

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Evaluación e interpretación de la dinámica del
monóxido de carbono en el aire de
Lima Este 2019**

Dennis Libio Pando Huerta

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

PhD. Anieval Cirilo Peña Rojas

AGRADECIMIENTO

Muchos son los factores a los que agradezco la génesis, planificación y ejecución del presente trabajo de investigación; sin embargo, merece un especial agradecimiento el ingeniero Anieval Peña Rojas, quien, desinteresadamente, aceptó ser mi guía en este sendero enrevesado y lleno de aprendizaje; gracias a su valiosísimo aporte, pude finalizar el presente proyecto. Gracias, ingeniero, por su valioso tiempo.

Asimismo, al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, por su atención amable y oportuna en las consultas y gestión de datos.

DEDICATORIA

A los innumerables antepasados que confluyen en mí.

ÍNDICE

PORTADA.....	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE TABLAS	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.1.1. Planteamiento del problema	15
1.1.2. Formulación del problema	18
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos	18
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	19
1.3.1. Económica	19
1.3.2. Ambiental	19
1.3.3. Social	20
1.3.4. Teórica.....	20
1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	20
1.4.1. Hipótesis general	20
1.4.2. Hipótesis específicas.....	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	22
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	28
2.2. BASES TEÓRICAS	29
2.2.1. Estructura de la atmósfera	29
2.2.2. Composición de la atmósfera.....	32
2.2.3. Movimientos del aire	33
2.2.4. Estabilidad vertical.....	34
2.2.5. Contaminación atmosférica.....	41
2.2.6. Marco legal	49
2.2.7. Técnicas e instrumentos de investigación	50
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	54
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	56
3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	56
3.1.1. Método de la investigación.....	56
3.1.2. Alcance de la investigación	57
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.2.1. Diseño no experimental	57
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	58
3.3.1. Población	58

3.3.2.	Muestra	58
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	58
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos	58
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos	59
3.4.3.	Método específico de la investigación	59
3.5.	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	66
3.5.1.	Descripción de la zona de evaluación	66
3.5.2.	Ubicación de las estaciones de monitoreo	66
3.5.3.	Clima.....	69
3.5.4.	Topografía.....	69
3.5.5.	Población	69
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		70
4.1.	RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	70
4.1.1.	Análisis exploratorio de datos	71
4.1.2.	Análisis gráfico de las concentraciones de monóxido de carbono en Lima Este 2019	77
4.1.3.	Análisis estacional del monóxido de carbono y la temperatura ambiental	101
4.1.4.	Diagramas de dispersión para [CO] y la temperatura	124
4.1.5.	Evaluación del monóxido de carbono y la velocidad del viento	129
4.1.6.	Diagramas de dispersión para [CO] y la velocidad del viento	139
4.1.7.	Distribución espacial del monóxido de carbono en Lima Este 2019.....	143
4.2.	PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	147
4.2.1.	Pruebas de normalidad.....	147
4.2.2.	Pruebas no paramétricas	152
4.2.3.	Correlación de rangos de Spearman para la [CO] y la dinámica del viento	152
4.2.4.	Correlación de rangos de Spearman para la [CO] y la temperatura ambiental .	153
4.2.5.	Prueba de Kruskal- Wallis y Mann- Whitney para evaluar diferencias en [CO] estacionales.....	154
4.2.6.	Prueba de Kruskal- Wallis para evaluar diferencias en [CO] entre puntos de monitoreo.	157
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	159
CONCLUSIONES.....		163
RECOMENDACIONES		165
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		166
ANEXOS		171

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Emisiones estimadas (ton/año) para Lima y Callao: 2016.....	17
Tabla 2: Descripción de la atmósfera terrestre.	30
Tabla 3: Composición del aire seco a nivel del mar.....	33
Tabla 4: Estándar de Calidad Ambiental - ECA, para el monóxido de carbono (CO)	43
Tabla 5: Valores del Índice de Calidad Ambiental - INCA	43
Tabla 6: Cuidados y recomendaciones del INCA	44
Tabla 7: Cálculo del Índice de Calidad del Aire para el CO	44
Tabla 8: Instrumentos de medición del monóxido de carbono (CO) en zonas ubicadas en Lima Este.	51
Tabla 9: Instrumentos de medición de parámetros meteorológicos en zonas ubicadas en Lima Este.	52
Tabla 10: Escala de medición de las variables CO, temperatura, velocidad y dirección del viento.	67
Tabla 11: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo.....	68
Tabla 12: Registro horario de datos durante el 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo de calidad ambiental de SENAMHI, ubicadas en la zona de Lima Este.	71
Tabla 13: Estadísticos descriptivos de las concentraciones de monóxido de carbono de las cuatro (04) estaciones de monitoreo - Lima Este	75
Tabla 14: Cuartiles, monóxido de carbono ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$), Lima Este 2019.	75
Tabla 15: Registros máximos de monóxido de carbono ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$) en Lima Este 2019.	76
Tabla 16: Resumen de datos	155
Tabla 17: Prueba de Mann-Whitney para determinar diferencias significativas entre estaciones del año 2019	156
Tabla 18: Prueba de Kruskal-Wallis	157
Tabla 19. Prueba de Mann-Whitney para determinar diferencias significativas espaciales en Lima Este 2019.	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Número de defunciones asociadas con la calidad del aire.....	16
Figura 2: Población estimada por zonas en el área metropolitana de Lima y Callao (2009 -2017)	17
Figura 3: Variación de la temperatura y presión, en relación a la altura.....	30
Figura 4: Representación esquemática de la capa límite atmosférica (CLA).....	32
Figura 5: Diagrama de temperaturas-altitud de una masa de aire para ilustrar estabilidad e inestabilidad vertical.	34
Figura 6: Estado de diversos gradientes verticales	35
Figura 7: Ilustración de los contaminantes atrapados a causa de una inversión térmica.	35
Figura 8: Condiciones normales del aire en la superficie terrestre.....	36
Figura 9: Ocurrencia de una inversión térmica en zona de valle.	36
Figura 10: Ocurrencia de una inversión térmica en zona costera.	37
Figura 11: Efecto de la subsidencia en la curva de estado de la temperatura.	38
Figura 12: Esquema ilustrativo de la inversión térmica por irradiación.....	39
Figura 13: Desarrollo de una inversión por radiación (a) y la subsiguiente erosión de la inversión (b).	40
Figura 14: Ilustración de un escenario de inversión marina	41
Figura 15: Interacciones de un contaminante.	42
Figura 16: Factores de emisión de monóxido de carbono.	45
Figura 17: Relación entre la generación de CO y la proporción aire/combustible en motores de combustión interna	46
Figura 18: Variación mensual de la capa de mezcla - 2019	48
Figura 19: Velocidades de deposición seca de algunos contaminantes (cm/s).	49
Figura 20: Diagrama de la técnica Infrarrojo no dispersivo.	51
Figura 21: Analizador de monóxido de carbono T300	59
Figura 22: Metodología específica de la investigación	61
Figura 23: Ubicación de la zona de evaluación.	66
Figura 24: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo.	68
Figura 25: Distribución de datos registrados en la estación de monitoreo Ate – 2019.....	72
Figura 26: Distribución de datos registrados en la estación de monitoreo Santa Anita – 2019	72
Figura 27: Distribución de datos registrados en la estación de monitoreo Lurigancho – 2019	73
Figura 28: Distribución de datos registrados en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho – 2019.....	74
Figura 29: Diagramas de caja y bigote para los datos registrados en las cuatro estaciones en evaluación.	76
Figura 30: Variación zonal estacional de CO en Lima Este – 2019.....	78
Figura 31: Comparación del comportamiento del CO en los diferentes meses del 2019.....	79
Figura 32: Comparativa del comportamiento del CO en los diferentes meses del 2019 - Estación Santa Anita.	80
Figura 33: Comparativa del comportamiento del CO en los diferentes meses del 2019 - Estación Lurigancho.....	82
Figura 34: Comparativa del comportamiento del CO en los diferentes meses del 2019 - Estación San Juan de Lurigancho.	83
Figura 35: Variación estacional de monóxido de carbono en Lima Este 2019.....	84
Figura 36: Variación estacional de monóxido de carbono en la estación de monitoreo Santa Anita – 2019.....	85
Figura 37: Variación estacional de monóxido de carbono en la estación de monitoreo Lurigancho – 2019.....	87
Figura 38: Variación estacional de monóxido de carbono en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho – 2019.....	88
Figura 39: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este -2019.	90

Figura 40: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - invierno de 2019.	91
Figura 41: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - primavera de 2019.	92
Figura 42: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - verano de 2019.	93
Figura 43: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día lunes de 2019.	94
Figura 44: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día martes de 2019.	95
Figura 45: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día miércoles de 2019.	96
Figura 46: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día jueves de 2019.	97
Figura 47: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día viernes de 2019.	98
Figura 48: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día sábado de 2019.	99
Figura 49: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día domingo de 2019.	100
Figura 50: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Ate, para el periodo otoño del 2019.	102
Figura 51: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Santa Anita, para el periodo otoño del 2019.	103
Figura 52: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Lurigancho, para el periodo otoño del 2019.	105
Figura 53: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo SJL, para el periodo otoño del 2019.	106
Figura 54: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Ate, para el periodo invierno del 2019.	107
Figura 55: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Santa Anita, para el periodo invierno del 2019.	109
Figura 56: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Lurigancho, para el periodo invierno del 2019.	110
Figura 57: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo SJL, para el periodo invierno del 2019.	111
Figura 58: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Ate, para el periodo primavera del 2019.	113
Figura 59: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Santa Anita, para el periodo primavera del 2019.	114
Figura 60: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Lurigancho, para el periodo primavera del 2019.	116
Figura 61: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo SJL, para el periodo primavera del 2019.	117
Figura 62: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Ate, para el periodo verano del 2019.	119
Figura 63: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Santa Anita, para el periodo verano del 2019.	120
Figura 64: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Lurigancho, para el periodo verano del 2019.	121
Figura 65: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo SJL, para el periodo verano del 2019.	123
Figura 66: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la temperatura ambiental en Lima Este: Otoño 2019.	125

Figura 67: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la temperatura ambiental en Lima Este: Invierno 2019.....	126
Figura 68: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la temperatura ambiental en Lima Este: Primavera 2019.....	127
Figura 69: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la temperatura ambiental en Lima Este: Verano 2019.....	128
Figura 70: Rosas de viento de los puntos de monitoreo en Lima Este: Otoño 2019.....	129
Figura 71: Rosas de viento de los puntos de monitoreo en Lima Este: Invierno 2019.....	130
Figura 72: Rosas de viento de los puntos de monitoreo en Lima Este: Primavera 2019.....	131
Figura 73: Rosas de viento de los puntos de monitoreo en Lima Este: Verano 2019.....	132
Figura 74: Series de tiempo monóxido de carbono - Velocidad del viento para Lima Este: Otoño del 2019.....	135
Figura 75: Series de tiempo monóxido de carbono - Velocidad del viento para Lima Este: Invierno del 2019.....	136
Figura 76: Series de tiempo monóxido de carbono - Velocidad del viento para Lima Este: Primavera del 2019.....	137
Figura 77: Series de tiempo monóxido de carbono - Velocidad del viento para Lima Este: Verano del 2019.....	138
Figura 78: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la velocidad del viento en Lima Este: Otoño 2019.....	139
Figura 79: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la velocidad del viento en Lima Este: Invierno 2019.....	140
Figura 80: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la velocidad del viento en Lima Este: Primavera 2019.....	141
Figura 81: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la velocidad del viento en Lima Este: Verano 2019.....	142
Figura 82: Distribución espacial de CO en Lima Este. Otoño de 2019.....	143
Figura 83: Distribución espacial de CO en Lima Este. Invierno de 2019.....	144
Figura 84: Distribución espacial de CO en Lima Este. Primavera de 2019.....	145
Figura 85: Distribución espacial de CO en Lima Este. Verano de 2019.....	146
Figura 86: Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, para las [CO] de la EM – Ate.....	148
Figura 87: Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, para las [CO] de la EM – Santa Anita ..	149
Figura 88: Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, para las [CO] de la EM – Lurigancho ...	150
Figura 89: Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, para las [CO] de la EM – San Juan de Lurigancho.....	151
Figura 90: Correlación de rangos de Spearman para la [CO] y la velocidad del viento.....	153
Figura 91: Correlación de rangos de Spearman para la [CO] y la temperatura ambiental.....	154

RESUMEN

El presente trabajo de investigación persigue el objetivo de evaluar e interpretar la dinámica espacial de la concentración atmosférica del monóxido de carbono (CO) en Lima Este en el año 2019. El monóxido de carbono atmosférico constituye un contaminante atmosférico primario, la exposición prolongada a este puede acarrear problemas para la salud y calidad de vida de las personas. Para fines del estudio, se procesaron las concentraciones de monóxido de carbono y variables meteorológicas (temperatura ambiental, velocidad y dirección del viento) registradas durante el año 2019 por las cuatro (04) estaciones de monitoreo localizadas en Lima Este (EM Ate, EM Santa Anita, EM Lurigancho y EM San Juan de Lurigancho) y pertenecientes a la red de vigilancia de la calidad del aire del SENAMHI; se analizó por año, periodo estacional, mes y día de la semana, haciendo uso de gráficas de series de tiempo; asimismo, se evaluó su variabilidad espacial interpolando los registros con el método kriging disponible en la gama de herramientas con la que cuenta ArcGis 10.5. Las pruebas de hipótesis aplicadas indicaron que, en el aire de Lima Este en el año 2019, ni la dinámica del viento ($p = 0.185$) ni la temperatura ambiental ($p = 0.371$) influyeron significativamente en la dispersión del monóxido de carbono; asimismo, en el otoño, se registraron concentraciones de CO significativamente diferentes al invierno, primavera y verano (variabilidad temporal), y en la estación de monitoreo localizada en el distrito de Ate (EM Ate) se registraron concentraciones de CO significativamente mayores a las de los otros puntos evaluados (variabilidad espacial).

Palabras clave: Monóxido de carbono, variabilidad espacial, variabilidad temporal, Lima Este, dinámica del monóxido de carbono, variables meteorológicas.

ABSTRACT

This research work aims to evaluate and interpret the spatial dynamics of the atmospheric concentration of carbon monoxide (CO) in Lima Este - 2019. Atmospheric carbon monoxide is a primary atmospheric pollutant, and prolonged exposure to it can lead to problems for people's health and quality of life. For the purposes of the study, carbon monoxide concentrations and weather variables (environmental temperature, wind speed and direction) recorded during 2019 were processed by the four (04) monitoring stations located in Lima Este (EM Ate, EM Santa Anita, EM Lurigancho and EM San Juan de Lurigancho) and belonging to SENAMHI's air quality monitoring network; they were analyzed by year, seasonal period, month, and day of the week using time series graphs; its spatial variability was also evaluated by interpolating the records with the kriging method available in ArcGis 10.5's range of tools. The applied hypothesis tests indicated that, in Lima's air in 2019, wind dynamics ($p = 0.185$) and ambient temperature ($p = 0.371$) did not significantly influence the dispersion of carbon monoxide; in the autumn, significantly different CO concentrations were recorded in the winter, spring and summer (temporary variability) and the monitoring station located in the Ate district (EM Ate) recorded significantly higher CO concentrations than the other points evaluated (spatial variability).

Keywords: Carbon monoxide, spatial variability, temporal variability, East Lima, carbon monoxide dynamics, weather variables.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es una de las preocupaciones ambientales más importantes y que su ocurrencia, por encima de los estándares de calidad ambiental, puede alterar de forma negativa el bienestar y calidad de vida de las personas, dado que la dinámica de los contaminantes trasciende límites geográficos, estratos sociales o cualquier otra división social. El monóxido de carbono constituye uno de los muchos gases contaminantes del aire, generado principalmente en las ciudades como producto de las actividades económicas y sociales, que en concentraciones y exposiciones altas representa un riesgo para la salud de las personas; de ahí la importancia de su vigilancia y evaluación en zonas urbanas como Lima Este.

El presente proyecto busca evaluar e interpretar la dinámica espacial de la concentración atmosférica del monóxido de carbono (CO) en Lima Este durante el año 2019, haciendo uso de data de concentración de monóxido de carbono registrada por las cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire localizadas en Lima Este (propiedad del SENAMHI); para tal propósito, se hace uso de herramientas de análisis de datos y uso de software para el procesamiento de los datos.

Con la finalidad de cumplir el objetivo, el presente documento está estructurado por capítulos. El capítulo I plantea y formula el problema de investigación “¿Cuál fue la dinámica espacial de la concentración atmosférica del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019?”; asimismo, se plantean las hipótesis que serán objeto de prueba.

En el capítulo II, se hace una revisión de los antecedentes del estudio, trayendo a colación una serie de estudios nacionales e internacionales referidos a la ocurrencia del monóxido de carbono en el aire; además, se repasan las bases teóricas en las que se resumen los conceptos que son necesarios tener en cuenta para comprender la contaminación del aire a causa del monóxido de carbono; finalmente, se consideran definiciones importantes que se deben tener en cuenta.

El capítulo III describe la metodología considerada para el cumplimiento del objetivo planteado, considerando, además, los métodos usados para el registro de las concentraciones de monóxido de carbono y los parámetros meteorológicos, enfatizando en el uso del análisis de figuras, histogramas, diagramas de dispersión y la interpolación espacial con el método kriging.

En el capítulo IV, se muestran los resultados producto de la metodología aplicada y el procesamiento de los datos, haciendo uso de las herramientas descritas en el capítulo III;

asimismo, se aplican pruebas estadísticas no paramétricas (Kruskal y Wallis – prueba post hoc de Mann-Whitney) con la finalidad de aceptar o rechazar las hipótesis planteadas en el capítulo I; de otro lado, se hace uso de la correlación de rangos de Spearman para determinar el nivel de correlación entre las variables CO – temperatura ambiental y CO – Velocidad del viento; finalmente, se discuten los resultados con otros estudios considerados en el marco teórico y las bases teóricas, se enlistan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

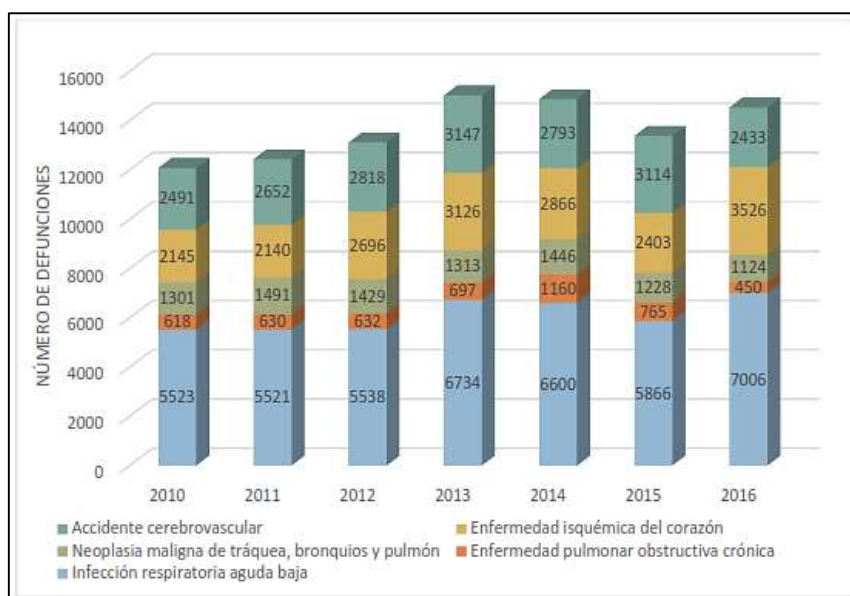
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional se traduce, inevitablemente, en una mayor demanda y explotación de recursos naturales, recursos que son extraídos de un planeta finito que soporta cada vez una mayor presión. Asimismo, se traduce en un mayor flujo de sustancias, muchas veces nocivas para la integridad de los ecosistemas y la salud de las personas, emitidas al ambiente alcanzando, debido a la capacidad homeostática de los ecosistemas, nuevos equilibrios que cada vez son menos aptos para el desarrollo de la vida tal como la conocemos. En ese sentido, la contaminación ambiental representa uno de los muchos aspectos a considerar en el desarrollo de nuestra sociedad.

En el mundo, cerca de 4.2 millones de personas al año pierden la vida debido a factores asociados a la contaminación del aire ambiental exterior; 91% de la población mundial (es decir, 9 de cada 10 personas) habita en sitios donde los parámetros de calidad del aire superan las directrices recomendadas por la OMS, acarreando un aumento de la mortalidad por accidente cerebrovascular, enfermedades cardíacas, enfermedades pulmonares obstructivas crónicas, cáncer de pulmón e infecciones respiratorias agudas (1).

La siguiente figura muestra los registros de defunciones para Lima y Callao relacionadas a las enfermedades asociadas a la mala calidad del aire; cabe precisar que se desconoce qué porcentaje de dichos registros son atribuibles a la calidad del aire.

Figura 1: Número de defunciones asociadas con la calidad del aire



Fuente: (2)

Uno de los mayores contaminantes del aire es el monóxido de carbono CO (3). La hemoglobina posee una afinidad por el monóxido de carbono CO de unas 230 a 270 veces más que la del oxígeno; esta afinidad excesiva de la hemoglobina por el CO resulta en la formación de elevadas concentraciones de carboxihemoglobina en la sangre, siendo así que niveles de concentración por encima del 60%, generalmente, llevan a la muerte (4). Si la carboxihemoglobina llega a conformar más del 2% de la sangre, produce problemas en la salud de la persona (5).

Por otro lado, este es un contaminante primario, que en condiciones determinadas da origen al gas de efecto invernadero CO₂ (gases que propician el calentamiento excesivo del planeta). La emisión antropogénica de monóxido de carbono depende básicamente de las emisiones de los vehículos de combustión interna (parque automotor), la industria y fuentes de área (6).

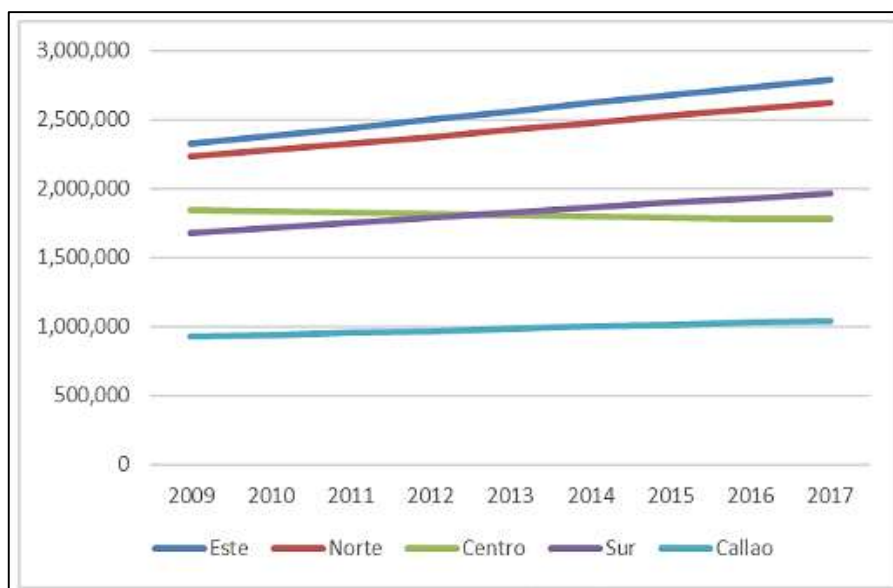
Tabla 1: Emisiones estimadas (ton/año) para Lima y Callao: 2016

TIPO DE FUENTE	CO
Móviles	272 905.08
Puntuales	461.25
Área	9 548.82
Total	282 915.12

Fuente: (2)

Asimismo, en la zona de Lima Este, se encuentra el 59% de las áreas industriales de Lima Metropolitana, las cuales representan fuentes de emisión de contaminantes (entre ellos el monóxido de carbono) (7). De otro lado, cabe precisar que, según la figura N°02, en Lima Este se concentra la mayor población de Lima Metropolitana.

Figura 2: Población estimada por zonas en el área metropolitana de Lima y Callao (2009 - 2017)



Fuente: (2)

Es bien documentado que las dispersiones de gases contaminantes en el aire guardan dependencia con parámetros meteorológicos y topográficos propios de cada zona. Por lo que, si se quiere gestionar adecuadamente la calidad del aire, es imperativo realizar evaluaciones de la dinámica de cada contaminante potencial en su respectiva zona de incidencia; y consecuentemente adoptar

medidas para su minimización, control y/o eliminación, de manera que no se vea afectada la integridad de los ecosistemas y la calidad de vida de las personas.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál fue la dinámica espacial de la concentración atmosférica del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019?

1.1.2.2. Problemas específicos

¿Qué relación tuvo la dinámica del viento y el monóxido de carbono en el aire de Lima Este en el año 2019?

¿Qué relación tuvo la temperatura ambiental y el monóxido de carbono en el aire de Lima Este en el año 2019?

¿Qué estación del año 2019 presentó, significativamente, mayor concentración de monóxido de carbono?

¿Qué estación de monitoreo, ubicada en Lima Este, es donde se registraron, significativamente, mayores concentraciones de monóxido de carbono en el año 2019?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar e interpretar la dinámica espacial de la concentración atmosférica del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la relación de la dinámica del viento y el monóxido de carbono en el aire de Lima Este para el año 2019
- Determinar la relación de la temperatura ambiental y el monóxido de carbono en el aire de Lima Este para el año 2019.

- Identificar la estación del año 2019 que presentó, significativamente, mayor concentración de monóxido de carbono en Lima Este.
- Identificar la estación de monitoreo de Lima Este que registró, significativamente, mayor concentración de monóxido de carbono en el año 2019.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1. ECONÓMICA

En términos económicos, en el 2012, la mortalidad asociada a la calidad del aire se encontró que fue aproximadamente del 4%, representando el 0.9% del PBI de Lima y el 0.5% del PBI nacional (2).

Es así que la información respecto de la situación ambiental del monóxido en zonas específicas de Lima Este podría coadyuvar a la prevención, minimización y control de las enfermedades asociadas a exposiciones al monóxido de carbono, toda vez que la exposición a este gas está relacionada a enfermedades respiratorias que afectan en mayor medida a la población más vulnerable (niños, ancianos y personas con condiciones preexistentes). Así pues, con la prevención, evitar afecciones a la salud y, consecuentemente, minimizar gastos en la salud pública.

1.3.2. AMBIENTAL

El conocimiento de la situación del monóxido de carbono en Lima Este ayudaría a que la sociedad se forme con una conciencia sobre la importancia de cuidar, proteger y preservar un ambiente sano. Asimismo, a partir de la presente evaluación, se podrían proponer medidas de control ambiental, teniendo en cuenta las horas y estaciones del año.

Por otro lado, el presente estudio brindará un indicador de la calidad del aire en Lima Este, un aspecto importante para la toma de decisiones cuando se pretenda impulsar proyectos que busquen garantizar la salud y calidad de vida de las personas.

1.3.3. SOCIAL

El conocimiento, por parte de la población de Lima Este y otras localidades, de las concentraciones de monóxido de carbono CO (el asesino invisible) contribuiría al desarrollo de una conciencia social relacionada a la prevención de conductas sociales que puedan llevar a la exposición a este gas y, adicional a ello, tomar acciones de protección del medio ambiente.

Asimismo, el estudio permitiría que la sociedad de Lima Este conozca la calidad del aire, en relación al monóxido de carbono (CO), a la que están expuestos; consecuentemente, reforzado por programas de las autoridades ambientales sectoriales, podrían convertirse en actores activos de la vigilancia del cumplimiento de las normas que regulan las emisiones de CO de las principales fuentes (móviles, industriales y de área).

1.3.4. TEÓRICA

Hasta la actualidad no se han realizado estudios puntuales sobre el monóxido de carbono propiamente dicho en la zona de Lima Este; razón por la cual la presente investigación pretende llenar ese vacío. Para que así pueda ser el punto de partida de otros estudios enfocados en minimizar, controlar, eliminar y/o fomentar el uso/desarrollo de tecnologías y actividades que no afecten la calidad del aire.

1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Los factores climáticos influyeron, significativamente, en la dispersión estacional y espacial del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La dinámica del viento influyó, significativamente, en la dispersión del monóxido de carbono en el aire de Lima Este.
- La temperatura ambiental influyó, significativamente, en la dispersión del monóxido de carbono en el aire de Lima Este.

- Existen diferencias significativas en las concentraciones de monóxido de carbono estacionales del 2019 en Lima Este.
- Las estaciones de monitoreo ambiental, localizadas en Lima Este, en el año 2019, registraron concentraciones de monóxido de carbono significativamente diferentes.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

El artículo científico titulado "Comportamiento del monóxido de carbono y el clima en la ciudad de Toluca, de 1995 a 2001", cuyo objetivo fue caracterizar la distribución del monóxido de carbono, dióxido de azufre, partículas suspendidas y el ozono a partir de los datos aportados por la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la zona metropolitana de Toluca. Presenta como resultado que, debido a la activa dinámica de los vientos en el valle, los gases evaluados tuvieron tendencias de dispersión; sin embargo, en los meses de invierno las concentraciones de CO registraron valores por encima de la norma y que en combinación con la humedad del aire, el periodo invernal y las bajas temperaturas representarían riesgos para la salud humana (8).

El artículo científico titulado "Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado, Colombia", que tuvo como objetivo estimar contaminantes atmosféricos (CO, NO_x, SO₂, PM10 y COV) provenientes de fuentes móviles en la zona urbana del municipio de Envigado para el año 2010. Presenta como resultado que el monóxido de carbono es el contaminante más emitido con 18.41 td⁻¹ (71.3%), seguido por los óxidos de nitrógeno con 4.5td⁻¹ (17.4%) y los compuestos orgánicos volátiles con 2.7 td⁻¹ (10.3%) y que los autos presentan una emisión diaria de 8.25 td⁻¹ de CO (32.74%). El estudio aporta una metodología basada en número de vehículos por categoría, recorrido vehicular diario por categoría y un factor de emisión asociado a la categoría vehicular (9).

El artículo científico titulado “Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco”, cuyo objetivo fue describir la relación entre los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos y el número de consultas por infecciones agudas de las vías respiratorias en niños menores de cinco años del IMSS, ISSSTE y SSJ del área urbana de Guadalajara, 2000-2002. Muestra como resultado que los contaminantes atmosféricos monóxido de carbono y dióxido de nitrógeno presentan una correlación significativa (CO: $r=0.05$, NO₂: $r=0.09$) con las infecciones agudas de las vías respiratorias en niños menores de cinco años del área urbana de Guadalajara. El estudio aporta una metodología de interpolación denominada aproximación numérica (10).

El artículo científico denominado “Determinación de los factores del peor escenario en la emisión de gases tóxicos”, cuyo objetivo fue analizar modelos de dispersión convencionales para determinar los factores que incrementan la muerte durante una emisión de gases tóxicos. Muestra que el viento es un factor importante en la determinación del peor escenario y que las características del terreno modifican de manera importante la dispersión del gas (11).

El artículo científico titulado “Contaminación aérea y sus efectos en la salud”, cuyo objetivo fue el de realizar una revisión crítica de los efectos de la contaminación intra y extradomiciliaria sobre la salud humana, poniendo especial énfasis en la situación de los habitantes de ciudades chilenas con niveles críticamente altos de contaminación atmosférica. Determinó que la exposición a contaminantes del aire no solo puede aumentar la tasa de morbilidad, sino la tasa de mortalidad, como también puede aumentar el número de ingresos hospitalarios de pacientes con síntomas respiratorios y cardiovasculares; siendo que la contaminación del aire es importante en la determinación de la calidad de vida de los niños, ancianos y en pacientes con enfermedades respiratorias y cardiovasculares (12).

El artículo científico titulado “Estudio de la variabilidad del monóxido de carbono atmosférico en la región metropolitana de Campinas-SP y comparación con Sao Paulo-SP”, cuyo objetivo fue estudiar la variabilidad del gas CO en las ciudades de Campinas y Paulínia, región de Campinas – SP, y en el centro de la ciudad de Sao Paulo, para identificar las principales fuentes de CO en esta región. El estudio mostró una disminución en la concentración de CO en la atmósfera y la comparación con la humedad relativa de la atmosfera, la dirección del viento, los

materiales inhalables y el humo; mostró que la emisión de CO está estrechamente relacionada con la emisión vehicular y poco relacionada con las industrias de la región; asimismo, se identificó interferencias de las condiciones climáticas en la concentración de CO en la atmósfera (13).

El artículo científico titulado “Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá”, cuyo objetivo fue analizar los registros contenidos en la red de monitoreo de la calidad del aire en Bogotá. Los resultados indican que para contaminantes como el monóxido de carbono, óxidos de azufre y nitrógeno, la ciudad de Bogotá no presenta un problema significativo de contaminación atmosférica; sin embargo, la contaminación atmosférica por material particulado tiende a superar el estándar establecido en las normas de calidad del aire (14).

El artículo científico que lleva como título “Evolución y tendencias mensuales de O₃, NO₂, CO y AOD en el área metropolitana de Buenos Aires a partir de observaciones espaciales”, el objetivo del estudio fue el de analizar el dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), los aerosoles a través del parámetro AOD y el ozono (O₃) en el área metropolitana de Buenos Aires, durante el periodo 2005-2015. Los resultados muestran tendencias anuales negativas para el NO₂ y CO, entretanto, el O₃ y AOD se mantienen prácticamente constantes durante el periodo considerado; asimismo, las mayores concentraciones de NO₂ corresponden a los meses más fríos del año, esto no sucede con las demás sustancias, ya que el CO y el O₃ presentan la mayor concentración en primavera (15).

El artículo científico “Análisis de la tendencia y el ciclo estacional de las concentraciones de monóxido de carbono en un área urbana”, cuyo objetivo fue analizar variaciones temporales mediante la aplicación de métodos estadísticos; el estudio aplica dos pruebas no paramétricas (filtro Kolmogorov - Zuerbenco y método de mínimos cuadrados). Los resultados de las pruebas no paramétricas indican una tendencia significativa decreciente en el sitio muestreado (Valencia-España); la aplicación del modelo lineal indica una disminución significativa cada doce meses de 15.8% para la media mensual de CO; de otro lado, el filtro KZ separa las variaciones estacionales, a corto plazo y a largo plazo, la tendencia estimada significativa a largo plazo de cada año resulta en un 10.3% con este método (16).

El artículo científico denominado “Dispersión de la contaminación atmosférica en verano e invierno” tuvo como objetivo analizar la contaminación del aire por

material particulado (PM10), dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono, en términos de estacionalidad, teniendo en cuenta parámetros meteorológicos como la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. El estudio analiza la data de un periodo de 7 años de una estación de monitoreo situada en la parte este de la Gran Polonia, en el distrito de Konin, en el municipio de Slesin en Piotrkowice. Los resultados confirman explícitamente la presencia de niveles elevados de contaminación del aire en los meses de invierno y bajos en los meses de verano; asimismo, el estudio concluye que se encontró una relación significativa entre los niveles elevados de contaminantes (PM10, SO₂, NO₂ y CO) y parámetros meteorológicos como la temperatura (valores bajos), humedad del aire (valores altos) y velocidad del viento (valores altos) (17).

El artículo científico “Una evaluación basada en GIS de la idoneidad de las mediciones del sensor satelital SCIAMACHY para estimar concentraciones confiables de CO en un clima de baja latitud”, cuyo objetivo fue evaluar la confiabilidad de las mediciones del sensor satelital del espectrómetro de adsorción de imágenes de barrido para cartografía (SCIAMACHY) para interpolar las concentraciones troposféricas de monóxido de carbono considerando el clima de baja latitud de la región del Delta del Niger en Nigeria, hace uso de la interpolación utilizando la técnica de kriging ordinaria con fines de observar las variaciones espacio temporales. Los resultados, con base en la distribución porcentual de confiabilidad en el periodo estudiado (34 meses), indican que las secciones norte (74%) tienen más periodos de estimaciones confiables que las secciones sur (42%); asimismo, con base en los periodos con estimaciones confiables, se determinó que la lluvia, el vapor de agua y el viento predominante tienen efectos sobre las concentraciones (18).

El artículo científico titulado “El efecto de los topes y jorobas sobre las concentraciones de CO, NO y NO₂ en el aire del ambiente”, cuyo objetivo fue revisar dos tipos de dispositivos para calmar el tráfico (topes de velocidad para calmar el tráfico hechos de asfalto y los topes de velocidad circulares de plástico). Los resultados mostraron un aumento en las concentraciones de NO, NO₂ y CO que se encuentran entre los contaminantes emitidos por los vehículos que se acercan a los topes de velocidad en comparación con las concentraciones de los mismos tipos de contaminantes en los puntos de control; en cuanto a las jorobas trapezoidales, la concentración de monóxido de carbono aumentó en

promedio 2.2 veces y en los topes de velocidad circulares de plástico el CO promedio aumentó en 3.2 veces (19).

El artículo científico que tiene como título “Predicción con un día de anticipación de la concentración máxima de monóxido de carbono en entornos urbanos”, que tuvo como objetivo crear modelos estadísticos para predecir los niveles máximos de CO con un día de anticipación basados en los datos meteorológicos y de contaminantes registrados en seis sitios de monitoreo en el área urbana de Atenas, Grecia. El estudio, que se desarrolló sobre una base estacional (periodo cálido versus frío) y hebdomanal (días laborales versus fines de semana), reveló que la influencia del aire, los niveles de contaminación registrados un día antes sobre las concentraciones máximas del CO del día son bastante variables y dependen del sitio/tipo de estación, la meteorología local y las fuentes de emisión; asimismo, las concentraciones de CO están influenciadas por fuentes de CO tanto locales como de áreas más amplias (20).

El artículo científico titulado “Distribución global y regional de monóxido de carbono de MOPITT: distribución estacional a 700 hPa” tuvo como objetivo analizar la distribución de CO utilizando datos de MOPITT para Asia Oriental y comparar con las distribuciones de ozono. El trabajo reveló que las variaciones estacionales de CO se caracterizan por un pico en primavera y una disminución en verano (los ciclos estacionales de CO están en un máximo en la primavera y un mínimo en verano); además, el promedio mensual de CO mostró un perfil similar al de O₃ (este hecho indicaría que la alta concentración de CO en primavera se deba a una de las siguientes causas: la producción fotoquímica de CO en la tropósfera o el transporte del CO al este de Asia (21).

El artículo científico “Modelos de persistencia de monóxido de carbono basados en redes neuronales artificiales para la gestión episódica de la calidad del aire urbano”, que tuvo como objetivo el desarrollo de modelos de persistencia de monóxido de carbono (CO) basados en redes neuronales artificiales (ANN) (ANNCOP). El estudio desarrolla los modelos durante tres agrupaciones de 8 horas (10 pm – 6 am, 6 am – 2 pm y 2 pm – 10 pm). El resultado indica que la agrupación horaria 2 a 10 pm se ve afectada principalmente por las condiciones de inversión y el flujo de tráfico máximo; asimismo, el modelo correspondiente a esta agrupación (ANNCOP) predice las concentraciones de CO promedio de 8 h dentro del rango de precisión de 68 a 71 %. Finalmente, el estudio demuestra

que el modelo basado en ANN es capaz de describir los fenómenos de persistencia de CO durante el periodo invernal (22).

El artículo científico denominado “Evaluación de la concentración de monóxido de carbono en el aire interior/exterior de la ciudad de Sarayan, provincia de Khorasan de Irán”, que tuvo como objetivo la evaluación de la concentración de monóxido de carbono en el aire interior y exterior de la ciudad de Sarayan, provincia de Khorasan de Irán. Los resultados, sustentados en las pruebas de Mann-Whitney, no mostraron una diferencia significativa de concentración promedio de CO en ambientes interiores y exteriores ($p = 0.69$, $Z = 0.39$) (23).

El artículo científico “Concentraciones de monóxido de carbono en la ciudad de Santiago a nivel de calle y su gradiente vertical”, que tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de monóxido de carbono en la ciudad de Santiago a nivel de calle y su gradiente vertical. En el estudio, se realizaron mediciones a varias alturas (de 1 a 127 m) durante el invierno. Las mediciones realizadas a nivel del suelo muestran valores máximos durante la hora punta de la mañana; asimismo, por debajo de los 40 m, los perfiles no muestran una pendiente vertical constante (con concentraciones de CO que aumenten o disminuyan con la altura), independientemente de la estabilidad atmosférica; a mayores altitudes (40 a 127 m) se observa un gradiente negativo en las concentraciones de CO, tanto para condiciones atmosféricas estables como inestables (24).

El artículo científico “Concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono asociadas a emisiones de tráfico en Santiago de Chile” tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de monóxido de carbono y dióxido de carbono asociadas a emisiones de tráfico en la ciudad de Santiago de Chile; realizó mediciones en un túnel y cerca de calles con abundante tráfico. Los resultados muestran que, en particular, los valores más bajos se encontraron cerca de una calle con mucho tráfico dominada por el transporte público con motor diésel; mientras que los valores más altos se encontraron en el túnel de la ciudad (25).

El artículo científico “Monitoreo, análisis y zonificación espacial y temporal de la contaminación del aire (monóxido de carbono) utilizando datos satelitales Sentinel-5 para la gestión de la salud en Irán, ubicado en el Medio Oriente”, tuvo el objetivo de investigar el monitoreo y análisis espacial y temporal de la contaminación del aire (monóxido de carbono, CO) utilizando datos satelitales y de teledetección en Irán. Según los hallazgos, la mayor cantidad de monóxido

de carbono (CO) se obtuvo en el mes de febrero del 2019 (el periodo de estudio fue de noviembre del 2019 a diciembre de 2019) con un valor de 0.37mol/m^2 y en abril de 2019 con un valor de 0.39mol/m^2 , la menor cantidad de CO en octubre y diciembre del 2019 con 0.21mol/m^2 y 0.19mol/m^2 respectivamente; la mayor cantidad de contaminación por CO se obtuvo para los meses más fríos del año (26).

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

En el artículo científico titulado "Desarrollo de un modelo dinámico para determinar la incidencia de los factores contaminantes del aire en la población de Lima Metropolitana", cuyo objetivo fue analizar las relaciones de la contaminación y sus efectos en la población. Presenta como resultado la simulación de un modelo dinámico para un periodo de 10 años. El estudio aporta una metodología de relación causa-efecto planteando un modelo dinámico de manera que usando un programa de simulación computarizada podamos conocer su comportamiento en el futuro (27).

El artículo científico "Caracterización de regiones espacialmente homogéneas de monóxido de carbono en Lima Metropolitana mediante el algoritmo de clustering k-means" tuvo como objetivo caracterizar regiones espacialmente homogéneas basadas en patrones temporales de monóxido de carbono en el Área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC). El estudio hace uso del algoritmo clustering k-means, utilizando concentraciones horarias medias de CO. Los resultados evidencian tres (03) grupos de espacios con patrones temporales distintos que se caracterizaron como zonas espacialmente homogéneas en el AMLC (28).

La tesis titulada "Distribución espacial y temporal del espesor óptico de los aerosoles y del monóxido de carbono en el Perú relacionado con las quemadas de biomasa (2002-2014)", que tuvo como objetivo analizar la distribución espacial y temporal de las medias mensuales del monóxido de carbono CO y del espesor óptico de los aerosoles, relacionados con la quema de biomasa en la selva. El estudio hace uso de las medias mensuales de los datos registrados entre el 2002 y el 2014 registrados por los sensores MODIS y AIRS (a bordo del satélite TERRA y AQUA, respectivamente). Los resultados sugieren que la presencia de monóxido de carbono y la espesura de los aerosoles aumentan en la estación

seca (julio-octubre). La concentración de CO y aerosoles experimentan cambios debido a la acción (dirección) de los vientos de este a oeste; asimismo, se observa que las concentraciones se encuentran fuertemente influenciadas por el incendio de biomasa (29).

El artículo científico titulado “Variación temporal de la concentración de monóxido de carbono usando datos del sensor MOPITT en las regiones costa, sierra y selva del Perú” tuvo como objetivo analizar la variabilidad temporal de la concentración del monóxido de carbono (CO) en las regiones selva (Puerto Maldonado), sierra (Huancayo, Junín) y costa (Chilca, Lima) para el periodo 2002-2012. El estudio hizo uso de imágenes satelitales originadas por el sensor MOPITT. Los resultados evidencian una tendencia estacional en la concentración de monóxido de carbono (con un incremento de agosto a octubre sobre las tres ciudades); de otro lado, se evidenció una mayor concentración de CO en la zona de Puerto Maldonado (selva) y una menor concentración en Huancayo (sierra) (30).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. ESTRUCTURA DE LA ATMÓSFERA

Las particularidades de la atmósfera no son uniformes. Cambian no solo con la altura, sino también con la estación del año, actividad solar, latitud, etc. Asimismo, las propiedades tales como la temperatura y presión varían con la altura de una forma particular (figura 3). Esas variaciones se explican, en parte, si se divide la atmósfera en capas tal como se describe en la tabla 2.

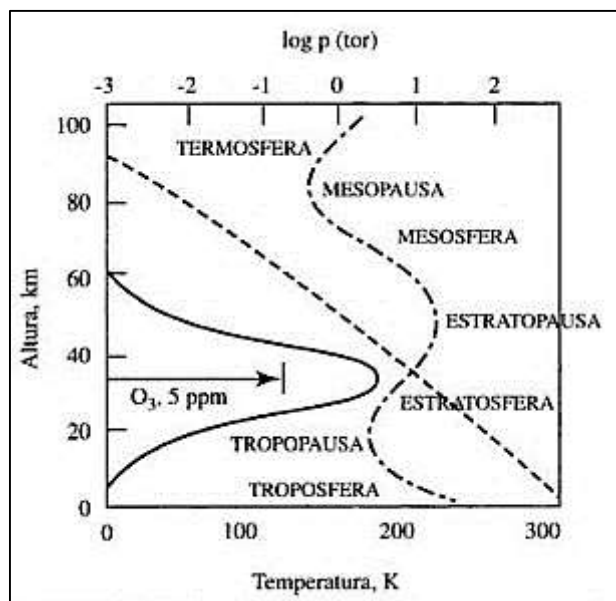
Tabla 2: Descripción de la atmósfera terrestre.

Capa atmosférica	Altura	Característica
Troposfera	*De unos 15 km de espesor	La temperatura se reduce con la altura, con una gradiente medio de 6.4°C/km
Tropopausa		Punto en el que se sucede un cambio en el perfil de temperatura
Estratosfera	Desde los 15 km a los 50 km	La temperatura se incrementa pausadamente al inicio, posteriormente con mayor pendiente
Estratopausa		Punto en el que se sucede un segundo cambio en el perfil de temperatura
Mesosfera	Desde los 50 km hasta los 80 km	Con una variación de temperatura desde 0°C de la estratopausa hasta los - 80 °C de la mesopausa
Mesopausa		Punto en el que se sucede un tercer cambio en el perfil de temperatura
Termosfera	Desde los 80 km hasta los 200 km	A alturas por encima de los 150 km la cantidad de moléculas por unidad de volumen es tan infinita que el concepto de temperatura apenas tiene significado.

*los espesores de las capas varían acorde a las latitudes y estaciones del año

Fuente (31)

Figura 3: Variación de la temperatura y presión, en relación a la altura



Fuente (31)

2.2.1.1. La tropósfera

El decremento de la temperatura a medida que se asciende en la troposfera se fundamenta en que el aire cerca de la superficie terrestre se calienta debido a la radiación solar visible y UV cercana que, adsorbida por la Tierra, es emitida en forma de radiación térmica. Asimismo, hay un escenario de vigorosa mezcla vertical. Las

precipitaciones ocurren en esta región, por lo que la desaparición de contaminantes por arrastre puede ser un importante proceso (31) .

2.2.1.2. La estratósfera

En esta zona es donde se encuentran las concentraciones máximas de ozono (O_3), “capa de ozono”, la cual cumple la función de absorber parte de la radiación infrarroja y ultravioleta del Sol (32). En esta región, a diferencia de lo que ocurre en la troposfera, la temperatura y la altitud tienen una relación directa (a medida que ascendemos en la estratosfera, la temperatura aumenta); este escenario particular impide el ascenso de las masas más densas, más frías, por encima de las calientes; en consecuencia, se genera una capa de inversión en la cual no se generan movimientos convectivos verticales sino tan solo desplazamientos horizontales. (33).

2.2.1.3. La mesósfera

En esta parte de la atmósfera, las temperaturas, nuevamente, disminuyen a medida que nos alejamos de la superficie y suceden movimientos convectivos verticales (mezclado vertical) (31). Es una región ventosa y turbulenta (34).

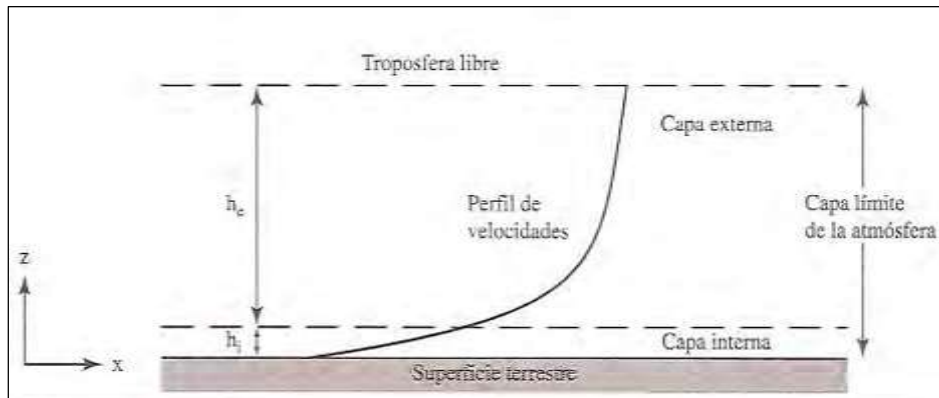
2.2.1.4. La termósfera

En la termósfera la temperatura aumenta por adsorción de radiación con longitud de onda menor a 200 nm por parte de las moléculas de oxígeno y nitrógeno y otras especies (31). Los gases se encuentran ionizados y presentan una muy baja densidad (32).

En lo que respecta a la contaminación atmosférica, gran parte de contaminantes están localizados en los primeros metros de la troposfera; zona en la que las fuerzas de fricción debidas a la superficie terrestre y su perfil de temperatura tienen un rol importante en los procesos de mezcla y dispersión de contaminantes. Es así que, teniendo en cuenta este escenario, en la estratosfera, se pueden identificar dos subcapas: La capa atmosférica (hasta

aproximadamente 1 km de la superficie) y el resto (troposfera libre), tal como se muestra en la figura 4 (31).

Figura 4: Representación esquemática de la capa límite atmosférica (CLA)



Fuente: (31)

2.2.1.5. Capa límite atmosférica

En esta zona, los vientos están influenciados por las fuerzas de rozamiento con la superficie que transcurre por difusión turbulenta (31). En esta capa, se mezclan las partículas moleculares, los aerosoles, la contaminación y el vapor de agua (35). El flujo es íntegramente turbulento; es así que en ella se registran típicamente alteraciones bruscas de la presión, velocidad del viento, la humedad y la temperatura del aire; el efecto de la fricción superficial, la evaporación y el calentamiento del suelo se transmiten a toda la CLA de forma eficiente y rápida a raíz del mecanismo de mezcla turbulenta (36).

2.2.2. COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA

Los componentes principales de la atmósfera están regulados por los ciclos de formación-descomposición que conllevan a concentraciones estacionarias, particularmente en las cercanías a la superficie terrestre (31). La tabla 2 muestra una composición media típica del aire seco a nivel del mar.

Tabla 3: Composición del aire seco a nivel del mar.

Componentes	% Volumen	Componente	% en volumen
N ₂	78.085	Kr	0.00011
O ₂	20.946	H ₂	0.000058
Ar	0.934	N ₂ O	0.000031
CO ₂	0.0314	CO	0.00001
Ne	0.00182	Xe	8.7x10 ⁻⁶
He	0.000524	O ₃	(1-50)x10 ⁻⁶
CH ₄	0.00015	NH ₃	(0.001-1)x10 ⁻⁷

Fuente (31)

2.2.3. MOVIMIENTOS DEL AIRE

2.2.3.1. Humedad atmosférica

La proporción de agua (H₂O) en la troposfera es cambiante: depende de lo que se conoce como el grado de humedad de aire. La humedad absoluta del aire se define como la cantidad de agua (H₂O) por unidad de volumen aire (g m⁻³); depende de la temperatura, por lo tanto, la humedad absoluta cambia mucho de unos puntos a otros de la atmosfera y no resulta ser una magnitud útil meteorológicamente. Por otro lado, la humedad relativa (El cociente entre la presión parcial del agua y la presión de saturación a la temperatura considerada) (31)

$$Hr = \frac{P_v}{P_s} \times 100$$

Hr: Humedad relativa

Pv: Presión parcial

Ps: Presión de saturación

Los efectos meteorológicos y biológicos causados por el vapor de agua dependen de la humedad relativa(31).

2.2.3.2. Vientos

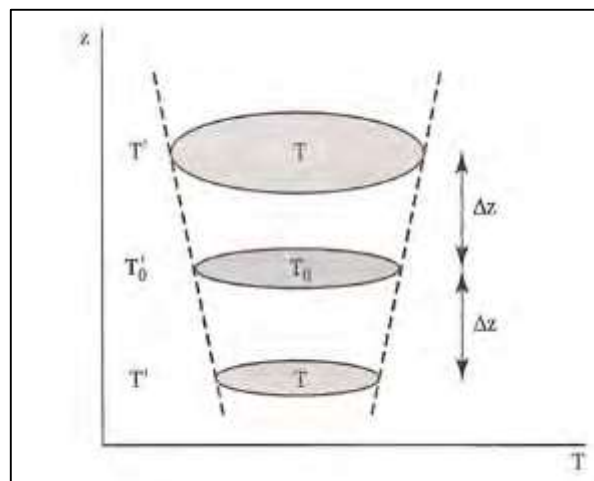
El viento consiste en el desplazamiento de aire de una zona hasta otra (32). El movimiento del aire en la atmosfera es debido a una serie de fuerzas: Gradiente de presión, la gravitación, la fricción y la fuerza de Coriolis (34). Una de las particularidades de la capa baja de la atmosfera (troposfera) es que está constituida por masas de aire, con presiones, composición y temperatura diferentes. Los

desplazamientos de aire son los llamados vientos y los desplazamientos de aire verticales reciben el nombre de corrientes de aire (31).

2.2.3.3. Corrientes de aire - Termodinámica de la atmósfera

Es un escenario en el que una masa de aire seco asciende en el perfil atmosférico y va alcanzando cotas de menor presión, en el proceso se expande (expansión adiabática) hasta igualar la presión de la atmosfera circundante con el consecuente enfriamiento de la masa de aire (31).

Figura 5: Diagrama de temperaturas-altitud de una masa de aire para ilustrar estabilidad e inestabilidad vertical.

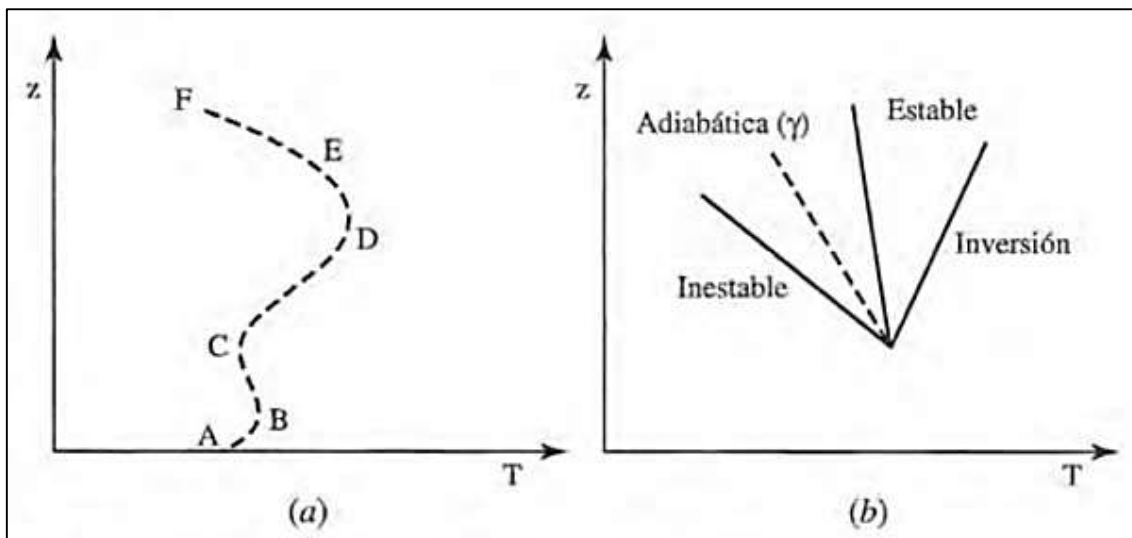


Fuente (31)

2.2.4. ESTABILIDAD VERTICAL

Aquellas condiciones atmosféricas que no favorecen el desarrollo de corrientes verticales es lo que configura una atmósfera estable; la estabilidad atmosférica se deduce del cotejo entre el gradiente vertical (α) y el gradiente adiabático del aire (γ). Cuando $\alpha < \gamma$ la estratificación atmosférica es estable; mientras que cuando $\alpha > \gamma$ la estratificación atmosférica es inestable (el aire que sube se encuentra rodeado de aire más frío, más denso, por lo que continúa ascendiendo desarrollando corrientes verticales violentas) (31).

Figura 6: Estado de diversos gradientes verticales

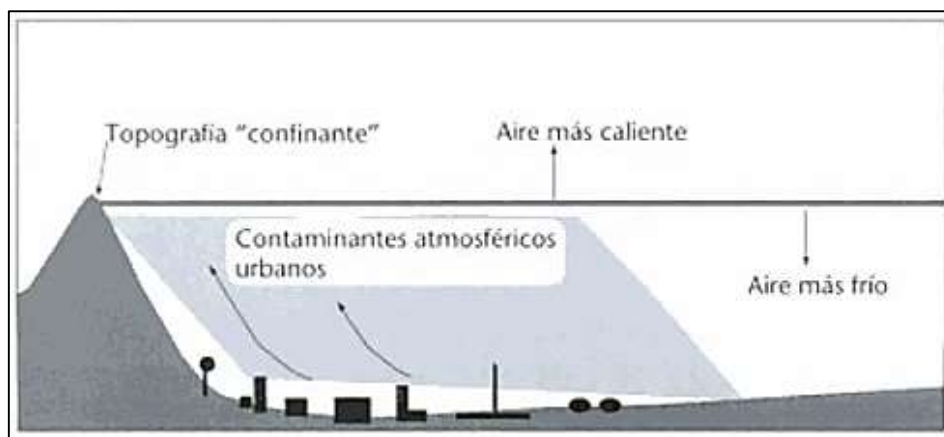


Fuente: (31)

2.2.4.1. Inversiones

En un escenario de condiciones atmosféricas normales, la temperatura del aire adyacente a la superficie decrece con la elevación superficial. Condiciones atmosféricas que generen un ambiente en el que la temperatura aumenta con la altitud, en el que existe una estabilidad atmosférica, es conocida como inversión térmica (37).

Figura 7: Ilustración de los contaminantes atrapados a causa de una inversión térmica.



Fuente (37)

En ciudades costeras, el aire frío procedente del mar puede empujar la capa de aire caliente hacia abajo y crear una situación en la que una capa de aire caliente queda retenida entre dos capas de aire frío; este escenario distorsiona la circulación normal del aire, ocasiona también que el smog se acumule y la presencia de contaminantes continúe incrementándose (38).

Figura 8: Condiciones normales del aire en la superficie terrestre.



Fuente (38)

Figura 9: Ocurrencia de una inversión térmica en zona de valle.



Fuente (38)

Figura 10: Ocurrencia de una inversión térmica en zona costera.



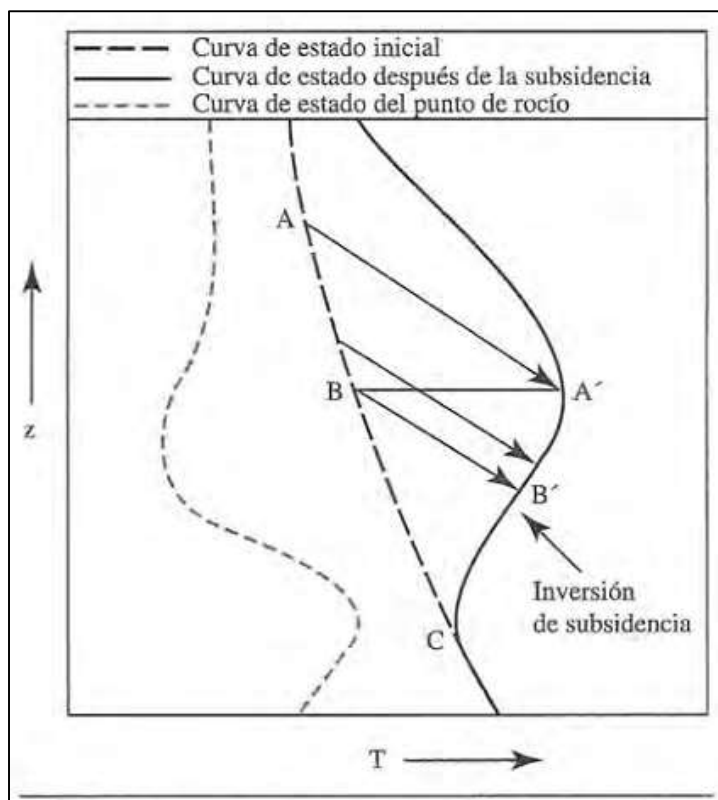
Fuente (38)

a. Inversión de subsidencia

Se forma en las cercanías de áreas de altas presiones (regiones donde la presión atmosférica es máxima, es decir, anticiclones). El aire frío de las zonas altas inicia a bajar para ocupar el lugar del aire superficial que tiende a moverse a las zonas de baja presión. El aire que va bajando aumenta su densidad (debido al aumento de presión) calentándose y, consecuentemente, atrapando en su parte inferior aire más frío, a la vez que se va esparciendo horizontalmente (31).

De manera general, el clima en la mayor parte de la costa peruana es de fresco a módicamente caliente, húmedo y con una cubierta de nubes bajas durante la mayor parte del año; lo anterior se debe, principalmente, al efecto de la subsidencia atmosférica y la baja temperatura superficial del mar (39).

Figura 11: Efecto de la subsidencia en la curva de estado de la temperatura.



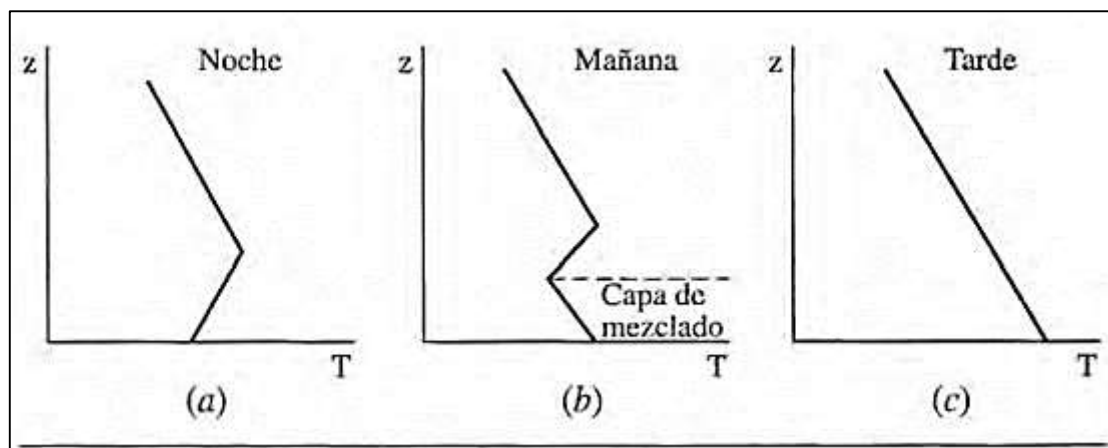
Fuente: (31)

La figura 11 muestra el cambio de estado del perfil de la temperatura a causa de un escenario de subsidencia. El aire del punto "A" va descendiendo y va calentando (a razón de $1^{\circ}\text{C}/\text{hectómetro}$), al cabo de un tiempo llega al punto "A'" (mucho más caliente que B).

b. Inversión por irradiación

En las horas de una noche clara, la superficie terrestre rápidamente se enfría, irradiando su calor a la atmósfera y enfriando más el aire junto a la superficie que el ubicado a alturas mayores.

Figura 12: Esquema ilustrativo de la inversión térmica por irradiación.



Fuente: (31)

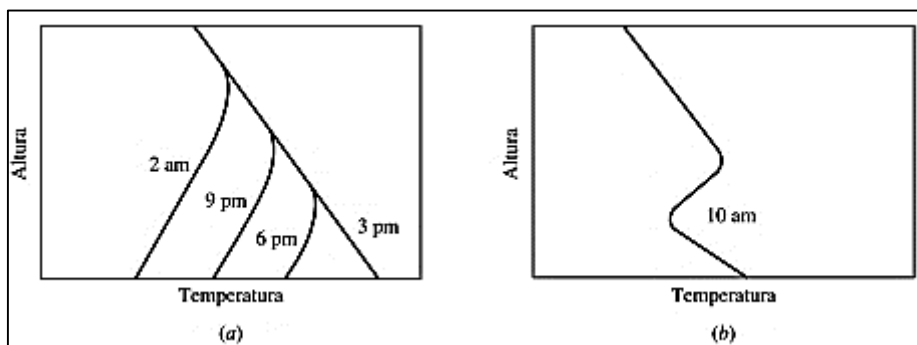
La figura 12 muestra tres escenarios, en la figura 12-a se produce una situación de inversión por irradiación, en la figura 12-b la superficie terrestre y el aire cercano a ella es calentada por la radiación solar y en la figura 12-c se muestra que a medida que (durante el día) el aire se sigue calentando es posible que la inversión térmica se disipe.

La superficie de la Tierra se enfría por la noche irradiando energía al espacio. En una noche nublada, la radiación de la Tierra tiende a ser adsorbida por el vapor de agua, que a su vez irradia una cierta cantidad de esa energía de regreso a la Tierra. En una noche clara, sin embargo, la superficie irradia más fácilmente energía hacia el espacio, y el enfriamiento ocurre bastante más rápido. Como la Tierra se enfría, la temperatura del aire en contacto con la Tierra también desciende. Este es el caso más corriente en las noches claras de invierno, la temperatura de este aire justo encima de la Tierra se vuelve más frío que el aire por encima de ella, creando una inversión (70).

Las inversiones por radiación comienzan a formarse durante el crepúsculo. A medida que la tarde progresa, la inversión se va extendiendo cada vez más hasta alcanzar cierta elevación, llegando quizá a varios centenares de metros antes de que el sol de la mañana caliente otra vez, rompiendo la inversión (70).

Las inversiones por radiación ocurren cerca de la Tierra, en su mayor parte durante el invierno, y solo durante unas cuantas horas. A menudo comienzan cuando empieza el tráfico al inicio de la tarde, lo que conlleva la absorción automática de las expulsiones de los tubos de escape a ras de tierra y causa elevadas concentraciones de contaminación para los viajeros. (70)

Figura 13: Desarrollo de una inversión por radiación (a) y la subsiguiente erosión de la inversión (b).



Fuente: (70)

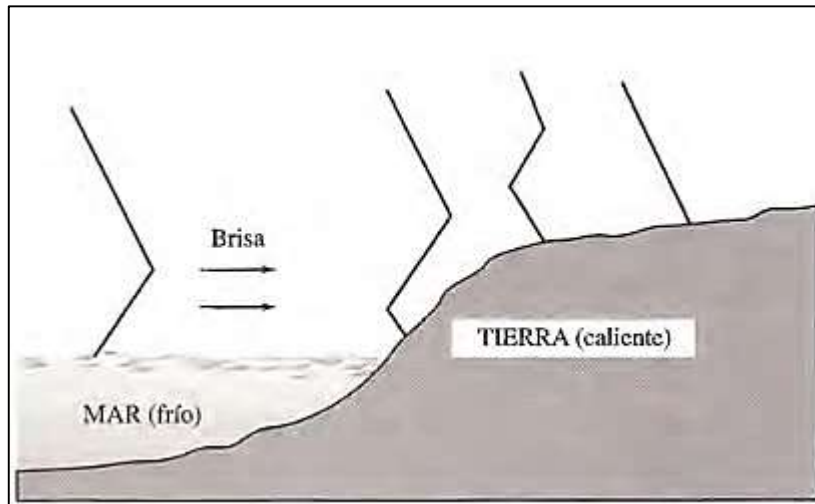
Sin la luz del Sol, las reacciones fotoquímicas no tienen lugar, así que el problema más grande es habitualmente la acumulación de monóxido de carbono (CO). Por la mañana, como el Sol calienta la Tierra y la inversión comienza a producirse, los contaminantes que han estado atrapados en la masa de aire estable son repentinamente traídos de vuelta a la tierra en un proceso conocido como fumigación. La fumigación puede causar altas concentraciones de contaminación de breve duración, a ras de tierra (70).

c. Inversión marina

De más probable ocurrencia en verano. El aire húmedo y fresco ubicado sobre el mar puede deslizarse bajo el aire cálido de la superficie terrestre. En áreas costeras la contaminación es dispersada por las brisas marinas; sin embargo, en áreas

terrestres cercanas a la orilla del mar, cuando el movimiento del aire es lento, puede producirse una inversión.

Figura 14: Ilustración de un escenario de inversión marina



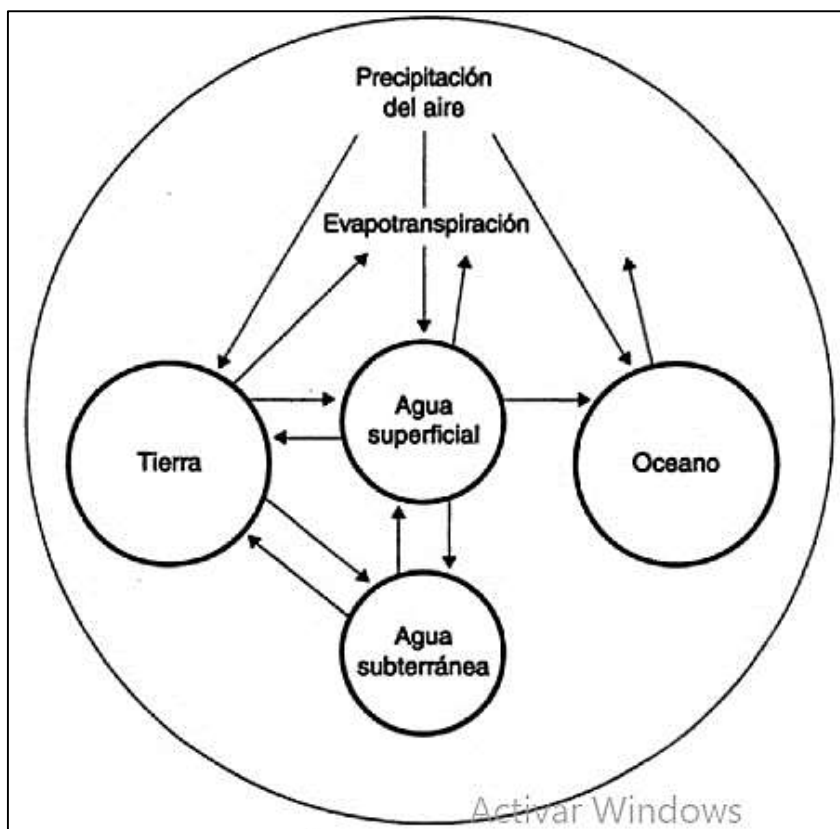
Fuente: (31)

2.2.5. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La contaminación es un cambio indeseable en las particularidades químicas, físicas o biológicas del aire que puede afectar negativamente a la salud, las actividades o la pervivencia de los organismos vivos (34). El término contaminación atmosférica hace referencia a cuando los efectos de los agentes contaminantes tienen un carácter local o regional (sobre una extensión más o menos extensa de la Tierra) (40).

Los contaminantes, en general, no están confinados a un medio ambiental (agua, aire o suelo), sino que existen interacciones entre ellos, tal como lo retrata la figura 15.

Figura 15: Interacciones de un contaminante.



Fuente: (34)

2.2.5.1. Contaminantes primarios y secundarios

Los contaminantes primarios son sustancias vertidas directamente a la atmosfera desde las fuentes de emisión (vehículos, industria, naturales, otras), su composición y naturaleza es ampliamente heterogénea; sin embargo, pueden agruparse por su estado físico (partículas sólidas, líquidas y o sustancias gaseosas), o porque tengan un elemento químico en común (óxidos de azufre, fluorocarbonados, etc) (31).

2.2.5.2. Criterios de calidad del aire

Los llamados estándares de calidad ambiental (ECA) establecen los niveles de concentración, de los elementos, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire (en su condición de cuerpo receptor) por debajo de los cuales no representaría riesgo significativo

para la salud del ambiente (41). En el Perú, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) está regulado por el Decreto Supremo N°003-2017-MINAM. La tabla 4 muestra el estándar de calidad ambiental para el monóxido de carbono para 1 hora y 8 horas.

Tabla 4: Estándar de Calidad Ambiental - ECA, para el monóxido de carbono (CO)

Parámetro	Periodo	Valor $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Criterio de evaluación	Método de análisis
CO	1 hora	30000	NE más de una vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	

Fuente: (41).

Asimismo, para medir la calidad del aire se cuenta con el Índice de Calidad Ambiental (INCA), establecido por el Ministerio del Ambiente peruano el 16 de julio del 2016.

El INCA, aprobado por Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM, da a conocer el estado de la calidad del aire, califica el estado del aire de una determinada zona y presenta información en colores y números; para el cálculo de este indicador, se toma de referencia el estándar de calidad ambiental ECA (42).

El INCA contempla valores comprendidos entre 0 y 100, dividida en cuatro categorías (buena, moderada, mala y VUEC), como se observa en la tabla 5 (42).

Tabla 5: Valores del Índice de Calidad Ambiental - INCA

Categoría	INCA	Color
Buena	0-50	Verde
Moderada	51-100	Amarillo
Mala	101-VUEC*	Anaranjado
VUEC*	>VUEC*	Rojo

VUEC*: Valor umbral del estado de cuidado

Fuente: (42)

Según la calificación del INCA, la población deberá tener en cuenta los cuidados y recomendaciones que se indican en la tabla 6.

Tabla 6: Cuidados y recomendaciones del INCA

Calificación	Cuidados	Recomendaciones
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA. Puede realizar actividades al aire libre.
Moderada	La población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podrá experimentar algunos problemas de salud	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población sensible
Mala	La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en general podría sentirse afectada.	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre
Umbral de cuidado	La concentración del contaminante puede causar efectos en la salud de cualquier persona y efectos serios en la población sensible, tales como niños, ancianos, madres gestantes, personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y cardiovasculares.	Reportar a la Autoridad de Salud para que declare los niveles de estados de alerta de acuerdo al Decreto Supremo N°009-2003-SA y su modificatoria Decreto Supremo N°012-2005-SA

Fuente: (42)

Cálculo del INCA para CO

Tabla 7: Cálculo del Índice de Calidad del Aire para el CO

Monóxido de carbono (CO) promedio 8 horas		
Intervalo INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0 – 50	0 - 5049	$I_{\text{CO}} = [\text{CO}] * 100 / 10000$
51 – 100	5050 - 10049	
101 – 150	10050 – 15049	
>150	>15050	

Fuente: (42)

2.2.5.3. Formación del monóxido de carbono

El monóxido de carbono es un gas o líquido casi inodoro, incoloro, soluble en alcohol, en agua y benceno, muy inflamable y muy tóxico por inhalación (5). Este compuesto es de los más peligrosos por su especial capacidad para combinarse con la hemoglobina y causa asfixia química que ocasiona reducción del oxígeno en el corazón y en el cerebro (71).

Una de las principales fuentes de emisión del monóxido de carbono, alrededor del 70%, son los automóviles con motores de combustión interna; asimismo, también son fuentes importantes de CO las estufas,

calderas, calentadores de agua, las chimeneas y los aparatos domésticos de quema de combustible (5).

Su mayor concentración se encuentra en áreas con gran cantidad de tráfico y especialmente en los meses de invierno. Los límites máximos de concentración establecidos por la EPA establecen 35ppm en promedio en una hora y 9ppm para un tiempo mayor a 8 horas (71).

Figura 16: Factores de emisión de monóxido de carbono.

Tipo de vehículo	Subcategoría	velocidad (km h ⁻¹)	Función / factor de emisión	
Pre-ECE	Todas	10 – 100	281V ^{0.630}	
		100 – 130	0.112V+4.32	
ECE 15/00 y 01	Todas	10 – 50	313V ^{0.705}	
		50 – 130	27.22-0.406V+0.0032V ²	
ECE 15/02	Todas	10 – 60	300V ^{0.797}	
		60 – 130	26.26-0.440V+0.0026V ²	
ECE 15/03	Todas	10 – 19.3	161.36-45.62ln(V)	
		19.3 – 130	37.92-0.680V+0.00377V ²	
ECE 15/04	Todas	10 – 60	260.788V ^{-0.916}	
		60 – 130	14.653-0.22V+0.00116386V ²	
Sin catalizador	1.4 - 2.0 l	< 1.4 l	14.577-0.294V+0.002478V ²	
		1.4 - 2.0 l	8.273-0.1511V+0.000957V ²	
Catalizador de oxidación	1.4 - 2.0 l	< 1.4 l	17.882-0.377V+0.002825V ²	
		1.4 - 2.0 l	9.446-0.23012V+0.002029V ²	
Catalizador de tres vías	> 2.0 l	< 1.4 l	2.913-0.085V+0.000873V ²	
		> 2.0 l	9.846-0.2867V+0.0022V ²	
Euro I (91/441/EEC)	1.4 - 2.0 l	5 – 130	9.617-0.245V+0.0017285V ²	
		5 – 130	12.826-0.2955V+0.00177V ²	
		5 – 130	68 % del correspondiente Euro I	
Euro II (94/12/EC)	1.4 - 2.0 l	5 – 130	68 % del correspondiente Euro I	
		5 – 130	68 % del correspondiente Euro I	
		5 – 130	68 % del correspondiente Euro I	
Turismos diesel	Todas	10 – 130	5.41301V ^{-0.574}	
Camiones gasolina > 3.5 t		Urbano	70 g km ⁻¹	
		Autopista	55 g km ⁻¹	
		Carretera	55 g km ⁻¹	
Camiones ligeros a diesel < 3.5t		10 - 110	20E-05V ² -0.0256V+1.8281	
Camiones pesados 3.5 -7.5 t		0 - 100	37.280V ^{-0.6915}	
Camiones pesados entre 7.5 -16 t		0 - 100	37.280V ^{-0.6915}	
Camiones pesados > 16 t		0 - 100	37.280V ^{-0.6915}	
Motocicletas		< 50 cc	15 g km ⁻¹	
		> 50 cc 2t	10 – 60	-0.001V ² +0.1720V+18.1
		> 50 cc 2t	60 – 110	0.0001V ² +0.05V+21.5
		> 50 cc 4t	10 – 60	0.01930V ² -1.92V+68.3
		> 50 cc 4t	60 – 110	0.0017V ² +0.121V+9.5

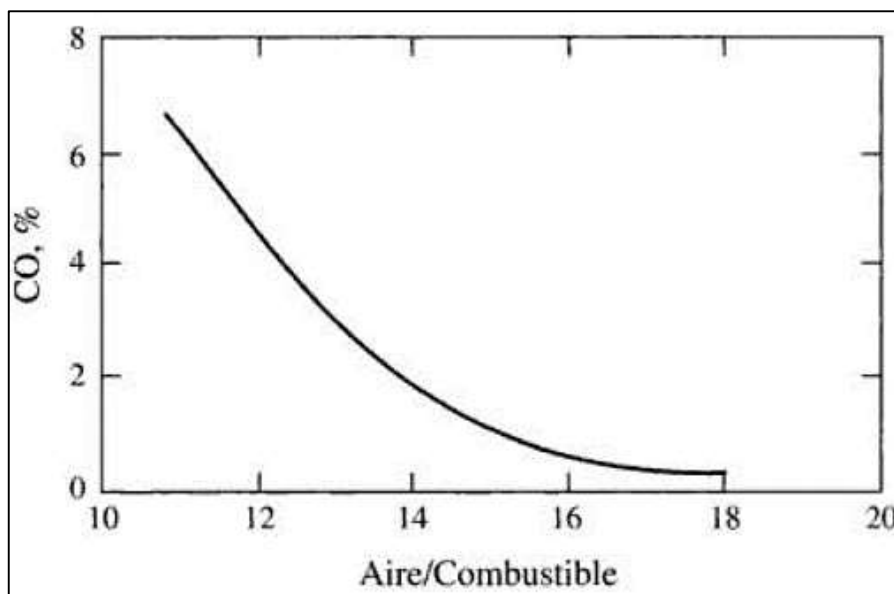
Fuente: (5)

El monóxido de carbono (CO) es uno de los gases traza importantes, debido a su concentración en la troposfera, influye directamente en las concentraciones de hidroxilo troposféricos (21).

Los procesos de formación del monóxido de carbono, y su posterior presencia en la atmosfera, es el resultado de los procesos de combustión incompleta del carbón o de compuestos de carbono, reacciones entre CO_2 y otros compuestos que poseen C (a altas temperaturas) y la disociación del CO_2 (31).

El CO, que es un producto intermedio en el proceso de formación del CO_2 , se genera cuando el oxígeno es insuficiente para completar la formación del dióxido de carbono; asimismo, el CO se forma cuando la relación aire/combustible es inadecuada (31), así como lo muestra la figura 17.

Figura 17: Relación entre la generación de CO y la proporción aire/combustible en motores de combustión interna



Fuente: (31)

En algunas condiciones, el monóxido de carbono en el aire puede provenir de la disociación del CO_2 , el equilibrio de este tipo de reacción química es endotérmica (31).

Los niveles de monóxido de carbono en las ciudades muestran una correlación positiva con la densidad del tráfico vehicular y una negativa con la velocidad del viento (43).

Debido a la lluvia y al contenido de vapor de agua atmosférico, la oxidación química y la deposición húmeda de moléculas de CO son más altas durante la estación húmeda que durante la estación seca. En consecuencia, las concentraciones son menores durante la estación húmeda que durante la estación seca (18).

Las 4 estaciones de monitoreo localizadas en Lima Este están ubicadas en zonas donde existen fuentes móviles de monóxido de carbono y fuentes de área; es así que al norte (100m) de la estación de monitoreo Ate (referencia: Plaza de Armas de Ate) se encuentra la carretera central, una vía nacional con un alto flujo vehicular, asimismo, en las inmediaciones se localizan fuentes de área de monóxido de carbono (locales comerciales: pollerías).

De forma similar, las fuentes de monóxido de carbono en las inmediaciones de la estación de monitoreo Santa Anita (referencia: Municipalidad de Santa Anita) la constituyen fuentes móviles, toda vez que al norte (20 m) se encuentra la Avenida Santiago de Chuco, al sur de la estación (50m) se encuentra la Avenida Los Eucaliptos (Avenida con alto flujo vehicular). Asimismo, en la zona se encuentran fuentes de área de CO (locales comerciales: pollerías).

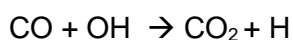
Por otro lado, las fuentes de monóxido de carbono en las cercanías de la estación de monitoreo Lurigancho (referencia: Municipalidad de Santa María de Huachipa) la constituyen fuentes móviles (principalmente vehículos que transitan por la autopista Ramiro Priale, ubicada al sur de la estación de monitoreo) y fuentes de área (locales comerciales: pollerías, restaurantes, centros campestres).

Finalmente, las fuentes de monóxido de carbono cercanas a la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho (referencia: Universidad César Vallejo, sede SJL) la constituyen fuentes móviles y de área, toda vez que por las cercanías de la estación circulan motocicletas y vehículos, y existen comercios pequeños (pollerías).

2.2.5.4. Dispersión del CO atmosférico

El CO es un producto de oxidación intermedio de la oxidación de los compuestos carbonados y, obviamente, en la atmósfera prosigue su oxidación hasta CO₂ (31).

El monóxido de carbono se elimina de la atmósfera por reacción química con el radical hidroxilo (OH) (43). Las concentraciones de CO muestran una variación periódica estacional asociada a la actividad vegetativa de las plantas y al transporte y destrucción por el OH del CO (31).

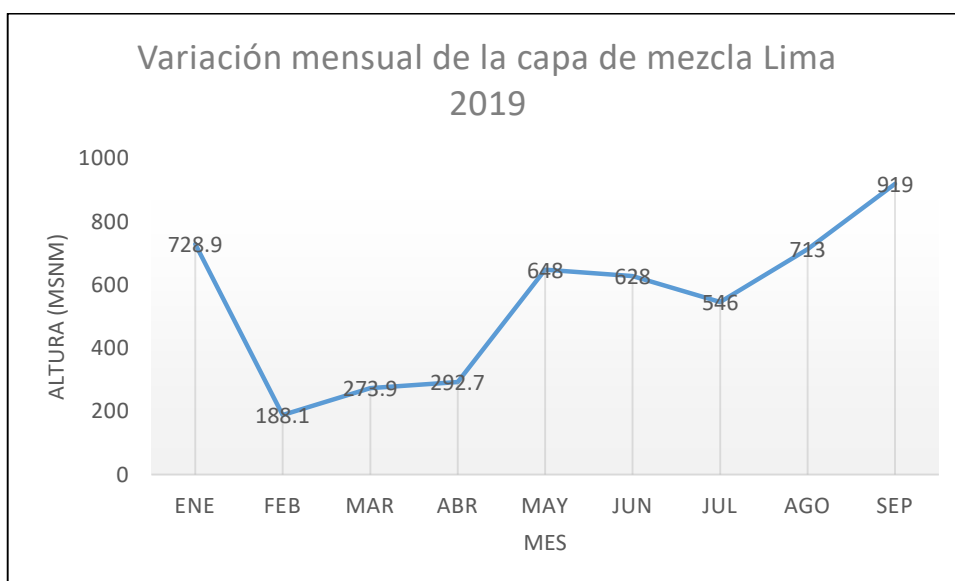


Un aumento del 30% del OH se ve reflejado en una disminución en CO entre el 4 y 23% según el régimen de advección local (31).

En una escala local, la dispersión de los contaminantes primarios depende principalmente de la clase de estabilidad atmosférica, los parámetros meteorológicos y la altura de la capa de mezcla (5).

La capa de mezcla no tiene una altura definida, suele ser muy variable. La figura 18 muestra, por ejemplo, la capa de mezcla para el 2019 en los meses de enero a septiembre.

Figura 18: Variación mensual de la capa de mezcla - 2019



Fuente: (44)

2.2.5.5. Procesos de deposición

Los contaminantes atmosféricos pueden llegar a la superficie terrestre de dos maneras: deposición seca y deposición húmeda, según la fase en la que se encuentren al incidir sobre la superficie. Los contaminantes en general (incluidos los aerosoles) pueden estar dentro de las gotas de nubes, niebla, lluvia, nieve y cuando estos meteoros impactan sobre el suelo, edificios, césped, vías públicas, lagos, etc. la deposición del contaminante es húmeda (31).

Los contaminantes en fase gas pueden llegar al suelo debido a la turbulencia atmosférica y/o acción de la gravedad y ser adsorbidos o absorbidos por los diversos compartimentos sobre los que inciden, sin haberse disuelto (se tiene la deposición seca) (31).

Figura 19: Velocidades de deposición seca de algunos contaminantes (cm/s).

Contaminante	Continentes	Océanos	Nieve/hielo
O ₃	0,4	0,07	0,07
SO ₂	0,7	0,5	0,5
CO	0,03		
NO	0,016	0,003	0,002
NO ₂	0,1	0,02	0,01
HCl		0,8	
HNO ₃	4	1	0,5
H ₂ O ₂	0,5	1	0,32
PAN	0,3		

Fuente: 31

2.2.6. MARCO LEGAL

2.2.6.1. Constitución política del Perú

La Constitución Política del Perú en su artículo 2° inciso 22 indica lo siguiente:

“Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un **ambiente** equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida” (51).

2.2.6.2. Ley general del ambiente: Ley N° 28611

Artículo I.- Del derecho y del deber fundamental

Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado, y adecuado para el pleno desarrollo de su vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país (51).

2.2.6.3. Decreto Supremo N°003-2017-MINAM

El Estándar de Calidad Ambiental – ECA, es la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire (...) en su condición de cuerpo receptor que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (52).

2.2.6.4. Decreto Supremo N°010-2019-MINAM

Decreto supremo que aprueba el protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire; establece los métodos de monitoreo de la calidad del aire, criterios para la selección de los métodos de medición, selección del método de medición (52).

2.2.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

2.2.7.1. Técnicas utilizadas en la investigación

El estándar de calidad ambiental para aire establece que el método válido de análisis para el monóxido de carbono es el Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (41).

El presente trabajo de investigación consideró, para los análisis respectivos, los datos de la calidad del aire (CO) y parámetros

meteorológicos (temperatura, velocidad y dirección del viento) registrados durante el año 2019 por los equipos de monitoreo ambiental del SENAMHI ubicados en Lima Este; estas son descritas en la tabla 8.

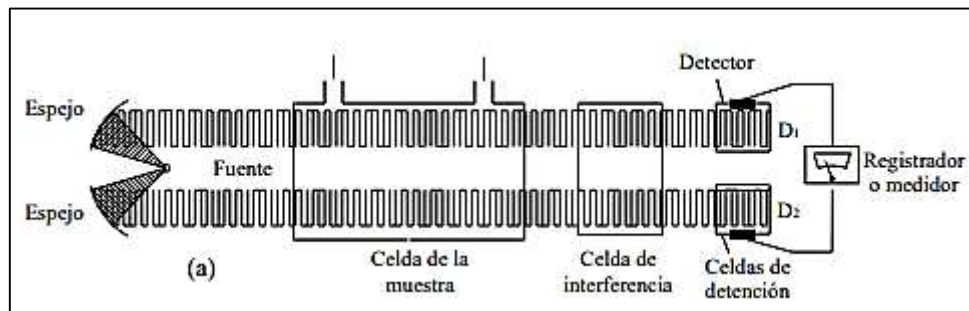
Tabla 8: Instrumentos de medición del monóxido de carbono (CO) en zonas ubicadas en Lima Este.

Estación	Parámetro	Equipo	Método	Técnica	Marca
Ate	Monóxido de carbono	Analizador T300	Automático	Infrarrojo No Dispersivo	TELEDYNE
Santa Anita	Monóxido de carbono	Analizador T300	Automático	Infrarrojo No Dispersivo	TELEDYNE
Lurigancho	Monóxido de carbono	Analizador T300	Automático	Infrarrojo No Dispersivo	TELEDYNE
San Juan de Lurigancho	Monóxido de carbono	Analizador T300	Automático	Infrarrojo No Dispersivo	TELEDYNE

Fuente: (47)

La técnica de análisis infrarrojo no dispersivo consiste en que un gas es difundido en una cámara y la concentración del gas se determina por absorción de una determinada longitud de onda en el infrarrojo (53), como muestra la figura 20.

Figura 20: Diagrama de la técnica Infrarrojo no dispersivo.



Fuente: (53)

La técnica consiste en que una luz infrarroja es emitida desde un extremo de la cámara, cruza la cámara (excepto aquella luz infrarroja absorbida por el gas de interés contenida en la cámara) hasta llegar al detector (ubicado en el otro extremo de la cámara).

La concentración de gas es directamente proporcional a la energía absorbida y es determinada por la ley de Lambert-Beer

a. Método de monitoreo automático para gases ambientales

El equipo succiona un volumen de aire (muestra), el cual ingresa a una cámara de medición donde se le aplican las metodologías ópticas para la cuantificación de analito (54).

Los equipos de monitoreo de monóxido de carbono TELEDYNE T300, cuantifica rangos bajos de CO comparando la energía infrarroja absorbida por una muestra con la energía infrarroja absorbida por un gas de referencia en concordancia con la ley de Lambert- Beer (55).

Tabla 9: Instrumentos de medición de parámetros meteorológicos en zonas ubicadas en Lima Este.

Estación	Parámetro	Frecuencia	Altura de medición (m)	Técnica de medición	Marca
Ate	Temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa y precipitación	Horario	1	Automático	VAISALA
Santa Anita	Temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa y precipitación	Horario	1	Automático	VAISALA
Lurigancho	Temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa y precipitación	Horario	1	Automático	VAISALA
San Juan de Lurigancho	Temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa y precipitación	Horario	1	Automático	VAISALA

Fuente: (47)

b. Interpolación espacial Kriging ordinario

Es un método basado en auto correlación espacial de las variables(56); cuantifica la estructura espacial de los datos y su auto correlación (57), el kriging prioriza la estimación de estructuras de dependencia espacial y requiere que la hipótesis

de estacionariedad sea asumida para que esa estructura pueda ser estimada (58).

La fórmula general es:

$$Z(S) = \mu(S) + \varepsilon(S)$$

En donde $Z(S)$ es la variable de interés, $\mu(S)$ es una constante desconocida, $\varepsilon(S)$ son errores aleatorios de estimación y S son las coordenadas espaciales (x,y) (56).

La predicción en un punto está dada por

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$

En el cual $\hat{Z}(S_0)$ es el valor predicho, λ_i es el peso de cada valor observado y $Z(S_i)$ es el valor medido en un lugar (56). Además.

$$\varepsilon = Z(S_0) - \sum \lambda_i Z(S_i)$$

2.2.7.2. Instrumentos de investigación

Los instrumentos que se utilizaron para el desarrollo de la presente investigación han sido los siguientes: Data de concentraciones de monóxido de carbono de las cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en Lima Este, data de parámetros meteorológicos de las cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicadas en Lima Este, histogramas, figuras de doble y triple entrada, rosas de viento, diagramas de dispersión, software ArcGis 10.5 y software Minitab 19.

La data de monóxido de carbono y parámetros meteorológicos fueron facilitadas, previa solicitud, por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI con la finalidad de ser materia de procesamiento y análisis. Los histogramas facilitan la evaluación de la distribución de los datos.

De otro lado, las figuras de doble y triple entrada son útiles para comparar variables y ver su evolución a lo largo de un periodo de tiempo de 24 horas; las rosas de viento son adecuadas para evaluar

la predominancia de los vientos; los diagramas de dispersión son útiles para determinar el grado de dependencia entre las variables evaluadas.

Finalmente, los softwares fueron importantes para el tratamiento de los datos como la elaboración de los mapas y la interpolación espacial de contaminantes (ArcGis); el Minitab 19 fue usado para los análisis estadísticos pertinentes.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- a. **Inversión térmica.** - La inversión térmica es un fenómeno natural, caracterizada por una variación en la propensión habitual del aire al enfriarse con la altura; en un escenario de inversión térmica la temperatura incrementa con la altitud, el incremento de temperatura puede darse a partir de una cierta altura o desde la superficie (59).
- b. **Contaminantes primarios.**- Sustancias emitidas directamente a la atmósfera desde las fuentes de emisión, indistintamente de su origen (31). Cabe recalcar que el monóxido de carbono es un contaminante primario.
- c. **Gradiente de temperatura.** - Cambio de temperatura en relación a la altura (por 100 metros); por lo que sus magnitudes son °C/km.
- d. **Estabilidad atmosférica.** - La estabilidad es cuando la condición del aire es propensa a amortiguar toda convección (movimiento vertical del aire). Lo opuesto es la inestabilidad atmosférica (34). Para efectos de una mejor dispersión de los contaminantes en la atmosfera, es conveniente un escenario de inestabilidad atmosférica.
- e. **Valor p.**- Es la probabilidad de obtener un valor del estadístico de prueba que sea al menos tan extremo como el que representa a los datos muestrales. También se le conoce como valor de probabilidad (60).
- f. **Emisiones.** - Cantidad de contaminante que una fuente pone en el aire durante una cantidad fija de tiempo; por lo que se expresa como unidades de masa sobre tiempo (61).
- g. **Variabilidad espacial.** - Fluctuaciones observables en la concentración del contaminante en un área geográfica determinada.

- h. Variabilidad temporal.** - Fluctuaciones observables en la concentración del contaminante durante un periodo de tiempo determinado.
- i. Interpolación espacial.** – Proceso matemático en el que se transforma una variable discontinua en una regular y continua (62)
- j. Interpolación Kriging.**- Este método de interpolación considera tanto la magnitud como la dirección de la correlación espacial. Se basa en supuesto de que los datos muestran un patrón de variabilidad espacial. Se puede usar con cualquier tipo de datos ya que es muy flexible (63). Consiste esencialmente en estimar un valor desconocido de la variable como una combinación lineal de n valores conocidos (64).
- k. Temperatura.** - Es una magnitud que mide el contenido de energía cinética interna de las partículas que forman un cuerpo.
- l. Velocidad del viento.** - Aire en movimiento.
- m. Dirección del viento.** - Se llama dirección del viento al punto del horizonte de donde viene o sopla.
- n. Dinámica.** - Estudio del movimiento en relación a las causas que lo producen.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. MÉTODO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

a. Método general de la investigación

El método científico e inductivo. El método científico es un enfoque sistemático para la investigación; el primer paso consiste en definir de manera minuciosa el problema, el siguiente es realizar los experimentos, elaborar observaciones detalladas y registrar datos o información concernientes al sistema (65). Se entiende como el conjunto de postulados, reglas y normas para el estudio y la solución de los problemas de investigación; es decir, un conjunto de procedimientos que, valiéndose de los instrumentos o técnicas, examina y soluciona un problema o un conjunto de problemas de investigación (66).

El método inductivo utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general. El método se inicia con un estudio individual de los hechos y se formulan conclusiones (66).

En el presente proyecto de investigación, se observó un fenómeno (contaminación ambiental por monóxido de carbono), se formularon incógnitas respecto de su ocurrencia en la zona Este de Lima Metropolitana, se plantearon hipótesis al respecto,

se obtuvieron y procesaron los datos del monóxido de carbono registradas en las cuatro (04) estaciones de monitoreo ubicadas en Lima Este (San Juan de Lurigancho, Santa Anita, Huachipa y Ate) registradas durante el año 2019, se generaron conclusiones a partir de los datos observados.

3.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.2.1. Tipo de investigación

Tipo de investigación: Básica. La investigación de tipo básica cumple el propósito de producir conocimiento y teorías (64).

3.1.2.2. Nivel de investigación

Descriptivo. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis (67).

En el presente estudio, se describe de forma anual, mensual, estacional y por días de la semana la dinámica del monóxido de carbono en el aire de la zona Este de Lima Metropolitana (Lima Este), durante el 2019; especificando las particularidades de la dinámica del CO para cada periodo de tiempo analizado; posteriormente, se realiza un análisis espacial para, a partir de los datos registrados en las cuatro estaciones, toda el área que comprende Lima Este. Finalmente, se exportaron los datos al Minitab 19 para realizar las pruebas estadísticas respectivas.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. DISEÑO NO EXPERIMENTAL

3.2.1.1. Diseño no experimental longitudinal

El presente estudio es de un diseño no experimental longitudinal. Lo que se hace en la investigación no experimental es observar

fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos (67).

Los diseños longitudinales, los cuales recolectan datos a través del tiempo en puntos o periodos, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias (67).

En ese sentido, en el presente trabajo de investigación no se manipularon o alteraron datos de una variable (variable independiente) para ver los efectos en otro (variable dependiente). En el presente estudio, se observó y analizó el fenómeno en estudio tal y como se dio en su contexto natural, durante el periodo de un año (2019).

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La población comprende el monóxido de carbono ambiental del espacio geográfico que abarca la zona denominada como Lima Este (Ver figura N°23), conformado por 8 distritos capitalinos (Santa Anita, San Juan de Lurigancho, La Molina, Ate, Huachipa, El Agustino, Cieneguilla y Chaclacayo).

3.3.2. MUESTRA

La muestra es no probabilística, ya que se delimitó en función de la disponibilidad de información primaria y comprende los registros horarios a lo largo del año 2019; es así que se consideró la data registrada durante el año 2019 en los cuatro (04) puntos de monitoreo de calidad de calidad del aire preestablecidos por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, localizados dentro del área de estudio y ubicados geográficamente en las coordenadas indicadas en la tabla N°11.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Recopilación primaria de información (data) para la obtención de registros de concentración de monóxido de carbono y parámetros meteorológicos de las

estaciones de monitoreo de la calidad del aire; y la técnica de recopilación de información secundaria con información relevante para los fines del presente estudio.

3.4.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la medición de la concentración de monóxido de carbono ambiental, se utilizó el equipo automático: Analizador T300, marca TELEDYNE; con rango de detección 0-1 ppm (Min) y 0 – 1000 ppm (Max)(68). Asimismo, para el registro de los parámetros meteorológicos, se hizo uso de la estación meteorológica automática marca Vaisala.

Figura 21: Analizador de monóxido de carbono T300



Fuente: (55)

3.4.3. MÉTODO ESPECÍFICO DE LA INVESTIGACIÓN

A partir de la data facilitada por el SENAMHI, los registros horarios de monóxido de carbono se disgregaron a la estación de monitoreo; posteriormente, con la finalidad de tener un panorama general de los datos, se evalúa la distribución de los datos y los estadísticos descriptivos.

Se hace uso de la interpolación espacial, con ayuda del software ArcGis y haciendo uso de la herramienta kriging, para observar la distribución espacial del

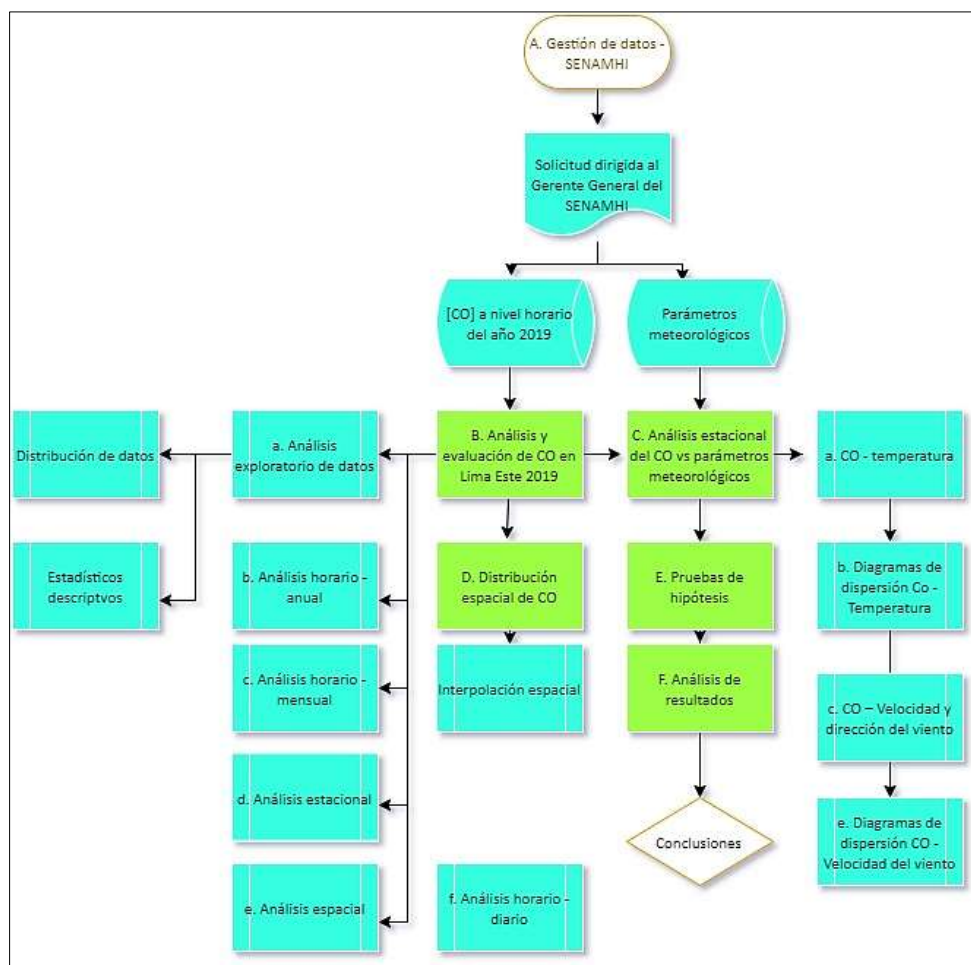
contaminante en el ámbito de estudio a partir de los puntos de monitoreo considerados.

Asimismo, con la finalidad de observar la dinámica del monóxido de carbono en el ámbito de estudio, se analizaron los datos, mediante figuras de doble entrada, las dinámicas del CO anual, mensual, estacional y diarias. Además, de este análisis se identifica la estación del año y el punto de monitoreo en las que se registraron las mayores concentraciones del contaminante en evaluación y, finalmente, mediante las pruebas estadísticas (Kruskal/ Wallis - Mann/ Whitney) se determina la significancia de las diferencias.

Con la finalidad de evaluar y observar la dinámica del monóxido de carbono en relación a la temperatura, se analizan los datos, mediante figuras de triple entrada, la ocurrencia simultánea de estas dos variables (CO, T°) en los puntos de monitoreo; cabe precisar que este análisis se realiza desglosando los registros en estaciones (otoño, invierno, primavera y verano), toda vez que la temperatura ambiental es variable entre estaciones del año. Se hace uso de diagramas de dispersión para evaluar la relación de estas dos variables y con la prueba estadística (correlación de rangos de Spearman) se determina la significancia/no significancia de esta relación.

Con la finalidad de evaluar y observar la dinámica del monóxido de carbono en relación a la velocidad del viento, se analizan los datos, mediante figuras de triple entrada, la ocurrencia simultánea de estas dos variables (CO, VV°) en los puntos de monitoreo; cabe precisar que este análisis se realiza desglosando los registros en estaciones (otoño, invierno, primavera y verano), toda vez que la ocurrencia del viento es variable entre estaciones del año. Se hace uso de diagramas de dispersión para evaluar la relación de estas dos variables y con la prueba estadística (correlación de rangos de Spearman) se determina la significancia/no significancia de esta relación.

Figura 22: Metodología específica de la investigación



Fuente: Elaboración propia

a. Gestión de Datos.

Por intermedio de la gerencia general del SENAMHI, se solicitaron los datos de la concentración de monóxido de carbono y parámetros meteorológicos registrados por las estaciones de monitoreo de la calidad del aire ubicados en Lima Este (EM Ate, EM Santa Anita, EM Lurigancho y EM San Juan de Lurigancho). Esta información fue entregada en un documento de Excel, en adelante “base de datos”.

La base de datos estuvo compuesta de la siguiente información:

- Data de concentraciones de monóxido de carbono, a escala horaria, registrada por las 4 Estaciones de monitoreo ubicadas en Lima Este, del año 2019.

- Data parámetros meteorológicos (temperatura, velocidad del viento, dirección del viento), a escala horaria, registrada por las 4 Estaciones meteorológicas ubicadas en Lima Este, del año 2019.

b. Análisis y evaluación del Monóxido de carbono.

- **Análisis exploratorio de datos.**

Se realizó un análisis exploratorio de los datos mediante el uso de histogramas y los estadísticos descriptivos; asimismo, se realizó diagrama de caja y bigote.

- **Análisis anual del monóxido de carbono.**

Se realizó el análisis de la dinámica anual del monóxido de carbono en Lima Este, para el año 2019, teniendo en cuenta cada una de las cuatro estaciones de monitoreo consideradas. Se hizo uso de figuras de doble entrada, en las que se consideraron, por un lado, la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) horaria media anual del CO y, por otro lado, las 24 horas que componen un día.

- **Análisis mensual de CO.**

Se realizó el análisis mensual de la dinámica del monóxido de carbono para la zona de Lima Este, para el año 2019 (teniendo en cuenta las cuatro estaciones de monitoreo de calidad del aire). Se hizo uso de figuras de doble entrada, en las que se consideraron, por un lado, la concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) horaria media mensual del CO y, por otro lado, las 24 horas que componen un día. Este procedimiento se hizo para cada estación de monitoreo.

- **Análisis estacional de CO.**

Para este propósito, se organizó la data para cada una de las cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire, considerando las estaciones del año (otoño, invierno, primavera y verano). Y se elaboraron cuatro figuras de doble entrada, en la que cada figura corresponde a cada punto/estación de monitoreo (EM Ate, EM Santa Anita, EM Lurigancho y EM San Juan de Lurigancho). Es así que en cada figura se consideró lo siguiente: La concentración media estacional de CO (otoño, invierno, primavera y verano) y las 24 horas que componen un día.

- **Análisis espacial de CO.**

Para este propósito, se organizó la data dividiéndolas en 4 grupos: otoño, invierno primavera y verano, para cada una de las cuatro estaciones de monitoreo de la calidad del aire. Se elaboración 4 figuras de doble entrada (una figura por cada estación del año: otoño, invierno, primavera y verano), en las que en cada figura se consideró, por un lado, la concentración media estacional en cada punto de monitoreo (4 puntos de monitoreo) y, por otro lado, las 24 horas que componen un día.

- **Análisis del CO por día de la semana.**

Se obtienen las concentraciones medias horarias de CO para cada día de la semana (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo) de los registros de cada estación de monitoreo; posteriormente, se presenta en 7 figuras (una figura por día de la semana) de doble entrada, en las que, por un lado, se consideró la concentración media por día ara cada estación de monitoreo (EM Ate, EM Santa Anita, EM Lurigancho y EM San Juan de Lurigancho) y, por otro lado, (eje de las abscisas) las 24 horas que componen un día.

c. Análisis estacional del monóxido de carbono frente a parámetros meteorológicos.

- **Análisis estacional del CO y la temperatura.**

Se elaboraron figuras de triple entrada en las que se consideraron las medias horarias estacionales de CO, las medias horarias estacionales de la temperatura y las 24 horas que componen un día. Esto se realizó para cada estación del año y cada estación de monitoreo; generando, en consecuencia, un total de 16 gráficas.

- **Diagrama de dispersión CO – temperatura.**

Se realizó el diagrama de dispersión para cada estación del año (otoño, invierno, primavera y verano), considerando las variables de concentración de CO (medias estacionales) y la temperatura ambiental (medias estacionales). En consecuencia, se generaron un total de cuatro (04) diagramas de dispersión que relacionaron el CO y la temperatura.

- **Análisis estacional del CO y el viento.**

Los datos de velocidad y dirección de viento se introdujeron al software WRPLOT View - Versión 8.0.2 para obtener las rosas de viento para cada estación de monitoreo (04) y cada periodo estacional del año (04); generando así 16 rosas de viento.

Se elaboraron figuras de tripe entrada en las que se consideraron las medias horarias estacionales de CO, las medias horarias estacionales de la velocidad del viento y las 24 horas que componen un día. Esto se realizó para cada estación del año y cada estación de monitoreo; generando, en consecuencia, un total de 16 gráficas.

- **Diagrama de dispersión CO – velocidad del viento.**

Asimismo, se realizó el diagrama de dispersión para cada estación del año (otoño, invierno, primavera y verano), considerando las variables de concentración de CO

(medias estacionales) y la velocidad del viento (medias estacionales). En consecuencia, se generaron un total de cuatro (04) diagramas de dispersión que relacionaron el CO y velocidad del viento.

d. Distribución espacial del CO en Lima Este.

Para la representar gráficamente la distribución espacial estacional del monóxido de carbono en Lima Este, se tuvo como datos de entrada las medias estacionales de cada punto de monitoreo, se ingresaron los datos al software ArcGis Versión 15.0 (específicamente haciendo uso de la herramienta de interpolación kriging). Es así que se obtuvieron cuatro (04) figuras en las que se muestra las distribuciones del monóxido de carbono en Lima Este, una para cada periodo estacional del año 2019.

e. Pruebas de hipótesis.

Para identificar la prueba estadística apropiada (pruebas estadísticas paramétricas o no paramétricas), se realizaron pruebas de normalidad de datos (considerando la base de datos original), ello mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Posteriormente, se hizo uso de las pruebas no paramétricas: correlación de rangos de Spearman y la prueba de Kruskal-Wallis, así como la prueba post hoc de Mann-Whitney; ello con el fin de rechazar o aceptar las hipótesis planteadas.

f. Análisis de resultados.

Se analizaron los resultados obtenidos, teniendo en cuenta los objetivos planteados en la investigación.

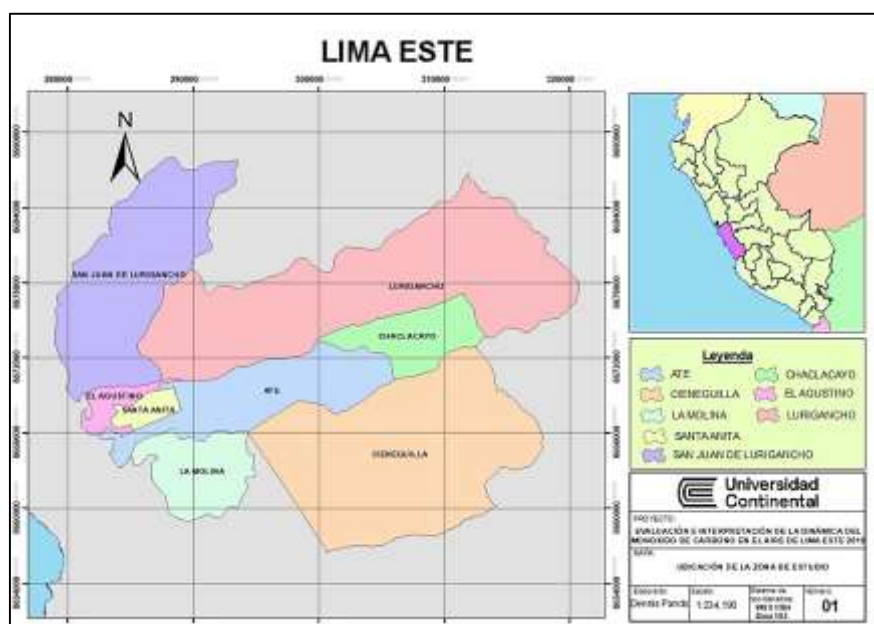
3.5. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.5.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE EVALUACIÓN

El presente estudio se realizó en el cono Este de la ciudad de Lima, conocido también como “Lima Este”. Lima Este está conformado por 8 distritos: Ate, Chaclacayo, Cieneguilla, Santa Anita, El Agustino, Lurigancho, La Molina y San Juan de Lurigancho (45); con una población de 2 491 856 habitantes (46).

Actualmente, el estado de la calidad del aire y la vigilancia atmosférica en Lima Metropolitana (Lima Este, Lima Sur, Lima Centro y Lima Norte) es monitoreada por la Dirección de Redes y Observación de Datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI (47), adscrita al Ministerio del Ambiente (MINAM). Las particularidades de los equipos que se hacen uso para esta vigilancia se describen en la tabla 9 y 11.

Figura 23: Ubicación de la zona de evaluación.



Fuente: Elaboración propia

3.5.2. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

La tabla 11: Ubicación de geográfica de las estaciones de monitoreo, describe las particularidades de las estaciones de monitoreo. Las estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio fueron:

Estación Ate: Ubicada en el distrito de Ate, (coordenadas geográficas indicadas en la tabla 11), en el Palacio Municipal, al norte se encuentra la Av. Nicolás Ayllón, por el este con calle Parque Principal, el sur con la Av. José Carlos Mariátegui y por el oeste con la comisaría PNP Vitarte.

Estación Santa Anita: Ubicada en el distrito de Santa Anita – Municipalidad distrital de Santa Anita (coordenadas geográficas indicadas en la tabla 11) por el norte se ubica Av. Santiago de Chuco y unos cientos de metros más al norte se encuentra la línea de ferrocarril central del Perú (Puerto del Callao – Huancayo); por el sur, la avenida Los Eucaliptos; por el este con la Av. Los Ruiseñores y por el oeste con el Jr. Santucho.

Estación Lurigancho: Ubicada en el distrito de Huachipa (Lurigancho) – Municipalidad distrital de Santa María de Huachipa (coordenadas geográficas indicadas en la tabla 11); por el norte se ubica la Av. Las Golondrinas; por el sur, la avenida Los Canarios; por el este con la Plaza de Armas de Huachipa y unos metros más al este se encuentra la Av. Los Tucanes y por el oeste con la Avenida Las Gaviotas.

Estación San Juan de Lurigancho: Ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho (coordenadas geográficas indicadas en la tabla 11); por el norte y este se encuentra ubicada la Avenida Del Parque; por el sur se encuentra la Calle Los Ciruelos y por el este con la Avenida Del Bosque.

Asimismo, la escala de medición del monóxido de carbono, así como de los parámetros meteorológicos, se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 10: Escala de medición de las variables CO, temperatura, velocidad y dirección del viento.

Estación	CO	Temperatura	VV	DV	Año
Ate	Horaria	Horaria	Horaria	Horaria	2019
Santa Anita	Horaria	Horaria	Horaria	Horaria	2019
Lurigancho	Horaria	Horaria	Horaria	Horaria	2019
SJL	Horaria	Horaria	Horaria	Horaria	2019

Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 24. Se visualiza la ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio. Asimismo, como dato adicional, se muestran la red vial nacional y departamental (vías de gran flujo vehicular) que cruzan por el área de estudio. De otro lado, en la siguiente tabla (Tabla 11), se indican las coordenadas geográficas y altitud (msnm) de las estaciones de monitoreo en mención.

Tabla 11: Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo.

Estación	Coordenadas Este	Coordenadas Norte	Altitud (msnm)	Departamento	Distrito
Ate	291126.0	8669830.2	362	Lima	Ate
Santa Anita	285388.5	8667920.9	276	Lima	Santa Anita
Lurigancho	287827.4	8670827.3	294	Lima	Lurigancho
San Juan de Lurigancho	282308.4	8674688.3	240	Lima	San Juan de Lurigancho

Fuente: (47)

3.5.3. CLIMA

Los factores que determinan el clima en el Perú son, básicamente, tres: Las modificaciones altitudinales que introduce la cordillera de los Andes, la situación del país en la zona intertropical y la corriente peruana de Humboldt; asimismo, las particularidades climáticas son singulares por su relieve topográfico y relieve. El Perú está constituido por ocho (08) regiones naturales: selva baja, selva alta, janca o cordillera, puna, suni, quechua, yunga y costa/chala (44).

Lima está ubicada en la región costa del Perú; el clima predominante es clima árido y cálido (48). El clima es variado, húmedo, templado y con alta nubosidad en el invierno; las precipitaciones son escasas y se producen generalmente en forma de garúas o lloviznas, solo en años excepcionales y durante el verano se producen lluvias de intensidad de corta duración (49), con un promedio anual de precipitación de aproximadamente 20 milímetros y una temperatura anual media de 18°C (5).

3.5.4. TOPOGRAFÍA

Lima Este se encuentra a un altitud de 200 a 600 msnm (44), se caracteriza por tener una topografía relativamente plana. Los contaminantes suelen acumularse en las microcuencas del Río Rímac, en La Molina y en San Juan de Lurigancho (50).

En general, la topografía de Lima y las condiciones meteorológicas de la zona facilitan los escenarios de contaminación atmosférica. Las estribaciones de la cordillera, que prácticamente la encierran, dificultan la dispersión horizontal. Asimismo, en verano se presenta una inversión térmica a una altura de 300 msnm y en el invierno varía de 400 a 800 msnm, lo que limita la dispersión vertical de contaminantes (50)

3.5.5. POBLACIÓN

Políticamente, Lima Este está constituido por ocho (08) distritos capitalinos: Ate, Chaclacayo, Cieneguilla, El Agustino, La Molina, Lurigancho –Chosica, San Juan de Lurigancho y Santa Anita. El número de ciudadanos, al 2017, que habitan en Lima Este es de 2 491 856; resulta imperativo indicar que 1 038 494 personas habitan en el distrito de San Juan de Lurigancho (45).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La tabla 12 resume los datos registrados en las cuatro (04) estaciones de monitoreo ambiental (administrados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI) ubicadas en Lima Este, las mismas que se procesaron para el presente estudio. La disponibilidad de datos para los registros de concentraciones horarias de monóxido de carbono es del 96%, 93%, 92% y 99% para las estaciones de Ate, Santa Anita, Lurigancho y San Juan de Lurigancho, respectivamente.

Asimismo, la tabla resume los datos válidos registrados en el 2019 en las zonas antes mencionadas para los parámetros meteorológicos de temperatura ambiental (TEMP), velocidad del viento (VELS) y dirección del viento (DIRS).

Cabe precisar que la no disponibilidad de datos acontecida en el periodo de estudio fue, se nos indicó, debido a situaciones técnicas de operatividad que presentaron los equipos de monitoreo; sumado a ello los periodos de mantenimiento.

Tabla 12: Registro horario de datos durante el 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo de calidad ambiental de SENAMHI, ubicadas en la zona de Lima Este.

ESTACIÓN DE MONITOREO	DATOS	[CO]	TEMP	VELS	DIRS
ATE	Válidos (h)	8447	7414	8010	8010
	Sin datos (h)	313	1346	750	750
	Válidos (%)	96%	85%	91%	91%
SANTA ANITA	Válidos (h)	8161	8157	7995	7995
	Sin datos (h)	599	603	765	765
	Válidos (%)	93%	93%	91%	91%
LURIGANCHO	Válidos (h)	8048	6318	5877	5878
	Sin datos (h)	712	2442	2883	2882
	Válidos (%)	92%	72%	67%	67%
SAN JUAN DE LURIGANCHO	Válidos (h)	8700	7439	7189	7189
	Sin datos (h)	60	1321	1571	1571
	Válidos (%)	99%	85%	82%	82%

Fuente Elaboración propia

[CO]: Concentración de CO en $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$

TEMP: Temperatura ambiental en $^{\circ}\text{C}$

VELS: Velocidad del viento en m/s

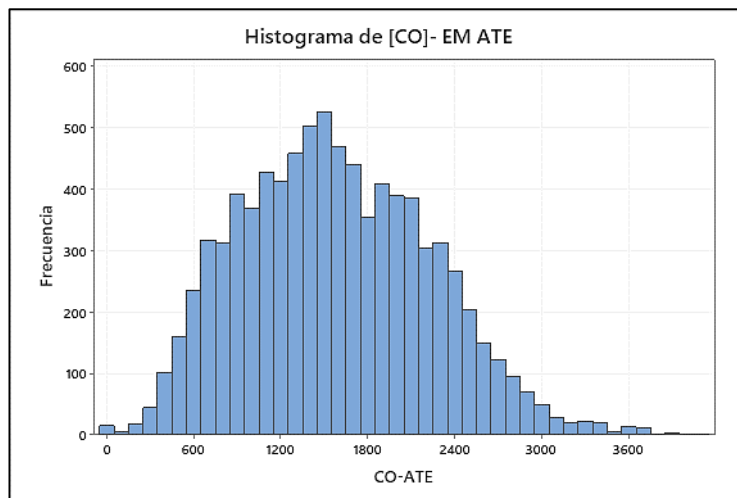
DIRS: Dirección del viento en grados sexagesimales

4.1.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

4.1.1.1. Distribución de datos

Las figuras siguientes (25 al 28) muestran los histogramas (medidas de forma) de las concentraciones de monóxido de carbono, de los datos registrados en las estaciones de monitoreo en evaluación, para el periodo de evaluación (año 2019); con la finalidad de evaluar la distribución de las concentraciones de monóxido de carbono registrada en las respectivas estaciones de monitoreo.

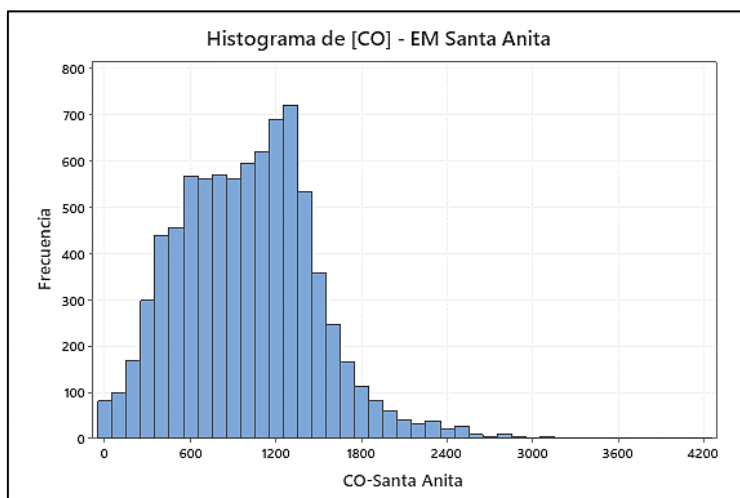
Figura 25: Distribución de datos registrados en la estación de monitoreo Ate – 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 25 muestra la distribución de los datos de [CO] registrados por la estación de monitoreo ubicada en el distrito de Ate (EM-ATE), la misma que muestra una distribución asimétrica con sesgo positivo (cola a la derecha); esta distribución indica que tenemos valores (registros) atípicos altos en la distribución y la media tiende a esos valores atípicos; en consecuencia, la media de los datos es mayor a la mediana de los mismos.

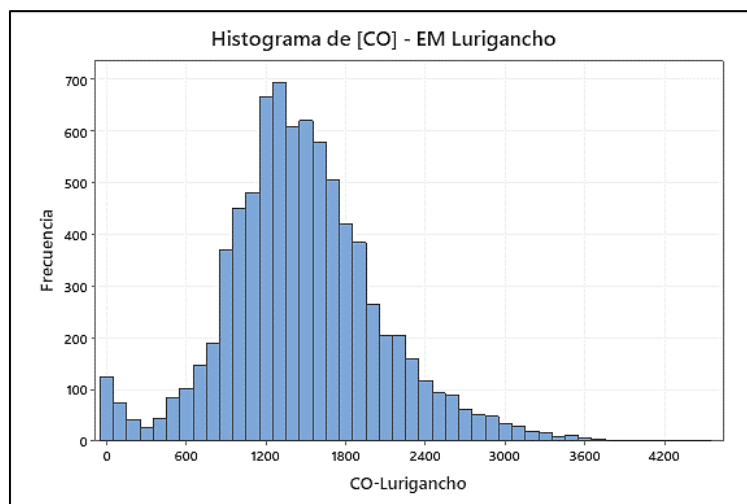
Figura 26: Distribución de datos registrados en la estación de monitoreo Santa Anita – 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 26 muestra la distribución de datos registrados en la estación de monitoreo Santa Anita en el año 2019. Las concentraciones con una mayor frecuencia son las que están alrededor de 1800 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$; de otro lado, el histograma muestra una distribución asimétrica positiva. Respecto de la distribución asimétrica con cola a la derecha, podemos deducir que la media muestral de los datos es mayor a la mediana y, como en el caso anterior, la media tiende a los valores atípicos.

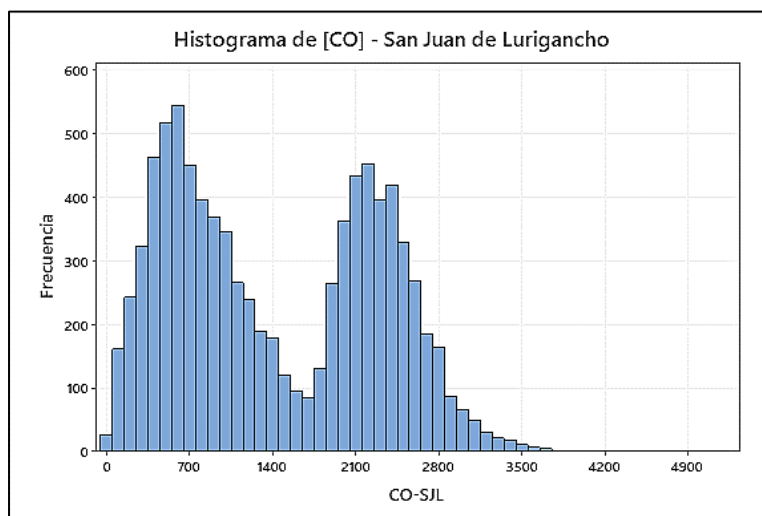
Figura 27: Distribución de datos registrados en la estación de monitoreo Lurigancho – 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 27 muestra la distribución de datos registrados por la estación de monitoreo Lurigancho; en el gráfico se observa que los datos tienen una distribución asimétrica con cola a la derecha (positiva); este hecho nos indica que la media de los datos es mayor a la mediana y a la moda. De otro lado, hay una mayor densidad de datos que bordean los 1300 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$. Finalmente, la media de los datos se ve influenciada por los datos atípicos altos, por lo que esta medida de tendencia central tiende a los valores atípicos.

Figura 28: Distribución de datos registrados en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho – 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 28 muestra que los datos registrados en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho, en el año 2019, tuvieron una distribución asimétrica con dos (02) campanas (lo que indicaría dos procesos distintos). De forma general la distribución tiene un sesgo positivo, lo que indica que la media aritmética es mayor a la mediana. Finalmente, respecto de los picos máximos de los cuatro gráficos, ninguno supera el estándar de calidad ambiental ECA para monóxido de carbono para 1 hora ($30000 \mu\text{gCO}/\text{m}^3$) u 8 horas ($10000 \mu\text{gCO}/\text{m}^3$).

4.1.1.2. Estadísticos descriptivos de [CO]

La tabla 13 muestra un resumen de los estadísticos descriptivos, para el año 2019, de las concentraciones de monóxido de carbono registradas en las cuatro (04) estaciones de monitoreo ubicadas en el ámbito geográfico que comprende la zona de Lima Este.

Tabla 13: Estadísticos descriptivos de las concentraciones de monóxido de carbono de las cuatro (04) estaciones de monitoreo - Lima Este

	Media	Desv. Est.	Varianza	Cof. Varr	Min	Max	Rango
CO Ate	1578.2	653.1	426540.2	41.38	21.3	4107.8	4086.5
CO Sta Anita	999.8	481.01	231366.23	48.11	34.5	4202.1	4167.6
CO Lurigancho	1477.4	589.3	347269.7	39.89	23	4547.1	4524.1
CO SJL	1433.5	872.1	760604.3	68.84	23	5225.6	5202.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Cuartiles, monóxido de carbono ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$), Lima Este 2019.

Variable	Q1	Mediana	Q3	Moda
CO Ate	1082.1	1536.4	2043.5	1104
CO Sta Anita	638.2	998.2	1306.4	46
CO Lurigancho	1125.3	1434	1801.7	46
CO SJL	631.4	1259.2	2226.4	504.8; 520.9

Fuente: Elaboración propia

La tabla 13 y tabla 14 muestran los estadísticos descriptivos básicos de los datos de las cuatro estaciones de monitoreo ubicadas en Lima Este, registrados en el 2019. Los cuartiles Q1, Q2 y Q3 indican los valores de concentración de monóxido de carbono que están por debajo del 25%, 50% y 75% respectivamente. El coeficiente de variación indica la variación porcentual de la desviación estándar respecto de la media; en la estación de monitoreo SJL es donde se registraron concentraciones de monóxido de carbono con una mayor variación.

De las cuatro (04) estaciones de monitoreo de monóxido de carbono, las concentraciones promedio anual registradas fueron: 1578.2 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (estación Ate), 999.8 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (estación Santa Anita), 1477.4 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (estación Lurigancho) y 1433.5 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (estación San Juan de Lurigancho); Asimismo, se observa que el mayor promedio de concentración de monóxido de carbono se obtuvo en la estación del distrito de Ate; mientras que el valor máximo (5225.6

$\mu\text{gCO}/\text{m}^3$) fue registrado en la estación de San Juan de Lurigancho y la menor concentración de CO ($21.3 \mu\text{gCO}/\text{m}^3$) fue registrada en la estación de monitoreo ubicada en el distrito de Ate.

Los registros máximos de concentración de monóxido de carbono, en las estaciones de monitoreo, fueron registrados como muestra la tabla 15.

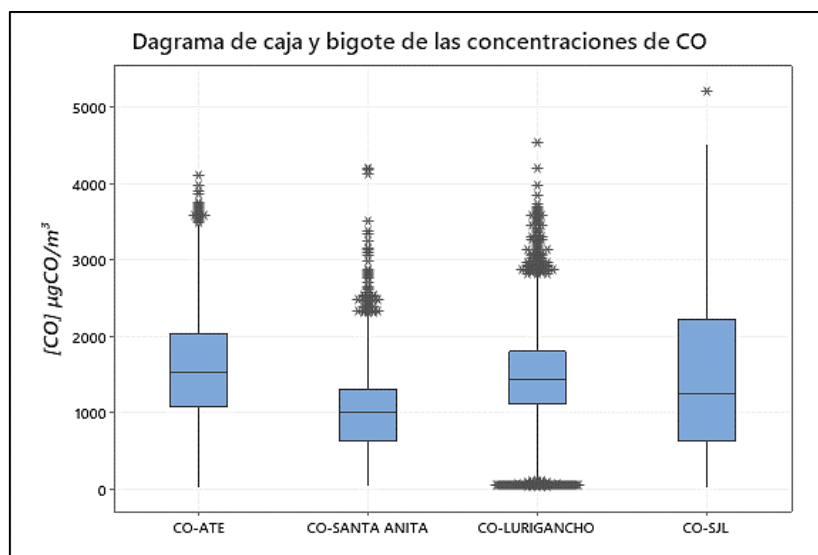
Tabla 15: Registros máximos de monóxido de carbono ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$) en Lima Este 2019.

Estación de Monitoreo	[CO]	Fecha	Hora	Observación
Ate	4107.8	07/04/2019	06:00	Otoño; ponderación 1h
Santa Anita	4202.1	08/04/2019	07:00	Otoño; ponderación 1h
Lurigancho	4547.1	07/03/2019	00:00	Verano; ponderación 1h
SJL	5225.6	13/05/2019	07:00	Otoño; ponderación 1h

Fuente: Elaboración propia

De otro lado, cabe precisar que el Estándar de Calidad Ambiental – ECA para el monóxido de carbono es de $10000 \mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (para una ponderación de 8 horas) y de 30000 (para una ponderación de 1 hora). Ninguno de estos estándares fue superado en ninguna de las estaciones de monitoreo.

Figura 29: Diagramas de caja y bigote para los datos registrados en las cuatro estaciones en evaluación.



Fuente: Elaboración propia

La figura 29 muestra los diagramas de caja y bigote de las concentraciones de monóxido de carbono registrados en las cuatro estaciones en evaluación. Se observa que hay menos variabilidad en las estaciones Santa Anita y Lurigancho (pero más valores extremos). Por otro lado, la estación que muestra mayor variabilidad en sus datos es la de San Juan de Lurigancho; sin embargo, en todos los puntos de monitoreo se registraron valores extremos de CO. Asimismo, en cuanto a la dispersión, se aprecia que los datos de las estaciones Ate, Santa Anita, Lurigancho y SJL tienen una distribución asimétrica positiva.

Respecto a los valores extremos, son valores que están por arriba del Q3 en una cantidad de 1.5 RIC (rango intercuartil) o 1.5RIC por debajo del Q1.

4.1.2. ANÁLISIS GRÁFICO DE LAS CONCENTRACIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO EN LIMA ESTE 2019

A continuación, se muestran gráficas que describen el comportamiento de la concentración de monóxido de carbono en las estaciones de monitoreo, de la red de monitoreo ambiental del SENAMHI en Lima Este.

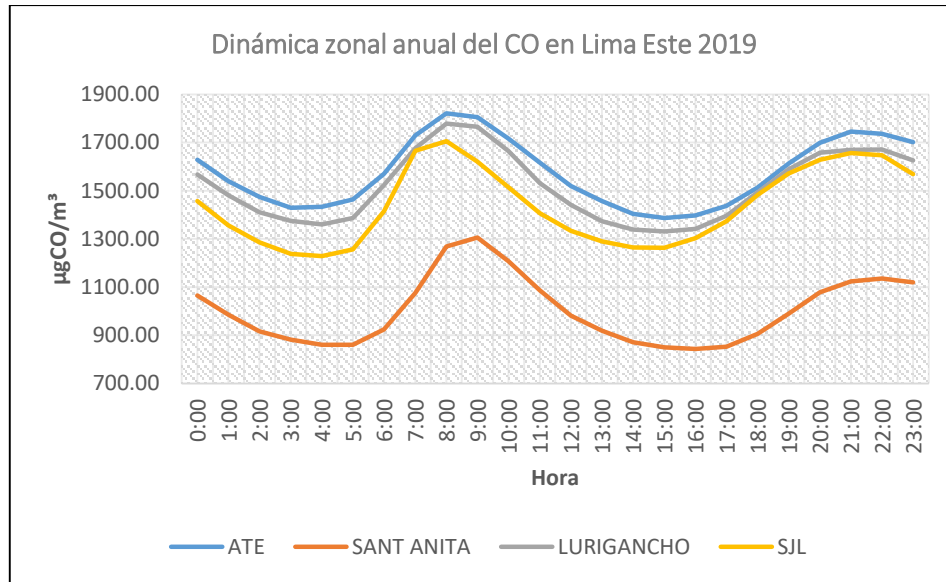
4.1.2.1. Análisis anual de la concentración de monóxido de carbono en Lima Este

La figura N°30 muestra la variación, con respecto a las horas de un día, de la media horaria anual de concentraciones de monóxido de carbono de cada una de las cuatro (04) estaciones de monitoreo que se encuentran ubicadas en Lima Este y que fueron consideradas en la presente investigación.

Por otro lado, en la figura 30, se muestran los resultados de la gráfica de concentraciones medias de CO de las cuatro (04) estaciones de monitoreo localizadas en Lima Este. Se observa que las mayores concentraciones medias se obtuvieron para la estación Ate y las menores para la estación Santa Anita. Las series de tiempo mostraron una variación de [CO] senoidal, con picos en horas de la mañana (8:00

– 9:00 horas) y de la noche (21:00 – 22:00 horas) y con valles en horas de la madrugada (3:00 – 5:00 horas) y de la tarde (15:00 – 17:0 horas)

Figura 30: Variación zonal estacional de CO en Lima Este – 2019



Fuente: Elaboración propia

En el 2019, el comportamiento del monóxido de carbono mostró un comportamiento similar en las cuatro estaciones de monitoreo evaluadas; las curvas para los cuatro puntos de monitoreo mostraron dos (02) picos de concentración y dos (02) valles. La gráfica permitiría inferir lo siguiente: o las emisiones de CO en el 2019, en Lima Este, fueron continuas a lo largo de un día y hubo factores que favorecieron su dispersión o que las emisiones de CO variaron para diferentes horas del día y no hubo factores que favorecieron la dispersión del monóxido de carbono; también es posible un escenario combinado en el que las emisiones de CO variaron en las horas del día y que hubo factores que favorecieron su dispersión.

4.1.2.2. Análisis del monóxido de carbono mensual para el año 2019

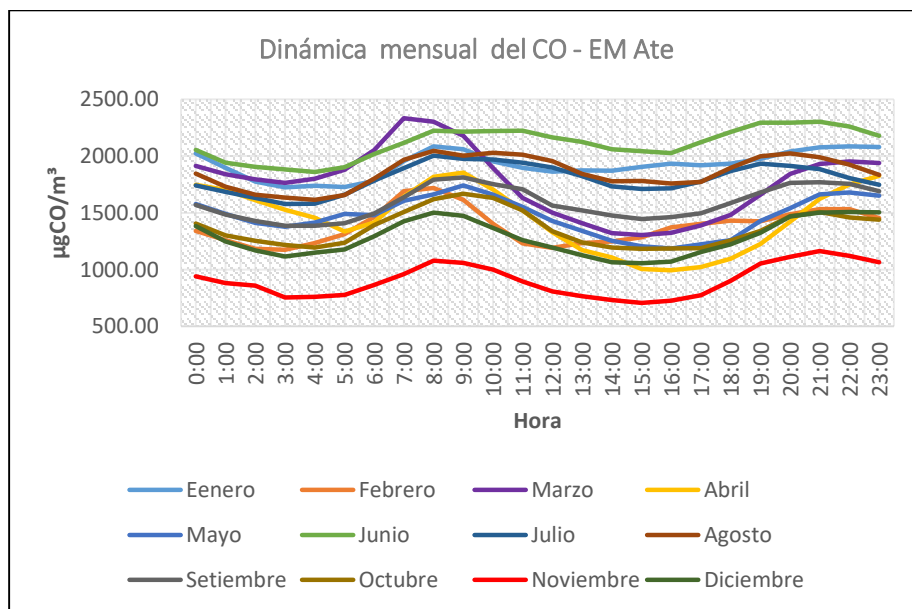
Las figuras del N°31 al N°34, evalúan las variaciones horarias mensuales del monóxido de carbono en las estaciones de monitoreo

de calidad ambiental ubicadas en Lima Este en el año 2019. Cabe recalcar que los análisis se hicieron en base a medias horarias para las cuatro estaciones de monitoreo de Lima Este.

En la figura N° 31, se muestra el comportamiento horario, del monóxido de carbono, a lo largo de los doce (12) meses, evaluada en la estación Ate para el año 2019; las concentraciones en el transcurso de las horas del día (24 horas), según el gráfico, tienen un comportamiento senoidal con dos picos superiores (registradas en horas de la mañana (7 horas a 11 horas) y en horas de la noche (19 horas a 21 horas)).

Asimismo, en la estación de monitoreo Ate, en el 2019, se registraron concentraciones medias de CO más bajas (en relación a las medias de los otros meses) en el mes de noviembre y en contraposición se registraron concentraciones medias de CO más altas en el mes de junio.

Figura 31: Comparación del comportamiento del CO en los diferentes meses del 2019.



Fuente: Elaboración propia

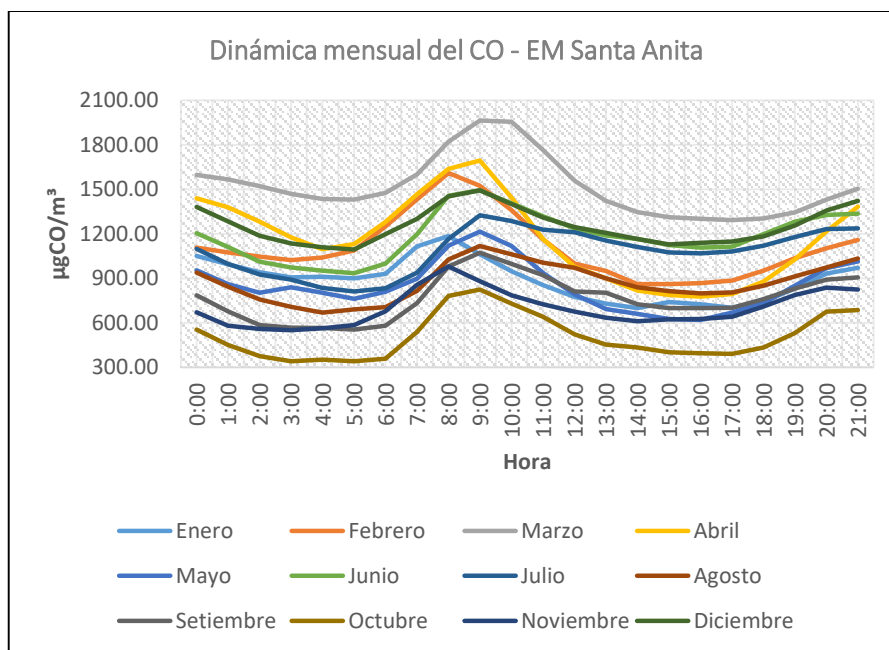
Así también, en la figura N°31, se muestra una mayor variación horaria media en el mes de marzo, alcanzando la cima y sima de concentración media a las 7:00 horas y 15:00 horas respectivamente.

Por otro lado, en la figura N° 32, se muestran los resultados de la gráfica de concentraciones medias de CO ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$) para los meses de Enero – Diciembre del 2019 para la estación Santa Anita.

La figura 32 muestra el comportamiento mensual del monóxido de carbono, evaluada en la estación Santa Anita para el año 2019; las concentraciones en el transcurso de las horas del día (24 horas), según el gráfico, tienen un comportamiento senoidal con un pico muy pronunciado (registradas en horas de la mañana (9:00 horas del mes de marzo 2019) resultando en una concentración de CO media de 1963.62 ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$).

Asimismo, en la estación de monitoreo Santa Anita, en el 2019, se registraron concentraciones medias mensuales de CO más bajas (en relación a las medias de los otros meses) en el mes de octubre y en contraposición se registraron concentraciones medias de CO más altas en el mes de marzo. Es así que la concentración media mínima fue de 341.40 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media para las 3:00 horas del mes de octubre) y la concentración media máxima para esta estación fue de 1963.62 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media para las 9:00 horas del mes de marzo).

Figura 32: Comparativa del comportamiento del CO en los diferentes meses del 2019 - Estación Santa Anita.



Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, la figura 32 muestra que las concentraciones medias de monóxido de carbono más altas se dieron en el mes de marzo del 2019 y el escenario opuesto se dio en el mes de octubre del 2019.

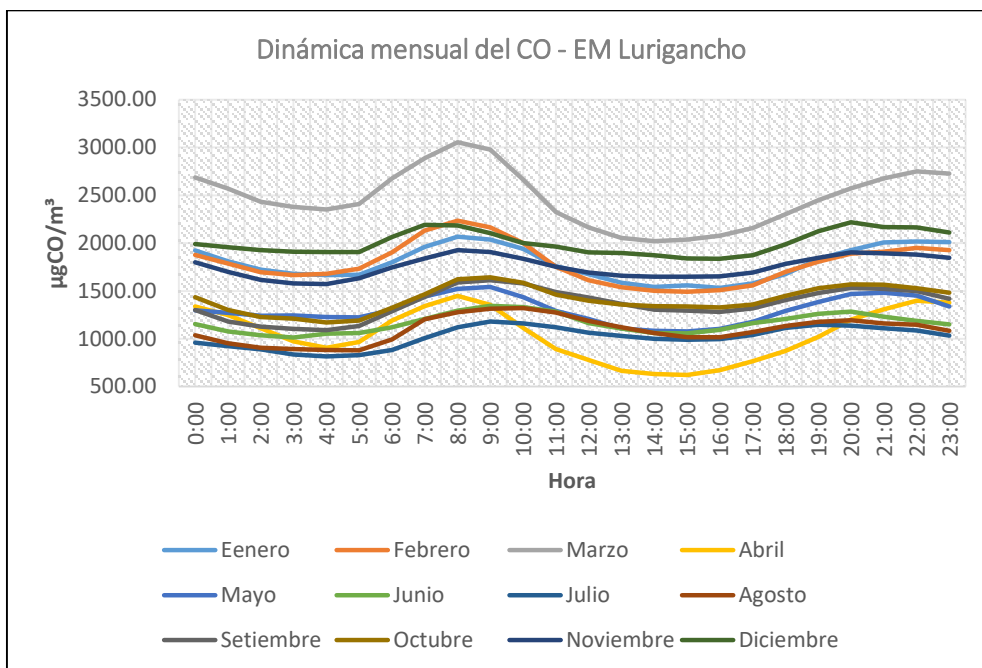
Por otro lado, la figura 33 muestra los resultados de la gráfica de concentraciones medias mensuales de CO ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$) para los meses de Enero – Diciembre del 2019 para la estación Lurigancho.

Las concentraciones en el transcurso de las horas del día (24 horas), según el gráfico, tienen un comportamiento senoidal con un pico muy pronunciado (registradas en horas de la mañana (08:00 horas del mes de marzo 2019) con una concentración media horaria de CO de 3053.49 ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$).

Asimismo, en esta estación, en el 2019, se registraron concentraciones medias de CO más bajas (en relación a las medias de los otros meses) en el mes de abril y en contraposición se registraron concentraciones medias de CO más altas en el mes de marzo. Es así que la concentración media mínima fue de 621.76 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media para las 15:00 horas del mes de abril) y la concentración media máxima para esta estación fue de 3053.49 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media para las 8:00 horas del mes de marzo).

Del mismo modo, la figura N°33, en forma general, muestra que las concentraciones medias de monóxido de carbono más altas se dieron en el mes de marzo y el escenario opuesto se dio en el mes de abril.

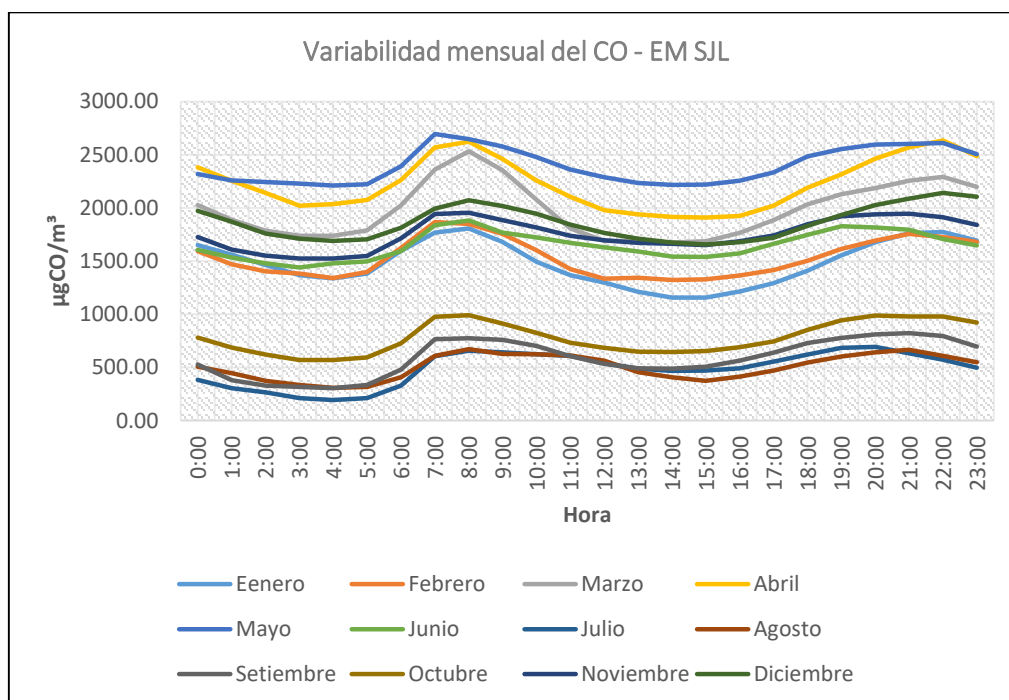
Figura 33: Comparativa del comportamiento del CO en los diferentes meses del 2019 - Estación Lurigancho.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la figura 34, se muestra los resultados de la gráfica de concentraciones medias mensuales de CO ($\mu\text{gCO}/\text{m}^3$) para los meses de Enero – Diciembre del 2019 para la estación San Juan de Lurigancho

Figura 34: Comparativa del comportamiento del CO en los diferentes meses del 2019 - Estación San Juan de Lurigancho.



Fuente: Elaboración propia

La figura 34 muestra el comportamiento mensual del monóxido de carbono, evaluada en la estación San Juan de Lurigancho para el año 2019; las concentraciones en el transcurso de las horas del día (24 horas), según el gráfico, tienen un comportamiento aparentemente sinodal, con fluctuaciones durante el transcurso del día, con unos picos ligeramente pronunciados.

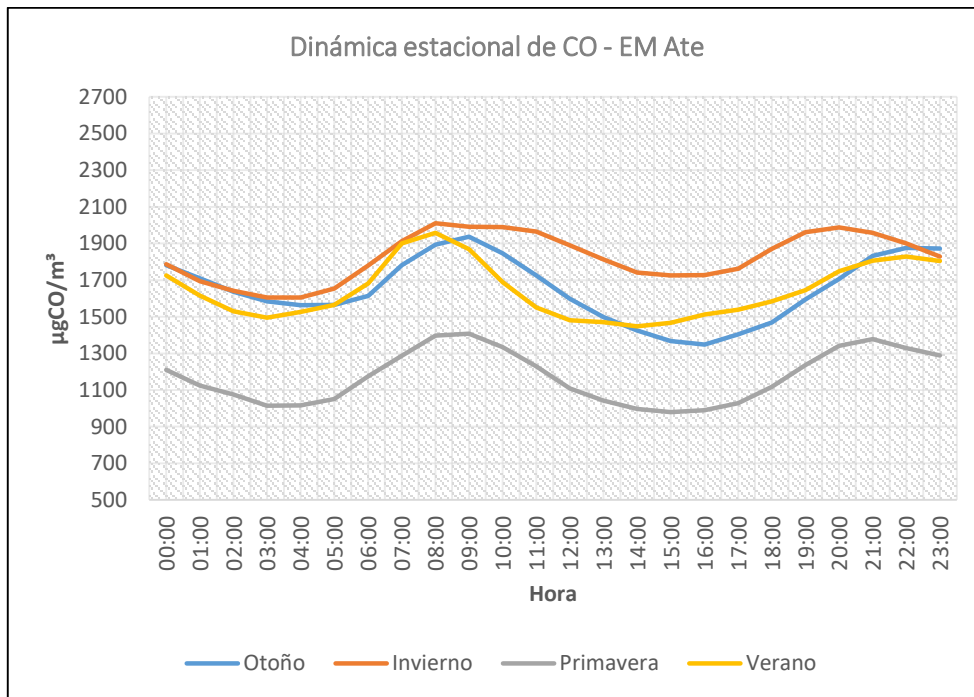
Asimismo, en esta estación, en el 2019, se obtuvieron concentraciones medias de CO más bajas (en relación a las medias de los otros meses) en los meses de septiembre y julio y en contraposición se registraron concentraciones medias de CO más altas en el mes de mayo. Es así que la concentración media mínima fue de $304.23 \mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media para las 04:00 horas del mes de septiembre) y la concentración media máxima para esta estación fue de $2695.05 \mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media para las 07:00 horas del mes de mayo).

Del mismo modo, la figura muestra que hubo mayor oscilación horaria en la concentración del monóxido de carbono en el mes de marzo.

4.1.2.3. Análisis estacional del monóxido de carbono en las EM de Lima Este - 2019

Se agrupó la data de las concentraciones de monóxido de carbono en función de las estaciones del año 2019, considerando lo siguiente: Otoño, del 22 de marzo al 21 de junio del 2019; invierno, del 22 de junio al 22 de septiembre del 2019; primavera, del 23 de septiembre al 21 de diciembre del 2019; y verano, del 22 de diciembre al 21 de marzo del 2019. Para luego, producto de ello, se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 35: Variación estacional de monóxido de carbono en Lima Este 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 35 muestra las concentraciones medias estacionales para el monóxido de carbono en el 2019 registradas en la estación de monitoreo Ate. Se observa que la mayor concentración media en el 2019, en este punto de monitoreo, se obtuvo en el invierno; alcanzando picos de hasta 2010.06 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media horaria estacional para las 08:00 horas del invierno); antagónicamente, las menores concentraciones medias en esta estación sucedieron en la

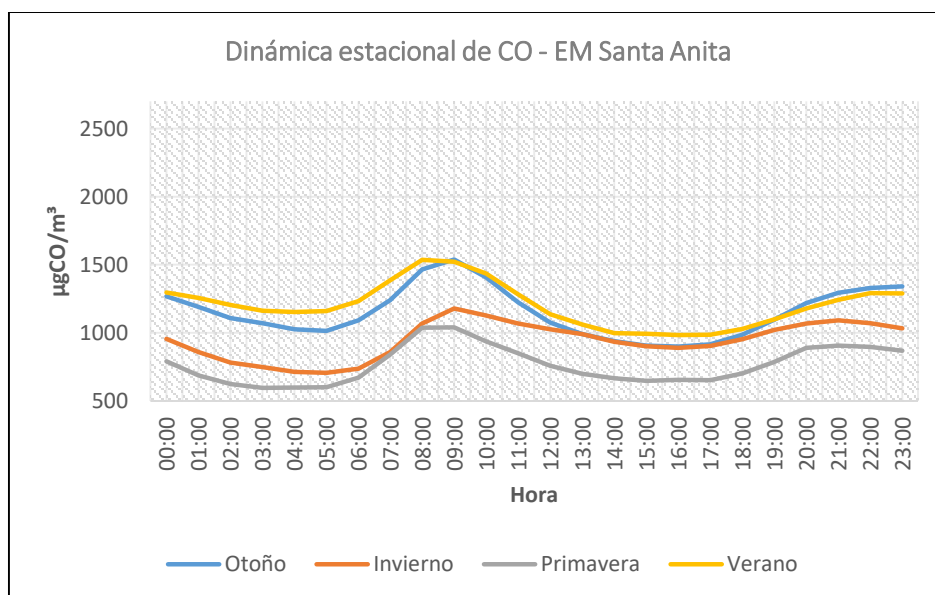
primavera del 2019, alcanzando simas de concentración de 979.35 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media estacional horaria de la primavera para las 15:00 horas).

En general, la figura precedente denota el comportamiento horario estacional del monóxido de carbono en la estación de monitoreo Ate; es así que se muestra una curva sinodal para todos los casos, con sus propias particularidades. Cabe precisar que no necesariamente la dinámica del CO fue igual entre las estaciones del año 2019.

Por otra parte, se observa que las concentraciones medias mínimas (para todos los periodos estacionales) se obtuvieron en horas de la madrugada (02:00 horas a 04:00 horas) y en horas de la tarde (14:00 horas a las 16:00 horas); antagónicamente, las concentraciones medias máximas estacionales se obtuvieron entre los rangos horarios 08:00 – 09:00 horas y 20:00 – 23:00 horas.

De otro lado, respecto a la comparación con el estándar de calidad ambiental nacional para aire (DS N°003-2017-MINAM), ninguna media estacional horaria del 2019 superó los 30000 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ que establece la norma como valor límite.

Figura 36: Variación estacional de monóxido de carbono en la estación de monitoreo Santa Anita – 2019



Fuente: Elaboración propia

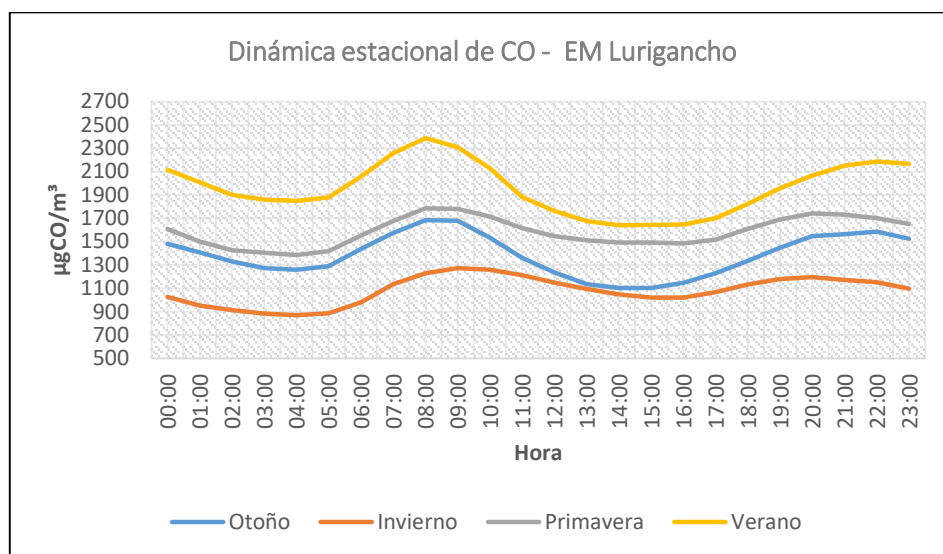
La figura 36 muestra las concentraciones medias estacionales para el monóxido de carbono en el 2019 para la estación de monitoreo Santa Anita. Se observa, en la gráfica, que la mayor concentración media en el 2019 en este punto de monitoreo se obtuvo en el verano del 2019 alcanzando picos de concentración de CO de hasta 1536.21 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media estacional para las 08:00 horas del verano); antagónicamente, las menores concentraciones medias en esta estación se dieron en la primavera del 2019 alcanzando simas de concentración de 596.14 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media estacional de la primavera para las 03:00 horas).

En general, la figura denota el comportamiento horario estacional del monóxido de carbono en la estación de monitoreo Santa Anita; es así que se muestra una curva sinodal para todos los casos (con sus propias particularidades).

Por otra parte, se observa que las concentraciones medias mínimas (para todos los periodos estacionales) se obtuvieron en horas de la madrugada (03:00 horas a 05:00 horas) y en horas de la tarde (15:00 horas a las 16:00 horas); antagónicamente, las concentraciones medias máximas estacionales se obtuvieron entre los rangos horarios 08:00 – 09:00 horas.

De otro lado, respecto a la comparación con el estándar de calidad ambiental nacional para aire (DS N°003-2017-MINAM), ninguna media estacional horaria del 2019 superó los 30 000 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ que establece la norma.

Figura 37: Variación estacional de monóxido de carbono en la estación de monitoreo Lurigancho – 2019



Fuente: Elaboración propia

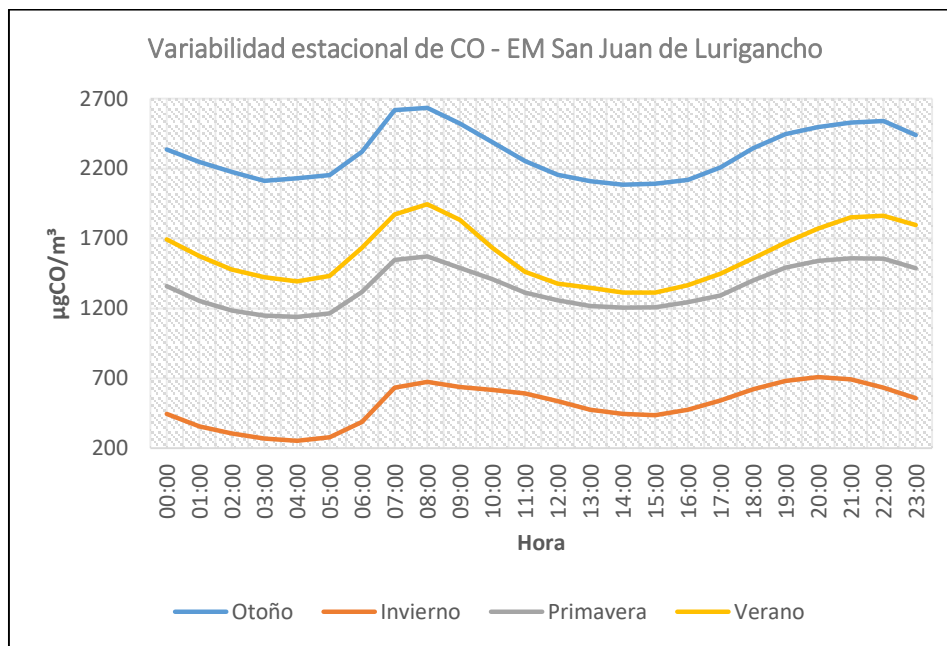
La figura 37 muestra las concentraciones medias estacionales para el monóxido de carbono en el 2019 para la estación de monitoreo Lurigancho. Se observa, en la gráfica, que la mayor concentración media en el 2019 en este punto de monitoreo se obtuvo en el verano del 2019 alcanzando picos de concentración de CO de hasta 2385.93 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media estacional para las 08:00 horas del verano 2019); contrariamente, las menores concentraciones medias en esta estación se dieron en el invierno del 2019 alcanzando simas de concentración de 870.25 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media estacional del invierno para las 04:00 horas).

En general, la figura precedente denota el comportamiento horario estacional del monóxido de carbono en la estación de monitoreo Lurigancho; es así que se muestra una curva sinodal para todos los casos (con sus propias particularidades).

Por otra parte, se observa que las concentraciones medias mínimas (para todos los periodos estacionales) se obtuvieron en horas de la madrugada (04:00 horas) y en horas de la tarde (14:00 horas a las 16:00 horas); antagónicamente, las concentraciones medias máximas estacionales se obtuvieron entre los rangos horarios 08:00 – 09:00 horas y 20:00 – 22:00 horas.

De otro lado, respecto a la comparación con el estándar de calidad ambiental nacional para aire (DS N°003-2017-MINAM), ninguna media estacional horaria del 2019 superó los 30 000 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ que establece la norma.

Figura 38: Variación estacional de monóxido de carbono en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho – 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 38 muestra las concentraciones medias estacionales para el monóxido de carbono en el 2019 para la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho. Se observa, en la gráfica, que la mayor concentración media en el 2019, en este punto de monitoreo se obtuvo en el otoño del 2019 alcanzando picos de concentración de CO de hasta 2634.45 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media estacional para las 08:00 horas del otoño 2019); antagónicamente, las menores concentraciones medias en esta estación se dieron en el invierno del 2019 alcanzando simas de concentración de hasta 254.39 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ (media estacional del invierno para las 04:00 horas).

En general, la figura precedente denota el comportamiento horario estacional del monóxido de carbono en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho; es así que se muestra una curva sinodal con

picos poco pronunciados para todos los casos (con sus propias particularidades). Por otra parte, se observa que las concentraciones horarias medias mínimas (para todos los periodos estacionales) se obtuvieron en horas de la madrugada (03:00 – 04:00 horas) y en horas de la tarde (14:00 horas a las 15:00 horas); antagónicamente, las concentraciones medias máximas estacionales se obtuvieron entre los rangos horarios 08:00 – 09:00 horas y 20:00 – 22:00 horas.

De otro lado, respecto a la comparación con el estándar de calidad ambiental nacional para aire (DS N°003-2017-MINAM), ninguna media estacional horaria del 2019 superó los 30 000 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ que establece la norma como valor límite.

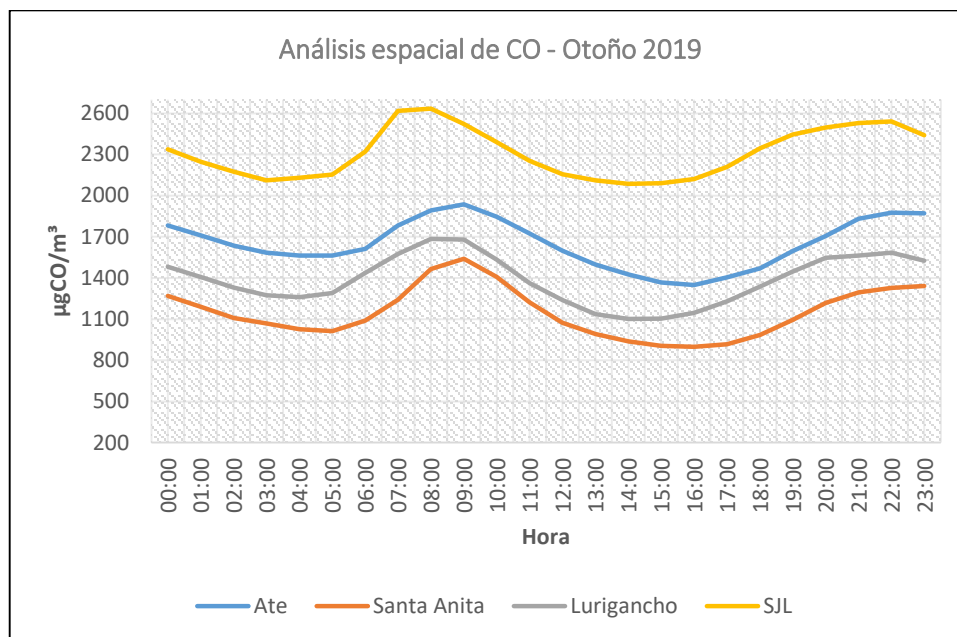
Finalmente, que las concentraciones medias estacionales muestren diferencias en un mismo punto de análisis (estación de monitoreo), denotaría que existieron factores que favorecieron la dispersión del contaminante, ya que los patrones de comportamiento de las probables fuentes de emisión de CO (fuentes de área y parque automotor), para cada punto evaluado, tendrían comportamientos aproximadamente uniformes durante el año.

4.1.2.4. Análisis espacial del monóxido de carbono en Lima Este 2019.

Para el análisis gráfico espacial estacional, se han agrupado los registros de las concentraciones por las estaciones del año y se ha considerado la media horaria para su gráfica.

La figura 39 muestra las concentraciones medias estacionales obtenidas en los puntos de monitoreo de Lima Este para el periodo otoño del 2019. Se observa que la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho (SJL) es en la que se obtuvieron las medias estacionales más altas (en relación a las otras estaciones de monitoreo), seguida (en orden descendente) de la estación de monitoreo Ate, Lurigancho y finalmente la estación de monitoreo Santa Anita.

Figura 39: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este -2019.

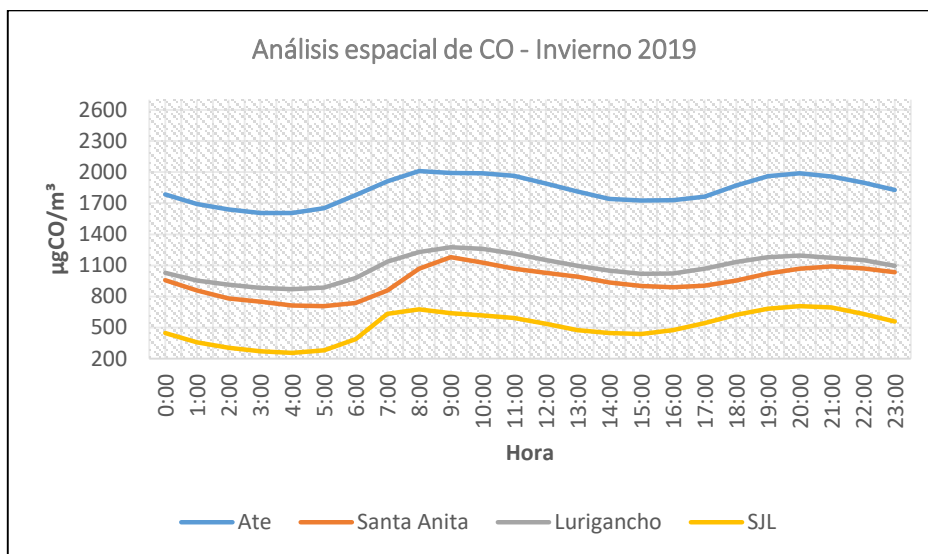


Fuente: Elaboración propia

Cabe precisar que las concentraciones medias estacionales de CO muestran dinámicas aproximadamente similares; con picos y valles en aproximadamente las mismas horas del día.

La figura 40 muestra las concentraciones medias obtenidas en los puntos de monitoreo de Lima Este para el periodo invierno del 2019. Se observa que la estación de monitoreo Ate es en la que se obtuvieron las medias estacionales más altas (en relación a las otras estaciones de monitoreo), seguida (en orden descendente) de la estación de monitoreo Lurigancho, Santa Anita y finalmente la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho (SJL).

Figura 40: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este -invierno de 2019.



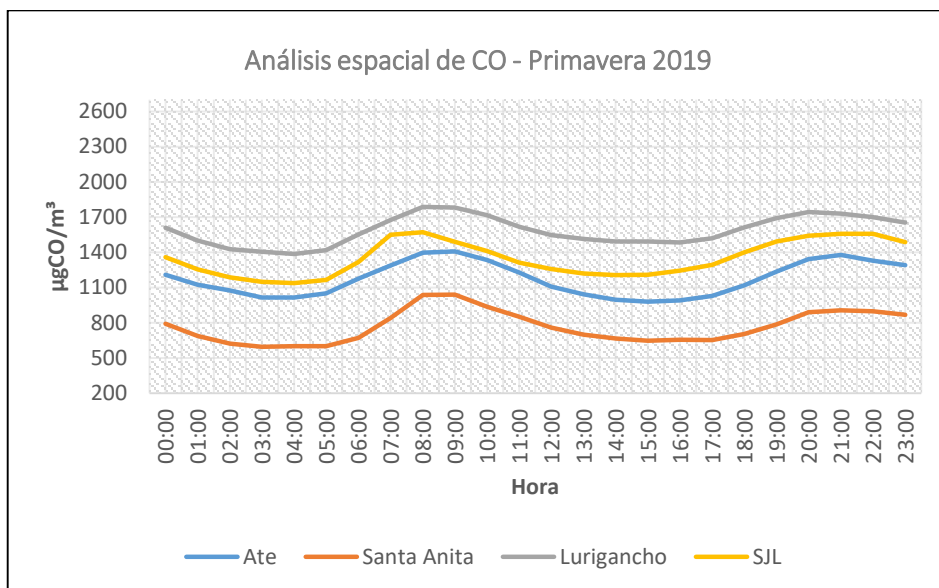
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, las concentraciones medias horarias de CO en el invierno 2019, muestran dinámicas aproximadamente similares; con picos y valles en aproximadamente las mismas horas del día, habiendo algunas particularidades.

La figura 41 muestra las concentraciones medias obtenidas en los puntos de monitoreo de Lima Este para el periodo primavera del 2019. Se observa que la estación de monitoreo Lurigancho es en la que se obtuvieron las medias estacionales más altas (en relación a las otras estaciones de monitoreo), seguida (en orden descendente) de la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho (SJL), Ate y finalmente la estación de monitoreo Santa Anita.

Las concentraciones medias horarias de CO en la primavera del 2019 muestran dinámicas aproximadamente similares; con picos y valles en aproximadamente las mismas horas del día, habiendo algunas particularidades probablemente relacionadas a los factores de emisión propios de cada zona.

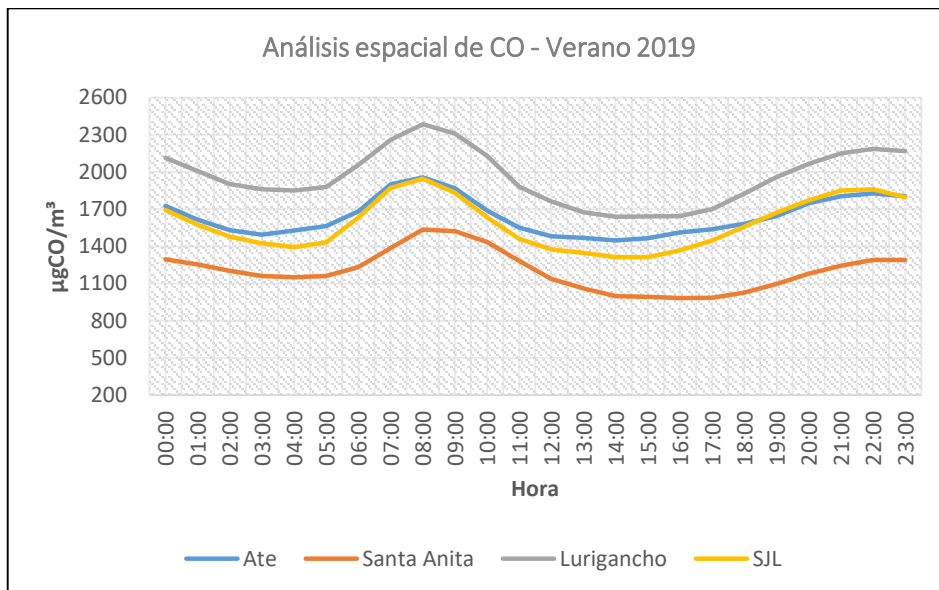
Figura 41: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - primavera de 2019.



Fuente: Elaboración propia

La figura 42 muestra las concentraciones medias obtenidas en los puntos de monitoreo de Lima Este para el periodo verano del 2019. Se observa que la estación de monitoreo Lurigancho es en la que se obtuvieron las medias estacionales más altas (en relación a las otras estaciones de monitoreo), seguida (en orden descendente) de la estación de monitoreo Ate, San Juan de Lurigancho (SJL) y finalmente la estación de monitoreo Santa Anita. La dinámica del CO en este periodo mostró un comportamiento aproximadamente uniforme con picos y valles en las mismas horas.

Figura 42: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - verano de 2019.

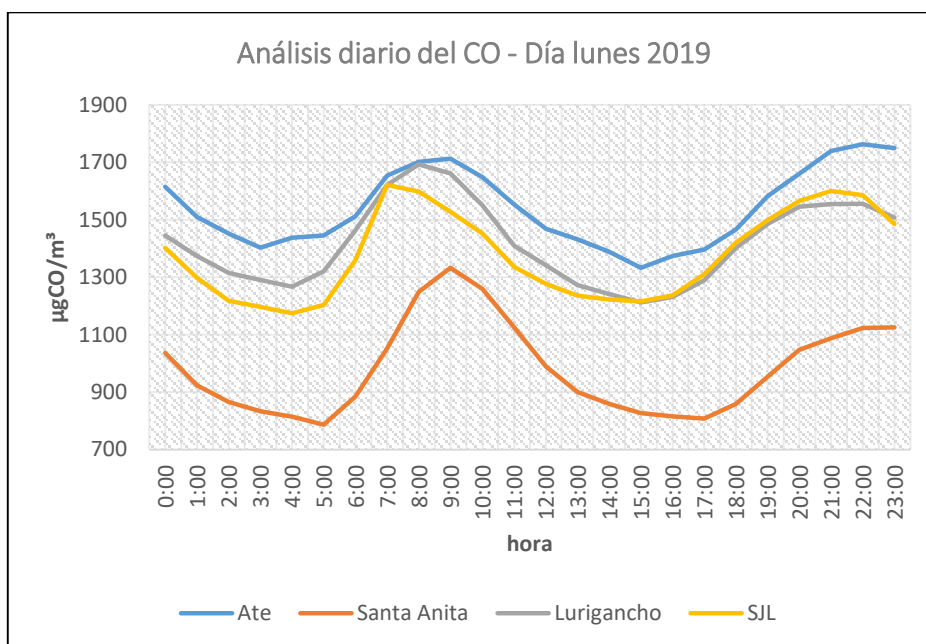


Fuente: Elaboración propia

4.1.2.5. Análisis diario del monóxido de carbono en Lima Este 2019

Se agrupó la data de las concentraciones de monóxido de carbono 2019 en función de los días de la semana (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo). Luego, producto de ello, se obtuvieron los siguientes gráficos para concentraciones de monóxido de carbono estacionales espaciales (Ate, Santa Anita, Lurigancho y San Juan de Lurigancho).

Figura 43: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día lunes de 2019.

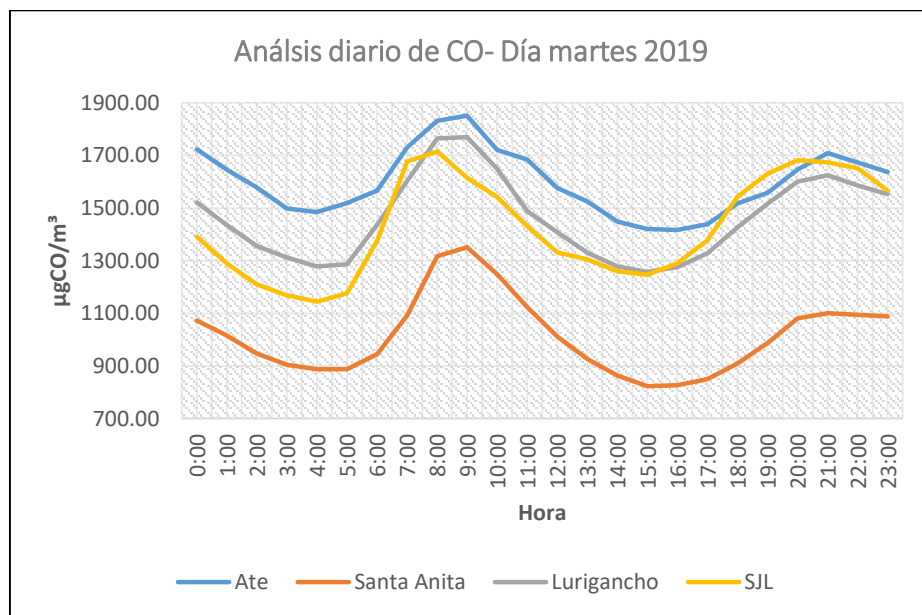


Fuente: Elaboración propia

La figura 43 muestra la concentración media del día lunes del 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio. Las curvas de concentración de CO que se obtuvieron para el lunes del 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo poseen una forma sinodal; siendo la estación de monitoreo de Ate la que tuvo una curva de concentraciones por encima de las otras, en contraposición la curva para la estación de monitoreo Santa Anita es la que tuvo una curva inferior a las otras. Asimismo, la curva muestra las medias máximas de CO registradas para el día en cuestión, las mismas que se manifiestan en horas de la mañana (07:00 – 09:00 horas) y horas de la noche (21:00 – 23:00 horas) con valles de concentración de los días lunes manifestadas en horas de la madrugada (03:00 – 05:00 horas) y horas de la tarde (15:00 – 17:00 horas).

Finalmente, del gráfico precedente, se observa que, en ninguna estación, para ninguna hora, se supera el estándar de calidad ambiental para aire ECA (DS-003-2017-MINAM) de 30000 µgCO/m³.

Figura 44: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día martes de 2019.

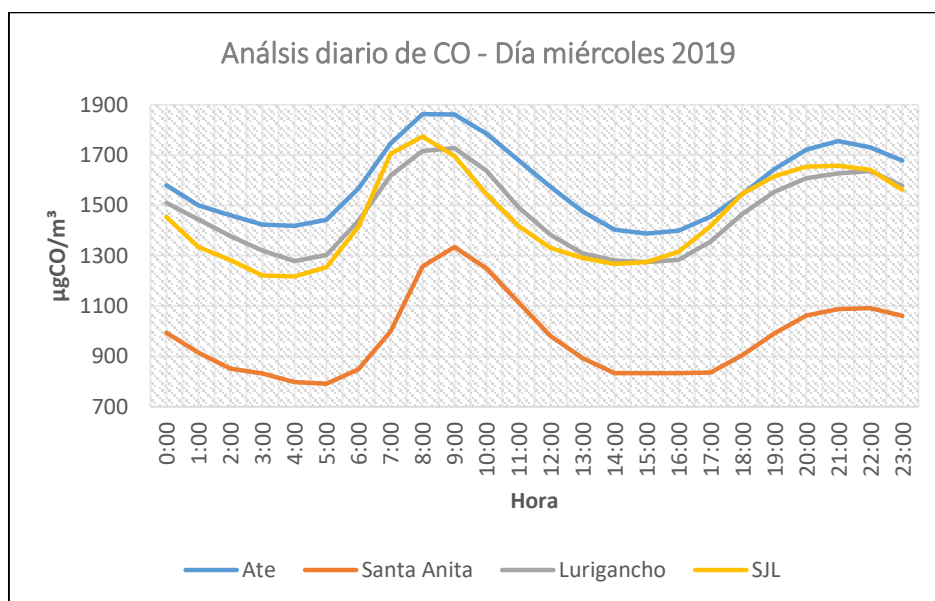


Fuente: Elaboración propia

La figura 44 muestra la concentración media del día martes del 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio. Las curvas de concentración de CO que se obtuvieron para el martes del 2019, en las cuatro estaciones de monitoreo, poseen una forma sinodal; siendo la estación de monitoreo de Ate la que tuvo una curva de concentraciones por encima de las otras, en contraposición la curva para la estación de monitoreo Santa Anita es la que tuvo una curva inferior a las otras. Asimismo, la curva muestra las medias máximas de CO registradas para el día en cuestión, las mismas que se manifiestan en horas de la mañana (08:00 – 09:00 horas) y horas de la noche (20:00 – 21:00 horas) con valles de concentración de los días martes manifestadas en horas de la madrugada (04:00 – 05:00 horas) y horas de la tarde (15:00 – 16:00 horas).

Finalmente, del gráfico precedente, se observa que, en ninguna estación, para ninguna hora, se supera el estándar de calidad ambiental para aire ECA (DS-003-2017-MINAM) de 30000 µgCO/m³.

Figura 45: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día miércoles de 2019.

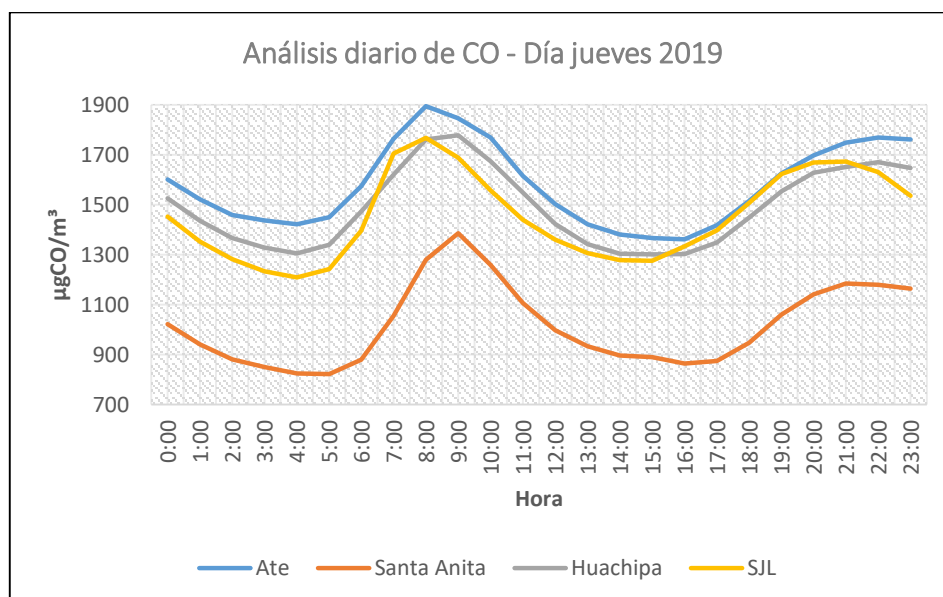


Fuente: Elaboración propia

La figura 45 muestra la concentración media del día miércoles del 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio. Las curvas de concentración de CO que se obtuvieron para el miércoles del 2019, en las cuatro estaciones de monitoreo, poseen una forma sinodal; siendo la estación de monitoreo de Ate la que tuvo una curva de concentraciones por encima de las otras, en contraposición la curva para la estación de monitoreo Santa Anita es la que tuvo una curva inferior a las otras. Asimismo, la curva muestra las medias máximas de CO registradas para el día en cuestión, las mismas que se manifiestan en horas de la mañana (08:00 – 09:00 horas) y horas de la noche (21:00 – 22:00 horas) con simas de concentración de los días miércoles manifestadas en horas de la madrugada (03:00 – 05:00 horas) y horas de la tarde (14:00 – 16:00 horas).

Finalmente, del gráfico precedente, se observa que, en ninguna estación, para ninguna hora, se supera el estándar de calidad ambiental para aire ECA (DS-003-2017-MINAM) de 30000 µgCO/m³.

Figura 46: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día jueves de 2019.

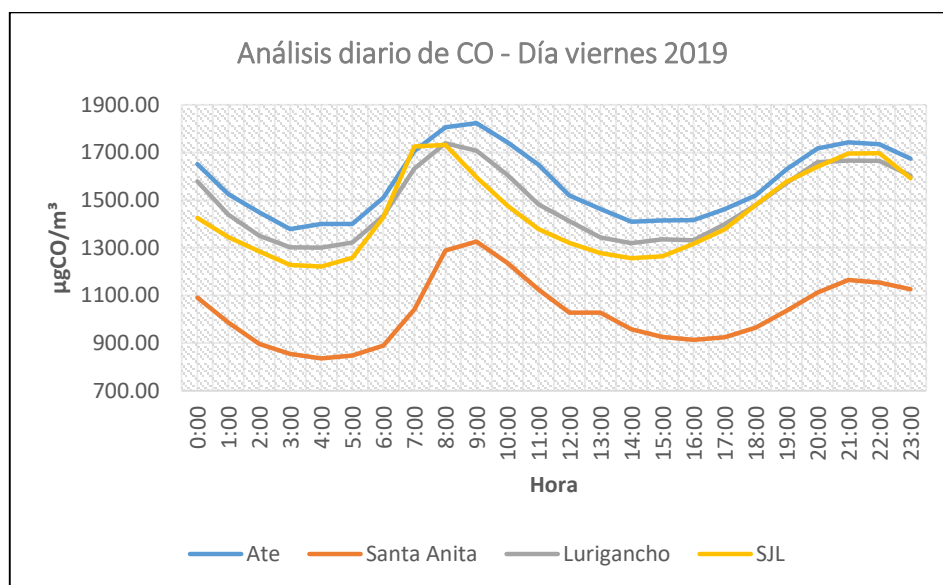


Fuente: Elaboración propia

La figura 46 muestra la concentración media del día jueves del 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio. Las curvas de concentración de CO que se obtuvieron para el jueves del 2019, en las cuatro estaciones de monitoreo, poseen una forma sinodal; siendo la estación de monitoreo de Ate la que tuvo una curva de concentraciones por encima de las otras, en contraposición la curva para la estación de monitoreo Santa Anita es la que tuvo una curva inferior a las otras. Asimismo, la curva muestra las medias máximas de CO registradas para el día en cuestión, las mismas que se manifiestan en horas de la mañana (08:00 – 09:00 horas) y horas de la noche (21:00 – 22:00 horas) con simas de concentración de los días jueves manifestadas en horas de la madrugada (04:00 – 05:00 horas) y horas de la tarde (15:00 – 17:00 horas).

Finalmente, del gráfico precedente, se observa que, en ninguna estación, para ninguna hora, se supera el estándar de calidad ambiental para aire ECA (DS-003-2017-MINAM) de 30000 µgCO/m³.

Figura 47: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día viernes de 2019.

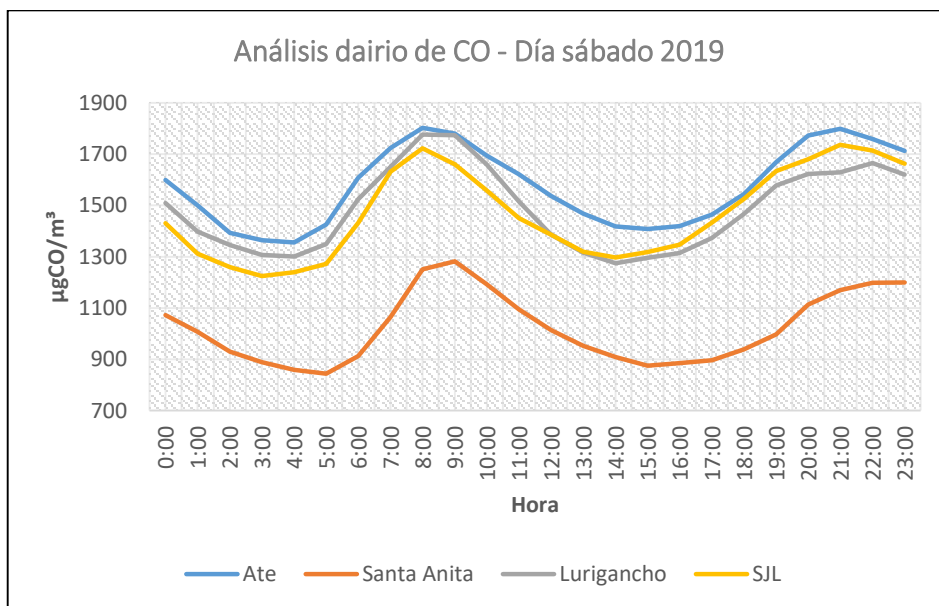


Fuente: Elaboración propia

La figura 47 muestra la concentración media del día viernes del 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio. Las curvas de concentración de CO que se obtuvieron para el viernes del 2019, en las cuatro estaciones de monitoreo, poseen una forma sinodal; siendo la estación de monitoreo de Ate la que tuvo una curva de concentraciones por encima de las otras, en contraposición la curva para la estación de monitoreo Santa Anita es la que tuvo una curva inferior a las otras. Asimismo, la curva muestra las medias máximas de CO registradas para el día en cuestión, las mismas que se manifiestan en horas de la mañana (07:00 – 09:00 horas) y horas de la noche (20:00 – 22:00 horas) con simas de concentración de los días viernes manifestadas en horas de la madrugada (03:00 – 05:00 horas) y horas de la tarde (14:00 – 16:00 horas).

Finalmente, del gráfico precedente, se observa que, en ninguna estación, para ninguna hora, se supera el estándar de calidad ambiental para aire ECA (DS-003-2017-MINAM) de 30000 µgCO/m³.

Figura 48: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día sábado de 2019.

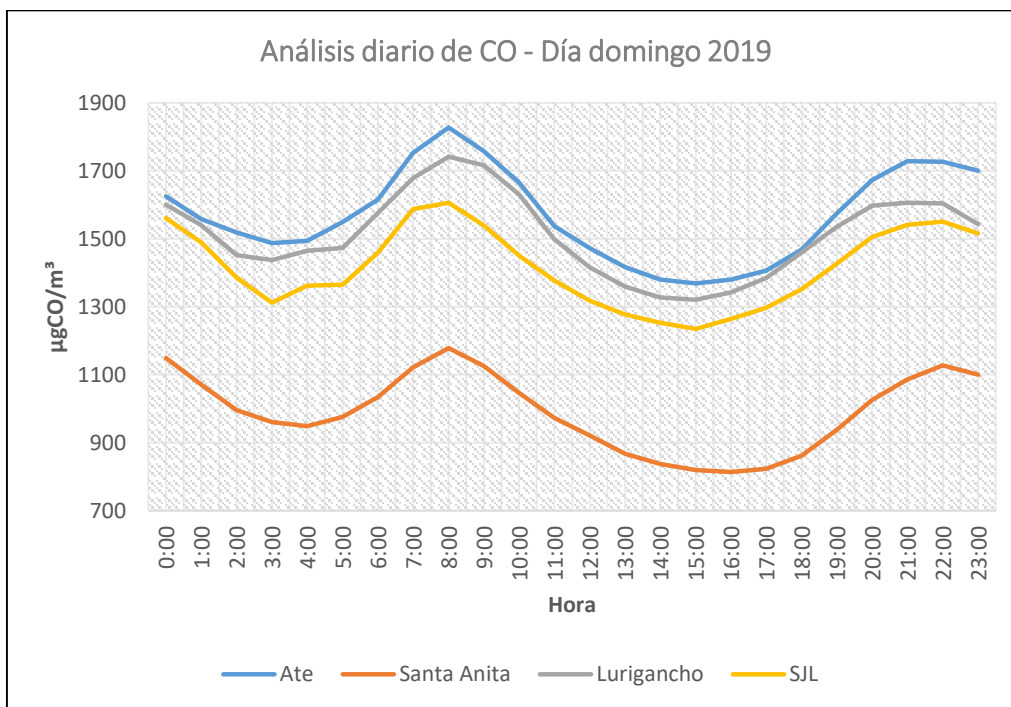


Fuente: Elaboración propia

La figura 48 muestra la concentración media del día sábado del 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio. Las curvas de concentración de CO que se obtuvieron para el sábado del 2019, en las cuatro estaciones de monitoreo, poseen una forma sinodal; siendo la estación de monitoreo de Ate la que tuvo una curva de concentraciones por encima de las otras, en contraposición la curva para la estación de monitoreo Santa Anita es la que tuvo una curva inferior a las otras. Asimismo, la curva muestra las medias máximas de CO registradas para el día en cuestión, las mismas que se manifiestan en horas de la mañana (08:00 – 09:00 horas) y horas de la noche (21:00 – 22:00 horas) con simas de concentración de los días sábado manifestadas en horas de la madrugada (03:00 – 05:00 horas) y horas de la tarde (14:00 – 16:00 horas).

Finalmente, del gráfico precedente, se observa que, en ninguna estación, para ninguna hora, se supera el estándar de calidad ambiental para aire ECA (DS-003-2017-MINAM) de 30000 µgCO/m³.

Figura 49: Variabilidad del monóxido de carbono en los puntos de monitoreo de Lima Este - Día domingo de 2019.



Fuente: Elaboración propia

La figura 49 muestra la concentración media del día domingo del 2019 en las cuatro estaciones de monitoreo consideradas para el presente estudio. Las curvas de concentración de CO que se obtuvieron para el domingo del 2019, en las cuatro estaciones de monitoreo, poseen una forma sinodal; siendo la estación de monitoreo de Ate la que tuvo una curva de concentraciones por encima de las otras, en contraposición la curva para la estación de monitoreo Santa Anita es la que tuvo una curva inferior a las otras. Asimismo, la curva muestra las medias máximas de CO registradas para el día en cuestión, las mismas que se manifiestan en horas de la mañana (08:00 – 09:00 horas) y horas de la noche (20:00 – 22:00 horas) con simas de concentración de los días domingo manifestadas en horas de la madrugada (03:00 – 04:00 horas) y horas de la tarde (14:00 – 16:00 horas).

Por otro lado, del gráfico precedente, se observa que, en ninguna estación, para ninguna hora, se supera el estándar de calidad ambiental para aire ECA (DS-003-2017-MINAM) de 30000 µgCO/m³.

Finalmente, se observa más estabilidad (rango de [CO] menor en comparación con los otros días de la semana) en las concentraciones observadas en el día domingo, probablemente a raíz de los factores de emisión; ya que en los días domingo el flujo vehicular urbano suele ser menor en comparación con los otros días de la semana.

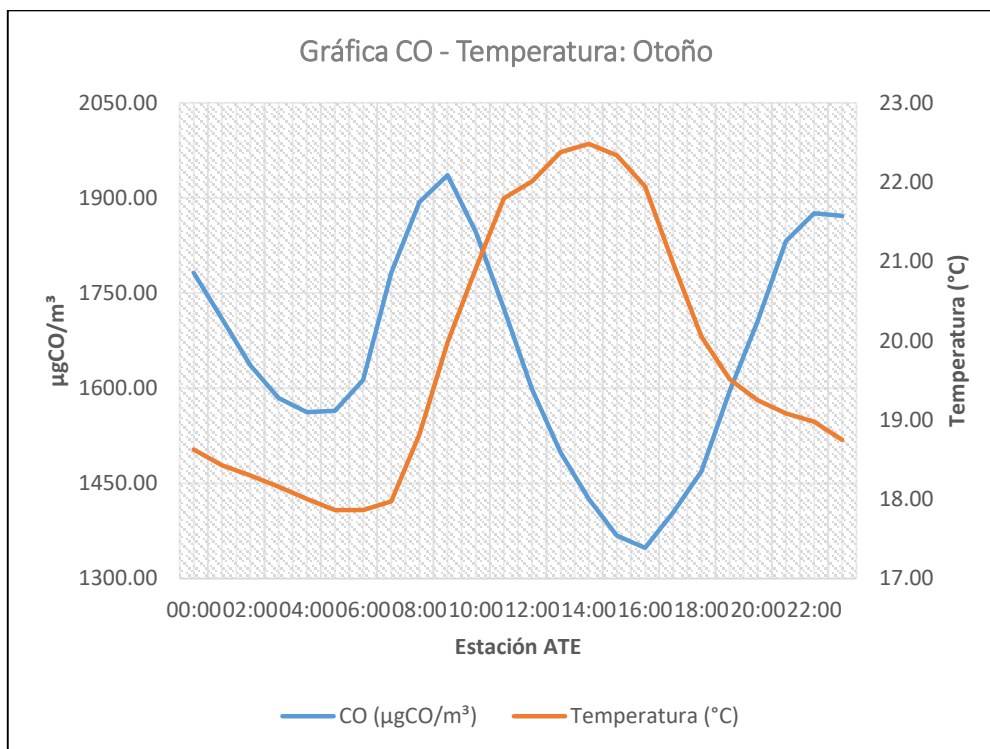
4.1.3. ANÁLISIS ESTACIONAL DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA TEMPERATURA AMBIENTAL

En esta sección, se analiza la dinámica de la temperatura y dinámica de la concentración del monóxido de carbono, haciendo énfasis en los periodos estacionales del año en evaluación (otoño del 2019, invierno del 2019, primavera del 2019 y verano del 2019) y los puntos de monitoreo considerados en el presente estudio (EM Ate, EM Santa Anita, EM Lurigancho y EM San Juan de Lurigancho).

4.1.3.1. Evaluación del monóxido de carbono y la temperatura ambiental en el otoño de 2019

La siguiente figura muestra la dinámica de la concentración del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el otoño del 2019 en la estación de monitoreo Ate y teniendo en consideración medias horarias del otoño del 2019.

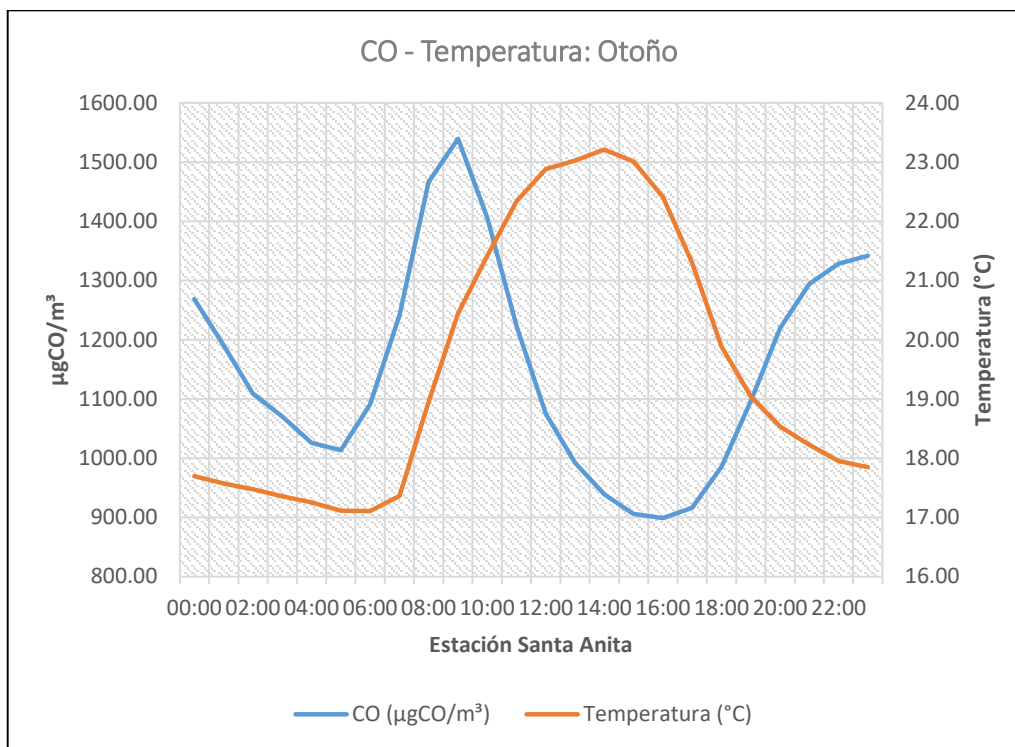
Figura 50: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Ate, para el periodo otoño del 2019.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 50, se observa que en horas de la mañana las gráficas temperatura ambiental-concentración de CO muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe esa posible relación directa, a las 09:00, para, en el resto del día, mostrar una posible relación inversa. En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (22.34 °C, a las 15 horas) para luego descender; de otro lado, el CO llega a un punto mínimo de 1348.58 µgCO/m³ a las 16:00 horas e inicia un aumento en la concentración (3 horas después de que la temperatura ambiental inicia su decremento) para el resto de la tarde.

Figura 51: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Santa Anita, para el periodo otoño del 2019.

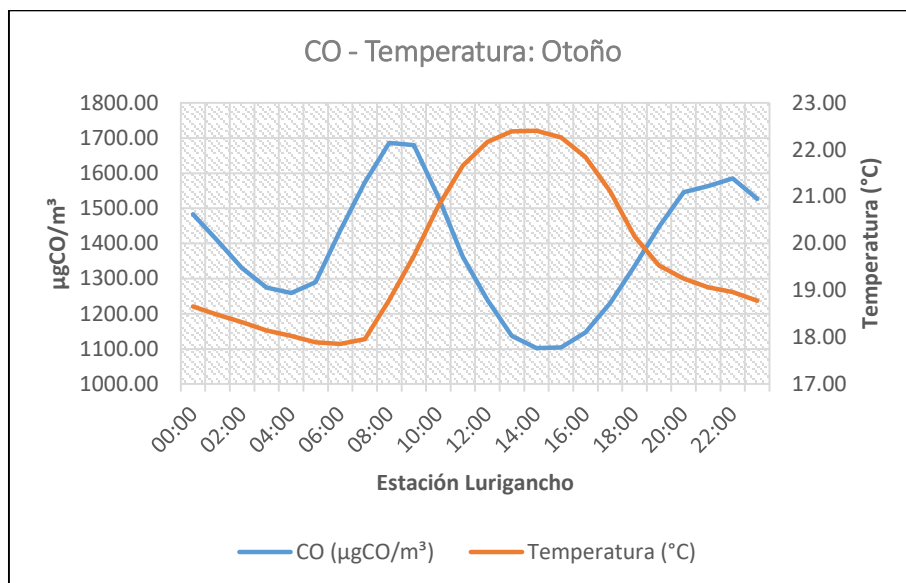


Fuente: Elaboración propia

La figura 51 muestra un análisis de la temperatura ambiental y la concentración media horaria del monóxido de carbono, para las 24 horas del día, ocurrida en la estación de monitoreo Santa Anita en el otoño del 2019; en la gráfica se observa que en horas de la mañana las gráficas temperatura ambiental-concentración de CO muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe la posible relación directa, a las 09:00, para, en el resto del día, mostrar una relación inversa. En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (23.21 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO llega a un punto mínimo de 898.50 µgCO/m³ a las 16:00 horas e inicia un aumento en la concentración (4 horas después de que la temperatura ambiental inicia su decremento) para el resto de la tarde.

La figura 52 muestra un análisis de la temperatura ambiental media y la concentración de monóxido de carbono media, para las 24 horas del día, ocurrida en la estación de monitoreo Lurigancho en el otoño del 2019; en la gráfica se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe la posible relación directa, a las 08:00, para, en el resto de día, mostrar una posible relación inversa. En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (22.40 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO llega a un punto mínimo de 1102.24 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ a las 14:00 horas e inicia un aumento en la concentración (1 hora después de que la temperatura ambiental inicia su decremento) para el resto de la tarde, ello, en esta estación de monitoreo en particular a las 22:00 horas se rompe la relación inversa. Entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una probable relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una relación inversa (variando en un primer momento la temperatura y luego la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa que ocurrió, nuevamente, una probable relación directa entre las variables (El que rompe la relación inversa es, otra vez, el contaminante).

Figura 52: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Lurigancho, para el periodo otoño del 2019.



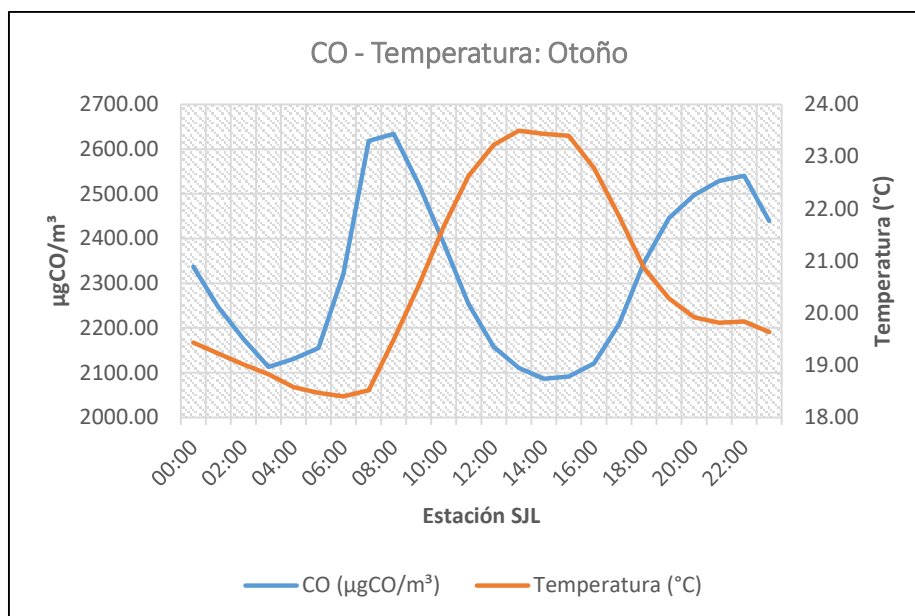
Fuente: Elaboración propia

La figura 53 muestra el análisis de la temperatura ambiental media y la concentración media de monóxido de carbono, para las 24 horas del día, ocurrida en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho en el otoño del 2019.

En la gráfica se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una probable relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe la probable relación directa, a las 08:00, para, en el resto de día, mostrar una posible relación inversa. En el tramo de la relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (23.50 °C, a las 13 horas) para luego descender; paralelamente, el CO llega a un punto mínimo de 2086.05 µgCO/m³ a las 14:00 horas e inicia un aumento en la concentración (01 horas después de que la temperatura ambiental inicia su decremento) para el resto de la tarde, ello, en esta estación de monitoreo en particular a las 22:00 horas se rompe la posible relación inversa.

Entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento, de la temperatura ambiental y el contaminante, con una probable relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa que ocurrió, nuevamente una probable relación directa entre las variables (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

Figura 53: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo SJL, para el periodo otoño del 2019.



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, del periodo otoño del 2019, respecto de comportamiento contaminante/temperatura ambiental, de manera general para las cuatro estaciones se observa que, en las primeras horas del día, los parámetros en cuestión mostraron una probable relación directa (horas donde no se observan cambios significativos de la temperatura), luego, a medida que pasan las horas, el monóxido de carbono rompe la probable relación directa existente (probablemente debido que haya un aumento en las emisiones de CO por parte del parque automotor). Lo anterior podría interpretarse que cuando hay cambios significativos en la temperatura, la relación entre [CO] en el

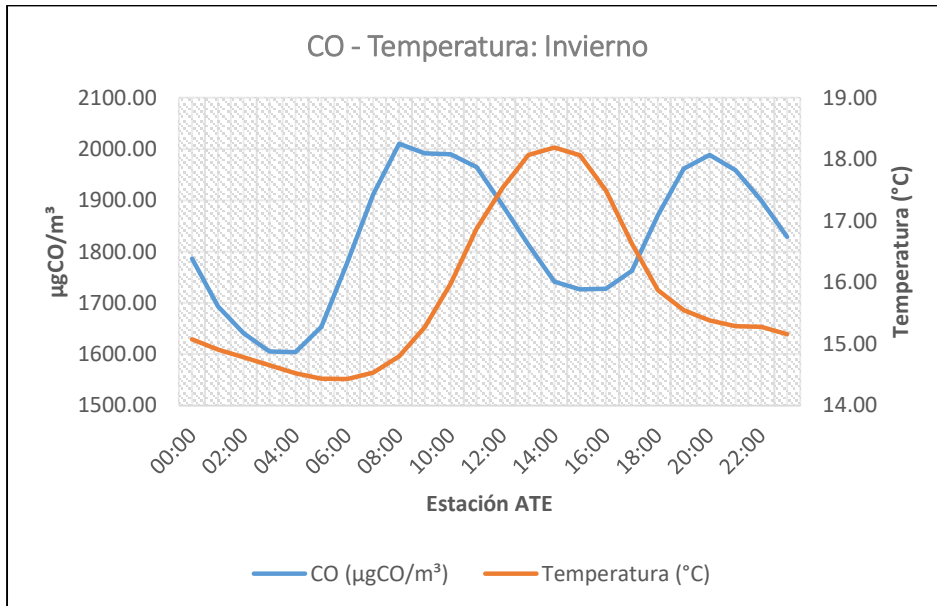
aire de Lima Este y la temperatura ambiental mostrarían una relación inversa.

4.1.3.2. Evaluación del monóxido de carbono y la temperatura ambiental en el invierno de 2019

En esta sección, se analiza la relación de la concentración media del monóxido de carbono (contaminante) y la temperatura ambiental media evaluada en el invierno del 2019.

La siguiente figura, figura N°54, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el invierno del 2019 en la estación de monitoreo Ate y teniendo en consideración medias horarias del invierno del 2019.

Figura 54: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Ate, para el periodo invierno del 2019.



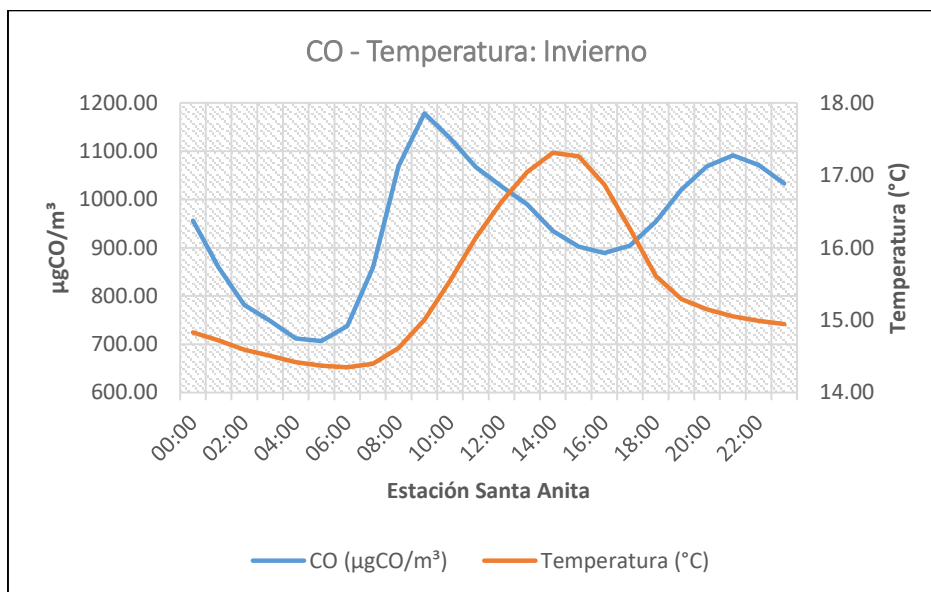
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°54, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un

comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe la posible relación directa, a las 08:00, para luego mostrar una posible relación inversa. En el tramo de la relación posible inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (18.19 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 1726.17 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ a las 15:00 horas e inicia un aumento en la concentración (01 hora después de que la temperatura ambiental inicia su decremento) para el resto de la tarde. Posteriormente, a las 22:00 horas, se rompe la posible relación inversa; entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una posible relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa que ocurrió, nuevamente, una probable relación directa entre las variables (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

La siguiente figura, figura N°55, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el invierno del 2019 en la estación de monitoreo Santa Anita, y teniendo en consideración medias horarias del invierno del 2019.

Figura 55: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Santa Anita, para el periodo invierno del 2019.



Fuente: Elaboración propia

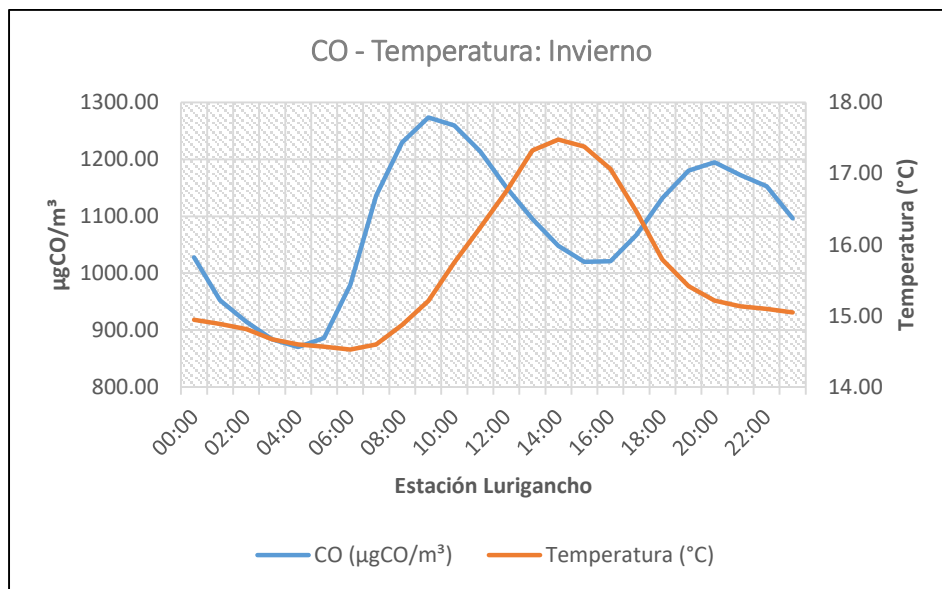
En la gráfica precedente, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe la posible relación directa, a las 09:00, para luego mostrar una relación inversa. En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (17.31 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 889.09 µgCO/m³ a las 16:00 horas e inicia un aumento en la concentración (02 horas después de que la temperatura ambiental inicia su decremento).

Posteriormente, a las 21:00 horas, se rompe la posible relación inversa; entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una probable relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una posible relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa

que ocurrió, nuevamente, una posible relación directa entre las variables (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

La siguiente figura, figura N°56, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el invierno del 2019 en la estación de monitoreo Lurigancho, y teniendo en consideración medias horarias del invierno del 2019.

Figura 56: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Lurigancho, para el periodo invierno del 2019.



Fuente: Elaboración propia

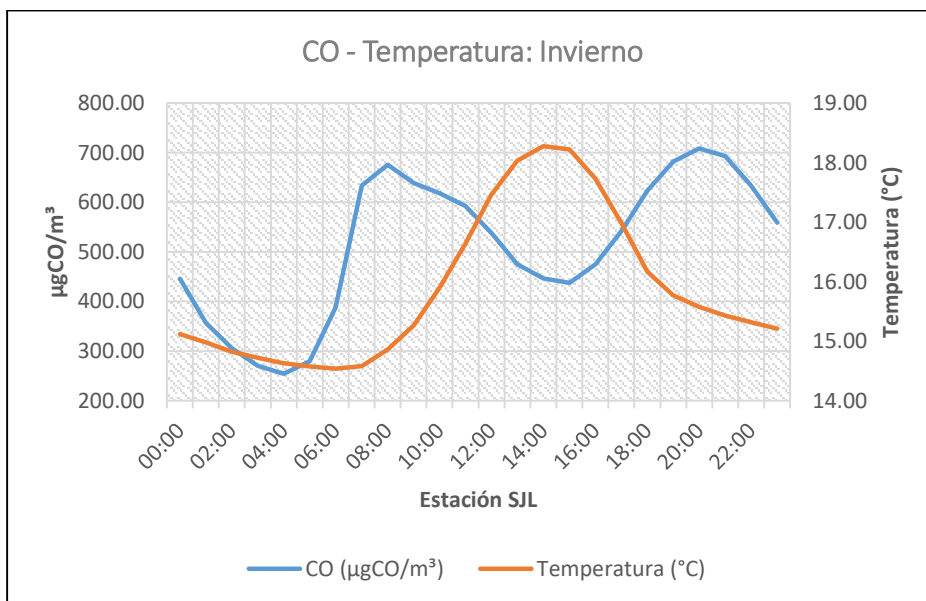
La gráfica precedente muestra que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe ello, a las 09:00, para luego mostrar una posible relación inversa. En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (17.48 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 1019.97 µgCO/m³ a las 15:00 horas e inicia un aumento en la

concentración (01 hora después de que la temperatura ambiental inicia su decremento).

Posteriormente, a las 20:00 horas, se rompe la posible relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa); entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una posible relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una posible relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa que ocurrió, nuevamente, el escenario de las primeras horas del día (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

La siguiente figura, figura N°57, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el invierno del 2019 en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho, y teniendo en consideración medias horarias del invierno del 2019.

Figura 57: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo SJL, para el periodo invierno del 2019.



Fuente: Elaboración propia

La gráfica precedente muestra que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe ello, a las 08:00, para luego mostrar una posible relación inversa.

En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (18.27 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 437.37 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ a las 15:00 horas e inicia un aumento en la concentración (01 hora después de que la temperatura ambiental inicia su decremento).

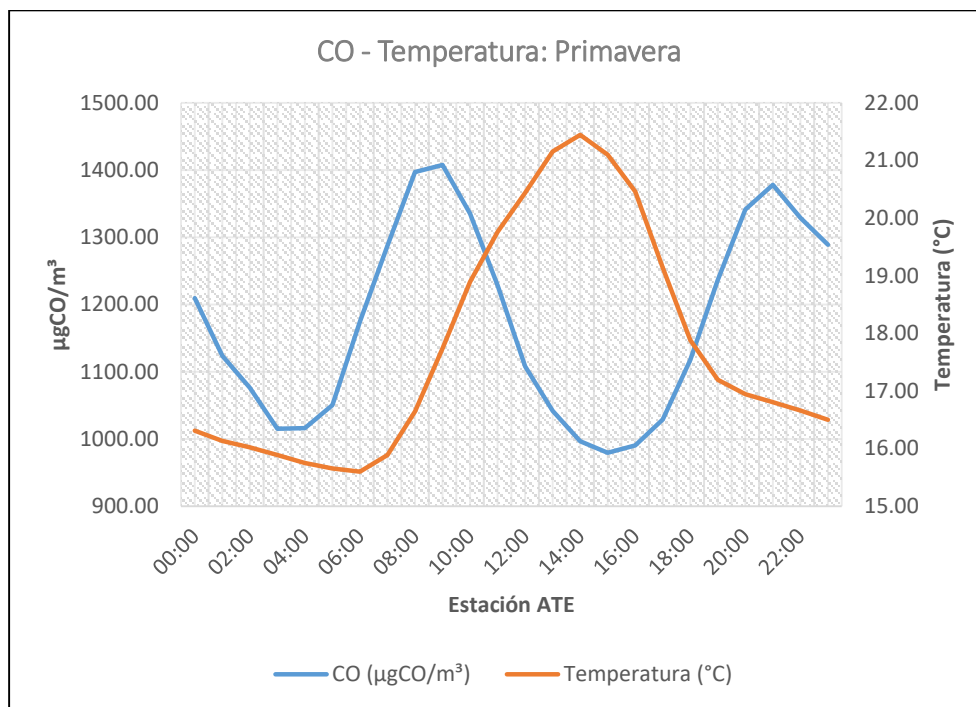
Posteriormente, a las 20:00 horas, se rompe la posible relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa); entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una probable relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa que ocurrió, nuevamente, una probable relación directa entre las variables (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

4.1.3.3. Evaluación del monóxido de carbono y la temperatura ambiental en la primavera de 2019

En esta sección, se analiza la relación de la concentración media del monóxido de carbono (contaminante) y la temperatura ambiental media evaluada en la primavera del 2019.

La siguiente figura, figura N°58, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para la primavera del 2019 en la estación de monitoreo Ate, y teniendo en consideración medias horarias de la primavera del 2019.

Figura 58: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Ate, para el periodo primavera del 2019.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 58, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe la posible relación directa, a las 09:00, para luego mostrar aparentemente una probable relación inversa.

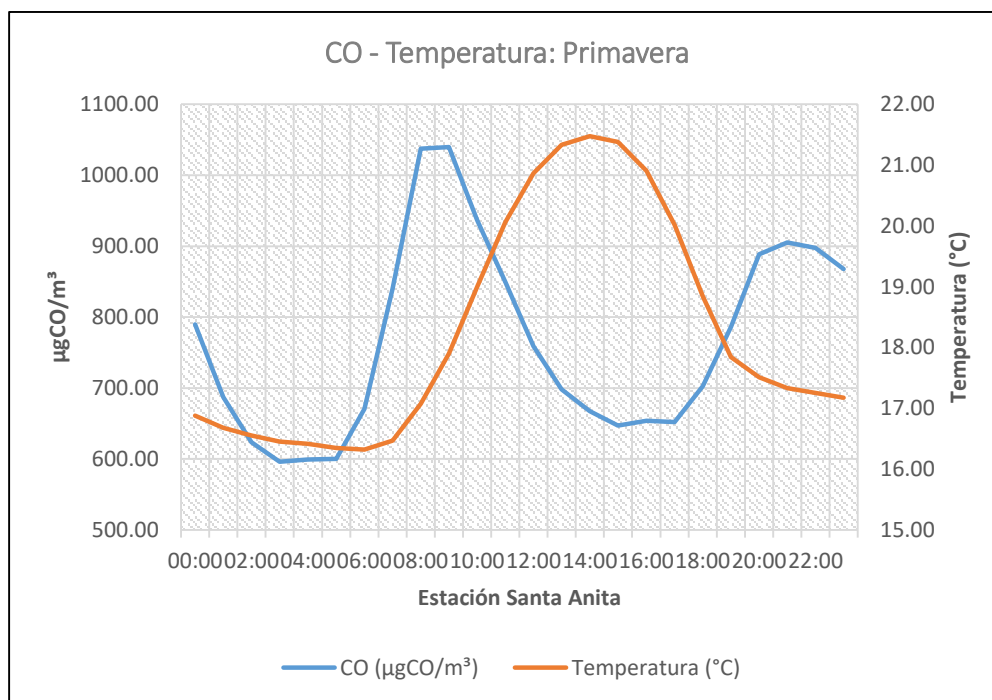
En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (21.44 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 979.35 µgCO/m³ a las 15:00 horas e inicia un aumento en la concentración (1 hora después de que la temperatura ambiental inicia su decremento).

Posteriormente, a las 21:00 horas, se rompe la posible relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa); entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con

una posible relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una posible relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa que ocurrió, nuevamente, una relación directa entre las variables (quien rompe la relación es, nuevamente, el contaminante).

La siguiente figura, figura 59, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para la primavera del 2019 en la estación de monitoreo Santa Anita, y teniendo en consideración medias horarias de la primavera del 2019.

Figura 59: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Santa Anita, para el periodo primavera del 2019.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 59, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo,

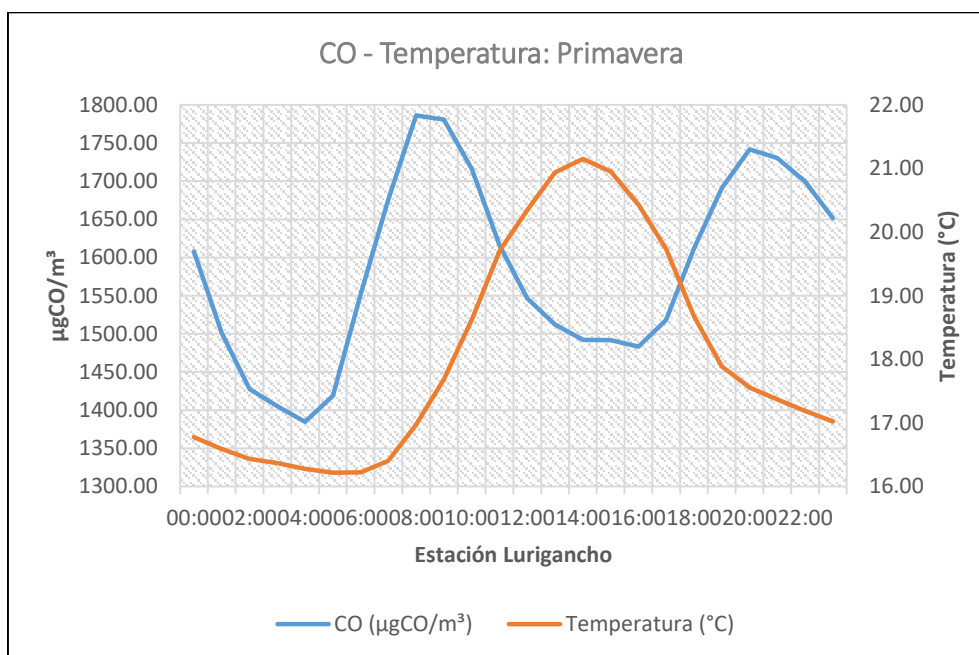
posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe esa relación, a las 08:00, para luego mostrar una posible relación inversa.

En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (21.48 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 647.18 $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ a las 15:00 horas e inicia un aumento en la concentración (1 hora después de que la temperatura ambiental inicia su decremento).

Posteriormente, a las 21:00 horas, se rompe la posible relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa); entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una posible relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa, nuevamente, una posible relación directa entre las variables (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

La siguiente figura, figura 60, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para la primavera del 2019 en la estación de monitoreo Lurigancho, y teniendo en consideración medias horarias de la primavera del 2019.

Figura 60: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Lurigancho, para el periodo primavera del 2019.



Fuente: Elaboración propia

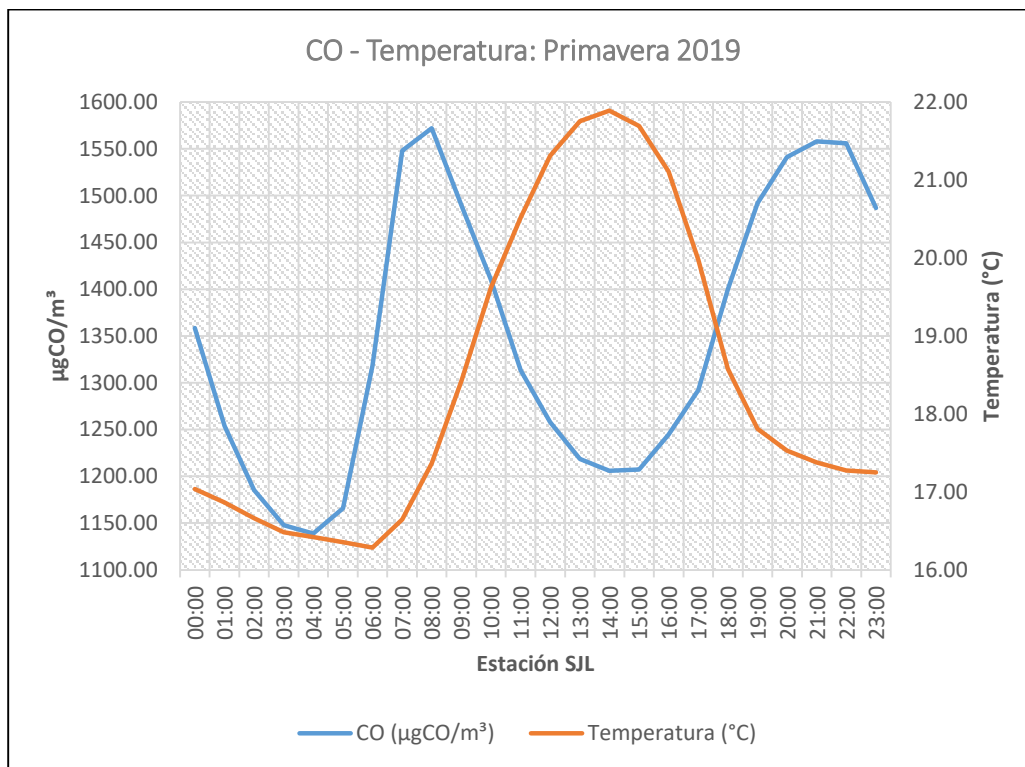
En la gráfica N°60, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe esa relación, a las 08:00, para luego mostrar una posible relación inversa. En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (21.15 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 1483.33 µgCO/m³ a las 16:00 horas e inicia un aumento en la concentración (2 horas después de que la temperatura ambiental inicia su decremento).

Posteriormente, a las 20:00 horas, se rompe la posible relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa); entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una posible relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una

relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa, nuevamente, una posible relación directa entre las variables (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

La siguiente figura, figura N°61, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para la primavera del 2019 en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho, y teniendo en consideración medias horarias de la primavera del 2019.

Figura 61: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo SJL, para el periodo primavera del 2019.



Fuente: Elaboración propia

En la figura N°61, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo,

posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe esa relación, a las 08:00, para luego mostrar una posible relación inversa.

En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (21.89 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 1205.77 µgCO/m³ a las 14:00 horas e inicia un aumento en la concentración. Posteriormente, a las 22:00 horas, se rompe la posible relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa).

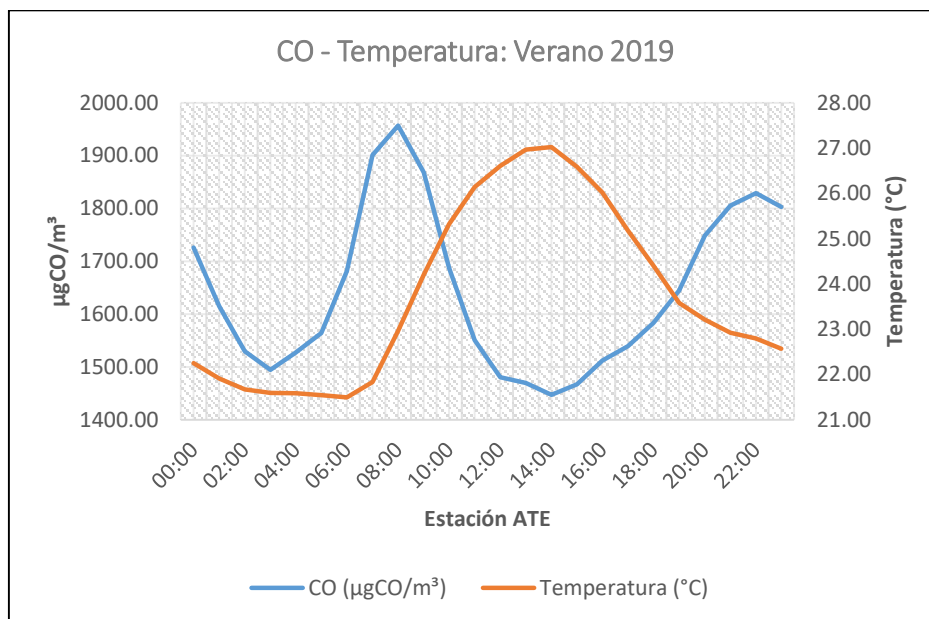
En general, los análisis realizados para la primavera del 2019 indican que en las primeras horas del día ocurrió una disminución de la concentración de monóxido de carbono en Lima Este, que no se podría atribuir al factor temperatura (puesto que la variación de esta en las primeras horas del día es descendente y mínima), un escenario similar ocurre en horas de la noche (de las 22:00 horas en adelante, generalmente). Asimismo, cuando la variación de la temperatura es aparentemente significativa, se observa una posible relación inversa entre las variables.

4.1.3.4. Evaluación del monóxido de carbono y la temperatura ambiental en el verano de 2019

En esta sección, se analiza la relación de la concentración media del monóxido de carbono (contaminante) y la temperatura ambiental media evaluada en el verano del 2019.

La siguiente figura, figura N°62, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el verano del 2019 en la estación de monitoreo Ate, y teniendo en consideración medias horarias del verano del 2019.

Figura 62: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Ate, para el periodo verano del 2019.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 62, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe esa relación, a las 08:00, para luego mostrar una posible relación inversa.

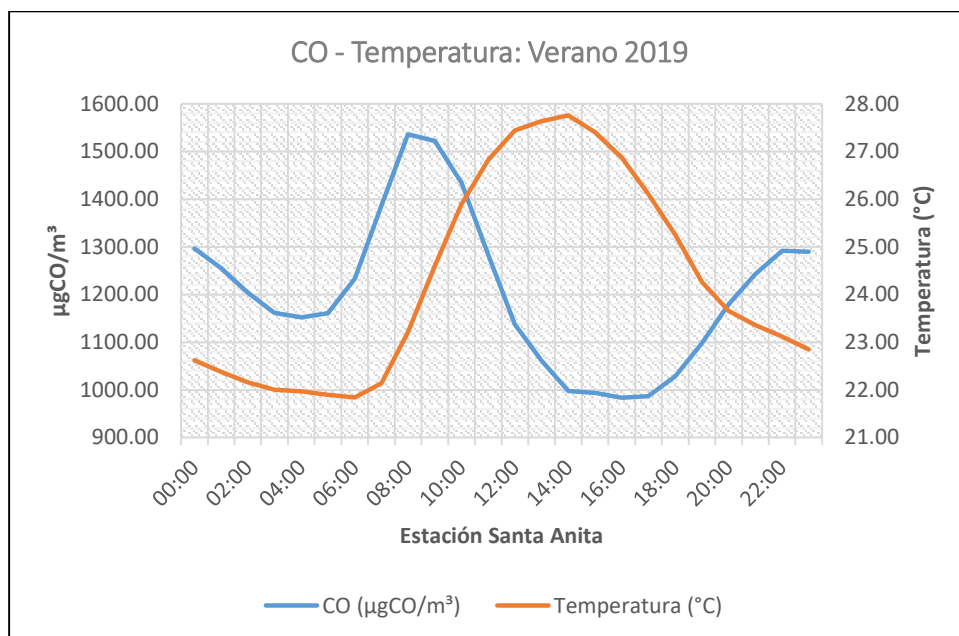
En el tramo donde ocurre la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (27.03 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 1447.57 µgCO/m³ a las 14:00 horas e inicia un aumento en la concentración.

Posteriormente, a las 22:00 horas, se rompe la posible relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa); entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una posible relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una probable relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa

que ocurrió, nuevamente, una posible relación directa entre las variables (quien rompe la relación es, nuevamente, el contaminante).

La siguiente figura, figura 63, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el verano del 2019 en la estación de monitoreo Santa Anita, y teniendo en consideración medias horarias del verano del 2019.

Figura 63: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Santa Anita, para el periodo verano del 2019.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 63, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe esa relación, a las 08:00, para luego mostrar una posible relación inversa.

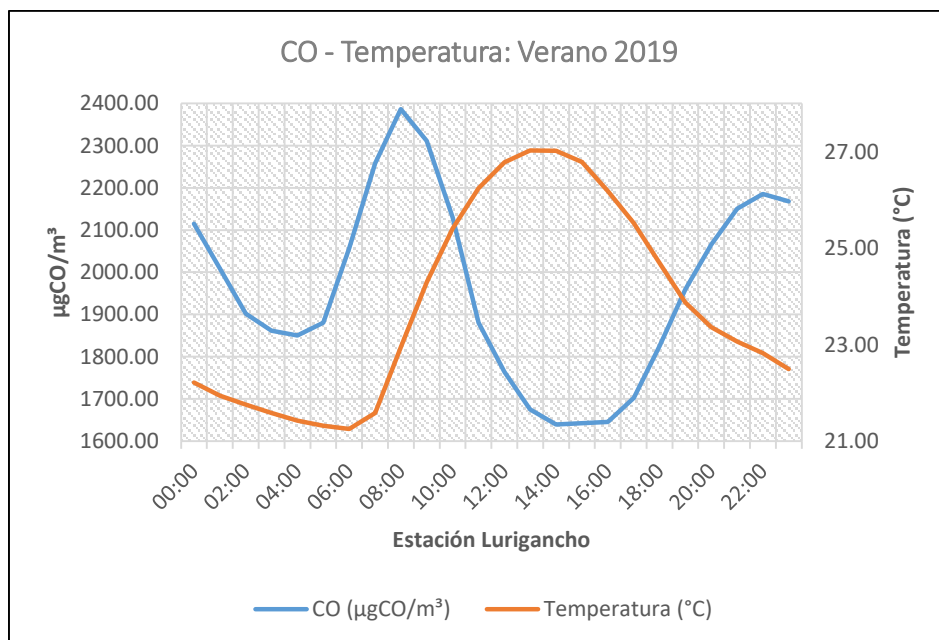
En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (27.76 °C, a las 14 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 983.72 µgCO/m³ a las 16:00 horas e inicia

un aumento en la concentración (2 horas después de que la temperatura ambiental inicia su decremento). Posteriormente, a las 22:00 horas, se rompe la posible relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa).

Es así que la figura, en las primeras horas del día, muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una posible relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una posible relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa, nuevamente, una posible relación directa entre las variables (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

La figura 64, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el verano del 2019 en la estación de monitoreo Lurigancho, y teniendo en consideración medias horarias del verano del 2019.

Figura 64: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo Lurigancho, para el periodo verano del 2019.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 64, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental

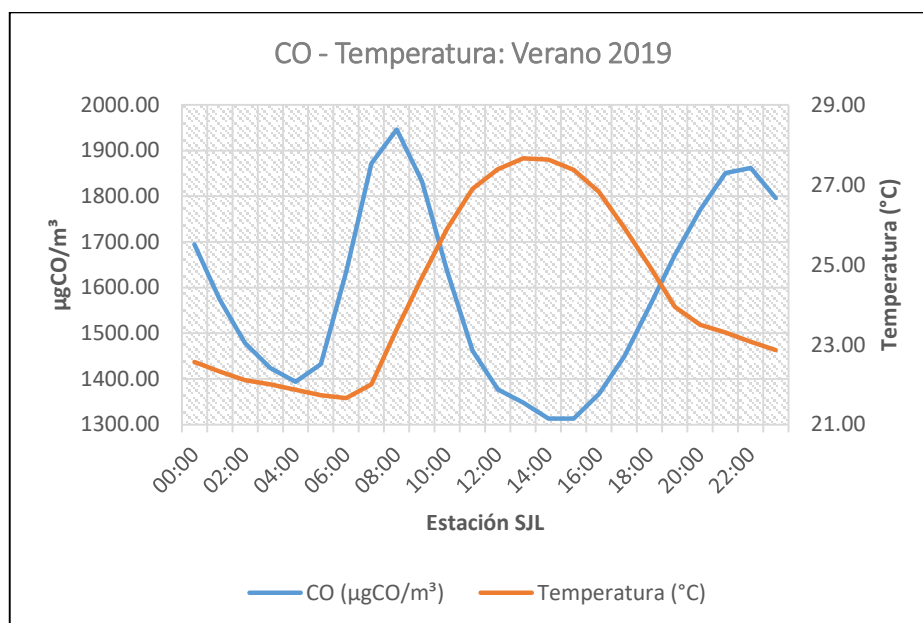
muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe esa posible relación directa, a las 08:00, para luego mostrar una posible relación inversa.

En el tramo de la posible relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (27.03 °C, a las 13 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 1639.55 µgCO/m³ a las 14:00 horas e inicia un aumento en la concentración (1 hora después de que la temperatura ambiental inicia su decremento).

Posteriormente, a las 22:00 horas, se rompe la relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la posible relación inversa); entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una posible relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa, nuevamente, una posible relación directa entre las variables (quien rompe la relación inversa es, nuevamente, el contaminante).

La figura 65, muestra la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de la temperatura ambiental, evaluada para el verano del 2019 en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho, y teniendo en consideración medias horarias del verano del 2019.

Figura 65: Análisis gráfico del CO y la temperatura ambiental, en la estación de monitoreo SJL, para el periodo verano del 2019.



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica precedente, se observa que en horas de la mañana el comportamiento del contaminante y la temperatura ambiental muestran una posible relación directa, ya que ambas muestran un comportamiento descendente y luego ascendente; sin embargo, posteriormente, el monóxido de carbono es el que rompe la posible relación directa, a las 08:00, para luego mostrar una probable relación inversa.

En el tramo de la probable relación inversa, es la temperatura ambiental la que en un primer momento llega a un punto máximo (27.66 °C, a las 13 horas) para luego descender; paralelamente, el CO va descendiendo hasta llegar a 1313.04 µgCO/m³ a las 15:00 horas e inicia un aumento en la concentración (2 horas después de que la temperatura ambiental inicia su decremento).

Posteriormente, a las 22:00 horas, se rompe la probable relación inversa (nuevamente es el contaminante el que rompe la relación inversa); entonces, la figura en las primeras horas del día muestra un comportamiento de la temperatura ambiental y el contaminante con una posible relación directa (el que rompe esta relación es el contaminante), luego a medida que pasan las horas se observa una

posible relación inversa (baja la temperatura y luego aumenta la concentración del contaminante en el aire) y al final del día se observa que ocurrió, nuevamente, una posible relación directa entre las variables (quien rompe la relación es, nuevamente, el contaminante).

De manera general, en las primeras horas del día, los parámetros en cuestión mostraron una probable relación directa (horas donde no se observan cambios significativos de la temperatura); según (13) las emisiones de CO están estrechamente relacionadas con las emisiones vehiculares, por lo que el comportamiento descendente y luego ascendente del CO podría estar relacionado a la ausencia/aumento de flujo vehicular en horas de la madrugada/mañana.

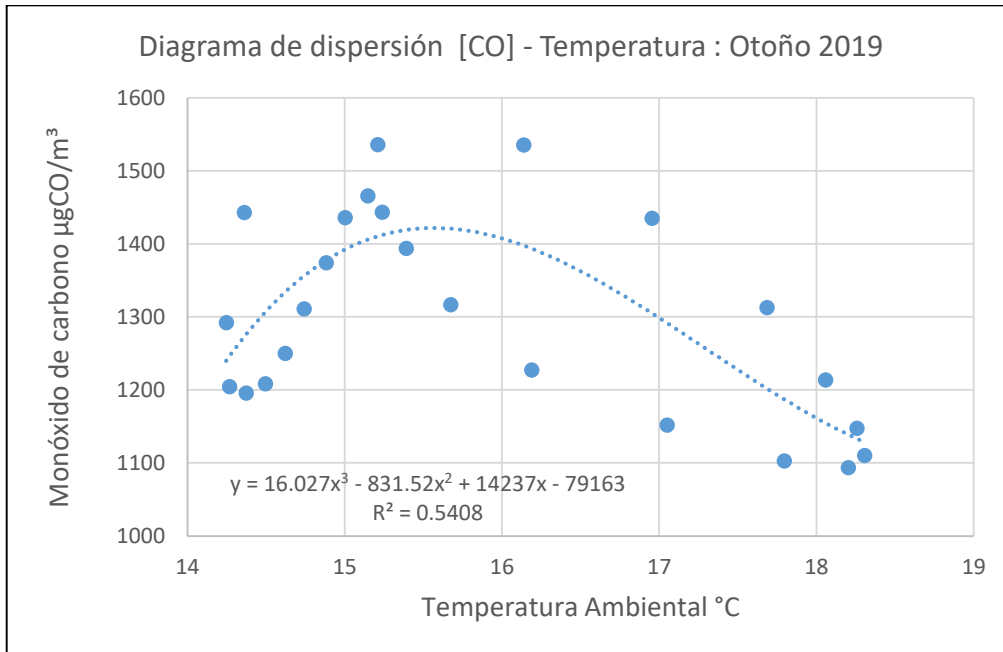
Las gráficas muestran valores máximos en horas de la mañana (8:00 am – 9:00am); este hecho concuerda con (24) en el que las mediciones realizadas muestran valores máximos durante la hora punta de la mañana. Asimismo, la temperatura ambiental aumenta a partir de las 8:00 (generalmente); por lo que según (43) el monóxido de carbono, por reacción química, puede ser transformado en otras moléculas; este hecho se vería reflejado en la disminución del CO en horas del día.

4.1.4. DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN PARA [CO] Y LA TEMPERATURA

En esta sección, se analizan la concentración de monóxido de carbono y la temperatura ambiental de Lima Este del 2019, mediante diagramas de dispersión que en teoría explicarían la variación del monóxido de carbono debido al factor temperatura ambiental. Las evaluaciones se realizan considerando medias horarias estacionales (otoño, invierno, primavera y verano) del 2019 acaecidas en Lima Este en el año 2019.

La figura 66 muestra el diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y la temperatura ambiental del otoño del 2019, en Lima Este.

Figura 66: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la temperatura ambiental en Lima Este: Otoño 2019

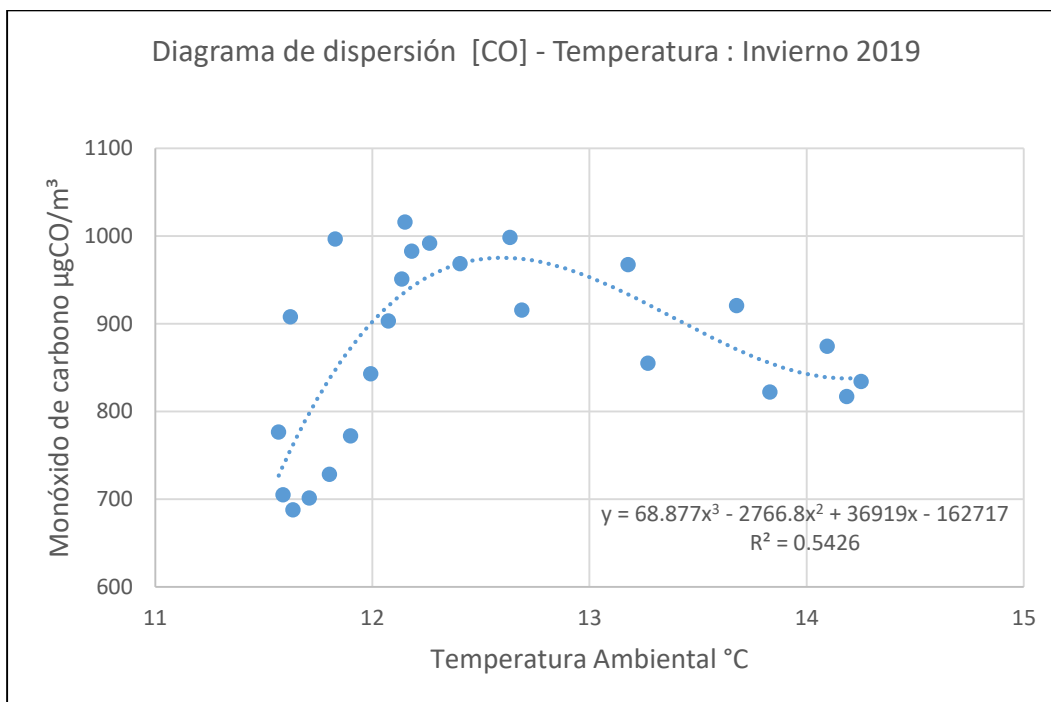


Fuente: Elaboración propia

La figura 66 denota que la variación de la concentración de CO, debida a la temperatura ambiental en el otoño del 2019, podría ser explicada en un 54% por una ecuación polinómica de tercer grado. Sin embargo, el diagrama muestra dos secciones marcadas: una sección positiva (lo que podría interpretarse como una posible relación directa) y una sección negativa (lo que podría interpretarse como una posible relación inversa).

La figura 67 muestra el diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y la temperatura ambiental del invierno del 2019, en Lima Este.

Figura 67: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la temperatura ambiental en Lima Este: Invierno 2019.

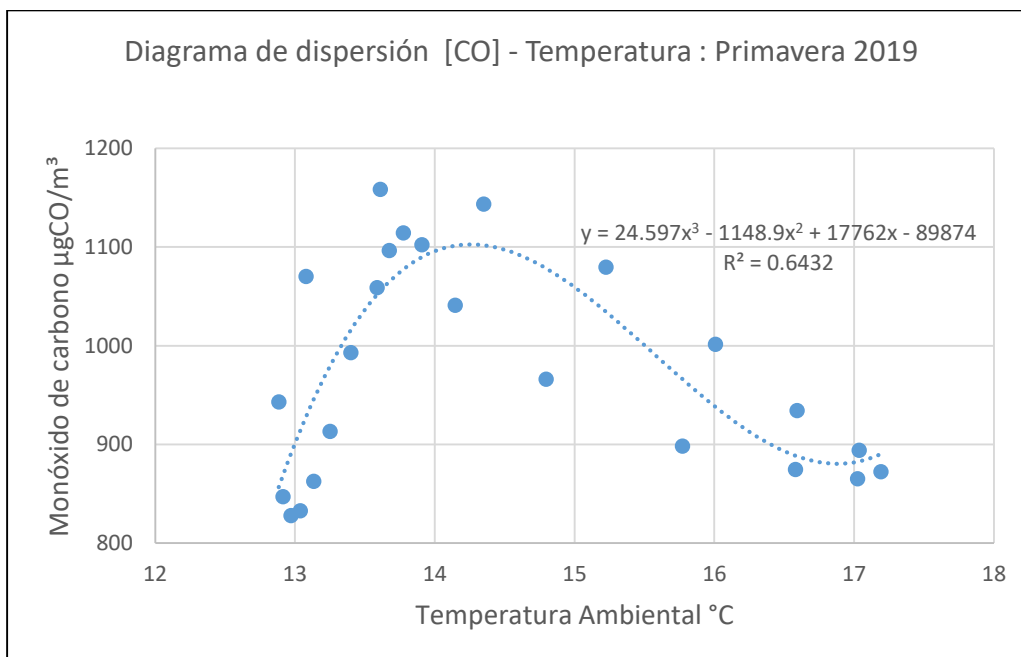


Fuente: Elaboración propia

La figura 67 denota que la variación de la concentración de CO, debida a la temperatura ambiental en el invierno del 2019, podría ser explicada en un 54% por una ecuación polinómica de tercer grado. Sin embargo, el diagrama muestra dos secciones marcadas: una sección positiva (lo que podría interpretarse como una posible relación directa) y una sección negativa (lo que podría interpretarse como una posible relación inversa).

La figura 68 muestra el diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y la temperatura ambiental de la primavera del 2019, en Lima Este.

Figura 68: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la temperatura ambiental en Lima Este: Primavera 2019.

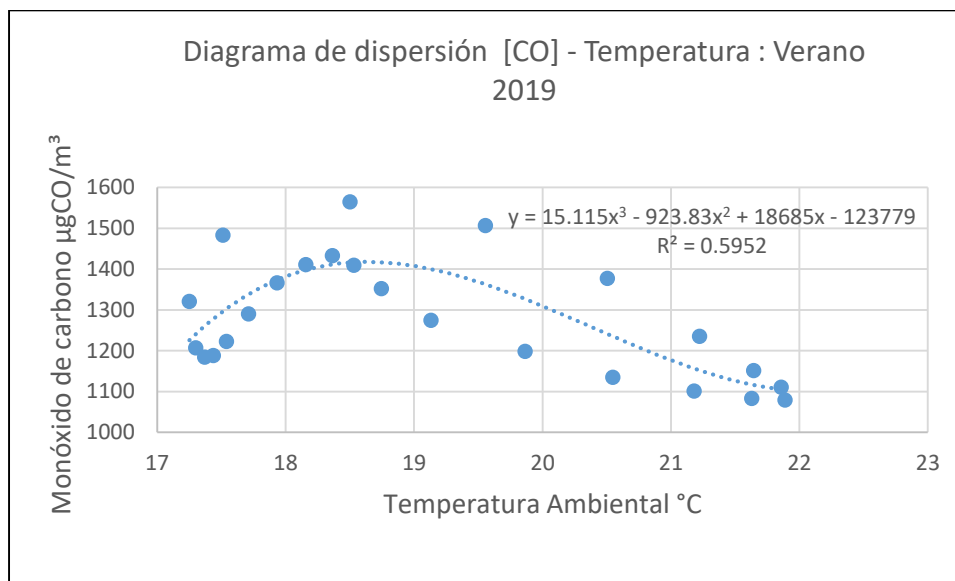


Fuente Elaboración propia

La figura 68 denota que la variación de la concentración de CO, debida a la temperatura ambiental en la primavera del 2019, podría ser explicada en un 64% por una ecuación polinómica de tercer grado. Cabe precisar que el diagrama muestra dos secciones marcadas: una sección positiva (lo que podría interpretarse como una posible relación directa) y una sección negativa (lo que podría interpretarse como una posible relación inversa).

La figura 69 muestra el diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y la temperatura ambiental del verano del 2019, en Lima Este.

Figura 69: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la temperatura ambiental en Lima Este: Verano 2019.



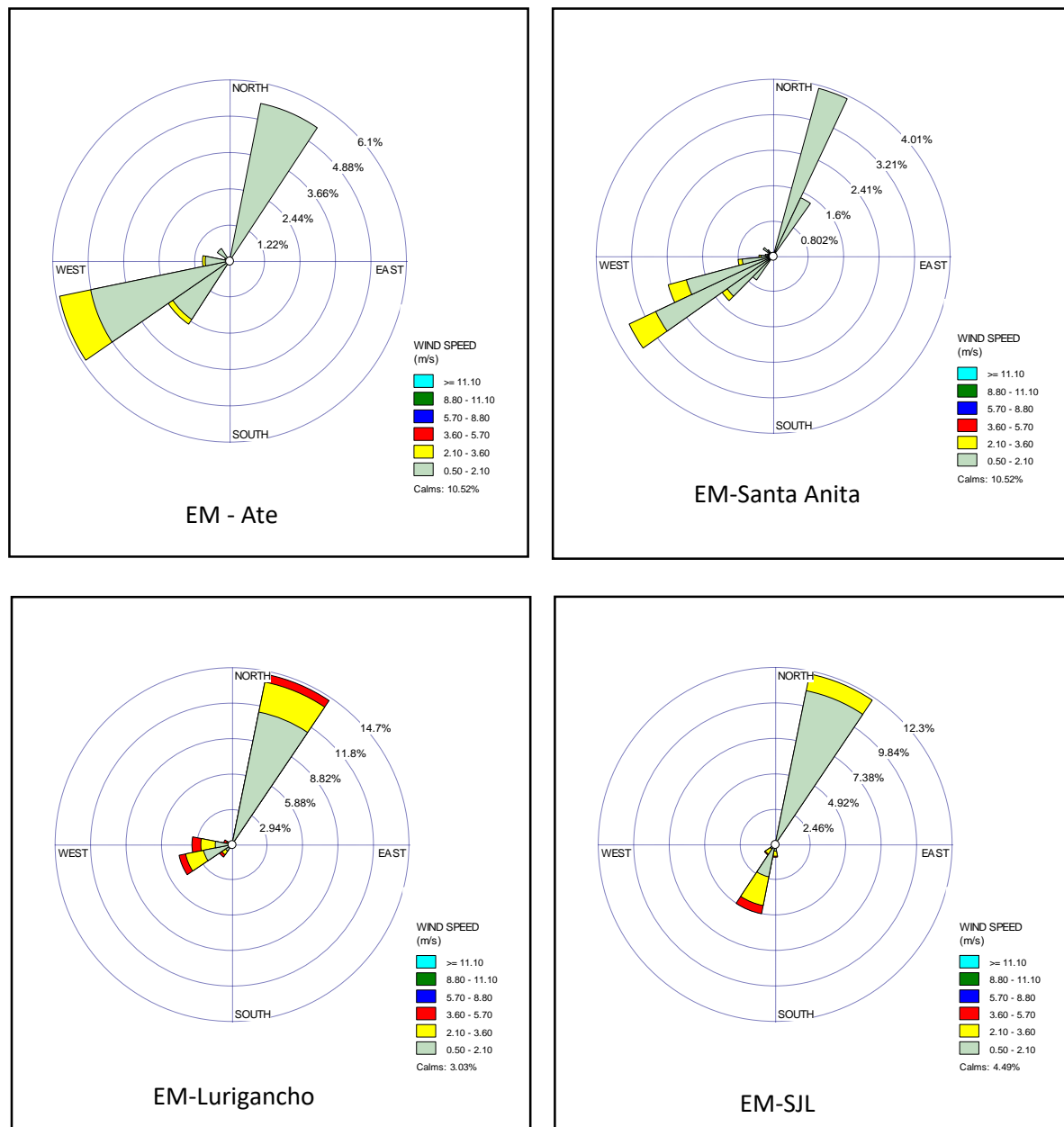
Fuente: Elaboración propia

La figura 69 denota que la variación de la concentración de CO, debida a la temperatura ambiental en el verano del 2019, podría ser explicada en un 59% por una ecuación polinómica de tercer grado. Cabe precisar que el diagrama muestra dos secciones marcadas: una sección positiva (lo que podría interpretarse como una posible relación directa) y una sección negativa (lo que podría interpretarse como una posible relación inversa).

Los diagramas de dispersión muestran que, por lo menos en un 54%, la concentración de monóxido de carbono en el aire de Lima Este puede ser explicada, en función de la temperatura ambiental, con una ecuación polinómica de tercer grado. Esto concuerda con lo hallado por (17), en el que se concluye que los niveles elevados de contaminación tienen relación significativa con la temperatura (valores bajos); configurándose un escenario de relación inversa. No obstante, es preciso indicar que la ocurrencia de contaminación del aire por monóxido de carbono puede ser atribuida a muchos factores que escapan al alcance del presente estudio.

4.1.5. EVALUACIÓN DEL MONÓXIDO DE CARBONO Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Figura 70: Rosas de viento de los puntos de monitoreo en Lima Este: Otoño 2019



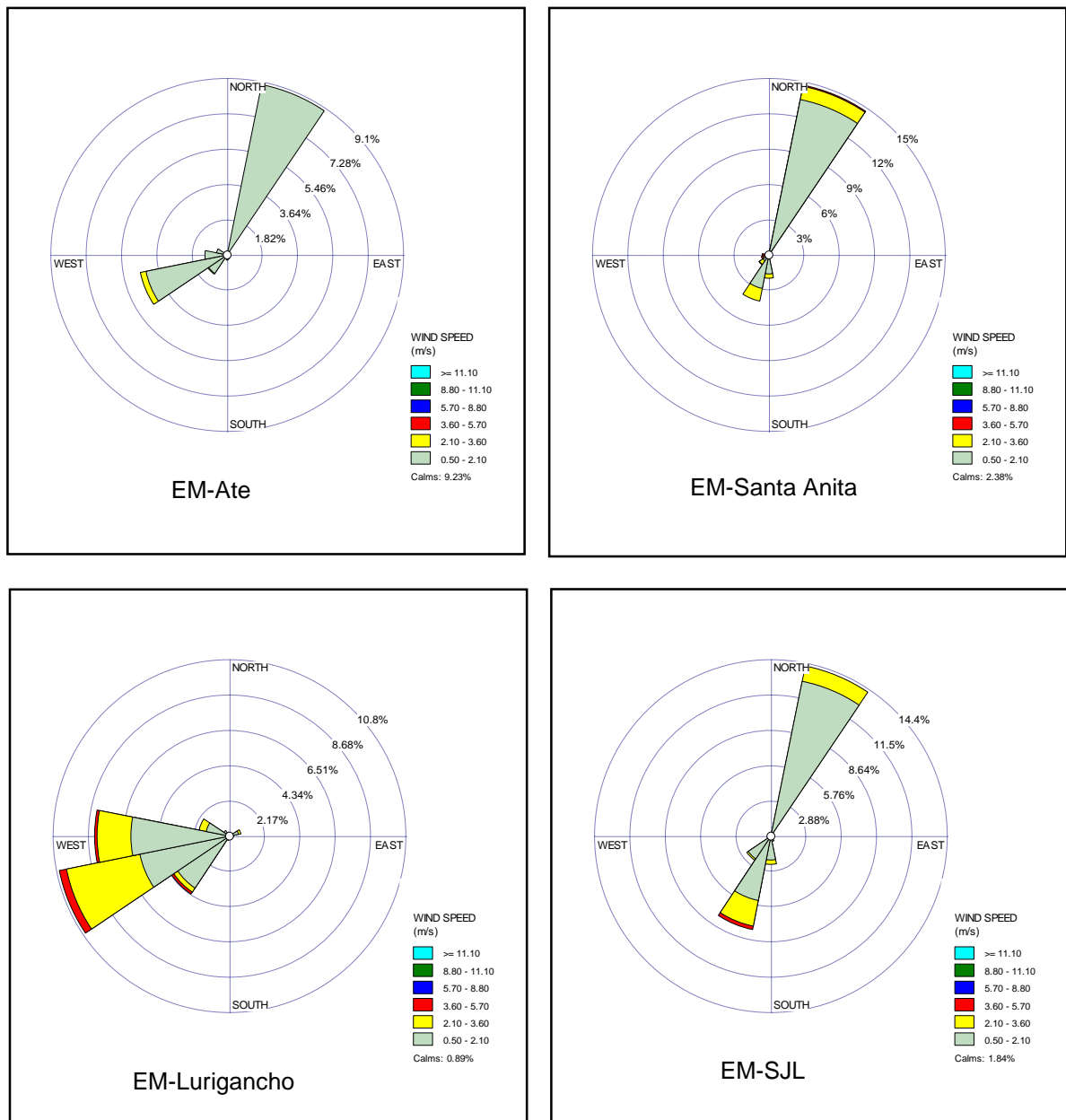
Fuente: elaboración propia

La figura 70, muestra el análisis de datos climatológicos de la velocidad del viento a través de la representación geométrica que representa el diagrama de frecuencias, intensidades y dirección del viento, más conocido como rosa de

vientos, para el periodo de otoño del 2019. Se observa que los vientos registrados en este periodo provienen, principalmente, del NNE.

Así también, la gráfica muestra que las mayores intensidades en el otoño del 2019 fueron registradas en la estación meteorológica de Lurigancho (EM Lurigancho) y San Juan de Lurigancho (EM SJL).

Figura 71: Rosas de viento de los puntos de monitoreo en Lima Este: Invierno 2019

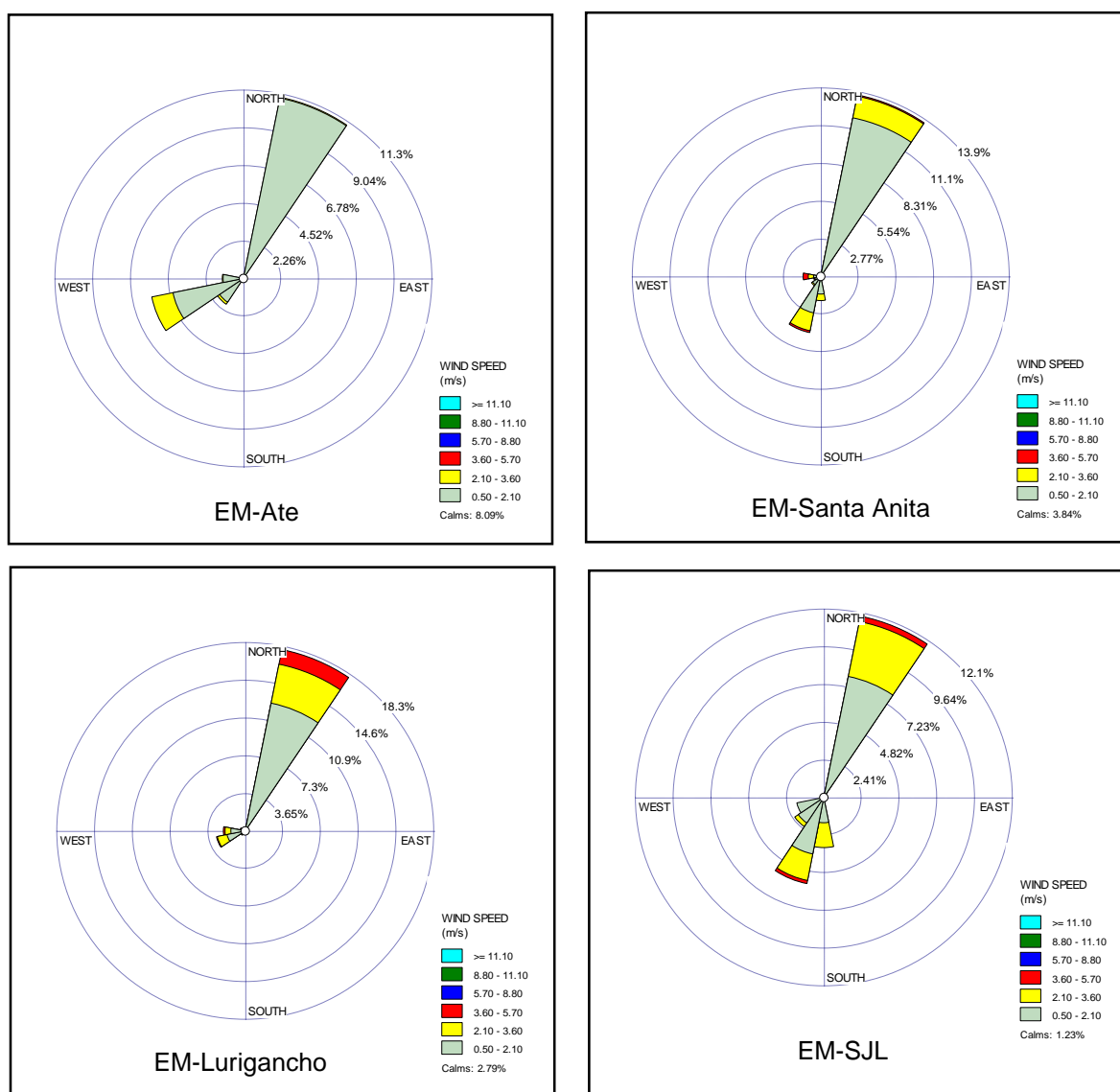


Fuente: Elaboración propia

La figura 71 muestra el análisis de datos climatológicos de la velocidad del viento a través de la representación geométrica que representa el diagrama de frecuencias, intensidades y dirección del viento, más conocido como rosa de vientos, para el periodo de invierno del 2019. Se observa que los vientos registrados en este periodo provienen, principalmente, del NNE y para el caso particular de la estación EM-Lurigancho los vientos provienen del OSO.

Así también, la gráfica muestra que las mayores intensidades en el invierno del 2019 fueron registradas en la estación meteorológica de Lurigancho (EM Lurigancho) y San Juan de Lurigancho (EM SJL).

Figura 72: Rosas de viento de los puntos de monitoreo en Lima Este: Primavera 2019

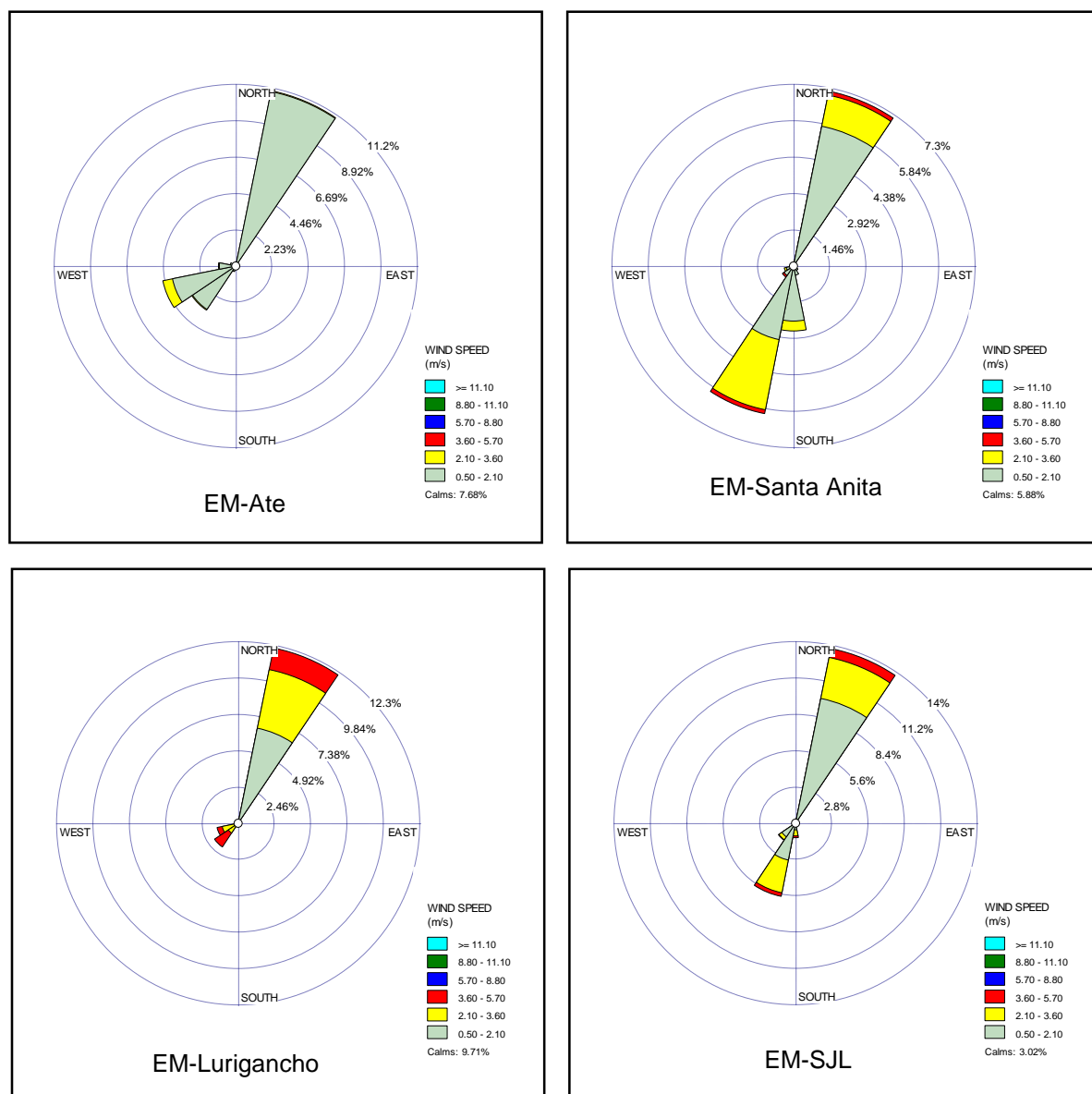


Fuente: Elaboración propia

La figura 72, muestra el análisis de datos climatológicos de la velocidad del viento a través de la representación geométrica que representa el diagrama de frecuencias, intensidades y dirección del viento, más conocido como rosa de vientos, para el periodo de primavera del 2019. Se observa que los vientos registrados en este periodo provienen, principalmente, del NNE.

Así también, la gráfica muestra que las mayores intensidades en la primavera del 2019 fueron registradas en la estación meteorológica de Lurigancho (EM Lurigancho) y San Juan de Lurigancho (EM SJL).

Figura 73: Rosas de viento de los puntos de monitoreo en Lima Este: Verano 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 73, muestra el análisis de datos climatológicos de la velocidad del viento a través de la representación geométrica que representa el diagrama de frecuencias, intensidades y dirección del viento, más conocido como rosa de vientos, para el periodo de verano del 2019. Se observa que los vientos registrados en este periodo provienen, principalmente, del NNE.

Así también, la gráfica muestra que las mayores intensidades en el verano del 2019 fueron registradas en la estación meteorológica de Lurigancho (EM Lurigancho), San Juan de Lurigancho (EM SJL) y Santa Anita (EM Santa Anita).

En esta sección, se analiza la concentración de monóxido de carbono y velocidad del viento de Lima Este del 2019, a través de gráficas de doble eje, las cuales muestran el comportamiento medio estacional a lo largo de un día de estos dos parámetros.

Las siguientes cuatro (04) figuras muestran la dinámica de la concentración media horaria del monóxido de carbono y el de velocidad del viento, evaluadas para los periodos de otoño del 2019 (figura 74), invierno del 2019 (figura 75), primavera del 2019 (figura 76) y verano del 2019 (figura 77) en las estaciones de monitoreo Ate, Santa Anita, Lurigancho y San Juan de Lurigancho, y teniendo en consideración medias horarias respectivas.

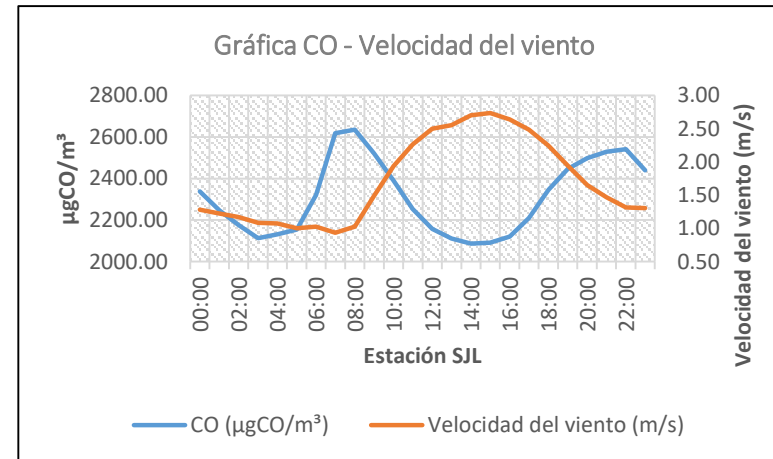
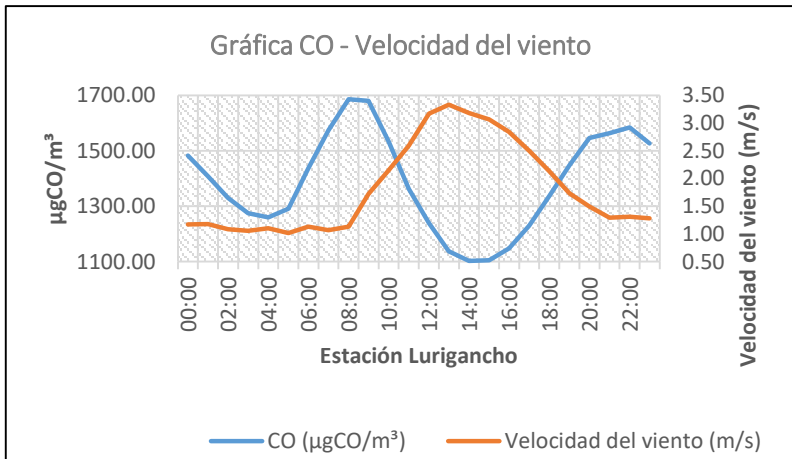
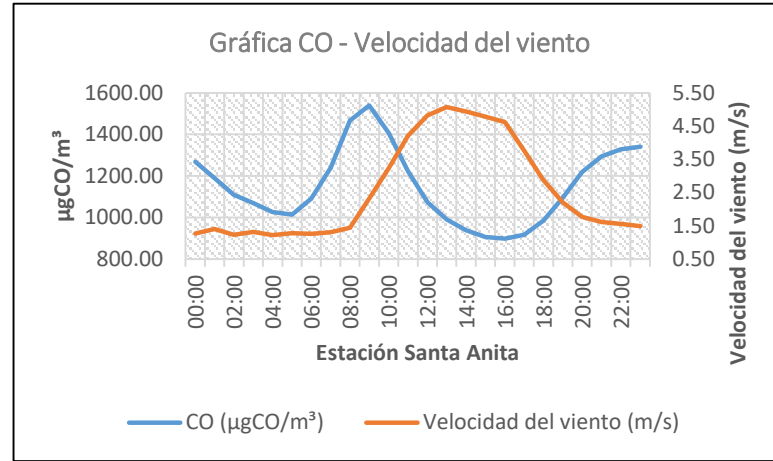
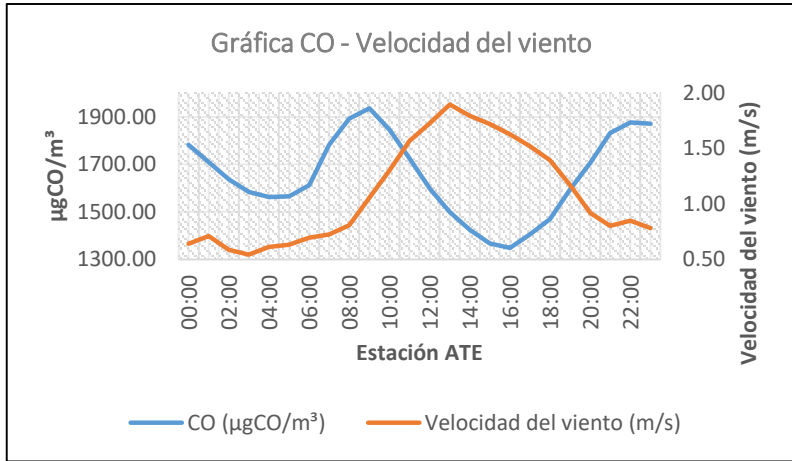
Para los casos de las evaluaciones de las dinámicas [CO] – velocidad del viento realizadas para el otoño, invierno, primavera y verano del 2019, se observa que las concentraciones de monóxido de carbono muestran un comportamiento aproximadamente similar en las cuatro estaciones de monitoreo, iniciando de forma descendente hasta aproximadamente las 05:00 horas donde inicia un aumento hasta llegar a un primer pico aproximadamente a las 08:00 horas para luego descender y llegar a una sima a las 15:00 horas aproximadamente e iniciar un nuevo ascenso; finalmente, alrededor de las 22:00 horas, llega a un segundo pico de concentración y nuevamente inicia un descenso; describiendo así un comportamiento oscilante con 2 picos y 2 valles.

De otro lado, la dinámica del viento en horas de la mañana se muestra un tanto estable sin fluctuaciones considerables; alrededor de las 08:00 donde hay un aumento en la intensidad del viento (aumento en la velocidad), paralelamente es a esta hora donde la concentración de CO disminuye (después de llegar a un primer pico); posteriormente, la intensidad del viento llega a un pico

aproximadamente a las 14:00 horas e inicia su descenso, paralelamente la concentración de CO comienza a aumentar.

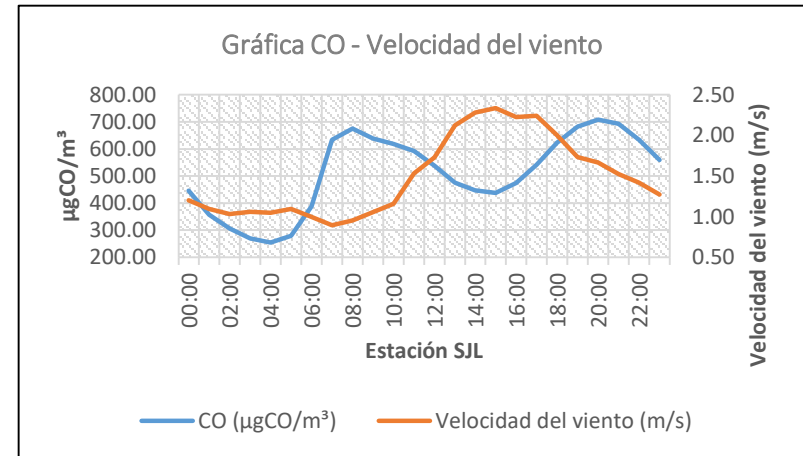
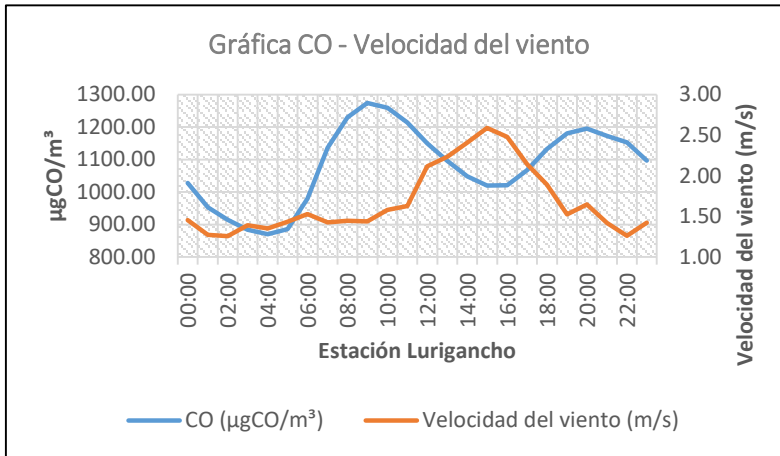
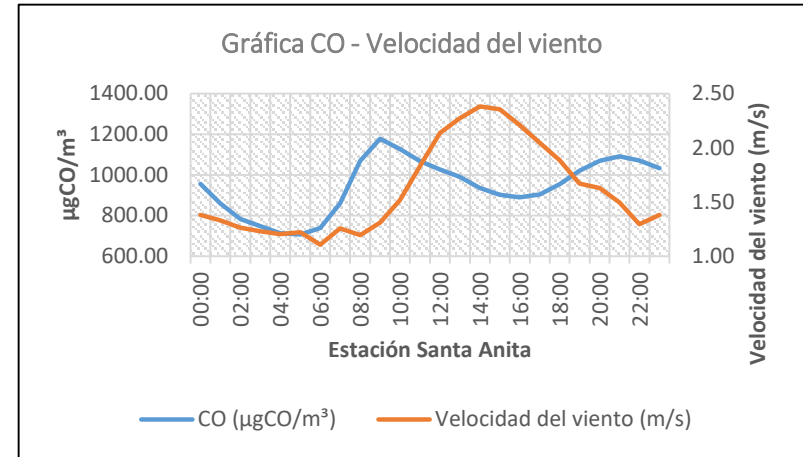
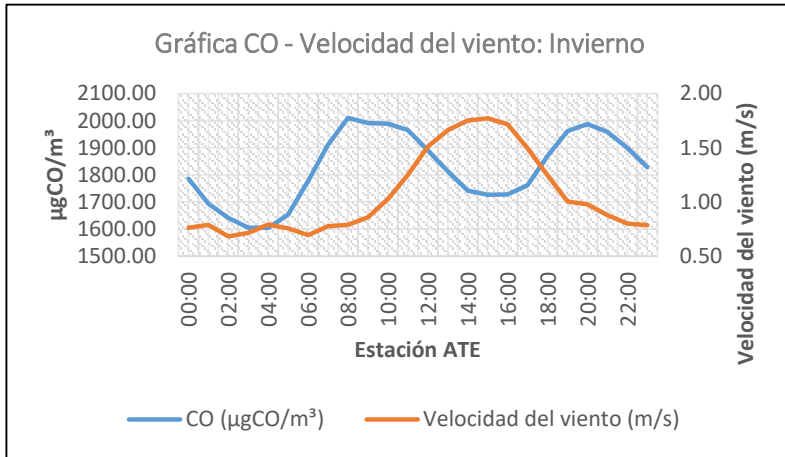
Lo anterior concuerda con lo hallado por (29), quien afirma que la concentración de monóxido de carbono experimenta cambios debido a la acción (dirección) de los vientos. Asimismo, las observaciones apoyan la hipótesis de que la dinámica del viento pudo influir en la dispersión del contaminante en Lima Este, en el periodo 2019, ya que, a cambios aparentemente significativos en la intensidad del viento, corresponde una variación en la concentración de monóxido de carbono en la zona de estudio.

Figura 74: Series de tiempo monóxido de carbono - Velocidad del viento para Lima Este: Otoño del 2019



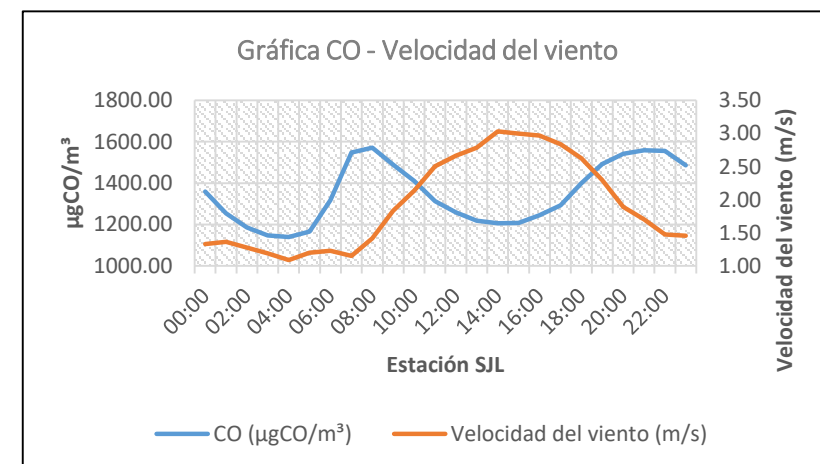
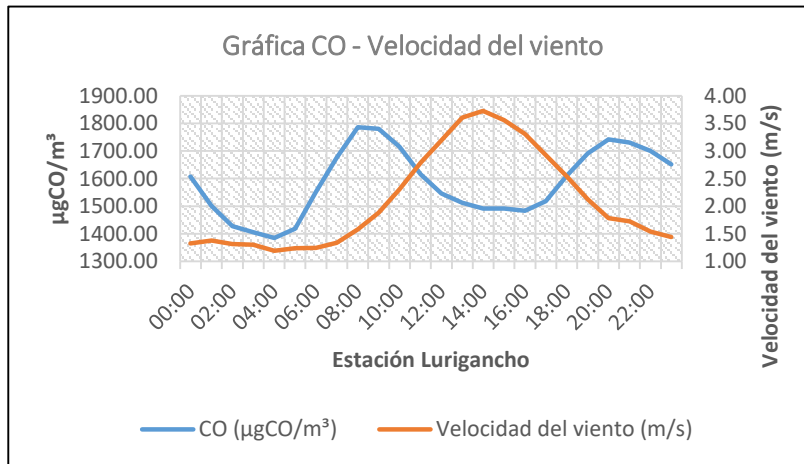
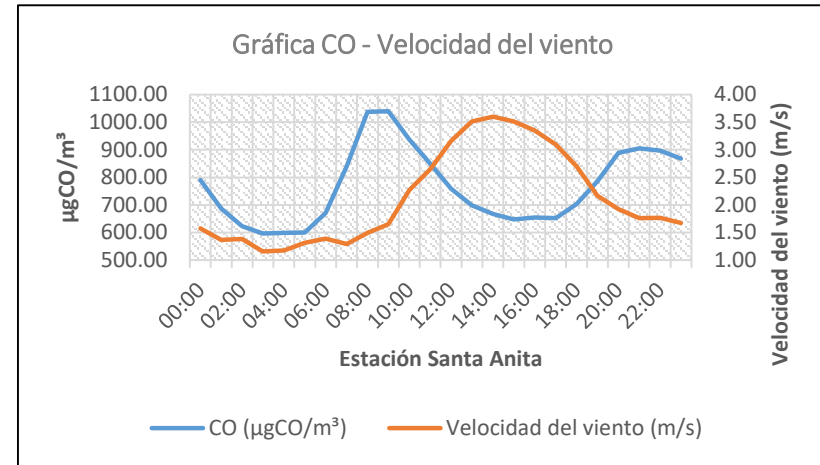
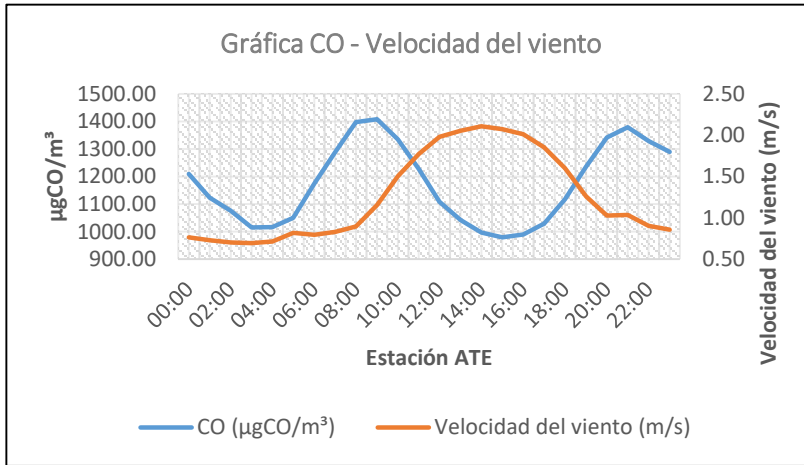
Fuente: Elaboración propia

Figura 75: Series de tiempo monóxido de carbono - Velocidad del viento para Lima Este: Invierno del 2019



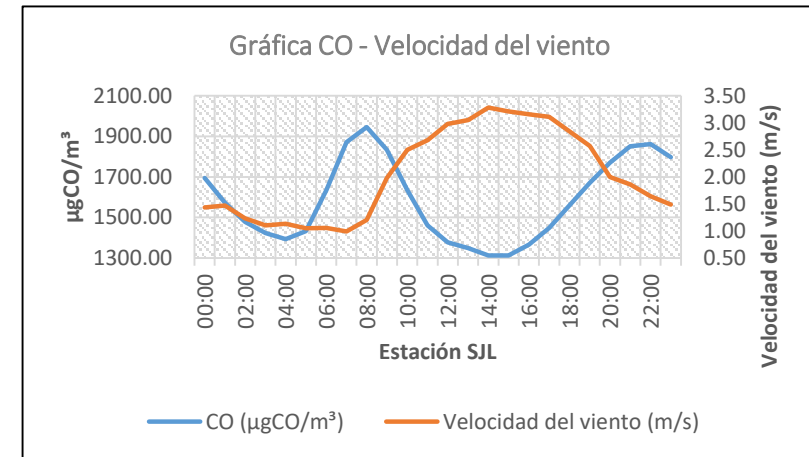
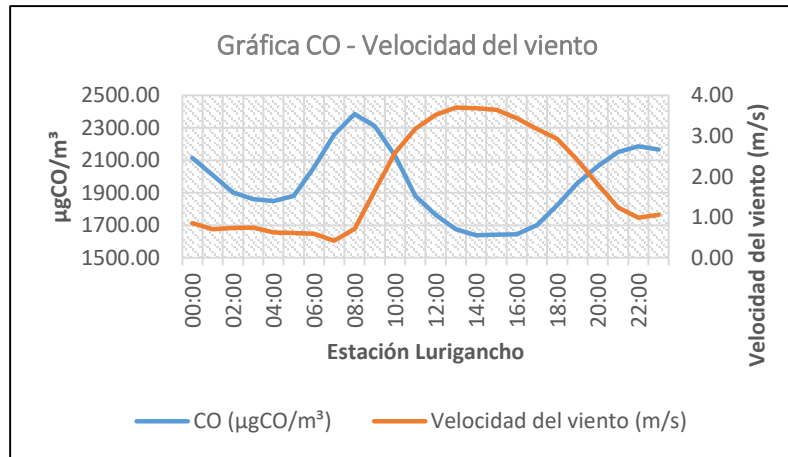
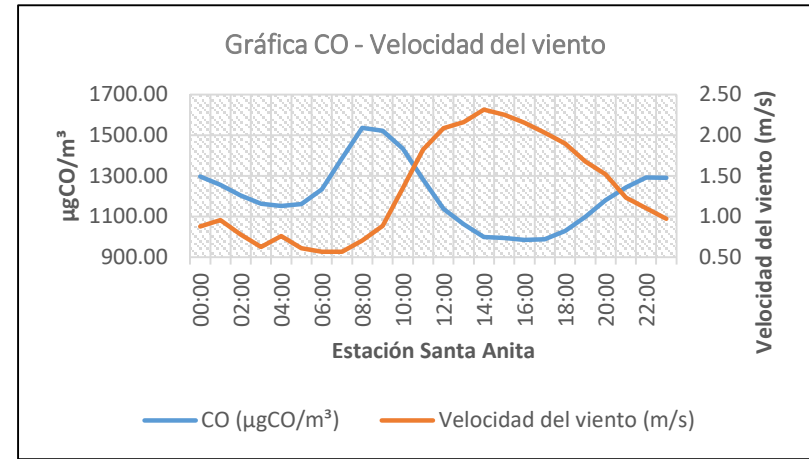
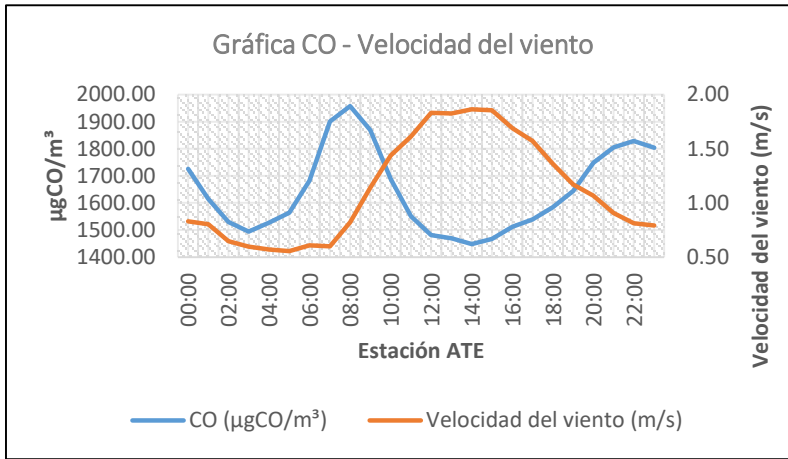
Fuente: Elaboración propia

Figura 76: Series de tiempo monóxido de carbono - Velocidad del viento para Lima Este: Primavera del 2019



Fuente: Elaboración propia

Figura 77: Series de tiempo monóxido de carbono - Velocidad del viento para Lima Este: Verano del 2019



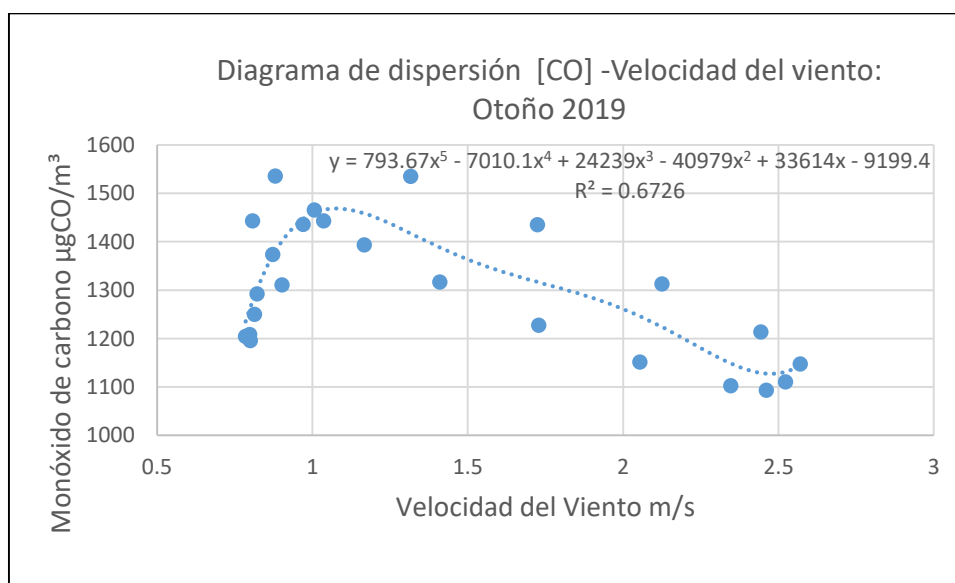
Fuente: Elaboración propia

4.1.6. DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN PARA [CO] Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO

En esta sección, se analiza la concentración de monóxido de carbono y la velocidad del viento de Lima Este del 2019, mediante diagramas de dispersión que en teoría explicarían la variación del monóxido de carbono debido al factor velocidad del viento. Las evaluaciones se realizan considerando medias horarias estacionales (otoño, invierno, primavera y verano) del 2019 acaecidas en Lima Este en el año 2019.

La figura N°78 muestra el diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y velocidad del viento en el otoño del 2019, en Lima Este.

Figura 78: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la velocidad del viento en Lima Este: Otoño 2019.

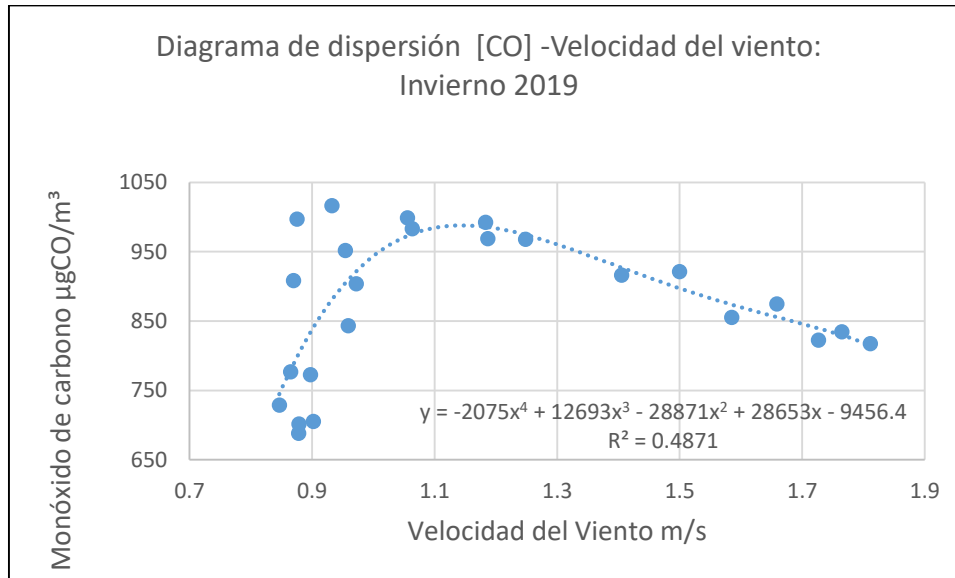


Fuente: Elaboración propia

La figura 78 denotaría que la variación de la concentración de CO, debida a la velocidad del viento en el otoño del 2019, podría ser explicada en un 67% por una ecuación polinómica de quinto grado. Asimismo, el diagrama muestra dos secciones marcadas: una sección positiva (lo que podría interpretarse como una posible relación directa) y una sección negativa (lo que podría interpretarse como una posible relación inversa).

La figura 79 muestra el diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y velocidad del viento en el invierno del 2019, en Lima Este.

Figura 79: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la velocidad del viento en Lima Este: Invierno 2019.

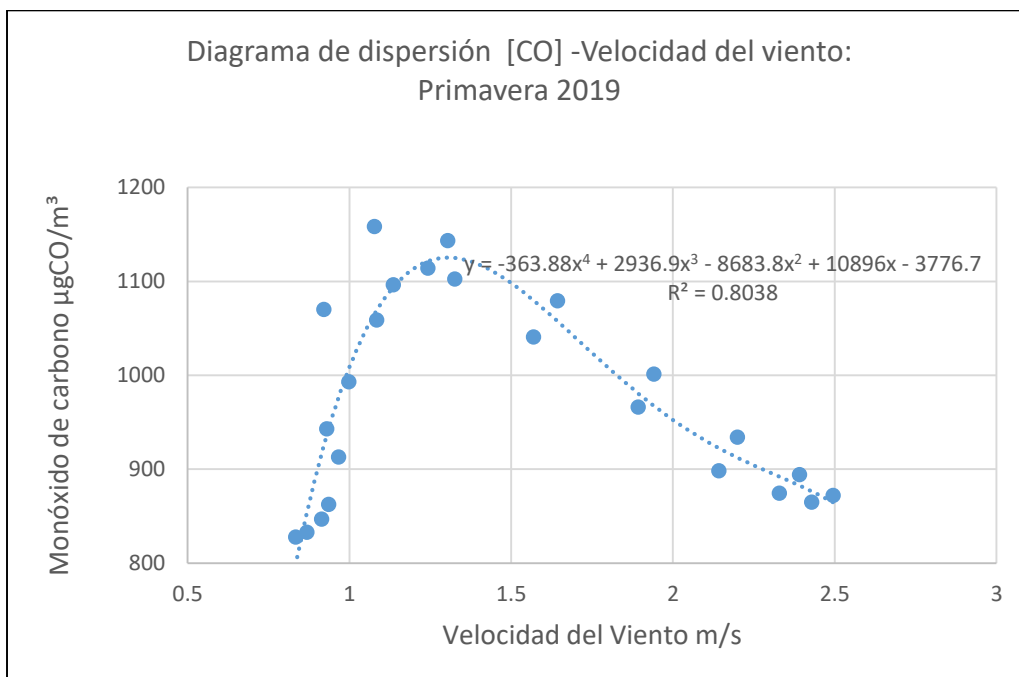


Fuente: Elaboración propia

La figura 79 denotaría que la variación de la concentración de CO, debida a la velocidad del viento en el invierno del 2019, podría ser explicada en un 48% por una ecuación polinómica de cuarto grado. Asimismo, el diagrama muestra dos secciones marcadas: una sección positiva (lo que podría interpretarse como una posible relación directa) y una sección negativa (lo que podría interpretarse como una posible relación inversa).

La figura 80 muestra el diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y velocidad del viento en la primavera del 2019, en Lima Este.

Figura 80: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la velocidad del viento en Lima Este: Primavera 2019.

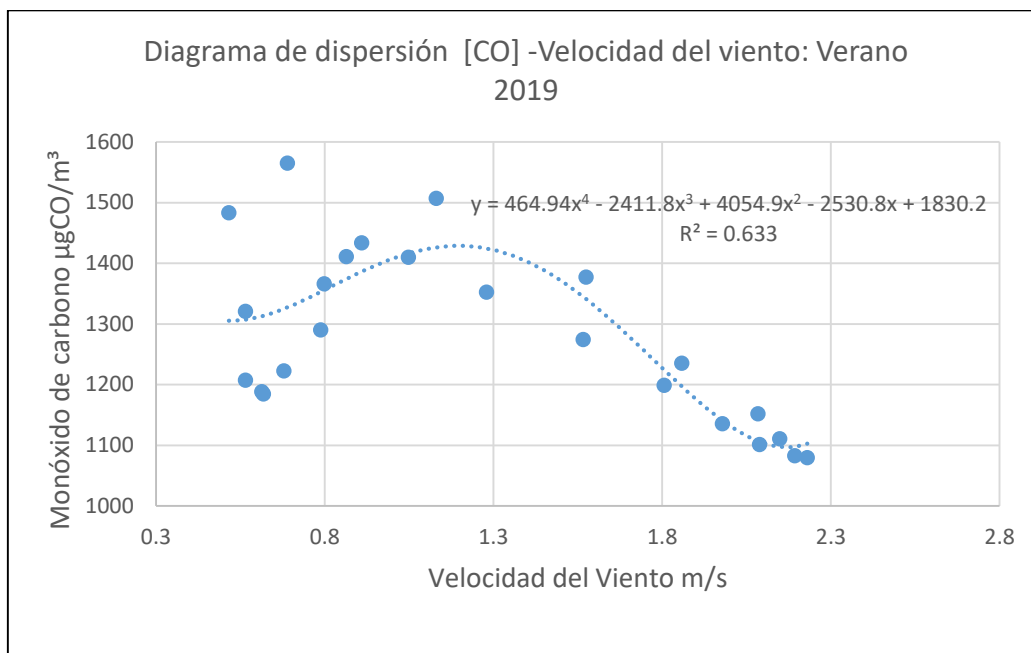


Fuente: Elaboración propia

La figura 80 denotaría que la variación de la concentración de CO, debido a la velocidad del viento en la primavera del 2019, podría ser explicada en un 80% por una ecuación polinómica de cuarto grado. Asimismo, el diagrama muestra dos secciones marcadas: una sección positiva (lo que podría interpretarse como una posible relación directa) y una sección negativa (lo que podría interpretarse como una posible relación inversa).

La figura 81 muestra el diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y velocidad del viento en el verano del 2019, en Lima Este.

Figura 81: Diagrama de dispersión para la concentración de CO y la velocidad del viento en Lima Este: Verano 2019.



Fuente: Elaboración propia

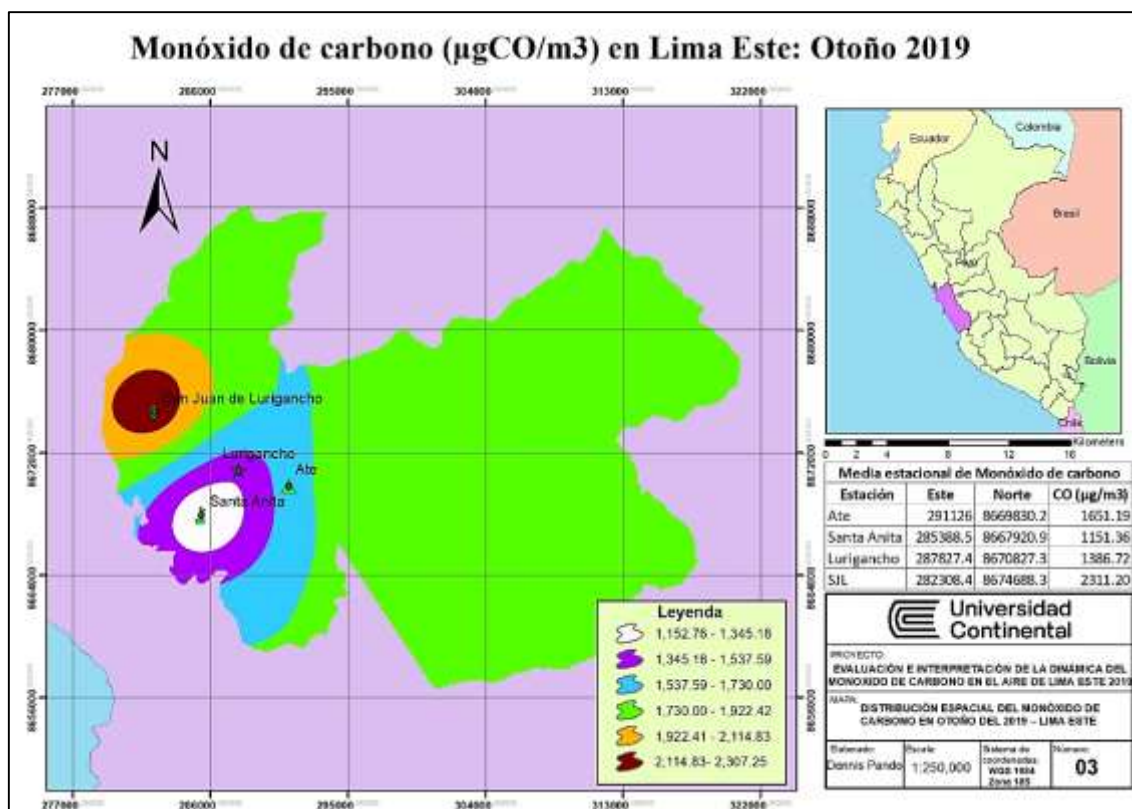
La figura N° 81 denotaría que la variación de la concentración de CO, debida a la velocidad del viento en el verano del 2019, podría ser explicada en un 63% por una ecuación polinómica de cuarto grado. Asimismo, el diagrama muestra dos secciones marcadas: una sección positiva (lo que podría interpretarse como una posible relación directa) y una sección negativa (lo que podría interpretarse como una posible relación inversa).

De forma general, las observaciones realizadas a partir del diagrama de dispersión de la concentración de monóxido de carbono y la velocidad del viento, indican que la ecuación polinómica es la que mejor explicaría una relación entre estas dos variables (en algunos casos de grado tres, en otros de grado cuatro y en algunos de grado cinco). Según (21), la alta concentración de CO puede que se deba al, entre otros factores, transporte de CO por acción de los vientos; asimismo, según (18), el viento predominante tiene efectos sobre las concentraciones.

4.1.7. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL MONÓXIDO DE CARBONO EN LIMA ESTE 2019

4.1.7.1. Distribución espacial del monóxido de carbono en el otoño del 2019

Figura 82: Distribución espacial de CO en Lima Este. Otoño de 2019.



Fuente: Elaboración propia

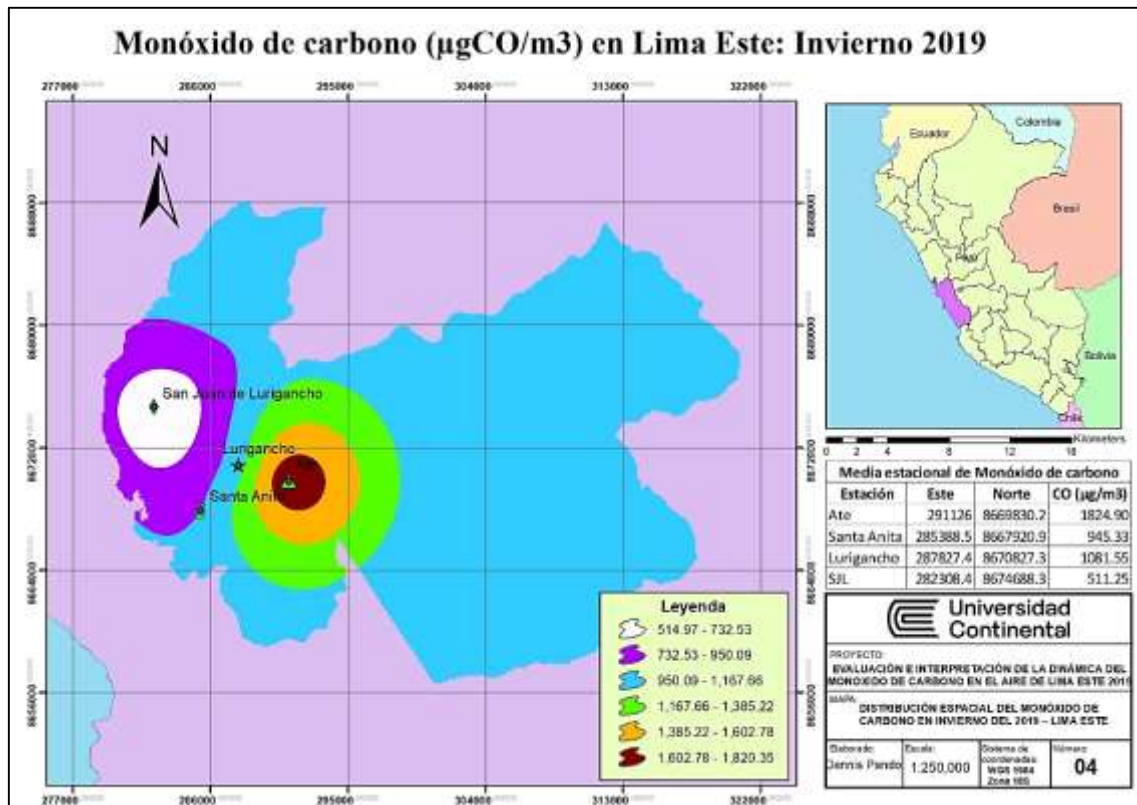
La figura 82 muestra la variación espacial promedio estacional de la concentración de monóxido de carbono en el otoño del 2019. Se observa que en ningún punto del área de estudio se supera el ECA para 1 hora ni para el estándar de 8 horas; sin embargo, se pueden observar zonas, relativamente, de mayor presencia de CO.

La zona donde se observa mayor concentración de CO, para esta estación del año, corresponde al distrito de San Juan de Lurigancho; mientras que la zona de mayor concentración se localiza en el distrito de Santa Anita y La Molina.

Por otro lado, las zonas Este del área de estudio presentan una concentración de CO, relativamente, intermedia.

4.1.7.2. Distribución geoespacial del monóxido de carbono en el invierno del 2019

Figura 83: Distribución espacial de CO en Lima Este. Invierno de 2019



Fuente: Elaboración propia

La figura 83 muestra la concentración de monóxido de carbono de Lima Este, en el invierno del 2019. Se observa que, en esta estación del año, en contraposición con la del otoño, la zona de San Juan de Lurigancho es donde hay menor concentración de este contaminante. La variación espacial muestra mayores concentraciones de CO (1602.78 - 1820.35) para la zona de Ate y zonas aledañas.

De otro lado, un espacio geográfico mayor (la zona Este) presenta una variación de temperatura por debajo del intermedio (menor a $1074 \mu\text{g}/\text{m}^3$); sin embargo, los valores observados, en ningún punto ni momento,

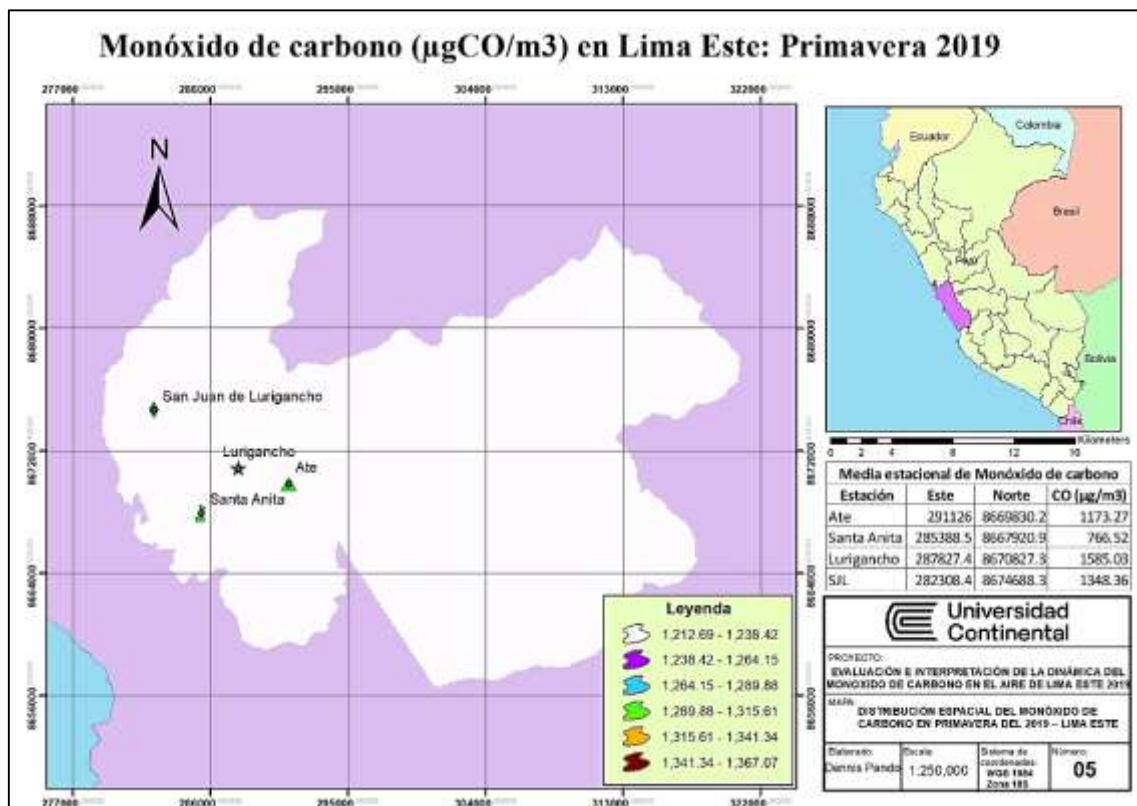
superaron los valores que estipulan el estándar nacional de calidad del aire ECA.

4.1.7.3. Distribución geoespacial del monóxido de carbono en la primavera del 2019

La figura 84 muestra la distribución espacial, en la primavera del 2019, del monóxido de carbono. En esta estación, para este periodo, se observa una distribución en la concentración de CO uniforme ($1212.69 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 1238.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A la escala graficada no se visualiza zonas de mayor ni menor concentración del contaminante.

De otro lado, la gráfica muestra que las concentraciones espaciales para Lima Este, en la primavera del 2019, no superaron el estándar de calidad ambiental para 1 hora ($30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) u 8 horas ($10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 84: Distribución espacial de CO en Lima Este. Primavera de 2019



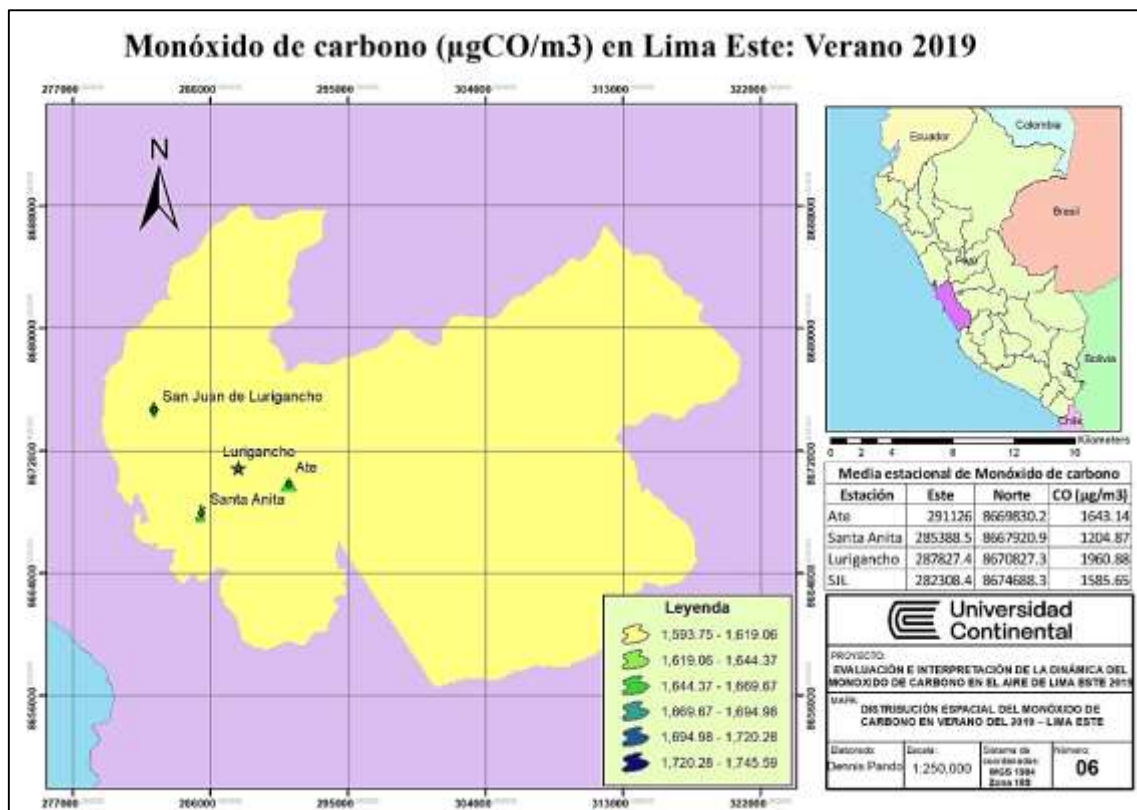
Fuente: Elaboración propia

4.1.7.4. Distribución geoespacial del monóxido de carbono en el verano del 2019

La figura 85 muestra la distribución espacial, en el verano del 2019, del monóxido de carbono; en el verano del 2019, al igual que en la primavera, la variación espacial presenta una distribución uniforme con concentraciones en el rango de $1593.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - $1619.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (en base a la escala de la gráfica considerada).

De otro lado, la gráfica muestra que las concentraciones espaciales para Lima Este, en el verano del 2019, no superaron el estándar de calidad ambiental para 1 hora ($30000 \mu\text{g}/\text{m}^3$) u 8 horas ($10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 85: Distribución espacial de CO en Lima Este. Verano de 2019



Fuente: Elaboración propia

De manera general, las distribuciones espaciales medias anuales muestran comportamientos de dispersión diferentes; mostrando una dispersión más homogénea para las estaciones de primavera y verano

del 2019; muestra también una mayor persistencia del contaminante en periodos fríos (otoño e invierno), ello concuerda con lo reportado por (22), en el que se hallaron fenómenos de persistencia del monóxido de carbono en el periodo invernal. Asimismo, las figuras 88 y 89 indican que las mayores concentraciones de CO son observadas para el periodo de otoño e invierno del 2019, lo anterior concuerda con lo identificado por (26), en la que concluyen que la mayor cantidad de CO se obtuvo en los meses más fríos.

Asimismo, en el año 2019, es observable una diferencia de concentración de CO entre las diferentes estaciones (otoño, invierno, primavera y verano); lo anterior concuerda con lo observado por (30) en el cual se reporta que los resultados evidencian una tendencia estacional del monóxido de carbono.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.2.1. PRUEBAS DE NORMALIDAD

En esta sección se evalúa la normalidad de los datos registrados en las cuatro (04) estaciones de monitoreo, haciendo uso de métodos gráficos y estadísticos simultáneamente; con el fin de determinar estadísticamente si las distribuciones de las concentraciones de monóxido de carbono tienen una distribución significativamente normal; para este fin, se plantea la siguiente hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alterna (H_1) para los datos de las cuatro estaciones de monitoreo.

H_0 : La muestra no es significativamente diferente a una distribución normal

H_1 : La muestra es significativamente diferente a una distribución normal

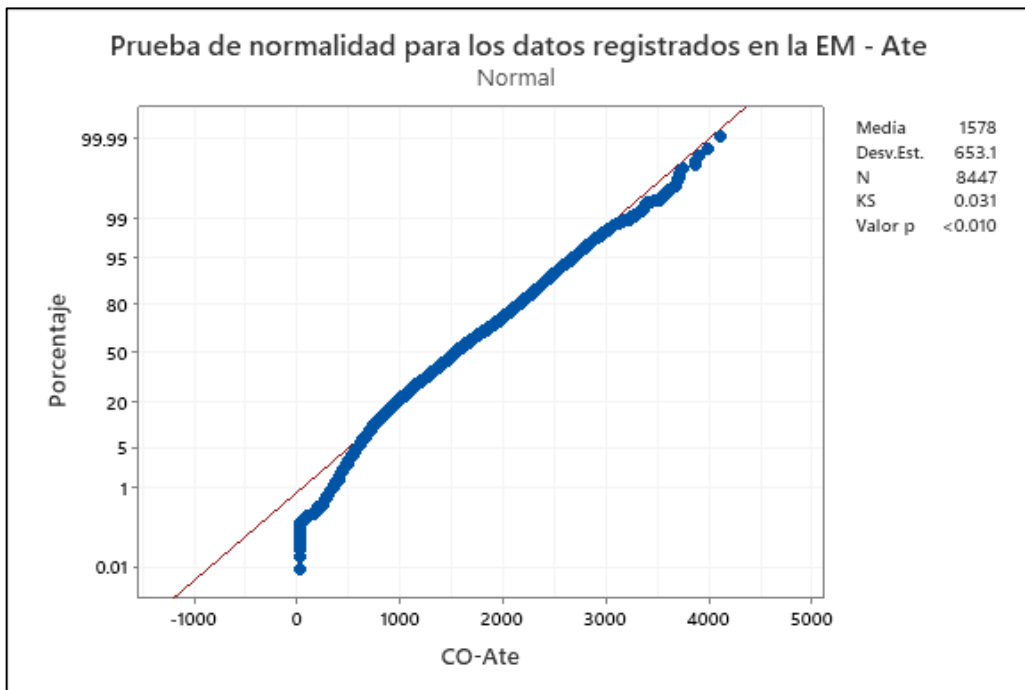
El criterio para elegir si se acepta o rechaza la hipótesis nula (H_0) es haciendo uso del valor P, con la siguiente discriminante:

- Si valor $P \leq \alpha$; rechazar la hipótesis nula (H_0)
- Si valor $P > \alpha$; No rechazar hipótesis nula (H_0)

4.2.1.1. Prueba de normalidad para los datos registrados en la Estación de monitoreo Ate.

En la figura 86, se observa la gráfica de normalidad para las concentraciones de monóxido de carbono registradas en la estación de monitoreo Ate, en el 2019.

Figura 86: Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, para las [CO] de la EM – Ate



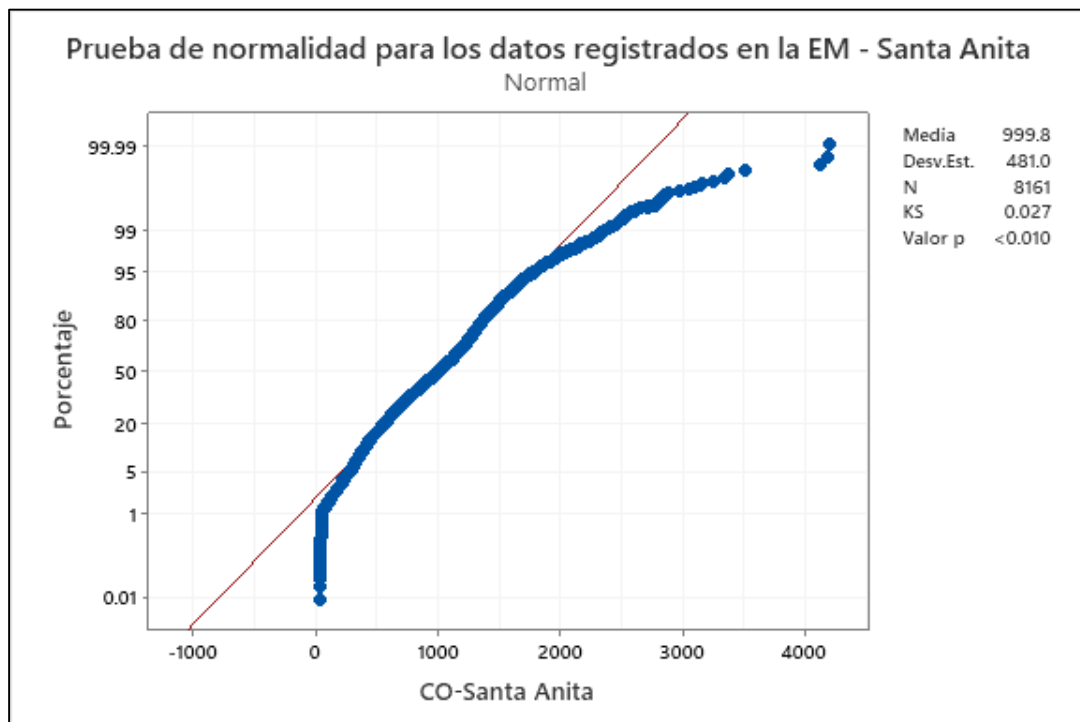
Fuente: Elaboración propia

Gráficamente, se observa que algunos datos no coinciden con la recta de normalidad. Por otro lado, dado que el valor p (<0.00) es menor a 0.05, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 ; en consecuencia, los datos de concentración de monóxido de carbono, en esta estación de monitoreo, son significativamente diferentes a una distribución normal a un nivel de confianza del 95%.

En la figura 87, se observa la gráfica de normalidad para las concentraciones de monóxido de carbono registradas en la estación de monitoreo Santa Anita, en el 2019.

Se observa que algunos datos no coinciden con la recta de normalidad. Por otro lado, dado que el valor p (<0.00) es menor a 0.05 , se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 ; en consecuencia, los datos de concentración de monóxido de carbono, en esta estación de monitoreo, son significativamente diferentes a una distribución normal a un nivel de confianza del 95%.

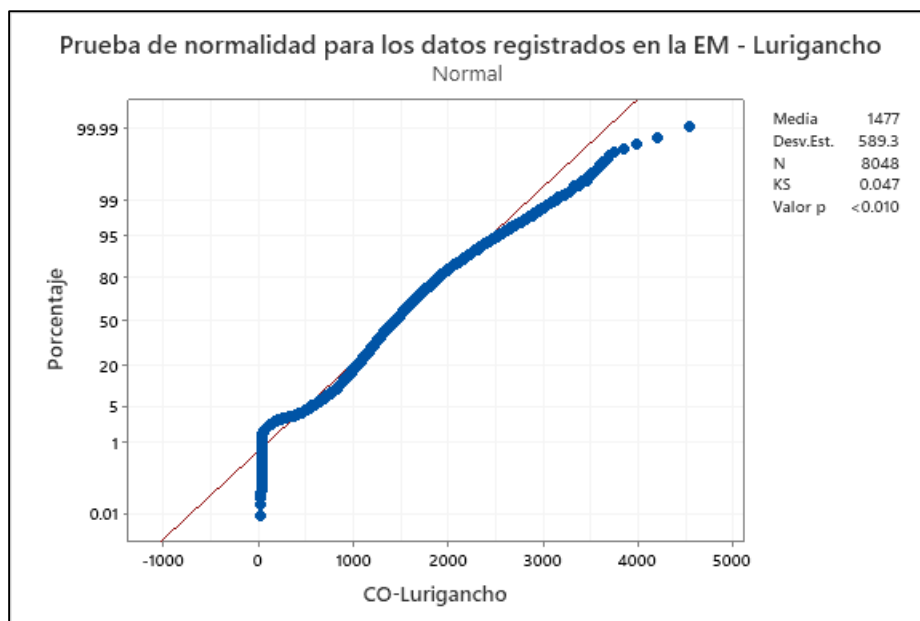
Figura 87: Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, para las [CO] de la EM – Santa Anita



Fuente: Elaboración propia

En la figura 88, se observa la gráfica de normalidad para las concentraciones de monóxido de carbono registradas en la estación de monitoreo Lurigancho en el 2019.

Figura 88: Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, para las [CO] de la EM – Lurigancho

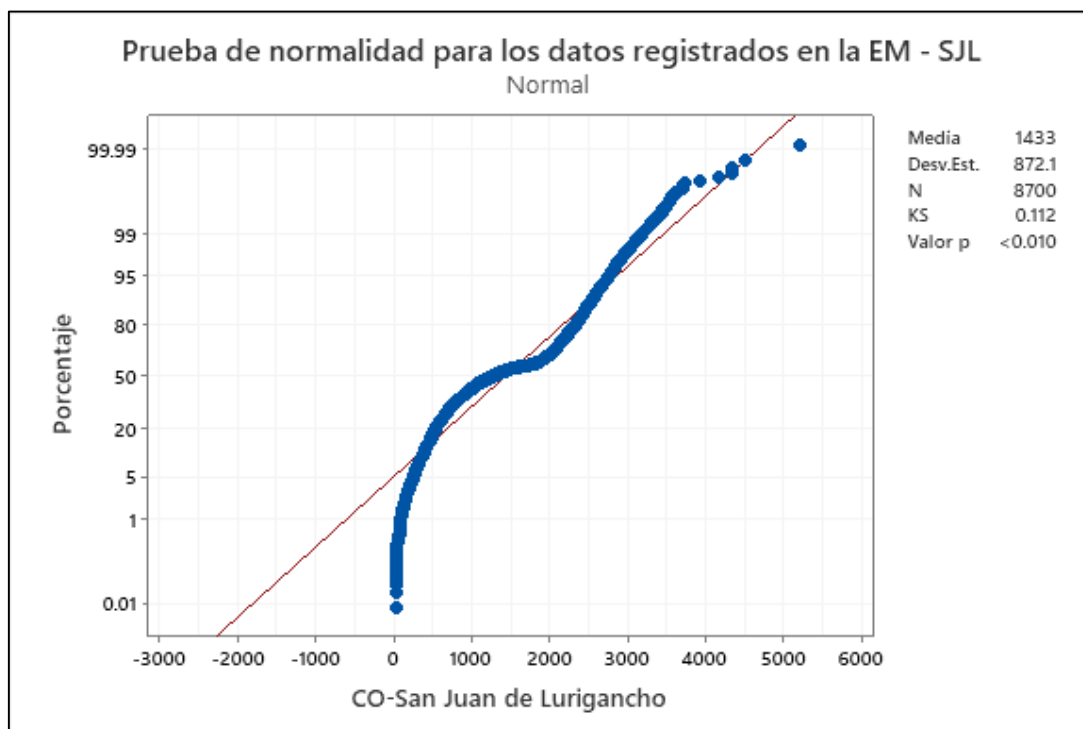


Fuente: Elaboración propia

Gráficamente, se observa que algunos datos no coinciden con la recta de normalidad. Por otro lado, dado que el valor p (<0.00) es menor a 0.05 , se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 ; en consecuencia, los datos de concentración de monóxido de carbono, en esta estación de monitoreo, son significativamente diferentes a una distribución normal a un nivel de confianza del 95%.

En la figura 89, se observa la gráfica de normalidad para las concentraciones de monóxido de carbono registradas en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho en el 2019.

Figura 89: Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov, para las [CO] de la EM – San Juan de Lurigancho.



Fuente: Elaboración propia

Gráficamente, se observa que algunos datos no coinciden con la recta de normalidad. Por otro lado, dado que el valor p (<0.00) es menor a 0.05, se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 ; en consecuencia, los datos de concentración de monóxido de carbono, en esta estación de monitoreo, son significativamente diferentes a una distribución normal a un nivel de confianza del 95%.

Finalmente, las pruebas de normalidad aplicadas para las concentraciones de monóxido de carbono en las cuatro estaciones de monitoreo indican que los datos son significativamente diferentes a una distribución normal; en consecuencia, las pruebas de hipótesis se deben realizar haciendo uso de métodos no paramétricos (pruebas no paramétricas).

4.2.2. PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS

En esta sección, se aplican los instrumentos estadísticos para datos no paramétricos, con la finalidad de probar o rechazar las hipótesis planteadas en la sección 1.4., las cuales son las siguientes:

- La dinámica del viento influyó significativamente en la dispersión del monóxido de carbono en el aire de Lima Este en el 2019.
- La temperatura ambiental influyó significativamente en la dispersión del monóxido de carbono en el aire de Lima Este en el 2019.
- Existen diferencias significativas en las concentraciones de monóxido de carbono estacionales del 2019 en Lima Este
- Las estaciones de monitoreo ambiental, localizadas en Lima Este, registraron concentraciones de monóxido de carbono significativamente diferentes en el año 2019.

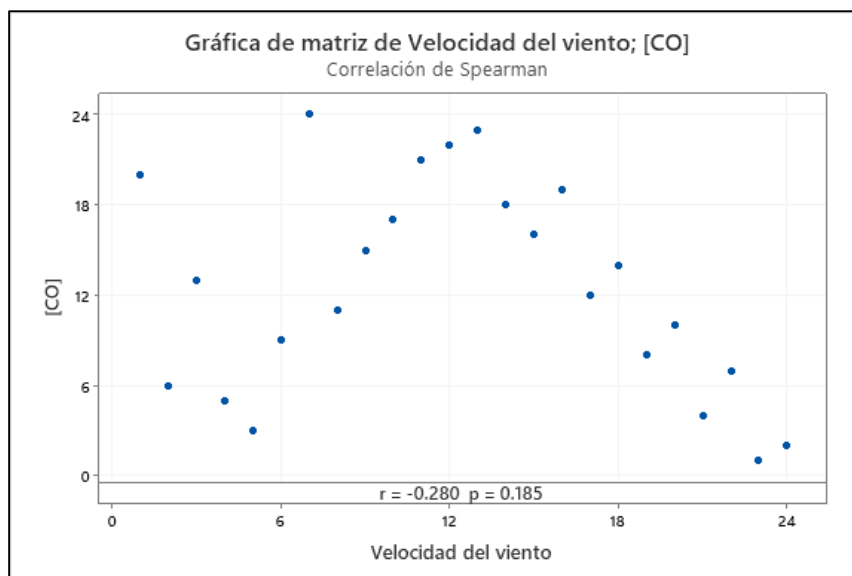
4.2.3. CORRELACIÓN DE RANGOS DE SPEARMAN PARA LA [CO] Y LA DINÁMICA DEL VIENTO

En esta sección, se pretende, haciendo uso de la correlación de rangos de Spearman, aceptar o rechazar la hipótesis “La dinámica del viento influyó significativamente en la dispersión del monóxido de carbono en el aire de Lima Este en el 2019”.

Se plantean los siguientes supuestos:

- $H_0: \rho_s = 0$ (No existe correlación entre las dos variables)
- $H_1: \rho_s \neq 0$ (Existe correlación entre las dos variables)

Figura 90: Correlación de rangos de Spearman para la [CO] y la velocidad del viento.



Fuente: Elaboración propia

El valor p (0.185) es mayor (>) que α (0.05) entonces se acepta la hipótesis nula (H_0 : No existe correlación entre las dos variables); sin embargo, la figura 90 muestra una $\rho = -0.280$, lo que indicaría una correlación inversa baja no significativa.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada: “La dinámica del viento influyó significativamente en la dispersión del monóxido de carbono en el aire de Lima Este en el 2019”.

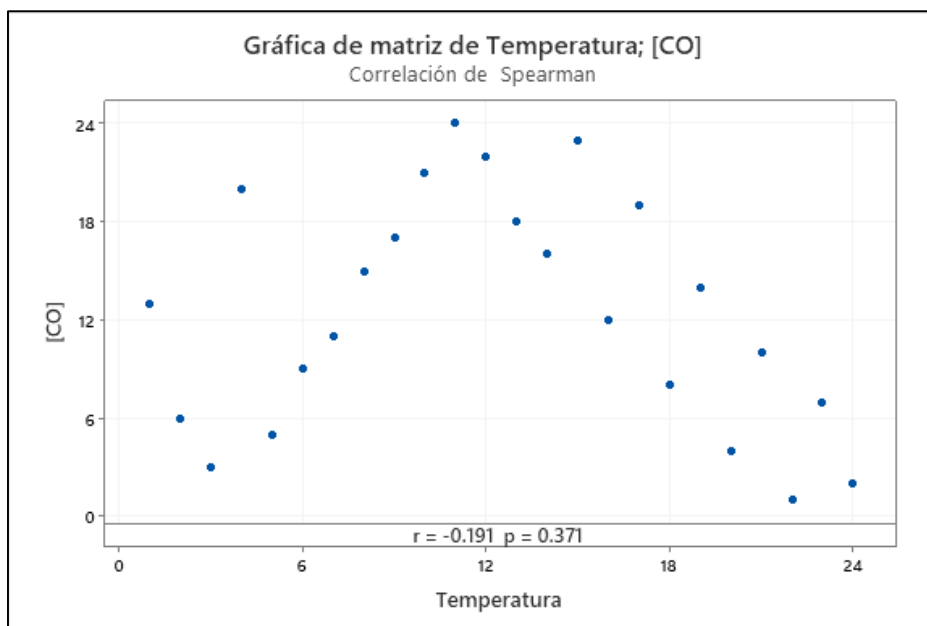
4.2.4. CORRELACIÓN DE RANGOS DE SPEARMAN PARA LA [CO] Y LA TEMPERATURA AMBIENTAL

En esta sección, se pretende, haciendo uso de la correlación de rangos de Spearman, aceptar o rechazar la hipótesis “La temperatura ambiental influyó significativamente en la dispersión del monóxido de carbono, en el aire de Lima Este en el 2019”.

Se plantean los siguientes supuestos:

- $H_0: \rho_s = 0$ (No existe correlación entre las dos variables)
- $H_1: \rho_s \neq 0$ (Existe correlación entre las dos variables)

Figura 91: Correlación de rangos de Spearman para la [CO] y la temperatura ambiental.



Fuente: Elaboración propia

El valor p (0.371) es mayor ($>$) que α (0.05) entonces se acepta la hipótesis nula (H_0 : No existe correlación entre las dos variables); sin embargo, la figura 91 muestra una $p = -0.191$; lo que indicaría una correlación inversa baja no significativa.

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada: “La temperatura ambiental influyó significativamente en la dispersión del monóxido de carbono, en el aire de Lima Este en el 2019”.

4.2.5. PRUEBA DE KRUSKAL- WALLIS Y MANN- WHITNEY PARA EVALUAR DIFERENCIAS EN [CO] ESTACIONALES

En esta sección, se pretende aceptar o rechazar la tercera hipótesis que plantea el presente estudio: “Existen diferencias significativas en las concentraciones de monóxido de carbono estacionales del 2019 en Lima Este”.

Para tal propósito, se hará uso de la prueba de Kruskal-Wallis, el cual utiliza rangos de datos de tres o más muestras independientes para probar la hipótesis nula de que las muestras provienen de poblaciones con medianas iguales:

Entonces, se plantean las siguientes hipótesis:

- Ho: Todas las medianas son iguales; es decir, “no existen diferencias significativas en las concentraciones de monóxido de carbono estacionales del 2019 en Lima Este”.
- H1: Al menos una mediana es diferente; es decir, “existen diferencias significativas en las concentraciones de monóxido de carbono estacionales del 2019 en Lima Este”.

Tabla 16: Resumen de datos

C2	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Otoño	22	1589.01	71.9	4.80
Invierno	24	1111.21	19.1	-5.91
Primavera	24	1193.32	31.3	-3.38
Verano	24	1568.74	69.8	4.63
General	94		47.5	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 16 muestra los resultados de la prueba Kruskal-Wallis; se observa una diferencia considerable entre los valores Z obtenidos, lo que sugeriría diferencias entre las medianas. Para confirmar o rechazar la hipótesis nula, haremos uso del valor p

GL	Valor H	Valor p
3	68.06	0.000

Valor $p \leq \alpha$ (0.05); por lo tanto, se rechaza el Ho, en consecuencia, al menos una mediana es diferente; entonces se acepta la H1 (existen diferencias significativas en las concentraciones de monóxido de carbono estacionales del 2019 en Lima Este).

Para determinar cuál mediana es diferente, se hará uso de la prueba de Mann-Whitney.

La tabla 17 muestra las pruebas de Mann-Whitney para evaluar en qué estaciones del año 2019 hubo diferencias significativas en la concentración de monóxido de carbono, en Lima Este.

En las pruebas en las que el valor $p > \alpha$; significa hay diferencias significativas en las concentraciones del monóxido de carbono entre las estaciones evaluadas; es así

que esta condición se cumple para el otoño y verano del 2019, lo que indica que hay diferencias significativas en las concentraciones de monóxido de carbono entre estos dos periodos.

Tabla 17: Prueba de Mann-Whitney para determinar diferencias significativas entre estaciones del año 2019

Evaluación de diferencias	Estimación de la diferencia	Prueba						
Evaluación de diferencia de medianas para el otoño (n1) e invierno (n2).	Estimación de la diferencia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Diferencia</th> <th style="text-align: center;">IC para la diferencia</th> <th style="text-align: center;">Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">533.075</td> <td style="text-align: center;">(425.760; 624.513)</td> <td style="text-align: center;">95.11%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	533.075	(425.760; 624.513)	95.11%	Prueba Ho: $n1 - n2 = 0$ H1: $n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.000
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
533.075	(425.760; 624.513)	95.11%						
Evaluación de diferencia de medianas para el otoño (n1) y primavera (n2).	Estimación de la diferencia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Diferencia</th> <th style="text-align: center;">IC para la diferencia</th> <th style="text-align: center;">Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">404.443</td> <td style="text-align: center;">(309.414; 494.500)</td> <td style="text-align: center;">95.11%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	404.443	(309.414; 494.500)	95.11%	Prueba Ho: $n1 - n2 = 0$ H1: $n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.000
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
404.443	(309.414; 494.500)	95.11%						
Evaluación de diferencia de medianas para el otoño (n1) y verano (n2).	Estimación de la diferencia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Diferencia</th> <th style="text-align: center;">IC para la diferencia</th> <th style="text-align: center;">Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">29.3391</td> <td style="text-align: center;">(-78.8780; 136.774)</td> <td style="text-align: center;">95.11%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	29.3391	(-78.8780; 136.774)	95.11%	Prueba Ho: $n1 - n2 = 0$ H1: $n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.503
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
29.3391	(-78.8780; 136.774)	95.11%						
Evaluación de diferencia de medianas para el invierno (n1) y primavera (n2).	Estimación de la diferencia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Diferencia</th> <th style="text-align: center;">IC para la diferencia</th> <th style="text-align: center;">Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">-124.223</td> <td style="text-align: center;">(-204.541; -36.5699)</td> <td style="text-align: center;">95.11%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	-124.223	(-204.541; -36.5699)	95.11%	Prueba Ho: $n1 - n2 = 0$ H1: $n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.008
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
-124.223	(-204.541; -36.5699)	95.11%						
Evaluación de diferencia de medianas para el invierno (n1) y verano (n2).	Estimación de la diferencia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Diferencia</th> <th style="text-align: center;">IC para la diferencia</th> <th style="text-align: center;">Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">-500.123</td> <td style="text-align: center;">(-603.908; -397.863)</td> <td style="text-align: center;">95.11%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	-500.123	(-603.908; -397.863)	95.11%	Prueba Ho: $n1 - n2 = 0$ H1: $n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.000
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
-500.123	(-603.908; -397.863)	95.11%						
Evaluación de diferencia de medianas para la primavera (n1) y verano (n2).	Estimación de la diferencia <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Diferencia</th> <th style="text-align: center;">IC para la diferencia</th> <th style="text-align: center;">Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">-371.497</td> <td style="text-align: center;">(-468.324; -277.944)</td> <td style="text-align: center;">95.11%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	-371.497	(-468.324; -277.944)	95.11%	Prueba Ho: $n1 - n2 = 0$ H1: $n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.000
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
-371.497	(-468.324; -277.944)	95.11%						

Fuente: Elaboración propia

4.2.6. PRUEBA DE KRUSKAL- WALLIS PARA EVALUAR DIFERENCIAS EN [CO] ENTRE PUNTOS DE MONITOREO.

En esta sección, se pretende aceptar o rechazar la cuarta hipótesis que plantea el presente estudio: “Las estaciones de monitoreo ambiental, localizadas en Lima Este, registraron concentraciones de monóxido de carbono significativamente diferentes en el año 2019”.

Para tal propósito, se hará uso de la prueba de Kruskal-Wallis, el cual utiliza rangos de datos de tres o más muestras independientes para probar la hipótesis nula de que las muestras provienen de poblaciones con medianas iguales:

Entonces, se plantean las siguientes hipótesis:

- Ho: Todas las medianas son iguales; es decir, “Las estaciones de monitoreo ambiental, localizadas en Lima Este, no registraron concentraciones de monóxido de carbono significativamente diferentes en el año 2019”.
- H1: Al menos una mediana es diferente; es decir, “Las estaciones de monitoreo ambiental, localizadas en Lima Este, registraron concentraciones de monóxido de carbono significativamente diferentes en el año 2019”.

Tabla 18: Prueba de Kruskal-Wallis

EM	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Ate	12	1529.49	30.8	1.81
Santa Anita	12	995.47	13.2	-3.24
Lurigancho	12	1388.79	27.5	0.86
San Juan de Lurigancho	12	1591.78	26.5	0.57
General	48		24.5	

La tabla 18 muestra los resultados de la prueba Kruskal-Wallis; se observa una diferencia considerable entre los valores Z obtenidos, lo que sugeriría diferencias entre las medianas. Para confirmar o rechazar la hipótesis nula, haremos uso del valor p.

Hipótesis nula H_0 : Todas las medianas son iguales

Hipótesis alterna H_1 : Al menos una mediana es diferente

GL	Valor H	Valor p
3	11.12	0.011

Valor $p \leq \alpha$ (0.05); por lo tanto, se rechaza el H_0 , en consecuencia, al menos una mediana es diferente; entonces se acepta la H_1 (Las estaciones de monitoreo ambiental, localizadas en Lima Este, registraron concentraciones de monóxido de carbono significativamente diferentes en el año 2019).

Para determinar cuál mediana es diferente, se hará uso de la prueba de Mann-Whitney. Ver Tabla 19.

Tabla 19. Prueba de Mann-Whitney para determinar diferencias significativas espaciales en Lima Este 2019.

Evaluación de diferencias	Estimación de la diferencia	Prueba						
Evaluación de diferencia de medianas de Ate (n1) y Santa Anita (n2).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia</th> <th>IC para la diferencia</th> <th>Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>585.955</td> <td>(281.104; 862.168)</td> <td>95.36%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	585.955	(281.104; 862.168)	95.36%	Prueba $H_0: n1 - n2 = 0$ $H_1: n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.000
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
585.955	(281.104; 862.168)	95.36%						
Evaluación de diferencia de medianas de Ate (n1) y Lurigancho (n2).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia</th> <th>IC para la diferencia</th> <th>Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>104.831</td> <td>(-293.521; 422.410)</td> <td>95.36%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	104.831	(-293.521; 422.410)	95.36%	Prueba $H_0: n1 - n2 = 0$ $H_1: n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.436
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
104.831	(-293.521; 422.410)	95.36%						
Evaluación de diferencia de medianas de Ate (n1) y San Juan de Lurigancho (n2).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia</th> <th>IC para la diferencia</th> <th>Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30.1575</td> <td>(-383.060; 768.882)</td> <td>95.36%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	30.1575	(-383.060; 768.882)	95.36%	Prueba $H_0: n1 - n2 = 0$ $H_1: n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.977
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
30.1575	(-383.060; 768.882)	95.36%						
Evaluación de diferencia de medianas de Santa Anita (n1) y Lurigancho (n2).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia</th> <th>IC para la diferencia</th> <th>Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-488.822</td> <td>(-853.466; -165.000)</td> <td>95.36%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	-488.822	(-853.466; -165.000)	95.36%	Prueba $H_0: n1 - n2 = 0$ $H_1: n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.006
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
-488.822	(-853.466; -165.000)	95.36%						
Evaluación de diferencia de medianas de Santa Anita (n1) y San Juan de Lurigancho (n2).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia</th> <th>IC para la diferencia</th> <th>Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-572.694</td> <td>(-963.763; 185.279)</td> <td>95.36%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	-572.694	(-963.763; 185.279)	95.36%	Prueba $H_0: n1 - n2 = 0$ $H_1: n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.126
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
-572.694	(-963.763; 185.279)	95.36%						
Evaluación de diferencia de medianas de Lurigancho (n1) y San Juan de Lurigancho (n2).	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Diferencia</th> <th>IC para la diferencia</th> <th>Confianza lograda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25.1072</td> <td>(-497.570; 606.020)</td> <td>95.36%</td> </tr> </tbody> </table>	Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda	25.1072	(-497.570; 606.020)	95.36%	Prueba $H_0: n1 - n2 = 0$ $H_1: n1 - n2 \neq 0$ Valor p: 0.931
Diferencia	IC para la diferencia	Confianza lograda						
25.1072	(-497.570; 606.020)	95.36%						

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°19 muestra las pruebas de Mann-Whitney aplicadas para los diferentes puntos de monitoreo, muestra que hay diferencias significativas (valor $p > 0.05$) entre los puntos: Lurigancho – San Juan de Lurigancho (valor p : 0.931), Santa Anita – San Juan de Lurigancho (valor p : 0.126), Ate – San Juan de Lurigancho (valor p : 0.977) y Ate – Lurigancho (valor p : 0.436).

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de la dinámica del monóxido de carbono y la temperatura ambiental muestra que hubo relaciones presuntamente inversas y directas para diferentes rangos horarios; sin embargo, para que exista una relación entre las dos variables (independiente y dependiente) debe ocurrir que la causa (variación en la temperatura –variable independiente) debe ocurrir antes que la variación del CO (variable dependiente) y en algunos casos se debe configurar un tiempo de latencia. Lo anterior ocurrió en horas intermedias del día (de 08:00 horas a 22:00 horas, aproximadamente), en el que primero hubo una variación de la temperatura y luego una variación en la concentración de CO, por lo que se presumiría una relación inversa; sin embargo, la prueba de correlación de rango de Spearman ($p = 0.371$) muestra que no existió correlación significativa (al menos no una correlación lineal) entre las dos variables en el área y periodo evaluado. Cabe precisar que en (17) hallaron una correlación significativa entre los niveles elevados de contaminantes (entre ellos el monóxido de carbono) y los parámetros meteorológicos (entre ellos la temperatura). El comportamiento de la relación entre la temperatura y la concentración de monóxido de carbono puede, de haber algún tipo de dependencia, ser explicada en porcentajes por encima del 54% (coeficiente de determinación) mediante una ecuación polinómica de tercer grado; sin embargo, la consideración únicamente de R^2 para medir la dependencia nos conduciría a graves errores al aceptar dependencia entre las variables (69)

De otro lado, en cuanto a la dispersión del monóxido de carbono influenciado por la temperatura, cabe señalar el papel de la inversión térmica por irradiación; ya que este mecanismo consiste en que la superficie de la tierra se enfría por la noche, lo cual conlleva a que la temperatura del aire justo por encima de la tierra se vuelve más frío (70). En horas de la tarde, la inversión térmica por irradiación, a menudo, empieza cuando inicia el tráfico y causa elevadas concentraciones de contaminación; llegando quizá a varios centenares de metros antes que el sol de la mañana caliente otra vez, rompiendo la inversión (70).

Este fenómeno explicaría en parte la relación directa e inversa (en diferentes momentos del día), entre la concentración del monóxido de carbono y la temperatura ambiental.

Asimismo, las reacciones fotoquímicas del CO y el OH contribuyen a la transformación del contaminante (31). Es así que, en horas de la noche, estas reacciones no tienen lugar (70).

Por otro lado, otro fenómeno que, en horas de la mañana, contribuye a altas concentraciones de contaminación de breve duración, es el proceso conocido como “fumigación” (70); este proceso, sumado al aumento de la actividad vehicular, explica el aumento de la concentración de monóxido de carbono en horas de la mañana que se observa en los resultados de la presente investigación.

Los vientos en la zona de estudio provienen, en gran parte, del NNE (Nor noreste), con intensidades de hasta 5.7 m/s en algunos casos, con una que otra particularidad (EM Lurigancho – invierno 2019, en donde los vientos provinieron del OSO (Oeste suroeste)). Asimismo, la dinámica de la velocidad del viento y la concentración de monóxido de carbono en el aire de Lima Este en el año 2019, muestra que hubo relaciones presuntamente inversas y directas para diferentes rangos horarios. La prueba de Rangos de Spearman aplicada para determinar la existencia de correlación entre la dinámica del viento y la concentración de monóxido de carbono en Lima Este para el año 2019, indica que la dinámica del viento no influyó significativamente en la dispersión del monóxido de carbono en el aire de Lima Este en el año 2019, en el periodo evaluado; sin embargo, otros estudios (18) determinaron que el viento y otras variables climatológicas tienen efectos sobre las concentraciones del monóxido de carbono.

El comportamiento de la relación entre la velocidad del viento y la concentración de monóxido de carbono podría, de haber algún tipo de dependencia, ser explicada en porcentajes por encima del 48% (coeficiente de determinación) mediante una ecuación polinómica de tercer, cuarto o quinto grado. Sin embargo, según (69) el coeficiente de determinación tiende a dar una imagen demasiado optimista del ajuste de regresión y que la consideración únicamente de R^2 para medir el grado de ajuste nos conduce a graves errores al aceptar la dependencia entre las variables.

Las pruebas de normalidad aplicadas para las concentraciones de monóxido de carbono en las cuatro estaciones de monitoreo indican que los datos son significativamente diferentes a una distribución normal.

La prueba de Kruskal- Wallis aplicada a las concentraciones de CO para determinar la existencia de diferencias significativas en la [CO] entre los periodos estacionales (otoño,

invierno, primavera y verano); determinó que al menos en uno de los periodos estacionales acaecieron concentraciones de CO significativamente diferentes en relación a los otros periodos. La prueba de Mann- Whitney indica que el periodo estacional diferente fue el otoño del 2019. Lo anterior no necesariamente se contradice con (18), en donde se reveló que las variaciones estacionales de CO se caracterizaron por un pico en primavera y una disminución en verano; este hecho podría deberse a factores geográficos propios de cada zona de estudio, ya que, según (11), las características del terreno modifican de manera importante la dispersión del gas. Asimismo, este hecho observado se debe a que la mayor concentración de CO se observa principalmente en los meses más fríos (71).

Asimismo, respecto a la variación periódica estacional de concentración de CO, según (31) está asociada a la actividad vegetativa de las plantas, al transporte y destrucción del CO por parte del OH, ya que un aumento del 30% del OH se ve reflejado en una disminución en CO entre el 4% y 23% (31).

La prueba de Kruskal- Wallis aplicada a las concentraciones de CO para determinar la existencia de diferencias significativas en la [CO] entre los puntos de monitoreo (variabilidad espacial) de CO (EM Ate, EM Santa Anita, EM Lurigancho y EM San Juan de Lurigancho) determinó que al menos en uno de los puntos de monitoreo acaecieron concentraciones de CO significativamente diferentes en relación a las otras EM. La prueba de Mann- Whitney indica que en la EM Ate registró concentraciones significativamente diferentes (mayor [CO] en Ate) al de la EM Lurigancho y EM San Juan de Lurigancho. Lo anterior denota variabilidad espacial de la concentración de monóxido de carbono en Lima Este, en el año 2019. Según (71), en donde se menciona que la mayor concentración de CO se encuentra en áreas con gran cantidad de tráfico, esta variabilidad espacial estaría asociada a la zona de alto flujo vehicular.

Resultados similares fueron identificados en (13), donde indica que la emisión de CO está relacionada con la emisión vehicular, ya que por la zona circulan constantemente vehículos que van hacia algunas zonas del Este de Lima (Chosica) y la zona centro del país. La dinámica anual en el 2019 del monóxido de carbono en Lima Este, mostró ser oscilante con dos (02) picos (08:00 horas y 21:00 horas, aproximadamente) y dos (02) valles (04:00 horas y 15:00 horas, aproximadamente); resultando en un diagrama oscilante con comportamiento senoidal. En el que en la estación de monitoreo Ate se registraron mayores valores seguido en orden descendente por la estación Lurigancho, San Juan de Lurigancho y Santa Anita.

Finalmente, en periodos largos (meses), los procesos de deposición contribuyen a la depuración del aire; es así que por un lado está la deposición seca (31), la cual consiste en que los contaminantes en fase gas pueden llegar al suelo debido a la turbulencia atmosférica y/o acción de la gravedad y ser adsorbidos o absorbidos por los diversos compartimentos sobre los que inciden; por otro lado, la deposición húmeda (31), en la que los contaminantes en general (incluidos los aerosoles) pueden estar dentro de las gotas de nubes, niebla, lluvia, nieve y cuando estos meteoros impactan sobre el suelo, edificios, césped, vías públicas, lagos, etc

CONCLUSIONES

1. Respecto a la relación de la dinámica del viento y el monóxido de carbono en el aire de Lima Este, para el año 2019, se concluye que la dinámica del viento en Lima Este, en el 2019, tuvo intensidades de hasta 5.7 m/s provenientes principalmente del NNE (Nor noreste); sin embargo, no existe evidencia suficiente para afirmar que la dinámica del viento haya influido significativamente en la dispersión del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019.
2. En lo que concierne a la relación de la temperatura ambiental y el monóxido de carbono en el aire de Lima este, para el año 2019; se determinó que la temperatura ambiental media registró valores de hasta 28 °C; sin embargo, según las pruebas de hipótesis consideradas, no existe evidencia suficiente para afirmar que la dinámica del viento haya influido significativamente en la dispersión del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019.
3. Se logró identificar, con base en las pruebas estadísticas de Kruskal- Wallis y la prueba post hoc de Mann- Whitney, que existen diferencias significativas entre las concentraciones de monóxido de carbono registradas en las estaciones de otoño, invierno, primavera y verano; y que en el otoño del 2019 se presentaron concentraciones de monóxido de carbono significativamente diferentes (en relación a las otras estaciones).
4. Se identificó, con base en las pruebas estadísticas de Kruskal- Wallis y la prueba post hoc de Mann- Whitney, que, en Lima Este, en el año 2019, la estación de monitoreo en la que se registró, significativamente, una mayor concentración de monóxido de carbono fue en la EM – Ate.
5. En la estación de monitoreo Ate, las mayores concentraciones fueron registradas en el invierno y las menores en primavera; en la estación de monitoreo Santa Anita, las mayores concentraciones de CO fueron registradas en el verano y las menores en primavera; en la estación de monitoreo Lurigancho, las mayores concentraciones fueron registradas en el verano del 2019 y antagónicamente las menores concentraciones del contaminante fueron registradas en el invierno del 2019; finalmente, en la estación de San Juan de Lurigancho las mayores concentraciones de CO se manifestaron en el otoño del 2019 y las menores en el invierno del 2019.
6. De otro lado a nivel mensual, el comportamiento del monóxido de carbono en la estación de monitoreo Ate, en el año 2019 fue variable; en el que hubo una mayor

oscilación (mayor rango) en el mes de marzo (con un pico muy pronunciado), mayor concentración media se registró en el mes de junio y las menores concentraciones fueron registradas en el mes de noviembre; asimismo el contaminante mostró un comportamiento más estable en el mes de enero (menor rango).

7. A nivel mensual, el comportamiento del monóxido de carbono, en la estación de monitoreo Sata Anita, en el año 2019, fue variable; en el que hubo una mayor oscilación (mayor rango) en el mes de abril (con un pico muy pronunciado), la mayor concentración media se registró en el mes de marzo y las menores concentraciones fueron registradas en el mes de octubre; asimismo, el contaminante mostró un comportamiento más estable en el mes de enero (menor rango).
8. A nivel mensual, el comportamiento del monóxido de carbono en la estación de monitoreo Lurigancho, en el año 2019, fue variable; en el que hubo una mayor oscilación (mayor rango) en el mes de marzo (con un pico muy pronunciado), la mayor concentración media se registró en el mes de marzo y las menores concentraciones fueron registradas en mes de abril; asimismo el contaminante mostró un comportamiento más estable en el mes de diciembre (menor rango).
9. A nivel mensual, el comportamiento del monóxido de carbono en la estación de monitoreo San Juan de Lurigancho, en el año 2019, fue variable; en el que hubo una mayor oscilación (mayor rango) en el mes de marzo (con un pico muy pronunciado), la mayor concentración media se registró en el mes de mayo y las menores concentraciones fueron registradas en mes de abril; asimismo el contaminante mostró un comportamiento más estable en el mes de julio (menor rango).
10. La concentración de monóxido de carbono en aire de Lima Este, en el 2019, no superó el estándar nacional de calidad ambiental para monóxido de carbono establecido en el Decreto Supremo N°003-2017-MINAM.

RECOMENDACIONES

1. Se exhorta a las autoridades encargadas de la vigilancia de la calidad del aire a ampliar la red de monitoreo ambiental existente; es decir, aumentar las estaciones de monitoreo y ubicarlas en zonas de mayor representatividad, así como velar por el funcionamiento óptimo y continuo de las mismas.
2. Crear mapas de dispersión en tiempo real, que indiquen la calidad del aire en tiempo real, acompañado de información acerca de cómo contribuir con la reducción de la contaminación atmosférica.
3. Dado que las zonas con mayor presencia en el aire de monóxido de carbono ocurren en zonas de abundante tráfico vehicular, una de las formas de reducir ello podría ser con el control concurrente de los certificados de inspección técnica vehicular y que estos sean emitidos por entidades debida y constantemente verificadas.
4. Priorizar el uso de vehículos a gas; restringir el uso de vehículos a base de combustibles líquidos solo para tipos de vehículos específicos.
5. Mejorar la pavimentación de vías e implementar medidas que faciliten un flujo vehicular eficiente (más alternativas de movilización, más accesos y salidas de hacia el centro del país).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Health Organization. La contaminación del aire.[consulta: 21 octubre 2020]. Disponible en: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
2. Sistema Nacional de Información ambiental. Diagnóstico de la gestión de la calidad ambiental del aire de Lima y Callao [conssulta: 21 de octubre 2020]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-gestion-calidad-ambiental-aire-lima-callao>
3. TÉLLEZ, Jairo, RODRÍGUEZ, Alba and FAJARDO, Álvaro. *Carbon monoxide contamination: An environmental health problem*. April 2006. Universidad Nacional de Colombia.
4. TUREDI, Suleyman, YILMAZ, Sennur Ekici, MENTESE, Ahmet, TURKMEN, Suha, KARACA, Yunus, SEN, Ozlem, YULUG, Esin and GUNDUZ, Abdulkadir. The Diagnostic Value of Serum Ischemia-modified Albumin Levels in Experimentally Induced Carbon Monoxide Poisoning and Their Correlation With Poisoning Severity. BIRD, Steven B. (ed.), *Academic Emergency Medicine*. July 2013. Vol. 20, no. 7, p. 652–658. DOI 10.1111.
5. ROJAS CHÁVEZ, F. J.DE POSGRADO, "Modelación numérica del transporte de contaminantes atmosféricos y su relación con las condiciones meteorológicas en Lima.Tesis doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.
6. ROMERO, Julio. MADRIGAL, Delfino. and MORALES, Carlos.*The Relationship of Carbon Monoxide and Climate in the City of Toluca, México, from*. Universidad Autónoma del Estado de México, 2005.
7. MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA. Plan de desarrollo local concertado de Lima Metropolitana 2016 - 2021. Lima, Junio 2016.
8. ROMERO, Julio. MADRIGAL, Delfino. y MORALES, Carlos. Comportamiento del monóxido de carbono y el clima en la ciudad de Toluca, de 1995 a 2001. México. *Ciencia ergo sum*. 2005. vol. 11, núm. 3, noviembre, 2004, pp. 263-274.
9. LONDOÑO, James, CORREA, Mauricio and PALACIO, Alberto. Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de envigado, Colombia. Escuela de ingeniería de Antioquia, Medellín. *Revista EIA*. 2011. (16),149-162. ISSN 1794-1237.
10. RAMÍREZ-SÁNCHEZ, Hermes Ulises, ANDRADE-GARCÍA, María Dolores, GONZÁLEZ-CASTAÑEDA, Miguel Ernesto and CELIS-DE LA ROSA, Alfredo de Jesús. Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco. *Salud Pública de México*. 2006. Vol. 48, no. 5, p. 385–394. DOI 10.1590/s0036-36342006000500005.
11. DÍAZ-OVALLE, Christian O, VÁZQUEZ-ROMÁN, Richart and SAM MANNAN, M. Determinación de los Factores del Peor Escenario en la Emisión de Gases Tóxicos. *Información tecnológica*. 2009. Vol. 20, no. 1, p. 3–10. DOI 10.4067/s0718-07642009000100002.
12. OYARZÚN G, MANUEL. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*. March 2010. Vol. 26, no. 1, p. 16–25. DOI 10.4067/s0717-73482010000100004.
13. D´AMELIO, Mónica; CAPOS, Larissa y ALVEM, Débora. Estudio de variabilidad de monóxido de carbono atmosférico en la región metropolitana de Campinas - sp y comparación con São Paulo - sp. *GPMAS. Ensayos USF*. 2017 1(1), 80–90. <https://doi.org/10.24933/eusf.v1i1.50> .
14. GAITÁN, Mauricio, CANCINO, Juliana and BEHRENTZ, Eduardo. Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*, n.o 26 (2007): 81-92. <https://doi.org/10.16924/revinge.26.10>

15. TUR, Veronica M., ADAME CARNERO, Jose A. and DUENAS DIAZ, Jose A. *Monthly evolution and trends of O₃, NO₂, CO and AOD in the metropolitan area of Buenos Aires from spatial observations*. In : *2018 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2018*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 20 february 2019. ISBN 9781538650325.
16. CAPILLA, Carmen. *Analysis of the Trend and Seasonal Cycle of Carbon Monoxide Concentrations in an Urban Area* (4 pp). *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 1 January 2007. Vol. 14, no. S1, p. 19–22. [Accessed 10 February 2021]. DOI 10.1065/espr2006.09.342. Available from: <http://dx.doi.org/10.1065/espr2006.09.342>
17. CICHOWICZ, Robert, WIELGOSIŃSKI, Grzegorz and FETTER, Wojciech. *Dispersion of atmospheric air pollution in summer and winter season*. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 1 December 2017. Vol. 189, no. 12, p. 1–10. [Accessed 10 February 2021]. DOI 10.1007/s10661-017-6319-2. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6319-2>
18. FAGBEJA, Mofoluso A., HILL, Jennifer L., CHATTERTON, Tim J. and LONGHURST, James W.S. *A GIS-based assessment of the suitability of SCIAMACHY satellite sensor measurements for estimating reliable CO concentrations in a low-latitude climate*. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 1 February 2015. Vol. 187, no. 2, p. 1–15. [Accessed 11 February 2021]. DOI 10.1007/s10661-014-4227-2. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-014-4227-2>
19. JANUŠEVIČIUS, T. and GRUBLIAUSKAS, R. *The effect of speed bumps and humps on the concentrations of CO, NO and NO₂ in ambient air*. *Air Quality, Atmosphere and Health* [online]. 1 April 2019. Vol. 12, no. 5, p. 635–642. [Accessed 11 February 2021]. DOI 10.1007/s11869-019-00683-y. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-019-00683>
20. KASSOMENOS, P. A., PASCHALIDOU, A. K. and VLACHOGIANNI, A. *One-day-ahead prediction of maximum carbon monoxide concentration in urban environments*. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* [online]. 1 February 2013. Vol. 27, no. 2, p. 561–572. [Accessed 11 February 2021]. DOI 10.1007/s00477-012-0601-1. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00477-012-0601-1>
21. LEE, Sanghee, CHOI, Gi Hyuk, LIM, Hyo Suk and LEE, Joo Hee. *Global and regional distribution of carbon monoxide from MOPITT: Seasonal distribution at 700 hPa*. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. March 2004. Vol. 92, no. 1–3, p. 35–42. [Accessed 11 February 2021]. DOI 10.1023/B:EMAS.0000014507.31728.48. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:EMAS.0000014507.31728.48>
22. NAGENDRA, S. M.Shiva and KHARE, Mukesh. *Artificial neural network based carbon monoxide persistence models for episodic urban air quality management*. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 7 April 2008. Vol. 139, no. 1–3, p. 247–255. [Accessed 11 February 2021]. DOI 10.1007/s10661-007-9831-y. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-007-9831>
23. NAGHIZADEH, Ali, SHARIFZADEH, Gholamreza, TABATABAEI, Fatemeh, AFZALI, Afsaneh, YARI, Ahmad Reza, GERAVANDI, Sahar and MOHAMMADI, Mohammad Javad. *Assessment of carbon monoxide concentration in indoor/outdoor air of Sarayan city, Khorasan Province of Iran*. *Environmental Geochemistry and Health* [online]. 1 October 2019. Vol. 41, no. 5, p. 1875–1880. [Accessed 11 February 2021]. DOI 10.1007/s10653-018-0226-5. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0226-5>
24. RUBIO, María A., LISSI, Eduardo, JORQUERA, Hector, SALINAS, Elizabeth, CASTRO, Julio and CÁDIZ, Marcela. *Carbon monoxide concentrations in Santiago City at street levels and their vertical gradient*. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 9 May 2008. Vol. 140, no. 1–3, p. 161–173. [Accessed 11 February 2021]. DOI 10.1007/s10661-007-9857-1. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-007-9857-1>
25. RUBIO, María A., FUENZALIDA, Irene, SALINAS, Elizabeth, LISSI, Eduardo, KURTENBACH,

- Ralf and WIESEN, Peter. *Carbon monoxide and carbon dioxide concentrations in Santiago de Chile associated with traffic emissions. Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 25 March 2010. Vol. 162, no. 1–4, p. 209–217. [Accessed 11 February 2021]. DOI 10.1007/s10661-009-0789-9. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-009-0789-9CO/CO2>
26. SAFARIANZENGIR, Vahid, SOBHANI, Behrouz, YAZDANI, Mohammad Hasan and KIANIAN, Mohammadkia. *Monitoring, analysis and spatial and temporal zoning of air pollution (carbon monoxide) using Sentinel-5 satellite data for health management in Iran, located in the Middle East. Air Quality, Atmosphere and Health* [online]. 1 June 2020. Vol. 13, no. 6, p. 709–719. [Accessed 12 February 2021]. DOI 10.1007/s11869-020-00827-5. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11869-020-00827-5>
 27. POMA, Rivera and MANUEL, Juan. Desarrollo de un Modelo Dinámico para determinar la incidencia de los factores contaminantes del aire en la población de Lima Metropolitana . *Revista de la Faculta de Ingenieria Industrial*. 2012. Vol. 15, p. 54–62.
 28. ESPINOZA, José; Alderete, Marleni. Caracterización de regiones espacialmente homogéneas de monóxido de carbono en Lima Metropolitana mediante el algoritmo de *clustering k-means* | *Revista Científica: BIOTECH AND ENGINEERING*. [online]. [Accessed 12 February 2021]. Available from: <http://revistas.untels.edu.pe/index.php/files/article/view/4/9>
 29. CHOLAN, Edison. Distribución espacial y temporal del espesor óptico de los aerosoles y del monóxido de carbono en el Perú relacionado con las quemas de biomasa (2002-2014). Tesis de grado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, 2016. [online]. [Accessed 12 February 2021]. Available from: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/5664>
 30. NAÑA, E. Variación temporal de la concentración de monóxido de carbono usando datos del sensor MOPITT en las regiones costa, sierra y selva del Perú. *Apuntes de ciencia & sociedad*. 2014 04(02) online]. [Accessed 12 February 2021]. Available from: <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/249/275>
 31. FIGUERUELO, Juan and MARINO, Martín. *Química física del ambientes y de los procesos medioambientales*. 2004. ISBN 9780874216561.
 32. JIMÉNEZ, Rosa María Rodríguez, CAPA, Águeda Benito and LOZANO, Adelaida Portela. *Meteorología Y Climatología*. 2004. ISBN 8468885355.
 33. DOMÉNECH, Xavier. *Química Atmosferica, Origen y Efectos de la Contaminacion*. Tercera Edición. Madrid. Miraguano Ediciones. 2000.
 34. *J. Glynn Henry y Gary W Heinke. Ingeniería ambiental*. Segunda edición. México. Pearson Educación. 1999. ISBN:970-17-0266-2.
 35. The Weather Channel. *La capa límite atmosférica* [consulta: 25 febrero 2021]. disponible en: <https://weather.com>.
 36. PORTELA, A., CASTRO, Manuel and GONZÁLEZ, R. Parametrización de la capa límite atmosférica en los modelos numéricos de pronóstico meteorológico. Facultad de Física. Universidad Complutense de Madrid. 1991 *Física de la Tierra*. 1991. No. 3, p. 103-138.
 37. MANAHAN S. E. *Introducción a la Química Ambiental*. España. Editorial Reverté.200. ISBN: 968-6708-60-X.
 38. ENGER, Eldon. *Ciencia Ambiental: Un estudio de interrelaciones*. Décima Edición. México. McGRAW-Hill/Interamericana Ediciones. 2019. ISBN 9788578110796.
 39. LAGOS, Pablo. *Estudios oceanicos y comparacion regional el rol de la temperatura superficial del mar y la subsidencia atmosferica en la descripcion de la estructura termica de la capa de inversion*. Instituto Geofísico del Perú. Lima. Apartado 3747.

40. CABILDO, M. del Pilar, Bases químicas del medio ambiente. Edición digital. Madrid. 2013. ISBN: 978-84-362-6805-8.
41. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias | SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. [online]. [Accessed 13 February 2021]. Available from: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones>
42. Resolución ministerial N°181-2016-MINAM, aprobado el 14 de Julio del 2016.Lima - Perú.
43. MANAHAN S. E. *Introducción a la Química Ambiental*. España. Editorial Reverté.200. ISBN: 968-6708-60-X [online].
44. SENAMHI. Mapa climático del Perú. [online]. [Accessed 25 February 2021]. Available from: <https://www.senamhi.gob.pe/servicios/main.php?dp=lima&p=mapa-climatico-del-peru>
45. LIMA COMO VAMOS. Cómo vamos en Lima Este. [acceso 28 febrero 2021]. Disponible en: http://www.limacomovamos.org/cm/wp-content/uploads/2019/03/Bolet%C3%ADn_LimaEste.pdf
46. INSTITUTO NACIONAL DE INFORMÁTICA Y ESTADÍSTICA. Departamento de Lima: Características de la infraestructura social y económica distrital - 1991.[acceso 25 febrero 2021]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0510/Libro.pdf
47. SENAMHI - Perú. Ministerio del Ambiente [online]. 2018. Available from: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
48. SENAMHI. Climas del Perú. [online]. [Accessed 25 February 2021]. Available from: https://idesep.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/api/records/9f18b911-64af-4e6b-bbef-272bb20195e4/attachments/Resumen_ejecutivo_Climas_del_Peru.pdf
49. SENAMHI. Climas del Perú [online]. [Accessed 25 February 2021]. Available from: https://idesep.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/api/records/9f18b911-64af-4e6b-bbef-272bb20195e4/attachments/Resumen_ejecutivo_Climas_del_Peru.pdf
50. CABRERA, Carlos; MALDONADO, Manuel; ARÉVALO, Walter; PACHECO, Renán; GIRALDO, Alfredo y LOAYZA, Sebastián. G. *Relaciones entre calidad ambiental calidad de vida en Lima Metropolitana*. Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica, 5(9), 47 - 52. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v5i9.664>
51. Sistema Peruano de Información Jurídica - SPIJ WEB. [online]. [Accessed 1 March 2021]. Available from: http://spijlibre.minjus.gob.pe/normativa_libre/main.asp
52. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. [online]. [Accessed 1 March 2021]. Available from: <https://sinia.minam.gob.pe/>
53. ORTIZ, Mayra. Metodología para certificar la calibración de analizadores de gases y opacímetros. Tesis de grado. Escuela Politécnica Nacional. Quito, 2007 [consultado el 29 de abril del 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/515/1/CD-1034.pdf>
54. MINAM. Protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del aire. Decreto Supremo N°010-2019-MINAM.
55. TELEDYNE API. Equipos de monitoreo ambiental - Modelo T300.[acceso 10 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.teledyne-api.com/products/carbon-compound-instruments/t300>
56. MURILLO, D. ORTEGA, I. CARRILLO, J. *Vista de Comparación de métodos de interpolación para la generación de Mapas de Ruido en entornos urbanos* [online]. [Accessed 29 April 2021]. Available from: <http://www.revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/265/179>

57. ENRIQUEZ, C. MENDEZ, J. MASÍS, R. Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el Análisis kriging y su validación. [online]. [Accessed 29 April 2021]. Available from: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242013000200006&script=sci_arttext
58. MONCADA, J. SOUSA, M. Correlación entre datos de satélites y datos en tierra, a partir de análisis geoestadísticos utilizando semivariogramas y técnicas de kriging, en la región de la Sabana de Carora, estado Lara-Venezuela. [online]. [Accessed 29 April 2021]. Available from: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.01.13.48/doc/p1336.pdf>
59. GARCÍA-GUADALUPE, Mario Enrique, RAMÍREZ-SÁNCHEZ, Hermes Ulises, ULLOA GODÍNEZ, Héctor, ARIAS, S. and PÉREZ, A. Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Guadalajara (México). *Investigaciones Geográficas*. 2012. No. 58, p. 9. DOI 10.14198/ingeo2012.58.01.
60. TRIOLA, Mario F. *Estadística*. México. Pearson Educación. 2009. ISBN 9789702612872.
61. MIHELICIC, James R. and ZIMMERMAN, Julie Beth. *Ingeniería de recursos del aire*. 2012. ISBN 9786077073178.
62. CAHIZA, P; Un acercamiento espacial a los paisajes comunitarios formativos de Los Molinos, Castro Barros, La Rioja; *Sociedad Argentina de Antropología; Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología*; 40; 1; 7-2015; 101-122
63. FALLAS, Jorge. Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones *Hydrometeorology of tropical cloud forest View project GIS and Wildlife Management View project* [online]. [no date]. [Accessed 2 March 2021]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/229021279>
64. MEJIA, F; MESA, O; POVEDA, G; VÉLEZ, J; et al. Distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en Colombia. *Medellín. DYNA*. 1999. 127. ISSN 0012-7353.
65. CHANG R. Goldsby K. *Química*. Duodécima edición. China. Editorial Mc Graw Hill education. 2017. ISBN: 978-607-15-1393-9
66. BERNAL C. *Metodología de la investigación*. Tercera Edición. Colombia. PEARSON Educación. 2010. ISBN:978-958-699-128-5.
67. HERNANDEZ SAMPIERI, *Roberto et al.* *Metodología de la investigación*. Quinta edición. México. Mc Graw Hill educación. 2010. ISBN: 978-607-15-0291-9
68. *Environmental Instruments Overview Ultraviolet Fluorescence Instruments*. 2021.[Accessed 29 April 2021] Available from: <http://www.teledyne-api.com/products/carbon-compound-instruments/t300>
69. MARTÍNEZ, M. Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*. 2005. No. 38, p. 315–331.
70. GILBERT M, Masters. WENDELL P, Ela. *Introducción a la ingeniería medioambiental*. Tercera edición. Madrid. PEARSON EDUCACIÓN S.A. 2008. ISBN 978-84-8322-444-1.
71. ARELLANO DIAZ, J. *Introducción a la ingeniería ambiental*. México. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A. 2002. ISBN:970-18-7961-9.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA DINÁMICA DEL MONÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE DE LIMA ESTE – 2019

PROBLEMAS	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>General: ¿Cuál fue la dinámica espacial de la concentración atmosférica del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019?</p> <p>Específicos: ¿Qué relación tuvo la dinámica del viento y el monóxido de carbono en el aire de Lima este, en el año 2019? ¿Qué relación tuvo la temperatura ambiental y el monóxido de carbono en el aire de Lima este, en el año 2019? ¿Qué estación del año 2019 presentó, significativamente, mayor concentración de monóxido de carbono? ¿Qué estación de monitoreo ubicadas en Lima Este es donde se</p>	<p>General: Evaluar e interpretar la dinámica espacial de la concentración atmosférica del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019.</p> <p>Específicos: Determinar la relación de la dinámica del viento y el monóxido de carbono en el aire de Lima Este, para el año 2019. Determinar la relación de la temperatura ambiental y el monóxido de carbono en el aire de Lima este, para el año 2019. Identificar la estación del año 2019 que presentó, significativamente, mayor concentración de monóxido de carbono en Lima Este. Identificar la estación de monitoreo de Lima Este que registró,</p>	<p>Antecedentes (8) Comportamiento del monóxido de carbono y el clima en la ciudad de Toluca, de 1995 a 2001. (9) Estimación de las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles en el área urbana de Envigado, Colombia. (10) Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco. ...</p> <p>Bases teóricas <u>Estructura de la atmósfera</u> Las propiedades tales como la temperatura y presión varían con la altura de una forma particular. <u>Capa límite atmosférica</u></p>	<p>General: Los factores climáticos influyen, significativamente, en la dispersión temporal y espacial del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019.</p> <p>Específicos: La dinámica del viento influyó significativamente en la dispersión del monóxido de carbono en el aire de Lima este. La temperatura ambiental influyó significativamente en dispersión del monóxido de carbono, en el aire de Lima Este. Existen diferencias significativas en las concentraciones de monóxido de carbono estacionales del 2019 en Lima Este. Las estaciones de monitoreo ambiental,</p>	<p>Variable 1 Dinámica del monóxido de carbono. Tipo: Dependiente Dimensiones: Horaria Indicadores: $\mu\text{gCO}/\text{m}^3$ de aire</p> <p>Variable 2 Temperatura Tipo: Independiente Dimensión: Horaria Indicador: °C</p> <p>Variable 3 Viento Tipo: Independiente Dimensión: Horaria Indicador: m/s, grados de acimut del norte</p>	<p>Tipo de investigación Básico Nivel de investigación Descriptivo Método general Método científico - inductivo</p> <p>Diseño de investigación No experimental longitudinal</p> <p>Población Aire de Lima Este Muestra Estaciones de monitoreo Ate, Santa Anita, Lurigancho y Huachipa.</p> <p>Técnicas de recolección Infrarrojo no dispersivo (Analizador T300)</p> <p>Técnicas de procesamiento</p>

PROBLEMAS	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
registraron, significativamente, mayores concentraciones de monóxido de carbono en el año 2019?	significativamente, mayor concentración de monóxido de carbono en el año 2019.	En esta capa se mezclan las partículas moleculares, los aerosoles, la contaminación y el vapor de agua. <u>Estabilidad Vertical</u> Aquellas condiciones atmosféricas que no favorecen el desarrollo de corrientes verticales es lo que configura una atmósfera estable	localizadas en Lima Este, en el año 2019, registraron concentraciones de monóxido de carbono significativamente diferentes.		Interpolación Kriging, Agrupación de datos registrados, análisis gráfico, estadística no paramétrica.

ANEXO 02 : DOCUMENTOS DE GESTIÓN DE DATOS

GERENCIA GENERAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ - SENAMHI

Presente. -

Yo, Dennis Libio Pando Huerta; domiciliado en Jr. Alcanfores N° 774, urbanización Los Ficus, distrito de Santa Anita, provincia y departamento de Lima, con N° DNI: 70769483, Telf.: 987260012 y E-mail dpandohuerta@gmail.com; egresado de la Universidad Universidad Continental, de la carrera de Ingeniería Ambiental.

Ante usted me presento y expongo;

Que, en el marco del desarrollo del proyecto de tesis titulado "Evaluación e interpretación de la dinámica del monóxido de carbono en el aire de Lima Este -2019"; y siendo necesario, para tal fin, los datos meteorológicos y de calidad del aire que el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI dispone, solicito la siguiente información:

ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERÍODOS
Santa Anita	Monóxido de Carbono - CO	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
San Juan de Lurigancho	Monóxido de Carbono - CO	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Huachipa	Monóxido de Carbono - CO	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Ate	Monóxido de Carbono - CO	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Santa Anita	Temperatura, velocidad y dirección del viento, Humedad relativa y precipitación.	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
San Juan de Lurigancho	Temperatura, velocidad y dirección del viento, Humedad relativa y precipitación.	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Huachipa	Temperatura, velocidad y dirección del viento, Humedad relativa y precipitación.	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Ate	Temperatura, velocidad y dirección del viento, Humedad relativa y precipitación.	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Lima, 10 de diciembre del 2020


Dennis Libio Pando Huerta
DNI: 70769483

Huancayo, 08 de Diciembre de 2020

ING. JOSÉ PERCY BARRÓN LOPEZ
Gerente General
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI
Presente. -

De mi consideración:

Por medio de la presente es grato dirigirme a usted a nombre de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD CONTINENTAL para presentar ante usted al Sr. **DENNIS LIBIO PANDO HUERTA**, de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, identificado con número de **DNI 70769483**, quien desea obtener información a fin de complementar el trabajo de investigación **EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA DINÁMICA DEL MONÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE DE LIMA ESTE - 2019**, conducente al título profesional que el mencionado viene realizando. Por lo que, le solicito tenga a bien brindarle las facilidades que el caso requiere a fin de que pueda lograr con éxito su cometido.

Esperando su gentil apoyo, aprovecho la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración.

Atentamente.


Ma. Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano
Universidad Continental**Firmado por**
FELIPE NÉSTOR GUTARRA MEZACN = FELIPE NÉSTOR GUTARRA MEZA
O = UNIVERSIDAD CONTINENTAL
T = DECANO
Date: 09/12/2020 22:41**Arequipa**
Av. Los Incas S/N,
José Luis Bustamante y Rivero
(054) 412 030Calle Alfonso Ugarte 607, Yanahuara
(054) 412 030**Huancayo**
Av. San Carlos 1580
(064) 481430**Cusco**
Urb. Manuel Prado - Loto B, N° 7 Av. Colcaayo
(084) 480 070Sector Argostura KM. 10,
carretera San Jerónimo - Solya
(084) 480 070**Lima**
Av. Alfredo Mendola 5210, Los Olivos
(01) 213 2760Jr. Junín 355, Miraflores
(01) 213 2760Cc
Archivo
FGM/tru



Dennis Pando Huerta <dpandohuerta@gmail.com>

SOLICITUD DE DATA (CONTAMINANTES Y METEOROLÓGICA)

1 mensaje

Dennis Pando Huerta <dpandohuerta@gmail.com>
Para: mesadepartes@senamhi.gob.pe
CC: atencionalciudadano@senamhi.gob.pe

12 de diciembre de 2020 a las 08:26







Previo cordial saludo.

Mi persona viene realizando un trabajo de investigación titulado "Evaluación e interpretación de la dinámica del monóxido de carbono en el aire de Lima Este -2019"; a raíz de ello, solicito me brinden datos de contaminante CO (registrados en las estaciones de monitoreo) y datos meteorológicos. Para tal fin, se adjuntan los siguientes documentos:

1. Solicitud
2. Carta de presentación
- 2.1. Resolución Decanal de aprobación del plan de tesis
3. Resumen del plan de tesis
4. Declaración jurada
5. Carta de compromiso

Sin otro particular y a la espera de su pronta atención.

6 archivos adjuntos

-  **1. Solicitud.pdf**
61K
-  **2. Carta de presentación - Dennis Pando Huerta.pdf**
417K
-  **4. Declaración jurada.pdf**
48K
-  **3. Resumen de proyecto de tesis.pdf**
364K
-  **2.1. c-Resolucion.pdf**
394K
-  **5. Carta de compromiso.pdf**
21K

**GERENCIA GENERAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA
DEL PERU – SENAMHI**

Presente. -

Yo, Dennis Libio Pando Huerta; domiciliado en Jr. Alcanfores N° 774, urbanización Los Ficus, distrito de Santa Anita, provincia y departamento de Lima, con N° DNI: 70769483, Telf.: 987260012 y E-mail dpandohuerta@gmail.com; egresado de la Universidad Universidad Continental, de la carrera de Ingeniería Ambiental.

Ante usted me presento y expongo;

Que, en el marco del desarrollo del proyecto de tesis titulado "Evaluación e interpretación de la dinámica del monóxido de carbono en el aire de Lima Este -2019"; y siendo necesario, para tal fin, los datos meteorológicos y de calidad del aire que el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI dispone, solicito la siguiente información:

ESTACIÓN	PARÁMETROS	ESCALA	PERÍODOS
Santa Anita	Monóxido de Carbono - CO	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
San Juan de Lurigancho	Monóxido de Carbono - CO	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Huachipa	Monóxido de Carbono - CO	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Ate	Monóxido de Carbono - CO	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Santa Anita	Temperatura, velocidad y dirección del viento, Humedad relativa y precipitación.	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
San Juan de Lurigancho	Temperatura, velocidad y dirección del viento, Humedad relativa y precipitación.	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Huachipa	Temperatura, velocidad y dirección del viento, Humedad relativa y precipitación.	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019
Ate	Temperatura, velocidad y dirección del viento, Humedad relativa y precipitación.	Horaria	01 de enero del 2017 al 31 de diciembre del 2019

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Lima, 10 de diciembre del 2020


.....
Dennis Libio Pando Huerta
DNI: 70769483

Huancayo, 08 de Diciembre de 2020

ING. JOSÉ PERCY BARRÓN LOPEZ
Gerente General
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI
Presente. -

De mi consideración:

Por medio de la presente es grato dirigirme a usted a nombre de la Facultad de Ingeniería de la UNIVERSIDAD CONTINENTAL para presentar ante usted al Sr. **DENNIS LIBIO PANDO HUERTA**, de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, identificado con número de **DNI 70769483**, quien desea obtener información a fin de complementar el trabajo de investigación **EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LA DINÁMICA DEL MONÓXIDO DE CARBONO EN EL AIRE DE LIMA ESTE - 2019**, conducente al título profesional que el mencionado viene realizando. Por lo que, le solicito tenga a bien brindarle las facilidades que el caso requiere a fin de que pueda lograr con éxito su cometido.

Esperando su gentil apoyo, aprovecho la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración.

Atentamente.



M^g. Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano
Universidad Continental

Firmado por
FELIPE NÉSTOR GUTARRA MEZA

CN = FELIPE NÉSTOR GUTARRA MEZA
O = UNIVERSIDAD CONTINENTAL
T = DECANO
Data: 09/12/2020 22:41

Arequipa
Av. Los Incas S/N,
José Luis Bustamante y Rivero
(054) 412 030

Calle Alfonso Ugarte 607, Yanahuara
(054) 412 030

Huancayo
Av. San Carlos 1980
(064) 481430

Cusco
Urb. Manuel Prado - Lote B, N° 7 Av. Colcaayo
(084) 480 070

Sector Angostura KM. 10,
carretera San Jerónimo - Sayla
(084) 480 070

Lima
Av. Alfredo Mendiolá 5210, Los Olivos
(01) 213 2760

Jr. Junín 355, Miraflores
(01) 213 2760

Cc
Archivo
FGM/tru



Dennis Pando Huerta <dpandohuerta@gmail.com>

TESISTA DENNIS LIBIO PANDO HUERTA

1 mensaje

Luis Felipe Gamarra Chávarry (UACGD) <lgamarra@senamhi.gob.pe> 21 de diciembre de 2020 a las 02:52
Para: "dpandohuerta@gmail.com" <dpandohuerta@gmail.com>, "Milagros Del Pilar Martínez Tabraj (UACGD)" <mmartinez@senamhi.gob.pe>, "Manuel Jesus Valverde Bocanegra (UACGD)" <mvalverde@senamhi.gob.pe>

TESISTA DENNIS LIBIO PANDO HUERTA:

Reciba el cordial saludo del SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGIA DEL PERU - SENAMHI, a fin de remitirle los datos disponibles de las estaciones de calidad del aire SANTA ANITA, SAN JUAN DE LURIGANCHO, HUACHIPA, ATE y SANTA ANITA (2017-2019), indicadas en el expediente N° 05941, escala HORARIA; cabe indicar que bajo la modalidad de servicio gratuito es por una sola vez. A la espera de su confirmación en cuanto a la recepción del presente y hacerle recordar que una vez concluida y aprobada su TESIS hacer llegar un ejemplar para nuestra biblioteca especializada, saludos.

Expediente: 05941



Luis Felipe Gamarra Chavarry
DIRECTOR DE PLANEAMIENTO, COORDINACION Y CONTROL
GERENCIA GENERAL
SENAMHI - PERÚ

D: Jr. Cahui de 785, Jesús María - Lima
T: 01 6141414 Anexo -
C: -
E: lgamarra@senamhi.gob.pe
W: www.senamhi.gob.pe

SENAMHI es una institución responsable con el medio ambiente. Le pedimos no imprimir este correo a menos que sea absolutamente necesario. Reduzca - Reuse - Recicle

 **INF HORARIA METEO y CALIDAD AIRE- DENNIS PANDO.xlsx**
4210K

ANEXO 03

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Objetivo: Evaluar e interpretar la dinámica espacial de la concentración atmosférica del monóxido de carbono en Lima Este en el año 2019.

Variable	Tipo de variable	Categorización o dimensiones	Definición	Nivel de medición	Unidad de medida
Dinámica del monóxido de carbono	Dependiente	Monóxido de carbono ambiental	Movimiento de la concentración del monóxido de carbono, en relación a las causas que lo producen.	De razón	$\mu\text{gCO}/\text{m}^3\text{aire}$
Temperatura	Independiente	Temperatura ambiental	Es una magnitud que mide el contenido de energía cinética interna de las partículas que forman el ambiente.	Intervalo	$^{\circ}\text{C}$
Viento	Independiente	Velocidad del viento	Aire en movimiento	De razón	m/s
		Dirección del viento	Se llama dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla.	Nominal	Puntos cardinales

ANEXO 04: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DEL ANALIZADOR DE MONÓXIDO DE CARBONO

Certificado de Calibración

LG-169-2019

1. DATOS TÉCNICOS DEL INSTRUMENTO

Página 2 de 3

Linealidad: 1% de Escala
 Precisión: 0,5 % de lectura
 Deriva: 1% de Lectura
 Resolución: 0,01 ppm

*Esta información proviene del manual de fabricante.

2. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por lecturas del equipo con gases patrón según "Procedimiento PCG-01 para la calibración de analizadores de Gases" Green Group PE SAC.

3. LUGAR DE CALIBRACIÓN.

Estación de Calidad de Aire - Ate

4. CONDICIONES AMBIENTALES

	Temperatura °C	Humedad relativa % H.R.
Inicial	21,5	60,8
Final	22,7	61,7

5. TRAZABILIDAD

Patrón usado	Código Interno	N° de lote o N° de certificado	F. Vencimiento
DAS PATRÓN CO	DOP-CO-39	EB0106334	2021-07-24
CAUDALÍMETRO	DOP-79	MM071718IC03	2019-07-17
CAUDALÍMETRO	DOP-67.2	MM032619IC02	2020-03-26

6. PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Parámetros	Inicial	Final	Rango
Rango (ppm)	10	10	(0 - 1000) ppm
CO masa (mV)	2537,4	2762,2	(2500-4800) mV
CO mV (mV)	2753,7	2651,8	(2500-4800) mV
MFR Ratio (—)	1,196	1,196	1,1 - 1,3
Press (in Hg)	22,3	22,3	~2" xHg amb
Sample FL (cm3/min)	686	685	(500 ± 10%) cm3/min
Sample Temp (°C)	46,1	46	(46 ± 4) °C
Bench Temp (°C)	46	46	(46 ± 2) °C
Wheel Temp (°C)	66,1	66,1	(56 ± 2) °C
Box Temp (°C)	34,7	34,9	(Ambient +7 ± 10) °C
RHT Drive (mV)	4172,3	4171,6	(250 - 4750) mV
Slope (—)	0,756	0,81	1,0 ± 0,3
Offset (ppm)	-0,06	-0,014	(0 ± 0,3) ppm

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY N° 27369 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

FO-LC-PR-01-03

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

Certificate of calibration

N°: LG-169-2019

Página (Page) 1 de 3

Green Group PE S.A.CAv. Aviación 4210 Surquillo Lima - Perú
www.greengroup.com.pe
Central: 560-6134 / 273-3550

Los resultados marcados con (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

INSTRUMENTO <i>Equipment</i>	Analizador Continuo de Monóxido de Carbono.
FABRICANTE <i>Manufacturer</i>	Teledyne
MODELO <i>Model</i>	T300
IDENTIFICACIÓN <i>Identification</i>	1040
SOLICITANTE <i>Customer</i>	SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ Carretera Central Km 7,5, Ref. Palacio Municipal - Ate.
FECHA/S DE CALIBRACIÓN <i>Date/s of calibration</i>	2019-07-04

Signatario/s autorizado/s
*Authorized signatory/ies***Fecha de emisión**
Date of issue
ENZO BARRERA ZAVALA
Laboratorio de Calibración

2019-07-10

- Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales e internacionales.
- ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Múltiplo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).
- Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
- This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and it's traceability to national or international standards.
- ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the international Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
- This certificate may not be partly reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY N° 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

FO-LC-PR-01-03

Av. Aviación 4200-4210 - Surquillo

Central: 560-6134 / 273-3550

www.greengroup.com.pe

Certificado de Calibración

LG-169-2019

7. LECTURAS DE AJUSTE DEL INSTRUMENTO

Página 3 de 3

Lectura de CO

	Patrón	Lectura Inicial	Lectura Final	Unidades
Zero	0.025	0.42	0.05	ppm
Span	5.00	7.75	5.00	ppm
Zero	0.025	0.45	0.04	ppm

8. RESULTADO DE MEDICIÓN

Lectura de CO

Lectura del instrumento	Concentración del patrón	Corrección	Incertidumbre
ppm	ppm	ppm	ppm
6.00	6.06	0.06	0.33
5.00	4.97	-0.03	0.31
2.97	2.97	0.00	0.29
0.95	1.05	0.07	0.26
0.04	0.10	0.06	0.25

9. OBSERVACIONES

- El instrumento se ajustó antes de la calibración.
- El tiempo de estabilización de la lectura es de 10 minutos.
- Considerar que 1 ppm equivale a $1 \cdot 10^{-6}$ mol/mol.

- La incertidumbre expandida declarada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medida por un factor de cobertura $k=2$ tal que la probabilidad de cobertura sea de aproximadamente el 95%.
- La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: EA-4/02 M:2013 "Evaluación de la incertidumbre de las Medidas de las Calibraciones" Rev01 Setiembre 2013.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensores calibrados, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificate of calibration

N°: LG-154-2019

Página (Page) 1 de 3

Green Group PE S.A.C

Av. Aviación 4210 Surquillo Lima - Perú
www.greengroup.com.pe
Central: 560-6134 / 273-3550



Los resultados marcados con (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

INSTRUMENTO <i>Equipment</i>	Analizador Continuo de Monóxido de Carbono.
FABRICANTE <i>Manufacturer</i>	Teledyne
MODELO <i>Model</i>	T300
IDENTIFICACIÓN <i>Identification</i>	1041
SOLICITANTE <i>Customer</i>	SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU Av. Los Eucaliptos Cdra. 12. Ref. Palacio Municipal - Santa Anita
FECHA/S DE CALIBRACIÓN <i>Date/s of calibration</i>	2019-07-04

Signatario/s autorizado/s
Authorized signatory/ies

Fecha de emisión
Date of issue


Héctor Rodríguez Ruíz
Laboratorio de Calibración

2019-07-18

- Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales e internacionales.
- ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).
- Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite
- *This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and its traceability to national or international standards.*
- *ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).*
- *This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.*

Certificado de Calibración

LG-154-2019

7. LECTURAS DE AJUSTE DEL INSTRUMENTO

Página 3 de 3

Lectura de CO

	Patrón	Lectura inicial	Lectura Final	Unidades
Zero	0,025	0,09	0,09	ppm
Span	8	8,05	8,05	ppm
Zero	0,025	0,09	0,09	ppm

8. RESULTADO DE MEDICIÓN

Lectura de CO

Lectura del instrumento	Concentración del patrón	Corrección	Incertidumbre
ppm	ppm	ppm	ppm
8,06	8,01	-0,05	0,35
5,09	5,08	-0,01	0,31
3,07	3,10	0,03	0,29
1,03	1,14	0,11	0,26
0,08	0,10	0,02	0,25

9. OBSERVACIONES

- El tiempo de estabilización de la lectura es de 15 minutos.
- Considerar que 1 ppm equivale a $1 \cdot 10^{-6}$ mol/mol.

- La incertidumbre expandida declarada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medida por un factor de cobertura $k=2$ tal que la probabilidad de cobertura sea de aproximadamente el 95%.
- La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: EA-4/02 M:2013 "Evaluación de la Incertidumbre de las Medidas de las Calibraciones" Rev01 Setiembre 2013.
- Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensores calibrados, en el momento de la calibración.
- Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY N° 27209 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

FO-LC-PR-01-03

Av. Aviación 4200-4210 - Surquillo

Central: 560-8134 / 273-3550

www.greengroup.com.pe

Certificado de Calibración

LG-154-2019

1. DATOS TÉCNICOS DEL INSTRUMENTO

Página 2 de 3

Linealidad: 1% de Escala
Precisión: 0,5 % de lectura
Deriva: 1% de Lectura
Resolución: 0,01 ppm

*Esta información proviene del manual de fabricante.

2. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por lecturas del equipo con gases patrón según "Procedimiento PCG-01 para la calibración de analizadores de Gases" Green Group PE SAC.

3. LUGAR DE CALIBRACIÓN.

Estación de Calidad de Aire - Santa Anita

4. CONDICIONES AMBIENTALES

	Temperatura °C	Humedad relativa % H.R
Inicial	23,5	65,4
Final	24,2	65,6

5. TRAZABILIDAD

Patrón usado	Código Interno	N° de lote o N° de certificado	F. Vencimiento
GAS PATRÓN CO	GGP-CG-39	EB0106354	2021-07-24
CAUDALIMETRO	GGP-41.1	MM071718JC01	2019-07-17
CAUDALIMETRO	GGP-41.2	MM071718JC02	2019-07-17
CAUDALIMETRO	GGP-41.3	MM071718JC03	2019-07-17

6. PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Parámetros	Inicial	Final	Rango
Rango (ppm)	10	10	(0 - 1000) ppm
CO meas (mV)	3337,8	3337,8	(2500-4800) mV
CO ref (mV)	2774,5	2774,5	(2500-4800) mV
MR Ratio (---)	1,205	1,2	1,1 - 1,3
Press (in Hg)	27,7	27,8	-.2" inHg amb
Sample FL (cm3/min)	855	856	(800 ±10%) cm3/min
Sample Temp (°C)	45,7	46,2	(48 ± 4) °C
Bench Temp (°C)	48	48	(48 ± 2) °C
Wheel Temp (°C)	67,7	68,1	(68 ± 2) °C
Box Temp (°C)	29	29	(Ambient +7 ± 10) °C
PHT Drive (mV)	3714,1	3714,1	(250 -4750) mV
Slope (---)	0,886	0,886	1,0 ± 0,3
Offset (ppm)	-0,004	-0,004	(0 ±0,3) ppm

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY N° 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

FO-LC-PR-01-03

Certificado de Calibración

LG-161-2019

1. DATOS TÉCNICOS DEL INSTRUMENTO

Página 2 de 3

Linealidad: 1% de Escala
Precisión: 0,5 % de lectura
Deriva: 1% de Lectura
Resolución: 0,01 ppm

*Esta información proviene del manual de fabricante.

2. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por lecturas del equipo con gases patrón según "Procedimiento PCG-01 para la calibración de analizadores de Gases" Green Group PE SAC.

3. LUGAR DE CALIBRACIÓN.

Estación de Calidad de Aire - Huachipa

4. CONDICIONES AMBIENTALES

	Temperatura °C	Humedad relativa % H.R
Inicial	23,4	65,4
Final	23,6	65,6

5. TRAZABILIDAD

Patrón usado	Código Interno	N° de lote o N° de certificado	F. Vencimiento
GAS PATRÓN CO	GGP-CG-39	E80106354	2021-07-24
CAUDALÍMETRO	GGP-41.1	MM071718JC01	2019-07-17
CAUDALÍMETRO	GGP-41.2	MM071718JC02	2019-07-17
CAUDALÍMETRO	GGP-41.3	MM071718JC03	2019-07-17

6. PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Parámetros	Inicial	Final	Rango
Rango (ppm)	10	10	(0 - 1000) ppm
CO meas (mV)	3295,1	3246,1	(2500-4800) mV
CO ref (mV)	2721,1	2688,2	(2500-4800) mV
MR Ratio (—)	1,223	1,22	1,1 - 1,3
Press (in Hg)	27,5	27,5	-,2" inHg amb
Sample FL (cm3/min)	779	763	(800 ±10%) cm3/min
Sample Temp (°C)	46,1	47,2	(48 ± 4) °C
Bench Temp (°C)	46,7	48	(48 ± 2) °C
Wheel Temp (°C)	67,8	67,8	(68 ± 2) °C
Box Temp (°C)	24,7	32,8	(Ambient +7 ± 10) °C
PHT Drive (mV)	2556	2963,9	(250 -4750) mV
Slope (—)	0,843	0,851	1,0 ± 0,3
Offset (ppm)	0,013	0,01	(0 ±0,3) ppm

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN***Certificate of calibration*N°: **LG-161-2019**Página (Page) **1 de 3****Green Group PE S.A.C**Av. Aviación 4210 Surquillo Lima - Perú
www.greengroup.com.pe
Central: 560-6134 / 273-3550

Los resultados marcados con (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

INSTRUMENTO <i>Equipment</i>	Analizador Continuo de Monóxido de Carbono.
FABRICANTE <i>Manufacturer</i>	Teledyne
MODELO <i>Model</i>	T300
IDENTIFICACIÓN <i>Identification</i>	1047
SOLICITANTE <i>Customer</i>	SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU Calle Los Canarios Mz O2 Lt. 5 - El Club de Santa María de Huachipa - Huachipa
FECHA/S DE CALIBRACIÓN <i>Date/s of calibration</i>	2019-07-10

Signatario/s autorizado/s
*Authorized signatory/ies***Fecha de emisión**
Date of issue
Héctor Rodríguez Ruiz
Laboratorio de Calibración

2019-07-18

. Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales e internacionales.
. ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).
. Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite
. *This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and it's traceability to national or international standards.*
. ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
. *This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.*

Certificado de Calibración

LG-161-2019

7. LECTURAS DE AJUSTE DEL INSTRUMENTO

Página 3 de 3

Lectura de CO

	Patrón	Lectura inicial	Lectura Final	Unidades
Zero	0,03	1,2	0,02	ppm
Span	8,00	7,85	8,01	ppm
Zero	0,03	1,2	0,02	ppm

8. RESULTADO DE MEDICIÓN

Lectura de CO

Lectura del instrumento	Concentración del patrón	Corrección	Incertidumbre
ppm	ppm	ppm	ppm
8,01	7,88	-0,13	0,34
5,02	4,97	-0,05	0,31
3,16	3,08	-0,08	0,29
0,99	1,05	0,06	0,26
0,01	0,10	0,09	0,25

9. OBSERVACIONES

- El instrumento se ajustó antes de la calibración.
- El tiempo de estabilización de la lectura es de 16 minutos.
- Considerar que 1 ppm equivale a $1 \cdot 10^{-6}$ mol/mol.

-
- La incertidumbre expandida declarada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medida por un factor de cobertura $k=2$ tal que la probabilidad de cobertura sea de aproximadamente el 95%.
 - La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: EA-4/02 M:2013 "Evaluación de la Incertidumbre de las Medidas de las Calibraciones" Rev01 Setiembre 2013.
 - Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensores calibrados, en el momento de la calibración.
 - Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.
-

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA [FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY N° 27269 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES]

FO-LC-PR-01-03

Certificado de Calibración

LG-177-2019

1. DATOS TÉCNICOS DEL INSTRUMENTO

Página 2 de 3

Linealidad: 1% de Escala
Precisión: 0,5 % de lectura
Deriva: 1% de Lectura
Resolución: 0,01 ppm

*Esta información proviene del manual de fabricante.

2. MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por lecturas del equipo con gases patrón según "Procedimiento PCG-01 para la calibración de analizadores de Gases" Green Group PE SAC.

3. LUGAR DE CALIBRACIÓN.

Estación de Calidad de Aire - San Juan de Lurigancho.

4. CONDICIONES AMBIENTALES

	Temperatura °C	Humedad relativa % H.R
Inicial	22,4	63,3
Final	21,8	62,7

5. TRAZABILIDAD

Patrón usado	Código Interno	N° de lote o N° de certificado	F. Vencimiento
GAS PATRÓN CO	GGP-CG-37	SA8627	2021-07-24
CAUDALÍMETRO	GGP-79	MM071718JC05	2019-07-17
CAUDALÍMETRO	GGP-67.2	MM032619JC02	2020-03-26

6. PARÁMETROS DE MEDICIÓN

Parámetros	Inicial	Final	Rango
Rango (ppm)	10	10	(0 - 1000) ppm
CO meas (mV)	2718,8	2673,9	(2500-4800) mV
CO ref (mV)	2262,3	2225,9	(2500-4800) mV
MR Ratio (---)	1,214	1,213	1,1 - 1,3
Press (in Hg)	27,8	27,8	,-2" inHg amb
Sample FL (cm3/min)	729	729	(800 ±10%) cm3/min
Sample Temp (°C)	46,8	46,6	(48 ± 4) °C
Bench Temp (°C)	48	48	(48 ± 2) °C
Wheel Temp (°C)	68	67,9	(68 ± 2) °C
Box Temp (°C)	38,8	38,1	(Ambient +7 ± 10) °C
PHT Drive (mV)	2519,1	2525,3	(250 -4750) mV
Slope (---)	0,665	0,871	1,0 ± 0,3
Offset (ppm)	0,007	0,003	(0 ±0,3) ppm

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN***Certificate of calibration*

N°: LG-177-2019

Página (Page) 1 de 3

Green Group PE S.A.CAv. Aviación 4210 Surquillo Lima - Perú
www.greengroup.com.pe
Central: 560-6134 / 273-3550

Los resultados marcados con (*) no están amparados por la acreditación de ENAC

INSTRUMENTO <i>Equipment</i>	Analizador Continuo de Monoxido de Carbono.
FABRICANTE <i>Manufacturer</i>	Teledyne
MODELO <i>Model</i>	T300
IDENTIFICACIÓN <i>Identification</i>	1043
SOLICITANTE <i>Customer</i>	SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERÚ Av. Del Parque N° 640 Urb. Canto Rey - San Juan de Lurigancho.
FECHA/S DE CALIBRACIÓN <i>Date/s of calibration</i>	2019-07-10

Signatario/s autorizado/s
*Authorized signatory/ies***Fecha de emisión**
*Date of issue*ENZO BARRERA ZAVALA
Laboratorio de Calibración

2019-07-18

- . Este certificado se expide de acuerdo con las condiciones de la acreditación concedida por ENAC que ha comprobado las capacidades de medida del laboratorio y su trazabilidad a patrones nacionales e internacionales.
- . ENAC es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (MLA) de calibración de European Cooperation for Accreditation (EA) y de International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).
- . Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite
- . *This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation granted by ENAC which has assessed the measurement capability of the laboratory and it's traceability to national or international standards.*
- . ENAC is one of the signatories of the Multilateral Agreement of the European Cooperation for Accreditation (EA) and the International Laboratories Accreditation Cooperation (ILAC).
- . *This certificate may not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.*

Certificado de Calibración

LG-177-2019

7. LECTURAS DE AJUSTE DEL INSTRUMENTO

Página 3 de 3

Lectura de CO

	Patrón	Lectura inicial	Lectura Final	Unidades
Zero	0,025	0,54	0,05	ppm
Span	8,00	7,62	8,01	ppm
Zero	0,025	0,61	0,05	ppm

8. RESULTADO DE MEDICIÓN

Lectura de CO

Lectura del instrumento	Concentración del patrón	Corrección	Incertidumbre
ppm	ppm	ppm	ppm
8,02	8,06	0,04	0,35
5,02	4,98	-0,04	0,31
2,98	2,98	0,00	0,29
0,98	1,05	0,07	0,26
0,05	0,10	0,05	0,25

9. OBSERVACIONES

- El instrumento se ajustó antes de la calibración.
- El tiempo de estabilización de la lectura es de 10 minutos.
- Considerar que 1 ppm equivale a $1 \cdot 10^{-6}$ mol/mol.

-
- La incertidumbre expandida declarada se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medida por un factor de cobertura $k=2$ tal que la probabilidad de cobertura sea de aproximadamente el 95%.
 - La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimado siguiendo las directrices de: EA-4/02 M:2013 "Evaluación de la Incertidumbre de las Medidas de las Calibraciones" Rev01 Setiembre 2013.
 - Los resultados emitidos son válidos solo para el instrumento y sensores calibrados, en el momento de la calibración.
 - Se recomienda al usuario recalibrar a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base a las características del instrumento.
-

LA IMPRESIÓN DE ESTE CERTIFICADO CONSTITUYE UNA COPIA DEL ORIGINAL EN VERSIÓN ELECTRÓNICA (FIRMA DIGITAL SEGÚN LEY N° 27209 LEY DE FIRMAS Y CERTIFICADOS DIGITALES)

FO-LC-PR-01-03

Av. Aviación 4200-4210 - Surquillo

Central: 560-6134 / 273-3550

www.greengroup.com.pe

ANEXO 05: BASE DE DATOS PROPORCIONADA POR EL SENAMHI

Debido a la gran cantidad de datos (169 hojas), la base de datos queda disponible en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/file/d/1pgSePWzliHa81m7CFDBB4-5dhp_ejMux/view?usp=sharing