeza, síntomas de gripe, mareos, cansancio, falta de memoria, entre otros. Este gas es capaz de entrar al torrente sanguíneo e impedir que el oxígeno entre al organismo, lo cual puede causar daños en los tejidos y producir la muerte.

2.9. Investigaciones relacionadas con el tema

En el Perú como en diversos países las celebraciones de fin de año generan la preocupación por la quema de fuegos artificiales y de materiales inertes como son los papeles, plásticos, madera, entre otros; estos desperdicios incrementan la emisión de contaminantes al ambiente lo cual afectan la calidad del aire.

Lai y Brimblecombe (2017) mencionan que las actividades humanas son un factor clave de la contaminación del aire, por lo que no es sorpresa que las celebraciones afecten la calidad del aire. Asimismo, aluden que los fuegos artificiales conducen a picos de corto plazo en la concentración de PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y SO_2 . Estos picos se dan en las primeras horas del Año Nuevo Chino; en las ciudades donde los fuegos artificiales parecen estar mejor regulados, hay menos picos de contaminación justo después de la medianoche, aunque aún se puede encontrar una baja calidad del aire en los alrededores de algunas ciudades, lejos de las influencias regulatorias.

En diversas partes del mundo, la pirotecnia es ampliamente usada durante celebraciones religiosas, culturales, deportivas, nacionales y familiares, que, aunque son actividades lúdicas y de espectáculo, han generado preocupación por la emisión de contaminantes que no solo dañan la calidad del aire, sino que pueden provocar efectos tóxicos en los espectadores y en los ecosistemas (Robles et al. 2017).

Robles *et al.*, (2017), cita a (Baranyai et al., 2015), e indican que el efecto de la pirotecnia se incrementa aún más cuando los eventos pirotécnicos se realizan en áreas urbanas con altos niveles de contaminación ambiental, donde la emisión temporal de material particulado, gases y compuestos orgánicos volátiles deteriora aún más la calidad ambiental. A la vez cita a (Fleischer et al., 1999), quien indica que El uso de fuegos artificiales se localiza en países como China, India, España, Alemania, Italia, EUA, México entre muchos otros, donde su uso en celebraciones es muy común, pero pueden ocasionar un efecto negativo en la calidad del aire. Diversos estudios indican que durante la exhibición de fuegos artificiales existe un aumento significativo de trazas de metales en el aire y en algunas ocasiones también se producen contaminantes altamente tóxicos como dioxinas y furanos policlorados.

Lin (2016), indica que un gran número de investigación sugieren que los niveles ambientales de material particulado al aire libre aumentan significativamente durante el espectáculo de fuegos artificiales. Además, el material particulado permanece suspendido en el aire, lo que contribuye a altas concentraciones durante un largo período. El material particulado incrementado por la quema de fuegos artificiales comprende principalmente partículas esféricas finas y ultra finas.

Lin (2016), concluye en su investigación que los niveles de material particulado en el aire aumentan significativamente durante la quema de fuegos artificiales; que estos permanecen suspendido en el aire hasta por un mes posterior a las festividades, causando altas concentraciones de material particulado un largo periodo; y las partículas finas y ultra finas generadas por la quema de fuegos artificiales son más tóxicas y parecen tener un efecto a la salud más negativo en comparación con las partículas gruesas.

Pandey *et al.*, (2016), en su investigación analizó los datos de concentración disponibles durante la noche del festival para cinco contaminantes, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂ y CO (Material particulado, Dióxido de azufre, Dióxido de nitrógeno y Monóxido de carbono) en seis lugares clave de Delhi. Después del análisis, reportó que la concentración de PM₁₀ en Anand Vihar durante la noche de Diwali era 8 veces mayor que los valores de 24 horas

prescritos por sus Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiental; en su aeropuerto de IGI registró una concentración más baja, aunque alrededor de 3,5 veces el del estándar de referencia; para el caso de $PM_{2.5}$ reportaron como las más altas y más bajas en las líneas RK Puram y Civil, respectivamente, en ambos casos superaron con los valores estándar de referencia; los contaminantes restantes SO_2 , NO_2 y CO no mostraron valores superiores, lo que indica un mejor escenario en comparación con años anteriores.

Dickerson *et al.*, (2016), señalan que la primera conmemoración oficial del Día de la Independencia se celebró con fuegos artificiales el 4 de julio de 1777 en Filadelfia y Boston” y que la tradición ha continuado. Asimismo, menciona que los fuegos artificiales pueden influenciar en las concentraciones de diversos contaminantes en el aire; las celebraciones pueden producir material particulado (MP), una mezcla heterogénea de componentes de partículas y líquidos.

Seidel & Birnbaum (2015), señalan en su investigación que no había estudios hasta la fecha que hubiesen explorado los efectos de los fuegos artificiales sobre la calidad del aire en grandes regiones, en su estudio utiliza observaciones de material particulado fino (con diámetros de partículas $< 2.5 \mu m$, $PM_{2.5}$) de 315 sitios de monitoreo de la calidad del aire en los Estados Unidos para estimar los efectos del Día de la Independencia. “Las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ durante la tarde del 4 de julio y la mañana del 5 de julio son más altas que en los dos días anteriores y siguientes en julio, considerados como días de control. En el promedio nacional, los aumentos son más grandes ($21 mg/m^3$) a las 9:10 p.m. el 4 de julio y caen a cero al mediodía del 5 de julio. Las concentraciones promedio para el período de 24 horas que comienza a las 8 pm el 4 de julio son $5 mg/m^3$ (42%) mayores que en los días de control, en el promedio nacional. La magnitud y el calendario de los aumentos del Día de la Independencia varían de un sitio a otro y de un año a otro, como cabría esperar dadas las variaciones en factores como las emisiones de $PM_{2.5}$ de los fuegos artificiales, las condiciones meteorológicas locales y las distancias entre los fuegos artificiales y los sitios de monitoreo. En un sitio adyacente a fuegos artificiales, los niveles de $PM_{2.5}$ por hora aumentan a $500 mg/m^3$, y las concentraciones promedio de 24 horas aumentan en $48 mg/m^3$ (370%). Estos resultados tienen implicaciones para posibles mejoras en los modelos de calidad del aire y sus predicciones, que actualmente no tienen en cuenta esta fuente de emisiones”.

Han *et al.*, (2014), señalan que su estudio tiene como objetivo revelar las distribuciones espaciales y temporales de los contaminantes debido a las celebraciones del Año Nuevo chino, que la escala y el grado de tales influencias son mucho más grandes de lo que la gente pensaba. Han *et al.* (2014), indica que se encontraron cambios dramáticos en las concentraciones de partículas de aerosol para el Año Nuevo chino en Wuhan, el promedio más alto de concentraciones horarias de $PM_{2.5}$, medido en diez estaciones de monitoreo, esto es 7 veces superior a las concentraciones medidas en días normales. Además, no observaron ningún cambio en la relación de $PM_{2.5}/PM_{10}$, lo que implica que la influencia de las actividades de quema de fuegos artificiales en la concentración de material particulado no es selectiva. Se encontró una correlación lineal significativa entre la concentración de $PM_{2.5}$ y el área residencial en áreas urbanas, lo que puede ser útil para evaluar futuras distribuciones de contaminantes de celebraciones anuales similares en China. Además, encuentran que la influencia de las actividades de los fuegos artificiales en la atmósfera llega hasta 500m, y que la influencia duró más de 4 horas. La capa de contaminación se extendió desde el suelo a más de 300m de altitud inmediatamente después de que comenzaran las celebraciones y persistió 200-350m sobre el suelo durante un largo tiempo antes de la deposición seca. Las influencias desaparecieron 15 horas después de que terminaron las principales actividades de fuegos artificiales.

Baranyai *et al.*, 2014, evaluaron polvo de follaje en la ciudad de Debrecen (Hungría) antes y después del espectáculo de fuegos artificiales, organizado el 20 de agosto para la celebración de un evento histórico. Las muestras de hojas (*Tilia tomentosa*) se recolectaron alrededor de la ubicación del área de festividades. Los sitios de muestreo se dividieron en cinco áreas: centro de la ciudad (centro), sureste (SE), suroeste (SW), noreste (NE) y noroeste (NW). Encontraron que la cantidad de partículas de polvo depositadas aumentó significativamente después del espectáculo de fuegos artificiales en comparación con la referencia. Su estudio confirmó los hallazgos previos de que la altura relativamente alta de las detonaciones permite que los productos químicos se dispersen en las fracciones de aerosol finas y ultra finas; por lo tanto, los contaminantes emitidos por los fuegos artificiales no aumentan el nivel de los elementos tan marcadamente en el polvo depositado como en la fracción inhalable.

Chatterjee *et al.*, (2013), citan a (Barman *et al.*, 2009), e indican que Diwali es el festival de las luces y se celebra con gran entusiasmo en toda la India cada año durante octubre y noviembre. Disparar fuegos artificiales es una actividad integral de las celebraciones durante

Diwali. Los fuegos artificiales emiten gases traza y partículas que incluyen metales a la atmósfera, que generan densas nubes de humo, cuya concentración depende de la composición de los fuegos artificiales.

Mandal *et al.*, (2012), señalan en su estudio realizado que, en las áreas residenciales de Delhi, India, para evaluar la variación en la calidad del aire ambiente y los niveles de ruido ambiental durante el mes anterior al Diwali (DM), el día de Diwali (DD) y el mes posterior al Diwali durante el período 2006-2008. Concluyen que el uso de fuegos artificiales durante el DD mostró un incremento de 1.3 a 4.0 veces en la concentración de material particulado (PM_{10}) y un incremento de 1.6 a 2.5 veces en la concentración de material particulado suspendido total (TSP) que la concentración durante el DM. También hubo un aumento significativo en la concentración de dióxido de azufre (SO_2) pero la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) no mostró ninguna variación considerable”.

Asimismo, Mandal *et al.*, (2012), señalan que la contaminación atmosférica y acústica atmosférica urbana está recibiendo una mayor atención en los años actuales debido a su impacto significativo en la salud humana y el medio ambiente. Las personas que viven en áreas urbanas, están expuestas a una mezcla compleja de contaminantes ambientales debido a la distribución heterogénea y espacial de las fuentes de emisión y las condiciones meteorológicas.

Camilleri & Vella (2010), evaluaron el efecto de los fuegos artificiales en la calidad del aire durante las festividades religiosas en el archipiélago Malta, se recolectó material particulado (PM_{10}) principalmente de dos sitios, en una zona urbana (Malta) y el otro en una zona rural (Gozo) durante julio y agosto de 2005, cuando se celebraron 59 fiestas y en septiembre y octubre de 2005, cuando solo ocurrieron 11 festividades. Los resultados mostraron que, en Malta y Gozo los niveles de concentración de PM_{10} y metales medidos como medias semanales fueron significativamente más elevados durante julio y agosto en comparación con septiembre y octubre, Dichos hallazgos apuntaban al hecho de que la quema de fuegos artificiales en las fiestas religiosa contribuye de manera significativa y durante un período prolongado cada año a la contaminación en Malta, donde la PM_{10} es un problema de calidad del aire intratable.

Thakur *et al.*, (2010), refieren que la pirotecnia, durante las celebraciones festivas locales pueden causar una contaminación del aire intensa y a corto plazo. Deepawali (fiesta de la luz) es una fiesta anual que se celebra en la India durante los meses de octubre y noviembre,

con gran actividad en la atmósfera de fuegos artificiales. La concentración de contaminantes atmosféricos tales como SPM (partículas en suspensión), PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ y NO₂ fueron monitoreados durante seis días consecutivos en Salkia, una zona densamente poblada y residencial, cerca de Calcuta en la India, con el fin de evaluar el impacto que representan los fuegos artificiales sobre la calidad del aire”.

Singh *et al.*, (2009), hacen mención que Diwali es uno de los principales festivales religiosos de la India. Celebrándose cada año durante octubre y noviembre en un lapso de pocos días. Sin embargo, la mayoría de la quema se produce el día principal del festival.

Singh *et al.*, (2009), en su investigación muestran que la quema de fuegos artificiales con motivo del festival de Diwali es una fuente importante de TSP, PM₁₀, SO₂ y NO₂ en el aire y se emiten en cantidades muy altas, de dos a seis veces la cantidad emitida en los días no festivos. Sin embargo, las altas concentraciones disminuyen bruscamente en las próximas 48 horas, lo que indica su acumulación durante algunas horas solo en el aire. El aumento en los valores de TSP, PM₁₀, SO₂ y NO₂ en general puede atribuirse a condiciones meteorológicas adversas. Observaron una fuerte correlación entre TSP, PM₁₀, SO₂ y NO₂ y los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento).”.

Andrade & Zaratti, (2007), indican que en Bolivia la tradición de quemar madera y otros trastes viejos en la noche de San Juan, emite a la atmósfera grandes cantidades de contaminantes como son aerosoles (humo y ceniza), dióxido de carbono y sustancias químicas que son derivadas de la quema de los fuegos pirotécnicos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

- a) Datos de concentraciones de PM₁₀ y PM_{2,5} recopilados de la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), para el periodo 2013 – 2021.
- b) Datos de concentraciones de SO₂, NO₂ y CO recopilados de la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), para el periodo 2013 – 2021.
- c) Laptop Core i3, Sistema operativo Windows 10 y Office 2019.

3.2. Metodología

3.2.1. Área de estudio

De acuerdo al documento “Diagnóstico de la Gestión de la calidad ambiental del Aire de Lima y Callao (2019)”, se considera cuenca atmosférica al volumen de aire que se encuentra separado de otro por aspectos topográficos y/o meteorológicos, siendo que las fuentes de emisión y los impactos están localizados en el área geográfica que responde al mismo volumen del aire.

Asimismo, dicho documento refiere, recogiendo la recomendación brindada por el SENAMHI, ante la escasa información disponible para la determinación del comportamiento de la capa límite atmosférica en el área metropolitana de Lima y Callao, se mantiene la delimitación de la cuenca atmosférica planteada en el Primer Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima – Callao 2005-2010 (PISA I).

De acuerdo al PISA I elaborado en el año 2004, la delimitación de la Cuenca Atmosférica del Área Metropolitana Lima-Callao se realizó en base al comportamiento de los flujos de viento locales y a las configuraciones topográficas, teniendo como límite la curva de nivel de 800 m.s.n.m., salvo para la cuenca del Rímac, en la que se considera 1 000 m.s.n.m., tomando como criterio el crecimiento poblacional hasta la referida altitud.

3.2.2. Determinación horaria y diaria del material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} generado en las celebraciones de fin de año.

a. Recopilación y organización de datos horarios de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}).

Para la evaluación de la variación horaria y diaria se requirió datos de PM₁₀ y PM_{2.5}, que fueron obtenidos de la red de monitoreo de calidad de aire de Lima Metropolitana.

La calidad del aire en Lima Metropolitana se mide a través de la Red de Monitoreo Automático de Calidad del Aire a cargo de SENAMHI, la red consiste de 10 estaciones (Tabla 6), las cuales reportan promedios horarios y están distribuidas en cuatro zonas de Lima Metropolitana (Tabla 7), Lima Norte, Lima Centro, Lima Sur y Lima Este.

Tabla 6: Ubicación geográfica de las Estaciones de Calidad de Aire en Lima Metropolitana

Estación	Ubicación		
	Latitud (S)	Longitud (W)	Altura de la toma de muestra (m)
Puente Piedra	11.85°	77.07°	3
Carabayllo	11.90°	77.03°	6
San Juan de Lurigancho	11.97°	76.98°	6
San Martín de Porres	12.00°	77.08°	6
Campo de Marte	12.0705°	77.0432°	3
Santa Anita	12.0433°	76.9714°	13
Ate	12.0261°	76.9186°	3
Huachipa	12.02°	76.93°	13
San Borja	12.1086°	77.0078°	3
Villa María del Triunfo	12.1664°	76.92°	3

FUENTE: SENAMHI (2015).

Tabla 7: Ubicación por zona de las estaciones de Calidad de Aire

Zona	Ubicación	Abreviatura
Lima Norte	Lima Norte 1: San Martín de Porres	SMP
	Lima Norte 2: Carabayllo	CRB
	Lima Norte 3: Puente Piedra	PPD
Lima Centro	Lima Centro 1: San Borja	SBJ
	Lima Centro 2: Campo de Marte	CDM
Lima Este	Lima Este 1: Ate	ATE
	Lima Este 2: Santa Anita	STA
	Lima Este 3: Huachipa	HCH
	Lima Este 4: San Juan de Lurigancho	SJL
Lima Sur	Lima Sur 1: Villa María del Triunfo	VMT

FUENTE: SENAMHI (2015).

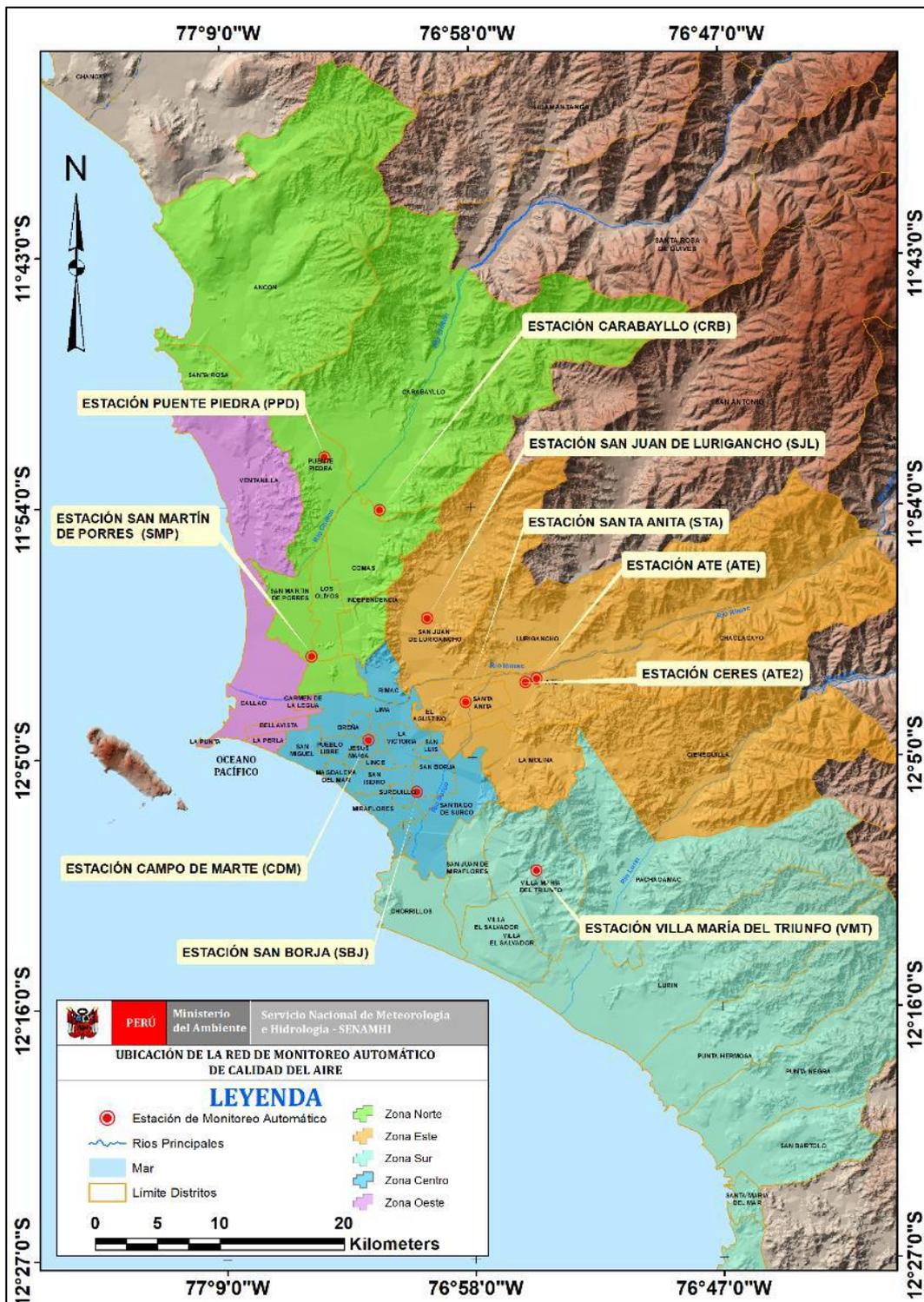


Figura 4: Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire
 FUENTE: SENAMHI (2021)

b. Elaboración de gráficas de variación horaria y variación del promedio diario de las variables en evaluación.

Se realizaron gráficos de serie temporal a nivel horario y del promedio diario, con los datos recopilados de la red de monitoreo de calidad de aire de Lima Metropolitana.

Para el análisis e interpretación, se han analizado periodos similares en cada una de las 4 zonas de Lima Metropolitana, la variación temporal o evolución temporal nos permite comprender el comportamiento del contaminante para los periodos de estudio.

c. Evaluación de las anomalías de concentración durante los días de celebración.

De los datos horarios de concentración recopilados de PM_{10} , $PM_{2.5}$, se lograron los parámetros estadísticos descriptivos, a través del programa Excel. Para lo cual se calculó los promedios diarios de los datos de concentración y se generó series de tiempo horaria y diaria para observar su comportamiento; se calculó el promedio del mes de diciembre excluyendo los días de celebración. Asimismo, se elaboraron graficas de cajas y bigotes, que nos permitieran visualizar y comparar la distribución de los datos recopilados mediante cuartiles.

d. Evaluación del impacto de las celebraciones de fin de año.

Se realizó la comparación horaria y del promedio diario de la concentración de PM_{10} , $PM_{2.5}$, con los estándares para un periodo de 24 horas de la concentración establecido en la Guía de Calidad de Aire de la OMS y los estándares también para un periodo de 24 horas de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del aire del Perú.

3.2.3. Determinación horaria y diaria de los gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2) generado en las celebraciones de fin de año.

a. Recopilación y organización de datos horarios de los gases monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2)

Para la evaluación de la variación horaria y diaria se requirió datos de los gases monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2), que fueron obtenidos de la red de monitoreo de calidad de aire de Lima Metropolitana. (Ver Tabla 6 y 7).

b. Elaboración de gráficas de variación horaria y variación del promedio diario de las variables en evaluación.

Se realizaron gráficos de serie temporal a nivel horario y del promedio diario, con los datos recopilados de la red de monitoreo de calidad de aire de Lima Metropolitana.

Para el análisis e interpretación, se han analizado periodos similares en cada una de las 4 zonas de Lima Metropolitana, la variación temporal o evolución temporal nos permite comprender el comportamiento del contaminante para los periodos de estudio.

c. Evaluación de las anomalías de concentración durante los días de celebración.

De los datos horarios de concentración recopilados de los gases CO, NO₂ y SO₂, se lograron los parámetros estadísticos descriptivos, a través del programa Excel. Para lo cual se calculó los promedios diarios de los datos de concentración y se generó series de tiempo horaria y diaria para observar su comportamiento; se calculó el promedio del mes de diciembre excluyendo los días de celebración. Asimismo, se elaboraron graficas de cajas y bigotes, que nos permitieran visualizar y comparar la distribución de los datos recopilados mediante cuartiles.

d. Evaluación del impacto de las celebraciones de fin de año.

Se realizó la comparación horaria y del promedio diario de la concentración de CO, NO₂ y SO₂, con los estándares para un periodo de 24 horas de la concentración establecido en la Guía de Calidad de Aire de la OMS y los estándares también para un periodo de 24 horas de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del aire del Perú.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación temporal del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ generado en las celebraciones de fin de año.

4.1.1. Evaluación de la concentración de PM_{10} para las estaciones de Lima Centro

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de PM_{10} registrados para las estaciones de “San Borja” y “Campo de Marte”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

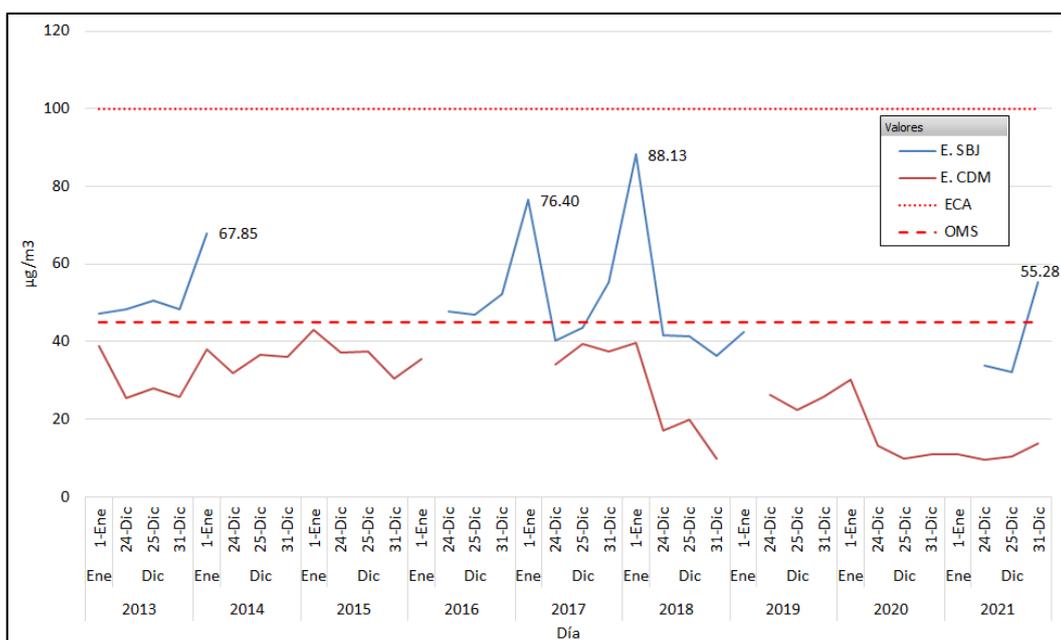


Figura 5: Evolución diaria de la concentración de PM_{10} en las estaciones de Lima Centro

En la Figura 5, el promedio diario de la concentración de material particulado PM_{10} registrado de las celebraciones de fin de año por la estación San Borja, para los años 2013, 2016, 2017, 2018 y 2021, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2013, 2016 y 2017 con una concentración de 67.85, 76.40 y 88.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; para esta estación podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire. Para la estación Campo de Marte, los resultados del promedio diario no sobrepasaron el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de PM₁₀ registrados por las estaciones de “San Borja” y “Campo de Marte”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2013 al 2021.

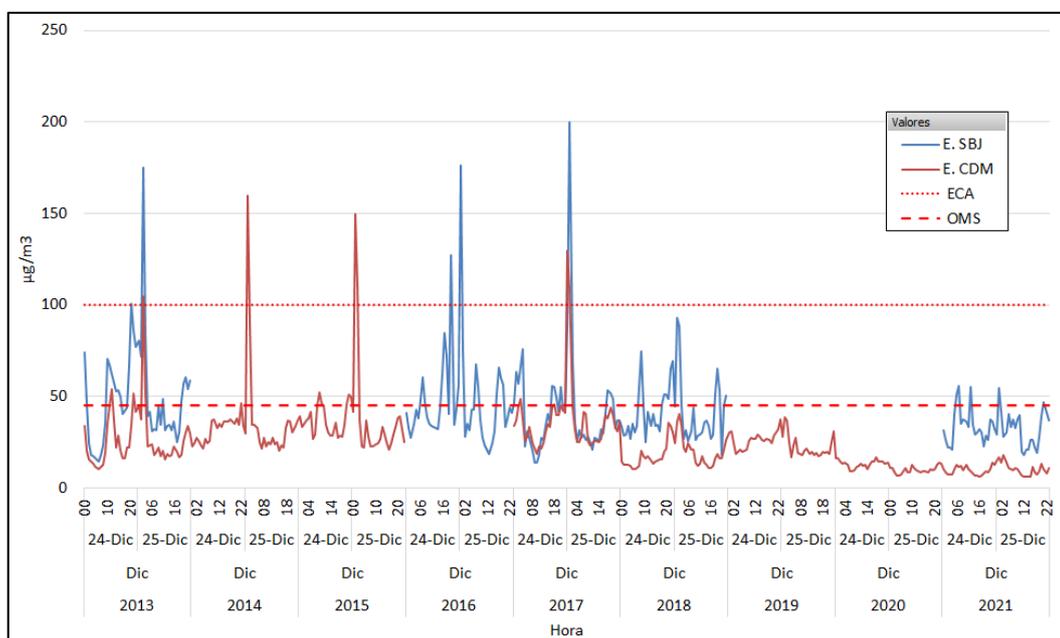


Figura 6: Registro horario de PM₁₀ para navidad en las estaciones de Lima Centro

En la figura 6 se puede evidenciar que la estación de San Borja presentó los valores máximos que sobrepasaron los 150µg/m³ hasta los 200µg/m³. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad de los años 2013, 2016 y 2017 años en los cuales a la vez se ha sobrepasado el ECA para aire sobre todo en horas de la noche buena; estos años y los años en los cuales también se registraron datos para esta estación podemos evidenciar que sobrepasaron el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Campo de Marte en los años 2014 y 2015 presento los valores máximos próximos a los 150µg/m³, sin embargo, también presenta valores que sobrepasaron los 100µg/m³ en los años 2013 y 2017; años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la noche buena, caso contrario ha pasado en los años 2018 al 2021 donde los datos horarios registrados no superaron el ECA para aire ni el valor guía de la OMS.

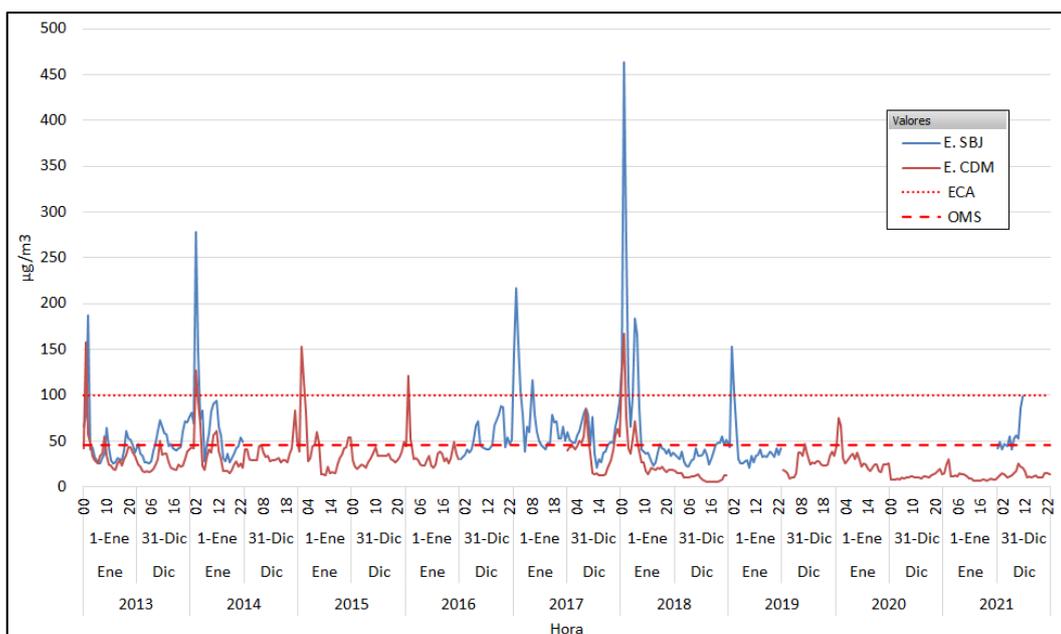


Figura 7: Registro horario de PM₁₀ para fin de año en las estaciones de Lima Centro

En la figura 7 se puede evidenciar que la estación de San Borja presentó los valores máximos que sobrepasaron los 200µg/m³ hasta los 450µg/m³. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de fin de año de los años 2013, 2016 y 2017, para el 2018 también presento un máximo próximo a los 150µg/m³; en dichos fines de año a la vez se ha sobrepasado el ECA para aire sobre todo en horas de la medianoche; estos años y los años en los cuales también se registraron datos para esta estación podemos evidenciar que sobrepasaron el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Campo de Marte los fines de años 2013, 2014, 2015 y 2017 presentaron valores que sobrepasaron los 100µg/m³; años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche, caso similar con el año 2019 que solo sobrepasa el valor guía de la OMS.

Tabla 8: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
SBJ	Fin de Año 2013	46.59	96	53.79	34.41	277.83	14.44	33.68	46.21	66.77
	Fin de Año 2016	63.96	96	55.76	32.05	216.10	18.44	37.20	45.72	65.62
	Fin de Año 2017	50.95	96	56.80	57.41	463.60	13.98	29.75	40.97	60.28
	Fin de Año 2018	47.53	96	40.39	18.99	153.40	17.76	29.65	34.40	45.19
	Fin de Año 2021	43.42	60	37.40	14.65	98.30	18.22	28.12	35.86	41.77

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 8, se observa que, la Estación de monitoreo San Borja tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2013, 2016, 2017, 2018 y 2021. Asimismo, los años 2018 y 2021 presentaron datos más homogéneos en comparación a los años 2013, 2016 y 2017, debido a que la desviación estándar es menor en comparación a estos últimos. Para los años 2013 y 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2017, y anomalía negativa los años 2018 y 2021.

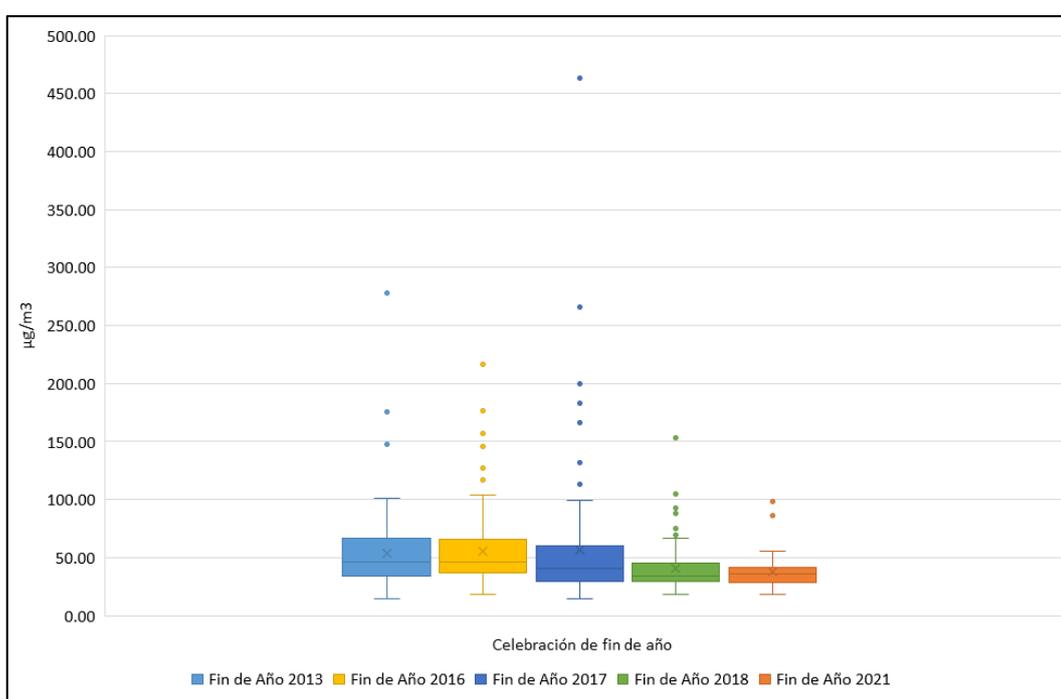


Figura 8: Diagrama de cajas y bigotes de PM₁₀, Estación San Borja en Lima Centro

En la figura 8 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados no son tan dispersos en su distribución debido a que el rango inter cuartil es menor, presentando una mediana entre los valores de 34.40 y 46.21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2013, 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 277.83, 216.10, 463.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Tabla 9: Resultados estadísticos, Estación Campo de Marte en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CDM	Fin de Año 2013	31.81	96	29.33	18.67	126.95	10.20	18.12	22.79	35.66
	Fin de Año 2014	38.66	96	36.87	23.35	159.70	12.94	25.54	32.47	37.50
	Fin de Año 2015	36.80	96	35.13	18.60	149.74	19.46	26.76	31.42	37.01
	Fin de Año 2017	38.36	96	37.64	24.90	167.60	12.03	22.31	33.28	43.83
	Fin de Año 2018	20.90	72	15.56	7.70	40.65	5.23	11.13	13.86	18.27
	Fin de Año 2019	26.55	96	26.15	9.74	74.75	9.27	19.68	24.83	30.09
	Fin de Año 2020	17.14	96	11.21	3.64	29.63	6.35	8.71	10.68	13.22
	Fin de Año 2021	13.20	72	11.15	3.73	25.09	6.10	8.59	10.44	12.99

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 9, se observa que, la Estación de monitoreo Campo de Marte tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2013 al 2021 a excepción del 2016. Asimismo, los años 2018, 2019 y 2021 presentaron datos más homogéneos en comparación a los años 2013, 2014, 2015, 2017 y 2019, debido a que la desviación estándar es menor en comparación a estos últimos. Para los años de data recopilada, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no fue mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2014, 2017 y 2019, y anomalía negativa los años 2015, 2018, 2020 y 2021.

En la figura 9 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2018, 2020 y 2021 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 10.44 y 33.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2014, 2015 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 159.70, 149.74 y 167.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

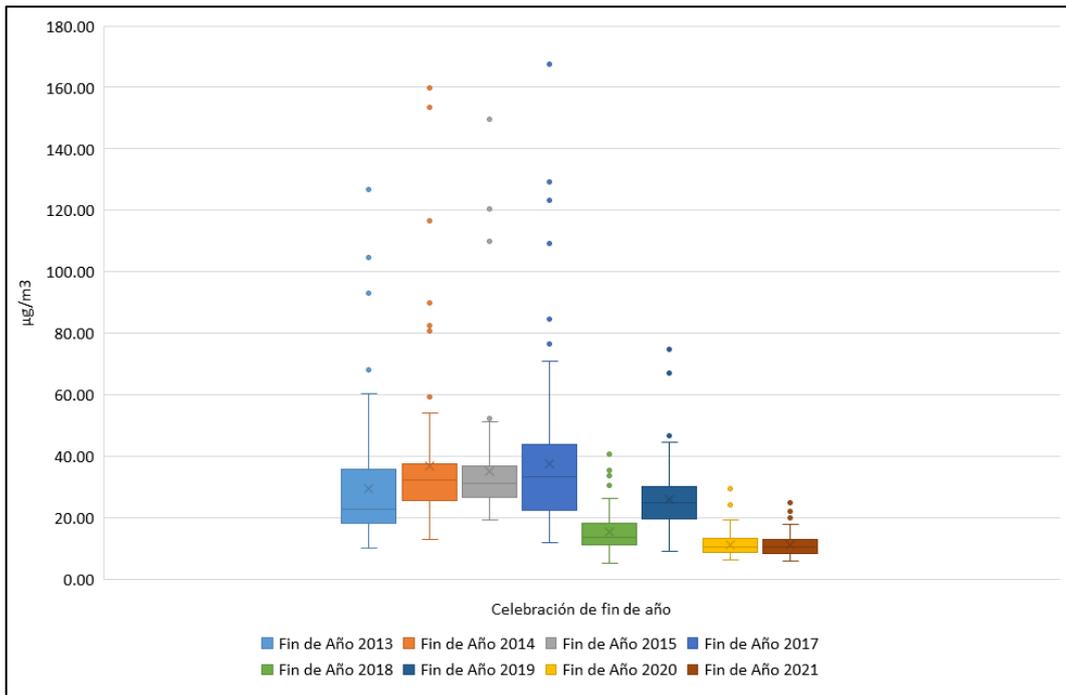


Figura 9: Diagrama de cajas y bigotes de PM₁₀, Estación Campo de Marte en Lima Centro

4.1.2. Evaluación de la concentración de PM₁₀ para las estaciones de Lima Sur

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de PM₁₀ registrados para la estación de “Villa María del Triunfo”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

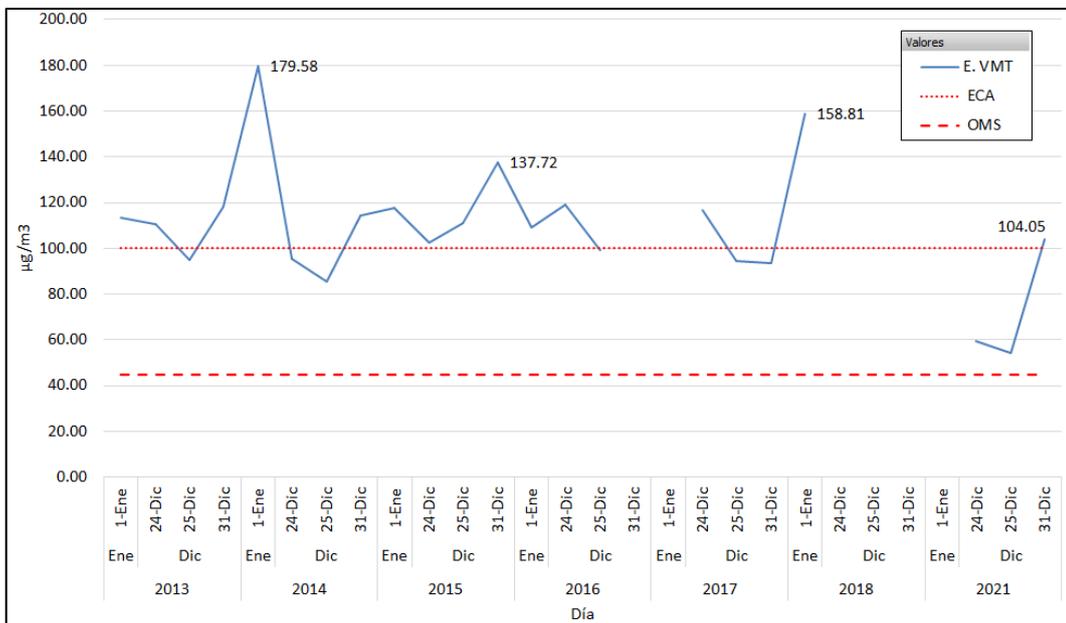


Figura 10: Evolución diaria de la concentración de PM₁₀ en las estaciones de Lima Sur

En la Figura 10, el promedio diario de la concentración de material particulado PM₁₀ registrado de las celebraciones de fin de año por la estación Villa María del Triunfo, para los

años 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2021, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2013, 2015 y 2017 con una concentración de 179.58, 137.72 y 158.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; para esta estación podemos evidenciar que se sobrepasó el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS. Para la festividad de navidad de los años 2014, 2017 y 2021, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de PM_{10} registrados por la estación de “Villa María del Triunfo”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2021.

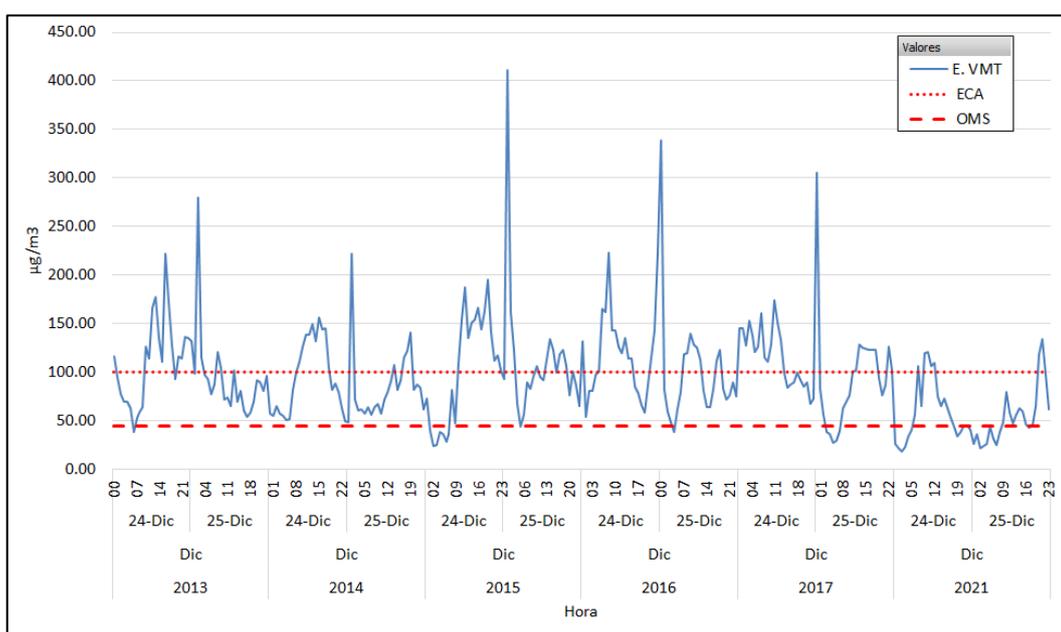


Figura 11: Registro horario de PM_{10} para navidad en la estación de Lima Sur

En la figura 11 se puede evidenciar que la estación de Villa María del Triunfo presentó los valores máximos que sobrepasaron los $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los $420\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad de los años 2013 al 2017, años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la noche buena; para la navidad del 2021 fue caso contrario a los años anteriores en el cual se reportaron datos en las horas de noche buena por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

En la figura 12 se puede evidenciar que la estación de Villa María del Triunfo presentó los valores máximos que sobrepasaron los $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los $650\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de fin de año de los años 2013, 2014, 2015 y 2017; en dichos

fin de año se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la medianoche; caso similar con el año 2021 que registró datos hasta los $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ en horas del día.

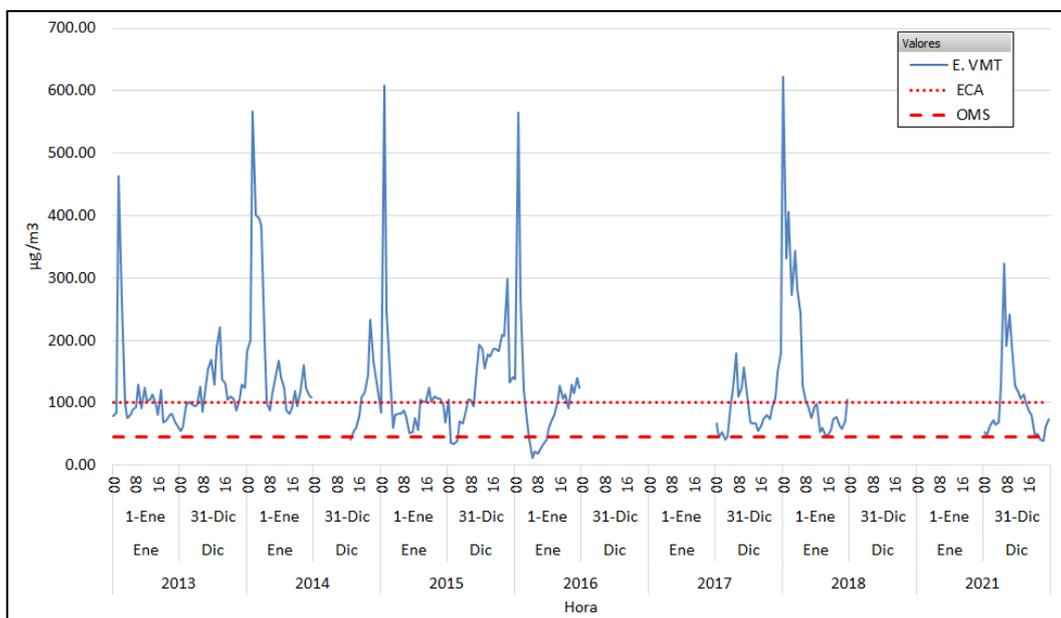


Figura 12: Registro horario de PM_{10} para fin de año en la estación de Lima Sur

En la Tabla 10, se observa que, la Estación de monitoreo Villa María del Triunfo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2013 al 2017 y 2021. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para los años 2013, 2015, 2017 y 2021, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015 y 2017, y anomalía negativa los años 2014, 2016 y 2021.

Tabla 10: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VMT	Fin de Año 2013	99.95	96	125.83	78.81	567.03	38.65	87.28	107.62	134.77
	Fin de Año 2014	130.76	83	101.41	69.72	608.38	41.75	62.20	84.24	114.93
	Fin de Año 2015	104.82	96	115.12	78.85	565.01	11.92	68.30	105.54	140.87
	Fin de Año 2016	119.29	48	109.03	52.20	338.70	39.21	77.16	98.90	128.44
	Fin de Año 2017	103.09	96	115.76	85.74	622.20	27.25	68.31	96.50	127.53
	Fin de Año 2021	51.55	72	72.64	51.74	322.71	18.83	41.26	59.22	95.46

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

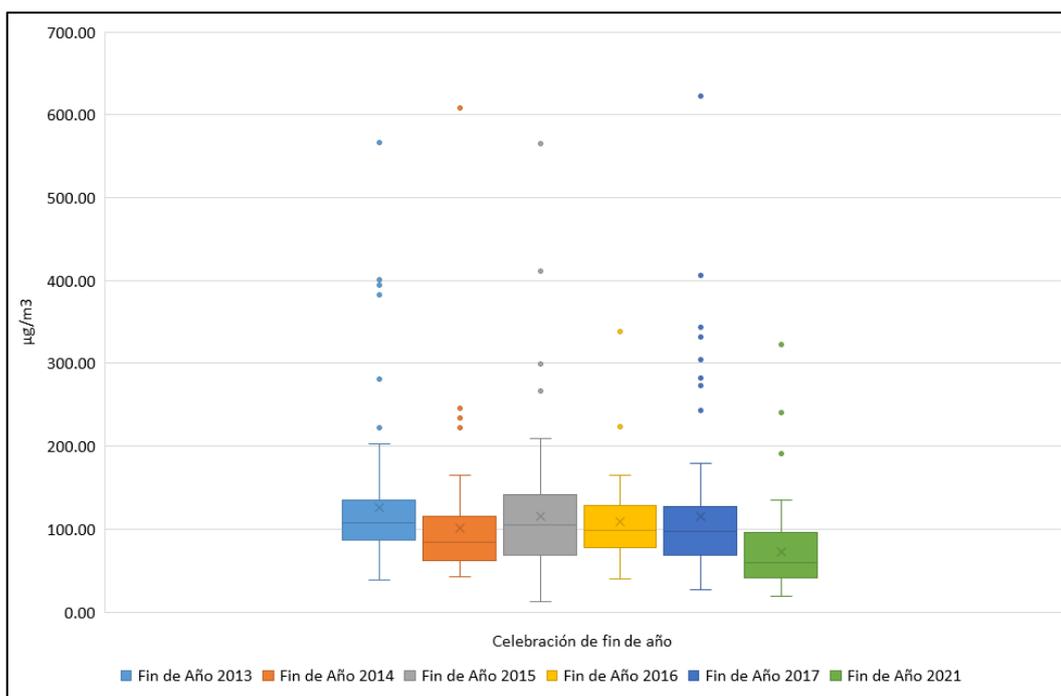


Figura 13: Diagrama de cajas y bigotes de PM₁₀, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

En la figura 13 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados están dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 59.22 y 107.62µg/m³ para los años de información recopilada. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2013, 2014, 2015 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 567.03, 608.35, 565.01 y 622.20µg/m³ respectivamente.

4.1.3. Evaluación de la concentración de PM₁₀ para las estaciones de Lima Este

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de PM₁₀ registrados para para las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

En la Figura 14, el promedio diario de la concentración de material particulado PM₁₀ registrado de las celebraciones de fin de año para la estación Ate, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2013, 2016 y 2017 con una concentración de 211.58, 184.25 y 280.72µg/m³ respectivamente; para la estación Santa Anita, tuvo el promedio diario máximo en las fiestas de fin de año del 2017 con una concentración de 181.06µg/m³; para la estación Huachipa, tuvo el promedio diario máximo en las fiestas de fin de año del 2016 con una concentración de 229.24µg/m³; para la estación San Juan de Lurigancho, tuvo el promedio diario máximo en las fiestas de fin de año del 2016 y 2019 con una concentración

de 161.09 y 176.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; podemos evidenciar que se sobrepasó el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS. Para la festividad de navidad, podemos evidenciar que no todas las estaciones de Lima Este sobrepasaron el ECA para aire.

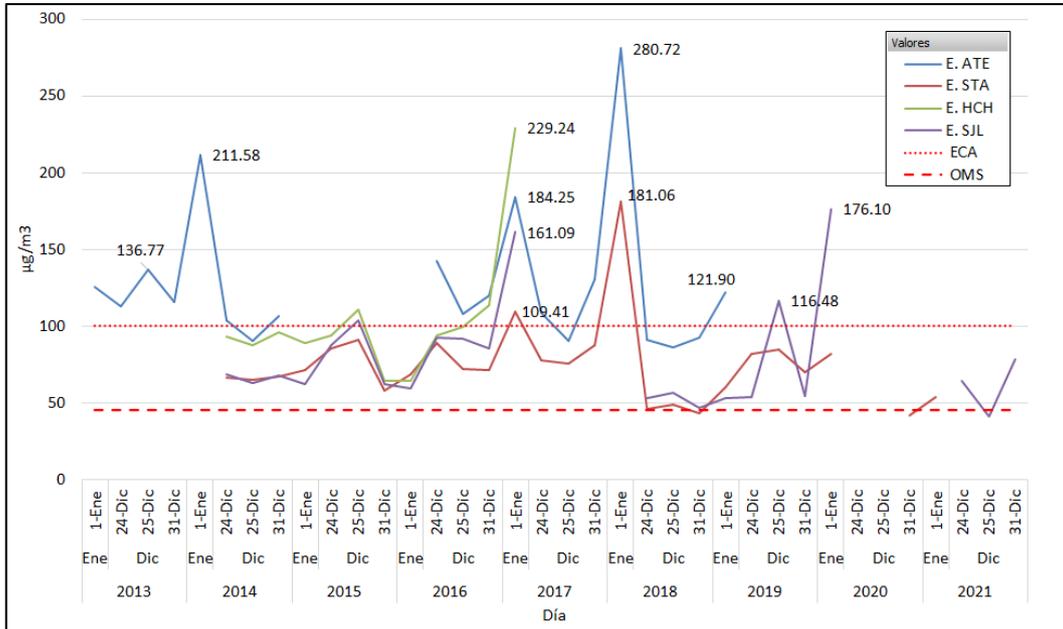


Figura 14: Evolución diaria de la concentración de PM₁₀ en las estaciones de Lima Este

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de PM₁₀ registrados por las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2013 al 2021.

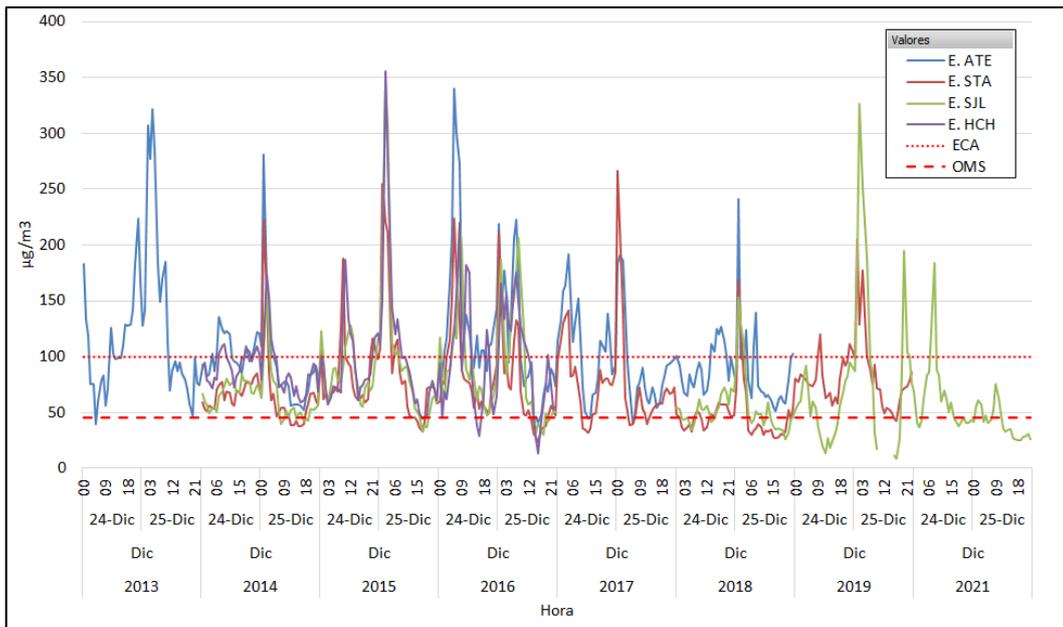


Figura 15: Registro horario de PM₁₀ para navidad en la estación de Lima Este

En la figura 15 se puede evidenciar que la estación de Ate presentó los valores máximos que sobrepasaron los $250\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los $360\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad de los años 2013, 2014 y 2016, para los años 2017 y 2018 estos valores fueron menores a los años anteriores, pero sobrepasaron las $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ sobre todo en horas de la noche buena; sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Santa Anita en los años 2014 al 2019 presento los valores máximos sobre $200\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la noche buena.

Para la estación de San Juan de Lurigancho en los años 2015 al 2019 presento los valores máximos que sobrepasaron los $300\mu\text{g}/\text{m}^3$, para los años 2014, 2016 y 2018 estos valores fueron menores a los años anteriores, pero sobrepasaron las $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ en horas de la noche buena, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la noche buena.; en la navidad el 2021 no se llegó a pasar el ECA para aire, pero sí ligeramente el valor guía de la OMS.

Para el caso de la noche buena en la estación de Huachipa, el año 2015 presentó valores por encima de los $350\mu\text{g}/\text{m}^3$, y los años 2014 y 2016 no llegaron a pasar los $200\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS.

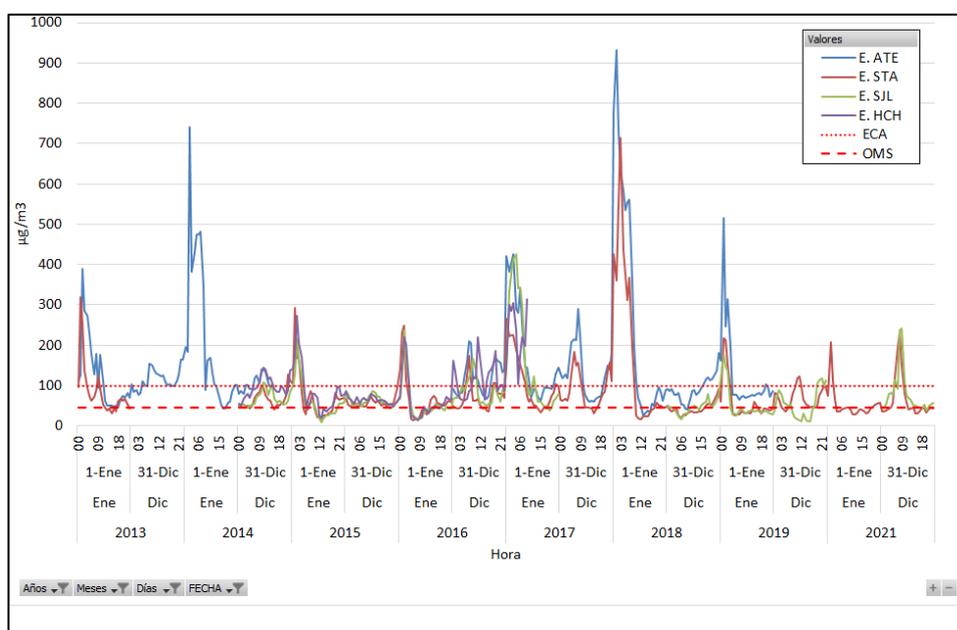


Figura 16: Registro horario de PM_{10} para fin de año en la estación de Lima Este

En la figura 16 se puede evidenciar que la estación de Ate presentó los valores máximos que sobrepasaron los $700\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los $950\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las

fiestas de fin de año de los años 2013 y 2017, para los fines de año del 2016 y 2018 estos valores fueron menores en comparación al 2013 y 2017, pero sobrepasaron las 400 y 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Santa Anita en la fiesta de fin de año del 2017 reportó un valor máximo sobre los 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en los años 2014 al 2019 a excepción del 2017 presentó los valores máximos sobre 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche.

Para la estación de San Juan de Lurigancho en el año 2016 presentó valor máximo que sobrepasó los 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para los años 2014, 2015, 2018 y 2019 estos valores fueron menores al 2016, pero bordeaban las 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche.

Para el caso de la fiesta de fin de año en la estación de Huachipa, para los años 2014, 2015 y 2016 presentó valores por encima de los 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS.

Tabla 11: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2013	104.76	96	144.18	112.20	740.59	39.34	83.98	106.37	160.10
	Fin de Año 2014	110.13	63	99.30	33.36	281.31	52.03	81.76	95.40	109.55
ATE	Fin de Año 2016	120.36	96	138.62	84.50	425.00	40.87	83.33	112.65	157.68
	Fin de Año 2017	116.91	96	152.72	168.93	931.00	26.94	67.48	95.75	152.28
	Fin de Año 2018	124.23	96	97.75	59.82	516.60	41.76	72.26	81.80	101.95

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 11, se observa que, la Estación de monitoreo Ate tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2013 al 2018, excepto 2015. Asimismo, los datos registrados para el 2014 y 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años de data recopilada, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año fue mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre en los años 2013, 2016 y 2017. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2017, y anomalía negativa los años 2014 y 2018.

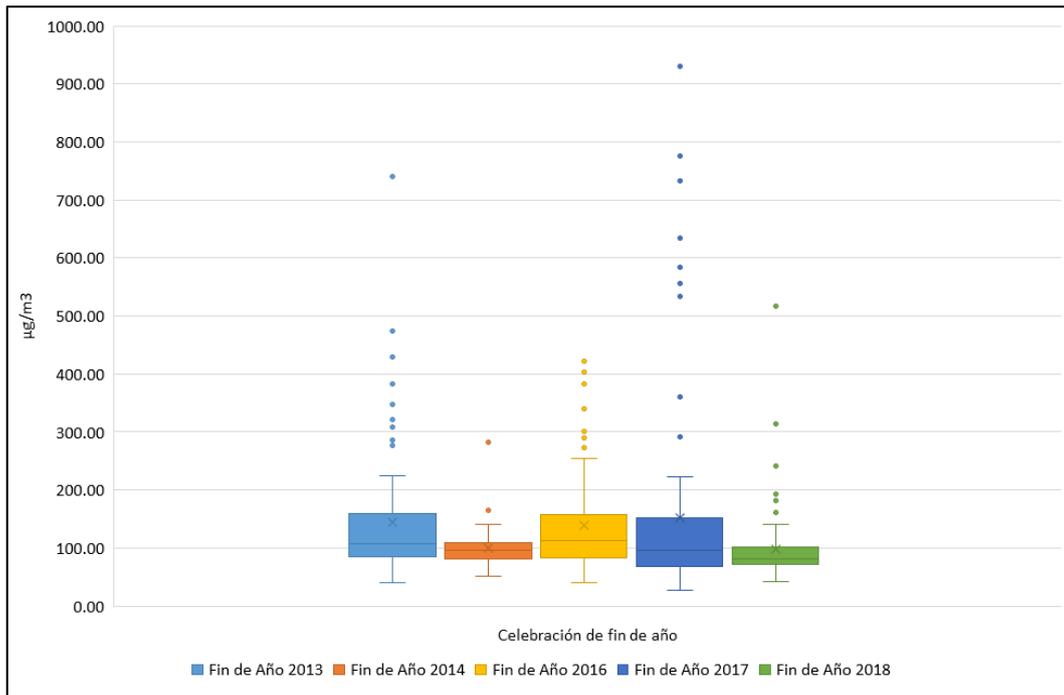


Figura 17: Diagrama de cajas y bigotes de PM₁₀, Estación Ate en Lima Este

En la figura 17 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2014 y 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 81.80 y 112.65µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2013, 2017 y 2018, ubicados por encima de los bigotes, como son 740.59, 425.00 y 931.00µg/m³ respectivamente.

Tabla 12: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
STA	Fin de Año 2014	69.82	96	67.46	38.90	293.73	19.82	49.33	60.53	75.31
	Fin de Año 2015	71.42	96	75.57	46.79	255.00	14.26	50.13	63.03	83.46
	Fin de Año 2016	76.19	96	85.37	52.09	265.90	23.21	48.28	69.07	105.05
	Fin de Año 2017	84.99	96	105.46	116.66	715.00	15.42	46.01	66.82	111.62
	Fin de Año 2018	66.05	96	49.56	33.62	217.90	19.65	32.90	39.88	51.57
	Fin de Año 2019	85.82	96	79.47	38.61	263.40	34.13	52.79	73.86	91.83
	Fin de Año 2020	57.08	43	48.49	29.71	207.80	21.76	35.07	43.60	52.48
	Fin de Año 2021	61.62	24	65.87	53.81	232.70	30.62	37.44	44.03	57.61

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 12, se observa que, la Estación de monitoreo Santa Anita tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2021. Asimismo, los datos registrados para el 2018, 2020 y 2021 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2015, 2016, 2017 y 2021, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015, 2016, 2017, 2019 y 2021, y anomalía negativa los años 2018 y 2020.

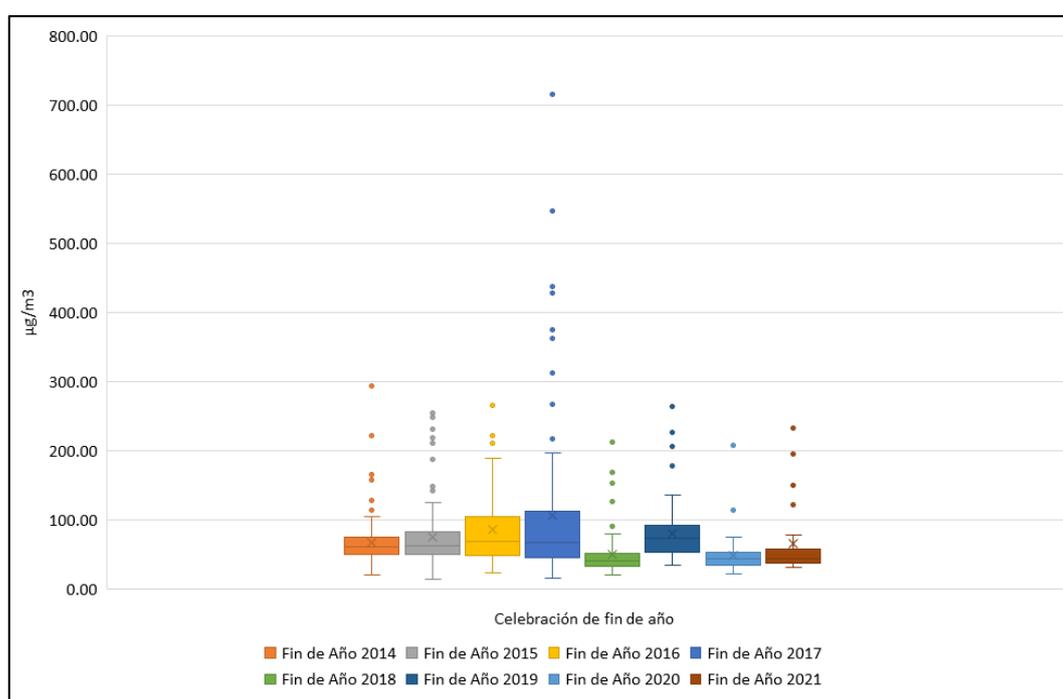


Figura 18: Diagrama de cajas y bigotes de PM₁₀, Estación Santa Anita en Lima Este

En la figura 18 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2018, 2020 y 2021 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 39.88 y 73.86 $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2017, ubicado por encima de los bigotes, como es $715.00\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 13: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	N° Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
HCH	Fin de Año 2014	101.40	96	91.40	36.72	273.68	20.72	71.74	86.07	104.18
	Fin de Año 2015	81.28	96	83.08	52.54	355.30	13.78	56.27	69.09	97.43
	Fin de Año 2016	91.18	82	117.85	64.74	314.10	13.62	66.72	106.30	154.13

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 13, se observa que, la Estación de monitoreo Huachipa tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2016. Asimismo, los datos registrados para el 2014 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2015 y 2016, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2016, y anomalía negativa el año 2015.

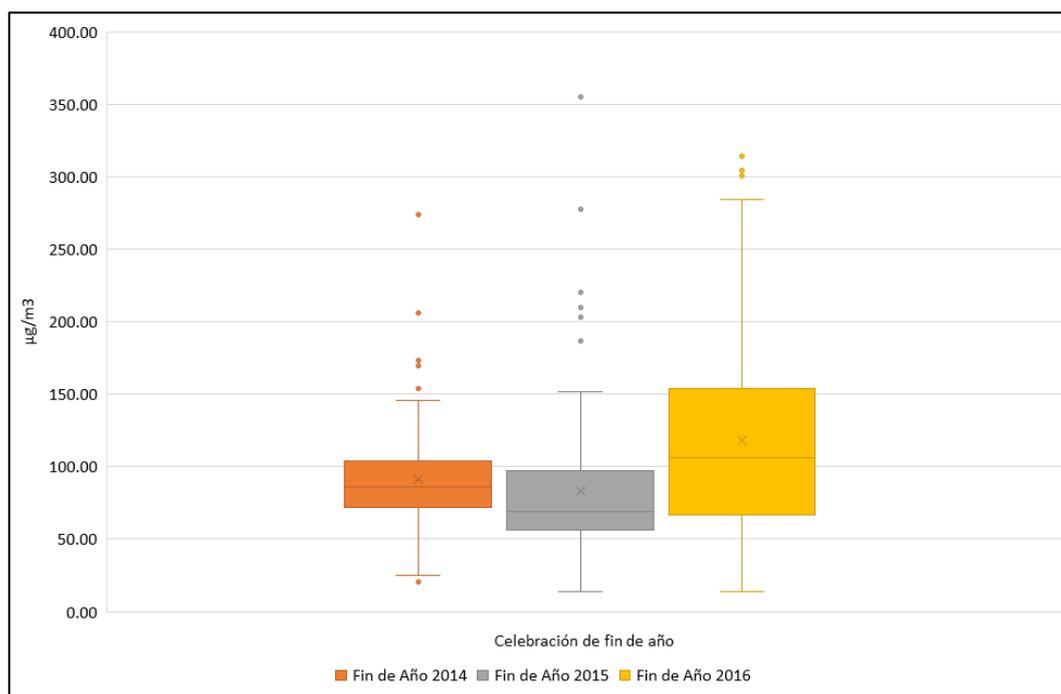


Figura 19: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación Huachipa en Lima Este

En la figura 19 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2014 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 69.09 y $106.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma

que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2015, ubicado por encima de los bigotes, como es $355.30\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 14: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	N° Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SJL	Fin de Año 2014	78.39	96	65.30	30.41	215.70	8.70	49.42	57.67	77.10
	Fin de Año 2015	77.61	96	78.00	52.04	345.90	17.79	48.84	66.06	89.80
	Fin de Año 2016	93.48	96	107.65	83.42	426.80	29.46	57.44	80.65	122.35
	Fin de Año 2018	70.58	96	52.43	28.42	177.00	17.43	36.32	44.80	55.89
	Fin de Año 2019	56.85	84	93.45	105.72	628.50	8.95	32.20	67.74	99.93
	Fin de Año 2021	67.87	72	61.07	39.95	242.00	24.92	40.45	49.39	69.13

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 14, se observa que, la Estación de monitoreo Villa María del Triunfo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2021, a excepción del 2017 y 2020. Asimismo, los datos registrados para el 2014 y 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2015, 2016 y 2019, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015, 2016 y 2019, y anomalía negativa los años 2018 y 2021.

En la figura 20 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2014 y 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 44.80 y $80.65\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016 y 2019, ubicados por encima de los bigotes, como es 426.80 y $628.50\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

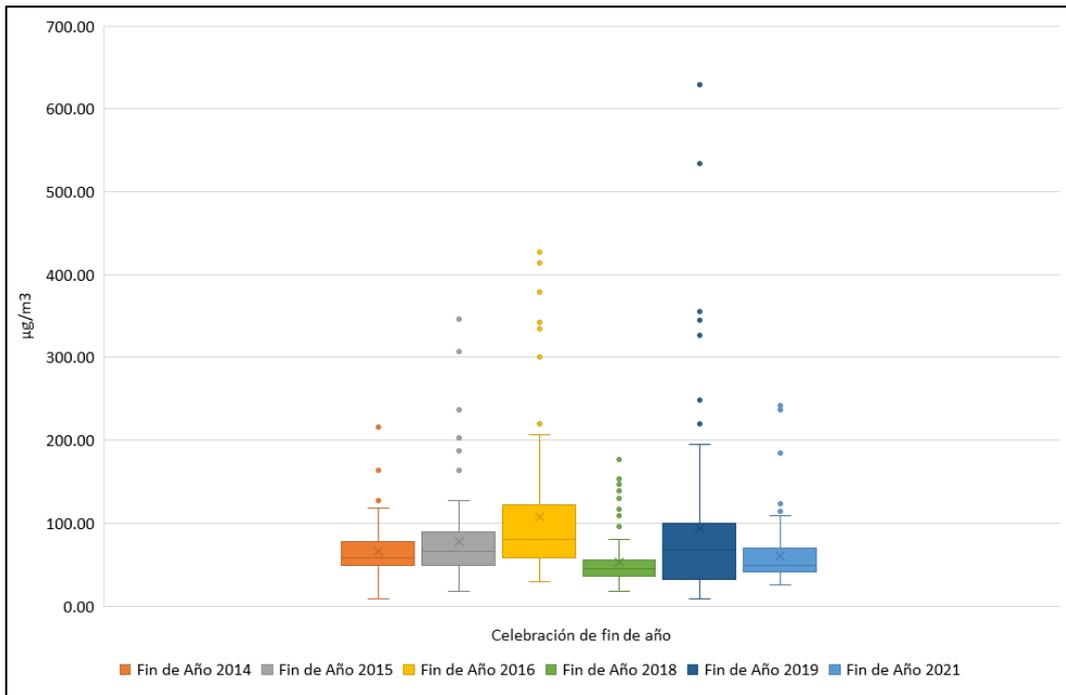


Figura 20: Diagrama de cajas y bigotes de PM₁₀, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

4.1.4. Evaluación de la concentración de PM₁₀ para las estaciones de Lima Norte

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de PM₁₀ registrados para las estaciones “Puente Piedra”, “Carabaylo” y “San Martín de Porres”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

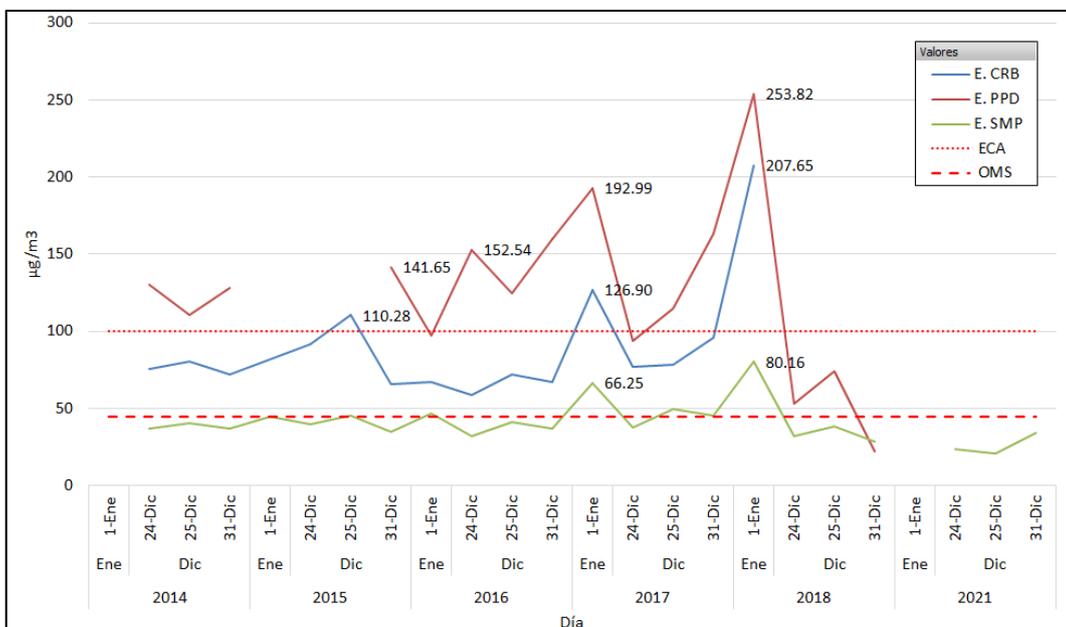


Figura 21: Evolución diaria de la concentración de PM₁₀ en las estaciones de Lima Norte

En la Figura 21, el promedio diario de la concentración de material particulado PM₁₀ registrado de las celebraciones de fin de año para la estación Carabaylo, tuvo el promedio

diario máximos en las fiestas de fin de año del 2016 y 2017 con una concentración de 126.90 y 207.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; para la estación Puente Piedra, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2015, 2016 y 2017 con una concentración de 141.65, 192.99 y 253.82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; para las estaciones de Carabayllo y Puente Piedra podemos evidenciar que se sobrepasó el ECA para aire. Para la estación San Martin de Porres, los resultados del promedio diario de las celebraciones de fin de año, no sobrepasaron el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS, a excepción del año 2016 y 2017, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año, con una concentración de 66.25 y 80.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; también no se sobrepasó el ECA aire en la navidad del 2014, 2016 y 2017 para la estación San Martin de Porres.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de PM_{10} registrados por las estaciones de “Puente Piedra”, “Carabayllo” y “San Martin de Porres”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2014 al 2021.

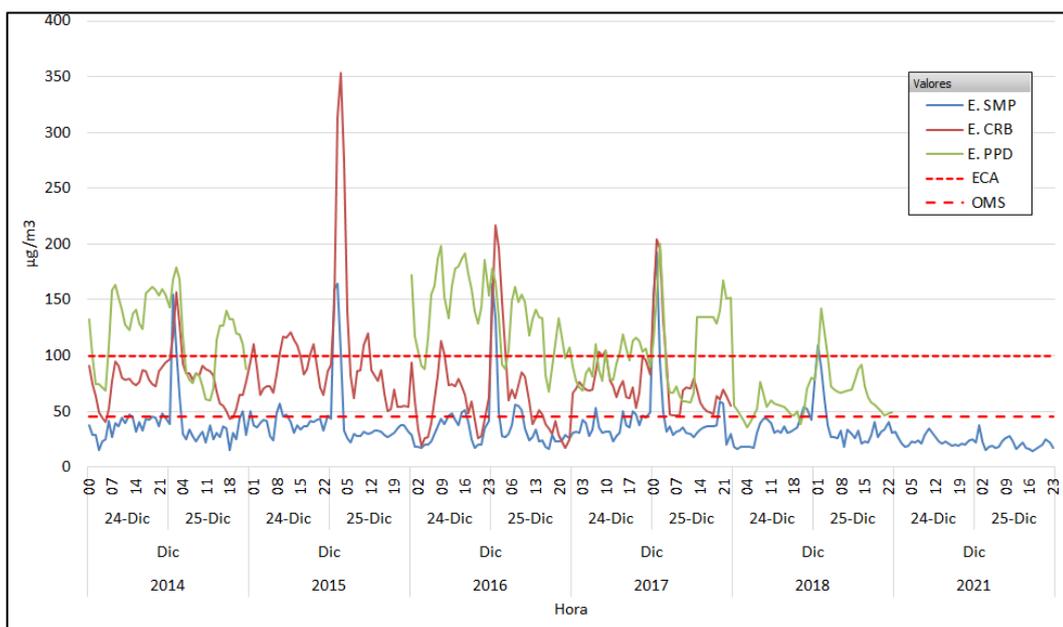


Figura 22: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para PM_{10} en Lima Norte

En la figura 22 se puede evidenciar que la estación de San Martin de Porres presentó los valores máximos entre los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad de los años 2014 al 2018, años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la noche buena; para la navidad del 2021 fue caso contrario a los años anteriores en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

Para la estación de Carabayllo en el año 2015 presentó valor máximo que sobrepaso los $350\mu\text{g}/\text{m}^3$, para los años 2014, 2016 y 2017 estos valores fueron menores al 2015, pero bordeaban entre los 150 y $200\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche.

Para el caso de la fiesta de navidad en la estación Puente Piedra, para los años 2014, 2016 y 2017 presentó valores sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS, desde las primeras horas de la mañana del día 24 de diciembre, descendiendo ligeramente pasando la noche buena hasta horas de la madrugada y volviendo a incrementarse entre las primeras horas del 25 de diciembre y el mediodía. Para la navidad del 2018 el comportamiento de distribución horario se asemeja al comportamiento de la estación de San Martin de Porres.

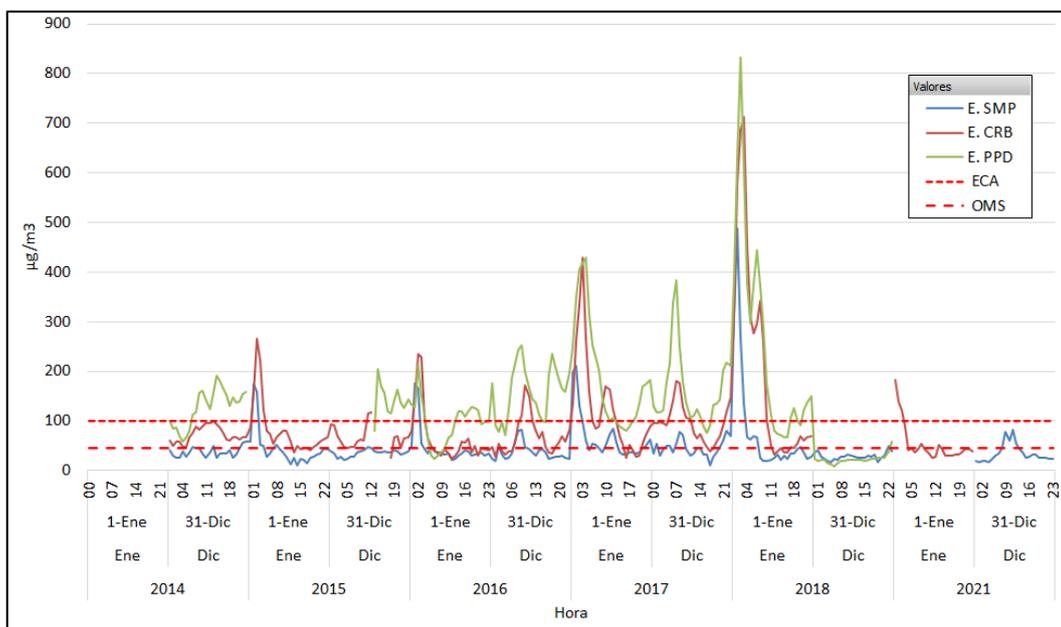


Figura 23: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para PM_{10} en Lima Norte

En la figura 23 se puede evidenciar que la estación de San Martin de Porres presentó valor máximo sobre los $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ en las fiestas de año nuevo del 2017, para los fines de año del 2014 al 2016 estos valores fueron menores en comparación al 2017, sobrepasaron las $150\mu\text{g}/\text{m}^3$; años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la medianoche; para el 31 de diciembre del 2021 fue caso contrario a los años anteriores en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y ligeramente sobrepaso el valor guía de OMS, en horas de la mañana.

Para la estación de Carabayllo en el año 2017 presentó valor máximo que sobrepaso los $700\mu\text{g}/\text{m}^3$, para los fines de año 2014 al 2016 estos valores fueron menores al 2017, pero bordeaban entre los 200 y $450\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la

OMS en horas de la medianoche. Presentando un comportamiento similar a la estación San Martín de Porres.

Para el caso de la fiesta de fin de año en la estación Puente Piedra, para los años 2015, 2016 y 2017 presentó valores sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS, desde las primeras horas de la mañana del día 31 de diciembre, descendiendo ligeramente pasando la medianoche hasta primeras horas de la mañana del 1 de enero. El comportamiento de distribución horario próximo a las horas de la medianoche, se asemeja al comportamiento de las demás estaciones de Lima Norte.

Tabla 15: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SMP	Fin de Año 2014	43.15	96	39.73	25.63	174.90	10.35	27.00	34.77	44.15
	Fin de Año 2015	38.63	96	41.78	27.86	175.16	21.62	30.87	36.51	41.04
	Fin de Año 2016	34.07	96	44.08	33.87	210.63	16.25	25.23	35.92	49.15
	Fin de Año 2017	47.10	96	53.14	62.80	488.02	9.60	30.60	35.66	49.58
	Fin de Año 2018	37.47	72	33.12	15.68	109.28	16.00	25.09	30.53	37.23
	Fin de Año 2021	30.72	72	26.05	12.37	82.62	14.27	19.32	22.60	27.56

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 15, se observa que, la Estación de monitoreo San Martín de Porres tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2018 y 2021. Asimismo, los datos registrados para el 2014, 2015, 2018 y 2021 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años de data recopilada, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año fue mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre en los años 2015, 2016 y 2017. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015, 2016 y 2017, y anomalía negativa los años 2018 y 2021.

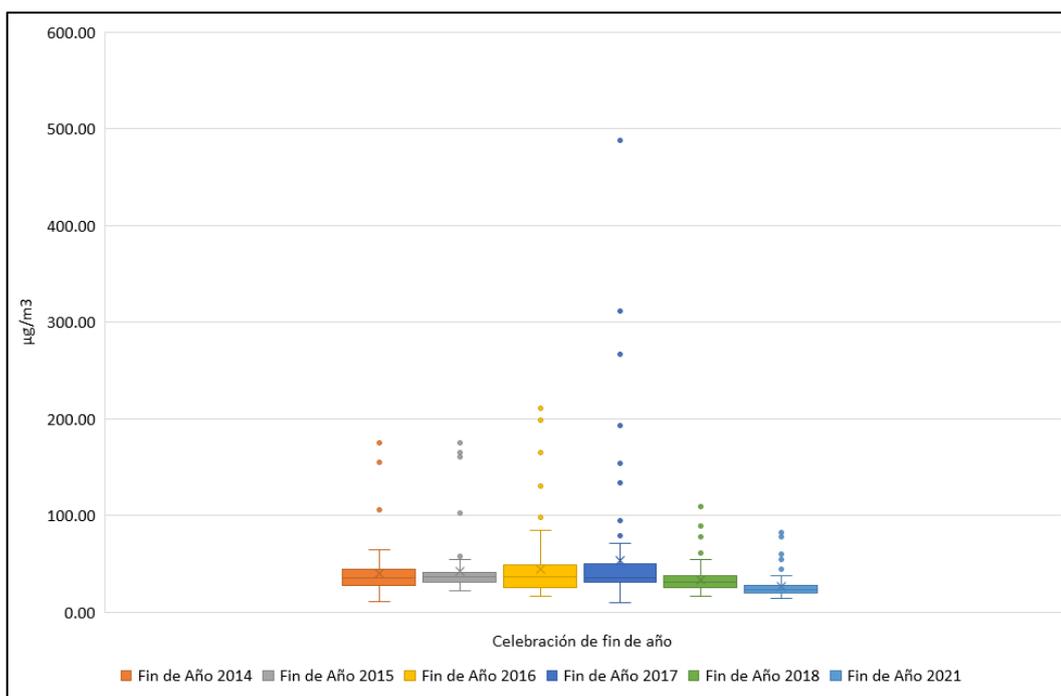


Figura 24: Diagrama de cajas y bigotes de PM₁₀, Estación San Martín de Porres en Lima Norte

En la figura 24 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2015, 2018 y 2021 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 22.60 y 36.51µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 210.63 y 488.02µg/m³ respectivamente.

Tabla 16: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
CRB	Fin de Año 2014	87.40	96	77.38	33.00	266.05	36.05	58.12	74.89	87.14
	Fin de Año 2015	74.87	91	84.58	56.30	353.11	22.54	52.15	69.29	69.29
	Fin de Año 2016	88.28	96	81.05	66.81	428.60	17.00	38.92	61.59	95.85
	Fin de Año 2017	80.27	96	114.73	123.18	712.70	32.85	58.25	71.27	103.28
	Fin de Año 2020	-	24	53.92	39.37	182.30	24.80	31.87	41.37	50.50

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 16, se observa que, la Estación de monitoreo Carabayllo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2017 y 2020. Asimismo, los datos registrados para el 2014 y 2020 son homogéneos en comparación a los demás años

registrados. Para los años 2015 y 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015 y 2017, y anomalía negativa los años 2016 y 2020.

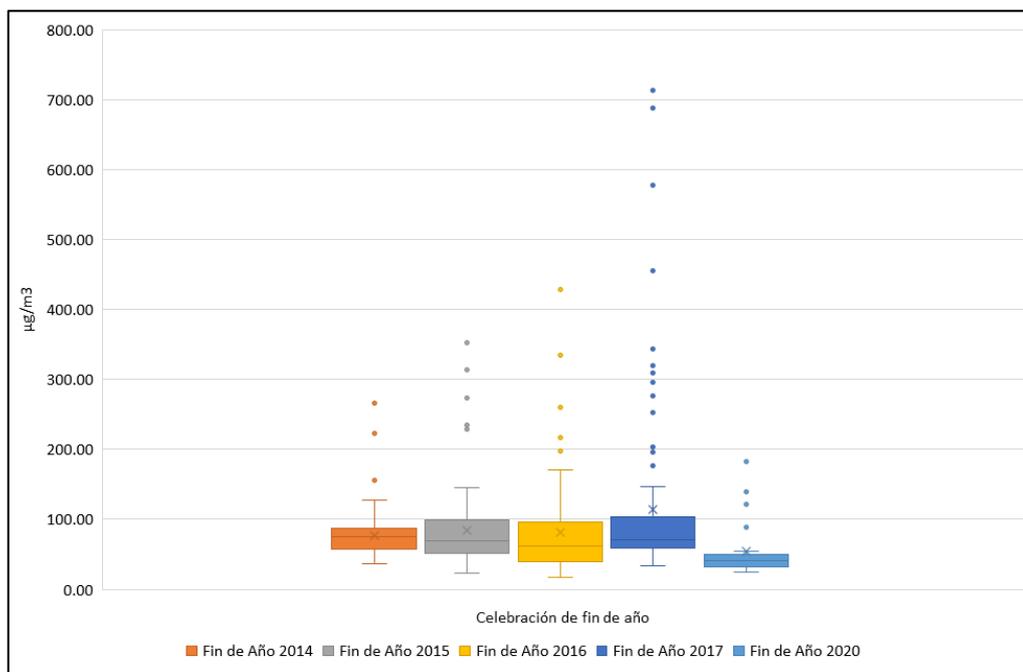


Figura 25: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación Carabaylo en Lima Norte

En la figura 25 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2014, 2015 y 2020 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 41.37 y $74.89\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 428.60 y $712.70\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Tabla 17: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PPD	Fin de Año 2014	123.56	72	122.92	35.68	192.15	57.77	85.24	128.44	154.87
	Fin de Año 2015	130.91	35	111.29	45.85	212.20	23.91	80.60	120.00	136.50
	Fin de Año 2016	129.66	96	157.41	70.01	429.10	67.75	106.58	147.45	183.38
	Fin de Año 2017	124.41	96	156.36	128.61	832.00	58.19	87.10	116.65	151.48
	Fin de Año 2018	74.93	72	49.98	26.49	141.80	8.88	24.30	49.97	67.45

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 17, se observa que, la Estación de monitoreo Puente Piedra tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2018. Asimismo, los datos registrados para el 2014 y 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2016 y 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2016, y anomalía negativa los años 2015, 2017 y 2018.

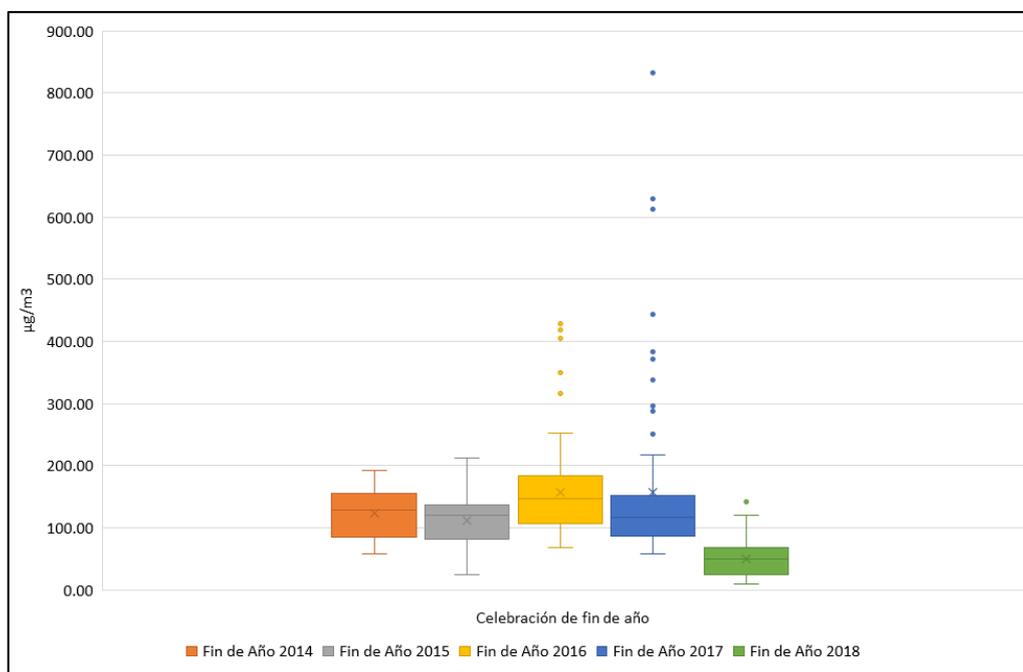


Figura 26: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{10} , Estación Puente Piedra en Lima Norte

En la figura 26 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2015 y 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta

una mediana entre los valores de 49.97 y 147.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como es 429.10 y 832.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

4.1.5. Evaluación de la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ para las estaciones de Lima Centro

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ registrados para las estaciones de “San Borja” y “Campo de Marte”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

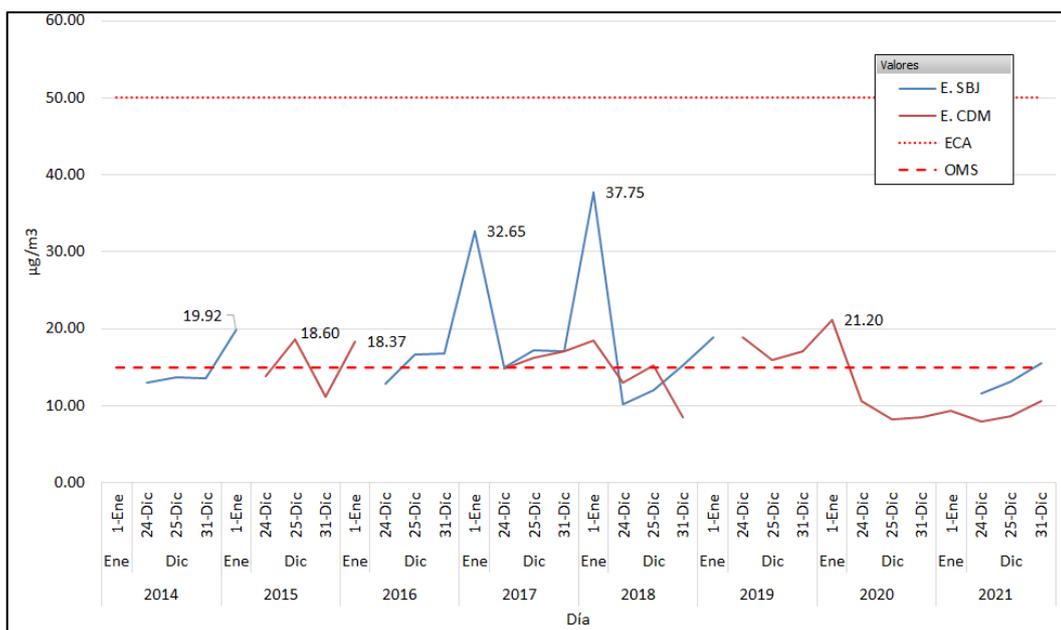


Figura 27: Evolución diaria de la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ en las estaciones de Lima Centro

En la Figura 27, el promedio diario de la concentración de material particulado $\text{PM}_{2.5}$ registrado de las celebraciones de fin de año por la estación San Borja, para los años 2014 al 2021, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2016 y 2017 con una concentración de 33.65 y 37.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; para la estación Campo de Marte, el promedio diario máximo se dio en la fiesta de fin de año del 2016, con una concentración de 21.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para estas estaciones podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de $\text{PM}_{2.5}$ registrados por las estaciones de “San Borja” y “Campo de Marte”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2014 al 2021.

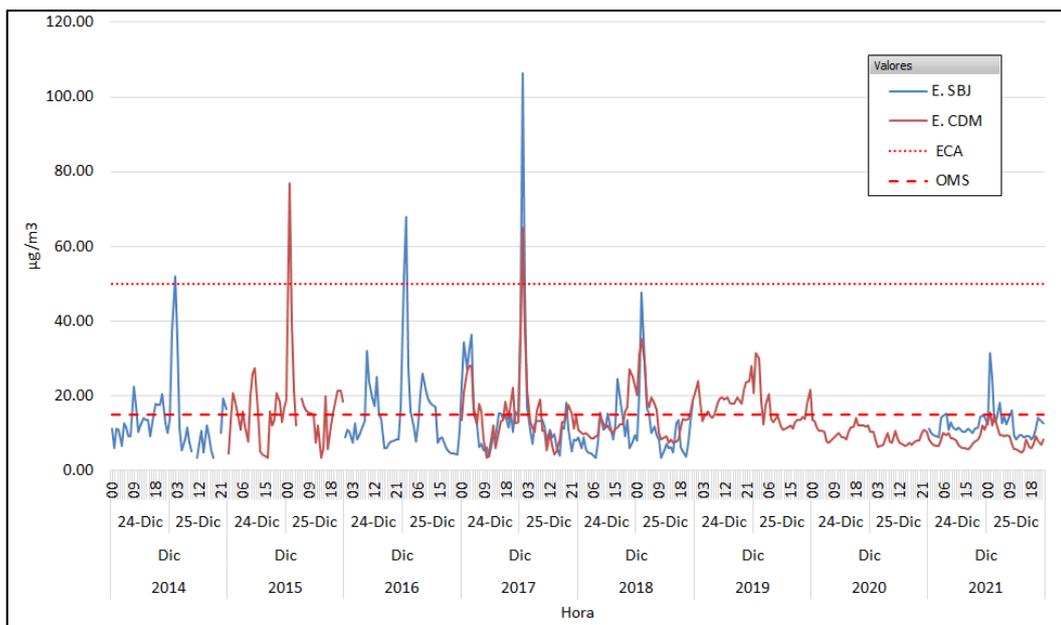


Figura 28: Registro horario de PM_{2.5} para navidad en las estaciones de Lima Centro

En la figura 28 se puede evidenciar que la estación de San Borja presentó los valores máximos entre los 40µg/m³ hasta los 110µg/m³. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad de los años 2014, 2016 y 2017 años en los cuales a la vez se ha sobrepasado el ECA para aire sobre todo en horas de la noche buena; estos años y los años en los cuales también se registraron datos para esta estación podemos evidenciar que sobrepasaron el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Campo de Marte en los años 2015 y 2017 presento los valores máximos entre los 60 y 80µg/m³, años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la noche buena, caso similar entre los años 2018 al 2021 donde los datos horarios registrados no superaron el ECA para aire y si el valor guía de la OMS.

En la figura 29 se puede evidenciar que la estación de San Borja presentó los valores máximos que sobrepasaron los 100µg/m³ hasta los 250µg/m³. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de fin de año de los años 2016, 2017 y 2018, para el 2014 también presento un máximo próximo a los 200µg/m³; en dichos fines de año a la vez se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS sobre todo en horas de la medianoche.

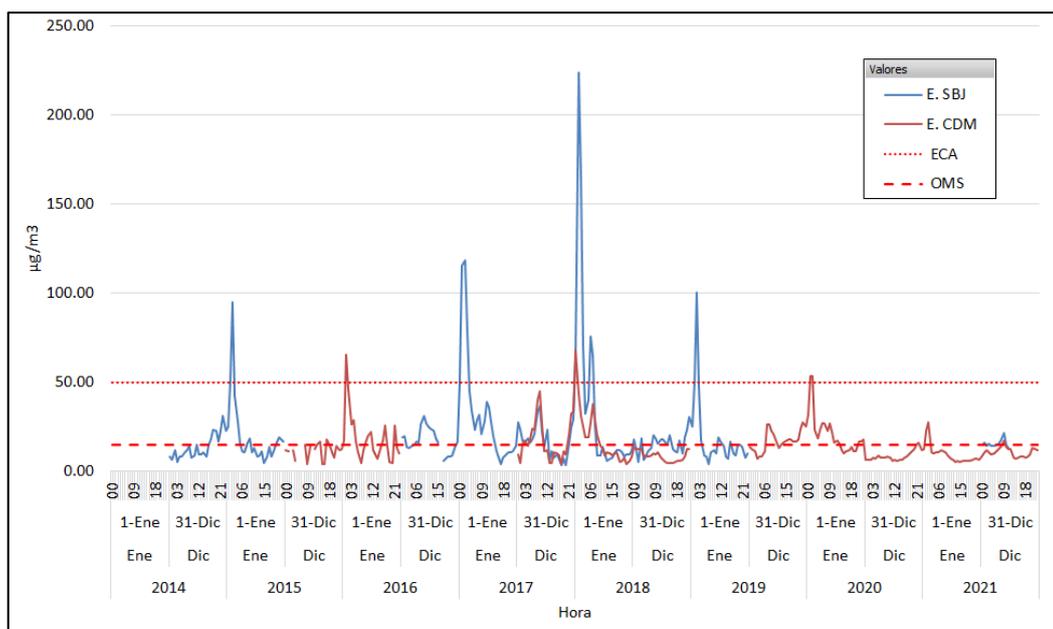


Figura 29: Registro horario de PM_{2.5} para fin de año en las estaciones de Lima Centro

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Campo de Marte los fines de años 2015, 2017 y 2019 presentaron valores que sobrepasaron los 50µg/m³; años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche, caso similar con el año 2020 que solo sobrepasa el valor guía de la OMS.

Tabla 18: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
	Fin de Año 2014	15.72	93	15.07	12.30	94.97	3.37	8.86	11.48	17.40
	Fin de Año 2016	15.50	95	19.76	19.34	118.60	4.19	8.41	14.37	23.51
SBJ	Fin de Año 2017	14.64	96	21.74	30.73	223.80	3.20	8.56	12.36	22.46
	Fin de Año 2018	18.20	96	14.11	12.35	100.60	3.36	7.83	11.56	16.77
	Fin de Año 2021	14.47	60	12.99	3.94	31.37	8.22	10.42	12.54	14.65

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 18, se observa que, la Estación de monitoreo San Borja tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014, 2016, 2017, 2018 y 2021. Asimismo, los años 2014, 2018 y 2021 presentaron datos más homogéneos en comparación a los años 2016 y 2017, debido a que la desviación estándar es menor en comparación a estos últimos. Para los años 2016 y 2017 años en los cuales se presentaron los valores máximos, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del

promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2017, y anomalía negativa los años 2018 y 2021.

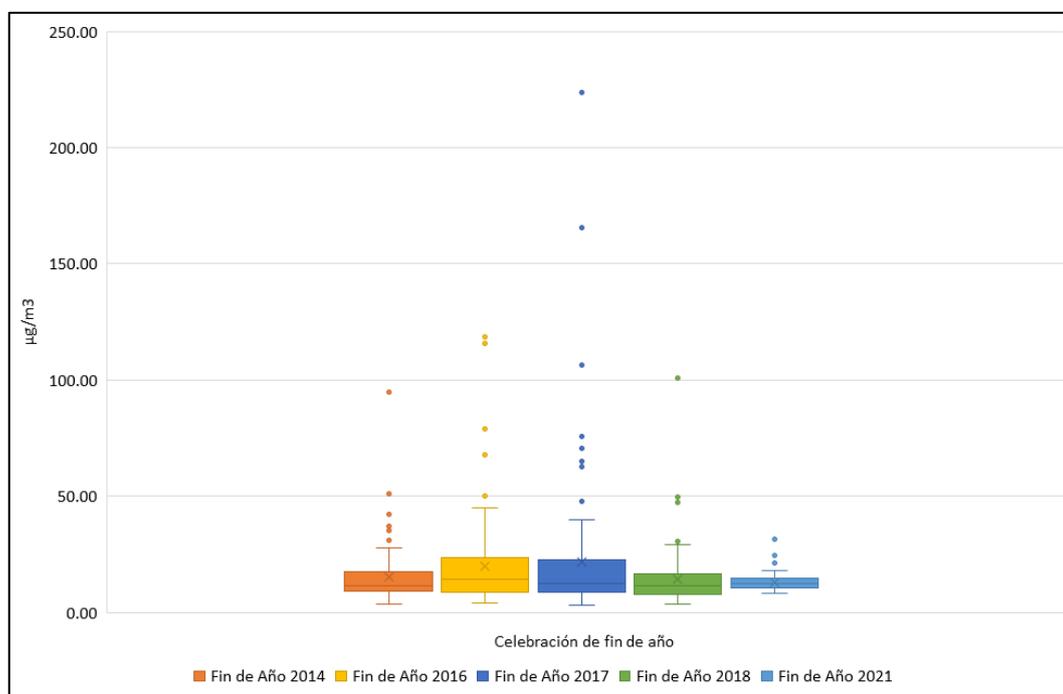


Figura 30: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{2.5}, Estación San Borja en Lima Centro

En la figura 30 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2014, 2018 y 2021 no son tan dispersos en su distribución debido a que el rango inter cuartil es menor, presentando una mediana entre los valores de 11.48 y 14.37µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2016, 2017 y 2018, ubicados por encima de los bigotes, como son 118.60, 223.80 y 100.60µg/m³ respectivamente.

Tabla 19: Resultados estadísticos, Estación Campo de Marte en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
CDM	Fin de Año 2015	14.72	91	15.67	11.23	76.99	3.36	10.60	14.26	18.45
	Fin de Año 2017	16.34	96	16.65	11.93	67.65	3.39	9.43	13.04	20.90
	Fin de Año 2018	15.11	72	12.25	6.22	35.20	4.52	8.39	10.58	13.89
	Fin de Año 2019	17.81	96	18.24	7.46	53.43	7.09	13.38	17.39	21.53
	Fin de Año 2020	13.36	96	9.17	3.35	27.50	5.20	6.83	8.42	10.66
	Fin de Año 2021	10.20	72	9.07	2.72	17.32	4.76	6.98	8.49	10.86

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 19, se observa que, la Estación de monitoreo Campo de Marte tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015 al 2021 a excepción del 2016. Asimismo, los años 2020 y 2021 presentaron datos más homogéneos en comparación a los años 2015, 2017, 2018 y 2019, debido a que la desviación estándar es menor en comparación a estos últimos. Para los años 2015, 2017 y 2019 años en los cuales se presentaron los valores máximos, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2017 y 2019, y anomalía negativa los años 2018, 2020 y 2021.

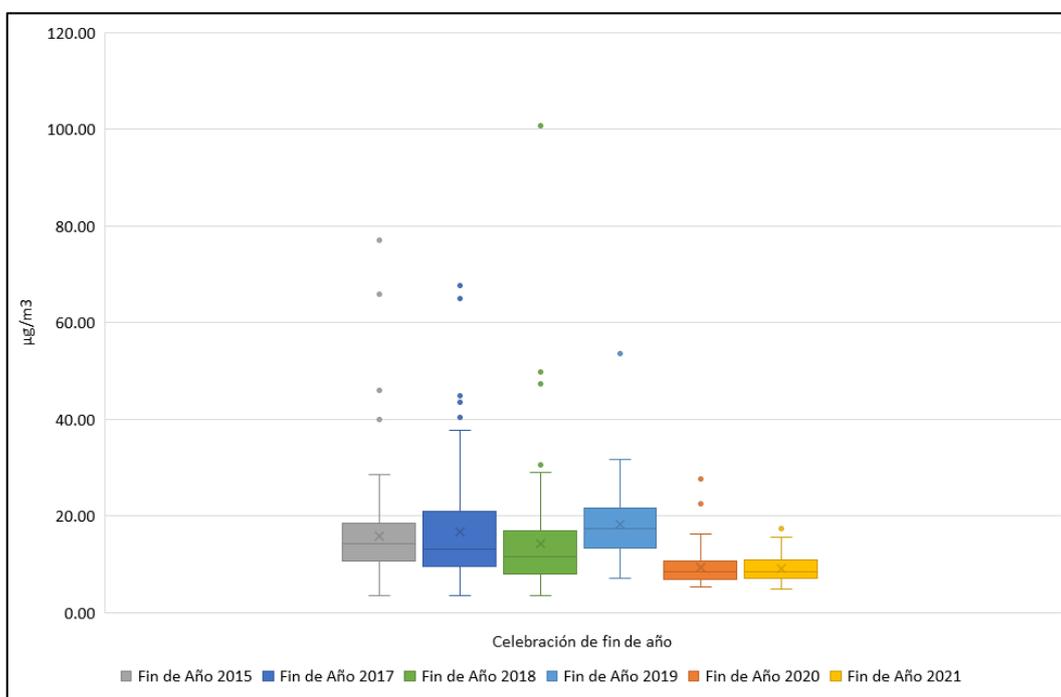


Figura 31: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{2.5}, Estación Campo de Marte en Lima Centro

En la figura 31 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2020 y 2021 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 8.42 y 17.39µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2015, 2017 y 2019, ubicados por encima de los bigotes, como son 76.99, 67.65 y 53.43µg/m³ respectivamente.

4.1.6. Evaluación de la concentración de PM_{2.5} para las estaciones de Lima Sur

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de PM_{2.5} registrados para la estación de “Villa María del Triunfo”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

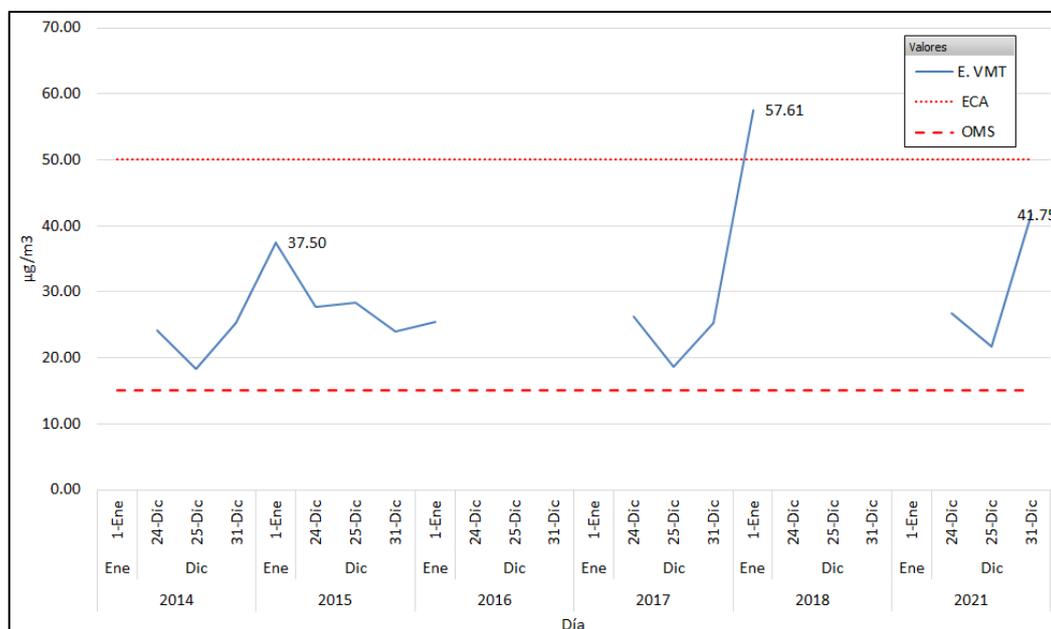


Figura 32: Evolución diaria de la concentración de PM_{2.5} en las estaciones de Lima Sur

En la Figura 32, el promedio diario de la concentración de material particulado PM₁₀ registrado de las celebraciones de fin de año por la estación Villa María del Triunfo, para los años 2014, 2015, 2017 y 2021, tuvo el promedio diario máximos en la fiesta de fin de año del 2017 con una concentración de 57.61 µg/m³; evidenciando que se sobrepasó el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS. Para la festividad de navidad de los años 2014, 2015, 2017 y 2021, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire y también el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de PM_{2.5} registrados por la estación de “Villa María del Triunfo”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2014, 2015, 2017 y 2021.

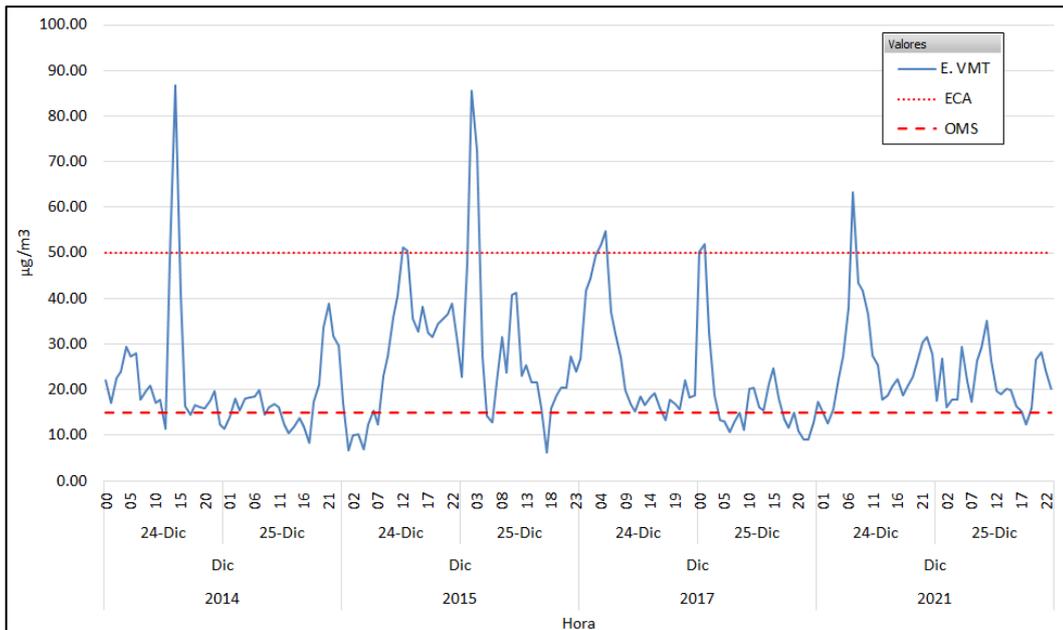


Figura 33: Registro horario de PM_{2.5} para navidad en la estación de Lima Sur

En la figura 33 se puede evidenciar que la estación Villa María del Triunfo presentó los valores máximos que sobrepasaron los $80\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad de los años 2014 y 2015, para el 2017 y 2021 también se registraron valores sobre los $50\mu\text{g}/\text{m}$, en todos estos años se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la noche buena para los años 2015 y 2017 y horas de la mañana del 24 de diciembre de los años registrados.

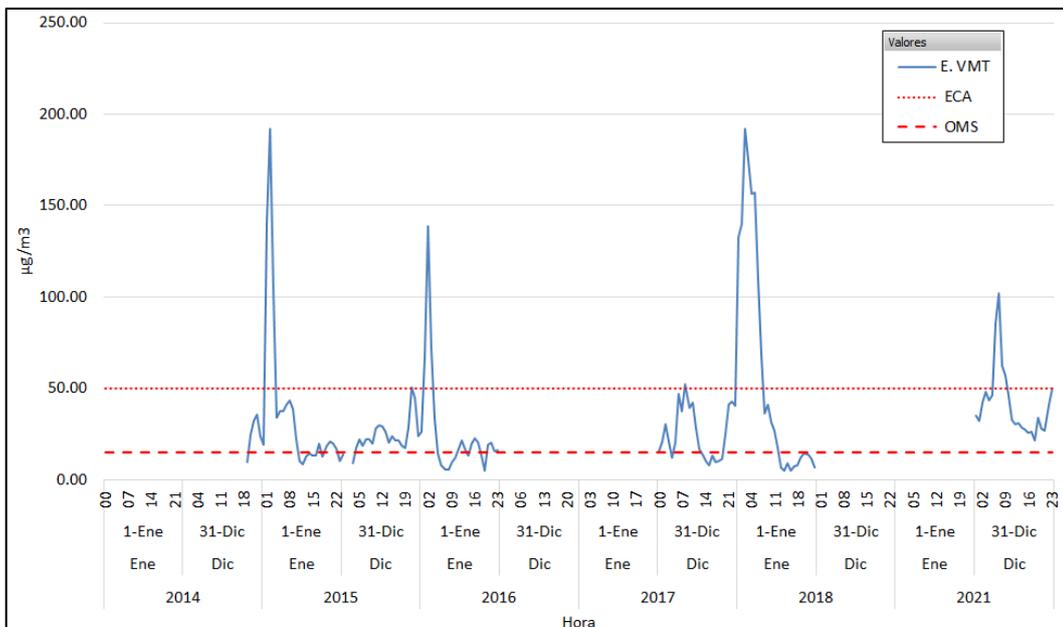


Figura 34: Registro horario de PM_{2.5} para fin de año en la estación de Lima Sur

En la figura 34 se puede evidenciar que la estación Villa María del Triunfo presentó los valores máximos que sobrepasaron los $130\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los $200\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos

se registraron en las fiestas de fin de año de los años 2014, 2015 y 2017; en dichos fines de año se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la medianoche.

Tabla 20: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VMT	Fin de Año 2014	23.71	77	26.55	27.81	191.71	8.30	14.38	18.30	28.65
	Fin de Año 2015	21.91	94	26.46	18.95	138.47	4.93	15.99	21.82	31.81
	Fin de Año 2017	23.16	96	31.94	37.02	191.90	4.80	12.91	18.32	37.20
	Fin de Año 2021	24.45	72	30.06	15.72	101.98	12.31	19.75	26.64	34.65

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 20, se observa que, la Estación de monitoreo Villa María del Triunfo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014, 2015, 2017 y 2021. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. y resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2017, y anomalía negativa los años 2015 y 2021.

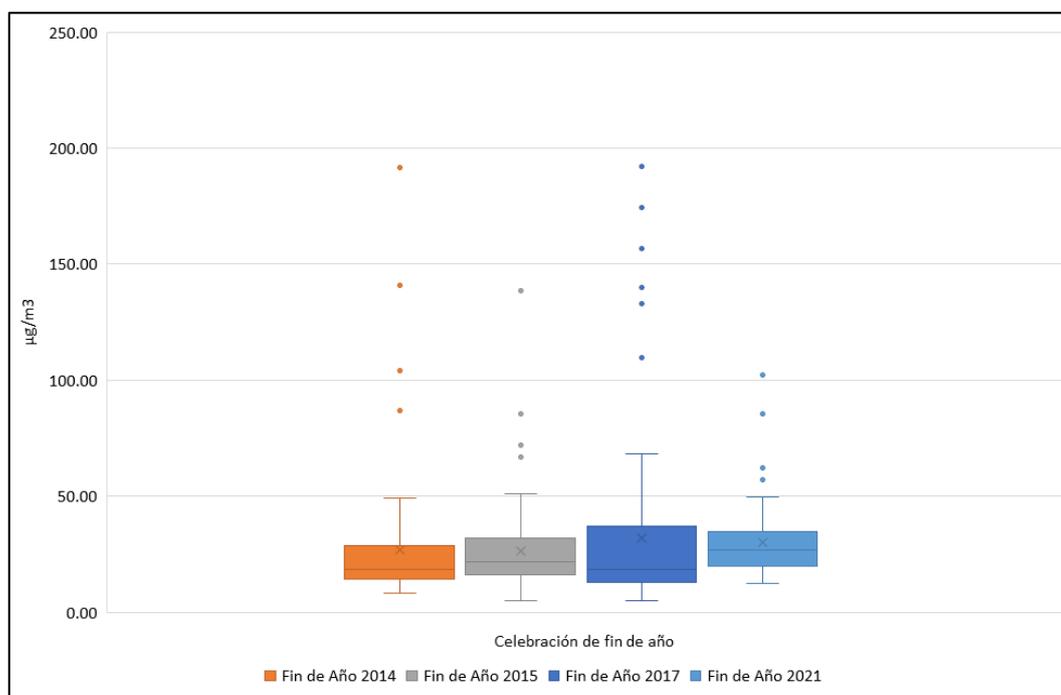


Figura 35: Diagrama de cajas y bigotes de $\text{PM}_{2.5}$, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

En la figura 35 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados están dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 18.30 y 26.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2014, 2015 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 191.71, 138.47 y 191.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

4.1.7. Evaluación de la concentración de PM_{2.5} para las estaciones de Lima Este

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de PM_{2.5} registrados para para las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

En la Figura 36, el promedio diario de la concentración de material particulado PM_{2.5} registrado de las celebraciones de fin de año para la estación Ate, tuvo el promedio diario máximo en la fiestas de fin de año del 2017 con una concentración de 157.27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para la estación Santa Anita, tuvo el promedio diario máximo en la fiesta de fin de año del 2017 con una concentración de 126.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para la estación Huachipa, tuvo el promedio diario máximo en la fiestas de navidad del 2016 con una concentración de 54.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para la estación San Juan de Lurigancho, tuvo el promedio diario máximo en la fiesta de navidad del 2015 con una concentración de 55.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; podemos evidenciar que se sobrepasó el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS para la mayoría de años. Para las celebraciones de fin de año del 2014, 2020 y 2021, podemos evidenciar que no sobrepasaron el ECA para aire.

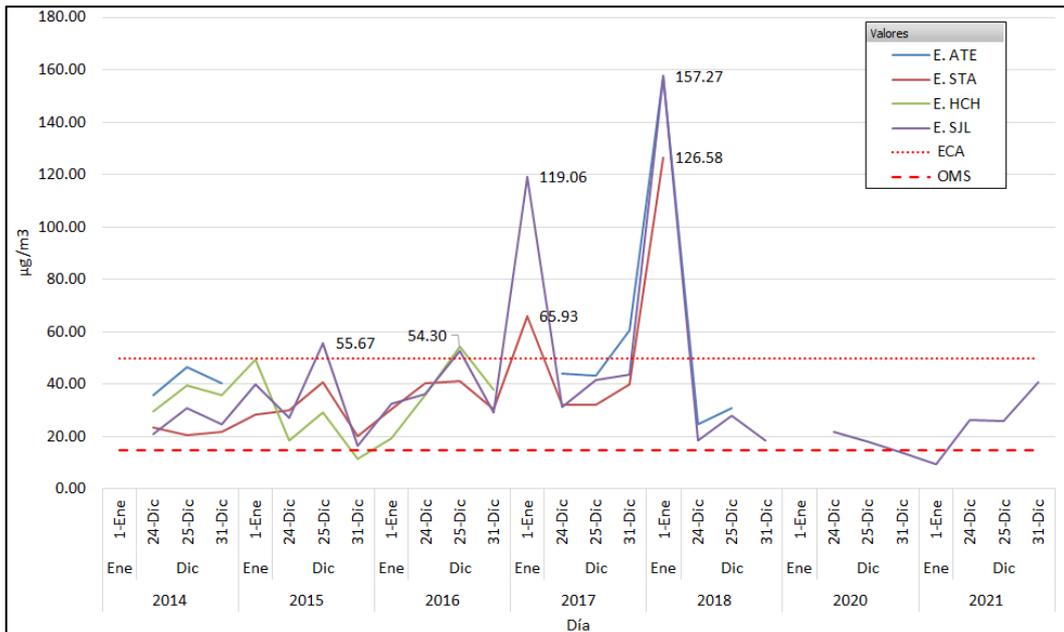


Figura 36: Evolución diaria de la concentración de PM_{2.5} en las estaciones de Lima Este

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de PM_{2.5} registrados por las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2014 al 2021, excepto 2019.

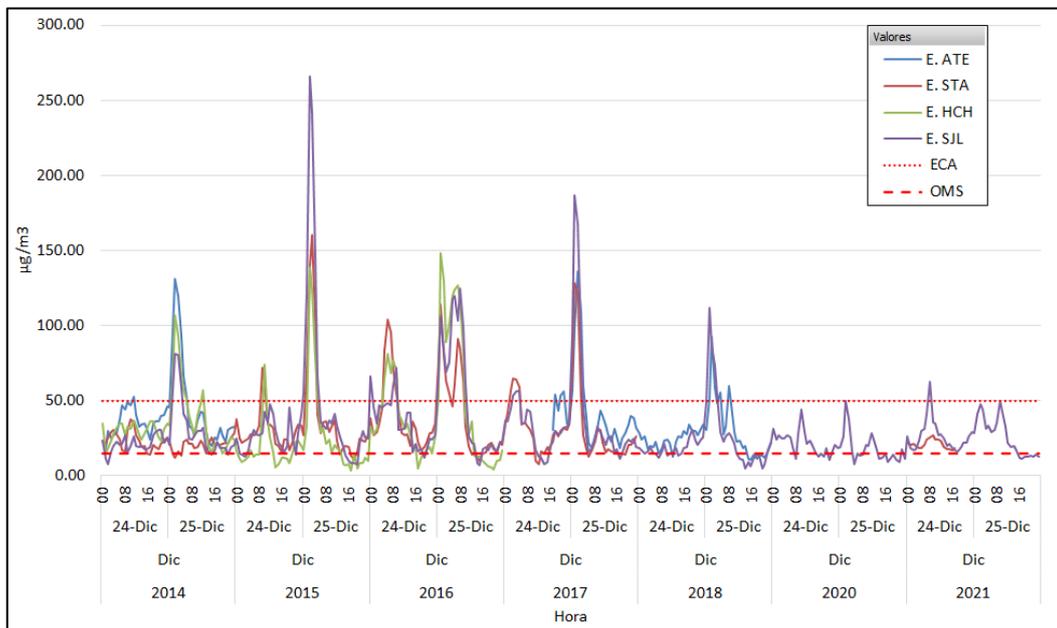


Figura 37: Registro horario de PM_{2.5} para navidad en la estación de Lima Este

En la figura 37 se puede evidenciar que la estación de Ate presentó los valores máximos que sobrepasaron los 80µg/m³ hasta los 150µg/m³. Estos valores máximos se registraron en las

fiestas de navidad de los años 2014, 2017 y 2018 en horas de la noche buena; sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Santa Anita en los años 2015 al 2017 presento los valores máximos sobre 100 y 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la noche buena. Para el 2014, no se sobrepasó el ECA aire, pero si el valor guía dado por la OMS.

Para la estación de San Juan de Lurigancho en los años 2015 al 2018 presento los valores máximos que sobrepasaron los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para el año 2014 estos valores fueron menores, pero sobrepasaron los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la noche buena; en la navidad el 2020 y 2021 no se llegó a pasar el ECA para aire, pero sí ligeramente el valor guía de la OMS.

Para el caso de la noche buena en la estación de Huachipa, los años 2014, 2015 y 2016 presentó valores por encima de los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en horas de la noche buena, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS.

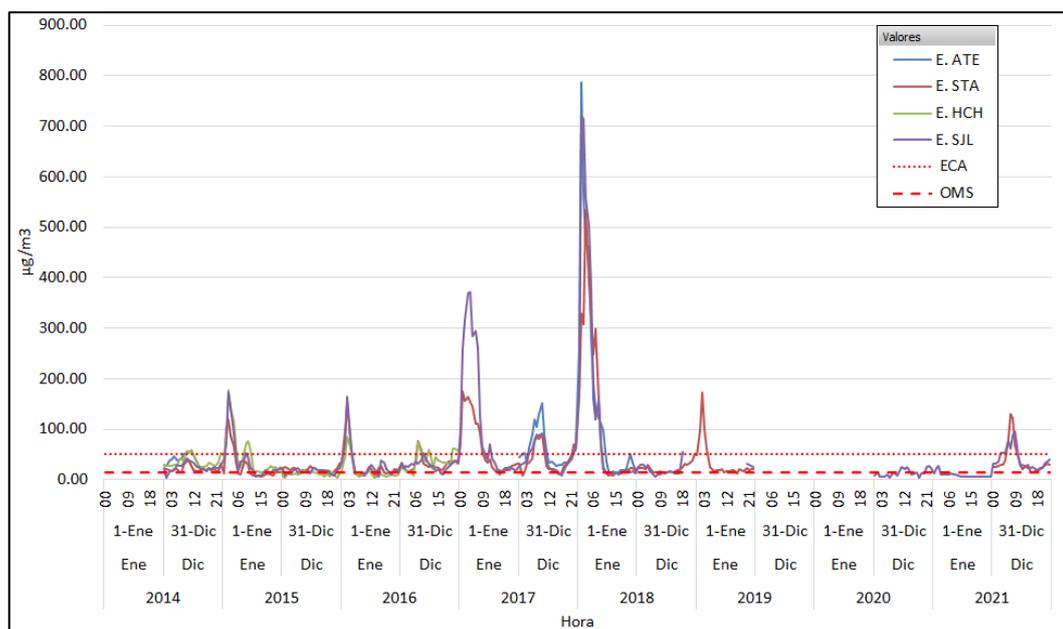


Figura 38: Registro horario de $\text{PM}_{2.5}$ para fin de año en la estación de Lima Este

En la figura 38 se puede evidenciar que la estación de Ate presentó los valores máximos que sobrepasaron los 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de fin de año del 2017 en horas de la medianoche hasta la madrugada, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Santa Anita en la fiesta de fin de año del 2017 reporto un valor máximo sobre los $500\mu\text{g}/\text{m}^3$, y en los años 2014 al 2016 y 2021 presento los valores máximos sobre $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche, a excepción del 2021 donde estos valores se registraron en horas de la mañana del día 31 de diciembre.

Para la estación de San Juan de Lurigancho en los años 2016 y 2017 presentó valor máximo que sobrepaso los 300 y $700\mu\text{g}/\text{m}^3$, para los años 2014 y 2015, estos valores fueron menores al 2016 y 2017, pero bordeaban las $200\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche; para el 2020 los valores registrados estuvieron por debajo del ECA aire.

Para el caso de la fiesta de fin de año en la estación de Huachipa, para los años 2014, 2015 y 2016 presentó valores por encima de los $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS.

Tabla 21: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2014	38.66	64	40.97	21.10	131.07	16.05	28.49	36.49	46.77
ATE	Fin de Año 2017	38.43	79	83.41	127.38	786.90	12.37	28.96	38.53	89.00
	Fin de Año 2018	30.86	48	27.78	15.53	92.20	10.73	18.25	24.29	30.47

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 21, se observa que, la Estación de monitoreo Ate tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014, 2017 y 2018. Asimismo, los datos registrados para el 2014 y 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años de data recopilada, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año fue mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre en el año 2014. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2017, y anomalía negativa el año 2018.

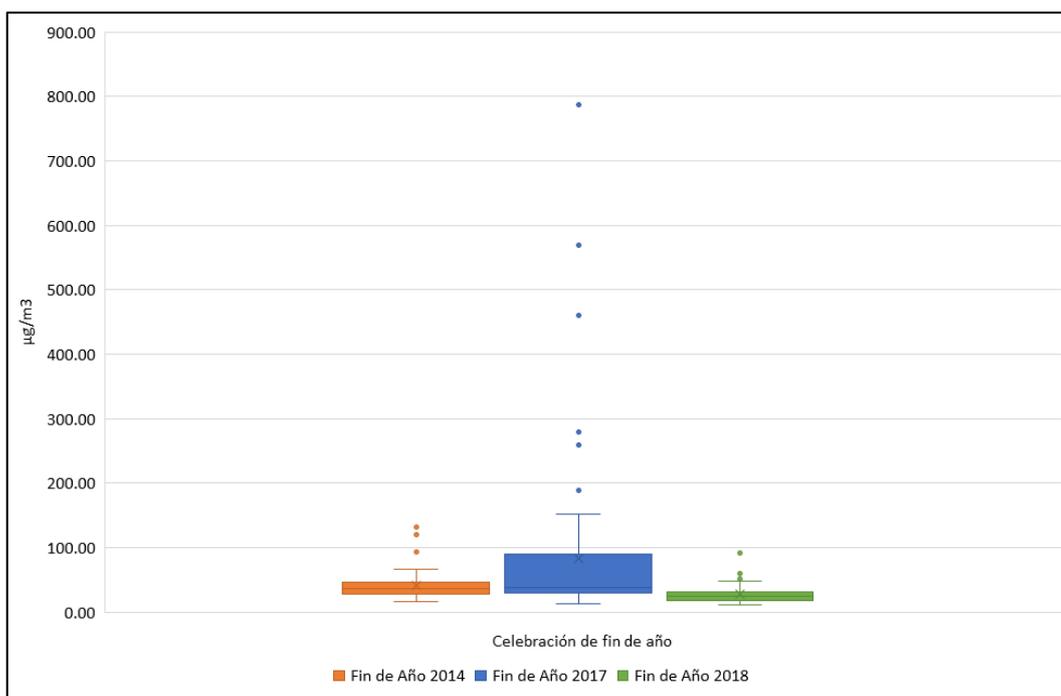


Figura 39: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{2.5}, Estación Ate en Lima Este

En la figura 39 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2014 y 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 24.29 y 38.53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2017, ubicado por encima de los bigotes, como es 786.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 22: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
STA	Fin de Año 2014	20.43	96	23.52	16.78	118.83	6.83	15.42	20.54	25.35
	Fin de Año 2015	25.77	96	30.34	28.02	160.30	7.29	17.30	23.06	31.29
	Fin de Año 2016	29.93	96	44.48	36.77	174.00	9.55	20.20	30.15	54.87
	Fin de Año 2017	27.26	96	57.65	90.00	535.20	7.22	16.23	26.72	53.93
	Fin de Año 2018	27.90	48	28.76	28.13	173.70	12.92	16.16	19.83	25.87
	Fin de Año 2021	36.04	42	30.97	25.03	130.60	14.40	18.95	23.81	29.24

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 22, se observa que, la Estación de monitoreo Santa Anita tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2021, a excepción del 2019 y 2020. Asimismo, los datos registrados para el 2014, 2016, 2018 y 2021 son homogéneos en

comparación a los demás años registrados. Para los años 2014 al 2018, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015, 2016, 2017 y 2021, y anomalía negativa el año 2018.

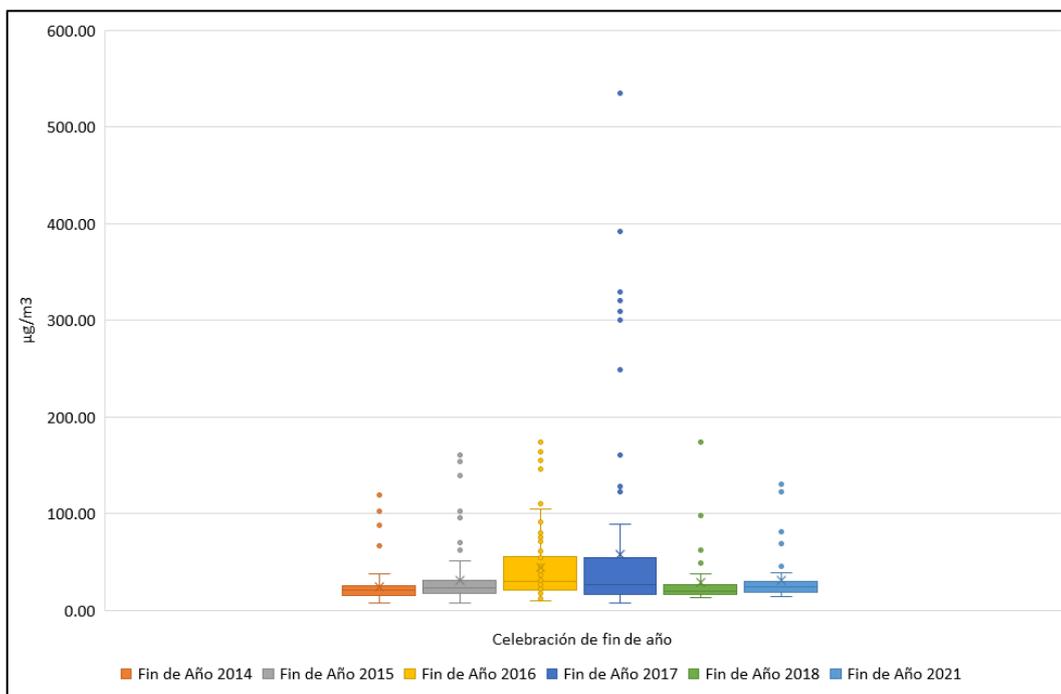


Figura 40: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{2.5}, Estación Santa Anita en Lima Este

En la figura 40 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2014, 2015, 2018 y 2021 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 19.83 y 30.15µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2017, ubicado por encima de los bigotes, como es 535.20µg/m³.

Tabla 23: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
	Fin de Año 2014	33.29	96	38.57	26.28	177.61	13.85	24.38	30.76	40.71
HCH	Fin de Año 2015	16.46	96	19.80	22.78	139.00	3.66	8.75	12.72	18.52
	Fin de Año 2016	30.53	72	42.67	34.17	148.20	4.49	16.69	33.61	59.69

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 23, se observa que, la Estación de monitoreo Huachipa tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2016. Asimismo, los datos registrados para el 2015 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2014 al 2016, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2016, y anomalía negativa el año 2015.

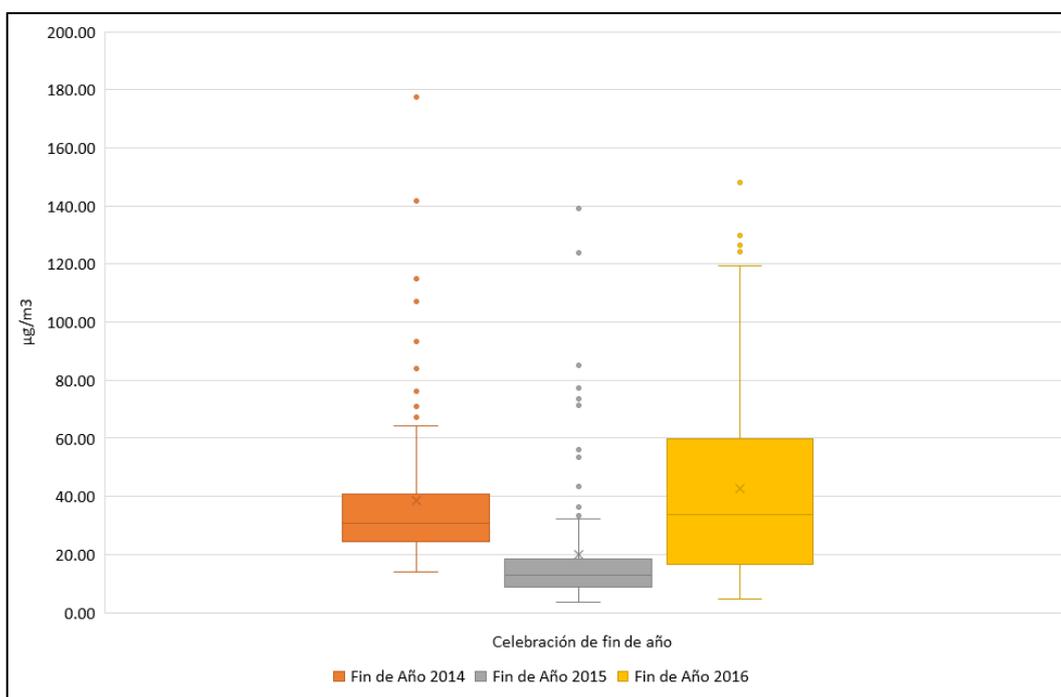


Figura 41: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{2.5}, Estación Huachipa en Lima Este

En la figura 41 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2015 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 12.72 y 33.61µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2014, ubicado por encima de los bigotes, como es 177.61µg/m³.

Tabla 24: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SJL	Fin de Año 2014	26.11	96	29.13	24.52	173.20	3.65	17.93	22.28	30.44
	Fin de Año 2015	25.78	96	32.95	41.53	265.90	5.95	14.19	20.85	33.67
	Fin de Año 2016	31.22	96	59.22	76.18	372.00	7.31	21.21	31.52	61.49
	Fin de Año 2017	30.37	96	68.48	128.65	720.70	7.38	18.43	27.73	53.96
	Fin de Año 2018	30.01	71	22.32	17.67	111.80	5.12	13.41	16.66	25.92
	Fin de Año 2020	25.29	96	15.77	8.86	49.73	3.95	9.27	13.73	21.57
	Fin de Año 2021	36.09	72	31.07	16.89	96.90	11.49	19.45	27.61	35.66

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 24, se observa que, la Estación de monitoreo Villa María del Triunfo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2021, a excepción del 2019. Asimismo, los datos registrados para el 2014, 2018, 2020 y 2021 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2014, 2015, 2016 y 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015, 2016, 2017 y 2021, y anomalía negativa los años 2018 y 2020.

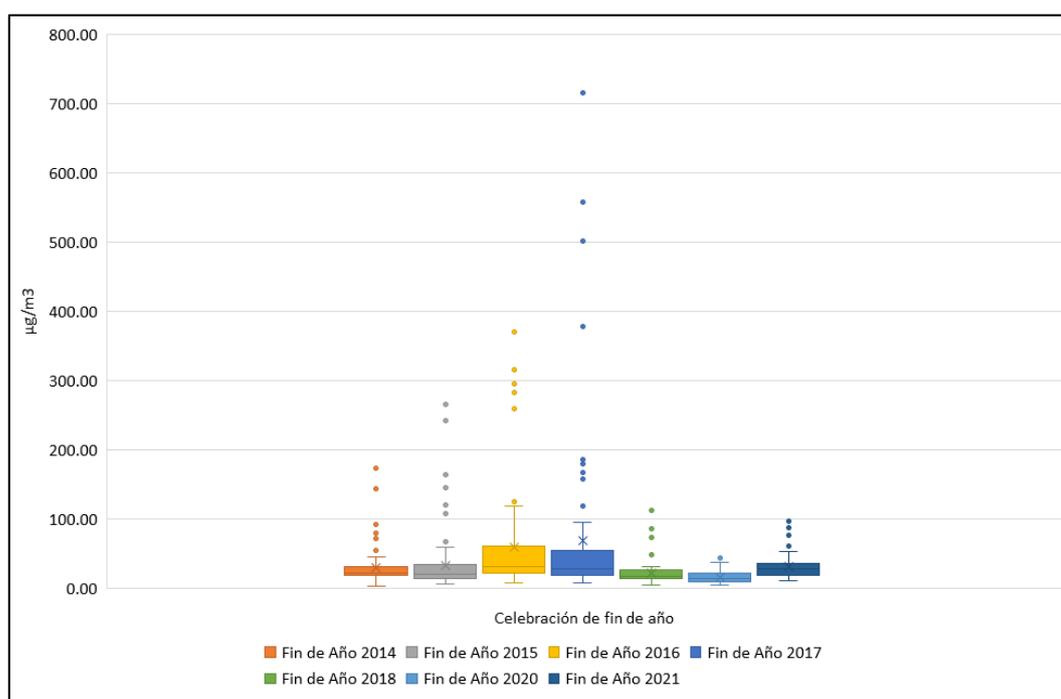


Figura 42: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{2.5}, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

En la figura 42 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2014, 2018, 2020 y 2021 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 13.73 y 31.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como es 372.00 y 720.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

4.1.8. Evaluación de la concentración de PM_{2.5} para las estaciones de Lima Norte

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de PM_{2.5} registrados para las estaciones “Puente Piedra”, “Carabayllo” y “San Martín de Porres”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

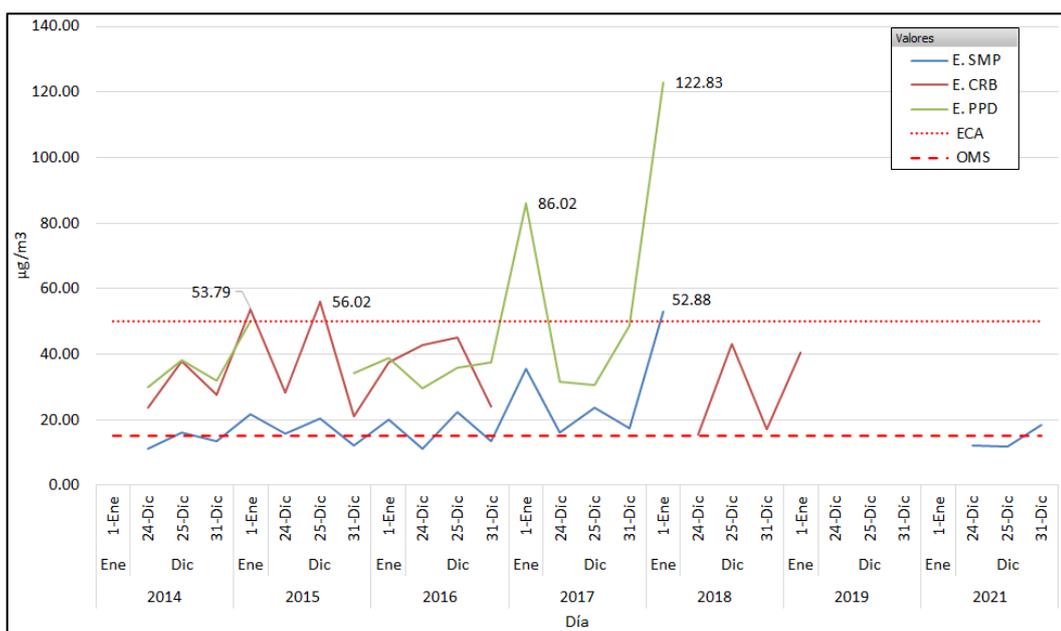


Figura 43: Evolución diaria de la concentración de PM_{2.5} en las estaciones de Lima Norte

En la Figura 43, el promedio diario de la concentración de material particulado PM_{2.5} registrado de las celebraciones de fin de año para la estación Carabayllo, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2015 con una concentración de 56.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para la estación Puente Piedra, tuvo el promedio diario máximo en la fiesta de fin de año del 2016 con una concentración de 86.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; para las estaciones de Carabayllo y Puente Piedra podemos evidenciar que se sobrepasó el ECA para aire. Para la estación San Martín de Porres, los resultados del promedio diario de las celebraciones de fin de año, no

sobrepasaron el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS, a excepción del año 2017, tuvo el promedio diario máximo en la fiesta de fin de año, con una concentración de $52.88\mu\text{g}/\text{m}^3$; también no se sobrepasó el ECA aire en la navidad del 2014 al 2017 para la estación San Martin de Porres.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de $\text{PM}_{2.5}$ registrados por las estaciones de “Puente Piedra”, “Carabayllo” y “San Martin de Porres”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2014 al 2021.

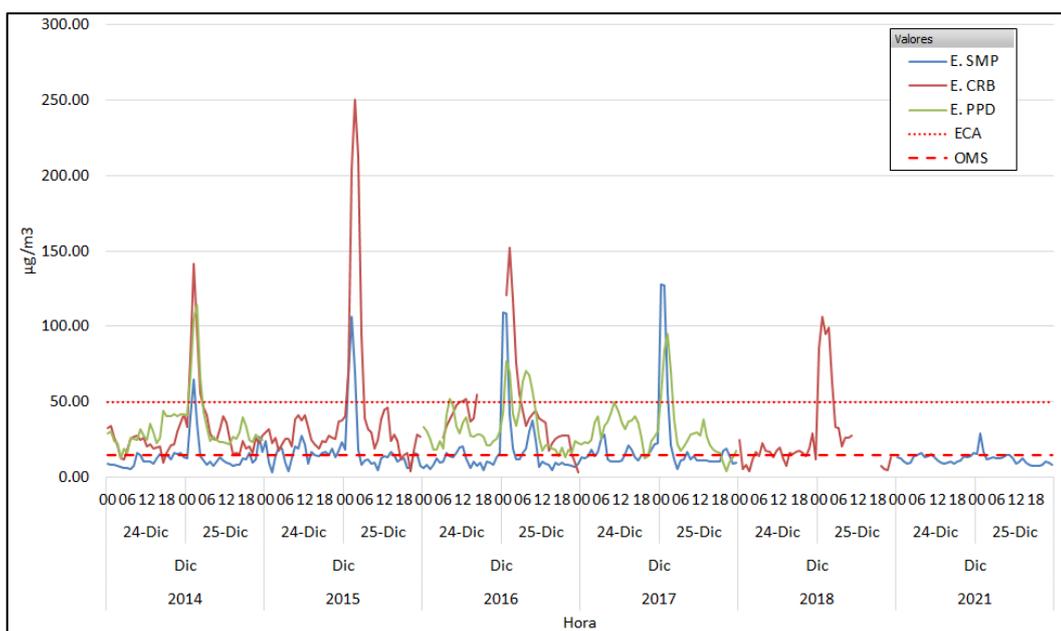


Figura 44: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para $\text{PM}_{2.5}$ en Lima Norte

En la figura 44 se puede evidenciar que la estación de San Martin de Porres presentó los valores máximos entre los $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los $150\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad de los años 2014 al 2017, años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la noche buena; para la navidad del 2021 fue caso contrario a los años anteriores en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire, pero por encima el valor guía de la OMS.

Para la estación de Carabayllo en el año 2015 presentó valor máximo que sobrepaso los $250\mu\text{g}/\text{m}^3$, para los años 2014, 2016 y 2018 estos valores fueron menores al 2015, pero bordeaban entre los 100 y $150\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche.

Para el caso de la fiesta de navidad en la estación Puente Piedra, para los años 2014, 2016 y 2017 presentó valores sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS.

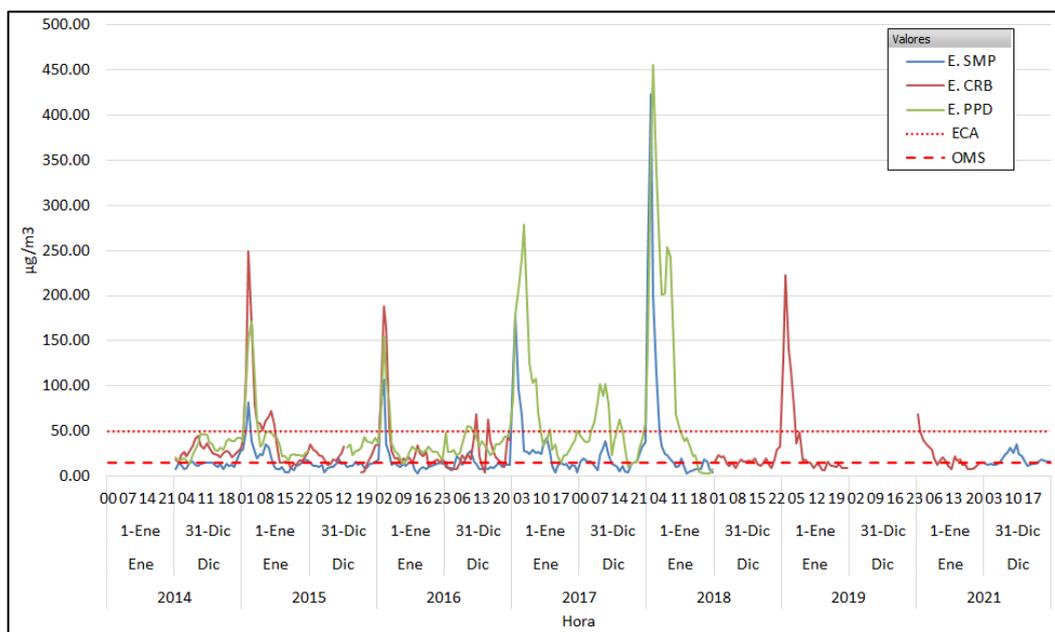


Figura 45: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para PM_{2.5} en Lima Norte

En la figura 45 se puede evidenciar que la estación de San Martín de Porres presentó valor máximo sobre los 400 µg/m³ en las fiestas de año nuevo del 2017, para los fines de año del 2014 al 2016 estos valores fueron menores en comparación al 2017, sobrepasaron las 50 µg/m³; años en los cuales se ha sobrepasado el ECA para aire y el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la medianoche; para el 31 de diciembre del 2021 fue caso contrario a los años anteriores en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y ligeramente sobrepasó el valor guía de OMS, en horas de la mañana.

Para la estación de Carabayllo en los años 2014, 2015 y 2018 presentó valor máximo que sobrepasó los 150 µg/m³, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS en horas de la medianoche.

Para el caso de la fiesta de fin de año en la estación Puente Piedra, para los años 2014 al 2017 presentó valores sobrepasando el ECA para aire y el valor guía de la OMS, para el 2016 y 2017 se vio un incremento desde las primeras horas de la mañana del día 31 de diciembre, descendiendo ligeramente pasando la medianoche hasta primeras horas de la mañana del 1 de enero. El comportamiento de distribución horario próximo a las horas de la medianoche, se asemeja al comportamiento de las demás estaciones de Lima Norte.

Tabla 25: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SMP	Fin de Año 2014	14.25	96	15.54	11.92	82.01	3.65	8.85	12.46	15.91
	Fin de Año 2015	13.59	96	17.17	17.39	106.74	3.23	10.37	13.54	16.45
	Fin de Año 2016	14.46	96	20.62	26.64	178.52	4.24	8.55	12.25	20.33
	Fin de Año 2017	15.18	96	27.56	53.75	423.44	3.20	10.67	14.15	20.85
	Fin de Año 2021	17.92	72	14.22	5.54	35.09	7.48	10.31	13.01	15.71

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 25, se observa que, la Estación de monitoreo San Martín de Porres tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2017 y 2021. Asimismo, los datos registrados para el 2014, 2015, y 2021 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años de data recopilada, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año fue mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre en los años 2014 al 2017. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015, 2016 y 2017, y anomalía negativa el año 2021.

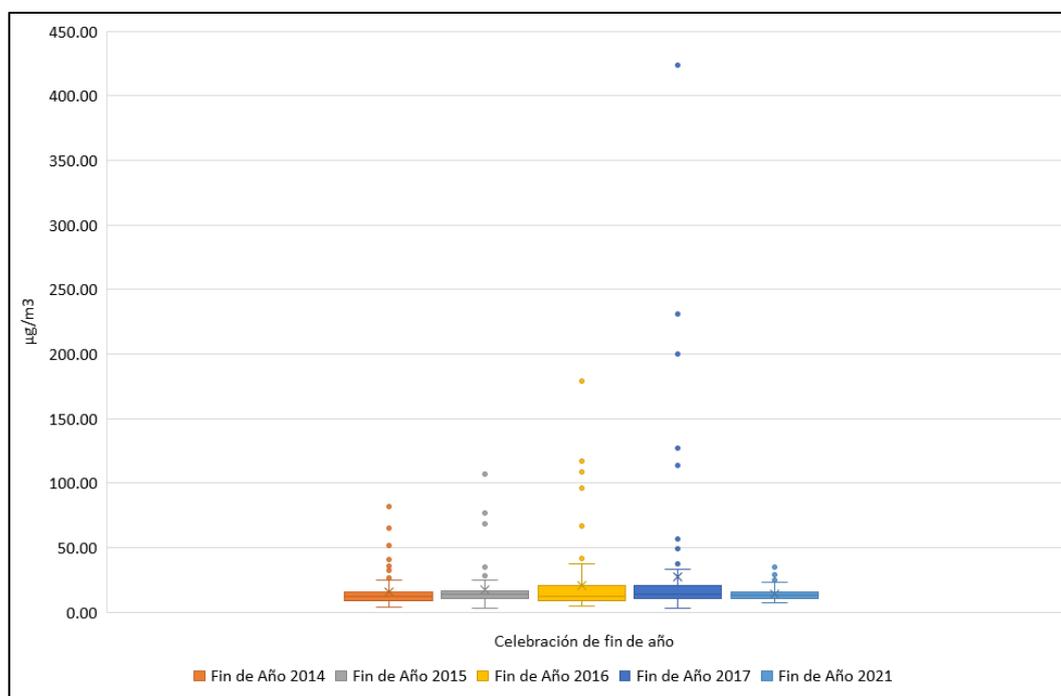


Figura 46: Diagrama de cajas y bigotes de $\text{PM}_{2.5}$, Estación San Martín de Porres en Lima Norte

En la figura 46 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2014, 2015 y 2021 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 12.25 y 14.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 178.52 y 423.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Tabla 26: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2014	25.13	96	35.74	33.79	248.64	8.82	20.48	25.97	36.10
	Fin de Año 2015	24.78	91	36.51	43.41	250.64	4.12	18.80	24.97	33.95
CRB	Fin de Año 2016	27.28	58	35.98	27.90	152.20	3.48	17.84	30.80	44.27
	Fin de Año 2018	21.51	87	27.55	35.18	222.20	4.20	11.98	16.28	23.06
	Fin de Año 2020	-	24	21.21	14.90	69.24	7.61	11.42	16.24	27.90

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 26, se observa que, la Estación de monitoreo Carabayllo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2016, 2018 y 2020. Asimismo, los datos registrados no son homogéneos. Para los años registrados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2015, y anomalía negativa los años 2016, 2018 y 2020.

En la figura 47 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución. A la vez presenta una mediana entre los valores de 16.24 y 30.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2014, 2015 y 2018, ubicados por encima de los bigotes, como son 248.64, 250.64 y 222.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

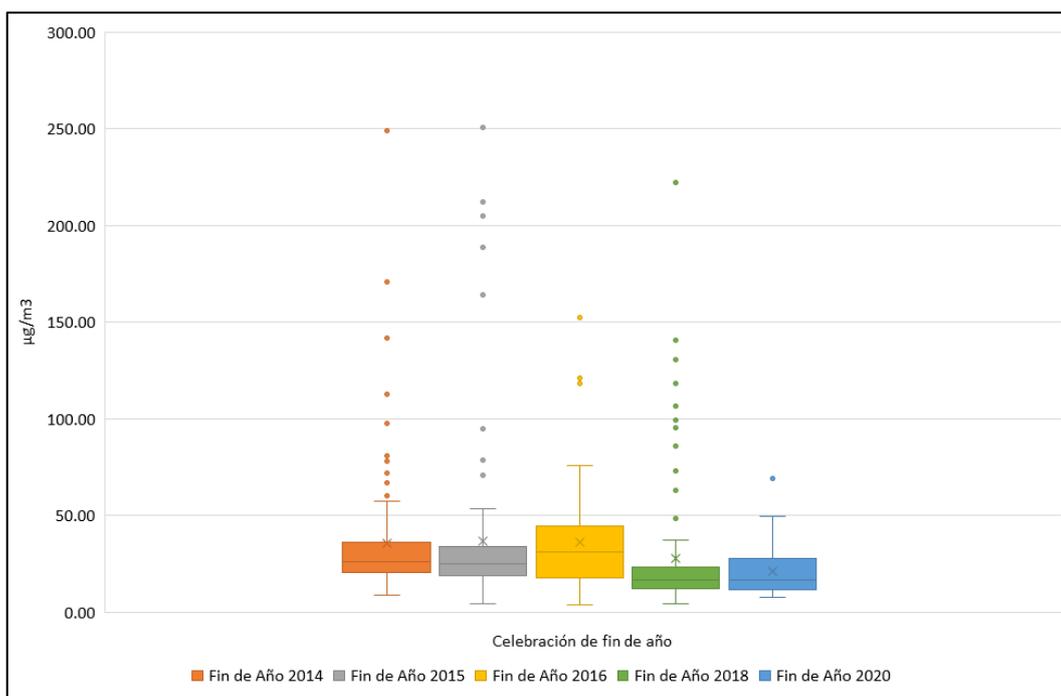


Figura 47: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{2.5}, Estación Carabayllo en Lima Norte

Tabla 27: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv. Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
PPD	Fin de Año 2014	29.89	96	37.57	26.04	171.12	12.84	24.10	29.77	41.40
	Fin de Año 2015	32.35	35	37.35	26.81	154.60	13.59	25.83	29.59	36.57
	Fin de Año 2016	32.31	96	47.26	46.07	279.20	13.18	23.91	33.74	48.43
	Fin de Año 2017	30.21	96	58.41	78.34	455.60	3.09	21.78	36.07	53.81

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 27, se observa que, la Estación de monitoreo Puente Piedra tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2017. Asimismo, los datos registrados para el 2014 y 2015 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2014 al 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2017, y anomalía negativa el año 2015.

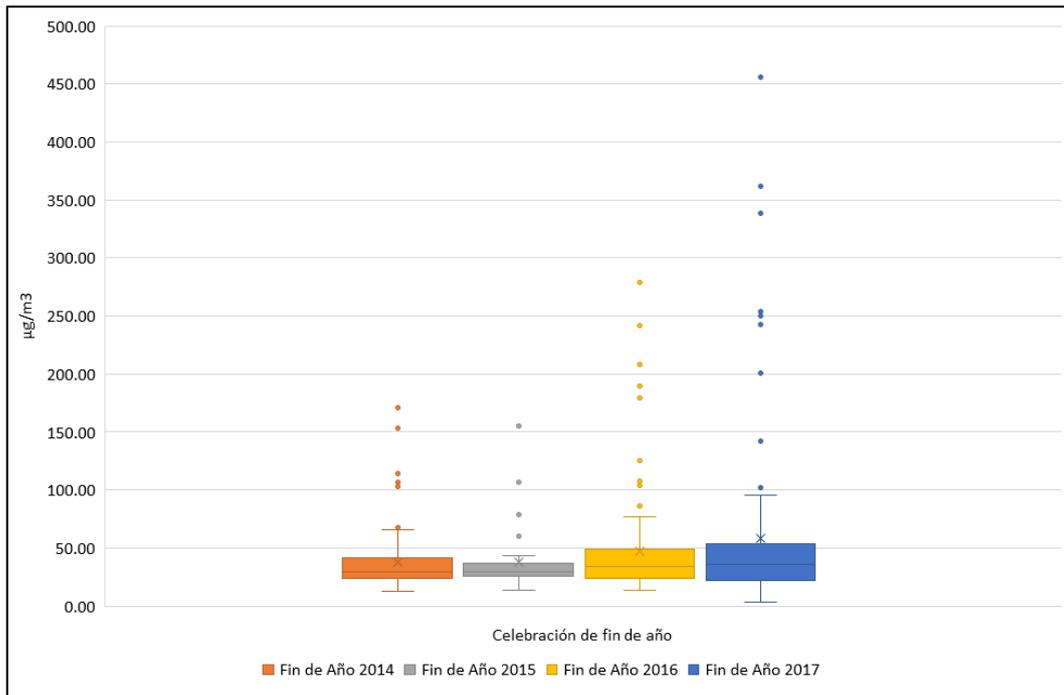


Figura 48: Diagrama de cajas y bigotes de PM_{2.5}, Estación Puente Piedra en Lima Norte

En la figura 48 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2014 y 2015 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 29.59 y 36.07µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como es 279.20 y 455.60µg/m³, respectivamente.

De los resultados obtenidos, el incremento de la concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, se dieron principalmente en horas de la medianoche durante la celebración de fin de año, a consecuencia de la quema de fuegos artificiales y otras actividades relacionadas como las fogatas y quema de trastos viejos. Las estaciones de la zona Lima Este y Lima Norte son las que presentaron los mayores valores en cuanto a concentración de material particulado, debido a que en los distritos que confirman estas dos zonas es donde se ha presentado altos niveles de contaminación en la calidad del aire. Estos resultados obtenidos mediante la evaluación temporal que se realizaron, se asemejan, a los resultados publicados en los artículos de los autores, como: Lai y Brimblecombe (2017), que mencionaron que los fuegos artificiales conducen a picos de corto plazo en la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5}, y que estos se daban en las primeras horas de la festividad. Asimismo, Robles et al. (2017) que refiere que la pirotecnia es ampliamente usada en las celebraciones, que, aunque son

actividades lúdicas y de espectáculo, han generado preocupación por la emisión de contaminantes que dañan la calidad del aire. Del mismo modo, Lin (2016), indico que un gran número de investigación sugieren que los niveles ambientales de material particulado al aire libre aumentan significativamente durante el espectáculo de fuegos artificiales.

4.2. Determinación temporal de los gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂) generado en las celebraciones de fin de año.

4.2.1. Evaluación de la concentración de CO para las estaciones de Lima Centro

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de CO registrados para las estaciones de “San Borja” y “Campo de Marte”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

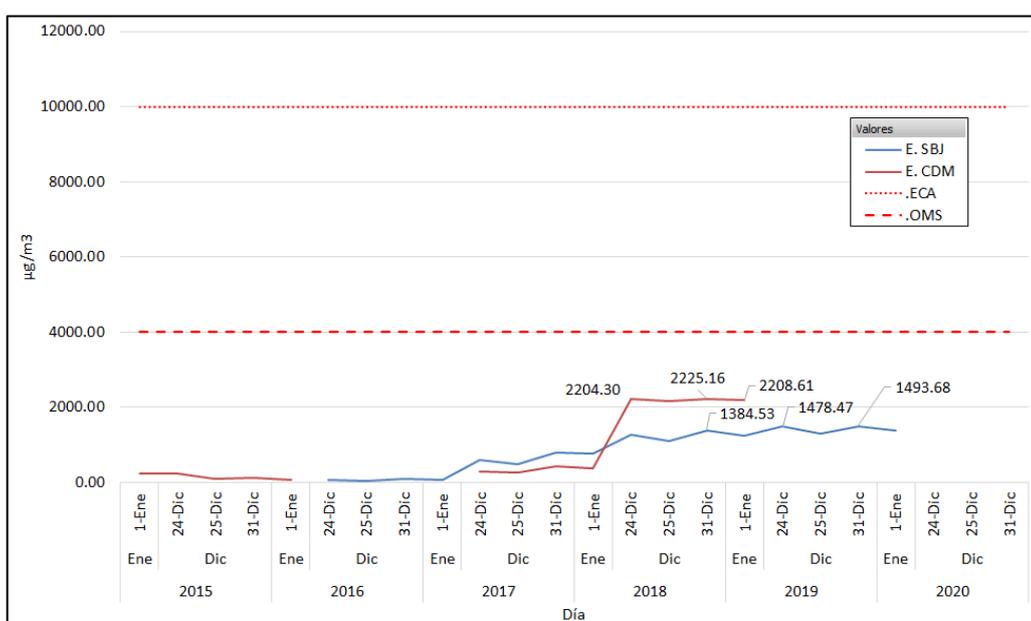


Figura 49: Evolución diaria de la concentración de CO en las estaciones de Lima Centro

En la Figura 49, el promedio diario de la concentración de CO registrado de las celebraciones de fin de año por la estación San Borja y la estación Campo de Marte, para los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de CO registrados por las estaciones de “San Borja” y “Campo de Marte”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2015 al 2019.

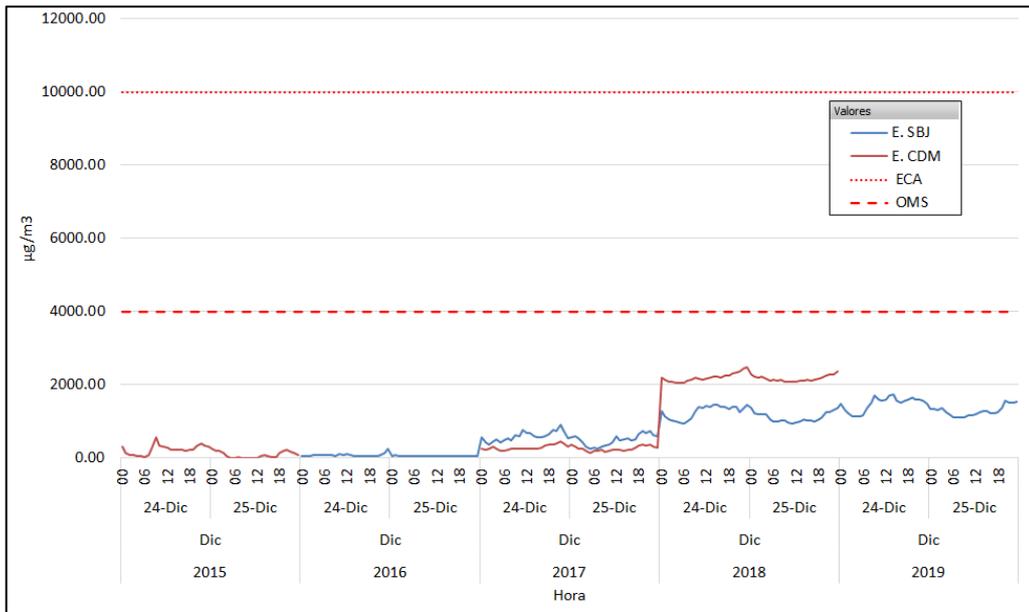


Figura 50: Registro horario de CO para navidad en las estaciones de Lima Centro

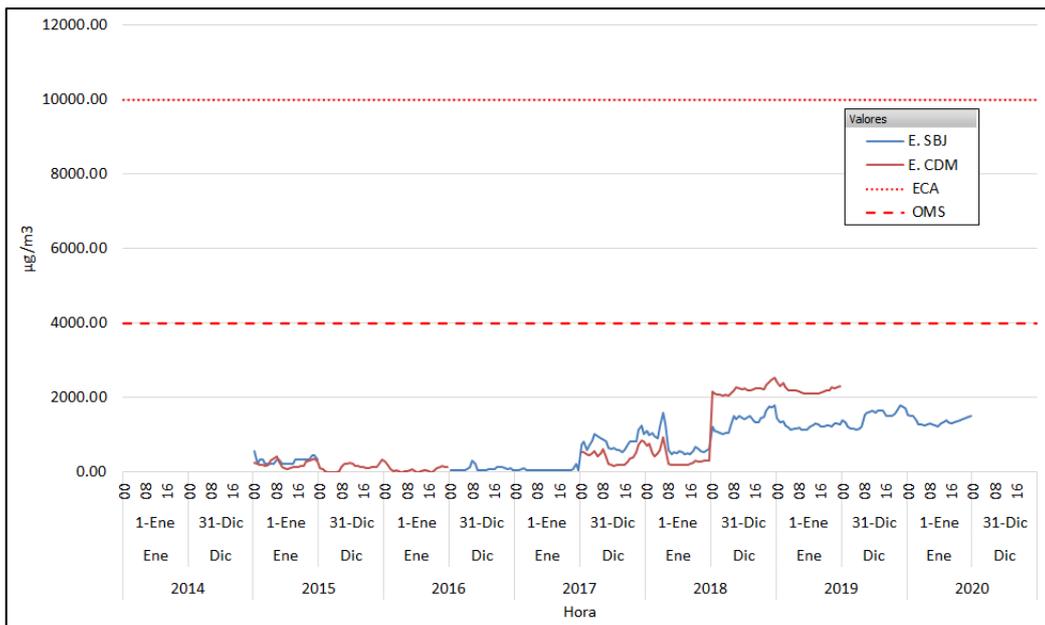


Figura 51: Registro horario de CO para fin de año en las estaciones de Lima Centro

En la figura 50 y 51 se puede evidenciar que, para las celebraciones de fin de año, como son navidad y año nuevo, la estación de San Borja y la estación Campo de Marte no presentaron valores máximos que sobrepasaran el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Tabla 28: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2014	-	24	316.25	91.31	575.00	230.00	230.00	345.00	345.00
	Fin de Año 2016	183.13	96	71.64	44.70	309.30	44.80	46.00	56.90	75.03
SBJ	Fin de Año 2017	807.13	96	661.82	237.91	1590.40	256.40	518.65	603.15	758.68
	Fin de Año 2018	1539.96	96	1248.23	192.41	1808.90	931.50	1069.18	1247.75	1389.20
	Fin de Año 2019	1666.52	96	1405.44	182.99	1798.60	1101.70	1262.98	1381.70	1561.65

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 28, se observa que, la Estación de monitoreo San Borja tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2019, a excepción del 2015. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2017, 2018 y 2019, y anomalía negativa el año 2016.

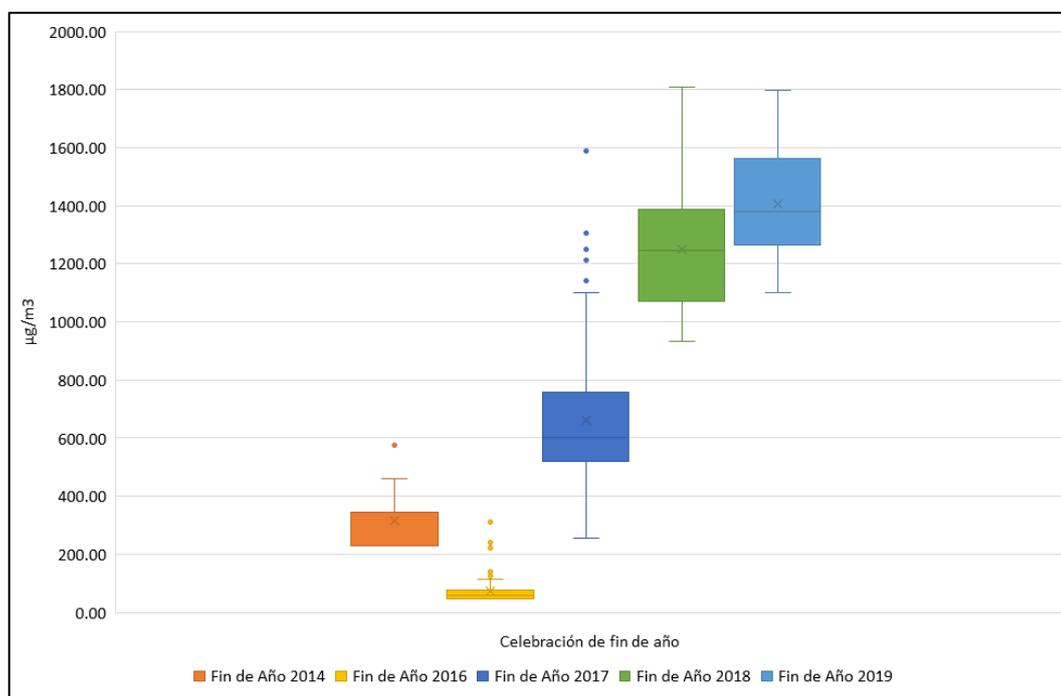


Figura 52: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación San Borja en Lima Centro

En la figura 52 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2016, no son tan dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 56.90 y 1381.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada,

la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas no nos muestran valores atípicos.

Tabla 29: Resultados estadísticos, Estación Campo de Marte en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	N° Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CDM	Fin de Año 2014	-	24	226.35	96.53	433.10	94.20	149.08	198.95	305.43
	Fin de Año 2015	306.77	96	130.78	112.70	569.80	0.10	32.55	117.25	214.73
	Fin de Año 2017	397.82	96	337.27	169.77	943.00	149.50	218.50	276.00	402.50
	Fin de Año 2018	2276.89	96	2202.82	106.59	2546.10	2051.60	2118.30	2191.90	2261.15

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 29, se observa que, la Estación de monitoreo Campo de Marte tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2018, a excepción del 2016. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2017 y 2018, y anomalía negativa el año 2015.

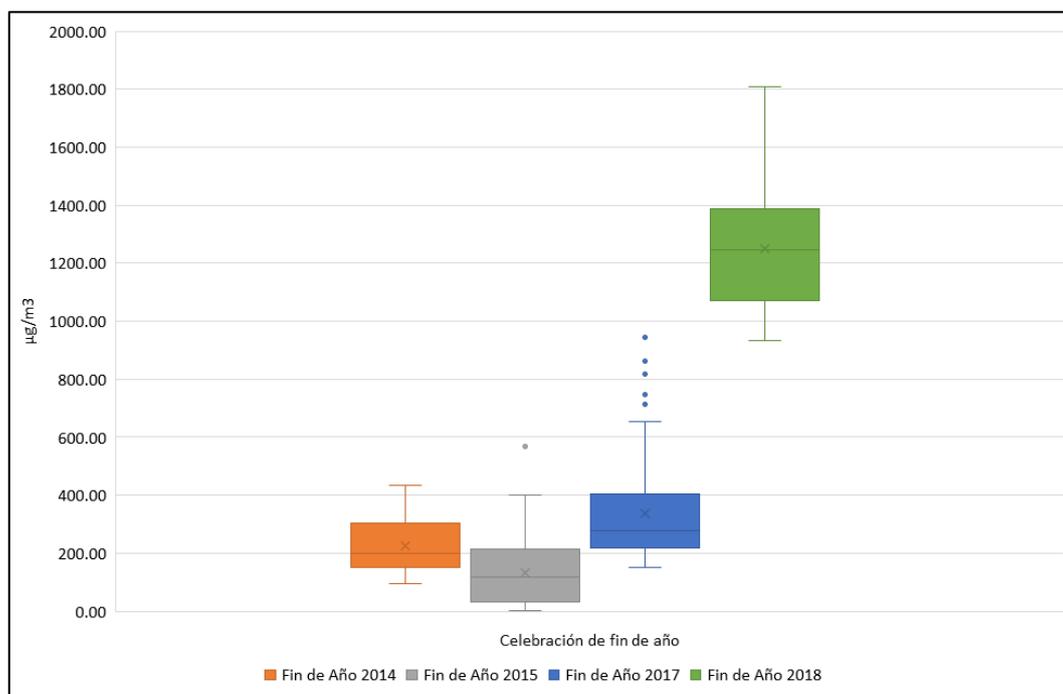


Figura 53: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Campo de Marte en Lima Centro

En la figura 53 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 117.25 y 2191.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas no nos muestran valores atípicos.

4.2.2. Evaluación de la concentración de CO para las estaciones de Lima Sur

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de CO registrados para la estación de “Villa María del Triunfo”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

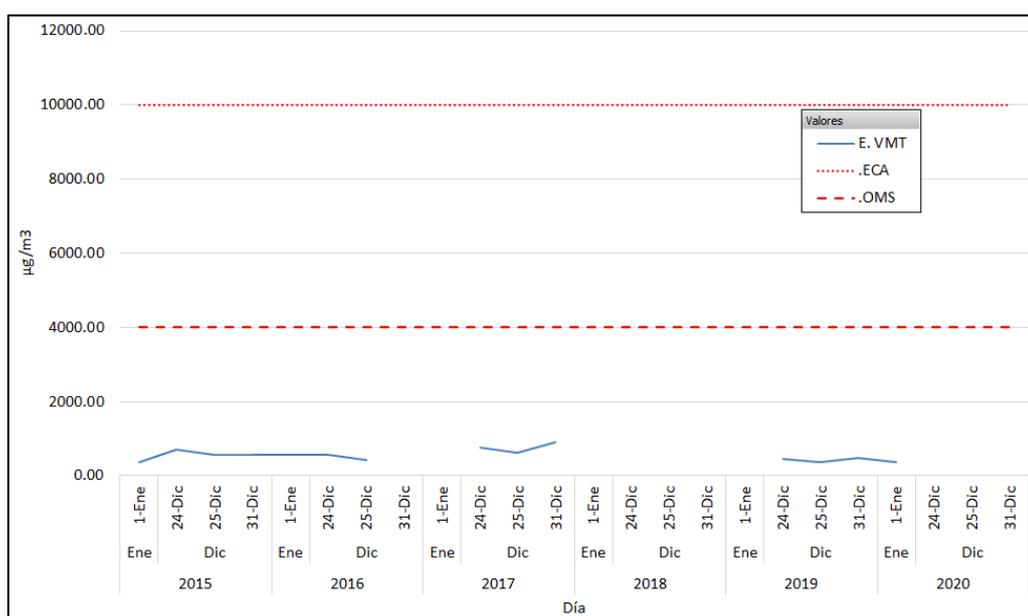


Figura 54: Evolución diaria de la concentración de CO en las estaciones de Lima Sur

En la Figura 54, el promedio diario de la concentración de CO registrado de las celebraciones de fin de año por la estación Villa María del Triunfo, para los años 2015, 2016, 2017, y 2019, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de CO registrados por la estación de “Villa María del Triunfo”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2014 al 2017 y 2019.

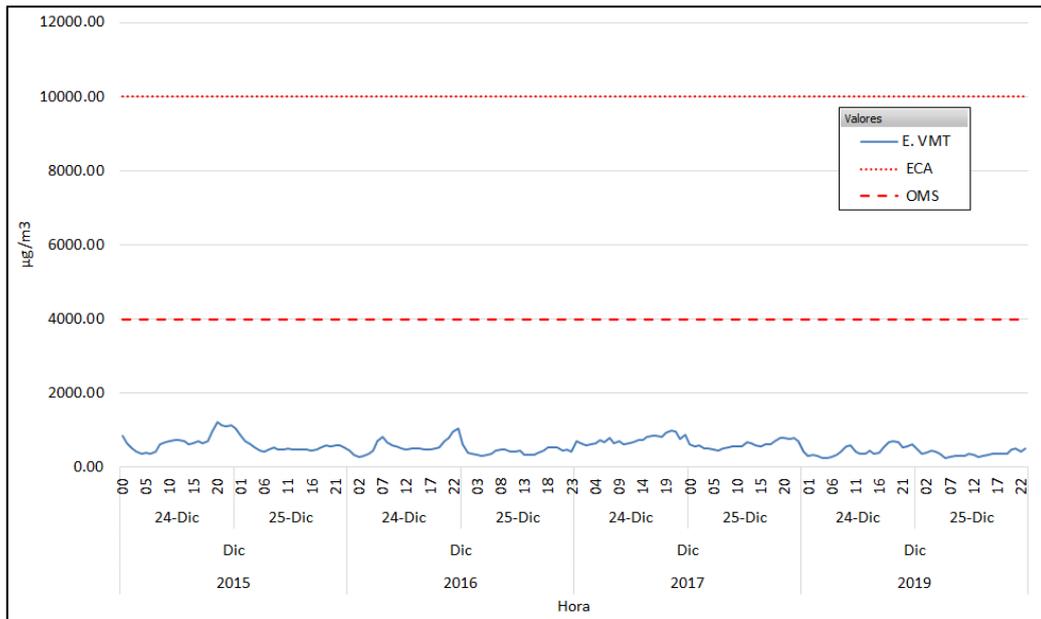


Figura 55: Registro horario de CO para navidad en la estación de Lima Sur

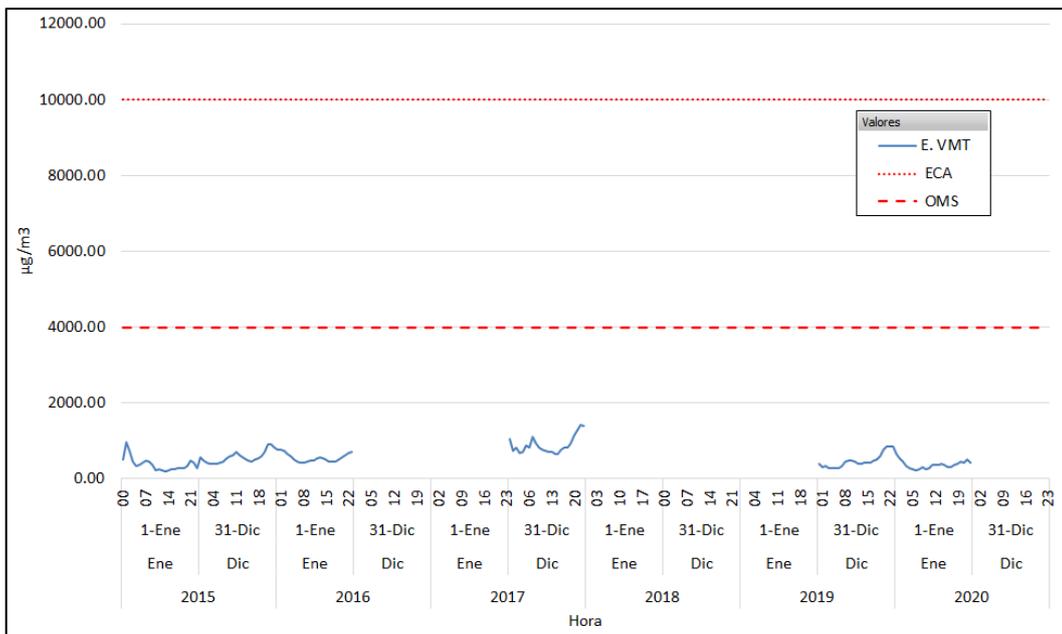


Figura 56: Registro horario de CO para fin de año en la estación de Lima Sur

En la figura 55 y 56 se puede evidenciar que, para las celebraciones de fin de año, como son navidad y año nuevo, la estación Villa María del Triunfo no presentaron valores máximos que sobrepasaran el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Tabla 30: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	N° Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VMT	Fin de Año 2014	-	24	375.30	173.83	953.60	198.00	251.25	340.15	453.68
	Fin de Año 2015	557.18	96	596.65	180.02	1209.50	375.10	469.83	546.50	693.20
	Fin de Año 2016	559.86	48	495.81	163.09	1052.60	289.00	378.88	477.40	537.75
	Fin de Año 2017	730.12	72	752.73	192.00	1417.90	463.40	634.80	712.95	825.08
	Fin de Año 2019	728.60	96	413.69	137.53	859.60	222.10	317.00	379.70	465.40

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 30, se observa que, la Estación de monitoreo Villa María del Triunfo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2017 y 2019. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para los años 2015 y 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015 y 2017, y anomalía negativa los años 2016 y 2019.

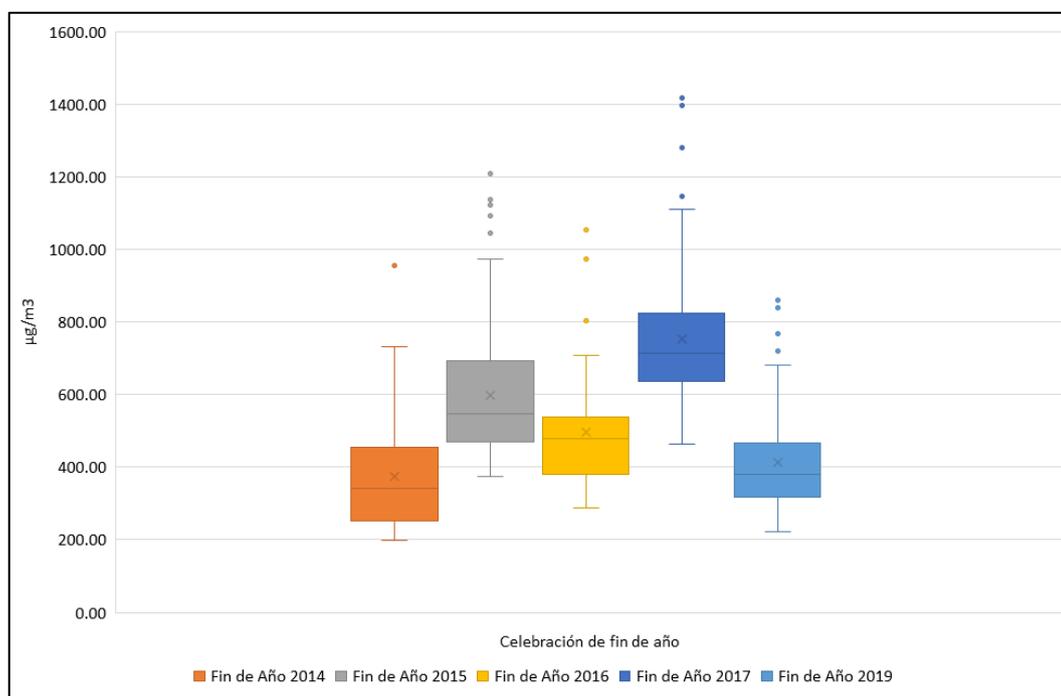


Figura 57: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

En la figura 57 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados están dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 340.15 y 715.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada. A la vez, las gráficas nos

muestran valores atípicos para los años 2015, 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 1209.50, 1052.60 y 1417.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

4.2.3. Evaluación de la concentración de CO para las estaciones de Lima Este

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de CO registrados para para las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

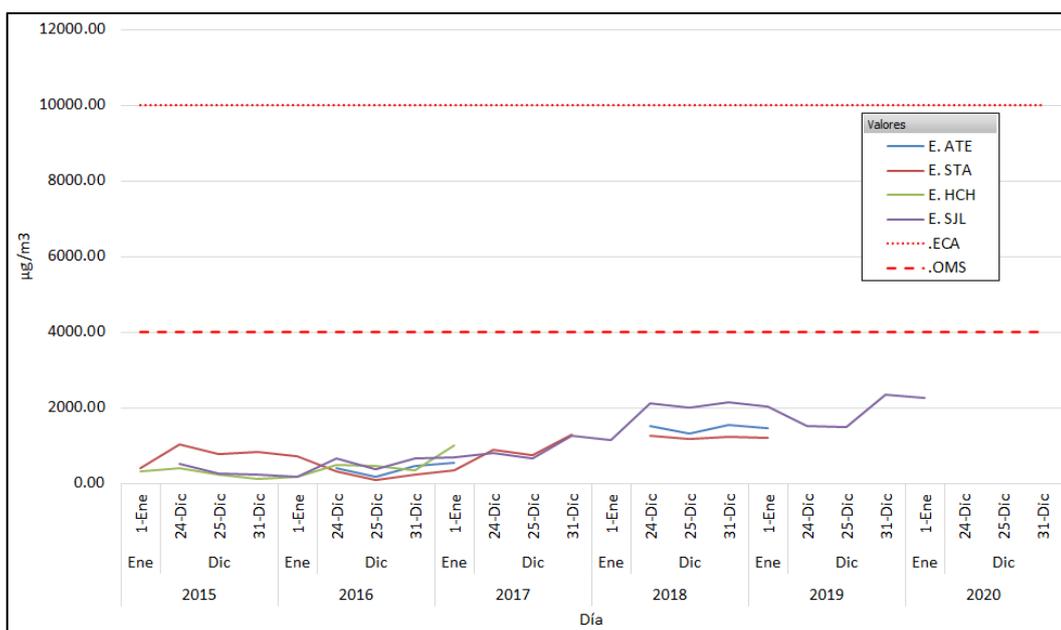


Figura 58: Evolución diaria de la concentración de CO en las estaciones de Lima Este

En la Figura 49, el promedio diario de la concentración de CO registrado de las celebraciones de fin de año por las estaciones Ate, Santa Anita, Huachipa y San Juan de Lurigancho, para los años 2015 al 2020, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de CO registrados por las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2015 al 2020.

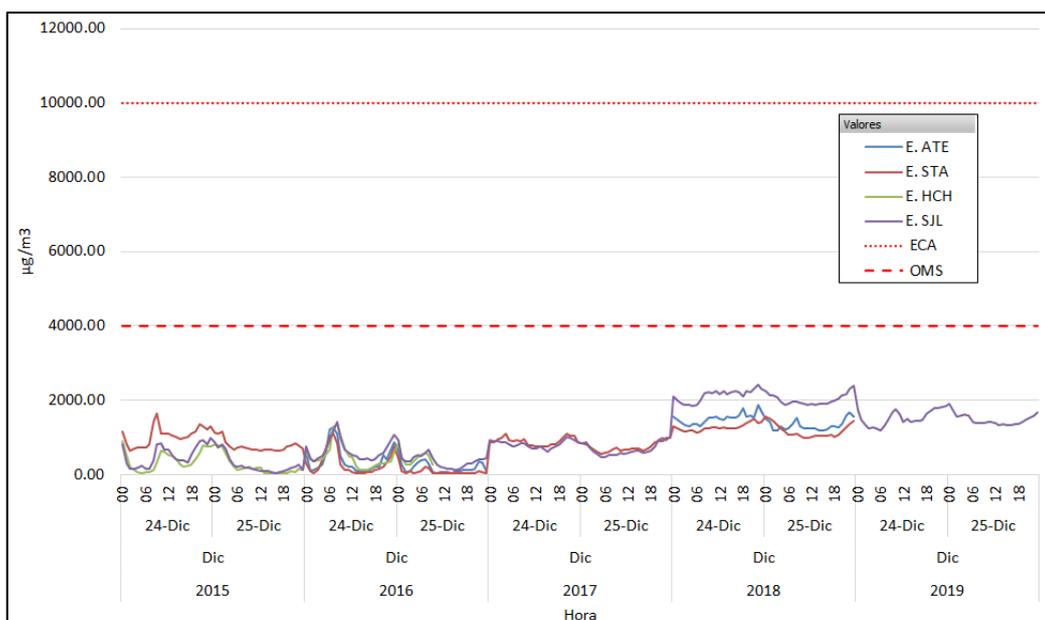


Figura 59: Registro horario de CO para navidad en la estación de Lima Este

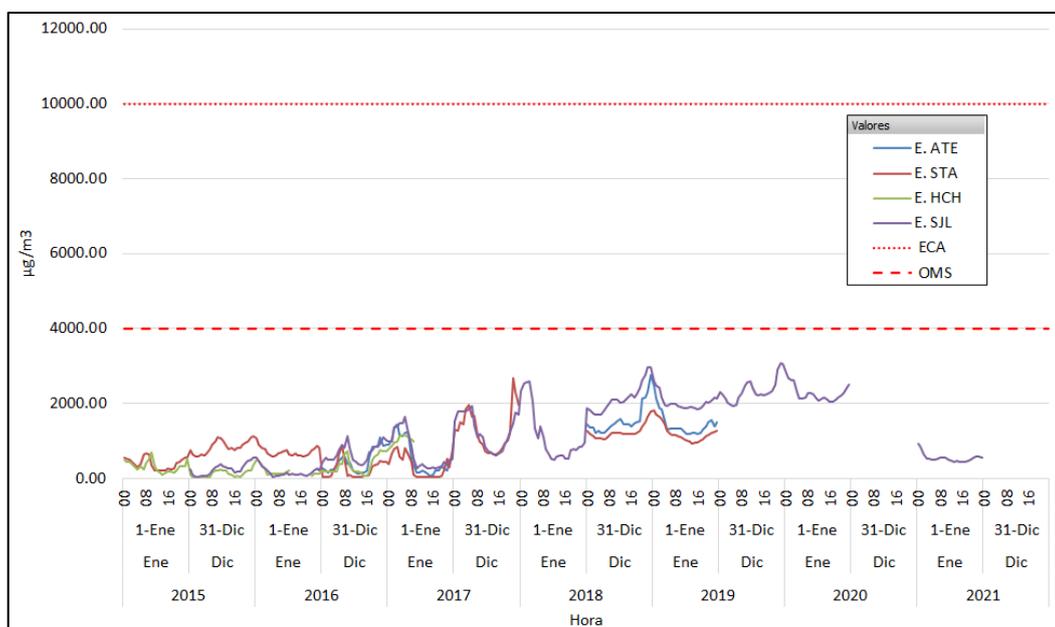


Figura 60: Registro horario de CO para fin de año en la estación de Lima Este

En la figura 59 y 60 se puede evidenciar que, para las celebraciones de fin de año, como son navidad y año nuevo, las estaciones de Lima Este, no presentaron valores máximos que sobrepasaran el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Tabla 31: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
ATE	Fin de Año 2016	534.59	96	399.36	364.53	1431.80	46.00	129.38	241.50	546.25
	Fin de Año 2018	1596.82	96	1457.98	282.54	2764.60	1168.40	1279.65	1388.60	1534.35

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 31, se observa que, la Estación de monitoreo Ate tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2016 y 2018. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2018.

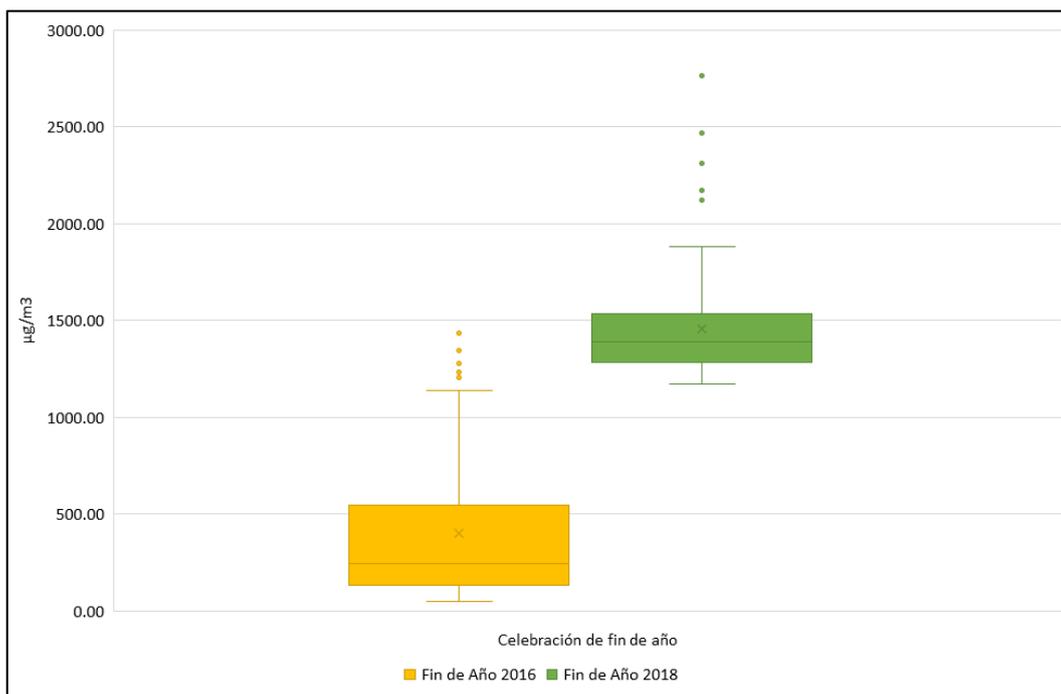


Figura 61: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Ate en Lima Este

En la figura 61 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2018, no son tan dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 241.50 y 1388.60µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2018, ubicados por encima de los bigotes, como son 2764.60µg/m³.

Tabla 32: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
STA	Fin de Año 2014	-	24	397.95	155.67	658.50	198.40	247.78	386.70	547.25
	Fin de Año 2015	914.29	96	836.05	219.78	1647.90	575.00	658.38	770.50	994.75
	Fin de Año 2016	385.27	96	240.85	268.99	1109.80	37.90	46.00	92.55	372.03
	Fin de Año 2017	997.64	72	967.05	407.55	2684.10	560.00	702.60	874.00	999.60
	Fin de Año 2018	1389.20	96	1217.46	184.25	1807.80	932.60	1072.95	1185.60	1271.33

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 32, se observa que, la Estación de monitoreo Santa Anita tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2018. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015, 2017 y 2018, y anomalía negativa los el año 2016.

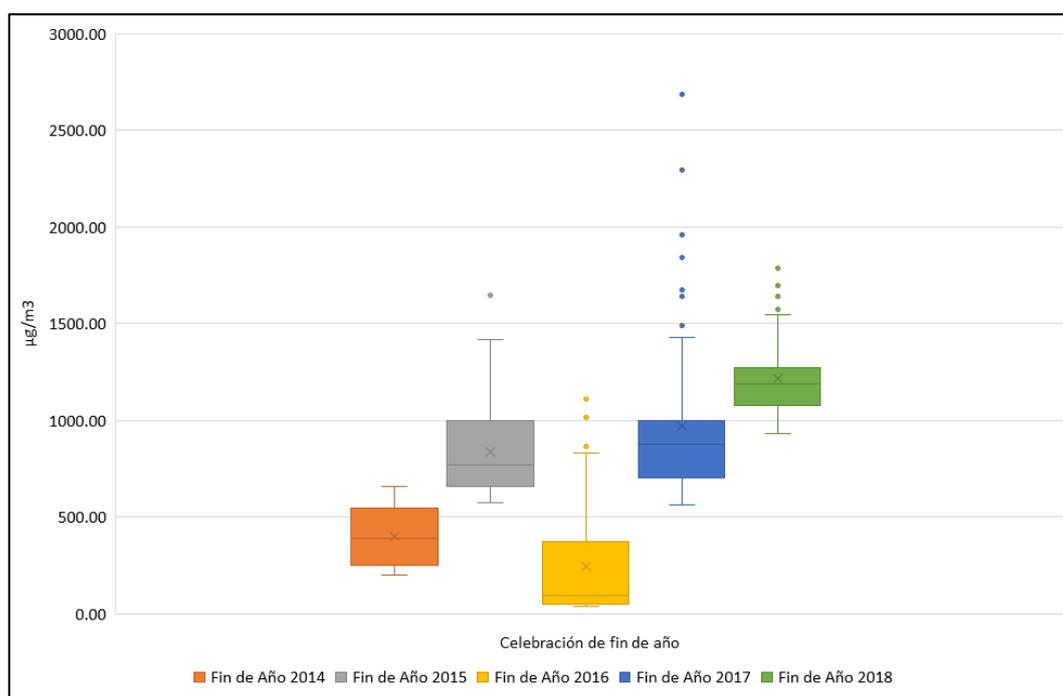


Figura 62: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Santa Anita en Lima Este

En la figura 62 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2018, no son tan dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 92.50 y 1185.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada,

la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son $2684.10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 33: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	N° Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
HCH	Fin de Año 2014	-	24	314.08	147.83	689.50	92.50	187.28	313.10	425.55
	Fin de Año 2015	344.77	89	232.52	220.25	885.50	23.00	71.90	149.50	299.00
	Fin de Año 2016	480.55	68	508.54	333.22	1342.00	51.70	209.88	435.85	724.20

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 33, se observa que, la Estación de monitoreo Huachipa tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2016. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el 2016, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2016, y anomalía negativa el año 2015.

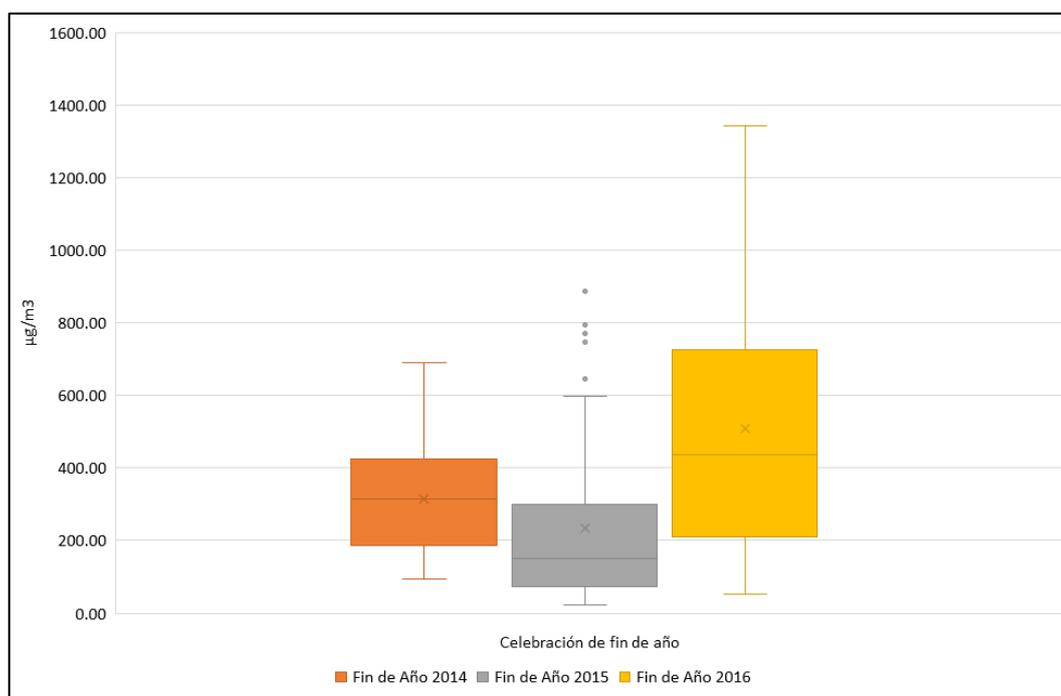


Figura 63: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Huachipa en Lima Este

En la figura 63 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 149.50 y 435.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2015, ubicados por encima de los bigotes, como son 885.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 34: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SJL	Fin de Año 2015	366.84	96	296.07	247.21	977.50	34.50	106.38	207.00	396.75
	Fin de Año 2016	616.96	96	596.34	339.76	1629.50	125.30	359.65	485.85	806.15
	Fin de Año 2017	892.07	96	967.93	493.03	2601.30	471.50	631.05	815.90	1072.63
	Fin de Año 2018	2473.66	96	2075.42	240.51	2961.20	1697.40	1892.28	2036.05	2203.10
	Fin de Año 2019	1456.18	96	1901.94	466.56	3087.70	1181.00	1450.45	1919.90	2246.48
	Fin de Año 2020	-	24	539.42	118.29	936.10	431.20	462.83	516.90	549.65

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 34, se observa que, la Estación de monitoreo San Juan de Lurigancho tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015 al 2020. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para los años 2017 y 2019, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016, 2017 y 2018, y anomalía negativa los años 2019 y 2020.

En la figura 64 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2018 y 2020 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados. A la vez presenta una mediana entre los valores de 207.00 y 2036.05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2017 y 2018, ubicados por encima de los bigotes, como es 2601.30 y 2961.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

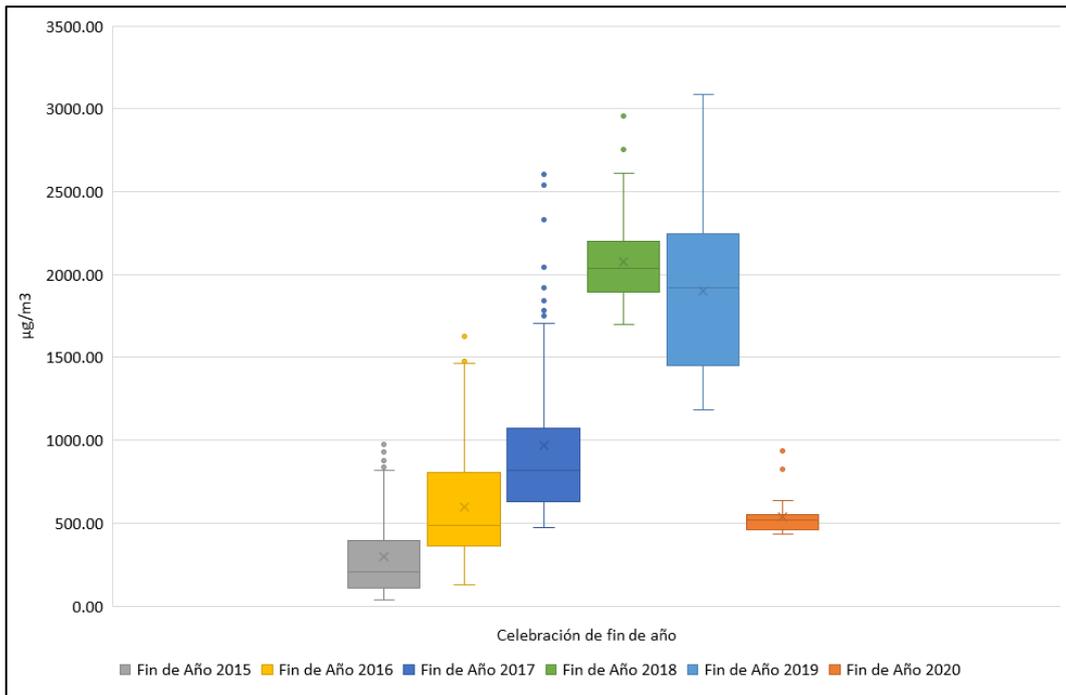


Figura 64: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

4.2.4. Evaluación de la concentración de CO para las estaciones de Lima Norte

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de CO registrados para las estaciones “Puente Piedra”, “Carabaylo” y “San Martín de Porres”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

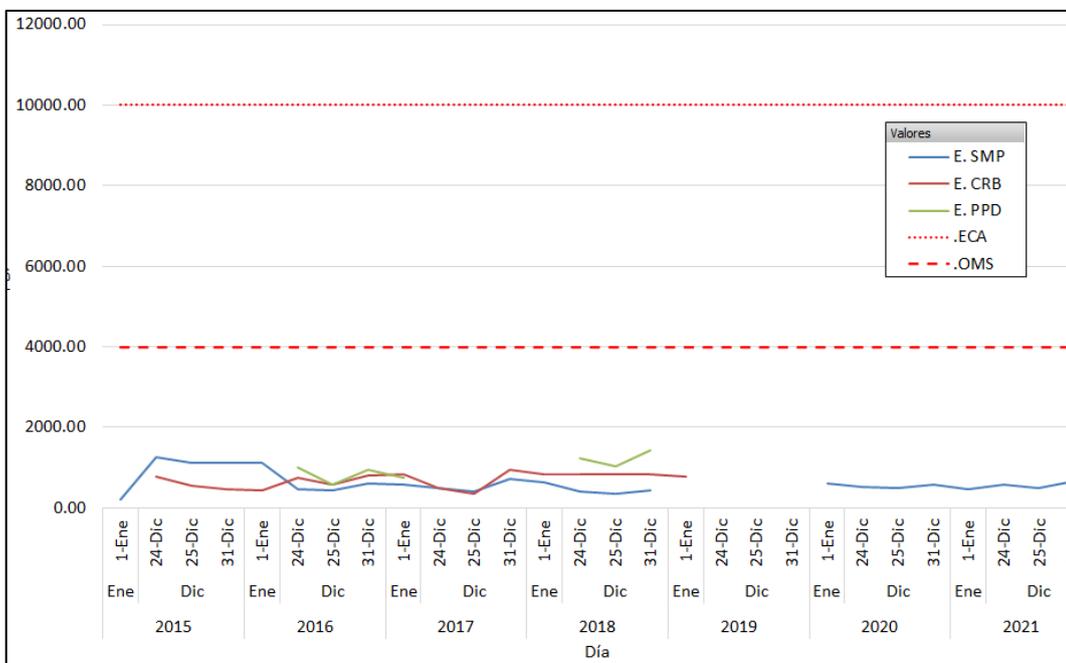


Figura 65: Evolución diaria de la concentración de CO en las estaciones de Lima Norte

En la Figura 65, el promedio diario de la concentración de CO registrado de las celebraciones de fin de año por las estaciones de Lima Norte, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de CO registrados por las estaciones de “Puente Piedra”, “Carabaylo” y “San Martín de Porres”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2014 al 2021.

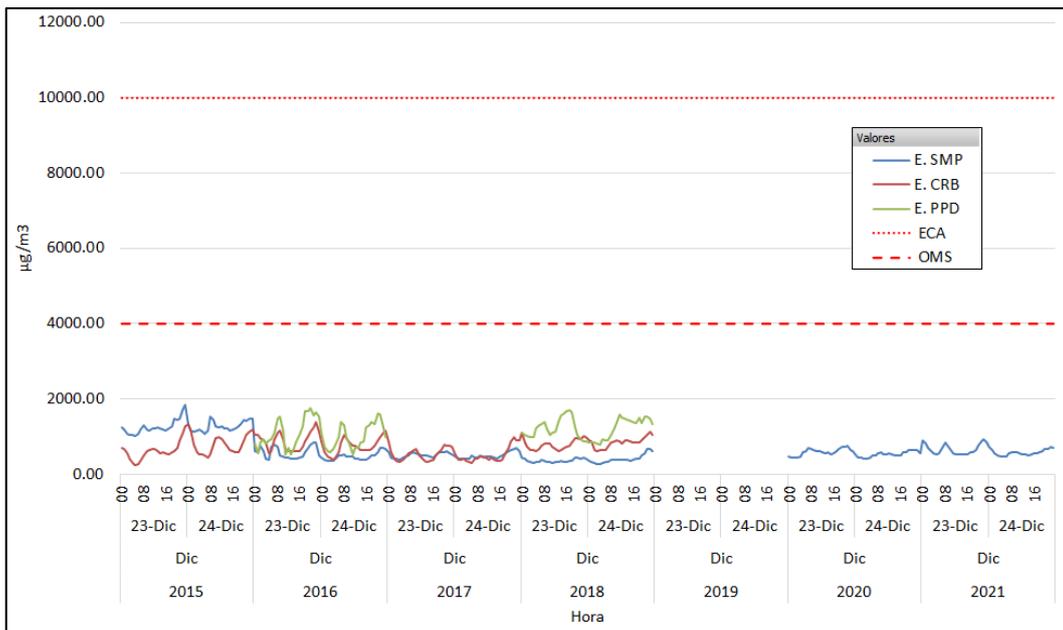


Figura 66: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para CO en Lima Norte

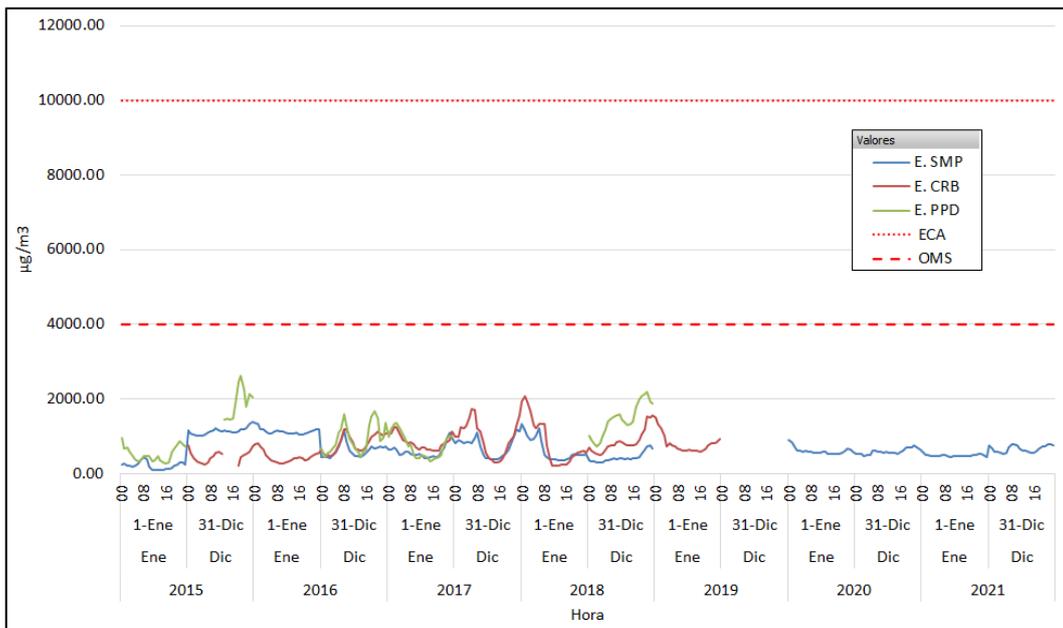


Figura 67: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para CO en Lima Norte

En la figura 66 y 67 se puede evidenciar que, para las celebraciones de fin de año, como son navidad y año nuevo, las estaciones de Lima Norte no presentaron valores máximos que sobrepasaran el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Tabla 35: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SMP	Fin de Año 2014	-	24	208.15	93.65	426.90	85.30	118.10	202.20	270.08
	Fin de Año 2015	1172.16	96	1161.73	114.34	1538.80	1012.00	1079.80	1132.55	1200.95
	Fin de Año 2016	443.85	96	521.46	160.67	1149.50	324.10	420.48	487.35	588.98
	Fin de Año 2017	448.52	96	563.39	241.74	1335.10	317.60	391.00	469.90	662.83
	Fin de Año 2018	435.53	72	394.06	118.84	752.70	246.00	308.13	371.20	421.85
	Fin de Año 2019	517.79	24	599.78	91.25	885.90	507.70	547.83	578.40	613.95
	Fin de Año 2020	530.41	96	519.59	72.22	754.90	413.70	472.00	499.00	566.13
	Fin de Año 2021	590.33	72	568.47	106.31	787.70	421.40	468.48	550.05	660.58

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 35, se observa que, la Estación de monitoreo San Martín de Porres tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2021. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para los años 2016, 2017 y 2019, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015, 2017, 2019 y 2021, y anomalía negativa los años 2016, 2018 y 2020.

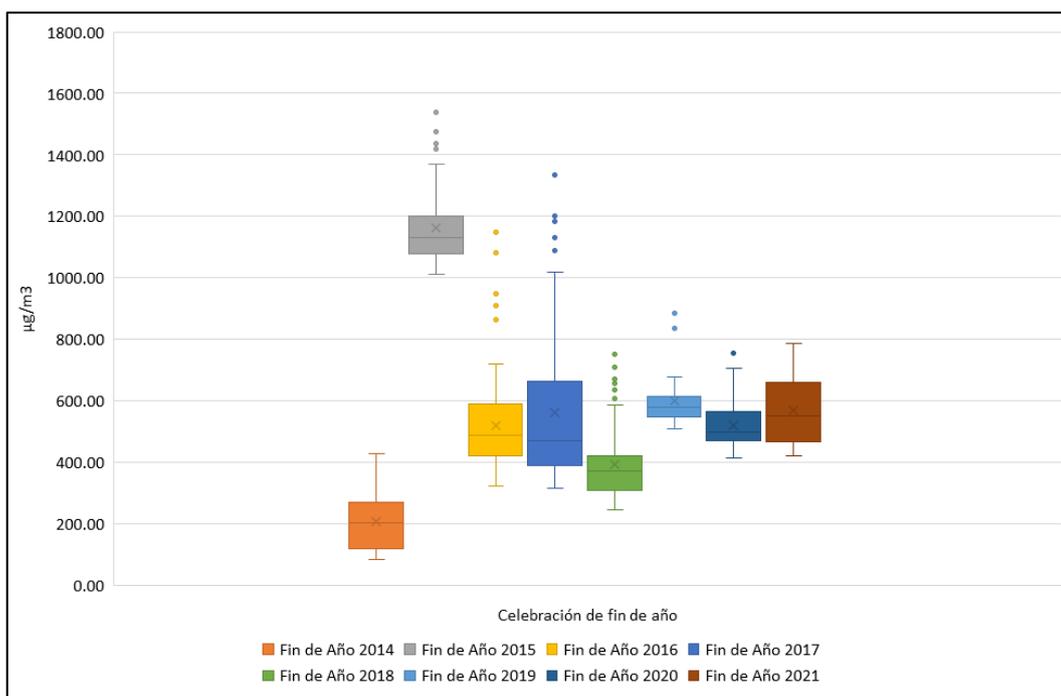


Figura 68: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación San Martín de Porres en Lima Norte

En la figura 68 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2019 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados. A la vez presenta una mediana entre los valores de 202.20 y 1132.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2015 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como es 1538.80 y 133510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

Tabla 36: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CRB	Fin de Año 2015	633.81	91	561.94	244.58	1336.90	192.50	404.10	505.00	718.10
	Fin de Año 2016	642.51	96	738.03	218.89	1252.30	382.90	577.30	675.60	900.15
	Fin de Año 2017	515.59	96	651.94	472.59	2072.30	121.90	317.08	459.95	895.80
	Fin de Año 2018	882.23	88	825.32	220.63	1542.10	499.10	669.28	792.35	901.43

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 36, se observa que, la Estación de monitoreo Carabayllo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015 al 2018. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para los años 2016 y 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio

de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2018, y anomalía negativa el año 2017.

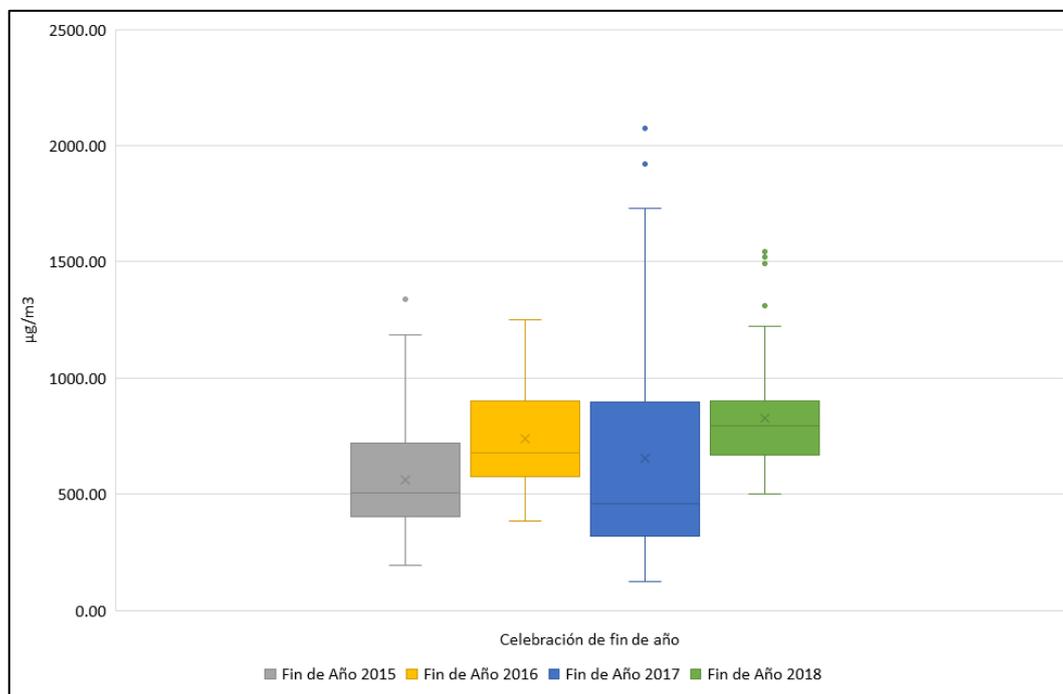


Figura 69: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Carabayllo en Lima Norte

En la figura 69 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución. A la vez presenta una mediana entre los valores de 459.95 y 792.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2017, ubicado por encima de los bigotes, como es 2072.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 37: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv. Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2014	-	24	521.53	202.11	947.80	264.50	339.85	469.95	683.13
PPD	Fin de Año 2015	1568.54	11	1905.65	427.02	2611.60	1431.80	1477.70	1849.20	2274.70
	Fin de Año 2016	704.49	96	820.41	354.89	1668.60	308.20	518.03	720.45	1027.80
	Fin de Año 2018	979.03	72	1234.61	349.14	2181.50	718.80	969.10	1172.40	1449.90

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 37, se observa que, la Estación de monitoreo Puente Piedra tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014, 2015, 2016 y 2018. Asimismo, los

datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para los años 2015, 2016 y 2018, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015 y 2018, y anomalía negativa el año 2016.

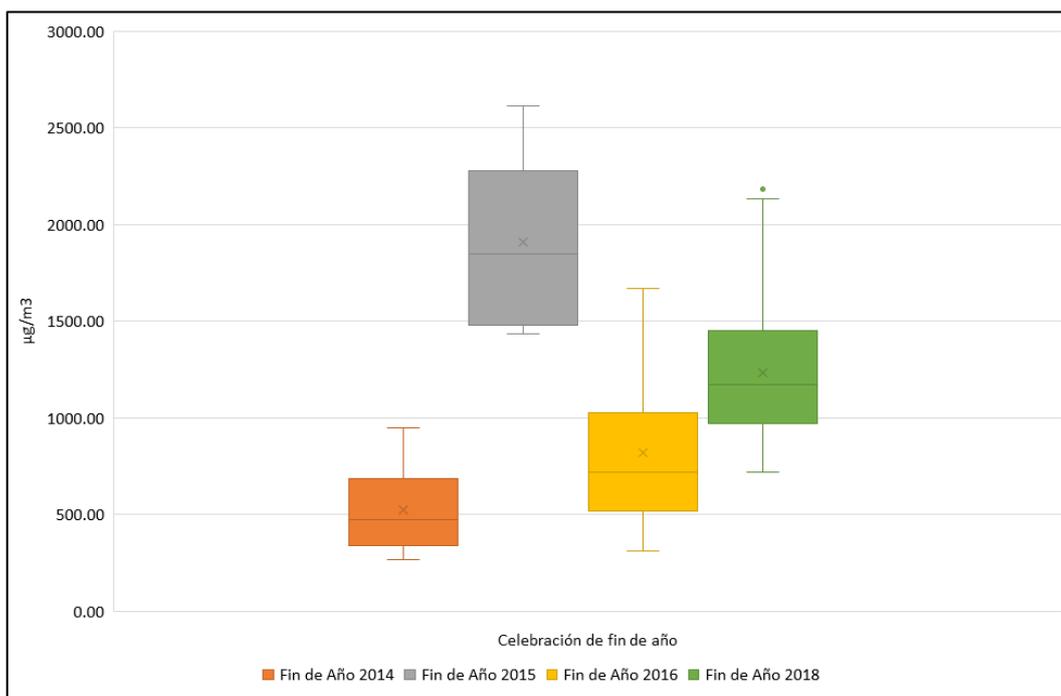


Figura 70: Diagrama de cajas y bigotes de CO, Estación Puente Piedra en Lima Norte

En la figura 70 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución. A la vez presenta una mediana entre los valores de 469.95 y 1849.20µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos.

4.2.5. Evaluación de la concentración de NO₂ para las estaciones de Lima Centro

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de NO₂ registrados para las estaciones de “San Borja” y “Campo de Marte”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

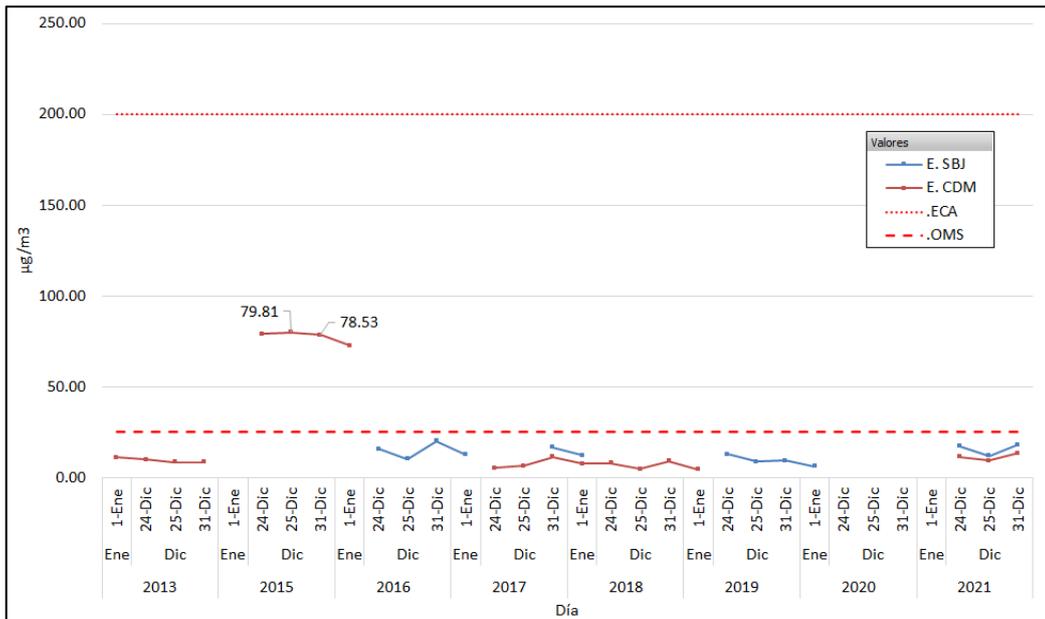


Figura 71: Evolución diaria de la concentración de NO₂ en las estaciones de Lima Centro

En la Figura 71, el promedio diario de la concentración NO₂ registrado de las celebraciones de fin de año por la estación San Borja, no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía de la OMS. Para la estación Campo de Marte, los resultados del promedio diario en la navidad del 2015, no sobrepasaron el ECA para aire, pero si el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de NO₂ registrados por las estaciones de “San Borja” y “Campo de Marte”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2013, 2015 al 2021.

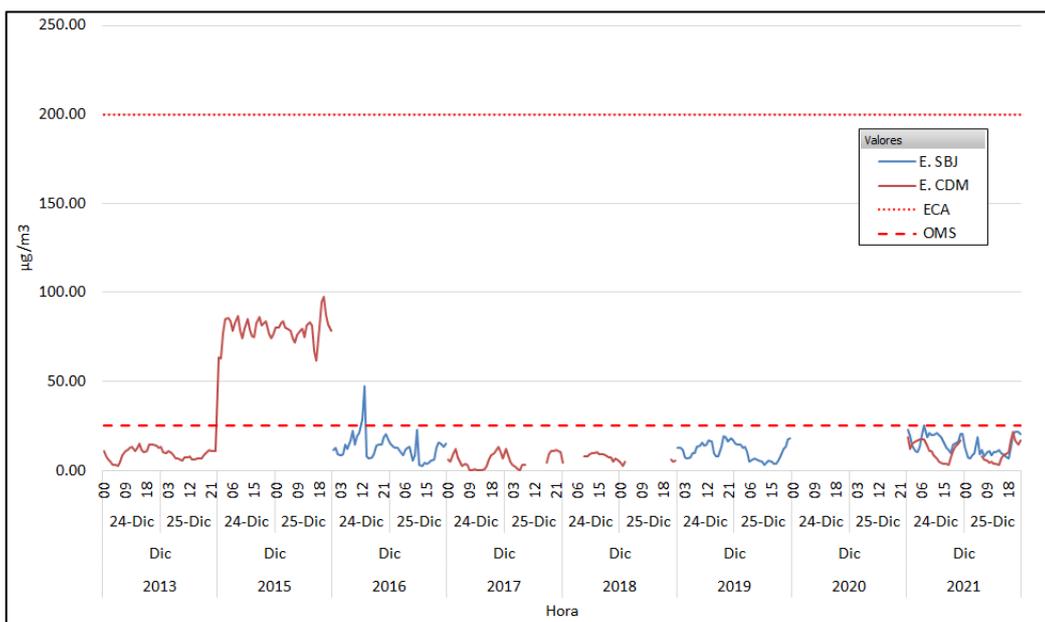


Figura 72: Registro horario de NO₂ para navidad en las estaciones de Lima Centro

En la figura 72 se puede evidenciar que la estación de San Borja presentó los valores máximos que sobrepasaron los $50\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad del año 2015, año en el cual a la vez no se ha sobrepasado el ECA para aire, pero si el valor guía de la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Campo de Marte en el año 2016 presento los valores máximos próximos a los $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía de la OMS.

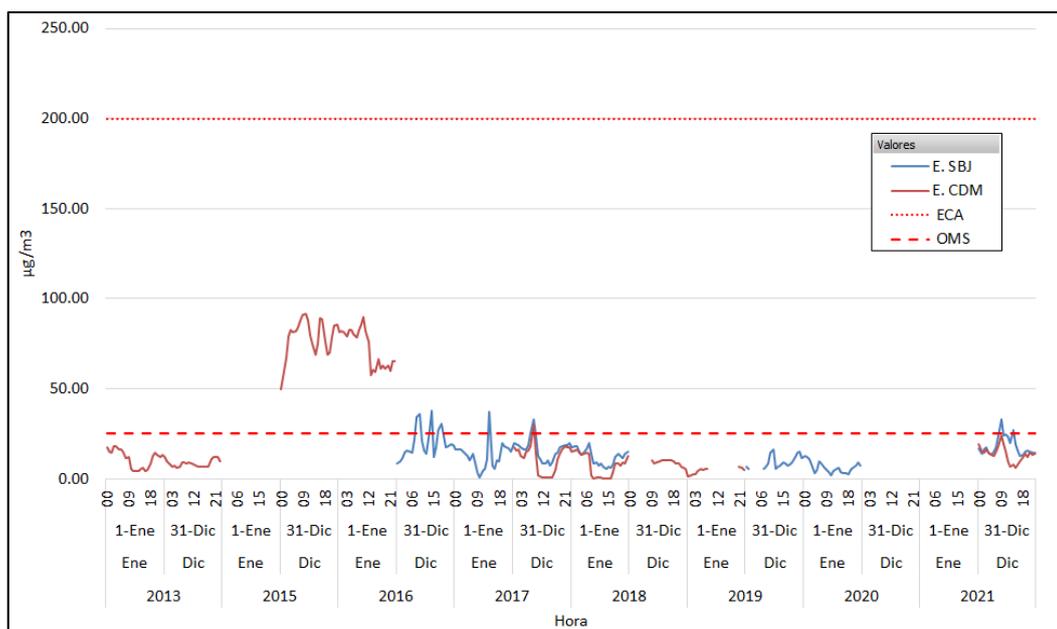


Figura 73: Registro horario de NO_2 para fin de año en las estaciones de Lima Centro

En la figura 73 se puede evidenciar que la estación de San Borja presentó los valores máximos que sobrepasaron los $50\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de fin de año del año 2015, año en el cual a la vez no se ha sobrepasado el ECA para aire, pero si el valor guía de la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Campo de Marte en el año 2016 presento los valores máximos próximos a los $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía de la OMS.

Tabla 38: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	N° Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SBJ	Fin de Año 2016	20.03	96	14.67	8.19	47.10	0.50	9.33	13.85	17.48
	Fin de Año 2017	19.53	48	14.33	5.63	33.20	5.30	8.93	14.10	18.18
	Fin de Año 2019	18.26	91	9.33	4.56	19.30	2.00	5.70	8.10	13.30
	Fin de Año 2021	16.72	72	15.69	5.48	32.80	6.80	11.13	14.95	19.88

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 38, se observa que, la Estación de monitoreo San Borja tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2016, 2017, 2019 y 2021. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2021, y anomalía negativa los años 2017 y 2019.

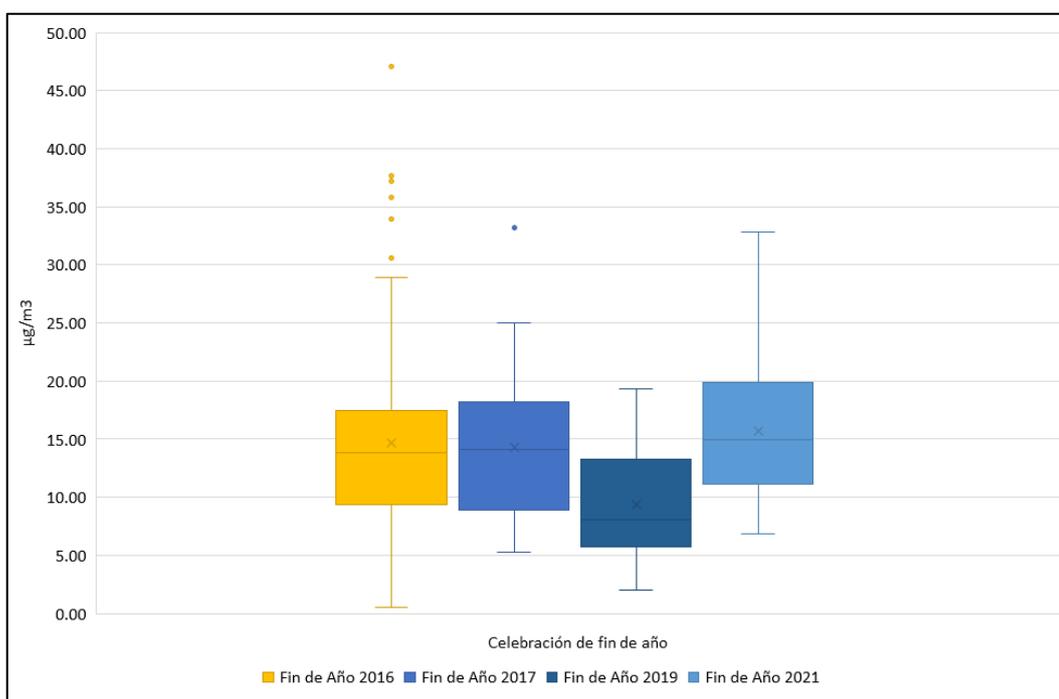


Figura 74: Diagrama de cajas y bigotes de NO_2 , Estación San Borja en Lima Centro

En la figura 74 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 8.10 y 14.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el

50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016, ubicados por encima de los bigotes, como son $47.10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 39: Resultados estadísticos, Estación Campo de Marte en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2013	8.93	72	9.07	2.91	14.80	2.30	6.73	9.00	11.10
	Fin de Año 2015	71.28	96	77.53	9.18	97.80	49.90	74.50	79.70	82.80
CDM	Fin de Año 2017	10.24	88	7.73	6.40	29.70	0.10	0.88	7.90	13.15
	Fin de Año 2018	7.45	49	6.91	2.60	10.40	1.10	5.05	6.90	9.30
	Fin de Año 2021	13.46	64	11.68	5.27	23.90	2.90	6.93	12.40	16.03

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 39, se observa que, la Estación de monitoreo Campo de Marte tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2013, 2015, 2017, 2018 y 2021. Asimismo, los datos registrados para el 2013 y 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2013 y 2018, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015 y 2021, y anomalía negativa los años 2017 y 2018.

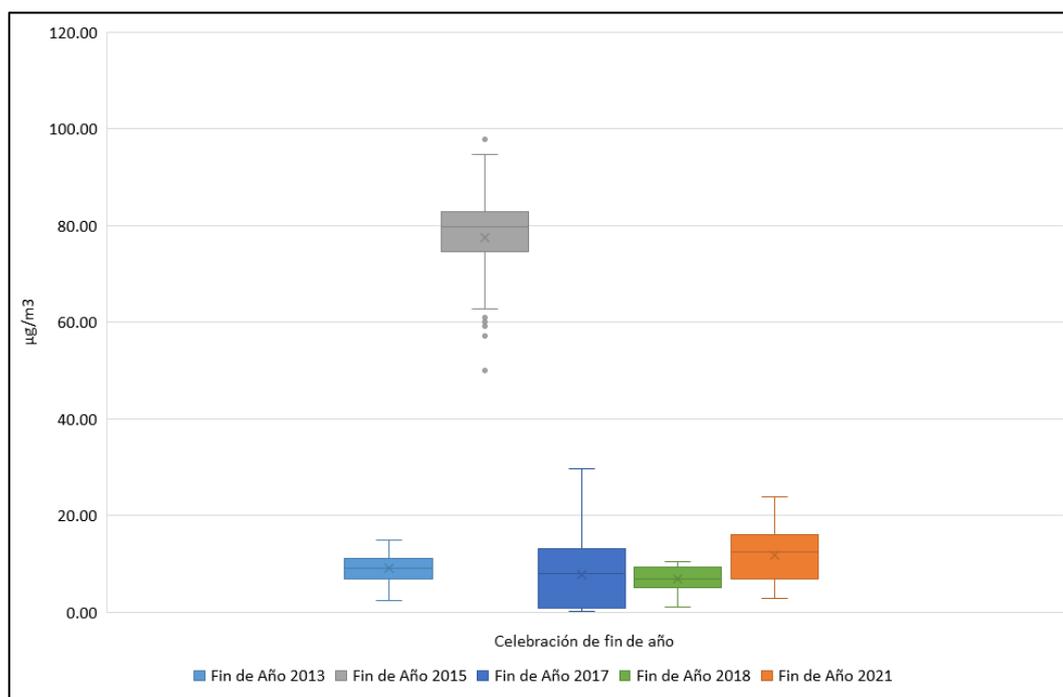


Figura 75: Diagrama de cajas y bigotes de NO_2 , Estación Campo de Marte en Lima Centro

En la figura 75 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2013 y 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 6.90 y $79.70\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas no nos muestran valores atípicos.

4.2.6. Evaluación de la concentración de NO_2 para las estaciones de Lima Sur

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de NO_2 registrados para la estación de “Villa María del Triunfo”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

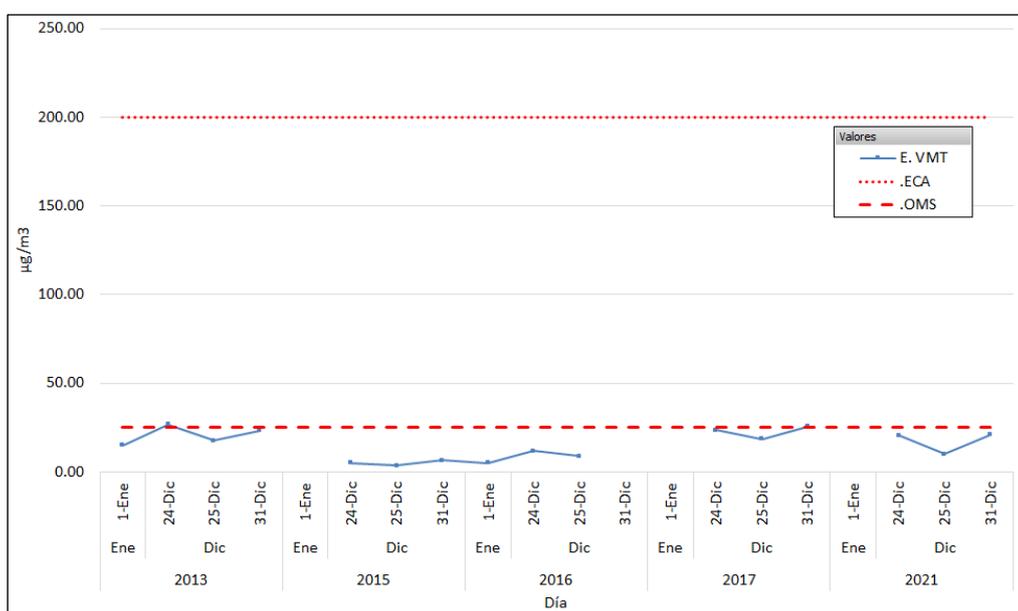


Figura 76: Evolución diaria de la concentración de NO_2 en las estaciones de Lima Sur

En la Figura 76, el promedio diario de la concentración de NO_2 registrado de las celebraciones de fin de año por la estación de Lima Sur, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de NO_2 registrados por la estación de “Villa María del Triunfo”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2013, 2015, 2016, 2017 y 2021.

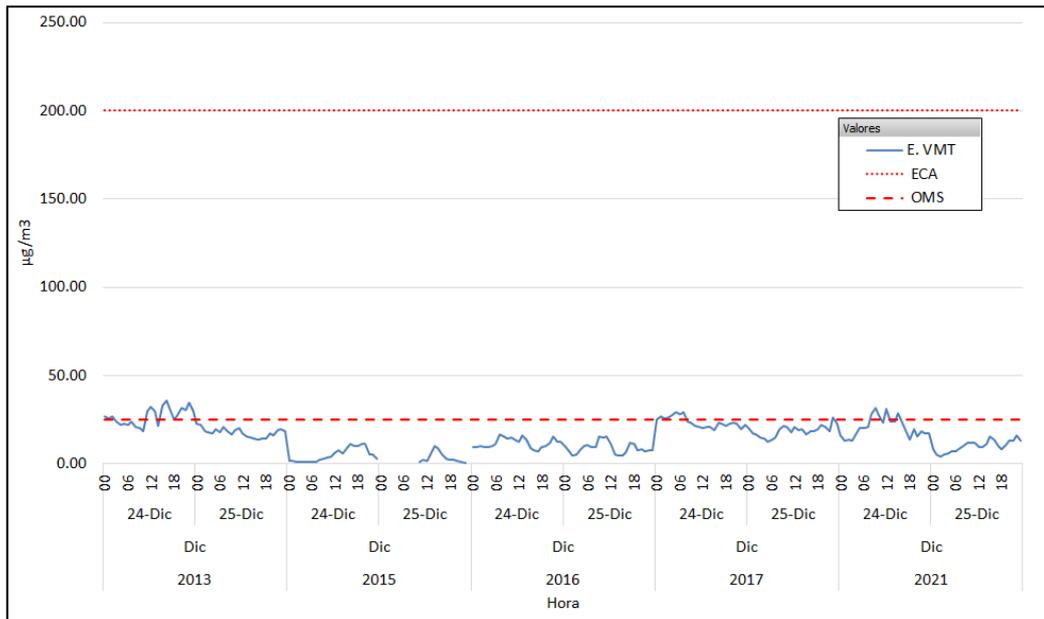


Figura 77: Registro horario de NO₂ para navidad en la estación de Lima Sur

En la figura 77 se puede evidenciar que la estación de Villa María del Triunfo presentó los valores máximos que sobrepasaron los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 24 de diciembre horas antes de la noche buena para los años 2013, 2017 y 2021, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS; para la navidad del 2015 y 2016 fue caso contrario a los años anteriores en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

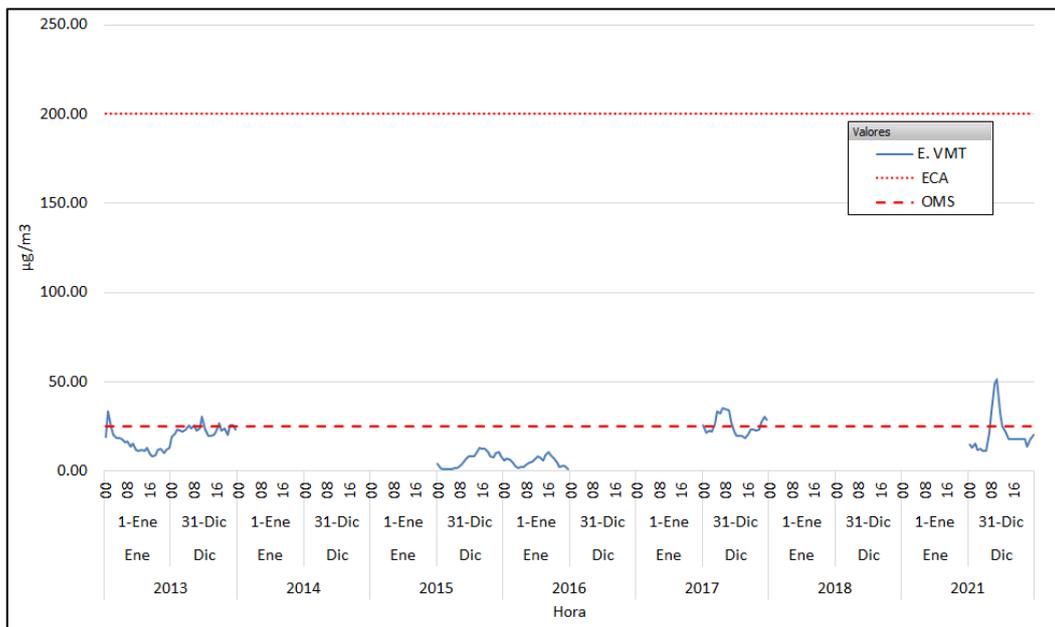


Figura 78: Registro horario de NO₂ para fin de año en la estación de Lima Sur

En la figura 78 se puede evidenciar que la estación de Villa María del Triunfo presentó los valores máximos que sobrepasaron los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 31

de diciembre horas antes de la medianoche para los años 2013, 2017 y 2021, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS; para las fiestas de año nuevo 2015 y 2017 fue caso contrario a los años anteriores en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

Tabla 40: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2013	18.67	72	22.58	5.12	35.60	13.80	18.90	22.20	25.68
	Fin de Año 2015	6.90	85	5.18	3.58	13.30	0.60	1.85	4.60	8.30
VMT	Fin de Año 2016	16.25	48	10.33	3.33	16.40	4.60	7.73	9.95	12.68
	Fin de Año 2017	28.40	72	22.61	4.89	35.20	12.70	19.60	22.15	25.78
	Fin de Año 2021	15.96	72	17.23	8.79	51.40	3.80	11.80	15.75	20.45

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 40, se observa que, la Estación de monitoreo Villa María del Triunfo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2013, 2015 al 2017 y 2021. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para los años 2013 y 2021, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2017, y anomalía negativa los años 2015 y 2021.

En la figura 79 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados están dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 4.60 y $22.20\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el 2021, ubicados por encima de los bigotes, como son $51.40\mu\text{g}/\text{m}^3$.

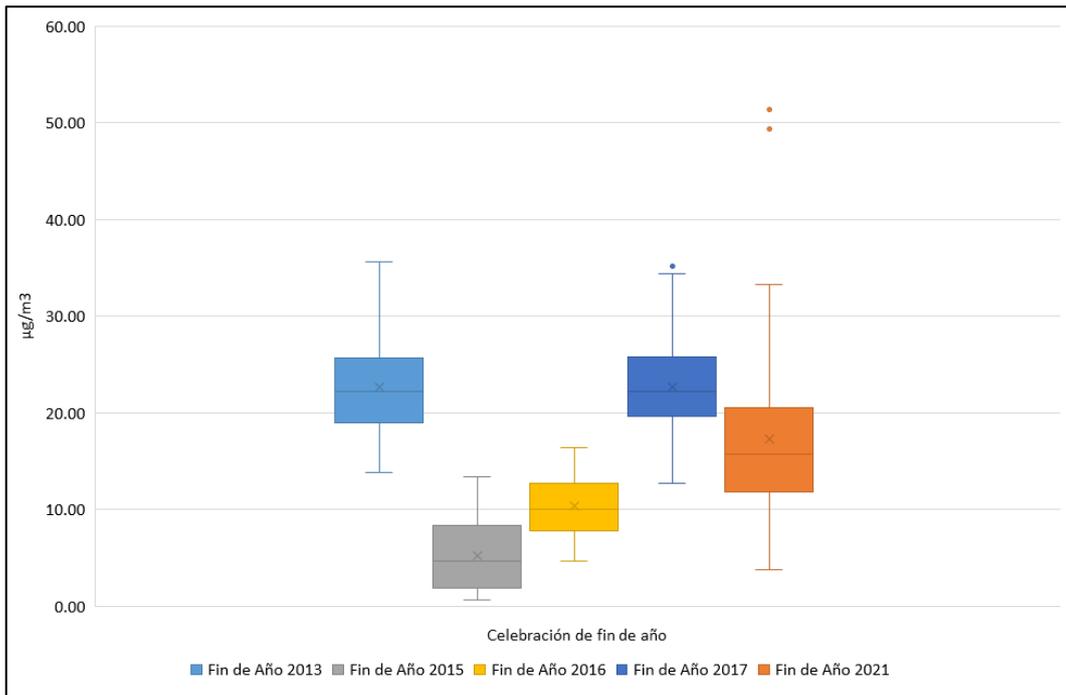


Figura 79: Diagrama de cajas y bigotes de NO₂, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

4.2.7. Evaluación de la concentración de NO₂ para las estaciones de Lima Este

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de NO₂ registrados para para las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

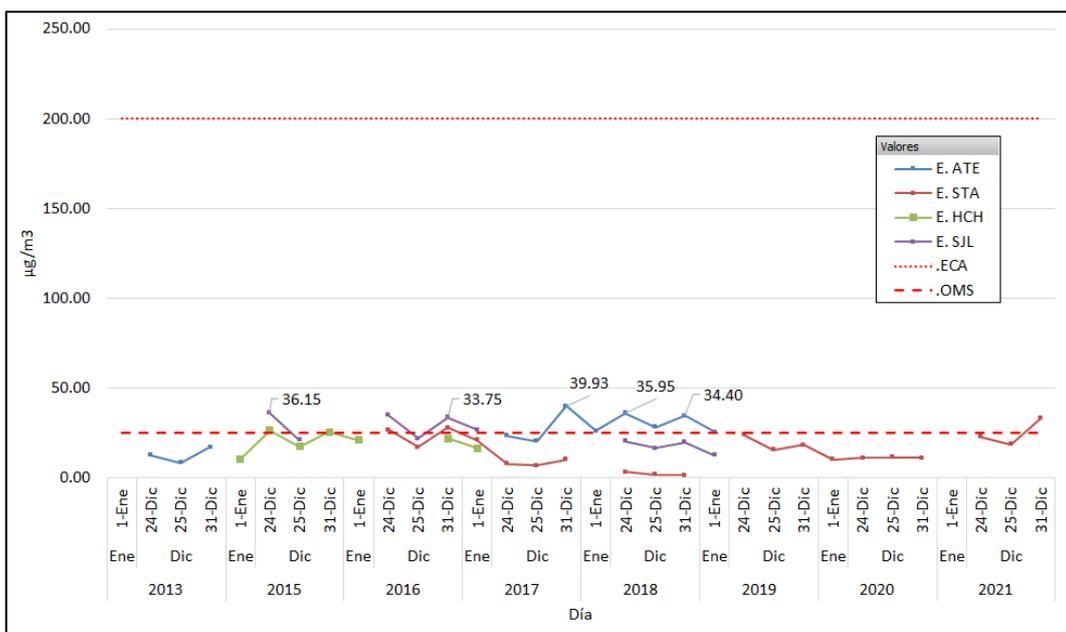


Figura 80: Evolución diaria de la concentración de NO₂ en las estaciones de Lima Este

En la figura 80 se puede evidenciar que la estación Ate presentó los valores máximos que sobrepasaron los $250\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las celebraciones de fin de año del año 2017 y 2018, año en el cual a la vez no se ha sobrepasado el ECA para aire, pero si el valor guía de la OMS. Caso similar para la estación de San Juan de Lurigancho, en el que se registró valores máximos, para las celebraciones de fin de año de los años 2015 y 2016, y también no se ha sobrepasado el ECA para aire, pero si el valor guía de la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación de Huachipa y Santa Anita, no han sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía de la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de NO_2 registrados por las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2013 al 2021, excepto 2014.

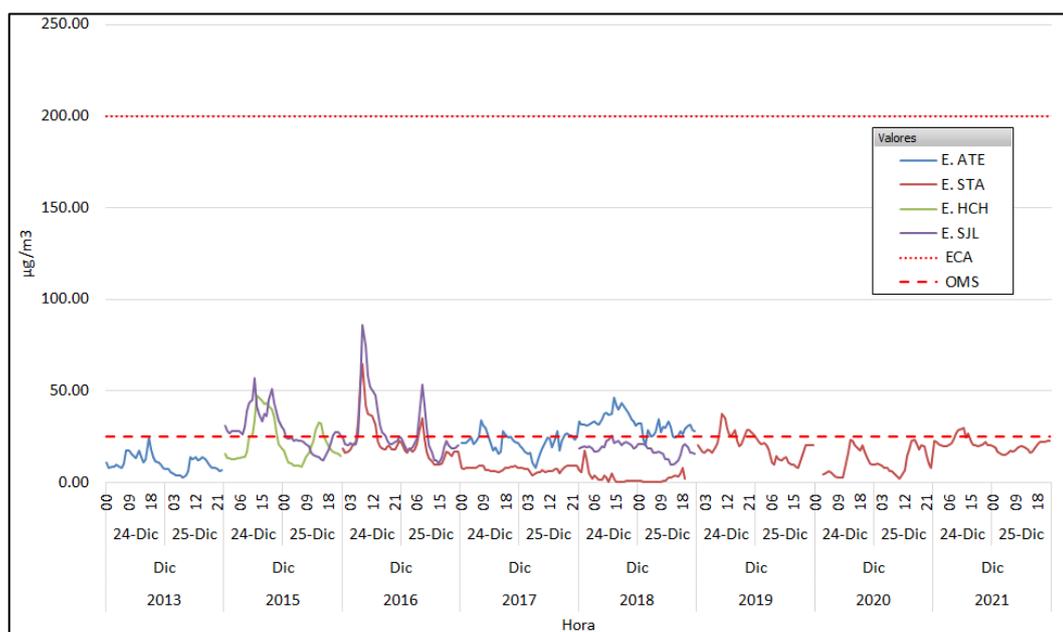


Figura 81: Registro horario de NO_2 para navidad en la estación de Lima Este

En la figura 81 se puede evidenciar que la estación Ate presentó los valores máximos que sobrepasaron los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 24 de diciembre horas antes de la noche buena para los años 2017 y 2018, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS; para la navidad del 2013 fue caso contrario en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

Para la estación Santa Anita presentó los valores máximos que sobrepasaron los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 24 de diciembre horas antes de la noche buena para

los años 2016, 2019 y 2021, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS; para la navidad del 2017, 2018 y 2020 fue caso contrario en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

Para la estación Huachipa presentó los valores máximos que sobrepasaron los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 24 de diciembre horas antes de la noche buena para el año 2015, año en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación San Juan de Lurigancho en los años 2015 y 2016 presento los valores máximos sobre $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, estos valores máximos se registraron el 24 de diciembre horas antes de la noche buena, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS. Para la navidad del 2018, fue caso contrario en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

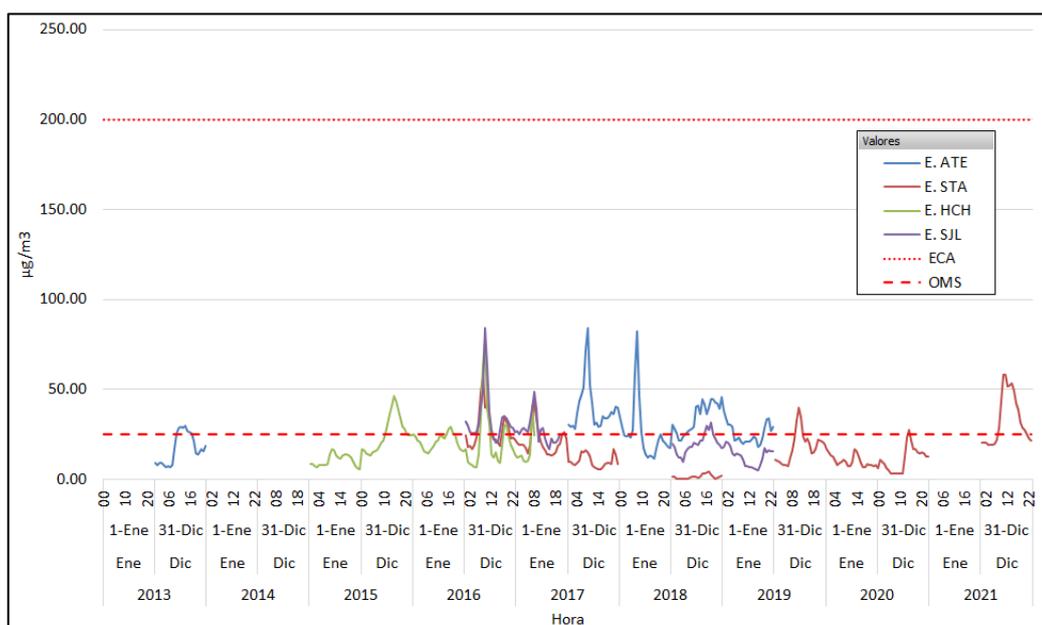


Figura 82: Registro horario de NO₂ para fin de año en la estación de Lima Este

En la figura 82 se puede evidenciar que la estación Ate presentó los valores máximos que sobrepasaron los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 31 de diciembre horas antes de la medianoche para los años 2013, 2017 y 2018, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS.

Para la estación Santa Anita presentó los valores máximos que sobrepasaron los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 31 de diciembre horas antes de la medianoche para los años 2016, 2017, 2019, 2020 y 2021, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA

para aire y si el valor guía dado por la OMS; para la fiesta de fin de año 2018 fue caso contrario en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

Para la estación Huachipa presentó los valores máximos que sobrepasaron los $25\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 31 de diciembre horas antes de la medianoche para los años el año 2015 y 2016, año en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS.

Asimismo, se puede evidenciar que la estación San Juan de Lurigancho en los años 2016 y 2018 presento los valores máximos sobre $25\mu\text{g}/\text{m}^3$, estos valores máximos se registraron el 31 de diciembre horas antes de la medianoche, sobrepasado el ECA para aire y el valor guía de la OMS.

Tabla 41: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2013	26.18	72	12.66	6.89	30.00	2.80	7.83	10.75	15.55
ATE	Fin de Año 2017	45.12	96	27.41	13.31	84.20	8.20	19.53	24.55	30.43
	Fin de Año 2018	43.57	96	31.06	7.09	46.50	17.90	25.50	30.55	36.18

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 41, se observa que, la Estación de monitoreo Ate tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2013, 2017 y 2018. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2017 y 2018.

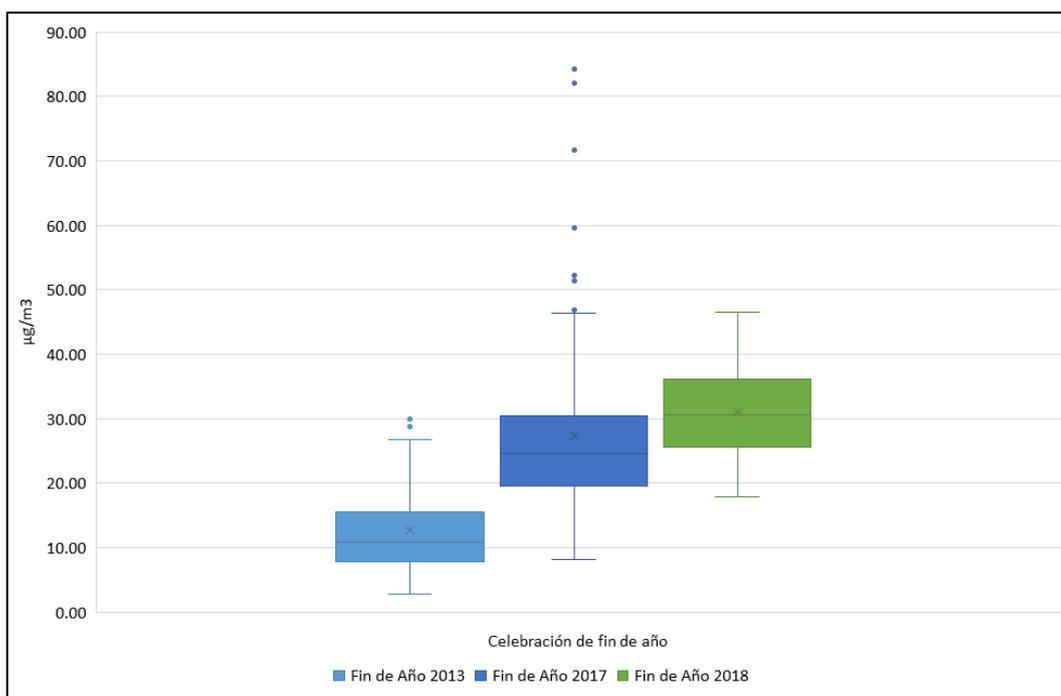


Figura 83: Diagrama de cajas y bigotes de NO₂, Estación Ate en Lima Este

En la figura 83 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución presentando una mediana entre los valores de 10.75 y 30.55µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 84.20µg/m³.

Tabla 42: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
STA	Fin de Año 2016	33.11	96	23.23	10.25	64.40	9.60	17.10	19.65	26.15
	Fin de Año 2017	9.92	72	8.26	2.68	16.70	3.80	6.43	7.95	8.90
	Fin de Año 2018	16.36	68	2.18	2.83	17.30	0.10	0.50	1.45	2.98
	Fin de Año 2019	21.71	96	17.01	7.73	39.80	6.70	9.93	16.55	21.45
	Fin de Año 2020	13.51	69	11.25	6.80	27.30	2.10	5.00	10.00	16.85
	Fin de Año 2021	21.55	72	24.83	10.35	58.10	15.20	19.38	20.75	26.20

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 42, se observa que, la Estación de monitoreo Santa Anita tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2016 al 2021. Asimismo, los datos registrados para el 2017 y 2018 son homogéneos en comparación a los demás años

registrados. Para 2021, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2019 y 2021, y anomalía negativa los años 2017, 2018 y 2020.

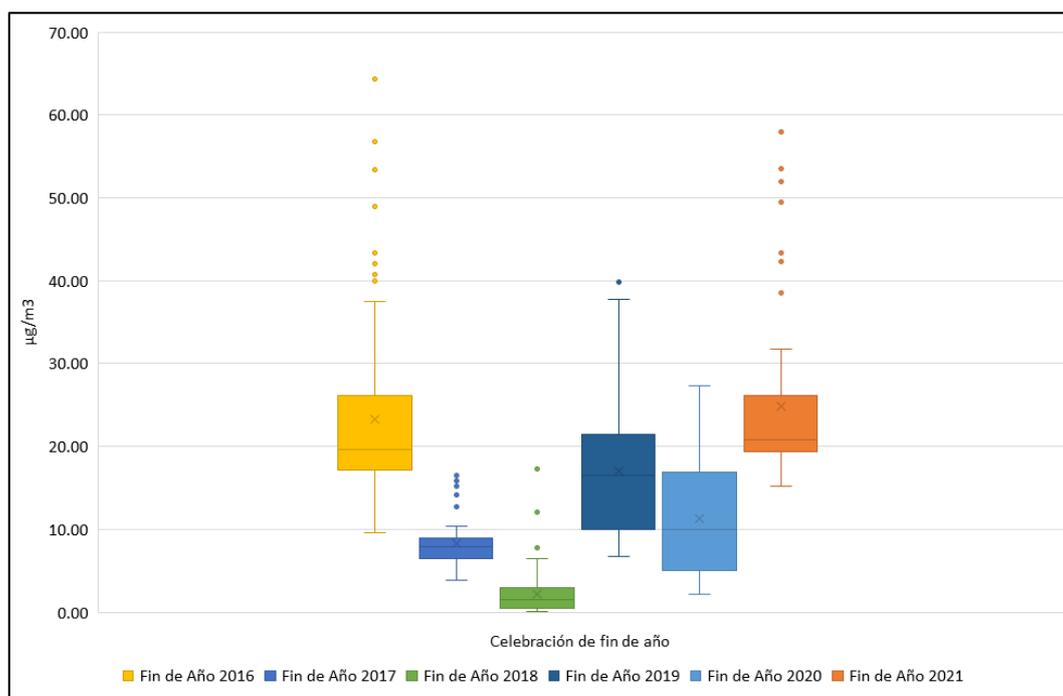


Figura 84: Diagrama de cajas y bigotes de NO₂, Estación Santa Anita en Lima Este

En la figura 84 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2017 y 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 1.41 y 20.75µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016 y 2021, ubicado por encima de los bigotes, como es 64.40 y 58.10µg/m³ respectivamente.

Tabla 43: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
	Fin de Año 2014	-	24	10.44	3.25	16.80	5.70	7.75	9.15	13.15
HCH	Fin de Año 2015	26.58	96	22.53	9.80	47.60	8.50	15.10	20.35	27.30
	Fin de Año 2016	15.85	33	20.52	16.07	78.50	6.80	10.20	14.00	27.10

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 43, se observa que, la Estación de monitoreo Huachipa tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2016. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2015, y anomalía negativa el año 2016.

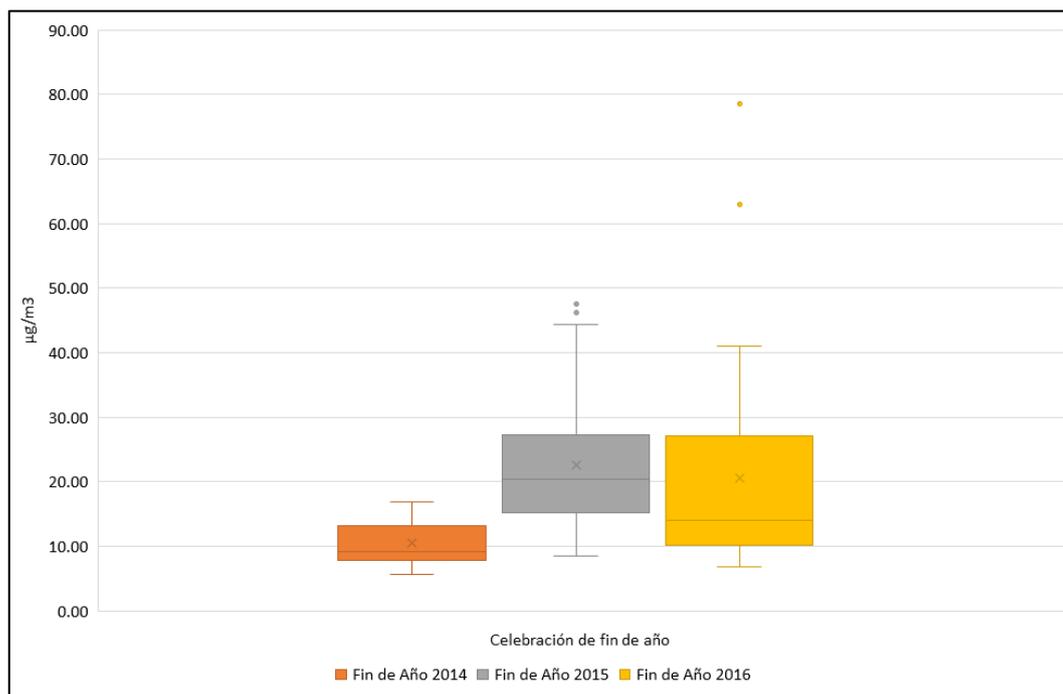


Figura 85: Diagrama de cajas y bigotes de NO₂, Estación Huachipa en Lima Este

En la figura 85 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2014 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 9.15 y 20.35µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016, ubicado por encima de los bigotes, como es 78.50µg/m³.

Tabla 44: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SJL	Fin de Año 2015	33.08	48	28.53	10.26	56.90	12.00	22.30	27.60	35.65
	Fin de Año 2016	36.09	96	29.32	13.94	86.10	10.30	20.73	25.40	32.03
	Fin de Año 2018	27.28	96	17.26	5.20	31.70	5.30	14.45	18.15	20.30

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 44, se observa que, la Estación de monitoreo Villa María del Triunfo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015, 2016 y 2018. Asimismo, los datos registrados para el 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2016, y anomalía negativa el año 2018.

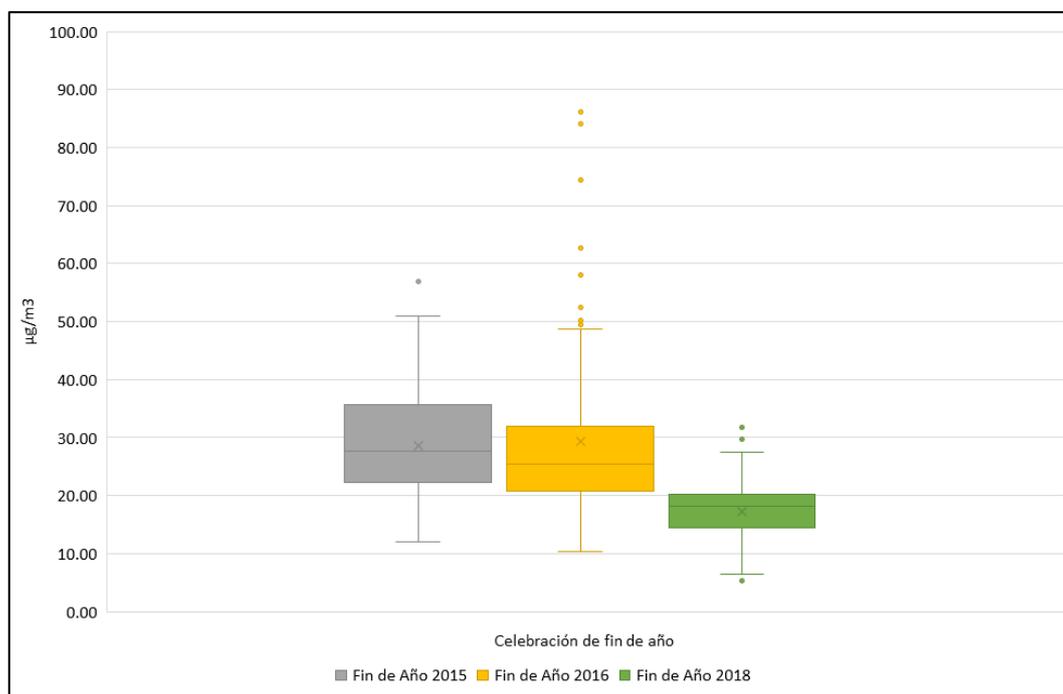


Figura 86: Diagrama de cajas y bigotes de NO_2 , Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

En la figura 86 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 18.15 y 27.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma

que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016, ubicados por encima de los bigotes, como es $86.10\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2.8. Evaluación de la concentración de NO_2 para las estaciones de Lima Norte

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de NO_2 registrados para las estaciones “Puente Piedra”, “Carabayllo” y “San Martin de Porres”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

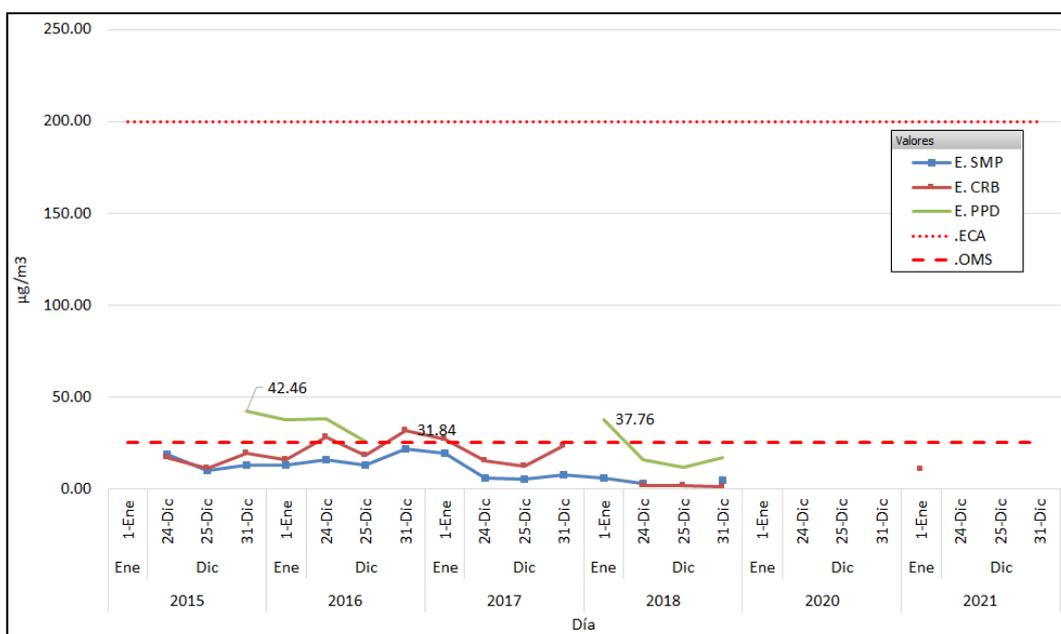


Figura 87: Evolución diaria de la concentración de NO_2 en las estaciones de Lima Norte

En la Figura 87, el promedio diario de la concentración de material particulado NO_2 registrado de las celebraciones de fin de año para la estación Carabayllo, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2016 con una concentración de $31.84\mu\text{g}/\text{m}^3$; para la estación Puente Piedra, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2015 y 2018 con una concentración de 42.46 y $37.76\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente; para las estaciones de Carabayllo y Puente Piedra podemos evidenciar que se sobrepasó el ECA para aire. Para la estación San Martin de Porres, los resultados del promedio diario de las celebraciones de fin de año, no sobrepasaron el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de NO_2 registrados por las estaciones de “Puente Piedra”, “Carabayllo” y “San

Martin de Porres”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2015 al 2021.

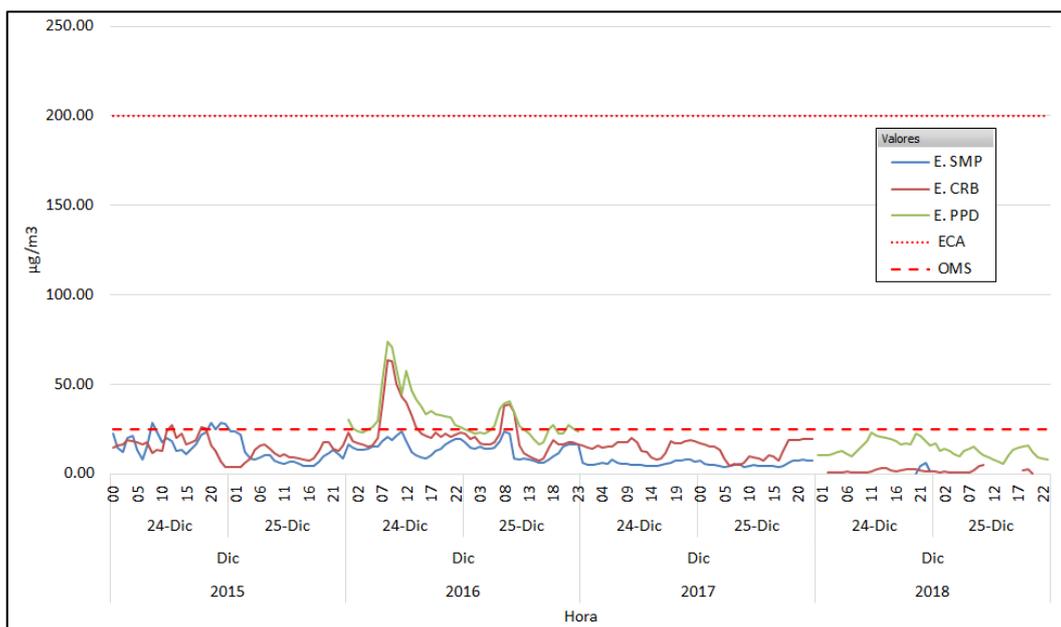


Figura 88: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para NO₂ en Lima Norte

En la figura 88 se puede evidenciar que la estación Puente Piedra y Carabayllo presentaron los valores que sobrepasaron los 25µg/m³. Estos valores máximos se registraron el 24 de diciembre horas antes de la noche buena para el año 2016, año en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS.

Para la estación Santa Anita presentó los valores máximos que sobrepasaron los 25µg/m³. Estos valores máximos se registraron el 24 de diciembre horas antes de la noche buena para los años 2016, 2019 y 2021, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS; para la navidad del 2017, 2018 y 2020 fue caso contrario en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

Para el caso de la fiesta de navidad en la estación San Martin de Porres, no ha sobrepasado el ECA para aire, ni el valor guía de la OMS.

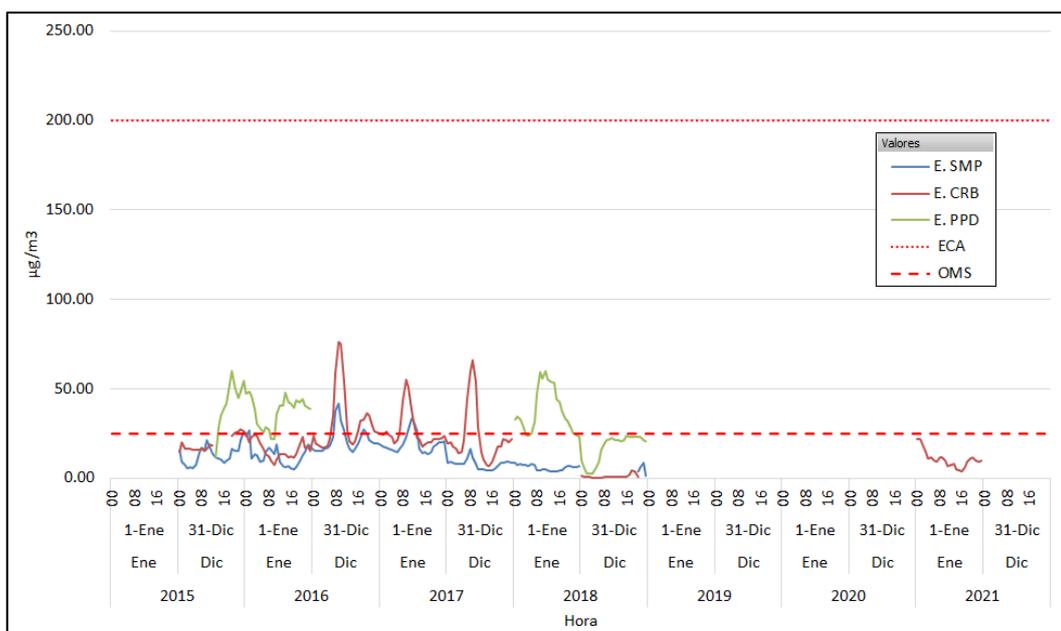


Figura 89: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para NO₂ en Lima Norte

En la figura 89 se puede evidenciar que la estación Puente Piedra presentó los valores que sobrepasaron los 25µg/m³. Estos valores máximos se registraron el 31 de diciembre horas antes de la medianoche y en horas de la mañana del 1 de enero, para los años 2015 y 2017, año en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS.

Para la estación Carabayllo los valores que sobrepasaron los 25µg/m³, se registraron el 31 de diciembre horas antes de la medianoche y en horas de la mañana del 1 de enero, para los años 2016 y 2017, año en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS.

Para el caso de la fiesta de navidad en la estación San Martin de Porres, no ha sobrepasado el ECA para aire, ni el valor guía de la OMS.

Tabla 45: Resultados estadísticos, Estación San Martin de Porres en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
SMP	Fin de Año 2015	18.39	96	13.65	6.56	28.50	4.10	8.50	12.80	17.40
	Fin de Año 2016	21.71	96	17.31	6.30	41.70	6.10	14.05	16.15	19.58
	Fin de Año 2017	11.07	96	6.24	2.05	16.60	3.60	4.50	5.85	7.60
	Fin de Año 2018	5.22	8	3.86	2.93	8.40	0.10	1.10	4.05	6.08

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 45, se observa que, la Estación de monitoreo San Martin de Porres tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015 al 2018. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2016, y anomalía negativa los años 2017 y 2018.

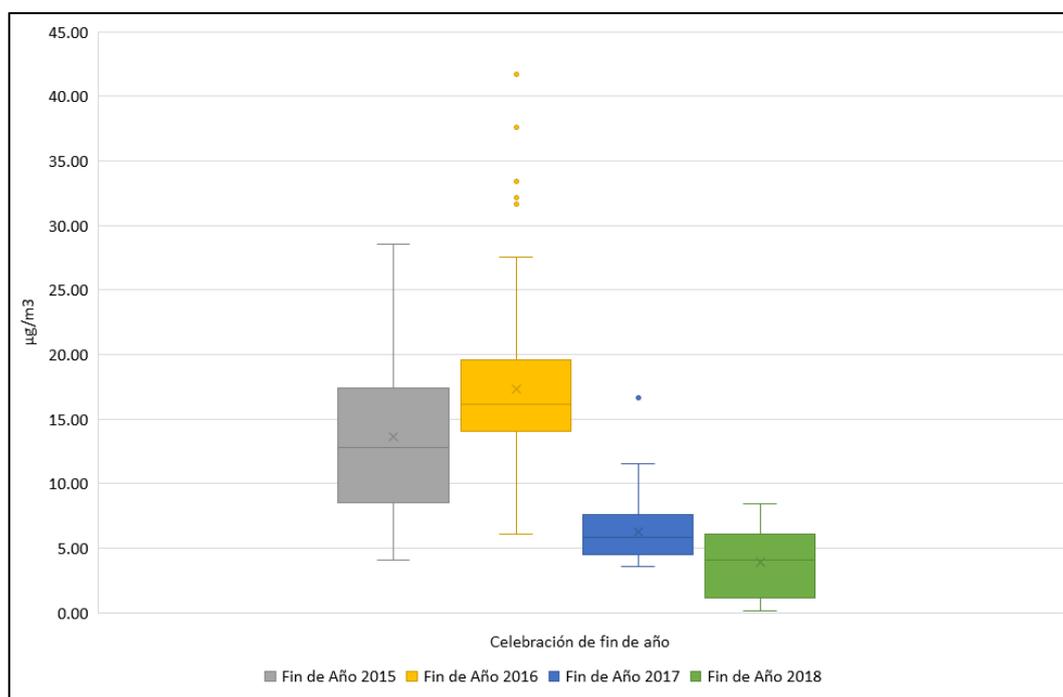


Figura 90: Diagrama de cajas y bigotes de NO₂, Estación San Martin de Porres en Lima Norte

En la figura 90 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución. A la vez presenta una mediana entre los valores de 4.05 y 16.15µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el 2016, ubicados por encima de los bigotes, como son 41.70µg/m³.

En la Tabla 46, se observa que, la Estación de monitoreo Carabayllo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015 al 2018 y 2020. Asimismo, los datos registrados para el 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para el periodo de años recopilados, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año no es mayor al promedio de datos registrados para el mes de

diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2020, y anomalía negativa los años 2017 y 2018.

Tabla 46: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CRB	Fin de Año 2015	17.41	90	15.54	5.68	27.50	3.70	12.03	15.90	18.43
	Fin de Año 2016	32.04	96	26.28	13.59	75.90	7.10	18.00	22.15	30.40
	Fin de Año 2017	22.57	72	16.90	10.88	65.80	4.10	10.53	15.50	18.58
	Fin de Año 2018	4.67	57	1.31	1.13	5.20	0.20	0.60	0.80	1.90
	Fin de Año 2020	-	24	10.50	4.76	22.00	3.80	7.53	9.65	11.53

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

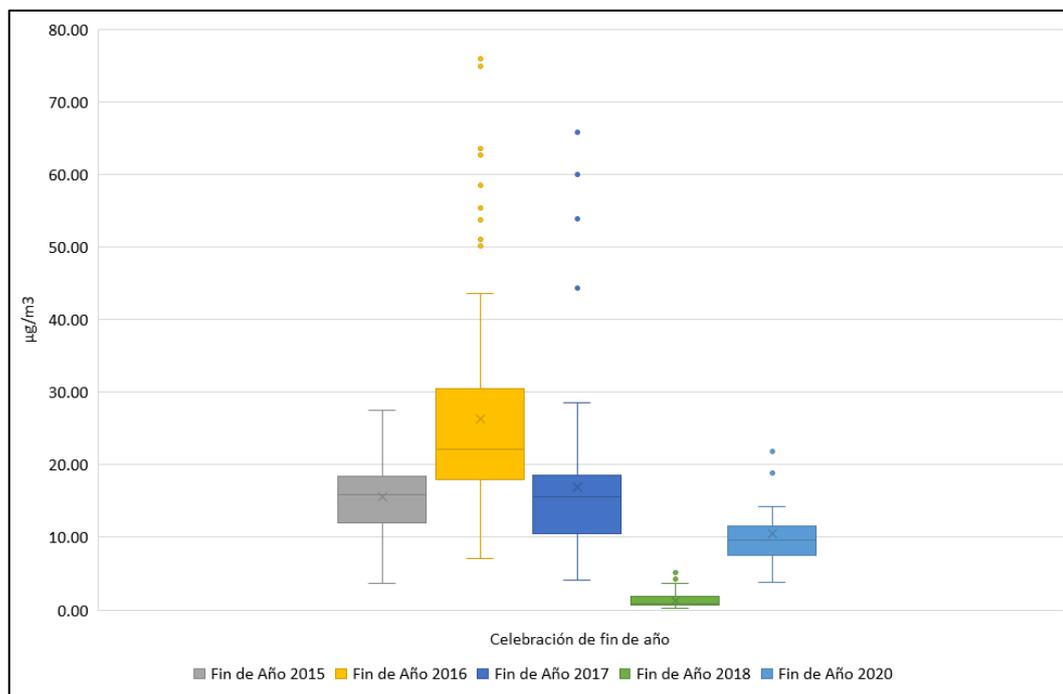


Figura 91: Diagrama de cajas y bigotes de NO₂, Estación Carabayllo en Lima Norte

En la figura 91 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 0.80 y 22.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 75.90 y 65.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Tabla 47: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PPD	Fin de Año 2015	46.20	35	39.05	10.28	59.60	11.70	30.00	40.80	45.80
	Fin de Año 2016	35.02	48	31.98	12.74	73.70	16.50	23.75	27.05	35.83
	Fin de Año 2017	10.57	24	37.76	12.55	59.70	23.00	26.15	33.00	51.83
	Fin de Año 2018	18.48	72	14.72	5.87	23.60	2.20	10.25	14.65	20.40

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 47, se observa que, la Estación de monitoreo Puente Piedra tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015 al 2018. Asimismo, los datos registrados para esta estación no son homogéneos. Para el 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2017, y anomalía negativa los años 2016 y 2018.

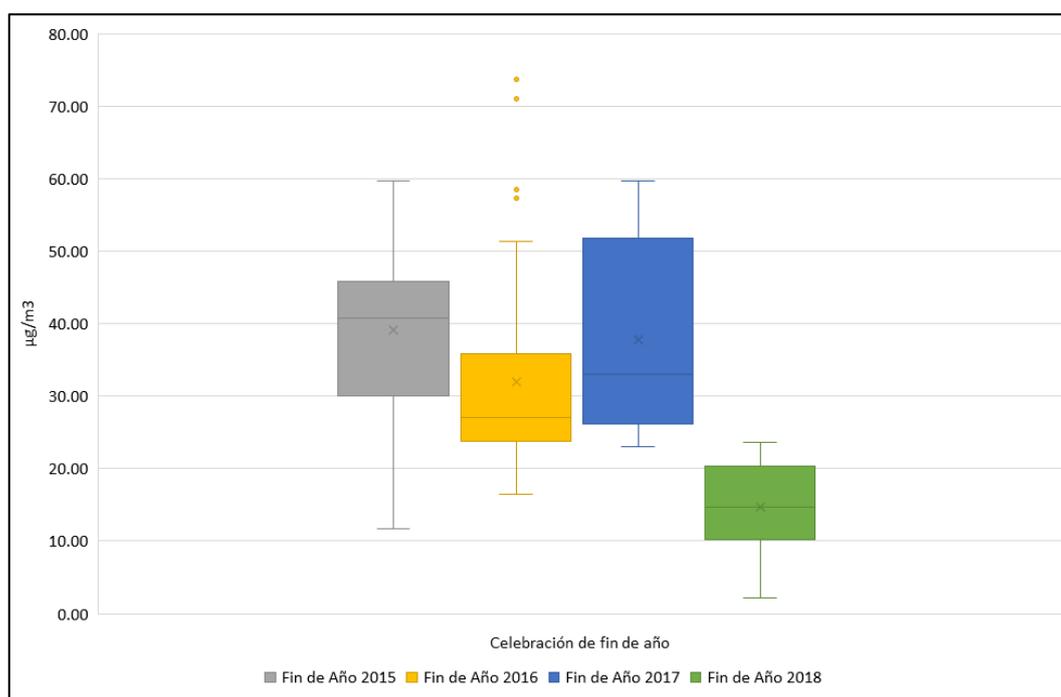


Figura 92: Diagrama de cajas y bigotes de NO_2 , Estación Puente Piedra en Lima Norte

En la figura 92 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados son dispersos en su distribución. A la vez presenta una mediana entre los valores de 14.65 y 40.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos

muestran valores atípicos para el año 2016, ubicados por encima de los bigotes, como es $73.70\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2.9. Evaluación de la concentración de SO_2 para las estaciones de Lima Centro

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de SO_2 solo registrado para la estación “San Borja”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

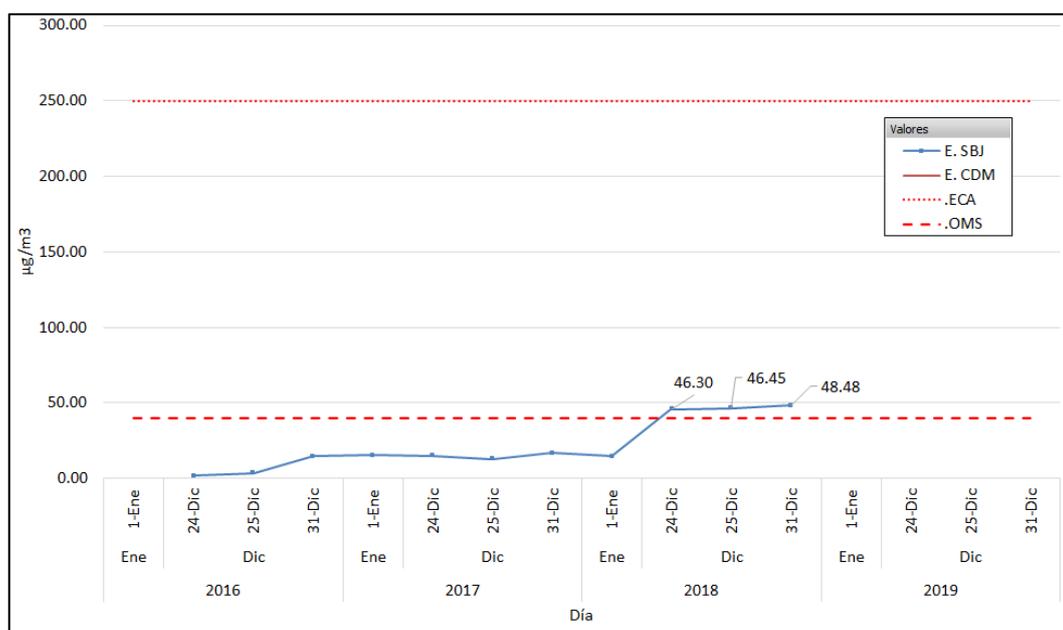


Figura 93: Evolución diaria de la concentración de SO_2 en las estaciones de Lima Centro

En la Figura 93, el promedio diario de la concentración de SO_2 registrado de las celebraciones de fin de año por la estación San Borja, para los años 2016, 2017 y 2018, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año de 2018 con una concentración máxima de $48.48\mu\text{g}/\text{m}^3$; para esta estación podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS. Para la estación Campo de Marte, no se registraron de datos.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de SO_2 registrado por la estación “San Borja”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2016 al 2019.

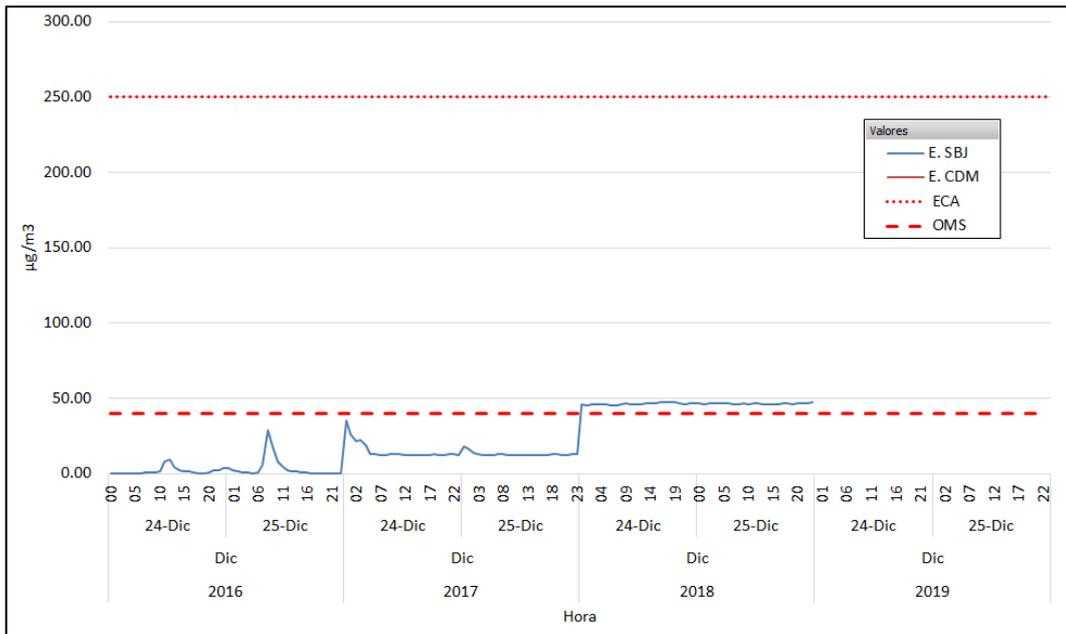


Figura 94: Registro horario de SO₂ para navidad en las estaciones de Lima Centro

En la figura 94 se puede evidenciar que la estación de San Borja presentó los valores máximos que sobrepasaron los 50µg/m³. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad del 2018, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, y si el valor guía dado por la OMS.

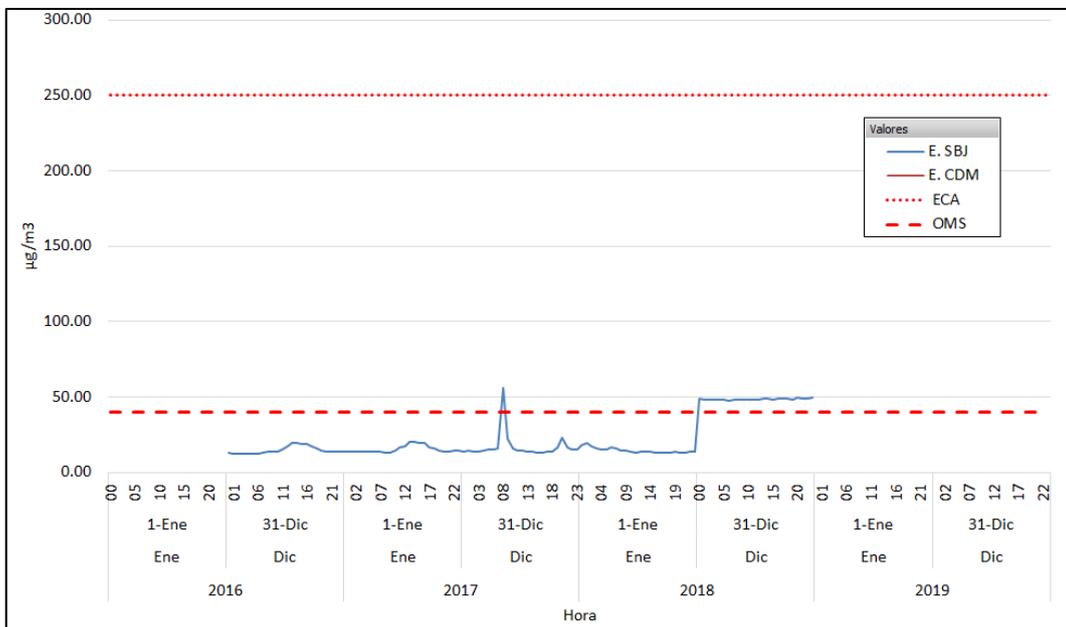


Figura 95: Registro horario de SO₂ para fin de año en las estaciones de Lima Centro

En la figura 95 se puede evidenciar que la estación de San Borja presentó los valores máximos que sobrepasaron los 50µg/m³. Estos valores máximos se registraron el 31 de

diciembre horas antes de la medianoche para los años 2017 y 2018, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS.

Tabla 48: Resultados estadísticos, Estación San Borja en Lima Centro

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SBJ	Fin de Año 2016	3.09	96	8.79	7.38	29.10	0.10	0.80	12.30	13.90
	Fin de Año 2017	12.64	96	14.88	5.42	55.90	12.00	12.60	13.30	15.00
	Fin de Año 2018	17.70	72	47.08	1.11	49.30	45.40	46.23	46.70	48.20

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 48, se observa que, la Estación de monitoreo San Borja tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2016 al 2018. Asimismo, el año 2018 presenta datos más homogéneos en comparación a los años 2016 y 2017, debido a que la desviación estándar es menor en comparación a estos últimos. Para los años 2016 al 2018, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2017 y 2018.

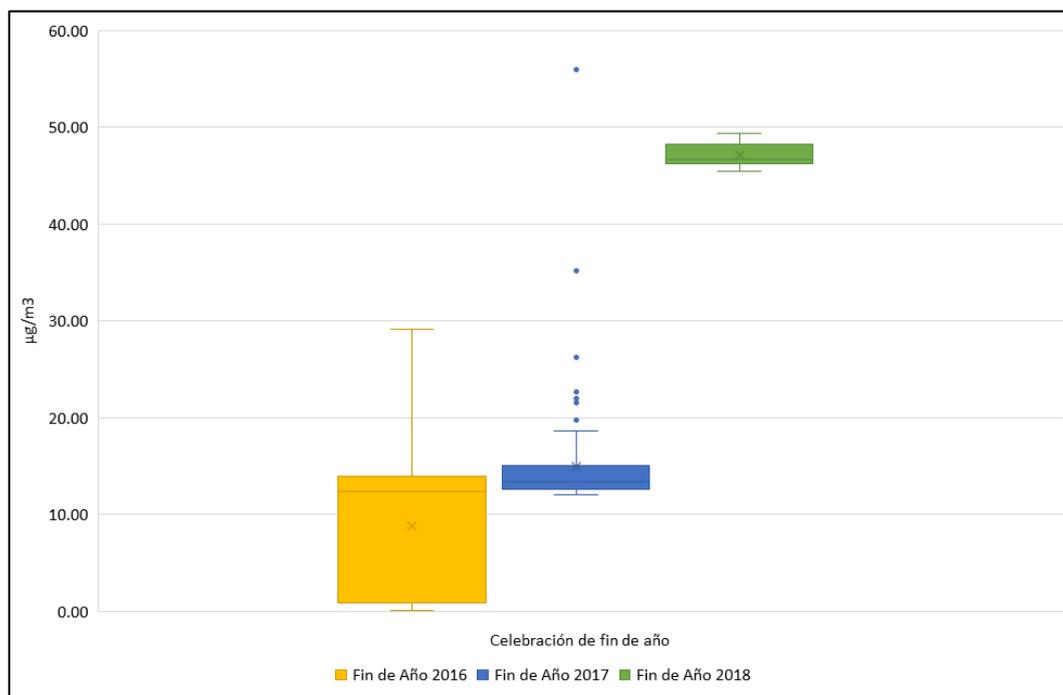


Figura 96: Diagrama de cajas y bigotes de SO₂, Estación San Borja en Lima Centro

En la figura 96 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2018, no son tan dispersos en su distribución, presentando una mediana entre los valores de 12.30 y 46.70g/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 55.90µg/m³.

4.2.10. Evaluación de la concentración de SO₂ para las estaciones de Lima Sur

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de SO₂ registrados para la estación de “Villa María del Triunfo”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

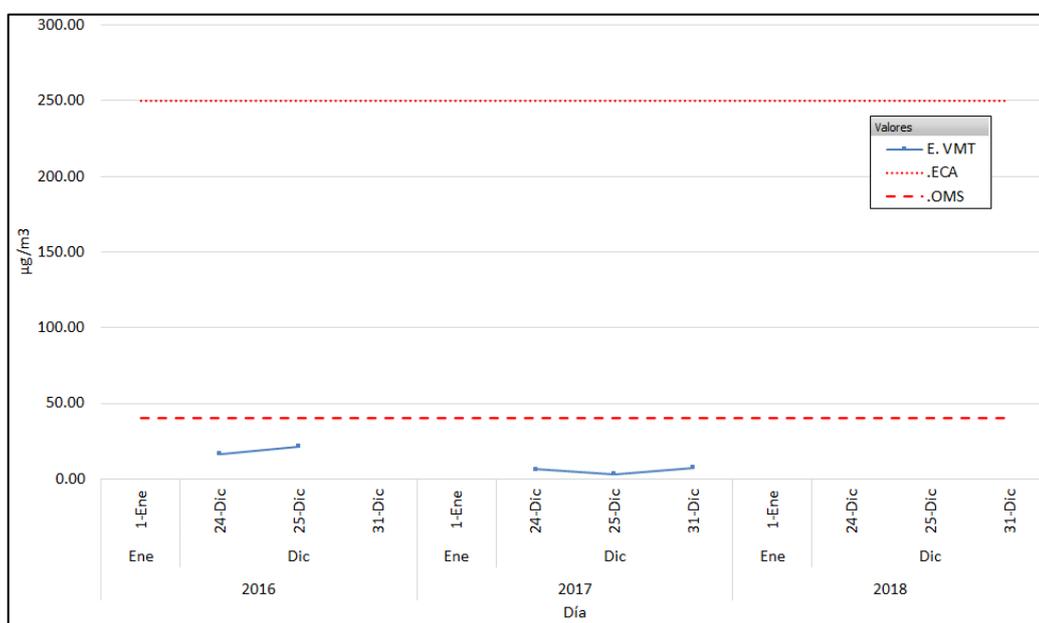


Figura 97: Evolución diaria de la concentración de SO₂ en las estaciones de Lima Sur

En la Figura 97, el promedio diario de la concentración de SO₂ registrado de las celebraciones de fin de año por la estación de Lima Sur, podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de SO₂ registrados por la estación de “Villa María del Triunfo”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2016 y 2017.

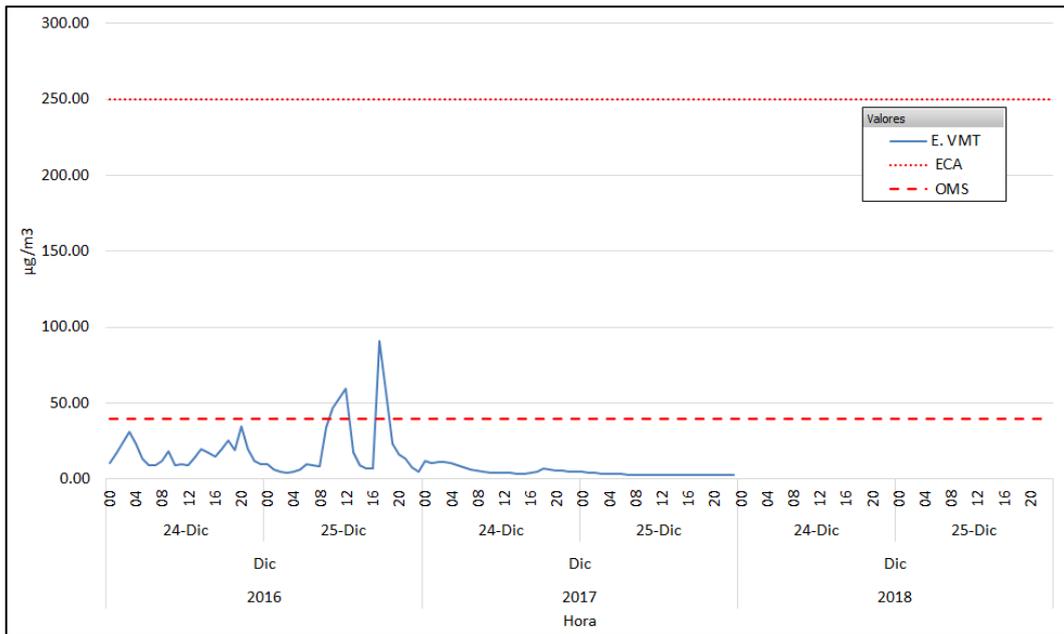


Figura 98: Registro horario de SO₂ para navidad en la estación de Lima Sur

En la figura 98 se puede evidenciar que la estación de Villa María del Triunfo presentó los valores máximos que sobrepasaron los 50µg/m³. Estos valores máximos se registraron el 25 de diciembre horas después de la noche buena para el año 2016, año en el cual no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS; para la navidad del 2017 fue caso contrario al año anterior en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

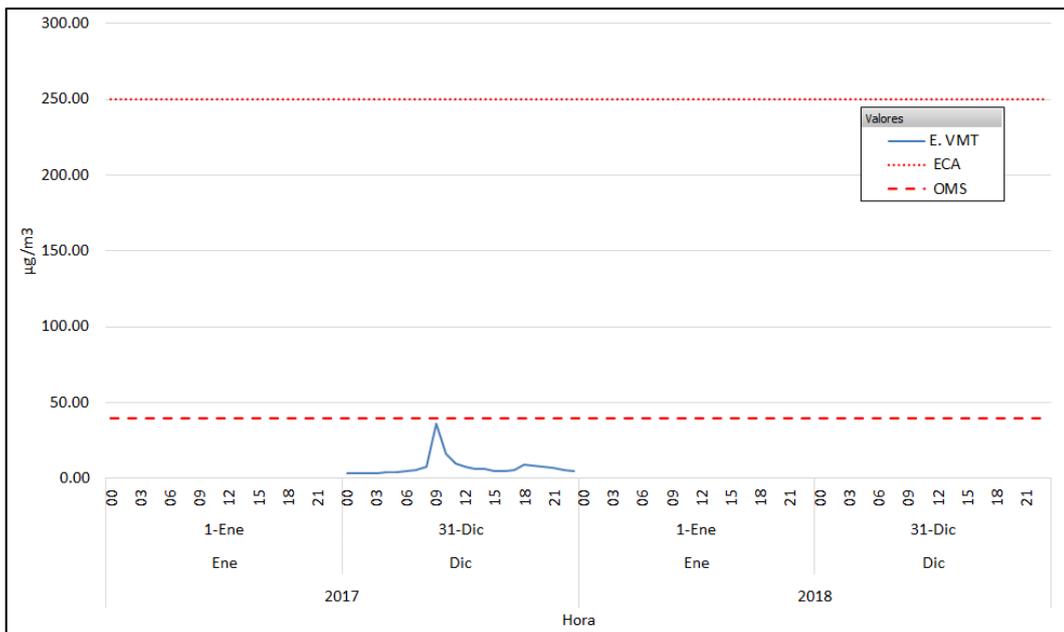


Figura 99: Registro horario de SO₂ para fin de año en la estación de Lima Sur

En la figura 99 se puede evidenciar que la estación de Villa María del Triunfo, no ha sobrepasado el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Tabla 49: Resultados estadísticos, Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VMT	Fin de Año 2016	8.35	48	19.01	17.16	90.50	4.40	9.05	13.10	22.25
	Fin de Año 2017	13.95	72	5.69	4.53	36.00	2.90	3.13	4.45	6.38

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 49, se observa que, la Estación de monitoreo Villa María del Triunfo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2016 y 2017. Asimismo, el año 2017 presenta datos más homogéneos en comparación al 2016, debido a que la desviación estándar es menor en comparación a este. Para el año 2016, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía negativa el año 2017.

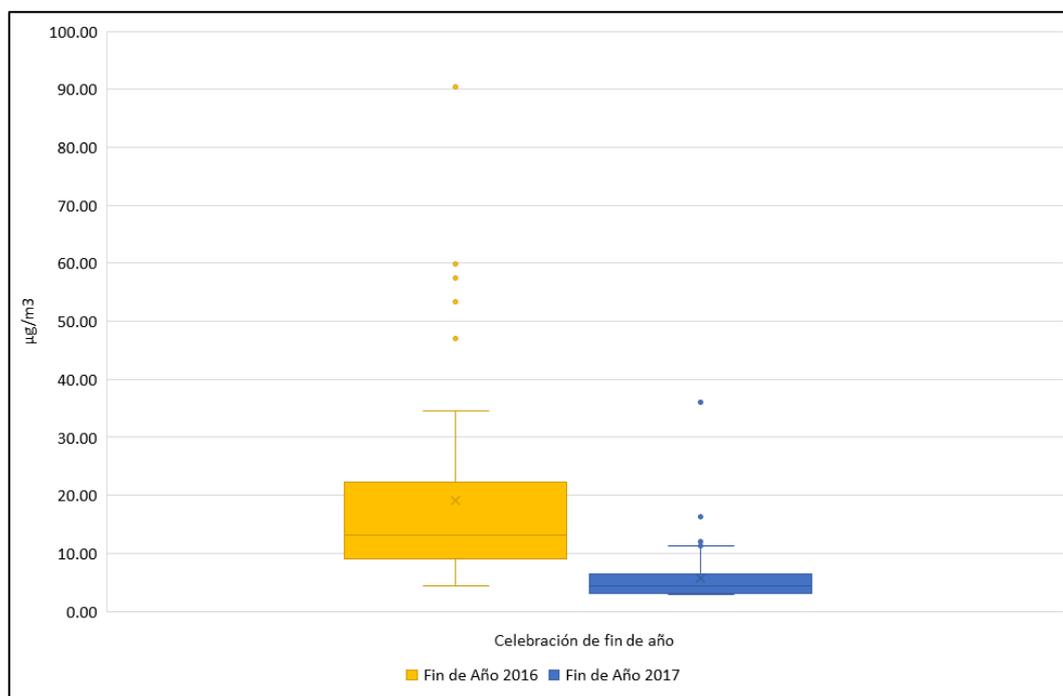


Figura 100: Diagrama de cajas y bigotes de SO_2 , Estación Villa María del Triunfo en Lima Sur

En la figura 100 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2017, no son tan dispersos en su distribución, presentando una

mediana entre los valores de 4.45 y 13.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para los años 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como son 90.50 y 36.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

4.2.11. Evaluación de la concentración de SO₂ para las estaciones de Lima Este

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de SO₂ registrados para para las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

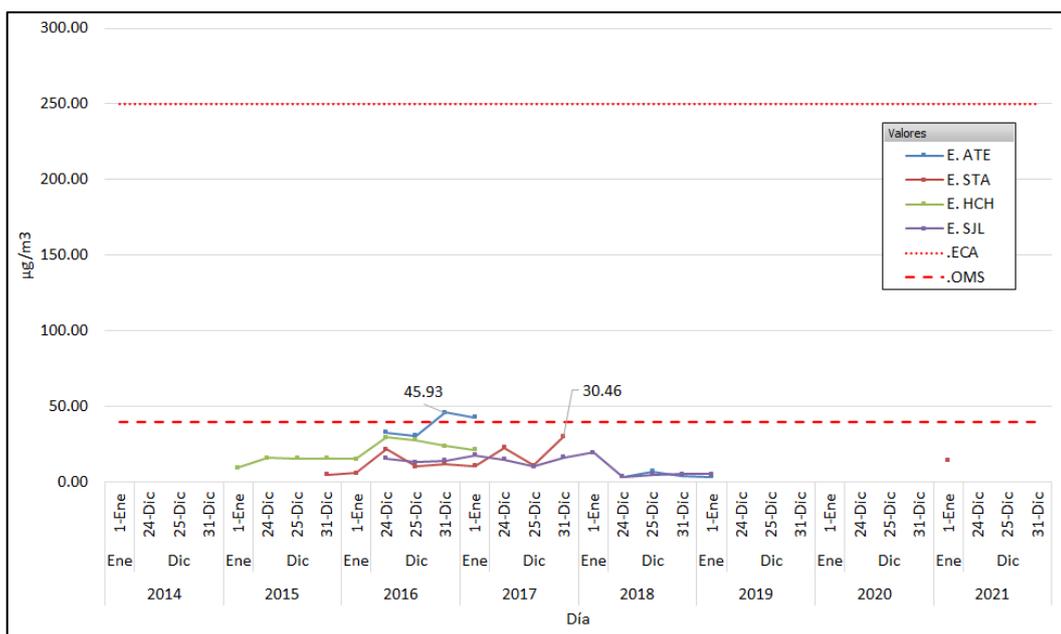


Figura 101: Evolución diaria de la concentración de SO₂ en las estaciones de Lima Este

En la Figura 101, el promedio diario de la concentración de SO₂ registrado de las celebraciones de fin de año para la estación Ate, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2016 con una concentración de 45.93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS.

Para la estación Santa Anita, Huachipa y San Juan de Lurigancho, se puede evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de SO₂ registrados por las estaciones “Santa Anita”, “Ate”, “Huachipa” y “San Juan de Lurigancho”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2015 al 2018.

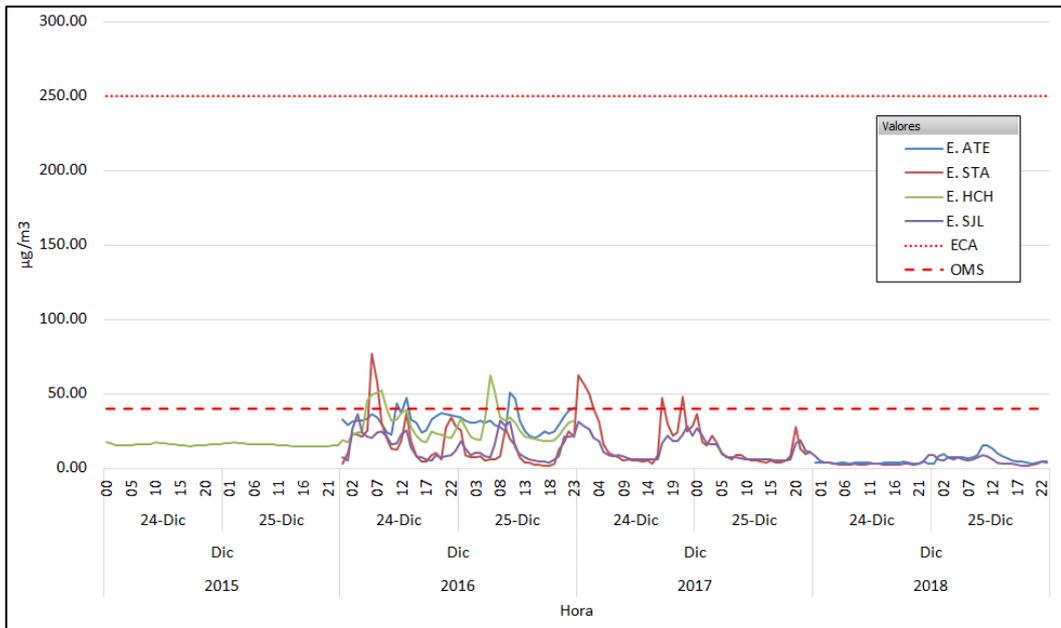


Figura 102: Registro horario de SO₂ para navidad en la estación de Lima Este

En la figura 102 se puede evidenciar que la estación de Ate, Huachipa y Santa Anita presentó los valores máximos que sobrepasaron los $50\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 24 de diciembre horas antes de la noche buena para el 2016 y adicionalmente el 2017 para la estación Santa Anita, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS. Caso contrario con la estación San Juan de Lurigancho, en la cual no se reportaron valores sobre el ECA para aire, ni el valor guía de la OMS.

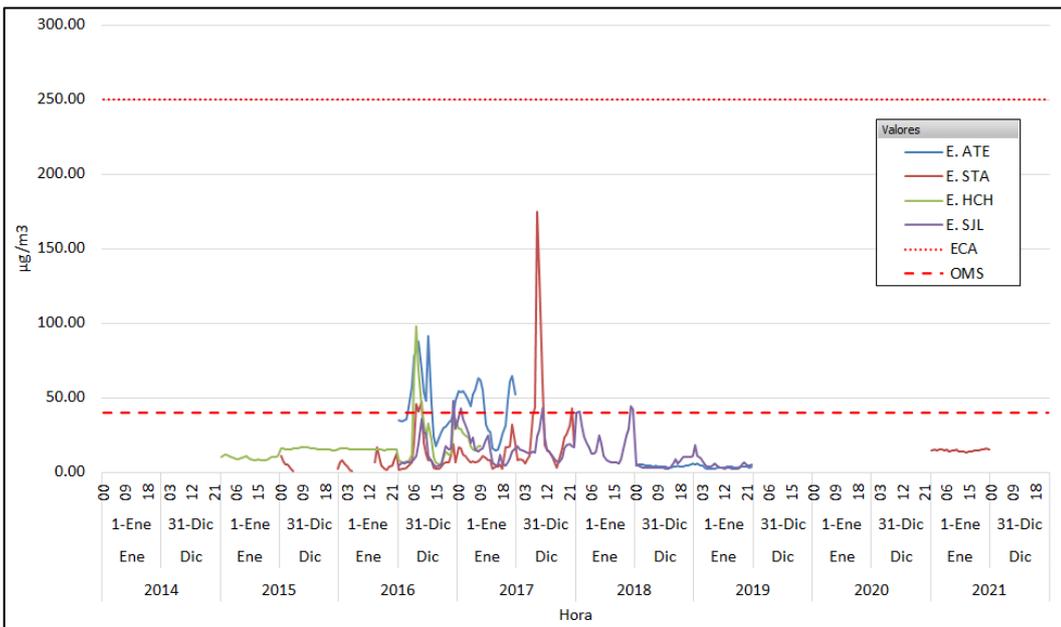


Figura 103: Registro horario de SO₂ para fin de año en la estación de Lima Este

En la figura 103 se puede evidenciar que las estaciones de Lima Este presentaron valores máximos que sobrepasaron los $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron el 31 de

diciembre horas antes de la medianoche para el 2016 y adicionalmente el 2017 para las estaciones Santa Anita y San Juan de Lurigancho, años en los cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS. Caso contrario con la estación Ate y San Juan de Lurigancho para el año 2018, en la cual se reportaron valores que no sobrasaron el ECA para aire, ni el valor guía de la OMS.

Tabla 50: Resultados estadísticos, Estación Ate en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	N° Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
ATE	Fin de Año 2016	28.02	96	38.06	15.49	91.50	14.60	28.43	33.80	47.60
	Fin de Año 2018	6.38	96	4.60	2.40	15.50	2.40	3.40	3.70	4.70

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 50, se observa que, la Estación de monitoreo Ate tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2016 al 2018. Asimismo, los datos registrados para el 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para el año 2016, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía negativa el año 2018.

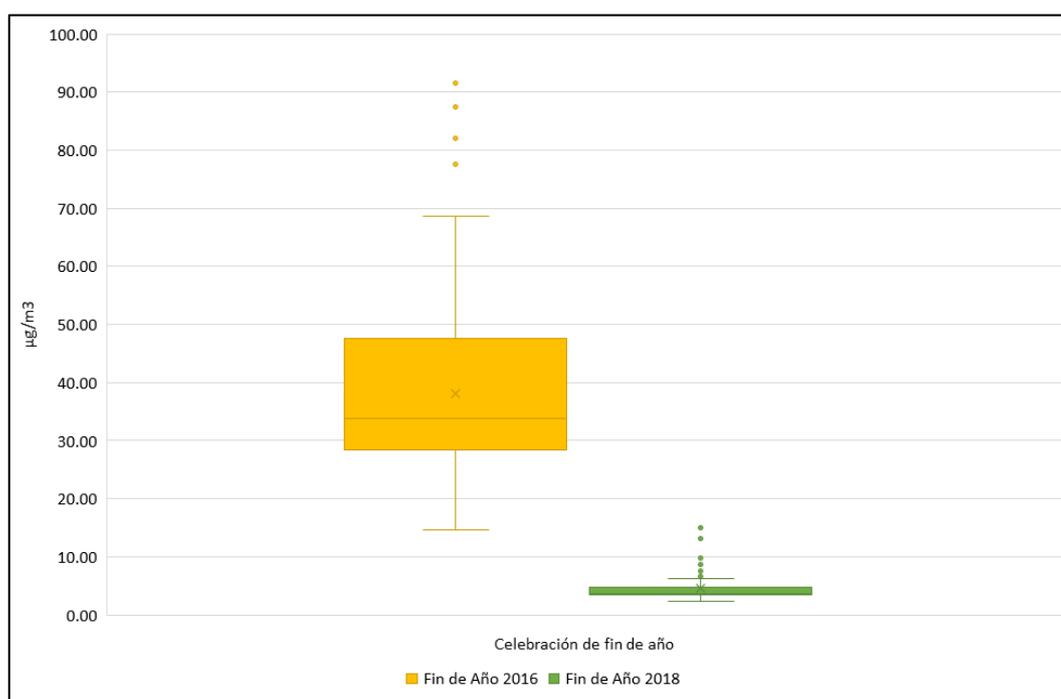


Figura 104: Diagrama de cajas y bigotes de SO_2 , Estación Ate en Lima Este

En la figura 104 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 3.70 y 33.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016, ubicados por encima de los bigotes, como son 91.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 51: Resultados estadísticos, Estación Santa Anita en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
STA	Fin de Año 2015	6.39	23	5.69	4.14	16.70	0.60	2.10	4.80	8.30
	Fin de Año 2016	6.11	96	13.63	12.96	77.20	1.40	5.20	8.45	18.78
	Fin de Año 2017	14.09	72	21.43	27.38	174.80	3.10	6.15	10.65	26.98
	Fin de Año 2020		24	14.64	0.64	15.70	13.30	14.20	14.85	15.10

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 51, se observa que, la Estación de monitoreo Santa Anita tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015 al 2017 y 2021. Asimismo, los datos registrados para el 2015 y 2020 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2016 y 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2017, y anomalía negativa el año 2020.

En la figura 105 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2015 y 2020 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 4.80 y 14.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2017, ubicado por encima de los bigotes, como es 174.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

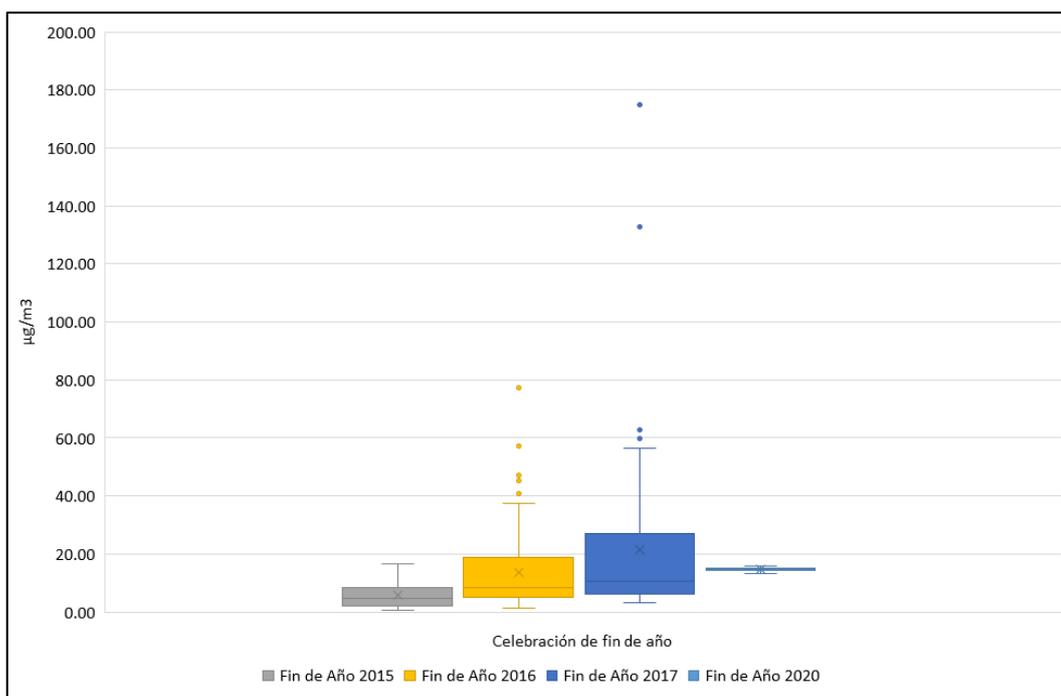


Figura 105: Diagrama de cajas y bigotes de SO₂, Estación Santa Anita en Lima Este

Tabla 52: Resultados estadísticos, Estación Huachipa en Lima Este – Fiestas de fin de año

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
	Fin de Año 2014	-	24	9.50	1.05	11.80	8.00	8.63	9.35	10.28
HCH	Fin de Año 2015	14.64	96	15.63	0.65	17.60	14.60	15.10	15.50	16.00
	Fin de Año 2016	18.14	82	26.42	15.58	97.60	5.40	17.78	23.10	32.53

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 52, se observa que, la Estación de monitoreo Huachipa tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 al 2016. Asimismo, los datos registrados para el 2014 y 2015 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2015 y 2016, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2015 y 2016.

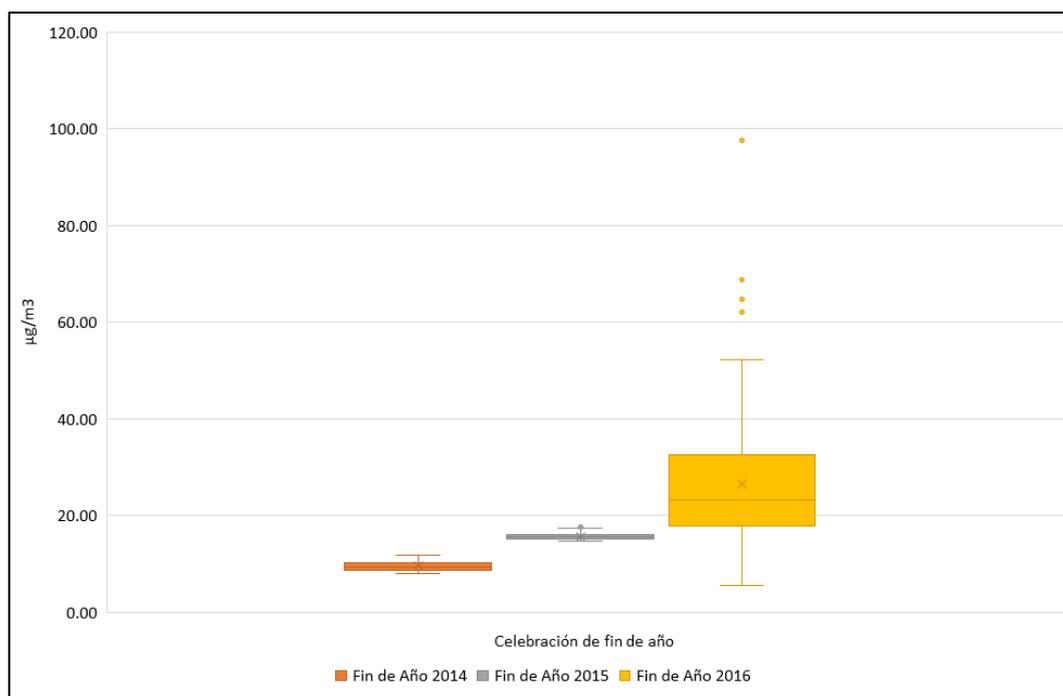


Figura 106: Diagrama de cajas y bigotes de SO₂, Estación Huachipa en Lima Este

En la figura 106 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2014 y 2015 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 9.35 y 23.10µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016, ubicado por encima de los bigotes, como es 97.60µg/m³.

Tabla 53: Resultados estadísticos, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre µg/m ³	Nº Datos	Prom. Fin de Año µg/m ³	Desv Est. µg/m ³	Max µg/m ³	Min µg/m ³	Cuartil Q1 µg/m ³	Cuartil Q2 Mediana µg/m ³	Cuartil Q3 µg/m ³
SJL	Fin de Año 2016	8.17	96	15.16	10.02	48.20	3.60	6.93	12.60	21.48
	Fin de Año 2017	11.67	96	15.32	9.48	44.00	4.80	7.00	13.65	20.18
	Fin de Año 2018	12.59	96	4.71	2.81	18.30	1.70	2.80	3.55	5.88

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 53, se observa que, la Estación de monitoreo San Juan de Lurigancho tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2016 al 2018. Asimismo, los datos registrados para el 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2016 y 2017, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de

diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva el año 2017, y anomalía negativa el año 2018.

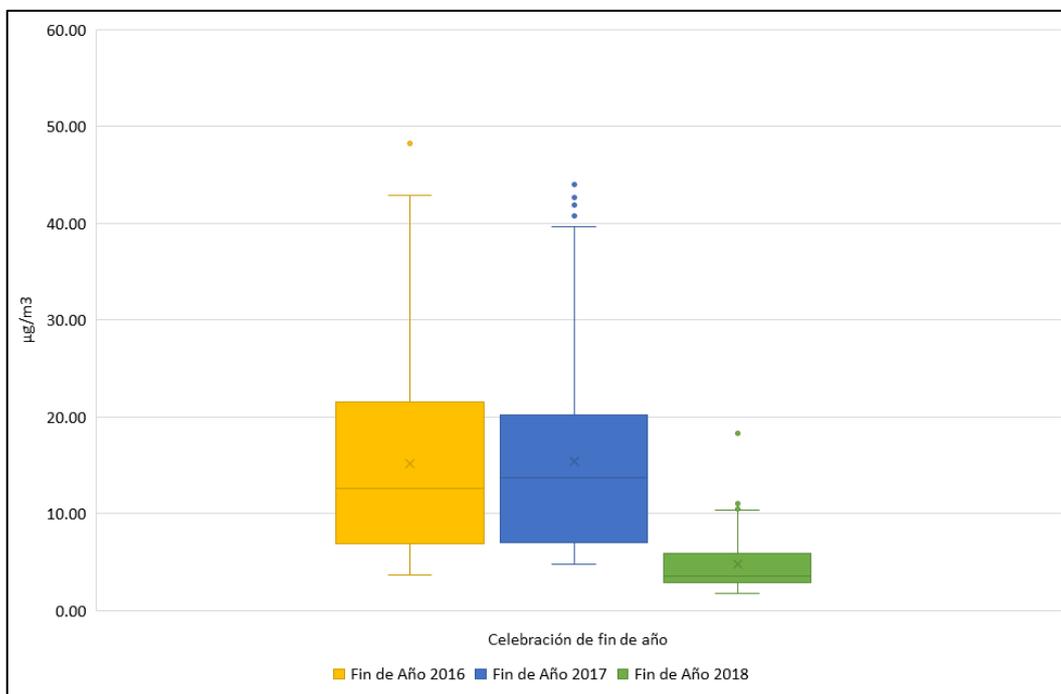


Figura 107: Diagrama de cajas y bigotes de SO₂, Estación San Juan de Lurigancho en Lima Este

En la figura 107 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 3.55 y 13.65µg/m³ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como es 48.20 y 44.00µg/m³, respectivamente.

4.2.12. Evaluación de la concentración de SO₂ para las estaciones de Lima Norte

Se presenta la figura con el promedio diario de la concentración de SO₂ registrados para las estaciones “Puente Piedra”, “Carabayllo” y “San Martín de Porres”, para las celebraciones de fin de año, comprendidos del 24 al 25 de diciembre y del 31 de diciembre al 1 de enero.

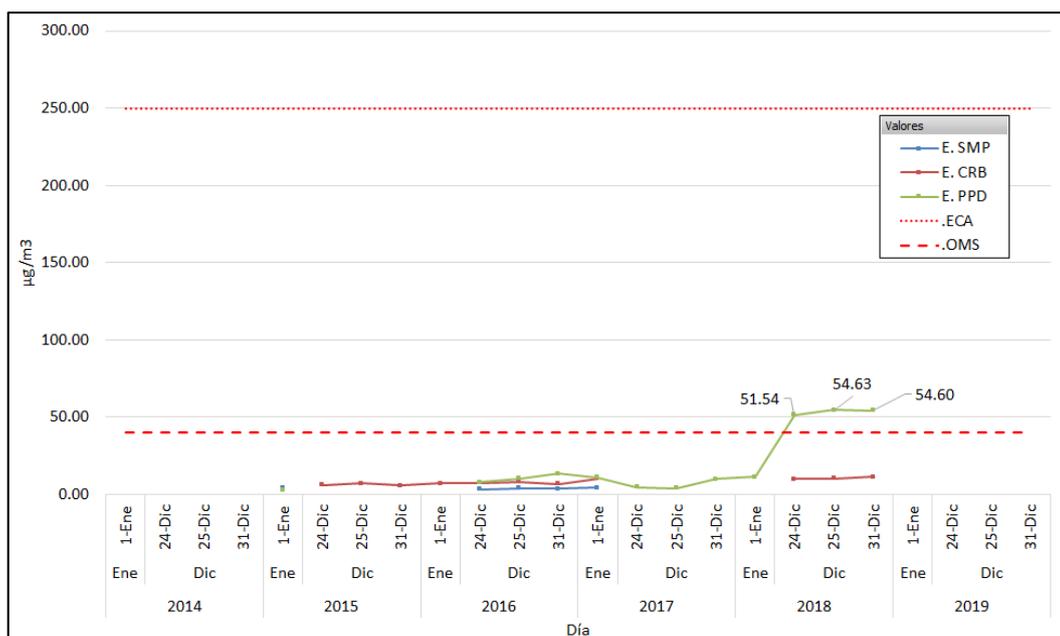


Figura 108: Evolución diaria de la concentración de SO₂ en las estaciones de Lima Norte

En la Figura 108, el promedio diario de la concentración de SO₂ registrado de las celebraciones de fin de año para la estación Puente Piedra, tuvo el promedio diario máximos en las fiestas de fin de año del 2018 con una concentración de 54.63 y 54.60µg/m³; no sobrepasaron el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS. Para las estaciones de Puente Piedra y San Martin de Porres podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Seguidamente, se presentan individualmente las figuras y cuadros estadísticos con los resultados de SO₂ registrados por las estaciones de “Puente Piedra”, “Carabayllo” y “San Martin de Porres”, para las festividades de navidad y fin de año correspondientes a los años 2015 al 2018.

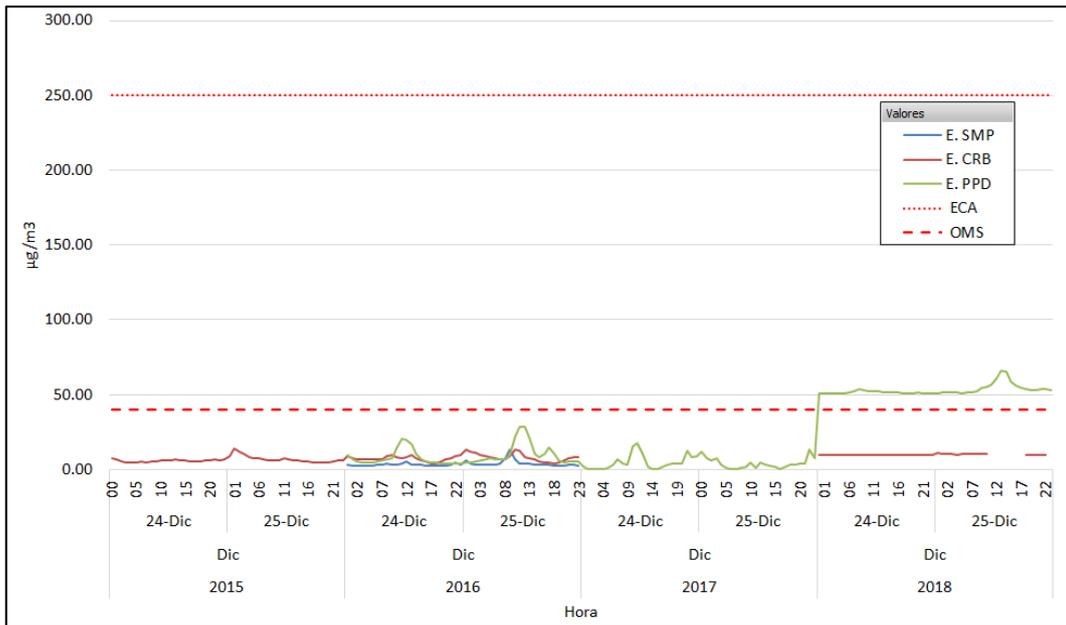


Figura 109: Comparación de distribución horaria de la festividad de navidad para SO₂ en Lima Norte

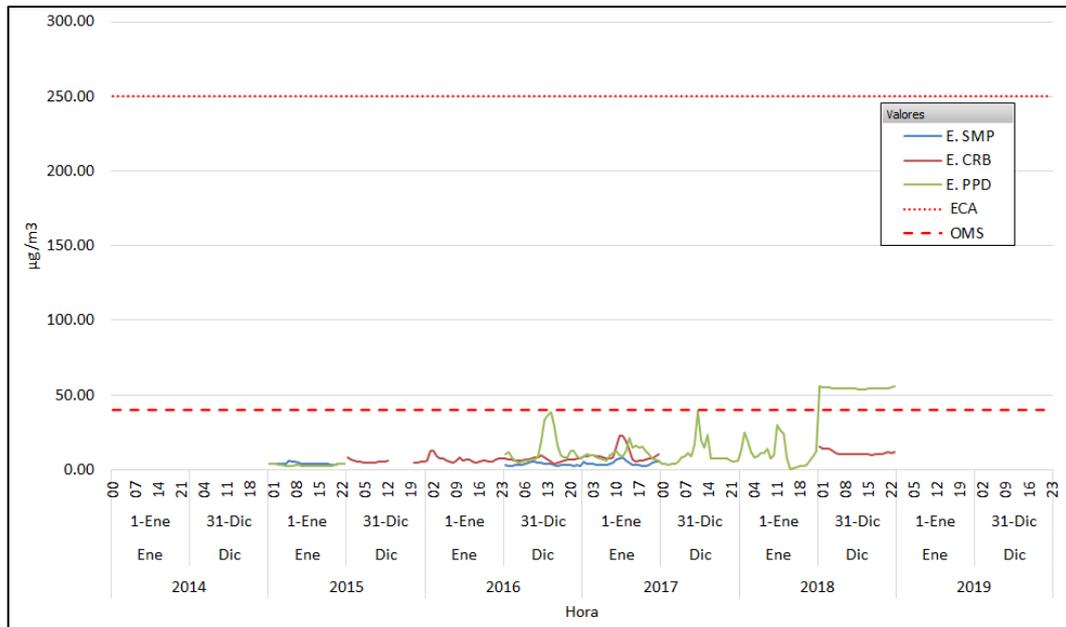


Figura 110: Comparación de distribución horaria de la festividad de año nuevo para SO₂ en Lima Norte

En la figura 109 y 110 se puede evidenciar que la estación Puente Piedra presentó los valores máximos que sobrepasaron los $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores máximos se registraron en las fiestas de navidad del año 2018, año en el cuales no se ha sobrepasado el ECA para aire y si el valor guía dado por la OMS, sobre todo en horas de la noche buena; para la navidad del 2016 y 2017 fue caso contrario en el cual se reportaron datos por debajo del ECA para aire y el valor guía de OMS.

Para las estaciones de Carabayllo y San Martin de Porres podemos evidenciar que no se sobrepasó el ECA para aire, ni el valor guía dado por la OMS.

Tabla 54: Resultados estadísticos, Estación San Martín de Porres en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SMP	Fin de Año 2014	-	24	4.09	0.69	6.20	3.50	3.70	3.90	4.08
	Fin de Año 2016	3.03	96	3.77	1.57	13.10	2.40	2.90	3.20	4.10

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 54, se observa que, la Estación de monitoreo San Martín de Porres tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014 y 2016. Asimismo, los datos registrados para el 2014 son homogéneos. Para los años de data recopilada, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año fue mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre en el año 2016. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía negativa el año 2016.

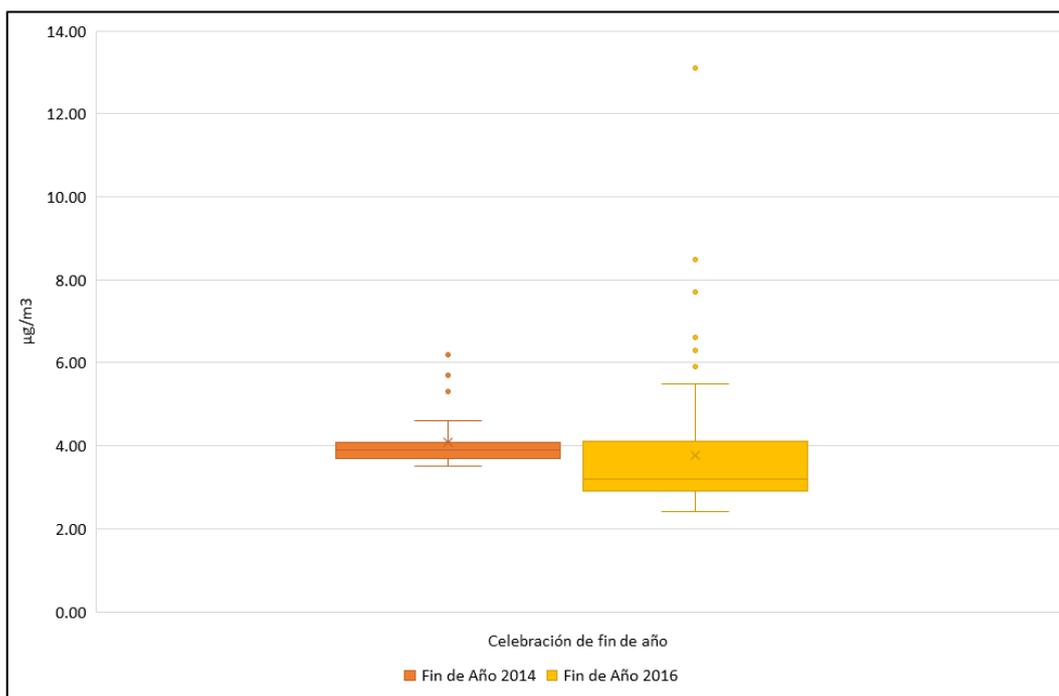


Figura 111: Diagrama de cajas y bigotes de SO_2 , Estación San Martín de Porres en Lima Norte

En la figura 111 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2016 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados, debido a que su rango inter cuartil es menor. A la vez presenta una mediana entre los valores de 3.20 y $3.90\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las

gráficas nos muestran valores atípicos para 2016, ubicados por encima de los bigotes, como son $13.10\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Tabla 55: Resultados estadísticos, Estación Carabayllo en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2015	6.47	89	6.42	1.82	14.40	4.60	5.20	5.90	6.95
CRB	Fin de Año 2016	7.14	96	8.14	3.19	22.60	3.90	6.50	7.50	8.88
	Fin de Año 2018	11.11	64	10.48	1.20	15.60	9.40	9.73	10.15	10.60

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 55, se observa que, la Estación de monitoreo Carabayllo tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2015, 2016 y 2018. Asimismo, los datos registrados para el 2018 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para el año 2016, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2018.

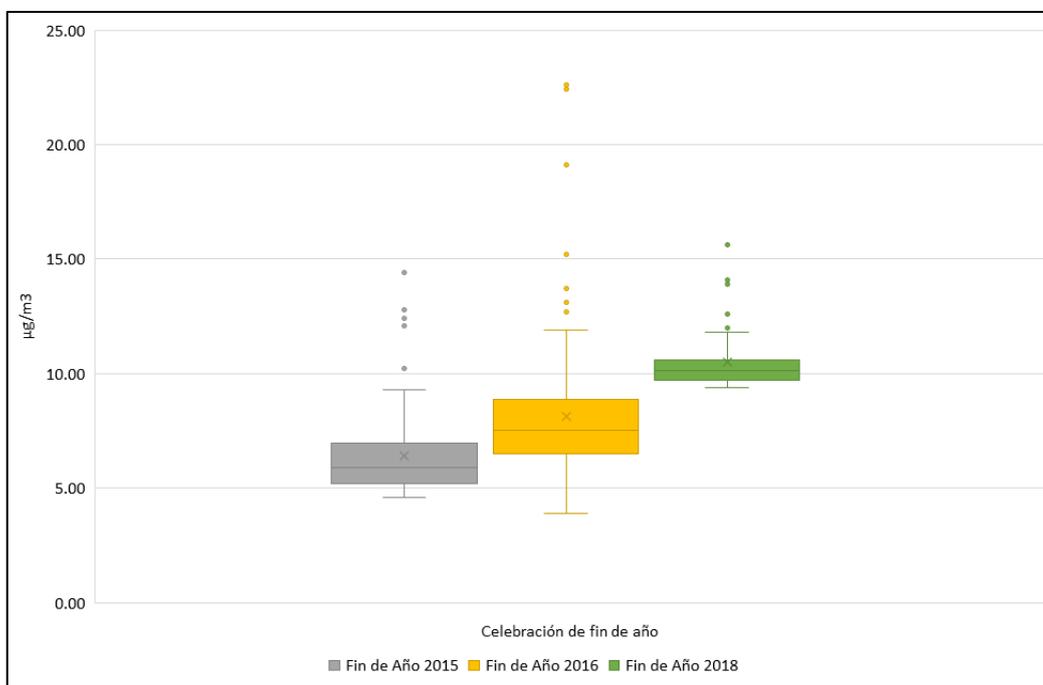


Figura 112: Diagrama de cajas y bigotes de SO_2 , Estación Carabayllo en Lima Norte

En la figura 112 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para los años 2018 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros

años registrados. A la vez presenta una mediana entre los valores de 5.90 y 10.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016, ubicados por encima de los bigotes, como son 22.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 56: Resultados estadísticos, Estación Puente Piedra en Lima Norte

Est.	Periodo de Celebración	*Prom. Mes Diciembre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nº Datos	Prom. Fin de Año $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Desv Est. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q2 Mediana $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Cuartil Q3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Fin de Año 2014	-	24	2.95	0.61	4.10	2.20	2.43	2.75	3.58
PPD	Fin de Año 2016	15.12	96	10.56	7.23	38.50	3.70	5.83	8.30	12.30
	Fin de Año 2017	5.12	96	7.49	7.22	39.50	0.10	2.38	5.80	9.68
	Fin de Año 2018	46.30	72	53.59	2.87	65.70	50.60	51.53	53.50	54.68

*Corresponde al promedio del mes de diciembre excluyendo los días festivos.

En la Tabla 56, se observa que, la Estación de monitoreo Puente Piedra tiene información recopilada para las celebraciones de fin de año del 2014, 2016 al 2018. Asimismo, los datos registrados para el 2014 son homogéneos en comparación a los demás años registrados. Para los años 2017 y 2018, se ve que el resultado del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año es mayor al promedio de datos registrados para el mes de diciembre. Además, de los resultados del promedio de los datos de las celebraciones de fin de año, en referencia a su periodo anterior, podemos evidenciar anomalía positiva los años 2016 y 2018, y anomalía negativa el año 2017.

En la figura 113 mediante la gráfica de cajas y bigotes se puede evidenciar que los datos registrados para el año 2014 no son dispersos en su distribución en comparación a los otros años registrados. A la vez presenta una mediana entre los valores de 5.80 y 53.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para los años de información recopilada, la misma que nos indica que el 50% de los datos registrados son menores o iguales a esta. A la vez, las gráficas nos muestran valores atípicos para el año 2016 y 2017, ubicados por encima de los bigotes, como es 38.50 y 39.50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

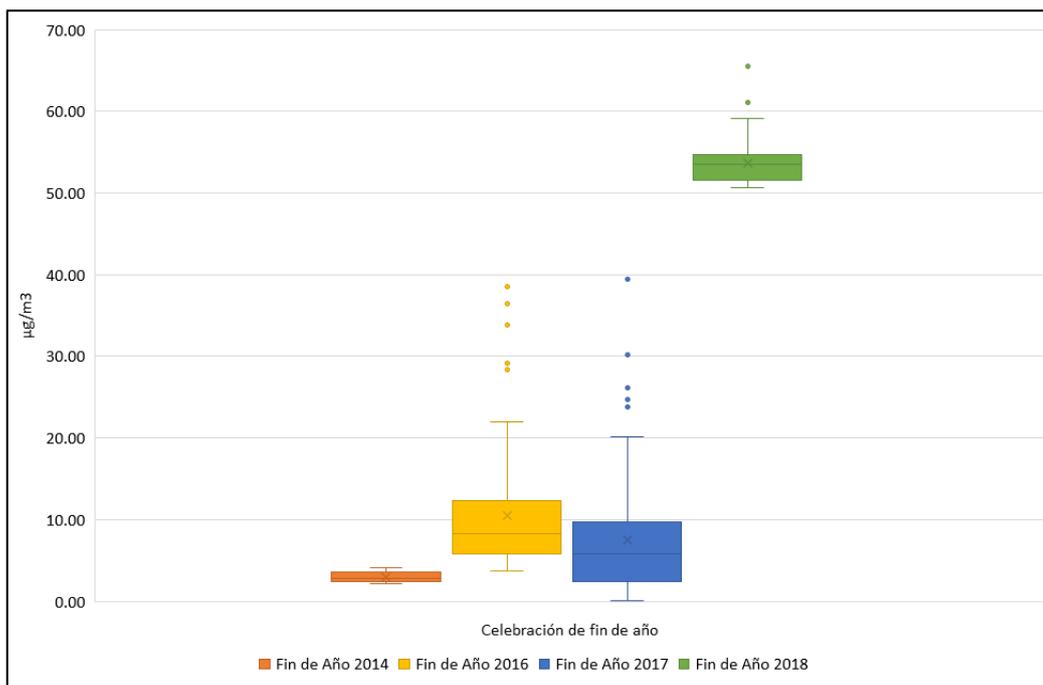


Figura 113: Diagrama de cajas y bigotes de SO₂, Estación Puente Piedra en Lima Norte

De los resultados obtenidos, no se mostraron valores superiores para la concentración de CO, NO₂ y SO₂, durante la celebración de fin de año. Estos resultados se asemejan, a los resultados de los autores: Pandey et al. (2016), en su investigación analizó los datos de concentración disponibles durante la noche del festival para cinco contaminantes, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂ y CO. Para PM₁₀ y PM_{2.5}, en ambos casos superaron con los valores estándar de referencia; los contaminantes restantes SO₂, NO₂ y CO no mostraron valores superiores, lo que indica un mejor escenario en comparación con años anteriores. Asimismo, Mandal et al. (2012) refiere que hubo un aumento significativo en la concentración de dióxido de azufre (SO₂) pero la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) no mostró ninguna variación considerable.

V. CONCLUSIONES

1. Sobre la determinación de la variación temporal del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ generado en las celebraciones de fin de año.
 - Las fiestas de año nuevo presentaron los valores máximos de concentración, principalmente en los años 2016 y 2017 en comparación a los demás años en evaluación.
 - La evolución del promedio diario para la concentración de PM_{10} en las estaciones de monitoreo de Lima Centro, no se supera el valor del ECA aire; para las estaciones de Lima Este, se supera el valor del ECA aire hasta en un 180%; para las estaciones de Lima Sur, se supera el valor del ECA aire hasta en un 80% y para las estaciones de Lima Norte, se supera el valor del ECA aire hasta en un 150%.
 - Para la evolución del promedio diario para la concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones de monitoreo de Lima Centro, no se supera el valor del ECA aire; para las estaciones de Lima Este, se supera el valor del ECA aire hasta en un 200%; para las estaciones de Lima Sur, se supera el valor del ECA aire hasta en un 20% y para las estaciones de Lima Norte, se supera el valor del ECA aire hasta en un 140%.
 - En las estaciones de Lima Centro se registraron los menores impactos sobre la calidad del aire en las celebraciones de fin de año.
 - La evolución horaria del PM_{10} y $PM_{2.5}$ muestran que los valores máximos se registraron en horas de la media noche hasta las 3 a 4am del día siguiente de las celebraciones de fin de año
2. Sobre la determinación de la variación temporal de los gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2) generado en las celebraciones de fin de año.
 - En las Zonas de Lima Este, Lima Centro, Lima Sur y Lima Norte, la evaluación del promedio diario del CO , SO_2 y NO_2 , muestran que no se sobrepasan el ECA aire ni el valor guía de la OMS, en el periodo en evaluación.

- La concentración del promedio diario de CO en las zonas de Lima Centro y Lima Este, muestra una tendencia ascendente para los años 2018 al 2020.
- En las Zonas de Lima Norte, Lima Sur, Lima Este y Lima Centro, la evaluación de la concentración horaria del CO, SO₂ y NO₂, muestran que no se sobrepasan el ECA aire, en el periodo en evaluación. A excepción del SO₂ y NO₂ que, muestran en algunas horas de los días de las celebraciones de fin de año, donde si superan el valor guía de la OMS, en ciertos años del periodo en evaluación.
- La concentración horaria de CO, SO₂ y NO₂ en las zonas de Zonas de Lima Este y Lima Centro, muestra una tendencia ascendente para los años 2018 al 2020.

VI. RECOMENDACIONES

1. Si bien se tiene un buen número de años en el periodo analizado, se requiere seguir realizando estudios similares o a mayor profundidad para incluir las posibles variaciones.
2. Elaborar y diseñar planes acción a nacional, regional o municipal, que permitan o promuevan el no uso o uso controlado de fuegos artificiales en las celebraciones de fin de año u otra celebración costumbrista.
3. Por parte de las autoridades, se debería fortalecer las acciones de fiscalización para reducir la fabricación y venta informal de fuegos artificiales, así como la quema de muñecos, basura o cosas en desuso y fogatas que se realiza durante las celebraciones de fin de año.
4. Realizar campañas de sensibilización a la población en general, sobre los peligros por el uso de fuegos artificiales en las celebraciones, el daño ambiental o contaminación ambiental que genera esta actividad, así como los riesgos a la salud por la emanación metales pesados como el perclorato de sodio, partículas de plomo, cromo y antimonio que pueden causar la irritación en las vías respiratorias, inflamación en la garganta, dolores de cabeza, problemas de audición y conjuntivitis, principalmente en personas riesgo como son los adultos mayores y niños; además que podrían generar incendios, quemaduras, lesiones graves y hasta mutilaciones en las personas y niños que usan y manipulan los pirotécnicos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, M., & Zaratti, F. (2007). La Atmósfera de la Paz en la noche de San Juan. *Revista boliviana de Física*, 13, 75-78.
- Alfaro, C. (2020). Alteración de la Calidad del Aire por quema de caña de azúcar (*Saccharum Officinarum L*) en Casa Grande, La Libertad. (Tesis profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina).
- Amable, I., Méndez, J., Bello, B., Benítez, B., Escobar, L., & Zamora, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista médica electrónica*, 39(5), 1160-1170.
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista española de salud pública*, 73(2), 123-132.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de salud pública*, 79, 159-175.
- Baranyai, E., Simon, E., Braun, M., Tóthmérész, B., Posta, J., & Fábíán, I. (2014). The effect of a fireworks event on the amount and elemental concentration of deposited dust collected in the city of Debrecen, Hungary. *Air Qual Atmos Health*, 8, 359-365.
- Boldo, E. (2016). La contaminación del aire. Instituto de Salud Carlos III.
- Camilleri, R. & Vella, A. (2010). Effect of fireworks on ambient air quality in Malta. *Atmospheric Environment*, 44, 4521-4527.
- Cañada, M. (2012). Cambios espaciales y temporales en la contaminación por dióxido de nitrógeno en el municipio de Madrid (2001-2011). *DJJCM*, 29, 127.
- Chatterjee, A., Sarkar, C., Adak, A., Mukherjee, U., Ghosh, W., & Raha, S. (2013). Ambient Air Quality during Diwali Festival over Kolkata – A Mega-City in India. *Aerosol and Air Quality Research*, 13: 13, 1133–1144.

- Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del aire limpio para Lima y Callao (2019). Diagnóstico de la Gestión de la Calidad Ambiental del Aire de Lima y Callao. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-gestion-calidad-ambiental-aire-lima-callao>
- Dickerson, A., Benson, A., Buckley, B., & Chan, E. (2016). Concentrations of individual fine particulate matter components in the USA around July 4th. *Air Qual Atmos Health*, 1-10.
- Flores, E. (2020). Incidencia de la cuarentena por covid-19, en la calidad del aire (NO₂) de la ciudad de Lima. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 23(46), 65-71.
- Han, G., Gong, W., Quan, J., Li, J., & Zhang, M. (2014). Study of temporal variation in ambient air quality during Diwali festival in India. *Environmental Science Processes & Impacts*, 16, 916-923.
- Lai, Y., & Brimblecombe, P. (2017). Regulatory effects on particulate pollution in the early hours of Chinese New Year, 2015. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189:467, 1-14.
- Mandal, P., Prakash, M. & Lin, C. (2016) A review of the impact of fireworks on particulate matter in ambient air. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 66:12, 1171-1182.
- Mandal, P., Prakash, M., & Bassin, J. K. (2012). Impact of Diwali celebrations on urban air and noise quality in Delhi City, India. *Environmental monitoring and assessment*, 184(1), 209-215.
- MINAM. (2005). Ley N° 28611: Ley General del Ambiente.
- MINAM. (2008). Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire.
- MINAM. (2017). Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire y establecen Disposiciones Complementarias.
- Oliveros, R. (2020). Uso del modelo Calpuff para evaluar los impactos en la calidad del aire por PM₁₀ en un proyecto minero GreenField. (Tesis profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina).

- OMS. (2004). Guías de calidad del aire de la OMS Traducción realizada por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS), agencia especializada de la Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS).
- OMS. (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.
- OMS. (2021). Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire. Resumen Ejecutivo.
- Pandey, A., Kumar, R., & Shukla, A. (2016). Study on air pollution trends (2010-2015) due to Fireworks during Diwali festival in Delhi, India. *Suan Sunandha Science and Technology Journal, Vol.03 N°2*, 1-10
- PCM. (2001). Decreto Supremo N° 074-2001-PCM: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Aire.
- Rendón, M., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). Descriptive statistics. *Revista Alergia de Mexico*, 63(4). 397-407.
- Robles, I., Reyna, R., Guerrero, C., Robles, V., & Ordaz, A. (2017). Massive burning of fireworks: a pollutant show. *Revista Bio Ciencias 4(5)*, 1-18.
- Sánchez, J. (2012). Características fisicoquímicas de los gases y partículas contaminantes del aire. Su impacto en el asma. *Iatreia*, 25(4), 369-379.
- Seidel, D., & Birnbaum, A. (2015). Effects of Independence Day fireworks on atmospheric concentrations of fine particulate matter in the United States. *Atmospheric Environment*, 115, 192-198.
- SENAMHI (2015). Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana 2015.
- SENAMHI (2021). Informe Vigilancia de la Calidad del aire. Área Metropolitana de Lima y Callao.
- Singh, D., Gadi, R., Mandal, T., Dixit C., Singh, K., Saud, T., Singh, N., & Gupta. P., (2009). Study of temporal variation in ambient air quality during Diwali festival in India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169, 1-13.
- Singh, A., Pant, P., & Pope, F. (2019). Air quality during and after festivals: Aerosol concentrations, composition and health effects. *Atmospheric Research*, 227, 220-232.

- Thakur, B., Chakraborty, S., Debsark, A., Chakrabarty, S., & Srivastava, R. (2010). Air pollution from fireworks during festival of lights (Deepawali) in Howrah, India - a case study. *Atmósfera* 23(4), 347-365
- Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Área de Estadística (2011), Manual de Estadística Descriptiva.
- UTAH Department of Environmental Quality (2022). Fireworks, Air Quality, and Wildfires. Recuperado de: <https://deq.utah.gov/air-quality/fireworks-air-quality-wildfires>.
- Wisconsin Department of Natural Resources (2022). Fireworks. Recuperado de: <https://dnr.wisconsin.gov/topic/AirQuality/Fireworks.html>
- Yao, L., Wang, D., Fu, Q., Qiao, L., Wang, H., Li, L., ... & Chen, J. (2019). The effects of firework regulation on air quality and public health during the Chinese Spring Festival from 2013 to 2017 in a Chinese megacity. *Environment international*, 126, 96-106.