

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERIA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



**“CORRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS Y
CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS, EN
EL DISTRITO DE VILLA MARÍA DEL TRIUNFO, EN MAYO DE 2018”.**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

RIOS GARCES, LINDSAY GIRAY

Villa El Salvador

2020

DEDICATORIA

A mis abuelas Laura Sáenz y Aurora Guevara; a mis tías Sara Garcés y Elva Garcés, y a mi hermana Maruja Rios.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque es mi fortaleza y sostén en mi vida.

A mi alma mater Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, a la facultad Ingeniería y Gestión, a la escuela de Ingeniería Ambiental por ser parte de ella, a los diferentes docentes que inculcaron sus valiosos conocimientos y el día de hoy se ve reflejado en la culminación de mi paso por esta casa de estudios.

Al Ph. D Ing. Odón Román Sánchez Ccoyllo asesor de este trabajo de suficiencia profesional quien, con sus aportes académicos, dedicación, paciencia, experiencia, y el compromiso para la ejecución de este trabajo.

A mi madre, Lilia Gisela Garces Sáenz, por su amor, dedicación, confianza, apoyo y consejos, es uno de los principales motores de mis metas, gracias por inculcar la persona que hoy en día soy, te amo con mi vida entera.

A mi padre, José Antonio Rios Guevara, por su amor, confianza y apoyo en mi vida.

Un agradecimiento muy especial a Cristhian Espinoza Cruz por su paciencia y apoyo incondicional en este proceso.

A toda mi familia sin excepción, siempre estuvieron pendiente de mí y me brindaron su apoyo en todo momento.

A mis amigos más cercanos, compañeros de estudio ya que de las experiencias vividas en esta etapa de mi vida aprendí de ustedes. Muchas gracias.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Internacionales.	4
2.1.2. Nacionales.....	13
2.2. Bases Teóricas	17
2.2.1. La atmósfera.....	17
2.2.2. Contaminación atmosférica.	18
2.2.3. Variables Meteorológicas.	19
2.2.4. Fuentes de Emisiones.	20
2.2.5. Material Particulado.....	21
2.2.6. Dióxido de azufre.....	21
2.2.7. Óxidos de nitrógeno.	21
2.2.8. Monóxido de carbono.....	22
2.2.9. Dióxido de Carbono.....	22
2.2.10. Ozono troposférico.	22
2.2.11. Villa María del Triunfo y la contaminación atmosférica.....	22
2.2.12. Excel 19.....	23
2.2.13. SPSS Versión 23.....	23
2.2.14. Teoría del coeficiente de Pearson.....	23
2.2.15. Estándares de calidad ambiental para aire	25
2.3. Definición de términos básicos	26

CAPITULO III: METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL TRABAJO	
PROFESIONAL.....	27
3.1. Delimitación temporal y espacial del trabajo	27
3.1.1.Delimitación espacial.....	27
3.1.2.Delimitación temporal.....	29
3.2. Determinación y Análisis del problema	29
3.2.1.Descripción del problema.....	29
3.2.2.Formulación del problema.....	30
3.3. Modelo de solución propuesto	30
3.3.1.Tipo de Investigación.....	30
3.3.2.Diseño de investigación.....	30
3.3.3.Población y muestra.....	31
3.3.4.Instrumentos de recolección de datos y procesador.....	31
3.3.5.Proceso de recolección y análisis de datos.....	32
3.4. Resultados	35
3.4.1.Análisis Descriptivo	35
3.4.2.Análisis correlacional.....	53
IV. CONCLUSIONES	70
V. RECOMENDACIONES.....	73
VI. BIBLIOGRAFIA	74
VII. ANEXOS.....	79

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Estructura vertical de la atmósfera.....	18
Figura 2. Rosa de viento en Wrplot.....	20
Figura 3. Mapa de ubicación del distrito de Villa María del Triunfo.....	27
Figura 4. Mapa de Ubicación de la Estación de Calidad de Aire 112233 – DZ.04.	28
Figura 5. Flujograma de proceso de recolección y análisis de datos.....	34
Figura 6. Variación temporal de temperatura del aire horaria (°C).....	35
Figura 7. Variación temporal de humedad relativa horaria (%).	37
Figura 8. Variación temporal de velocidad del viento (m/s).....	38
Figura 9. Velocidad y Dirección del viento desde el 01 al 13 de mayo de 2018... 39	
Figura 10. Variación temporal PM ₁₀	40
Figura 11. Variación temporal de PM _{2.5}	42
Figura 12. Variación temporal de monóxido de carbono (CO).	43
Figura 13. Variación temporal de dióxido de azufre (SO ₂).	45
Figura 14. Variación temporal de dióxido de nitrógeno (NO ₂).	46
Figura 15. Variación temporal de ozono troposférico (O ₃).....	48
Figura 16. PM ₁₀ - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.....	49
Figura 17. PM _{2.5} - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.....	50
Figura 18. CO - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.....	50
Figura 19. SO ₂ - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.....	51
Figura 20. NO ₂ - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.....	52
Figura 21. O ₃ - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.	52
Figura 22. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs PM ₁₀	53
Figura 23. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs PM _{2.5}	54
Figura 24. Relación gráfica entre la temperatura del aire vs monóxido de carbono (CO).	55
Figura 25. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs dióxido de azufre (SO ₂).	56
Figura 26. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs dióxido de nitrógeno (NO ₂).	56

Figura 27. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs ozono troposférico (O ₃).	57
Figura 28. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs PM ₁₀ .	58
Figura 29. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs PM _{2.5} .	59
Figura 30. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs monóxido de carbono (CO).	60
Figura 31. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs dióxido de azufre (SO ₂).	61
Figura 32. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs dióxido de nitrógeno (NO ₂).	62
Figura 33. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs ozono troposférico (O ₃).	63
Figura 34. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs PM ₁₀ .	64
Figura 35. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs PM _{2.5} .	65
Figura 36. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs monóxido de carbono (CO).	66
Figura 37. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs dióxido de azufre (SO ₂).	67
Figura 38. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs dióxido de nitrógeno (NO ₂).	68
Figura 39. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs ozono troposférico (O ₃).	69

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.	25
Tabla 2. Estadística descriptiva de temperatura del aire (°C).	35
Tabla 3. Estadística descriptiva de humedad relativa horaria (%).	36
Tabla 4. Estadística descriptiva de velocidad del viento (m/s).	38
Tabla 5. Estadística descriptiva de material particulado PM ₁₀ (µg/m ³).	40
Tabla 6. Estadística descriptiva de material particulado PM _{2.5} (µg/m ³).	41
Tabla 7. Estadística descriptiva de monóxido de carbono (CO)	43
Tabla 8. Estadística descriptiva de dióxido de azufre (SO ₂).	44
Tabla 9. Estadística descriptiva de dióxido de nitrógeno (NO ₂).	46
Tabla 10. Estadística descriptiva de ozono troposférico (O ₃).	47
Tabla 11. Estadística de correlación entre la temperatura del aire horaria y la concentración de los contaminantes.	53
Tabla 12. Estadística de correlación entre la humedad relativa horaria y la concentración de los contaminantes.	58
Tabla 13. Estadística de correlación entre la velocidad del viento y la concentración de los contaminantes.	64

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional determinó la correlación de las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos, en el distrito de Villa María del Triunfo, en mayo de 2018, se desarrolló en una creciente preocupación de la contaminación del aire.

La investigación desarrolló un análisis temporal de las variables meteorológicas (temperatura horaria del aire, humedad relativa horaria, velocidad y dirección del viento) y concentración de los contaminantes atmosféricos (PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO, SO_2 , NO_2 y O_3) a través de series de tiempo, medidas de tendencia central (media, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación), la comparación con el D.S N° 003-2017 MINAM - Estándares de Calidad Ambiental y finalmente se determinó la correlación entre las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos usando el coeficiente de correlación Pearson, teniendo resultados significativos donde la correlación de la temperatura horaria del aire y el PM_{10} tiene una correlación significativa y una relación positiva baja. Para la correlación de temperatura del aire y el monóxido de carbono existe una correlación significativa y una relación inversa. La correlación de temperatura del aire y el ozono troposférico (O_3) existe una correlación significativa directamente proporcional fuerte. La correlación de humedad relativa y el PM_{10} existe una correlación significativa inversamente proporcional baja. La correlación de la humedad relativa y monóxido de carbono es significativa y tiene una relación inversamente proporcional. La correlación de humedad relativa y el dióxido de nitrógeno (NO_2) es significativa inversamente proporcional baja. La correlación de humedad relativa y el ozono troposférico (O_3) existe una correlación significativa inversamente proporcional media. La correlación de la velocidad del viento y el monóxido de carbono (CO) es significativa e inversamente proporcional baja. La correlación de la velocidad del viento y el dióxido de azufre es inversamente proporcional baja. La correlación de la velocidad del viento y el ozono troposférico es directamente proporcional media. Estos datos han sido medidos y analizados por SENAMHI, a través de la red de monitoreo de calidad de aire de la estación de Villa María del Triunfo.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es una problemática ambiental en Lima Metropolitana ya que es un riesgo significativo para la salud de los seres vivos, según Organización Mundial de la Salud (2018). Esta es producto del desarrollo de las actividades económicas representadas por enormes industrias, el parque automotor, la disposición inadecuada de los residuos sólidos en las ciudades, ya que constantemente emiten diversas sustancias que al estar en contacto con el ambiente generan otros elementos aún más contaminantes, teniendo una interacción con las condiciones que se presentan en la atmósfera, principalmente a la actividad industrial que se realiza en la zona. De esta manera, las variables meteorológicas influyen en la concentración de los contaminantes atmosféricos, según Whiteman, Hoch, Horel y Charland (2014).

Actualmente muchas ciudades con alta actividad industrial y sobre todo en centros urbanos cuentan un Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire que permite saber las condiciones de las variables meteorológicas y concentración de contaminantes en la atmósfera. Según DIRIS LIMA SUR (2019), menciona que el distrito de Villa María del Triunfo cuenta con riesgos antrópicos tales como: mala disposición de sólidos municipales, la contaminación del aire, que al compararlos niveles establecidos por la OMS registran una mayor concentración en $PM_{2.5}$ y PM_{10} representando un grave riesgo a la salud de las personas; producto de las actividades predominantes tales como servicios de transporte, el comercio informal y formal, comercialización de madera, talleres de metal mecánica e industria cementera. En esta investigación se determinó la correlación que existe entre las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos en el mes de mayo del 2018. El desarrollo de este trabajo de suficiencia profesional comprende la siguiente metodología: la recopilación de datos meteorológicos y de calidad ambiental de SENAMHI, luego se procedió a ordenar las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento) y contaminantes atmosféricos (PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO , SO_2 , NO_2 , O_3) en el software Excel 2019, a fin de que los datos sean observados por días y de manera horaria, para la elaboración de series de tiempo, medidas de tendencia central (media, mediana, desviación

estándar, coeficiente de variación), la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental, según el D.S N° 003-2017 MINAM y finalmente se determinó la correlación entre las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos usando el coeficiente de correlación Pearson, teniendo resultados significativos, con el fin de comprender cual es la correlación que existe entre estas. Este trabajo tiene la finalidad de brindar información para investigaciones futuras y tomar decisiones respecto a la gestión de calidad de aire en el distrito de Villa María del Triunfo, ayudando a disminuir la contaminación del aire previniendo daños en la salud de las personas y el ambiente.

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Determinar la correlación de las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos, en el distrito de Villa María, en mayo de 2018.

1.1.2. Objetivos específicos

Analizar la variación temporal de las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos.

Comparar la concentración de los contaminantes atmosféricos con el estándar de calidad ambiental, utilizando normativa nacional vigente.

Determinar la correlación entre las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos usando correlación Pearson.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales.

Byung, Min y Chang (2009), realizaron la investigación: *Weekly periodicities of meteorological variables and their possible association with aerosols in Korea*, presentado en el Departamento de Ciencias Ambientales Atmosféricas, Universidad de Kangnung-Wonju, 123, Jibyun, Gangnung, Gangwon 210-702, República de Corea. Esta investigación, utilizó mediciones de superficie a largo plazo de meteorología (1999 – 2005) y aerosoles (1999 – 2005) en periodicidades semanales en variables meteorológicas y su asociación con aerosoles en Corea, a través de un análisis de los valores anuales (y/o estacionales) promediados en 10 estaciones, identificaron distintas periodicidades semanales en la temperatura mínima diaria, rango de temperatura diurna, nube fracción, y la insolación solar, aunque tienen características diferentes entre sí. Lo que se discute en este estudio es la asociación semanal entre variables, ya que se observan anomalías positivas de la fracción de nubes y temperatura mínima y anomalías negativas de la insolación solar y rango de temperatura diurna durante la segunda mitad de la semana, es decir más nubosidad y menos insolación para el miércoles – jueves y menos nubosidad y más insolación para el lunes – martes. Este estudio también sugiere que las periodicidades semanales en las variables meteorológicas posiblemente estén asociadas con el transporte a largo plazo, así como con las interacciones aerosol nube precipitación en la región.

Whiteman, Hoch, Horel y Charland, (2014), realizaron la investigación: *Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley*, presentado en Universidad de Utah, en Estados Unidos. En esta investigación, los factores meteorológicos que afectan las concentraciones diarias de partículas durante el invierno par el Valle urbanizado en Utah se realizaron durante cuarenta años. Se utiliza una regresión lineal múltiple paso a paso basada en variables meteorológicas seleccionadas para estimar los valores diarios de PM_{2.5} durante dos inviernos

independientes. La correlación entre $PM_{2.5}$ observada y estimada para estos inviernos alcanza 0,81. Durante la época de invierno, el Estándar de Calidad Nacional del aire para partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micrones ($PM_{2.5}$) supera durante 6 eventos de varios días que comprenden 18 días de invierno. Mientras que las estrategias de control han conducido a tendencias descendentes en las concentraciones para algunos contaminantes primarios, no hay tendencias a largo plazo en el déficit de calor del valle durante los 40 años. Las concentraciones de $PM_{2.5}$ aumentan gradualmente durante un período de días después de que se supera un umbral de déficit de calor a medida que el aire dentro del valle se desacopla de los vientos generalmente más fuertes en el aire. Las concentraciones aumentan a una tasa típica de aproximadamente $10 \text{ mg/m}^3 \text{ d}^{-1}$ durante un período de cuatro días a aproximadamente 60 mg/m^3 durante estos episodios. Durante los episodios en que las concentraciones de $PM_{2.5}$ superan los 35 mg/m^3 , la columna atmosférica en el valle es caracterizado por: temperatura por debajo de 0° C ; humedad relativa superior al 50%; y la velocidad del viento ligero. Las concentraciones de $PM_{2.5}$ en exceso de 35 mg/m^3 son cuatro veces más probables cuando el valle está cubierto de nieve que cuando no lo está.

Jianming et al. (2015), realizaron la investigación: *Impact of meteorological conditions on a nine-day particulate matter pollution event observed in December 2013, Shanghai, China*, presentado en la Sociedad China de Particuología e Instituto de Ingeniería de Procesos, Academia China de Ciencias. Esta investigación, estudia un evento grave de contaminación por material particulado, del 1 al 9 de diciembre de 2013, en Shanghai. Las concentraciones medias por hora de material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$) y material particulado 10 (PM_{10}) fueron 211.9 y 249.0 g/m^3 , respectivamente; utilizaron datos de reanálisis global, mediciones in situ químicas, así como también mediciones de teledetección en tierra (RWP y MPL) para examinar los impactos de la meteorología. Para las condiciones de este evento, se encontró que el patrón sinóptico de presión débil, la reducción planetaria, la altura de la capa límite y el paso de dos frentes fríos fueron factores clave que causaron el evento. La investigación se realizó en cuatro etapas, durante este evento en base a la

evolución de sus niveles se identificaron $PM_{2.5}$ y las condiciones climáticas; en la tercera etapa obtuvieron la concentración más alta de $PM_{2.5}$ ($602 \mu g/m^3$). Estas concentraciones altas de $PM_{2.5}$ fueron asociadas con un bajo índice de ventilación local, con un promedio de $505 m/s^2$, así como con el flujo de contaminantes desde aguas arriba, transportados por los frentes fríos.

Stoeckenius et al, (2015), realizó la investigación: *A comparison between 2010 and 2006 air quality and meteorological conditions, and emissions and boundary conditions used in simulations of the AQMEII-2 North American domain*, presentado en el ENVIRON International Corp., Novato, CA, Estados Unidos. Esta investigación, realizó estudios de evaluación de modelos dinámicos en AQMEII-2, para analizar los cambios en las emisiones, concentraciones de fondo utilizadas como condiciones límite para los modelos regionales, la meteorología observada y la calidad del aire. Además de las temperaturas más cálidas del verano, las condiciones en el verano oriental de EE. UU. de 2010 se obtuvieron menos precipitaciones que en el 2006, mientras que las porciones occidentales de los EE.UU. y Canadá fueron más fríos en el 2010 debido a un fortalecimiento de la vaguada térmica sobre el suroeste y asociado flujo en tierra. Los niveles de ozono veraniego en muchas partes del noreste y el medio oeste fueron cambios en 2010 a pesar de la reducción de las emisiones. La tendencia del ozono, a diferencia en las condiciones meteorológicas, incluidas las temperaturas más cálidas del verano en 2010, muestra que las reducciones de emisiones habrían dado lugar a niveles más bajos de ozono en estos lugares si no fuera por la influencia compensatoria de las condiciones meteorológicas. Las temperaturas medias de la superficie de invierno fueron por debajo de la media en 2006, mientras que las temperaturas por debajo de la media se señalaron en las llanuras septentrionales en 2010, en consonancia con una mayor frecuencia de brotes de aire ártico frío. En general, cambios en la calidad del aire medida en los sitios de monitoreo de los EE.UU. parecen ser consistentes con las diferencias en emisiones y condiciones meteorológicas entre 2006 y 2010. Dos posibles incoherencias se señalaron que justifican una investigación adicional: el primero sería un aumento del nitrato de

partículas durante el invierno en el Medio Oeste a pesar de las menores emisiones de NO_x y el segundo menor de lo esperado el sureste durante el invierno.

Wei et al. (2016), realizaron la investigación: *Assessing the impact of local meteorological variables on surface ozone in Hong Kong during 2000 - 2015 using quantile and multiple line regression models*, presentado en la Escuela de Ciencias Atmosféricas, Universidad Sun Yat-sen, Guangzhou, China. En esta investigación, aplicaron el método de regresión por cuantiles, junto con la regresión lineal múltiple por primera vez en un estudio de atmósfera ambiental, son estudios para explorar la relación no lineal entre las condiciones meteorológicas locales y la mezcla de ozono. Analizaron los parámetros meteorológicos dominantes que influyen en la media, percentil 10, percentil 99 de las concentraciones máximas diarias de ozono promedio durante 8 horas desde el 2000 al 2005 en Hong Kong. Utilizaron el análisis de dominancia para evaluar la importancia relativa de las variables meteorológicas; en los modelos de regresión demostraron que los resultados funcionan mejor en áreas suburbanas y rurales que en sitios urbanos, y funcionan mejor en invierno que en verano. En los modelos del método de regresión por cuantiles, para percentiles 99 y 90 se desempeñaron mejor en verano; para percentiles 10 tuvieron un mejor desempeño en otoño e invierno; así como también este modelo se desempeñó mejor en áreas suburbanas y rurales para el percentil 10. Las 3 primeras variables dominantes que se asocian con las concentraciones máximas diarias de ozono, que cambian con las estaciones y las regiones, se asociaron frecuentemente con los seis parámetros meteorológicos: altura de la capa límite, humedad, dirección del viento, radiación solar de superficie, cubierta total de nubes y presión a nivel del mar. La temperatura raramente se convirtió en una variable significativa en cualquier temporada, lo que podría explicar en parte el pico del promedio mensual de concentraciones de ozono en octubre en la ciudad de Hong Kong. El efecto de radiación solar sería mejorado durante episodios de contaminación por ozono extremadamente (es decir, el percentil 99). Finalmente, la meteorología de los efectos sobre las concentraciones máximas diarias de ozono no tuvo cambios significativos antes y después de los Juegos Asiáticos de 2010.

Raphaël et al., (2016), realizaron la investigación: *Microscale anthropogenic pollution modelling in a small tropical island during weak trade winds: Lagrangian particle dispersion simulations using real nested LES meteorological fields*, presentado en Departamento de Física, Universidad de las Indias Occidentales Francesas, Pointe-a-Pitre, Guadalupe, en Francia. Esta investigación, estudia la dispersión de los óxidos de nitrógeno antropogénicos (NO_x) modelaron numéricamente en el área densamente de Guadalupe, analizaron como las resoluciones de microescala afectan la contaminación del aire en una pequeña isla industrial. En este estudio se demostró la primera aplicación del modelo Flexpart – WRF a resoluciones de microescala, este modelo es útil para simular la dispersión de contaminantes durante un caso real de régimen de viento tranquilo en un área de terreno complejo. Este modelo de investigación y pronóstico del tiempo se utilizó para producir campos meteorológicos a microescala. Las simulaciones de avance de una pluma de energía mostraron una buena capacidad para reproducir los picos nocturnos registrados por una estación de calidad de aire urbano. El aumento de resolución le dio lugar a una mejora de la sensibilidad del modelo, las cuadrículas de anidamiento a subkilómetro ayudaron a reducir un sesgo de sobreestimación principalmente porque los dominios LES simulan mejor los movimientos turbulentos que gobiernan los flujos nocturnos. Se observaron que, para los picos elevados en dos estaciones de calidad del aire, las salidas de sensibilidad hacia atrás identificaron fuentes realistas de *NNOOXX*, en el área de estudio, el aumento en la resolución produjo una pluma inversa más nítida con un área de fuente más precisa. Este trabajo, a nivel mundial contribuye a enriquecer el dominio del modelado de contaminación de aire a microescala real anidado, tratar la determinación de la cuadrícula de resolución adecuada y el esquema de turbulencia adecuado, es de gran importancia interés para la comunidad de investigación de la calidad del aire del terreno cercano y complejo.

Lana et al., (2016), realizaron la investigación: *The Role of Local Urban Traffic and Meteorological Conditions in Air Pollution: A Data-based Case Study in Madrid, Spain*, presentado en el Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad del País Vasco UPV / EHU. Alameda Urquijo S

/ N, 48013 Bilbao, España. En esta investigación, se realizó la vinculación funcionalmente de las variables de dichos dominios con los datos de contaminación medidos, con estudios que se ocupan de datos meteorológicos de resolución de hasta una hora. El objetivo de este estudio fue explorar a fondo la relación mediante el uso de datos de tráfico de alta resolución. Su metodología está basada en la construcción de modelos de regresión para predecir los niveles de diferentes contaminantes, es decir, CO, NO, NO₂, O₃ y PM₁₀ basándose en datos de tráfico y condiciones meteorológicas, de los cuales realizaron una estimación de la importancia predictiva de cada característica en virtud de su procedimiento particular. El estudio realizó datos meteorológicos, de tráfico y de contaminación de una hora de resolución en carretera y en el fondo de la ciudad de Madrid – España, durante el año 2015. Los resultados revelan que el impacto de las emisiones de los vehículos en los niveles de contaminación se ve opacado por los efectos de las condiciones meteorológicas estables de esa ciudad.

Toro et al., (2019), realizaron la investigación: *Exploring atmospheric stagnation during a severe particulate matter air pollution episode over complex terrain in Santiago, Chile*, presentado en el Laboratorio de Química Analítica, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Las Palmeras 3425, Ñuñoa, Santiago de Chile. Esta investigación, analizó un evento severo de degradación que afectó la calidad de aire en junio del 2014 en el área Metropolitana de Santiago (SMA) en Chile, utilizaron 11 estaciones de calidad de aire y mediciones meteorológicas del área, cabe resaltar que usaron el modelo de Pronóstico del Tiempo e Investigación (WRF) con el fin de explicar las razones principales de las concentraciones elevadas de material particulado (PM). Estas condiciones se caracterizaron por la formación de un bajo costero en el centro de Chile entre el anticiclón sureste y un sistema de alta presión sobre Argentina. A escala local, estas condiciones generaron una depresión en la base de la capa de inversión, un aumento de la estabilidad térmica vertical, menor humedad y condiciones propicias para la disminución de la dispersión de los contaminantes y una insuficiente ventilación del aire contaminado. Las mediciones y simulaciones que utilizaron el modelo WRF revelaron una estructura vertical de la capa límite durante estas condiciones de estancamiento

y proporcionaron una base para un análisis de trayectoria. El backtrajectory mostró que el transporte de paquetes aéreos estaba contenido en el valle durante las concentraciones más altas. Este análisis les permitió la definición de los valores umbral de un indicador simple de contaminación atmosférica (coeficiente de ventilación, VC), que confirmó la evolución del episodio y dividió las concentraciones diarias observadas en dos grupos, de los cuales incluye valores por encima de los límites prescritos por las normas nacionales de calidad del aire (NAQS) y el otro incluye valores por debajo de estos límites. Para la SMA, las concentraciones diarias de PM por encima de los límites NASQ se asociaron con un valor umbral medio de VC por debajo de $500 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (para $\text{PM}_{2.5}$) y $300 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ (para PM_{10}). Para aplicar el análisis de CV a otros contaminantes y diferentes ubicaciones geográficas, se deben establecer diferentes valores de umbral.

Liu et al, (2020), realizaron la investigación: *Effects of meteorological conditions and anthropogenic precursors on ground-level ozone concentrations in Chinese cities*, presentado en Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development & Collaborative Innovation Center on Yellow River Civilization of Henan Provincia, Universidad de Henan, Kaifeng, 475001, China. Esta investigación, analizaron el aumento de la contaminación de ozono, los impactos negativos en la salud humana y su relación con el crecimiento de la vegetación en China. Son varios factores (emisiones antropogénicas, factores meteorológicos) que influyen en la formación de ozono. Este estudio cuantificó la influencia de las emisiones antropogénicas de precursores y sus interacciones sobre las concentraciones de ozono utilizando el modelo de detector geográfico (Geo Detector). Los resultados demostraron que los impactos de los factores meteorológicos, antropogénicos y sus interacciones en las concentraciones de ozono variaron significativamente en diferentes escalas espaciales y temporales. La temperatura era el factor dominante en el momento anual escala, explicando el 40% ($q = 1/4 = 0,4$) de la concentración de ozono a nivel del suelo. Los precursores antropogénicos y condiciones meteorológicas tuvieron efectos comparables sobre las concentraciones de ozono en verano e invierno en norte de China. Las interacciones entre todos los factores pueden mejorar los efectos. La interacción

entre factores meteorológicos y precursores antropogénicos tuvieron el impacto más fuerte en verano. Estos resultados pueden ser utilizados para mejorar la comprensión de la contaminación por ozono, mejorar los modelos de predicción de ozono, y formular medidas de control de la contaminación.

Garcia, (2020), realizó la investigación: *Air quality in Mexico city during the fuel shortage of January 2019*, presentado en el Departamento de Física, Universidad de Oxford, Laboratorio Clarendon, Parks Road Oxford, Oxford, OX1 3PU, Reino unido. Esta investigación, analizó la calidad de aire y las condiciones meteorológicas durante el periodo de escasez de combustibles que interrumpió el transporte en la ciudad de México en enero del 2019, en donde las ventas de combustible en el área metropolitana y las emisiones de CO mostró una disminución significativa del 7% y 6% respectivamente. Durante esta escasez, las concentraciones medias de Óxido Nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y el monóxido de carbono (CO) fueron significativamente más bajos de lo normal, mientras que los niveles de partículas (PM) eran sólo modestamente más bajas de lo habitual. La media diaria de NO y CO tenía anomalías récord de -10 ppb y -0,5 ppm de los días típicos, respectivamente. Por el contrario, los niveles medios de ozono no fueron significativamente diferente de la media. El porcentaje de días con material particulado de las concentraciones medias estaban por encima de la Organización Mundial de la Salud (5 y 19% para partículas de menos de 2,5 y 10 m, respectivamente) y el porcentaje de ozono 8h significa estaban por encima de la ley mexicana (0.5%). Los factores meteorológicos, como la velocidad del viento o la altura de capa mixta no eran significativamente diferentes a los valores medios. Los niveles anómalamente bajos de contaminación se fueron acentuado cuando cada día se comparó con días de patrones de flujo similares. En este episodio la calidad de aire es mejor de lo habitual ya que muestra cómo las estrategias que abordan las emisiones de transporte podrían controlar la calidad del aire en la Ciudad de México y mejora de los niveles medios de ozono requiere estrategias integrales que reduzcan las emisiones de todos los sectores.

Kalbarczyk & Kalbarczyk, (2020), realizaron la investigación: *Meteorological conditions of the winter-time distribution of nitrogen oxides in Poznań: A proposal*

for a catalog of the pollutants variation, presentado en Instituto de Arquitectura Del Paisaje, Facultad de Ingeniería Ambiental y Geodesia, Universidad de Ciencias Ambientales y de la Vida de Breslavia, Grunwaldzka St. 55, 50-357 Breslavia, Polonia. Esta investigación, analizó a través de series de tiempo durante 13 años los datos por hora y diarios en el periodo de invierno para determinar la distribución temporal y variabilidad de los óxidos de nitrógeno en la atmosfera del suelo. Se distinguió los tipos de variación diurna del aire analizando contaminantes y evaluarlos en función de los cambios en las condiciones meteorológicas en 2005-2018. Se obtuvieron los niveles diarios más altos de óxidos de nitrógeno que fueron registrados por sensores en la mañana, entre 7 am y 9 am, y por la noche, entre las 5 pm y las 8 pm. Durante el año 2005 al 2018 las concentraciones estandarizadas de $\text{NO}_2 > 200 \mu\text{gm}^{-3}$ se registraron entre las 6 pm y 12 am. Los niveles más altos de óxidos de nitrógeno estaban en los tipos C1 y C2, y los más bajos estaban en los tipos B1 y B2, con los más significativos diferencia en la concentración de *NO*. Hubo una relación significativa entre la concentración de óxidos de nitrógeno en los tipos de variación diurna e indicadores meteorológicos, con velocidad del viento que tiene el mayor impacto en la concentración de óxidos de nitrógeno.

Qi et al, (2019), realizaron la investigación: *Data analysis and mining of the correlations between meteorological conditions and air quality: A case study in Beijing*, presentado en la Escuela de Ingeniería y Tecnología, Universidad China de Geociencias (Pekín), China. Esta investigación, analizó las repercusiones significativas de los factores meteorológicos en la dilución y difusión de los contaminantes atmosféricos que afectan aún más en la distribución y concentración de los contaminantes en Beijing de enero de 2017 a enero del 2018. Llegaron a la conclusión que la influencia de un único factor meteorológico en la concentración de contaminantes es limitada; la combinación temperatura-viento, la combinación temperatura-presión y la combinación humedad-velocidad del viento están altamente relacionadas con la concentración de contaminantes, lo que indica que una variedad de factores meteorológicos se combinan para afectar a la concentración de contaminantes; y diferentes factores meteorológicos tienen diferentes efectos en la concentración del mismo contaminante, mientras que las mismas

condiciones meteorológicas tienen diferentes efectos en la concentración de diferentes contaminantes. Estos hallazgos pueden ayudar a predecir la calidad del aire de acuerdo con las condiciones meteorológicas mientras mejoran aún más el rendimiento de la gestión urbana.

2.1.2. Nacionales.

Zelada (2011), realizó la investigación: *Variación de la calidad del aire en el distrito de Trujillo durante el año 2007*, presentado en la Escuela de Postgrado, Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias de la Universidad Nacional de Trujillo. En esta investigación, se determinó la calidad de aire durante el año 2007, en el distrito de Trujillo, La Libertad. Para determinar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos (dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, ozono, PM₁₀) y parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica, precipitación fluvial, velocidad y dirección del viento), utilizó métodos de monitoreo automáticos, pasivos y activos; con el fin de determinar la variación en el tiempo y proponer medidas de control para reducir la concentración de los contaminantes atmosféricos. Los resultados Las mayores concentraciones de gases y partículas se dieron en la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental, la Red de Salud Trujillo, Hospital Regional Docente de Trujillo y el Hospital Belén para el Dióxido de nitrógeno y el particulado menor a 10 micras. La relación de los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa y radiación solar) gases y partículas, se define básicamente por su composición y la facilidad que tienen para reaccionar químicamente con otros gases y formar compuestos secundarios como el dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono. Se llegó a la conclusión que los resultados no sobrepasan los Estándares de Calidad del aire según D.S. 074-2001 por tratarse de mediciones realizadas en zonas muy puntuales.

Aguilar (2015), realizó la investigación: *Variación temporal de las concentraciones del PM₁₀ y su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de ate en el periodo 2010-2014*, presentado en el Departamento Académico de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Dicha investigación centra sus propósitos en evaluar la variación temporal de las concentraciones del PM₁₀ y como esto se relaciona con los factores meteorológicos

en el distrito de ate en el periodo 2010-2014 esto causado por el incremento de la contaminación atmosférica y la permanente aridez de la costa peruana, llegando a perjudicar notablemente la calidad del aire. Se llegó a la conclusión que las concentraciones del PM_{10} son mayores en determinadas horas y meses esto debido al incremento de la intervención humana y el flujo vehicular, además para el año 2010 y 2011 se estableció el promedio anual y al compararlo con el ECA anual para PM_{10} sobrepasa el valor determinado, de igual manera según el cumplimiento del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire en referencia al PM_{10} se establece que no cumple con el DS 003-2008-MINAM.

Dextre (2016), realizó la investigación: *Comportamiento de las variables meteorológicas y su relación con la calidad de aire por material particulado $PM_{2.5}$, San Juan de Lurigancho – 2016*, presentado en la escuela profesional de ingeniería ambiental. Universidad Cesar Vallejo. La investigación se centra en evaluar el comportamiento de las variables meteorológicas y su relación con la calidad de aire $PM_{2.5}$ en el distrito de San Juan de Lurigancho, esto debido a que Lima presenta los indicadores de calidad de aire más alarmantes según el informe que mostro la Organización Mundial de la Salud (OMS), la elección de dicho distrito se da en base a las variables meteorológicas que presenta y al material particulado $PM_{2.5}$ que radica en dicho distrito. Se concluye que la calidad de aire del mes de mayo en el 2016 sobrepasa los estándares de calidad para material particulado $PM_{2.5}$, catalogándolo de esta manera como aire malo. Así mismo se evalúa otras variables meteorológicas como la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del viento para reforzar el estudio de la calidad del aire en dicho distrito.

Rojas (2017), realizó la investigación: *Modelación numérica del transporte de contaminantes atmosféricos y su relación con las condiciones meteorológicas en Lima Metropolitana*, presentado en la Escuela de Posgrado para obtener el grado de Doctoris Philosophiae en Ingeniería y Ciencias Ambientales, en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Esta investigación, tiene como objetivo principal modelar numéricamente la concentración del PM_{10} y $PM_{2.5}$ y sus relaciones con las condiciones

meteorológicas en Lima Metropolitana durante el periodo 2014-2015, usando el programa CCATT-BRAMS. Se utilizaron datos diarios y horarios de las variables meteorológicas, concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ y gases tomados de la red de monitoreo de SENAMHI, realizó cálculos para las estimaciones de emisiones propias usando los factores de emisión según EPA, ya que sirven como dato de entrada al código CCATT-BRAMS y un análisis de variables como clases, tipos y número de vehículos, consumos energéticos locales y nacionales del parque automotor, crecimiento poblacional, número de enfermos por enfermedades respiratorias desde el 2006 al 2013, a través de un modelo estadísticos se hicieron proyecciones al 2040. Se concluye una simulación adecuada de las variables meteorológicas y de emisiones para Lima metropolitana.

Espinoza (2018), realizó la investigación: *Evaluación espacial y temporal del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en Lima Metropolitana para el periodo 2015-2017*, presentado en la Facultad de Ciencias, para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Esta investigación tiene como objetivo evaluar y analizar la distribución espacial y temporal (horario, mensual y multianual) de la concentración del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en Lima Metropolitana durante el periodo 2015-2017. Para observar su comportamiento y las tendencias se hicieron a través de series de tiempo y se utilizó el software ArcGIS para elaborar mapas temáticos. Los parámetros estadísticos descriptivos de los datos, se analizó través del software estadístico MINITAB. En todas las estaciones de monitoreo, los promedios anuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$ superan significativamente el ECA y las guías de la OMS, así como también los promedios diarios de PM_{10} . Con respecto, a la variación multianual del PM_{10} y $PM_{2.5}$ tienen una tendencia descendente moderada para el PM_{10} y alta para el $PM_{2.5}$ por lo que se recomienda seguir aplicando medidas de control para evitar su incremento. En las zonas Norte, Este y Sur de Lima presentaron los mayores valores de PM_{10} y $PM_{2.5}$. La correlación de la temperatura y velocidad del viento es negativa con las concentraciones del PM_{10} y $PM_{2.5}$. La distribución espacial de la temperatura del aire y dirección de vientos transportan el material particulado generado desde las Zonas Sur hacia las Zonas Norte y Este de Lima Metropolitana. La relación del $PM_{2.5}/PM_{10}$ para

Lima Metropolitana, se encuentran en el rango de 0.40 (Zona Este) y 0.20 (Zona Sur) con un promedio para la ciudad de 0.33.

Vázquez (2018), realizó la investigación: *Contaminación atmosférica por PM₁₀ y su relación con variables climatológicas en el Centro poblado de Champamarca, departamento de Pasco, 2018*. (Tesis de Pregrado) Universidad Cesar Vallejo. La investigación se planteó como objetivo determinar la relación de las variables climatológicas ante la contaminación atmosférica en el Centro poblado de Champamarca, durante el periodo 2017-2018. Se llegó a la conclusión de que existe una relación inversa entre la concentración de PM₁₀ y los factores climatológicos, todo ello demostrado mediante el análisis de Rho Spearman, donde se obtuvo un valor de -0.416 con un valor de P de 0.076.

Díaz (2019), realizó la investigación: *Niveles de concentración de PM₁₀, NO₂, SO₂, H₂S, CO y variables meteorológicas en la zona industrial de Villa el Salvador*, (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. La investigación se planteó como objetivo determinar las concentraciones de PM₁₀, gases contaminantes (NO₂, SO₂, H₂S y CO); y el comportamiento de las variables meteorológicas en la zona industrial de Villa El Salvador, debido a que no se cuenta con los suficientes datos para determinar la calidad del aire presente en la zona, asimismo para decidir si realizar la implementación de medidas de control respecto a la calidad del aire para mantener los estándares de calidad ambiental para el aire. Se llegó a la conclusión de que los niveles presentes de gases contaminantes no superan el mínimo requerido por los estándares de calidad ambiental para el aire. Asimismo, se tuvo un exceso de concentración del material particulado PM₁₀, excediendo lo solicitado en los estándares de calidad ambiental para el aire.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. La atmósfera.

Esta esfera de vapor según Cuadra y Pita (2011) está constituida por una mezcla de gases diferentes, partículas sólidas y líquidas en suspensión, tales como polvos, sales, iones y hasta partículas nucleares en las regiones más alejadas de la superficie terrestre; son regidas por la fuerza de la gravedad, es inestable por su baja densidad y fácil movilidad. Tiene un papel importante en el equilibrio energético, ya que controla la cantidad de radiación que llega al suelo y la radiación terrestre liberada al espacio, es decir, es el medio de transferencia de calor en el planeta. En esta capa se dan las manifestaciones del tiempo y clima. La atmósfera puede aproximarse a 10.000 km de altitud.

Doménech (2000) respecto a su estructura vertical de la atmósfera como se observa en la Figura 1, indica que cuenta con cuatro capas en función a la variación de la altura y temperatura, estas son las siguientes:

a. Troposfera:

Es la capa más cercana a la superficie terrestre, se extiende hasta una altitud de 12 km aproximadamente, tiene una variación promedio de 6.5°C por kilómetro, es decir, presenta un gradiente negativo. En esta capa la temperatura oscila desde los 15 °C hasta los -56 °C, también podemos encontrar nubes, precipitaciones y fenómenos meteorológicos.

b. Estratosfera:

Es la capa que continua después de la troposfera, tiene una altitud aproximada de hasta 50 km, presenta una gradiente positiva, es decir, a mayor altura aumenta la temperatura.

c. Mesosfera:

Comprende desde los 50 km hasta una altitud de 85 km, con un gradiente negativo, cuya temperatura varía desde -2 °C hasta -92 °C aproximadamente.

d. Termosfera:

Se extiende de los 85 km hasta una altitud de 500 km, gradiente de temperatura positiva, hasta una temperatura de 1200 °C.

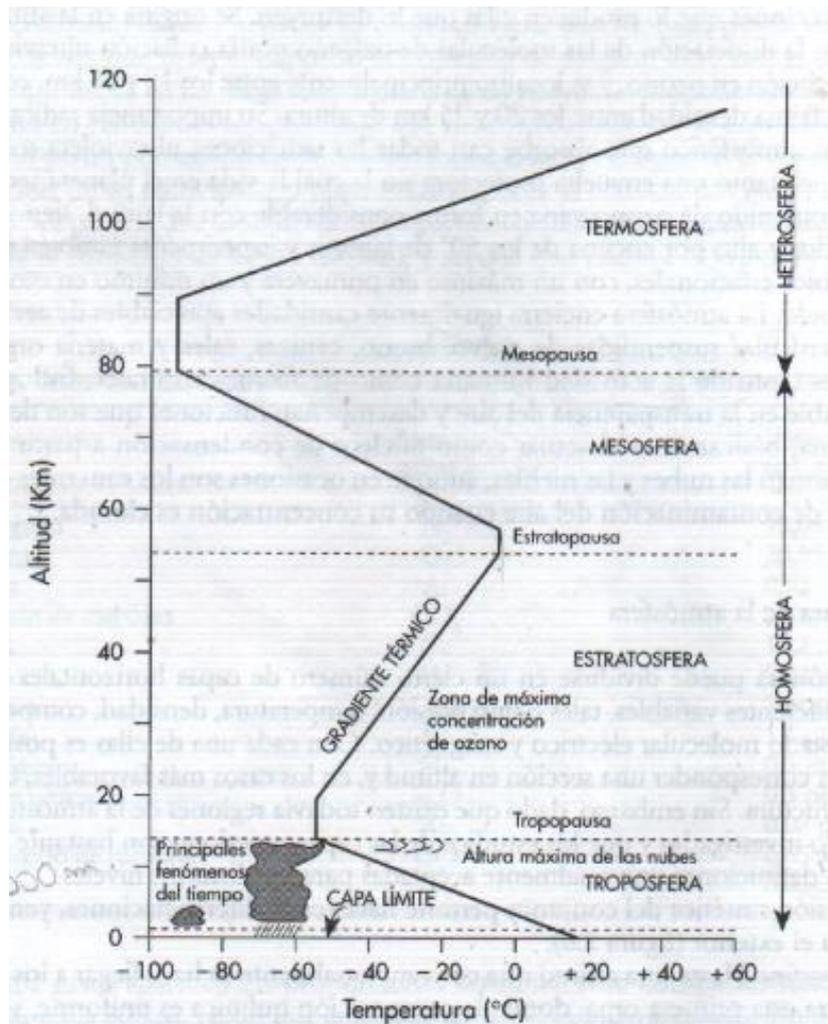


Figura 1. Estructura vertical de la atmósfera.
Fuente: (Cuadra y Pita, 2011, p. 26)

2.2.2. Contaminación atmosférica.

Cerda y García (2010) definen la contaminación como la existencia de concentraciones o niveles de elementos, sustancias que alteran la calidad del aire. Se les denomina contaminantes primarios, aquellos que provienen directamente de la fuente de emisión, y los contaminantes secundarios se forman a partir de las reacciones químicas y físicas que sufren los contaminantes primarios.

Las emisiones en la atmósfera que se relacionan con el cambio climático según indica Ballesteren (2005) pueden agravar los efectos de la contaminación del aire sobre la salud de los ciudadanos y no solo indirectamente por el impacto en los fenómenos meteorológicos, sino, de manera inmediata, por los efectos directos de los contaminantes para la salud.

2.2.3. Variables Meteorológicas.

a. Humedad Relativa

Cuadra y Pita (2011) expresa la humedad relativa en porcentaje (%) indicando que es la cantidad de vapor de agua que existe en la atmosfera en relación con el de saturación.

$$HR = \frac{e_p}{e_s} * 100$$

Donde:

e_p = Presión parcial del vapor de agua.

e_s = Presión de saturación del vapor

(Cuadra y Pita, 2011)

b. Temperatura

SENAMHI (2001) hace referencia que la temperatura es el elemento climático que indica el grado de calor o frío sensible en la atmósfera. Implica el grado de actividad molecular o calor dependiendo de la velocidad de movimiento, o frecuencia de vibración, de las partículas que lo componen. Por otro lado, López del Pino y Martín Calderón (2015) afirman que la temperatura atmosférica constituye el aspecto de meteorológico más relevante a la hora de entender la localización de los diferentes tipos climáticos. Para medir la temperatura atmosférica se utilizan varios conceptos, como la temperatura mínima, máxima y temperatura promedio.

c. Velocidad del viento

SENAMHI (2001) refiere que la velocidad del viento es el desplazamiento de masas de aire que se va alterando debido al relieve y la aceleración de Coriolis.

d. Dirección del Viento

SENAMHI (2001) refiere que la dirección del viento depende de la distribución y evolución de los centros isobáricos; donde se desplaza el contaminante emitido por la fuente.

De acuerdo a Parker (2011) indica que la dispersión de contaminantes en la atmósfera se encuentra asociada principalmente por las fluctuaciones de velocidad y dirección del viento.

Parker (2011) hace mención que el viento se denomina al flujo general del aire sobre la superficie, este se produce por sistemas de presión a gran escala, la fuerza y dirección del viento en cualquier punto están determinados por la posición, intensidad y movimiento de estos sistemas, adicionalmente hay factores locales que inciden a la dirección y velocidad del viento, tales como la presencia del mar o tierra, montañas o grandes ciudades. Los cambios de velocidad y dirección de viento y se expresan gráficamente a partir de las 32 direcciones recogidas en la rosa de vientos, como se observa en la Figura 2, estas rosas se obtienen de las estaciones meteorológicas donde se muestran la estadística meteorológica; la rosa de viento consiste es una serie de líneas que parten del centro de un círculo y apunta en la dirección que sopla el viento.

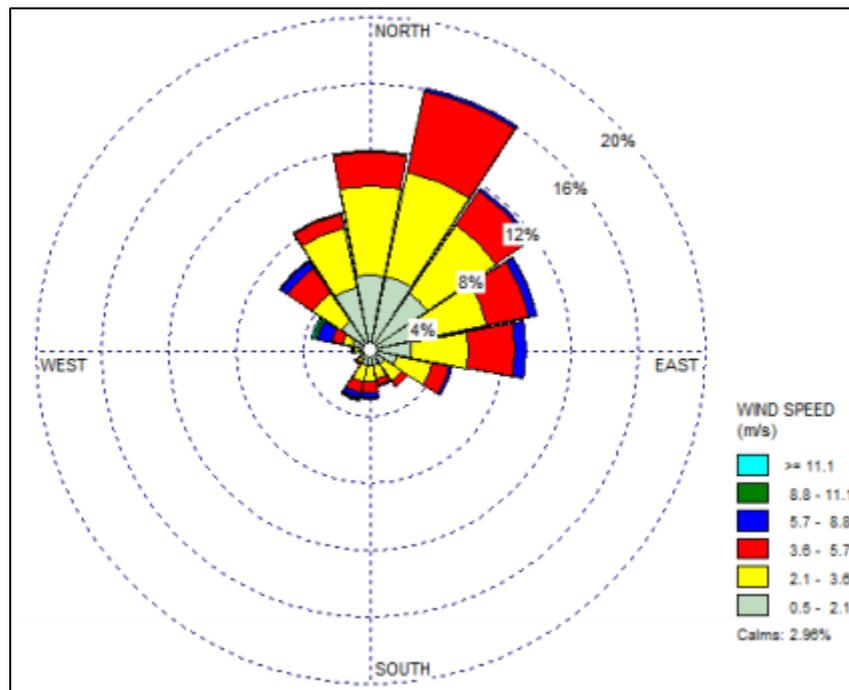


Figura 2. Rosa de viento en Wrplot.

Fuente: (Ramos Herrera, Magaña Villegas, & Carrera Velueta, 2012, p.11)

2.2.4. Fuentes de Emisiones.

La fuente contaminante es aquella que genera contaminante al aire debido a actividades, procesos u operaciones que sean perjudiciales al medio ambiente. (Pacheco y Behrentz, 2009).

Fuentes fijas:

Son aquellas instalaciones establecidas en un solo lugar como las industrias: la química, textil, comercial, petrolero, alimentaria, maderera, metalúrgica, metálica, manufacturera entre otras (Pacheco y Behrentz, 2009).

Fuentes Móviles:

INECCDIE (2014) menciona que las fuentes móviles son aquellas que no se encuentran localizadas en un solo lugar, estas fuentes cuentan con otros medios de traslado tales como automóviles, camiones y aviones, etc. Cabe resaltar, que la principal fuente de contaminación del aire es el automóvil, ya que produce exorbitantes cantidades de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COVs).

2.2.5. Material Particulado.

Es una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas contienen polvo fino, hollín, cenizas y una mezcla de gases que se encuentran suspendidas en el aire, la exposición a estas partículas afecta la salud de las personas, plantas y animales (Parker, 2001).

Según Organización Mundial de la Salud (2018) afirma lo siguiente: El material particulado se clasifica según su tamaño: PM_{2.5} corresponde a las partículas cuyo diámetro es menor a 2.5 μm ($\leq\text{PM}_{2.5}$) siendo estas aún más dañinas para la salud y PM₁₀, a las menores de 10 μm ($\leq\text{PM}_{10}$) estas pueden penetrar y alojarse profundamente dentro de los pulmones y entrar al sistema sanguíneo.

2.2.6. Dióxido de azufre.

Parker (2001) hace mención que se genera de la combustión de fósiles (carbón y petróleo), la fuente antropogénica proviene de la fusión de metales no ferrosos y combustión de combustibles que contienen azufre usados por la calefacción doméstica, parque automotor y generación de electricidad.

2.2.7. Óxidos de nitrógeno.

Es un contaminante que contribuye a la destrucción de la capa de ozono y al calentamiento global, ya que al reaccionar con el oxígeno forma diferentes óxidos, el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) siendo este último el principal interés de la contaminación del aire (De Nerver, 1998).

2.2.8. Monóxido de carbono.

Se produce por combustión incompleta provenientes de los procesos industriales, incendios forestales o en las estufas de gas. Este contaminante puede causar daños al cerebro, pulmones, corazón (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2012).

2.2.9. Dióxido de Carbono.

Proviene de la combustión completa de los combustibles, siendo uno de los principales gases emitidos por las generadoras eléctricas, este contaminante ha aumentado de manera significativa en las últimas décadas (De Nerver, 1998).

2.2.10. Ozono troposférico.

Este componente se forma al tener una reacción fotoquímica con la luz solar de contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NOx), proviene de emisiones de vehículos o industria y compuestos orgánicos volátiles (COV) que son emitidos por industria, disolventes y vehículo. (Organización Mundial de la Salud, 2018).

2.2.11. Villa María del Triunfo y la contaminación atmosférica.

Fovida (2017) menciona que el distrito de Villa María del Triunfo es uno de los distritos más poblados y grandes de los 43 distritos que tiene Lima. Se encuentra localizado en el departamento de Lima, y fue creado por la Ley N° 13796 el 28 de diciembre de 1961. Se encuentra a 158 m.s.n.m., cuenta con 70,57 km² de extensión superficial y alrededor de 450 mil habitantes. El distrito de Villa María del Triunfo cuenta con una geografía accidentada, debido a que se encuentran lomas, cerros y llanuras planas.

El distrito de Villa María del Triunfo cuenta con los siguientes límites:

- Al norte con el distrito de San Juan de Miraflores.
- Al este, con el distrito de La Molina.
- Al sur, con los distritos de Pachacamac y Lurín.
- Al oeste, con el distrito de Villa El Salvador.

El distrito de Villa María del Triunfo, ha sido dividido geográficamente en 07 Zonas, las cuales se detallan a continuación:

- Zona N° 01: José Carlos Mariátegui.
- Zona N° 02: Cercado.

- Zona N° 03: Inca Pachacútec.
- Zona N° 04: Nueva Esperanza.
- Zona N° 05: Tablada de Lurín.
- Zona N° 06: José Gálvez.
- Zona N° 07: Nuevo Milenio

En el año 2015 reportó 65 días que superaron el ECA de PM_{10} y $PM_{2.5}$ es decir, no cumple con el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM “Estándar Nacional de Calidad Ambiental para el Aire”, que establece que la concentración promedio diaria del PM_{10} no debe superar el ECA más de tres veces al año, considerado como uno de los distritos preocupantes de la calidad de aire en Lima (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2016).

2.2.12. Excel 19.

Parrás (2019) refiere que es un software que sirve para gestionar varios datos, los cuales pueden ser numéricos (estos son los que pueden operarse matemáticamente), datos ASCII (datos que representan cadenas de texto) y datos formula (instrucciones que contienen procedimientos operacionales integrados a Excel). Nos permite utilizar una gran cantidad de herramientas que son aplicables al campo de la estadística descriptiva, facilita un conjunto de herramientas de estadística inferencial, así como las principales distribuciones teóricas de probabilidad, para la resolución de los problemas directos e inversos.

2.2.13. SPSS Versión 23.

Castañeda, Cabrera, Navarro, & De Vries (2010) hace referencia que el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) es de mucha utilidad ya que desarrolla análisis de bases de datos con fines prácticos o para distintos temas de investigación, esta base de datos es analizada con diversas técnicas estadísticas, es decir si necesitas reportes descriptivos de un proyecto se podrá apoyar en el desarrollo del perfil descriptivo básico de un análisis de datos con este software.

2.2.14. Teoría del coeficiente de Pearson.

Fallas (2012) refiere que el coeficiente de correlación lineal de Pearson está definido por términos de la covarianza entre variables aleatorias (X, Y). La covarianza es una medida que indica la forma en que dos variables (X, Y) varían

conjuntamente. Si tenemos variables aleatorias (X, Y) con medias (μ_x, μ_y) y varianzas (σ_x^2, σ_y^2), respectivamente; la correlación de estas variables se define de la siguiente manera (X, Y):

$$\rho(x, y) = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)]}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde:

X, Y: Variables aleatorias.

μ_x, μ_y : medias aritméticas.

(Fallas, 2012)

El estimador de ρ es "r" y su fórmula es:

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Fallas (2012) sostiene que el coeficiente de correlación "r" posee las siguientes características:

- El coeficiente mide la intensidad y dirección de la correlación lineal y no excluye la posibilidad de que exista otra forma de correlación no lineal.
- El valor oscila entre -1 y 1. Si la asociación de estas variables (X, Y) es perfecta quiere decir que "r" es igual a 1 (todos los valores se ubican en una recta).
- Si el valor de "r" es igual a cero, esto significa que no existe una correlación lineal.
- El coeficiente cuenta con un signo, el cual nos indica la dirección de la asociación de estas variables, si "r" es positivo hay una correlación positiva o directamente proporcional.
- Si el signo es negativo la correlación es negativa; hay una correlación negativa o inversamente proporcional.

La prueba de significación del coeficiente de correlación de Pearson se define de la siguiente manera:

- Bilateral (a doble cola) si no se conoce la dirección previamente.

- Unilateral (a una sola cola) si previamente se conoce la dirección de la asociación.

El nivel de significancia indica las correlaciones significativas, es decir si se encuentra con el nivel de confianza, dependiendo sí:

- El nivel de significación es del 5% (significación=0,05) significa que, tenemos un 5% de probabilidad de equivocarnos, y un 95% de nivel confianza. Es decir, si mi valor de significación es menor o igual a 0.05 existe una asociación entre las variables.

2.2.15. Estándares de calidad ambiental para aire

Establecen el nivel de concentración de las sustancias que se encuentran en el ambiente y que no presenta un riesgo significativo para la salud de las personas y el ambiente.

Según el D.S 003-2017-MINAM, artículo 2, inciso 2.2. los ECA para aire, son aplicables para aquellos parámetros que caracterizan las emisiones de las actividades productivas, extractivas y de servicios.

Tabla 1.
Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.

Parámetros	Período	Valor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Benceno (C_6H_6)	Anual	2
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	250
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2,5}$)	24 horas	50
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	100
Mercurio Gaseoso Total (Hg)	24 horas	2
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000
	8 horas	10000
Ozono (O_3)	8 horas	100
Plomo (Pb) en PM_{10}	Mensual	1,5
	Anual	0,5
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	24 horas	150

Fuente: D.S 003-2017-MINAM.

2.3. Definición de términos básicos

- Ambiente: entendido como el entorno que nos rodea, donde se realizan las actividades relacionadas con el desarrollo de la vida.
- Antropogénico: Entendido como los efectos en la naturaleza producto de la actividad humana.
- Correlación: Indica la relación que existe entre dos variables estadísticas.
- Coeficiente de correlación de Pearson: Es la principal medida de asociación lineal entre dos variables cuantitativas.
- Contaminante: Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece, o bien, se encuentre por encima de su concentración natural en un medio no contaminado.
- Contaminantes Primarios: Contaminante emitido en la atmósfera a partir de una fuente identificable, por ejemplo, CO, NO_x, SO₂, y partículas.
- Contaminantes Secundarios: Aquellos originados en el aire por la interacción entre dos o más contaminantes primarios, o por sus reacciones con los componentes naturales de la atmósfera. Ejemplo: ozono (O₃), peroxiacetilnitrato (PAN), sulfatos (SO₄), nitratos (NO₃), ácido sulfúrico (H₂SO₄), material particulado (PM), entre otros.
- Estación meteorológica automática: Esta estación es genéricamente conocida como Estación Meteorológica Automática (EMA). En esta estación sus instrumentos (sensores) registran automáticamente las mediciones de las variables meteorológicas.
- Estándares de Calidad del Aire: Normas que regulan la calidad del aire, a través de la regulación de contaminantes emitidos.
- Exposición: Interacción entre un agente tóxico y un sistema biológico. Contacto de un agente químico con los límites exteriores del organismo.
- Fuentes de emisión: Aquellas fuentes capaces de emitir contaminantes a la atmósfera, pudiendo tener un origen natural o antropogénico.
- Monitoreo: Es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento a las emisiones o inmisiones del proceso.
- Rosa de viento: Herramienta que nos proporciona información de las direcciones de viento, velocidad y porcentaje de concurrencia.
- Viento: Movimiento del aire causado por las diferencias de presiones barométricas.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL TRABAJO PROFESIONAL

3.1. Delimitación temporal y espacial del trabajo

3.1.1. Delimitación espacial.

El presente trabajo de suficiencia profesional, tiene como ubicación geográfica en el distrito de Villa María del Triunfo ubicado en el departamento de Lima. Tiene una latitud sur $12^{\circ} 9' 45.5''$ "S" y longitud oeste $76^{\circ} 56' 39.4''$ "W".

- País de intervención: Perú.
- Departamento: Lima.
- Provincia: Lima.
- Límites del Distrito.
 - o Norte: San Juan de Miraflores.
 - o Sur: Pachacamac y Lurín.
 - o Este: La Molina.
 - o Oeste: Villa El Salvador.

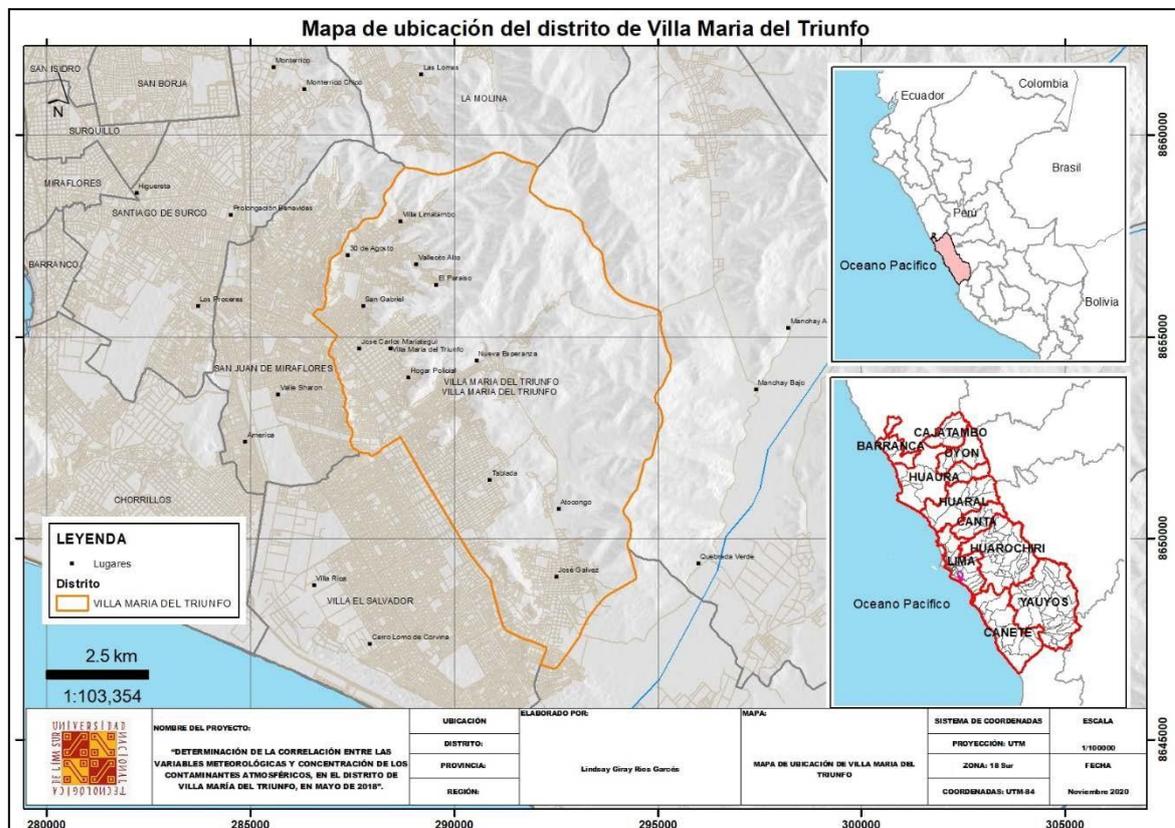


Figura 3. Mapa de ubicación del distrito de Villa María del Triunfo.

Fuente: Elaboración propia.

En esta investigación se recolectaron datos de la estación automática de calidad de aire y estación meteorológica automática del aire, se encuentra ubicada en la Av. 26 de noviembre s/n - Sector Nueva Esperanza (Parque Virgen de Lourdes) en el distrito de Villa Maria de Triunfo, tal como se observa en la figura 4. Tiene una latitud sur $12^{\circ} 09' "S"$, longitud oeste $76^{\circ} 55' "W"$ y se encuentra a 292 m.s.n.m.

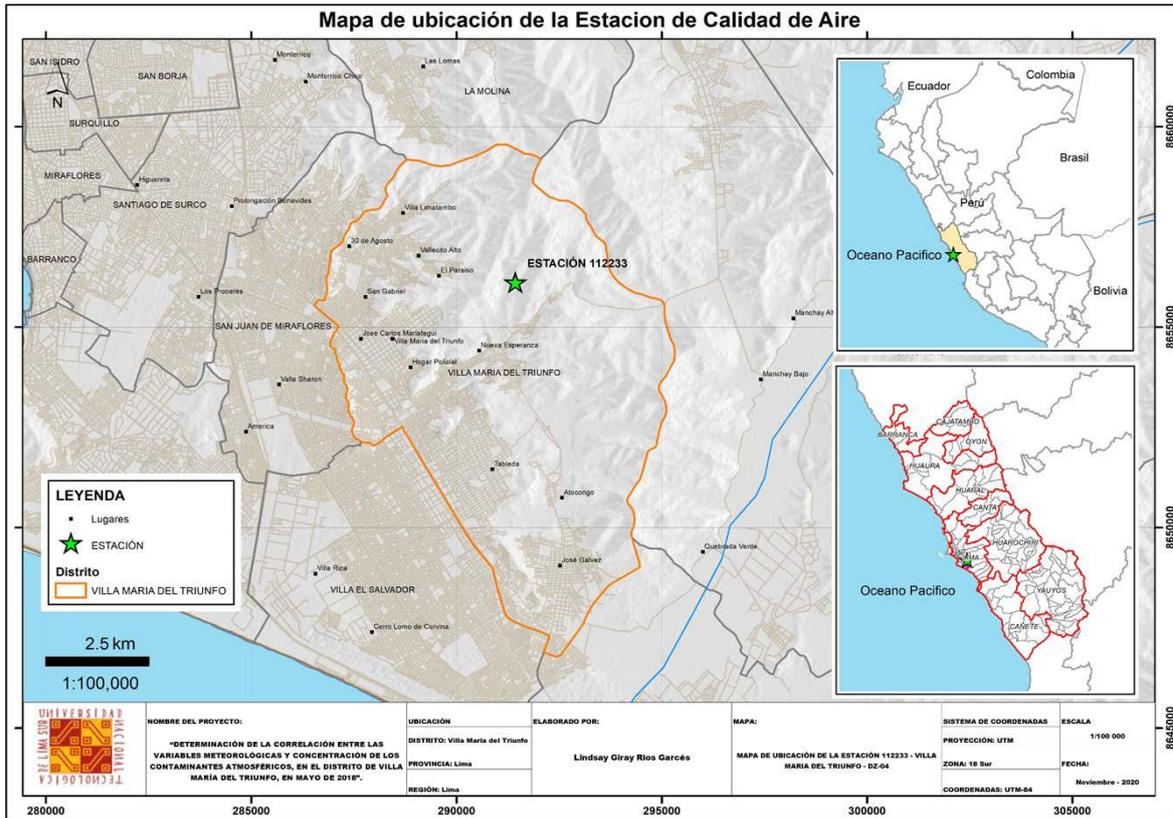


Figura 4. Mapa de Ubicación de la Estación de Calidad de Aire 112233 – DZ.04.
Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2. Delimitación temporal.

El presente trabajo de suficiencia profesional recopiló los datos desde 01 de mayo al 13 mayo del año 2018 de la estación meteorológica y estación automática de calidad de aire del SENAHMI, ubicada en el distrito de Villa María del Triunfo.

3.2. Determinación y Análisis del problema

3.2.1. Descripción del problema.

Según el Organismo Mundial de la Salud (OMS, 2018), la alteración a la calidad de aire es un riesgo significativo para la salud de los seres vivos, además menciona que si se reduce la contaminación del aire disminuirá la morbilidad por los accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, asma, etc.

Según, Domínguez, Juárez, Rodríguez, Abreu y Avanzas, (2016), la relación entre la contaminación del aire y los efectos nocivos para la salud tienen una asociación según estudios epidemiológicos; las variables meteorológicas como la presión atmosférica la temperatura o viento ejercen mayor incidencia de las enfermedades cardiovasculares.

Además, Cifuentes et al, (2005) menciona que por lo menos más de noventa millones de personas se encuentran en lugares con niveles altos de contaminación del aire por encima de los límites establecidos por la OMS.

En las ciudades la contaminación atmosférica es producido principalmente por la quema de combustibles fósiles (gasolina, petróleo, GLP y GNV), el transporte, procesos industriales, la utilización de combustible de mala calidad (combustibles adulterados), la capacidad limitada de gestión de la calidad de aire, etc (Green y Sánchez, 2013).

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2015), el distrito de Villa María del Triunfo en PM_{10} , reportó 65 días que superaron el ECA de PM_{10} durante el 2015, aumentando sus días de superación del ECA respecto al año anterior en un 186 %, viendo que la severidad del problema y el aumento anual es potencial.

3.2.2. Formulación del problema.

3.2.2.1. Problema general.

¿En qué medida existe una correlación entre las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos, en el distrito de Villa María del Triunfo, desde 01 al 13 mayo del año 2018?

3.2.2.2. Problemas específicos.

¿Cómo es la variación temporal de las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos?

¿Cómo comparar la concentración de los contaminantes atmosféricos con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) utilizando normativa nacional vigente?

¿Cómo es la correlación entre las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos usando correlación Pearson?

3.3. Modelo de solución propuesto

3.3.1. Tipo de Investigación.

Este trabajo de suficiencia profesional es básico, porque su fundamento es teórico, teniendo como objetivo aportar los conocimientos científicos, pero sin necesidad de contrastarlos con algún aspecto práctico.

3.3.2. Diseño de investigación.

El enfoque de la investigación fue definido enfoque cuantitativo, de alcance o nivel descriptivo – correlacional.

Descriptivo: Describe las propiedades, características o fenómenos que se analizan, es decir, se mide y recoge la data de manera independiente o grupo de las variables meteorológicas.

Correlacional: Determina el grado de relación que existe entre las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos. Este tipo de investigación se trata de conocer cómo se comporta una variable relacionándolo con la otra de alguna manera.

El presente trabajo de suficiencia profesional es de carácter diseño No experimental; porque en este trabajo no se manipularán las variables, solo se observará los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos.

De corte longitudinal, porque se recolectaron datos de las variables meteorológicas y de los contaminantes atmosféricos desde el 01 al 13 de mayo de 2018.

3.3.3. Población y muestra.

3.3.3.1. Población.

En este trabajo de suficiencia profesional los datos de las variables meteorológicas y de los contaminantes atmosféricos se obtuvieron de la estación meteorológica y de la estación de calidad de aire de SENAMHI, para los años 2011 a 2020, ubicado en la Av.26 de noviembre s/n – Sector Nueva Esperanza (Parque Virgen de Lourdes).

3.3.3.2. Muestra.

Se obtuvieron datos por 24 horas de muestreo para cada variable meteorológica y concentración de contaminantes atmosféricos, desde el 01 al 13 de mayo de 2018, por contar con datos completos y consecutivos, midiéndose en la estación meteorológica portátil las siguientes variables:

- Temperatura.
- Humedad Relativa.
- Dirección del viento.
- Velocidad del viento.

Con la estación de calidad del aire – SENAMHI se midió la concentración de PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂, NO₂ y O₃.

3.3.4. Instrumentos de recolección de datos y procesador.

3.3.4.1. Instrumentos.

Los instrumentos de medición de datos meteorológicos y concentración horaria de los contaminantes atmosféricos, que se emplearon son:

- Estación automática de calidad del aire del SENAMHI.
- Estación meteorológica automática del SENAMHI.

3.3.4.2. Software.

Para el análisis descriptivo y correlacional de las variables meteorológicas y concentración de contaminantes atmosféricos se emplearon las siguientes herramientas:

- SPSS versión 23.
- Microsoft Excel 2019.

3.3.5. Proceso de recolección y análisis de datos

3.3.5.1. Recopilación de datos.

Para la obtención de los datos meteorológicos y concentraciones horarias de los contaminantes atmosféricos de la estación automática de calidad del aire y estación meteorológica automática del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, se solicitó a través de una carta (ver Anexo N.º 01). La autoridad competente brindó la información vía electrónica, la información remitida fue la siguiente:

- Concentración Horaria de PM₁₀
- Concentración Horaria de PM_{2.5}
- Concentración Horaria de CO
- Concentración Horaria de SO₂
- Concentración Horaria de NO₂
- Concentración Horaria de O₃
- Temperatura del aire Horaria
- Humedad Relativa Horaria
- Velocidad y Dirección del viento

3.3.5.2. Validación de datos.

Se procedió a ordenar las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento) y contaminantes atmosféricos (PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂, NO₂, O₃) en el software Excel 2019, a fin de que los datos sean observados por días y de manera horaria, para la elaboración de las tendencias.

3.3.5.3. Elaboración de tendencias

Para el análisis descriptivo de esta investigación, se elaboró series de tiempos, medidas de tendencia central (media, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación) y graficas de dispersión en el software Excel 2019 y SPSS versión 23 con el fin de analizar la variación temporal de las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos, seguidamente comparar la concentración de los contaminantes atmosféricos con el estándar de calidad ambiental, utilizando normativa nacional vigente.

3.3.5.4. Método de análisis de datos

1. Descriptiva

Esta investigación es descriptiva ya que consiste describir el comportamiento entre las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos, a través de las series de tiempos, medidas de tendencia central (media, mediana, desviación estándar, coeficiente de variación) y la comparación del estándar de calidad ambiental para aire de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos con el D.S 003-2017-MINAM, en el distrito de Villa María, desde 01 al 13 mayo del año 2018.

2. Correlacional.

Para el análisis correlacional de esta investigación, se determinó la correlación entre las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento) y la concentración de los contaminantes atmosféricos (PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂, NO₂, O₃), usando el coeficiente de Pearson y graficas de dispersión, a través software SPSS versión 23 y Excel 2019 respectivamente. Para el coeficiente de correlación de Pearson, se tomó en consideración un nivel de significancia estadística del 5% (0.05), y un nivel de confianza del 95%.

- Temperatura horaria VS Concentración de contaminantes.
- Humedad relativa VS Concentración de contaminantes.
- Viento del viento VS Concentración de contaminantes.

En la Figura 5, se muestra de manera gráfica el proceso de recolección y análisis de datos.

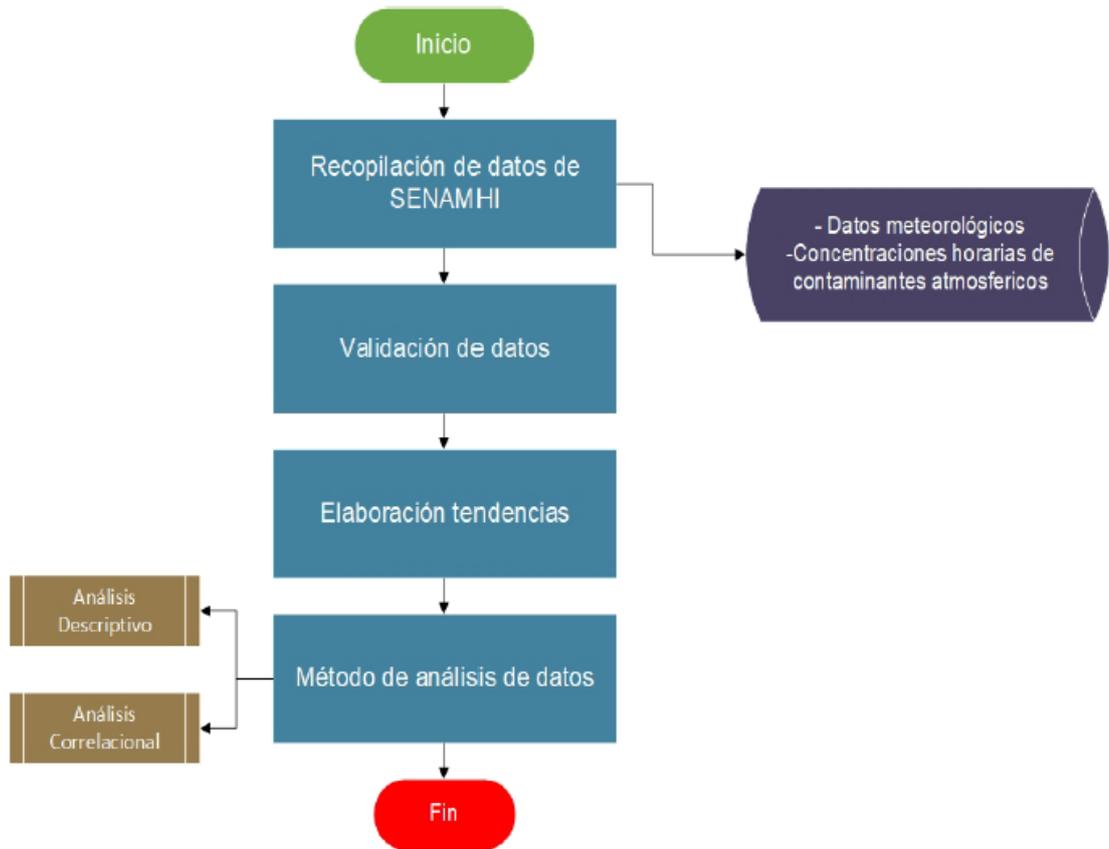


Figura 5. Flujograma de proceso de recolección y análisis de datos.
Fuente: Elaboración Propia.

3.4. Resultados

3.4.1. Análisis Descriptivo

3.4.1.1. Variación temporal de variables meteorológicas

1. Variación temporal de la Temperatura del aire horaria (°C)

En la Tabla 2 y Figura 6, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación de la temperatura del aire horaria (°C):

Tabla 2.

Estadística descriptiva de temperatura del aire (°C).

Estadístico	Temperatura del aire horaria (°C)
Media	19,482
Mediana	18,700
Moda	17,6
Desviación Estándar	2,6207
Coefficiente de Variación	13,5%
Rango	10,4
Mínimo	15,8
Máximo	26,2

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

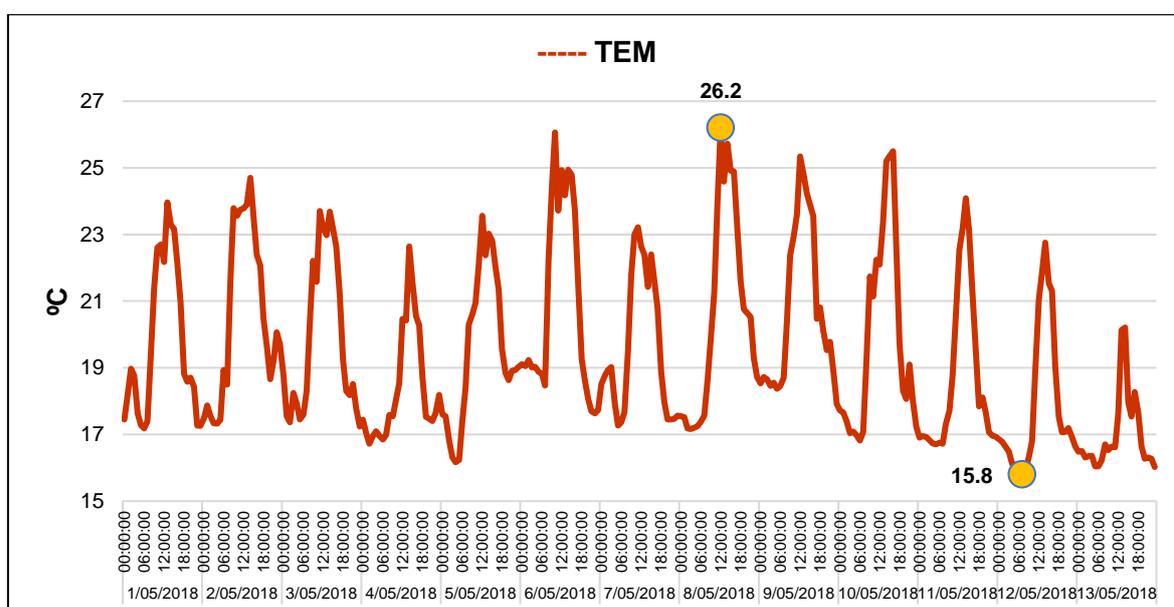


Figura 6. Variación temporal de temperatura del aire horaria (°C).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 2, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado la temperatura del aire horaria reporta un valor en promedio de 19.48 °C, con una desviación más o menos de 2.6 °C, según la moda el registro de temperatura del aire más frecuente en la localidad es de 17.6 °C, con respecto a la

mediana el 50% de la variabilidad de la temperatura es menor a 18.7 °C, siendo 26.2 °C el valor máximo de temperatura del aire reportada, y 15.8 °C el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de 10.4 °C, en este sentido la temperatura del aire reporta una variabilidad relativa del 13.5%.

Por su parte en la Figura 6, se observa que la temperatura del aire en la zona, tiende a aumentar a partir de las primeras horas de la mañana y a disminuir al finalizar la tarde, esta fluctuación se da por la salida y ocultamiento del sol, el repunte más elevado de la temperatura se visualiza a partir del mediodía (12:00:00 pm) y el nivel más bajo a partir de la media noche (00:00:00 am), cabe señalar que el reporte más alto (26.2 °C) se registra a las 12:00:00 pm del día 08/05/2018, mientras que el reporte más bajo (15.8 °C) se registró a las 07:00:00am del día 12/05/2018

2. Variación temporal de la Humedad Relativa horaria (%)

En la Tabla 3 y Figura 7, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación de la humedad relativa horaria (%):

Tabla 3.
Estadística descriptiva de humedad relativa horaria (%).

Estadístico	Humedad relativa horaria (%).
Media	83,856
Mediana	85,300
Moda	99,6
Desviación Estándar	11,3048
Coefficiente de Variación	13,5%
Rango	45,3
Mínimo	54,3
Máximo	99,6

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

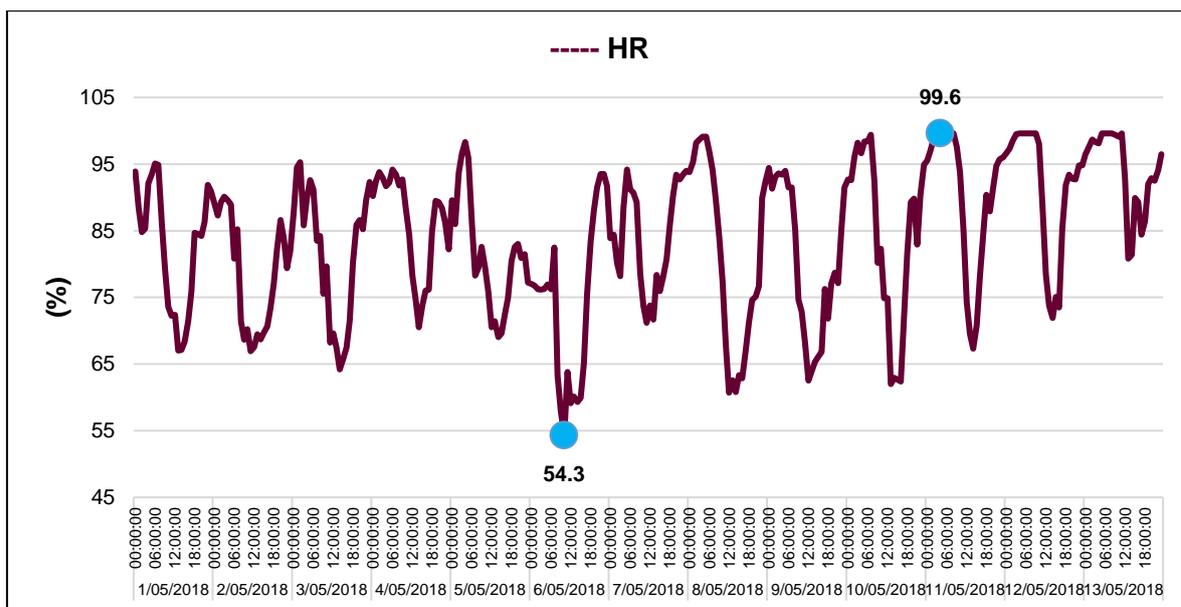


Figura 7. Variación temporal de humedad relativa horaria (%).
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 3, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado la humedad relativa horaria reporta un valor en promedio de 83.86%, con una desviación estándar de 11.31 %, según la moda el registro de humedad relativo más frecuente en la localidad es de 99.6 %, y en virtud de la mediana el 50% de la variabilidad de la humedad es menor a 85.3%, siendo 99.6% el valor máximo de humedad relativa reportada, y 54.3 % el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de 45.3 %, en este sentido la humedad relativa reporta un coeficiente de variación del 13.5%.

Por su parte en la Figura 7, se observa que la humedad relativa, a diario comienza ascender en horas de la noche y a descender en horas de la mañana, en efecto en la gráfica se evidencia que el valor más alto (99.6%) de humedad reportado corresponde a las 04:00:00 am del día 11/05/2018, mientras que el valor de menor proporción reportado (54.3%) se sitúa a las 10:00:00 am del día 06/05/2018.

3. Variación temporal de la Velocidad y Dirección del viento(m/s)

En la Tabla 4 y Figura 8, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación de la velocidad del viento (m/s):

Tabla 4.
Estadística descriptiva de velocidad del viento (m/s).

Estadístico	Velocidad del viento (m/s).
Media	1,151
Mediana	1,100
Moda	0,3
Desviación Estándar	0,6412
Coefficiente de Variación	55,7%
Rango	2,9
Mínimo	0,0
Máximo	2,9

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

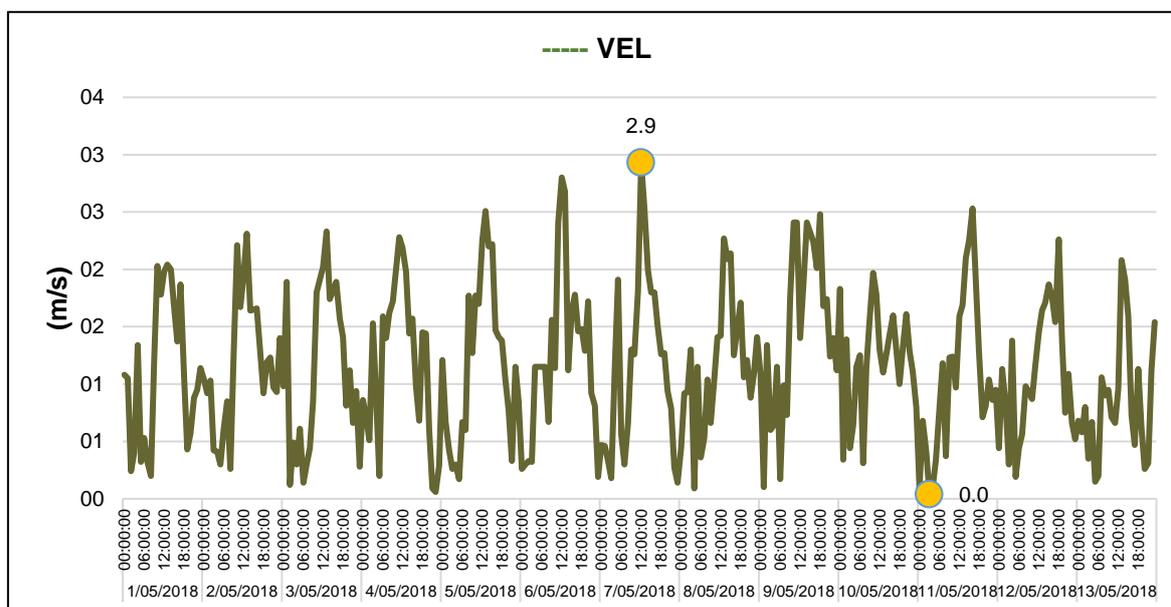


Figura 8. Variación temporal de velocidad del viento (m/s).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 4, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado la velocidad del viento reporta un promedio de 1.15 m/s con una desviación estándar de 0.64 m/s, según la moda el registro de velocidad del viento más frecuente en la localidad es de 0.3 m/s, y en virtud de la mediana el 50% de la variabilidad de la velocidad del viento es menor a 1.10 m/s, siendo 2.9 m/s el valor máximo de la velocidad del viento reportada, y 0.0 m/s el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de 2.9 m/s, en este sentido la velocidad del viento reporta un coeficiente de variación del 55.7%.

En la Figura 8, de acuerdo al comportamiento diario de la velocidad del viento, se evidencia que esta comienza ascender en horas de las mañana y a descender

en horas de la tarde, los valores más altos se reportan en horarios después del mediodía y contrariamente su reportes más bajos se reflejan después de la media noche, es así que el registro más alto (2.9 m/s) de la velocidad del viento se reporta a las 12:00:00 pm del día 07/05/2018, mientras que el reporte más bajo de la velocidad del viento (0.0 m/s) se sitúa a las 03:00:00 am del día 11/05/2018.

Con respecto a la dirección del viento en el periodo evaluado del 01 al 13 de mayo año 2018, en la estación Villa María del Triunfo se registró un rango de velocidad máxima de 2.93 m/s, con dirección de Oeste Sur Oeste (WSW) a Este Sur Este (ESE) y con un 17.31% de calma. En la Figura 9, se muestra la rosa de vientos para la estación Villa María del Triunfo.

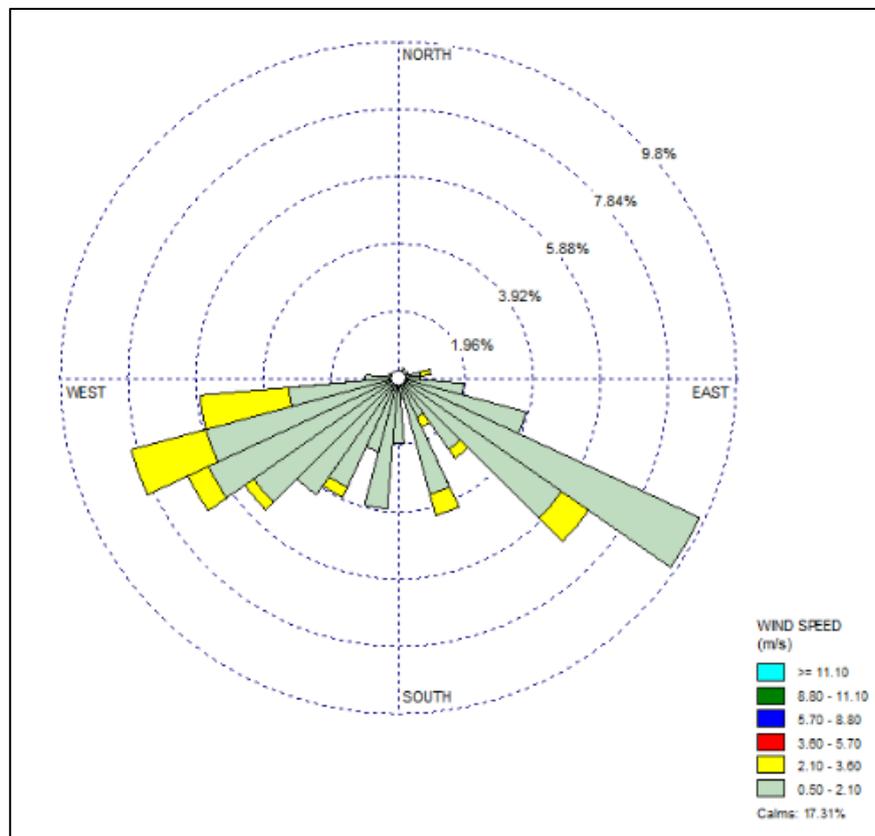


Figura 9. Velocidad y Dirección del viento desde el 01 al 13 de mayo de 2018.

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.1.2. Variación temporal de los contaminantes atmosféricos.

1. Variación temporal del Material Particulado PM₁₀.

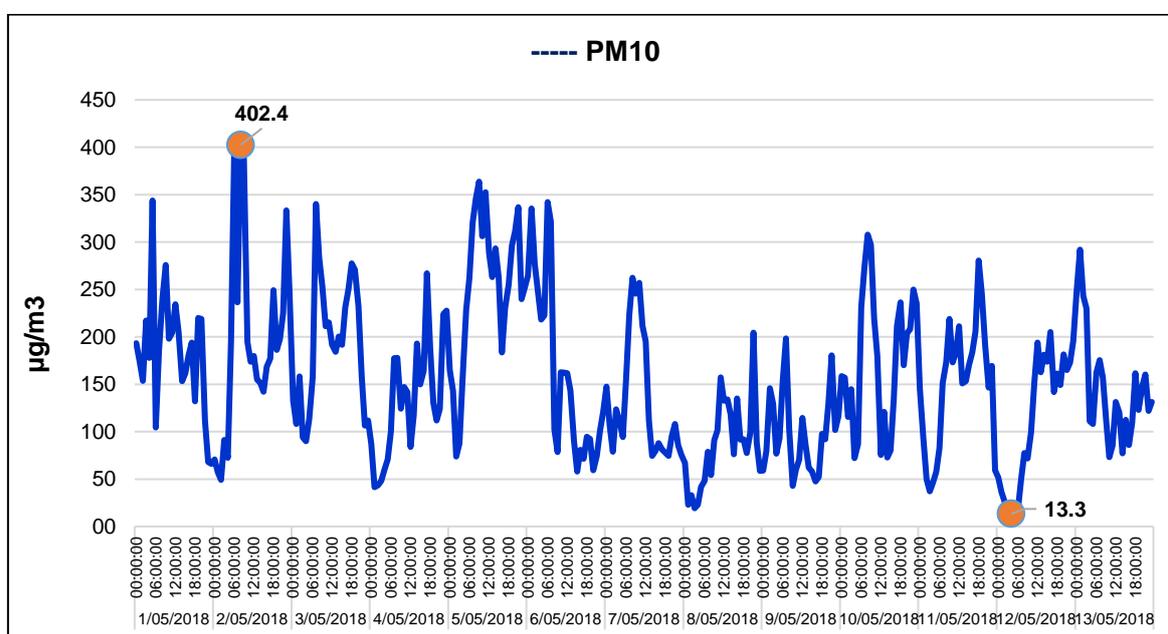
En la Tabla 5 y Figura 10, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación del material particulado PM₁₀:

Tabla 5.***Estadística descriptiva de material particulado PM₁₀ (µg/m³).***

Estadístico	Material Particulado PM ₁₀ (µg/m ³)
Media	155,152
Mediana	150,350
Moda	59,2 ^a
Desviación Estándar	81,2723
Coefficiente de Variación	52,4%
Rango	389,1
Mínimo	13,3
Máximo	402,4

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

**Figura 10.** Variación temporal PM₁₀.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 5, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado, el promedio de concentración de material particulado PM₁₀ que se registra en la zona es de 155.2 µg/m³, con una desviación más o menos de 81.3 µg/m³, según la moda el registro de concentración del contaminante PM₁₀ con mayor frecuente en la localidad es de 59.2 µg/m³, según la mediana el 50% de la variabilidad de la concentración de PM₁₀ es menor a 150.4 µg/m³, siendo 402.4 µg/m³ el valor de concentración máximo de PM₁₀ reportado, y 13.3 µg/m³ el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de

389.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en este sentido el material particulado PM_{10} reporta en su concentración una variación relativa del 52.4%.

En la Figura 10, de acuerdo al comportamiento diario de la concentración de material particulado PM_{10} , se evidencia una fluctuación irregular de los mismos, presentando en ocasiones un ascenso en horas diurnas y el descenso se evidencia en horas nocturnas, en este sentido se visualiza que el valor de concentración PM_{10} más elevado que se reporta ($402.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es a las 08:00:00 am del día 02/05/2018, y el valor de concentración de PM_{10} mínimo reportado ($13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registra a las 04:00:00 am del día 12/05/2018, cabe destacar que en el periodo evaluado los niveles de PM_{10} refieren un descenso en su concentración, tal como se observa en la gráfica la mayor concentración se evidencia al inicio del periodo, extendiéndose hasta la parte central de la serie, donde comienza a reducir hasta el final del mismo.

2. Variación temporal del Material particulado $\text{PM}_{2.5}$

En la Tabla 6 y Figura 11, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación del material particulado $\text{PM}_{2.5}$:

Tabla 6.
Estadística descriptiva de material particulado $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estadístico	Material Particulado $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Media	30,540
Mediana	25,950
Moda	22,8
Desviación Estándar	16,4116
Coficiente de Variación	53,7%
Rango	106,7
Mínimo	7,2
Máximo	113,9

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

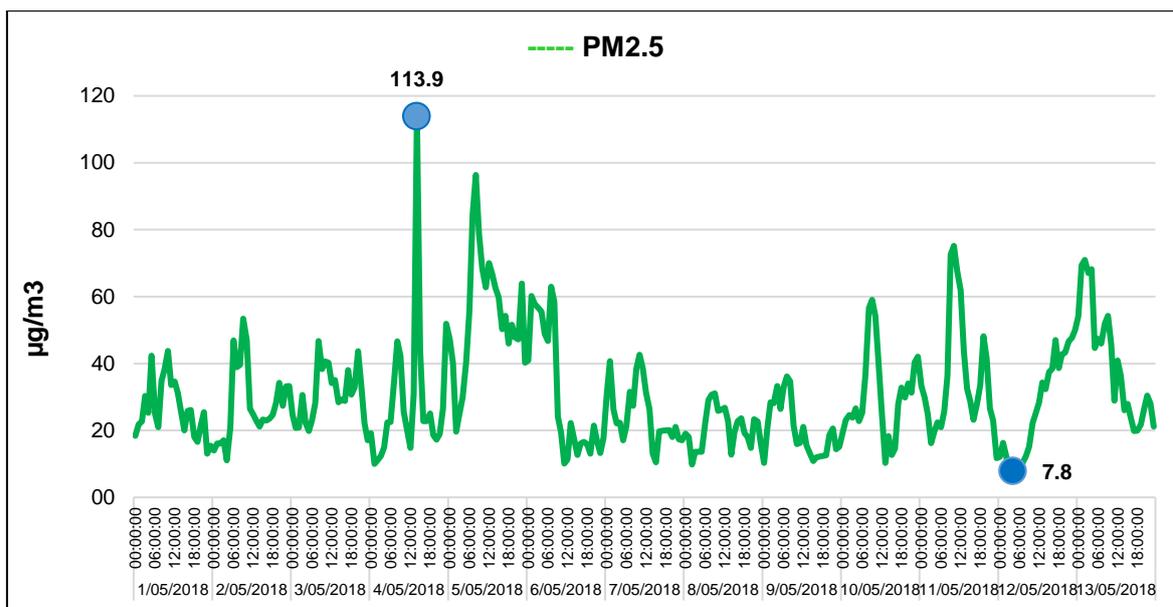


Figura 11. Variación temporal de PM_{2.5}.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 6, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado, el promedio de concentración de material particulado PM_{2.5} que se registra en la zona es de $30.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una desviación más o menos de $16.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según la moda el registro de concentración del contaminante PM_{2.5} con mayor frecuencia en la localidad es de $22.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según la mediana el 50% de la variabilidad de la concentración de PM_{2.5} es menor a $25.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo $113.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor de concentración máximo de PM_{2.5} reportado, y $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de $106.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en este sentido el material particulado PM_{2.5} reporta en su concentración una variación relativa del 53.7%.

En la Figura 11, de acuerdo al comportamiento diario de la concentración de material particulado PM_{2.5}, se observa que durante el periodo las concentraciones fluctúan constantemente, manteniendo un ritmo equitativo, evidenciando que mayormente las concentraciones de este contaminante refieren un alza en horas diurnas, y descienden en horas nocturnas, en este sentido el valor de concentración PM_{2.5} más elevado que se reporta ($113.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró a las 14:00:00 pm del día 04/05/2018, y el valor de concentración de PM_{2.5} mínimo reportado ($7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registra a las 04:00:00 am del día 12/05/2018.

3. Variación temporal del Monóxido de Carbono (CO).

En la Tabla 7 y Figura 12, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación del monóxido de carbono (CO):

Tabla 7.

Estadística descriptiva de monóxido de carbono (CO)

Estadístico	Monóxido de Carbono CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Media	823,112
Mediana	744,200
Moda	537,0 ^a
Desviación Estándar	302,5504
Coefficiente de Variación	36,8%
Rango	1657,1
Mínimo	391,0
Máximo	2048,1

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

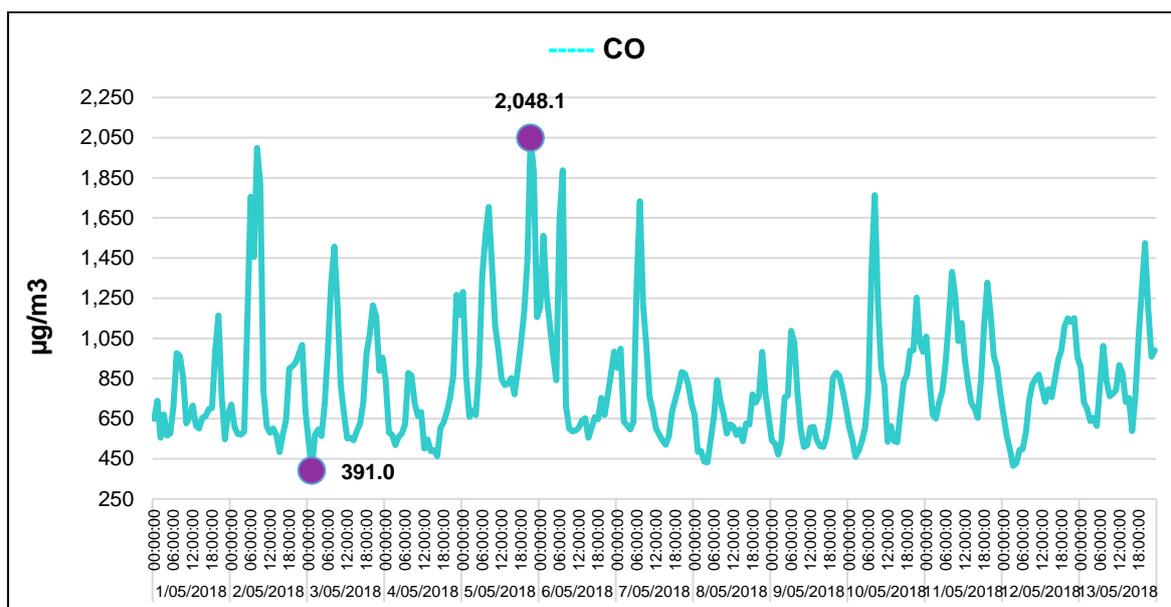


Figura 12. Variación temporal de monóxido de carbono (CO).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 7, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado, la concentración de monóxido de carbono (CO) reporta un promedio de $823.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una desviación más o menos de $302.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según la moda el registro de concentración del contaminante CO con mayor frecuente en la localidad es de $537.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según la mediana el 50% de la variabilidad de la concentración de CO es menor a $744.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo $2,048.1$

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor de concentración máximo de CO reportado, y $391.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de $1,657.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en este sentido el monóxido de carbono CO reporta en su concentración una variación relativa del 36.8%.

En la Figura 12, de acuerdo al comportamiento diario de la concentración de monóxido de carbono CO, se observa que durante el periodo las concentraciones fluctúan constantemente, evidenciando que este contaminante refieren un alza en horas de la mañana donde se repuntan las concentraciones más altas, luego desciende hasta cierta hora de la tarde, reflejando otro ascenso a partir de esta hora que se extiende hasta la noche donde vuelve a descender, en efecto el valor de concentración CO más elevado que se reporta ($2,048.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró a las 21:00:00 pm del día 05/05/2018, y el valor de concentración de CO mínimo reportado ($391.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registra a las 01:00:00 am del día 03/05/2018.

4. Variación temporal del Dióxido de Azufre (SO₂)

En la Tabla 8 y Figura 13, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación del dióxido de azufre (SO₂):

Tabla 8.
Estadística descriptiva de dióxido de azufre (SO₂).

Estadístico	Dióxido de Azufre SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Media	4,562
Mediana	4,200
Moda	3,3 ^a
Desviación Estándar	1,4485
Coefficiente de Variación	31,7%
Rango	11,9
Mínimo	2,8
Máximo	14,7

a. Existen múltiples modos. Se muestra el valor más pequeño.
Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

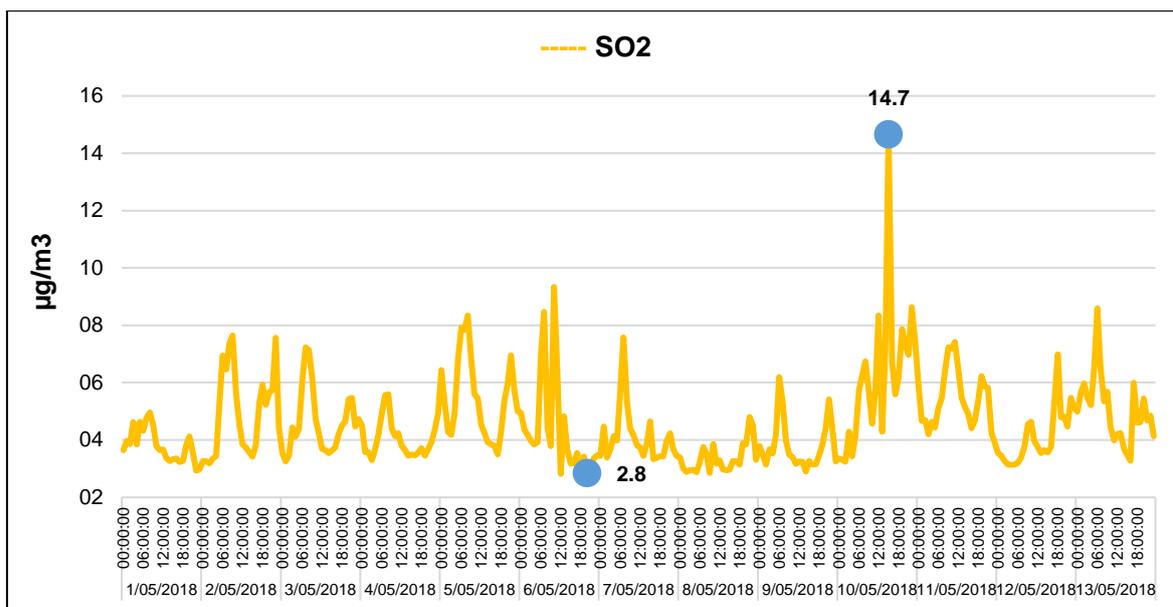


Figura 13. Variación temporal de dióxido de azufre (SO₂).
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 8, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado, la concentración de dióxido de azufre (SO₂) reporta un promedio de 4.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una desviación más o menos de 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la moda el registro de concentración del contaminante SO₂ con mayor frecuente en la localidad es de 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, según la mediana el 50% de la variabilidad de la concentración de SO₂ es menor a 4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo 14.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor de concentración máximo de SO₂ reportado, y 2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de 11.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en este sentido el dióxido de azufre (SO₂) reporta en su concentración una variación relativa del 31.7%.

En la Figura 13, de acuerdo al comportamiento diario de la concentración de dióxido de azufre (SO₂), se observa que durante el periodo las concentraciones reportan una variación constante, reportando alzas y bajas en el transcurso del día, donde su crecimiento se acentúa en horas de la mañana y de la tarde, en este sentido el pico más elevado (14.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró a las 15:00:00 pm del día 10/05/2018, mientras que el pico más bajo reportado (2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se registra a las 20:00:00 pm del día 06/05/2018.

5. Variación temporal del Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

En la Tabla 9 y Figura 14, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación del dióxido de nitrógeno (NO₂):

Tabla 9.

Estadística descriptiva de dióxido de nitrógeno (NO₂).

Estadístico	Dióxido de Nitrógeno NO ₂ (µg/m ³)
Media	36,064
Mediana	33,000
Moda	33,1
Desviación Estándar	11,9295
Coefficiente de Variación	33,1%
Rango	74,1
Mínimo	20,6
Máximo	94,7

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

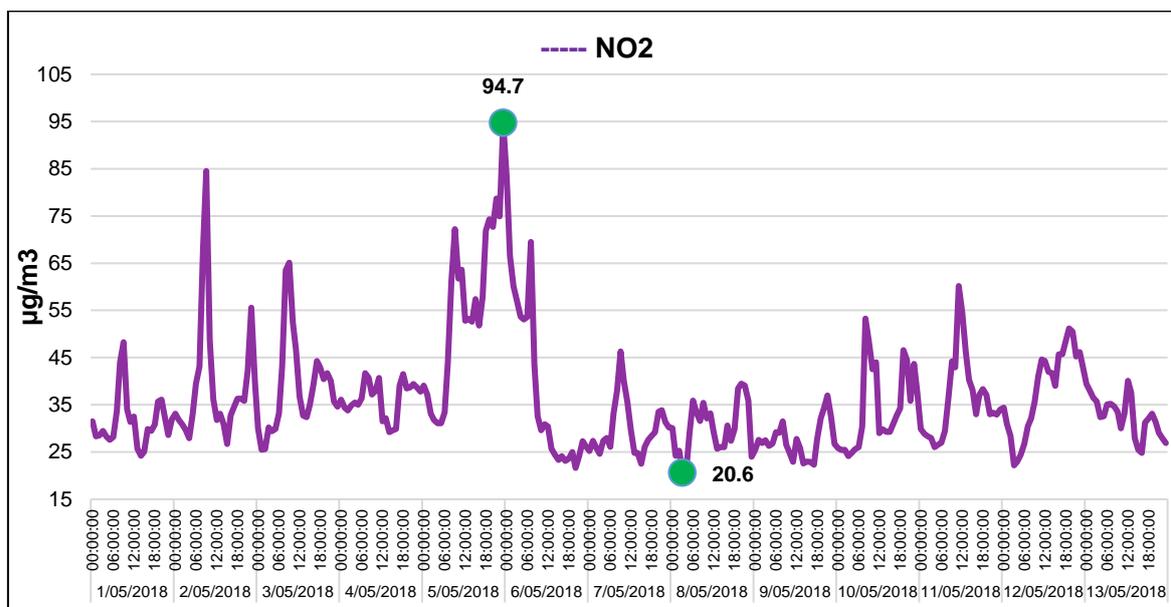


Figura 14. Variación temporal de dióxido de nitrógeno (NO₂).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 9, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado, la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) reporta un promedio de 36.1 µg/m³, con una desviación más o menos de 11.9 µg/m³, según la moda el registro de concentración del contaminante NO₂ con mayor frecuente en la localidad es de 33.1 µg/m³, según la mediana el 50% de la variabilidad de la concentración de NO₂ es menor a 33.0 µg/m³, siendo 94.7 µg/m³ el valor de concentración máximo de NO₂ reportado, y 20.6 µg/m³ el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de 74.1

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, en este sentido el dióxido de nitrógeno (NO_2) reporta en su concentración una variación relativa del 33.1%.

En la Figura 14, de acuerdo al comportamiento diario de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2), se observa que durante el periodo las concentraciones reportan una variación constante, sus concentraciones se acentúa en horas de la mañana, descendiendo en la tarde y ascendiendo nuevamente en hasta un poco más de media noche, observando una brecha el día 05/05/2018 que repunta un crecimiento en los índices de concentración de NO_2 durante todo el día, y a las 23:00:00 pm de ese día se reporta el valor más elevado ($94.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que se registra de NO_2 , mientras que el pico más bajo reportado ($20.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registra a las 03:00:00 pm del día 08/05/2018.

6. Variación temporal del Ozono Troposférico (O_3)

En la Tabla 10 y Figura 15, se presentan los resultados de medidas de tendencia central para evaluar la variación del ozono troposférico (O_3):

Tabla 10.
Estadística descriptiva de ozono troposférico (O_3).

Estadístico	Ozono Troposférico O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Media	10,847
Mediana	4,200
Moda	1,0
Desviación Estándar	13,6385
Coefficiente de Variación	125,7%
Rango	84,8
Mínimo	0,4
Máximo	85,2

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

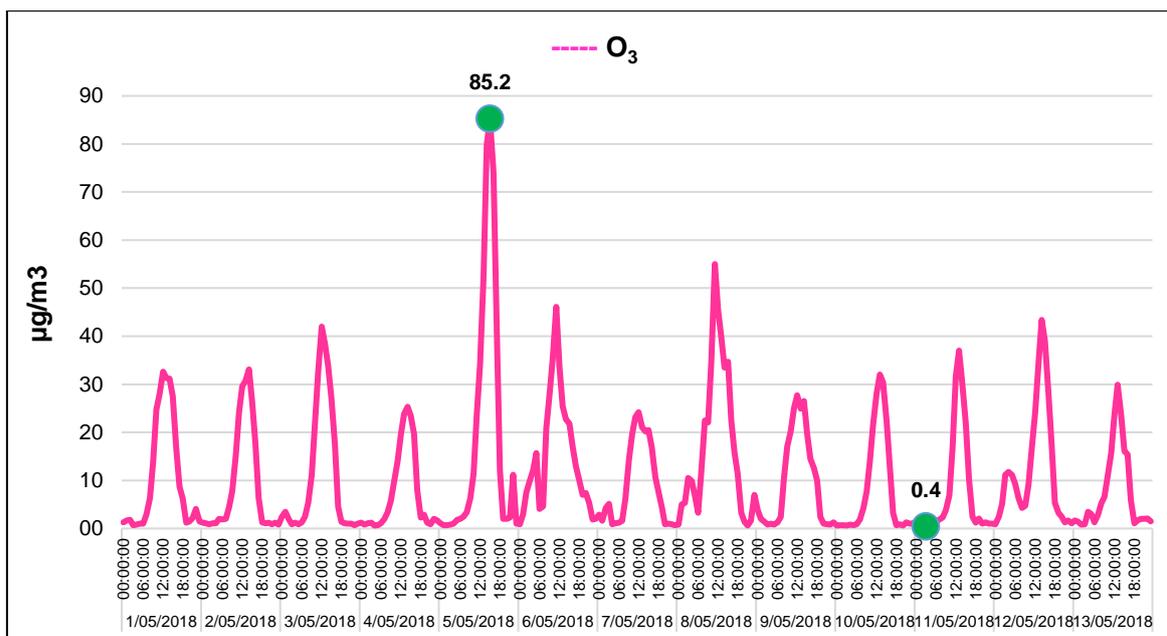


Figura 15. Variación temporal de ozono troposférico (O₃).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 10, se evidencia que en el distrito de Villa María del Triunfo durante el periodo evaluado, la concentración de ozono troposférico (O₃) reporta un promedio de $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una desviación más o menos de $13.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, según la moda el registro de concentración del contaminante O₃ con mayor frecuente en la localidad es de $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme la mediana el 50% de la variabilidad de la concentración de O₃ es menor a $4.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo $85.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor de concentración máximo de O₃ reportado, y $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor mínimo registrado, lo cual demuestra un rango de variabilidad de $84.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en este sentido el ozono troposférico (O₃) reporta en su concentración una variación relativa del 125.7%.

En la Figura 15, de acuerdo al comportamiento diario de la concentración de ozono troposférico (O₃), se observa que durante el periodo las concentraciones reportan una variación singular, manteniendo un crecimiento constante durante el día y descendiendo para la noche, el pico más elevado ($85.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró a las 15:00:00 pm del día 05/05/2018, mientras que el pico más bajo reportado ($0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se registró a las 03:00:00 am del día 11/05/2018.

3.4.1.3. Comparación con el Estándar de Calidad de Aire (ECA)

1. Material Particulado PM₁₀

En la figura 16, se muestra la comparación de la concentración del PM₁₀ del 01 de mayo al 13 mayo del año 2018 con los estándares de calidad de aire ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecidos en el D.S N° 003-2017 MINAM, donde se observa que para el día 08/05/2018 y 09/05/2020 no superan el valor establecido, en cambio los demás días si lo supera.

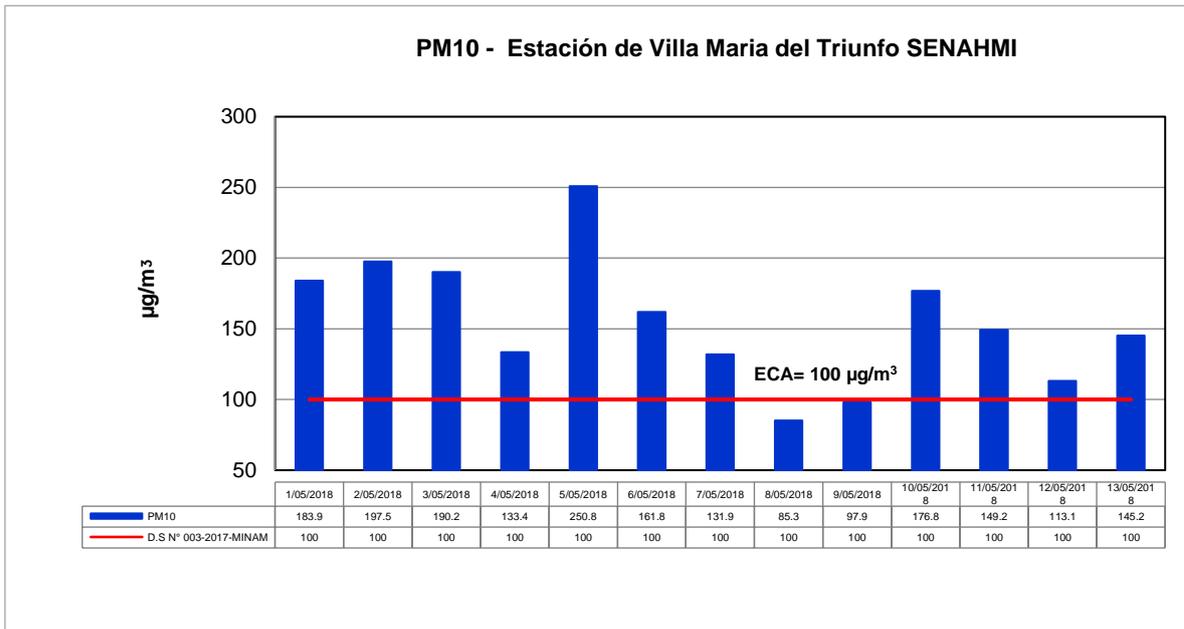


Figura 16. PM₁₀ - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.
Fuente: Elaboración Propia.

2. Material Particulado PM_{2.5}.

En la figura 17, se muestra la comparación de la concentración del PM_{2.5} del 01 de mayo al 13 mayo del año 2018 con los estándares de calidad de aire ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) establecidos en el D.S N° 003-2017 MINAM, donde se observa que para el día 05/05/2020 superan el valor establecido, en cambio los demás días no lo supera.

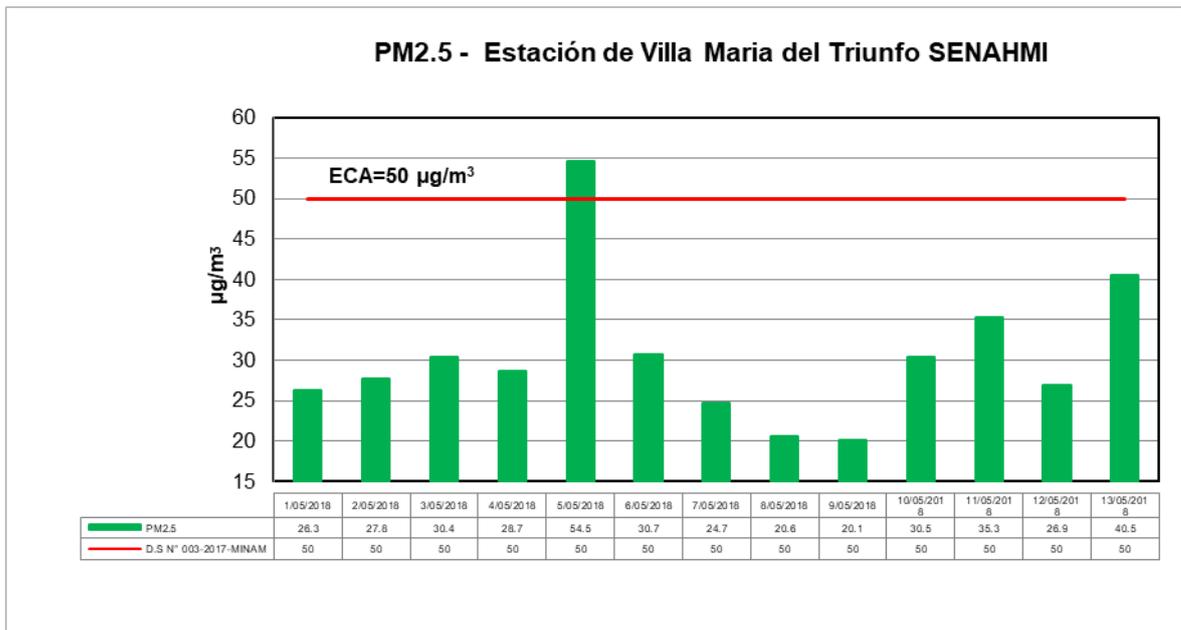


Figura 17. PM_{2.5} - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.
Fuente: Elaboración Propia.

3. Monóxido de Carbono (CO).

En la figura 18, se muestra la comparación de la concentración del CO del 01 de mayo al 13 mayo del año 2018 con los estándares de calidad de aire (10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) establecidos en el D.S N° 003-2017 MINAM, donde se observa que no superan el valor establecido.

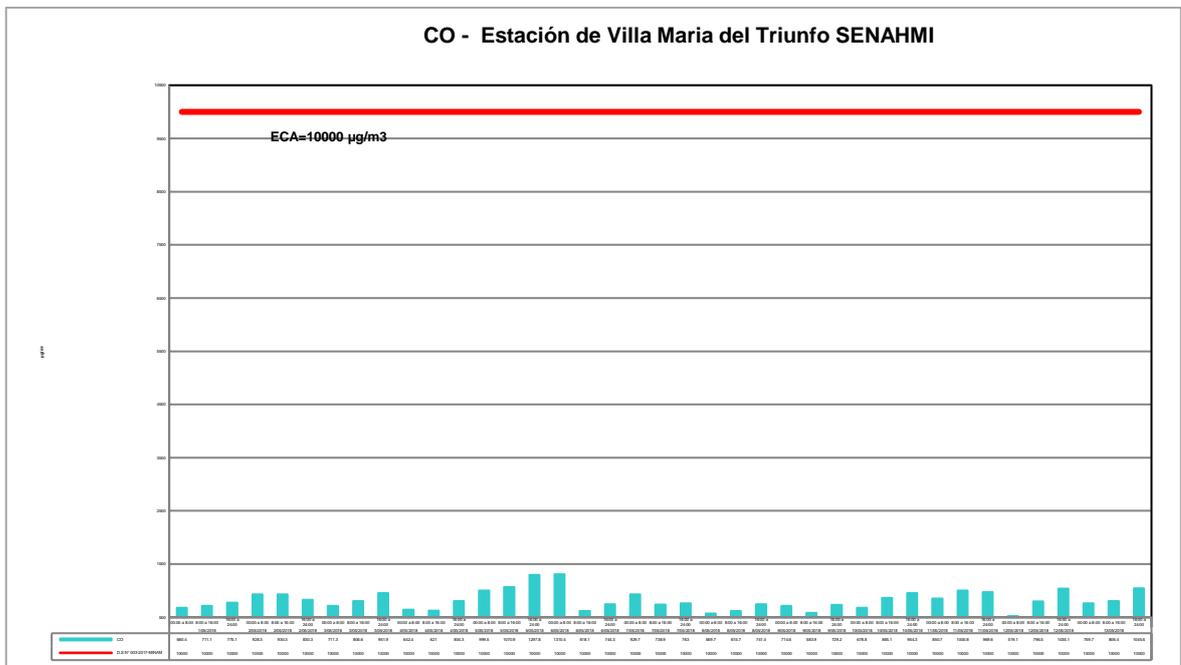


Figura 18. CO - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.
Fuente: Elaboración propia.

4. Dióxido de Azufre (SO₂).

En la figura 19, se muestra la comparación de la concentración del SO₂ del 01 de mayo al 13 mayo del año 2018 con los estándares de calidad de aire (250 µg/m³) establecidos en el D.S N° 003-2017 MINAM, donde se observa que no superan el valor establecido.

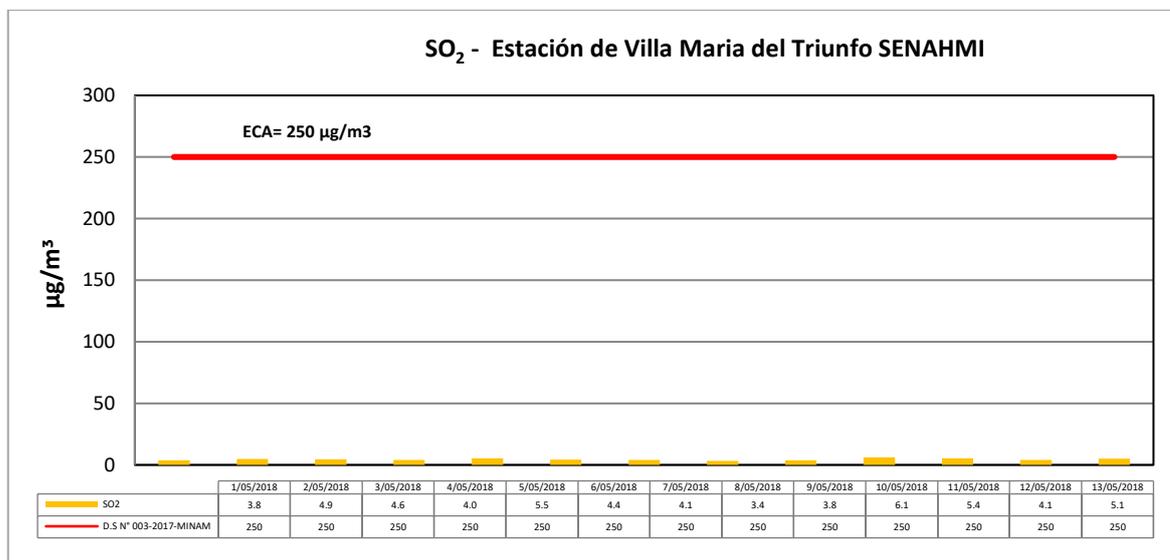


Figura 19. SO₂ - Estación de Villa María del Triunfo SENAHMI.
Fuente: Elaboración Propia.

5. Dióxido de Nitrógeno (NO₂).

En la figura 20, se muestra la comparación de la concentración del NO₂ del 01 de mayo al 13 mayo del año 2018 con los estándares de calidad de aire (200 µg/m³) establecidos en el D.S N° 003-2017 MINAM, donde se observa que no superan el valor establecido.

3.4.2. Análisis correlacional

3.4.2.1. Relación entre la temperatura del aire horaria y la concentración de contaminantes.

Tabla 11.

Estadística de correlación entre la temperatura del aire horaria y la concentración de los contaminantes.

		Correlaciones					
		Material Particulado PM10 (µg/m ³)	Material Particulado PM2.5 (µg/m ³)	Monóxido de Carbono CO (µg/m ³)	Dióxido de Azufre SO ₂ (µg/m ³)	Dióxido de Nitrógeno NO ₂ (µg/m ³)	Ozono Troposférico O ₃ (µg/m ³)
Temperatura del aire horaria (°C)	Correlación de Pearson	,158**	0,029	-,191**	-0,049	0,064	,738**
	Sig. (unilateral)	0,003	0,307	0,000	0,192	0,130	0,000
	N	312	312	312	312	312	312

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (unilateral).

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

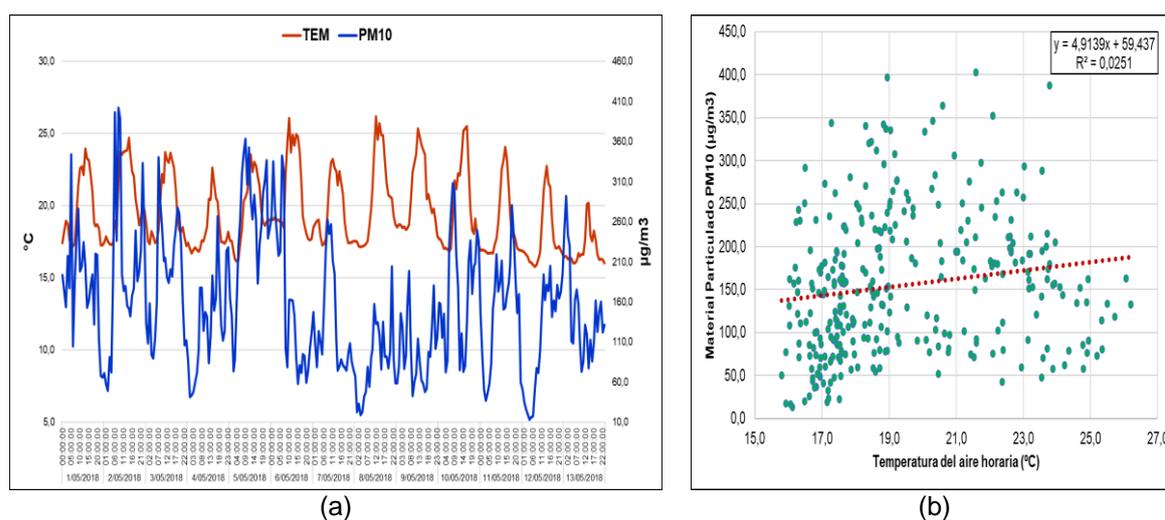


Figura 22. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs PM₁₀.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 11, se evidencia que la temperatura del aire horaria (°C) mantiene una relación positiva baja ($r= 0.158$) con el nivel de concentración de material particulado PM₁₀ (µg/m³), siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral= $0.003 < 0.05$).

En la Figura 22 (a), se observa que la tendencia de ambas variables se superponen al inicio y al final de la serie, presentando una apertura en el centro del diagrama, esto demuestra la relación positiva baja entre las variables.

Por su parte en la Figura 22 (b), se evidencia la relación directa entre las variables, es decir a medida que la temperatura del aire horaria se establece en niveles altos la concentración de material particulado PM₁₀ aumentará, según el valor del $R^2 = 0.00251$, refiere que el 2.5% del incremento en la concentración de PM₁₀ se explica por la temperatura del aire.

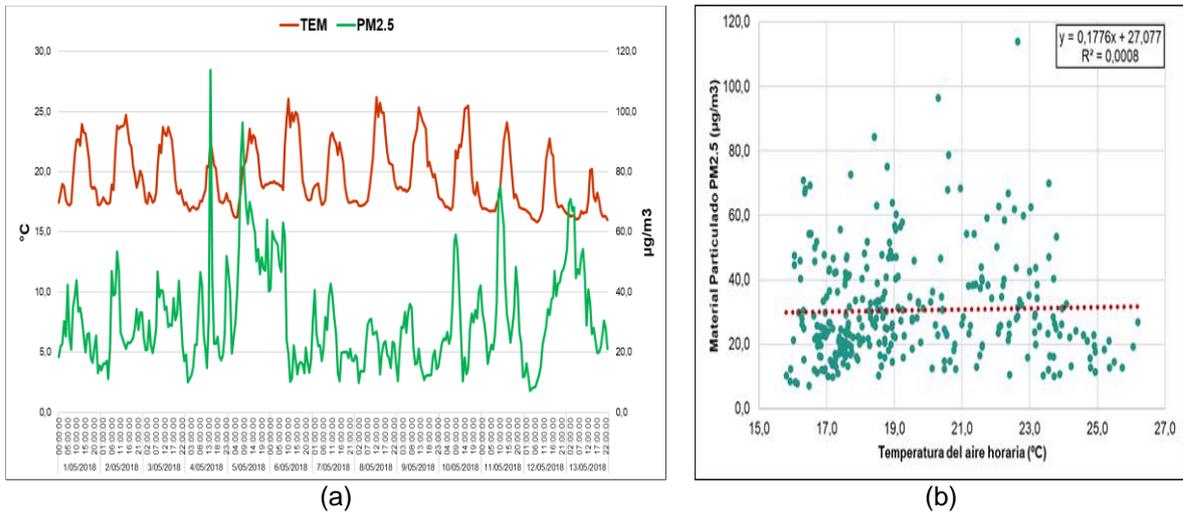


Figura 23. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs PM_{2.5}.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 11, se observa que la temperatura del aire horaria (°C) no se relaciona con el nivel de concentración de material particulado PM_{2.5} (µg/m³), dado que no existe evidencias estadísticamente significativas (Sig. bilateral= 0.307 > 0.05).

En la Figura 23 (a), se aprecia con mayor precisión que estas variables no mantienen una relación, dado que la variación en el tiempo de la temperatura del aire no concuerda con la variación serial de la concentración de material particulado PM_{2.5}.

En la Figura 23 (b), se evidencia que los datos no presentan relación alguna, es decir el nivel de concentración de material particulado PM_{2.5} es independiente de la temperatura del aire horaria, $R^2 = 0.000$.

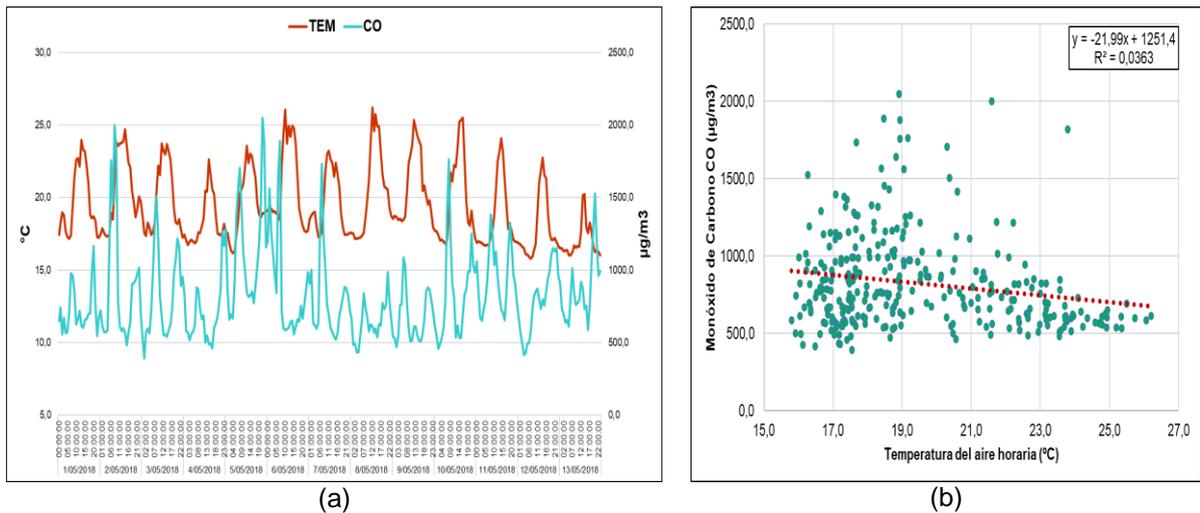


Figura 24. Relación gráfica entre la temperatura del aire vs monóxido de carbono (CO).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 11, se evidencia que la temperatura del aire horaria ($^{\circ}\text{C}$) mantiene una relación negativa baja ($r = -0.191$) con el nivel de concentración de monóxido de carbono CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), siendo estadísticamente significativo ($\text{Sig. bilateral} = 0.000 < 0.05$).

En la Figura 24 (a), se observa que a medida que la tendencia de la temperatura del aire horaria reporta un pico de crecimiento la tendencia del CO reporta un pico en descenso respectivamente, comportamiento que explica la relación inversa entre las variables.

De igual manera en la Figura 24 (b), se logra apreciar que a medida que la temperatura del aire horaria se establece en niveles altos la concentración de monóxido de carbono CO disminuye, por su parte el valor de $R^2 = 0.0363$, refiere que el 36.3% del descenso en la concentración de CO se explica por la temperatura del aire.

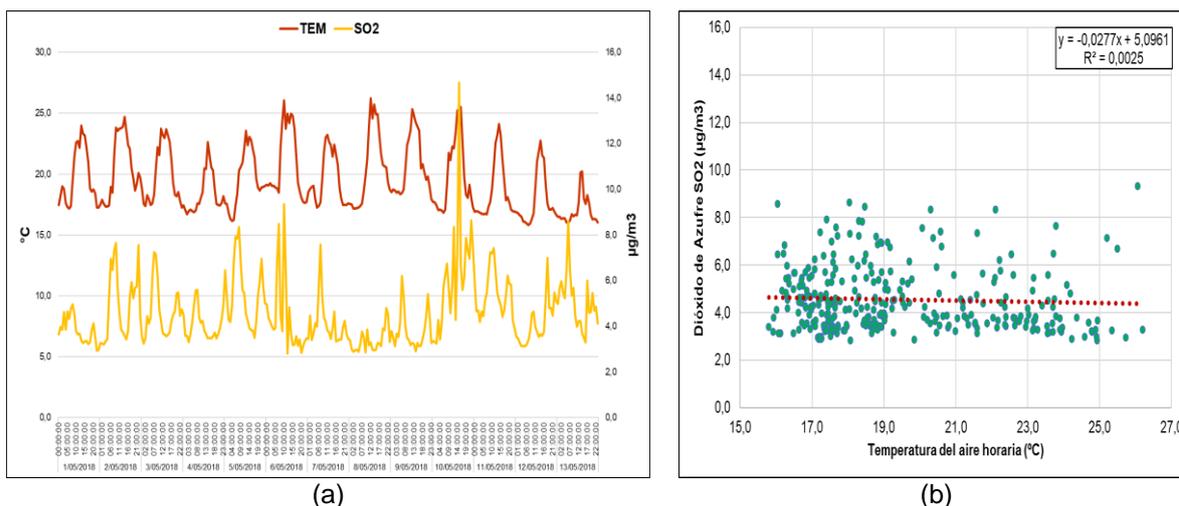


Figura 25. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs dióxido de azufre (SO₂).
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 11, se observa que la temperatura del aire horaria (°C) no se relaciona con el nivel de concentración de dióxido de azufre SO₂, dado que no existe evidencias estadísticamente significativas (Sig. bilateral= 0.192 > 0.05).

En la Figura 25 (a), se visualiza que la variación en el tiempo de la temperatura del aire no concuerda con la variación de la serie de la concentración de SO₂.

En la Figura 25 (b), se evidencia que los datos no presentan relación alguna, el nivel de concentración SO₂ es independiente de la temperatura del aire horaria, el R²= 0.0025 explica una muy baja proporción.

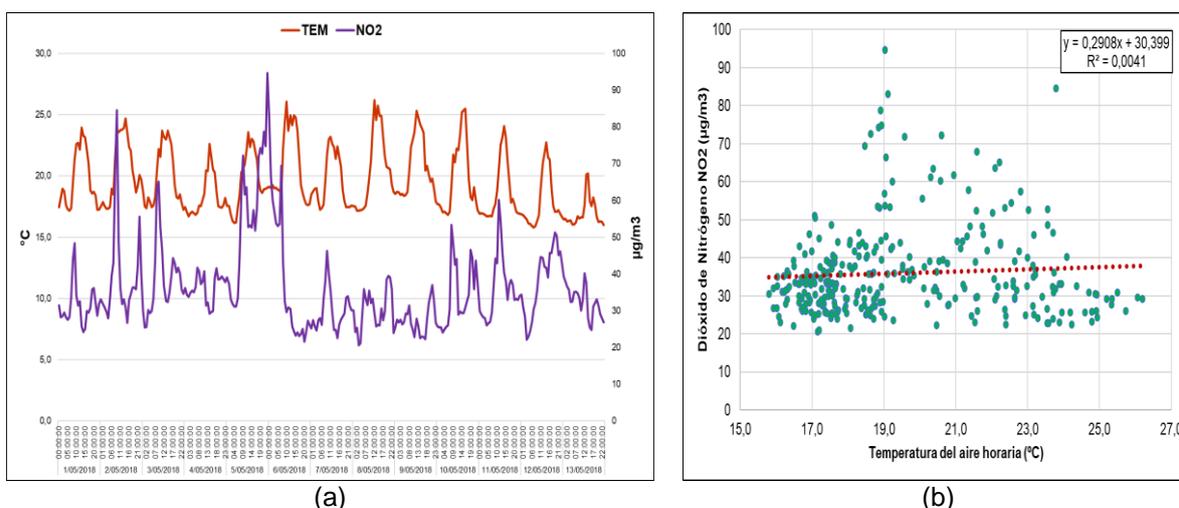


Figura 26. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs dióxido de nitrógeno (NO₂).
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 11, se observa que la temperatura del aire horaria ($^{\circ}\text{C}$) no se relaciona con el nivel de concentración de dióxido de nitrógeno NO_2 , dado que no existe evidencias estadísticamente significativas (Sig. bilateral= 0.130 > 0.05).

En la Figura 26 (a), se visualiza que la variación en el tiempo de la temperatura del aire no concuerda con la fluctuabilidad de la concentración de NO_2 .

En la Figura 26 (b), se evidencia que los datos no se relacionan, el nivel de concentración NO_2 es independiente de la temperatura del aire horaria, el $R^2= 0.0041$, es decir explica que no existe influencia en la variación de la concentración del dióxido de nitrógeno NO_2 .

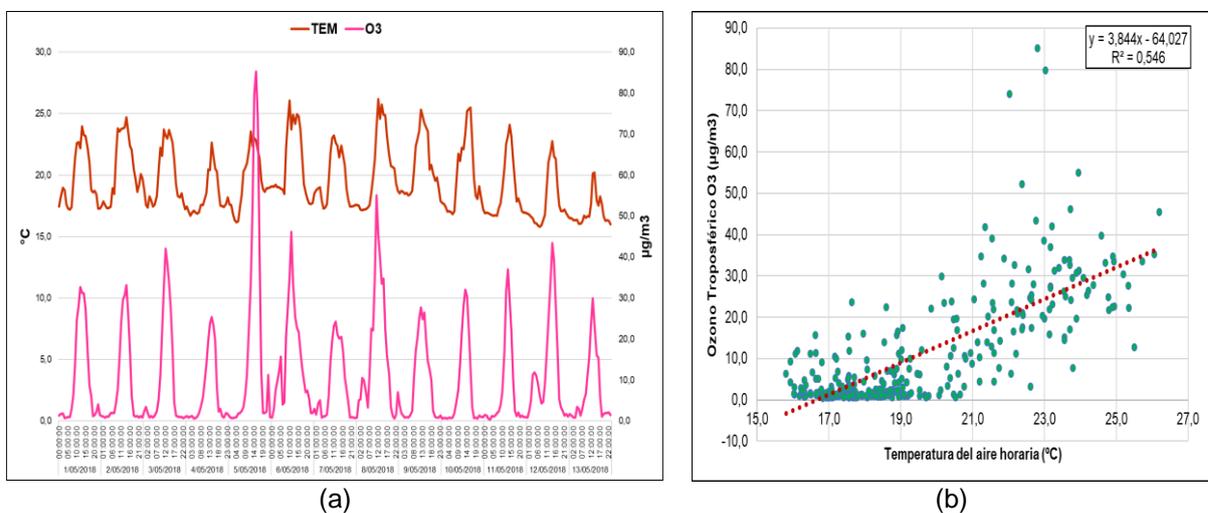


Figura 27. Relación gráfica entre la temperatura del aire horaria vs ozono troposférico (O_3).
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 11, se evidencia que la temperatura del aire horaria ($^{\circ}\text{C}$) mantiene una relación positiva alta ($r= 0.738$) con el nivel de concentración de ozono troposférico O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral= 0.000 < 0.05).

En la Figura 27 (a), se observa como la tendencia de ambas variables se sobreponen a medida que una aumenta la otra también lo hace, esto demuestra la relación positiva alta entre estas.

Por su parte en la Figura 27 (b), se evidencia que a medida que la temperatura del aire horaria se establece en niveles altos concentración de ozono troposférico

O₃ aumentará, conforme al valor del R²= 0.546, refiere que el 54.6% del incremento en concentración de ozono troposférico O₃ se explica por la temperatura del aire.

3.4.2.2. Relación entre la humedad relativa horaria y la concentración de contaminantes

Tabla 12.

Estadística de correlación entre la humedad relativa horaria y la concentración de los contaminantes.

		Correlaciones					
		Material Particulado PM10 (µg/m ³)	Material Particulado PM2.5 (µg/m ³)	Monóxido de Carbono CO (µg/m ³)	Dióxido de Azufre SO ₂ (µg/m ³)	Dióxido de Nitrógeno NO ₂ (µg/m ³)	Ozono Troposférico O ₃ (µg/m ³)
Humedad Relativa horaria (%)	Correlación de Pearson	-,229**	-0,051	,101*	0,038	-,146**	-,682**
	Sig. (unilateral)	0,000	0,186	0,037	0,254	0,005	0,000
	N	312	312	312	312	312	312

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (unilateral).

**.. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (unilateral).

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAEMI (2018).

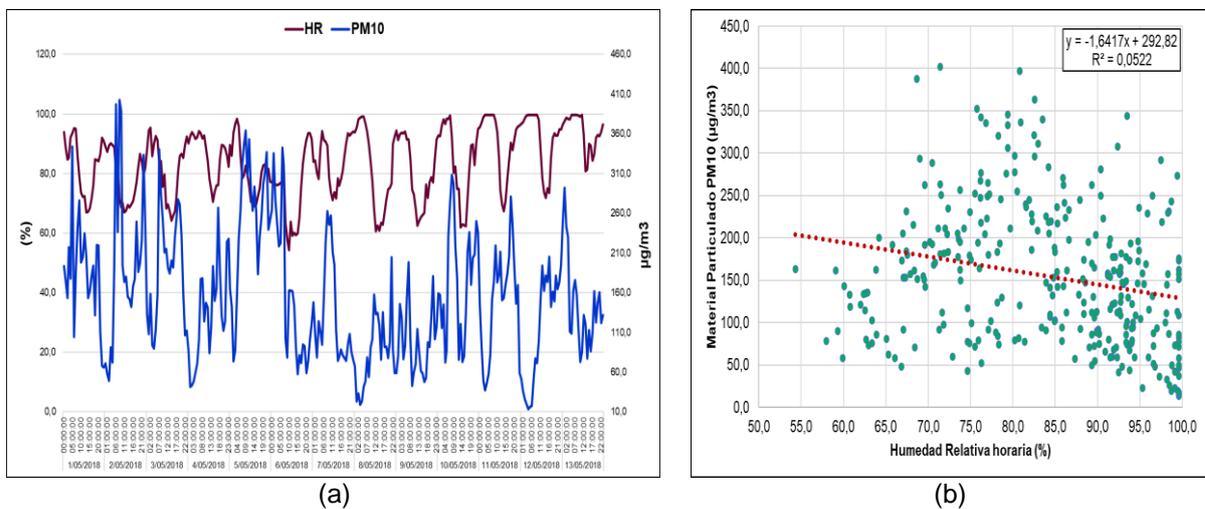


Figura 28. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs PM₁₀.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 12, se evidencia que la humedad relativa horaria (%) mantiene una relación negativa baja ($r = -0.229$) con el nivel de concentración de material particulado PM₁₀, siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral = 0.000 < 0.05).

En la Figura 28 (a), se observa que a medida que la tendencia de la humedad relativa horaria reporta un pico de crecimiento la tendencia del PM₁₀ reporta un pico en descenso respectivamente, es decir existe un comportamiento inverso entre las variables tal como lo establece el coeficiente de correlación.

Así mismo en la Figura 28 (b), se logra apreciar que a medida que la humedad relativa se establece en niveles altos la concentración de PM₁₀ disminuye, sin embargo el valor de $R^2= 0.0522$, refiere que el 5.2% del descenso en la concentración de PM₁₀ se explica por la humedad relativa.

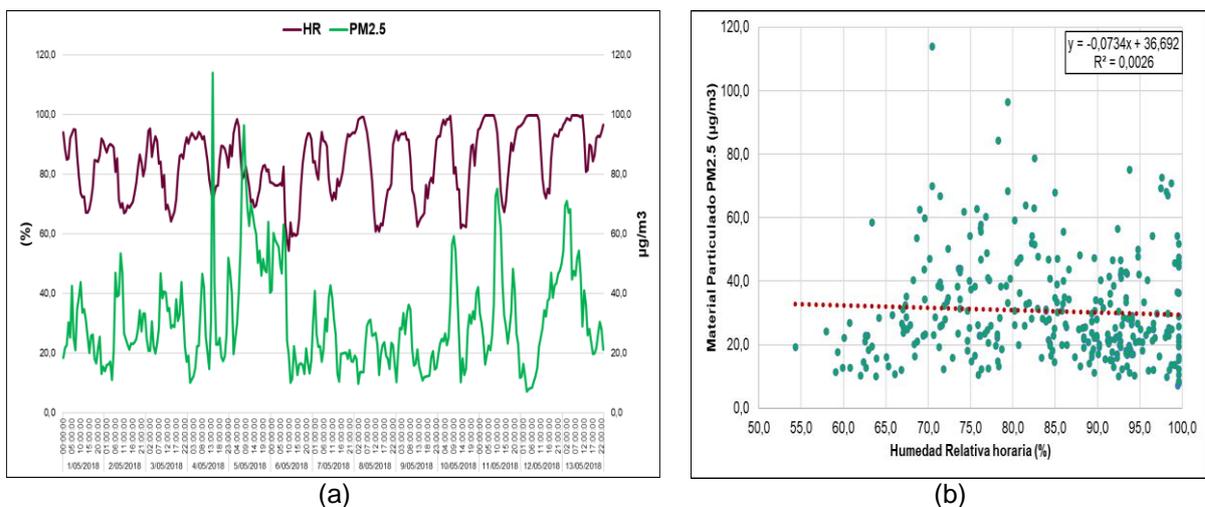


Figura 29. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs PM_{2.5}.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 12, se observa que la humedad relativa horaria (%) no se relaciona con el nivel de concentración de material particulado PM_{2.5}, dado que no existe evidencias estadísticamente significativas (Sig. bilateral= 0.186 > 0.05).

En la Figura 29 (a), se evidencia que efectivamente las tendencias de la humedad relativa no se equipará con la concentración de material particulado PM_{2.5}.

De igual manera en la Figura 29 (b), evidenciamos que la linea de crecimiento no refiere una inclinación a ningún lado, esto nos indica que la concentración de material particulado PM_{2.5} es independiente de la humedad relativa, $R^2= 0.0026$.

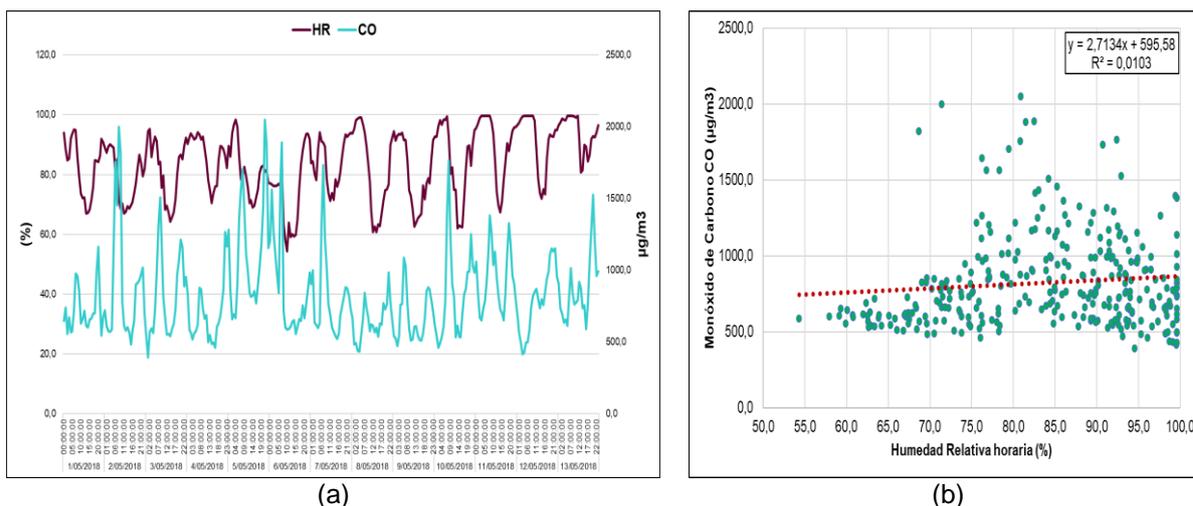


Figura 30. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs monóxido de carbono (CO).
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 12, se evidencia que la humedad relativa horaria (%) mantiene una relación positiva baja ($r = 0.101$) con el nivel de concentración de monóxido de carbono CO, siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral = $0.037 < 0.05$).

En la Figura 30 (a), se observa que a medida que la tendencia de la humedad relativa horaria reporta un pico de crecimiento la tendencia del CO también reporta un pico creciente y viceversa, es decir existe un comportamiento directo entre las variables tal como lo establece el coeficiente de correlación.

Así mismo en la Figura 30 (b), se logra apreciar que a medida que la humedad relativa se establece en niveles altos la concentración de CO aumentará, sin embargo el valor de $R^2 = 0.0103$, refiere que el 1.03% del aumento en la concentración de CO se explica por la humedad relativa.

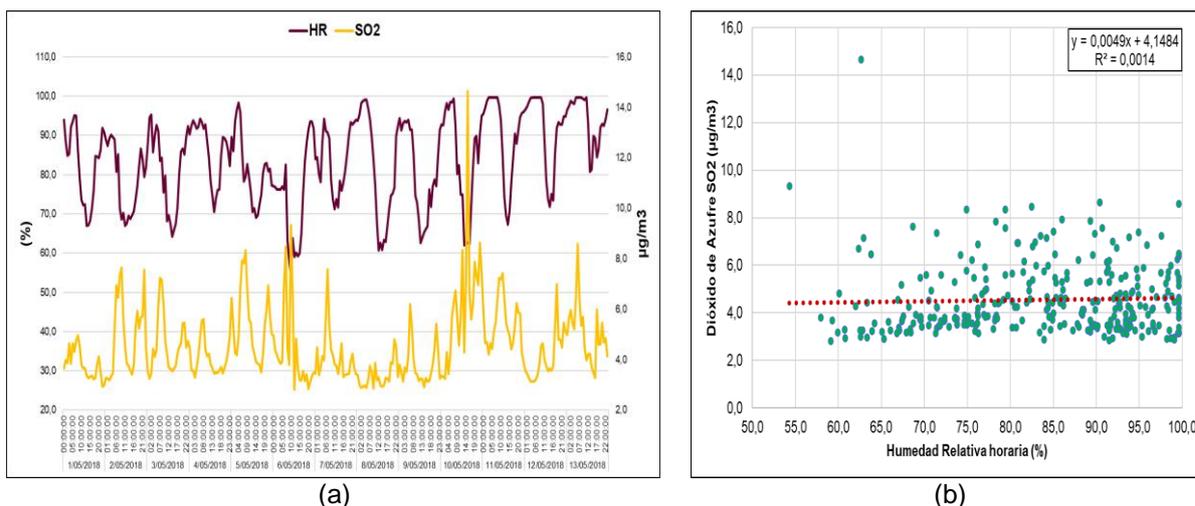


Figura 31. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs dióxido de azufre (SO₂).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 12, se observa que la humedad relativa horaria (%) no se relaciona con el nivel de concentración de dióxido de azufre SO₂, dado que no existe evidencias estadísticamente significativas (Sig. bilateral= 0.254 > 0.05).

En este sentido la Figura 31 (a), se evidencia que efectivamente las tendencias de la humedad relativa no se equipara con la concentración de SO₂.

Por su parte en la Figura 31 (b), evidenciamos que la linea de crecimiento no refiere una inclinación a ningún lado, esto nos indica que la concentración de SO₂ es independiente de la humedad relativa, R²= 0.0014.

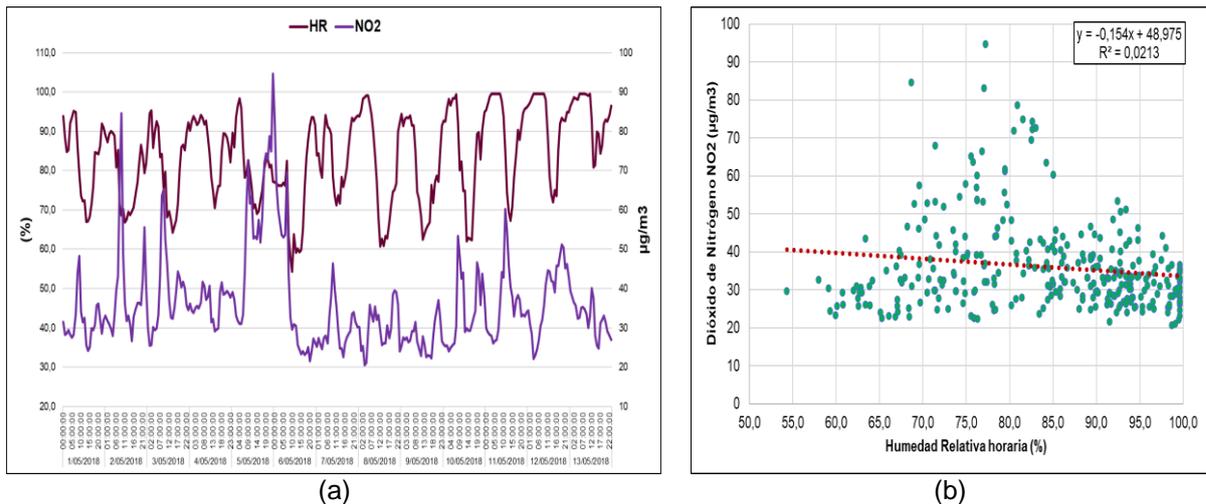


Figura 32. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs dióxido de nitrógeno (NO₂).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 12, se evidencia que la humedad relativa horaria (%) mantiene una relación negativa baja ($r = -0.146$) con el nivel de concentración de dióxido de nitrógeno NO₂, siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral = $0.005 < 0.05$).

En la Figura 32 (a), se observa que a medida que la tendencia de la humedad relativa reporta un crecimiento la tendencia del NO₂ reporta lo contrario, es decir existe un comportamiento inverso entre las variables tal como se evidencia en el coeficiente de correlación.

En la Figura 32 (b), se logra detallar con poca precisión que a medida que la humedad relativa se establece en niveles altos la concentración de NO₂ disminuye, en este sentido el valor de $R^2 = 0.0213$, refiere que el 2.1% del descenso en la concentración de NO₂ se explica por la humedad relativa.

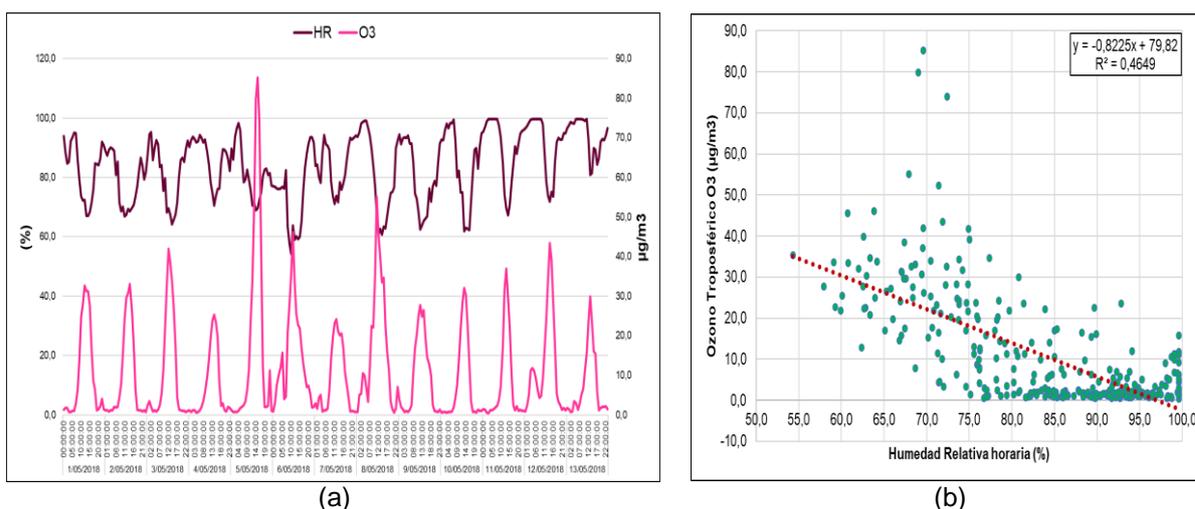


Figura 33. Relación gráfica entre la humedad relativa horaria vs ozono troposférico (O_3).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 12, se evidencia que la humedad relativa horaria (%) mantiene una relación negativa alta ($r = -0.682$) con el nivel de concentración de Ozono Troposférico O_3 , siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral = $0.000 < 0.05$).

Esta relación se detalla en la Figura 33 (a), donde se observa que a medida que la tendencia de la humedad relativa reporta un crecimiento la tendencia del O_3 reporta lo contrario, evidenciando claramente el comportamiento inverso en la variación de los datos.

En la Figura 33 (b), se logra detallar asertivamente que a medida que la humedad relativa se establece en niveles altos la concentración de O_3 disminuye, en efecto el valor de $R^2 = 0.4649$, permite identificar que el 46.5% del descenso en la concentración de O_3 se explica por la humedad relativa.

3.4.2.3. Relación entre la velocidad del viento y la concentración de contaminantes.

Tabla 13.

Estadística de correlación entre la velocidad del viento y la concentración de los contaminantes.

		Correlaciones					
		Material Particulado PM10 (µg/m3)	Material Particulado PM2.5 (µg/m3)	Monóxido de Carbono CO (µg/m3)	Dióxido de Azufre SO ₂ (µg/m3)	Dióxido de Nitrógeno NO ₂ (µg/m3)	Ozono Troposférico O ₃ (µg/m3)
Velocidad del viento (m/s)	Correlación de Pearson	0,022	0,002	-,274**	-,167**	-0,018	,595**
	Sig. (unilateral)	0,352	0,489	0,000	0,002	0,376	0,000
	N	312	312	312	312	312	312

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (unilateral).

Fuente: Elaboración propia, adaptado de SENAHMI (2018).

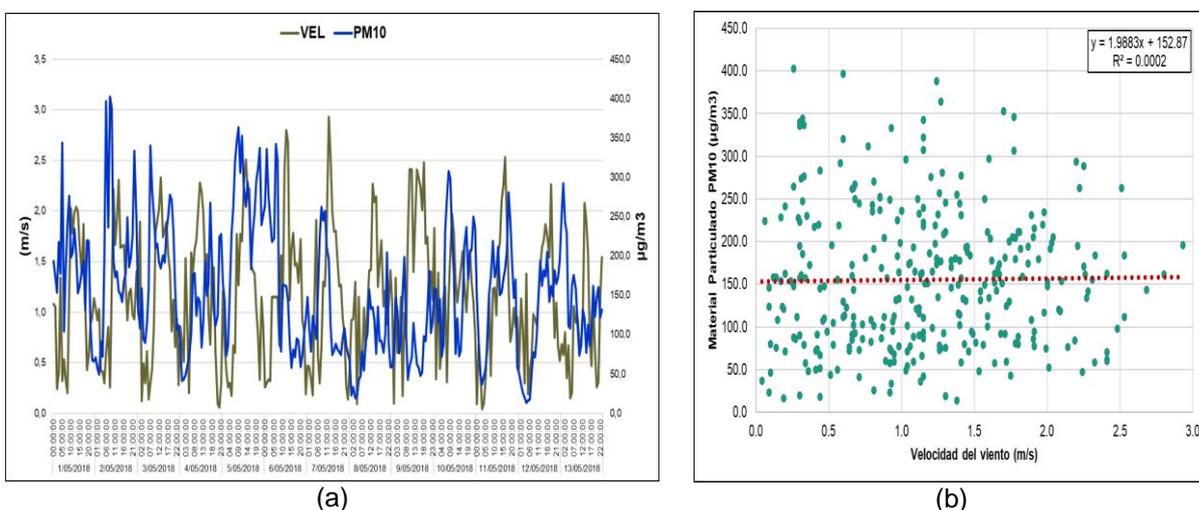


Figura 34. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs PM₁₀.

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13, se observa que la velocidad del viento (m/s) no se relaciona con el nivel de concentración de material particulado PM₁₀, dado que no existe evidencias estadísticamente significativas (Sig. bilateral= 0.352 > 0.05).

En la Figura 34 (a), efectivamente se observa que las tendencias de la velocidad del viento no se equipara con la concentración de material particulado PM₁₀.

De igual manera, en la Figura 34 (b), evidenciamos que la línea de crecimiento no refiere una inclinación a ningún lado, esto nos indica que la concentración de

material particulado PM₁₀ es independiente de la velocidad del viento, $R^2= 0.0002$.

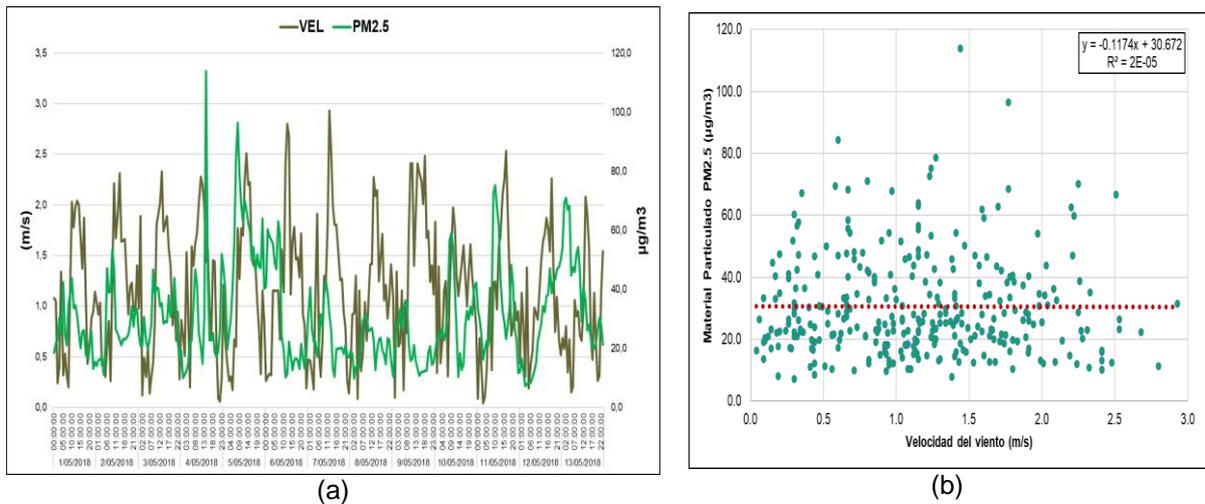


Figura 35. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs PM_{2.5}.
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13, se observa que la velocidad del viento (m/s) no se relaciona con el nivel de concentración de material particulado PM_{2.5}, dado que no existe evidencias estadísticamente significativas (Sig. bilateral= 0.489 > 0.05).

En la Figura 35 (a), efectivamente se observa que las tendencias de la velocidad del viento no refieren un patron de comparación con la concentración de material particulado PM_{2.5}.

En la Figura 35 (b), se observa que la linea de crecimiento no refiere una inclinación a ningún lado, esto nos indica que la concentración de material particulado PM_{2.5} es independiente de la velocidad del viento, $R^2= 0.000002$.

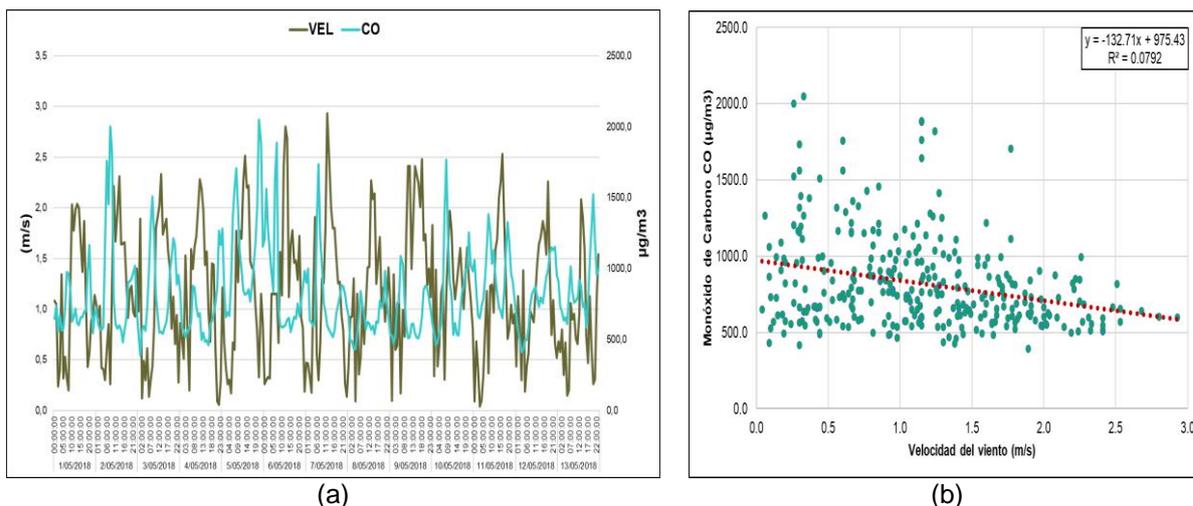


Figura 36. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs monóxido de carbono (CO).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13, se evidencia que la velocidad y dirección del viento (m/s) mantiene una relación negativa media ($r = -0.274$) con el nivel de concentración de monóxido de carbono CO, siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral = $0.000 < 0.05$).

En la Figura 36 (a), se logra apreciar que a medida que la tendencia de la velocidad del viento reporta un pico de crecimiento la tendencia del CO reporta un pico en descenso respectivamente, es decir existe un comportamiento inverso entre las variables.

En la Figura 36 (b), se visualiza que a medida que la velocidad del viento se establece en niveles altos la concentración de CO disminuye, sin embargo el valor de $R^2 = 0.0792$, refiere que solo el 7.9% del descenso en la concentración de CO se explica por la velocidad y dirección del viento.

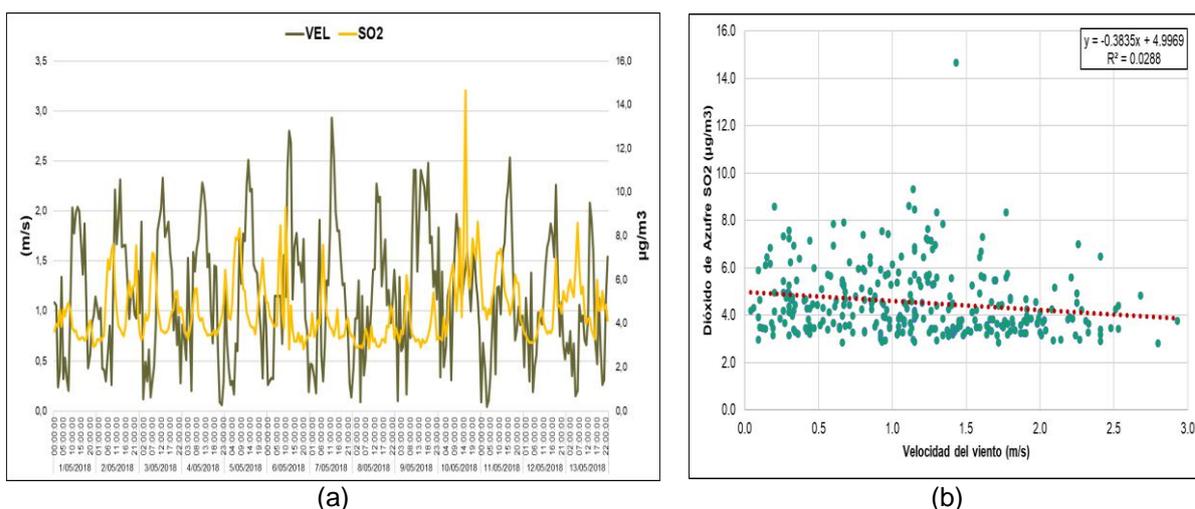


Figura 37. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs dióxido de azufre (SO₂). Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13, se evidencia que la velocidad del viento (m/s) mantiene una relación negativa baja ($r = -0.167$) con el nivel de concentración de dióxido de azufre SO₂, siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral = $0.002 < 0.05$).

Al respecto en la Figura 37 (a), se logra apreciar que a medida que la tendencia de la velocidad del viento reporta aumenta la tendencia del SO₂ disminuye, es decir existe un comportamiento inverso entre las variables.

En la Figura 38 (b), se observa que a medida que la velocidad del viento se establece en niveles altos la concentración de SO₂ disminuye, sin embargo el valor de $R^2 = 0.0288$, refiere que solo el 2.8% del descenso en la concentración de SO₂ se explica por la velocidad y dirección del viento.

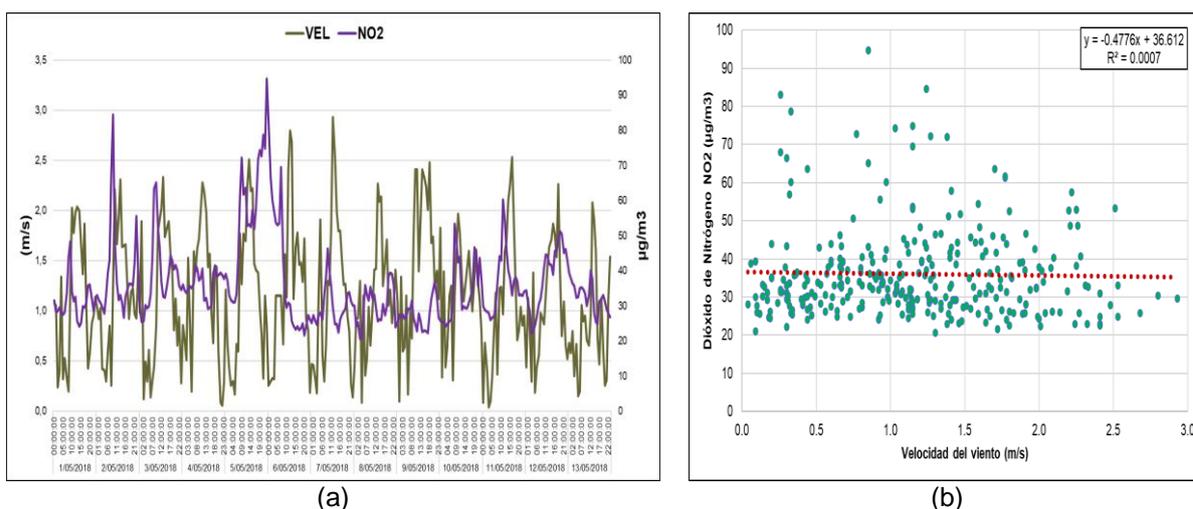


Figura 38. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs dióxido de nitrógeno (NO₂).

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13, se observa que la velocidad del viento (m/s) no se relaciona con el nivel de concentración de dióxido de nitrógeno NO₂, dado que no existe evidencias estadísticamente significativas (Sig. bilateral= 0.376 > 0.05).

En la Figura 38 (a), efectivamente se observa que las tendencias de la velocidad del viento refieren un patrón de comportamiento a comparar con la concentración de NO₂.

En la Figura 38 (b), evidenciamos que la línea de crecimiento no refiere una inclinación a ningún lado, esto nos indica que la concentración de NO₂ es independiente de la velocidad del viento, R²= 0.0007.

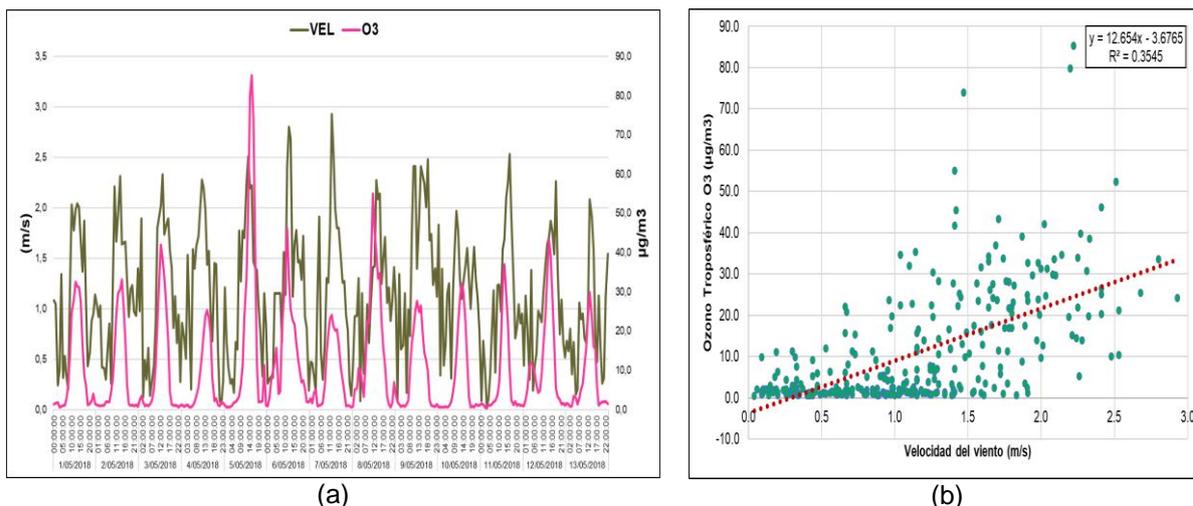


Figura 39. Relación gráfica entre la velocidad del viento vs ozono troposférico (O₃)
Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 13, se evidencia que la velocidad del viento (m/s) mantiene una relación positiva media ($r= 0.595$) con el nivel de concentración de ozono troposférico O₃, siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral= $0.000 < 0.05$).

En la Figura 39 (a), se observa que a medida que la tendencia de la velocidad del viento reporta un pico de crecimiento la tendencia del O₃ también reporta un pico creciente y viceversa, es decir existe un comportamiento directo entre las variables tal como lo establece el coeficiente de correlación.

Así mismo en la Figura 39 (b), se logra apreciar que a medida que la velocidad del viento se establece en niveles altos la concentración de O₃ también referirá niveles altos, en este sentido el valor de $R^2= 0.3545$, señala que el 35.5% del aumento en la concentración de O₃ se explica por velocidad del viento.

IV. CONCLUSIONES

En el análisis de la variación temporal de las variables meteorológicas en el periodo del 01 al 13 de mayo de 2018, se concluye que la temperatura del aire en la zona, tiende a aumentar a partir de las primeras horas de la mañana y a disminuir al finalizar la tarde, fluctuación que se entiende de esta manera por la salida y ocultamiento del sol, a diario el repunte más elevado de la temperatura se visualiza a partir del mediodía (12:00:00 pm) y el nivel más bajo a partir de la media noche (00:00:00 am), teniendo como valor mínimo 15.8°C, valor máximo 26.2°C y un promedio de 19.48°C, con una desviación estándar de 2.6°C; por otro lado la humedad relativa, comienza a ascender a diario en horas de la noche y a descender en horas de la mañana, teniendo un valor más alto de 99.6% a las 04:00:00 am del día 11/05/2018 y un valor de menor proporción reportado (54.3%) a las 10:00:00 am del día 06/05/2018 y un promedio de 83,8% , con una desviación estándar de 11.30%, con respecto a la velocidad del viento y dirección del viento se registró un rango de velocidad máxima de 2.93 m/s y la dirección del viento registrada es de Oeste Sur Oeste (WSW) a Este Sur Este (ESE) y con un 17.31% de calma. Con respecto a la variabilidad relativa de la temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento se obtuvo los siguientes resultados 13.5%, 13.5 y 55.7% respectivamente, siendo la velocidad del viento el más variable con respecto a la temperatura del aire y la humedad relativa.

La variación temporal de la concentración de los contaminantes durante el periodo de estudio fueron las siguientes: El PM₁₀, tuvo una fluctuación irregular tanto en diurno como nocturno. El PM_{2.5}, tuvo concentraciones que fluctúan constantemente, manteniendo un ritmo equitativo, evidenciando que mayormente las concentraciones se dan en horas diurnas, y descienden en horas nocturnas. El CO, registró que las concentraciones fluctúan constantemente, donde en horas de la mañana registran las más altas concentraciones y las más bajas durante la tarde y noche. El dióxido de azufre (SO₂) tiene una variación constante, reportando alzas y bajas en el transcurso del día, donde su crecimiento se acentúa en horas de la mañana y de la tarde.

El dióxido de nitrógeno (NO₂) tiene una variación constante, sus concentraciones se acentúa en horas de la mañana, descendiendo en la tarde y ascendiendo nuevamente en hasta un poco más de media noche. El ozono troposférico (O₃), reporta una variación singular, manteniendo un crecimiento constante durante el día y descendiendo para la noche. Con respecto a la variabilidad relativa del PM₁₀, PM_{2.5}, CO, SO₂, NO₂ y O₃ se obtuvo los siguientes resultados 52.4%, 53%7, 36.8%, 31.7%, 33.1% y 125.7% respectivamente, siendo el ozono troposférico el más variable con respecto a los demás contaminantes atmosféricos.

Al comparar con los estándares de calidad de aire establecidos en el D.S N° 003-2017 MINAM, para el PM₁₀ se observa que no superan el valor establecido para los días 08/05/2018 y 09/05/2020, en cambio los demás días si lo supera. Con respecto al PM_{2.5} se observa que para el día 05/05/2020 superan el valor establecido, en cambio los demás días no lo supera y para la concentración del CO, SO₂, NO₂, O₃ no superan el valor establecido.

La temperatura del aire horaria (°C) tiene una relación positiva baja ($r= 0.158$) con el nivel de concentración PM₁₀ (µg/m³), siendo estadísticamente significativo (sig. bilateral= 0.003 < 0.05), es decir a medida que la temperatura del aire horaria presenta valores altos la concentración de material particulado PM₁₀ aumentará. La temperatura del aire horaria (°C) mantiene una relación negativa baja ($r= - 0.191$) con el nivel de concentración de CO (µg/m³), siendo estadísticamente significativo (sig. bilateral= 0.000 < 0.05), es decir, a medida que la temperatura del aire horaria presenta valores altos, la concentración de monóxido de carbono CO disminuye o viceversa. La temperatura del aire horaria (°C) mantiene una relación positiva alta ($r= 0.738$) con el nivel de concentración de O₃ (µg/m³), siendo estadísticamente significativo (sig. bilateral= 0.000 < 0.05), esto significa que a medida que la temperatura del aire horaria presenta valores altos, la concentración de ozono troposférico O₃ aumentará o viceversa.

La humedad relativa horaria (%) mantiene una relación negativa baja ($r= - 0.229$) con el nivel de concentración de PM₁₀, siendo estadísticamente significativo (sig. bilateral= 0.000 < 0.05), medida que la humedad relativa presenta valores altos la concentración de PM₁₀ disminuye o viceversa. La humedad relativa horaria (%) mantiene una relación positiva baja ($r= 0.101$) con el nivel de concentración CO,

siendo estadísticamente significativo (sig. bilateral= 0.037 < 0.05), a medida que la humedad presenta valores altos, la concentración de CO aumentará. La humedad relativa horaria (%) mantiene una relación negativa baja ($r = -0.146$) con el nivel de concentración de NO₂, siendo estadísticamente significativo (Sig. bilateral= 0.005 < 0.05), a medida que la humedad relativa presenta valores altos la concentración de NO₂ disminuye o viceversa. La humedad relativa horaria (%) mantiene una relación negativa alta ($r = -0.682$) con el nivel de concentración O₃, siendo estadísticamente significativo (sig. bilateral= 0.000 < 0.05), es decir, a medida que la humedad relativa se presenta valores altos la concentración de O₃ disminuye o viceversa.

La velocidad del viento mantiene una relación negativa media ($r = -0.274$) con el nivel de concentración de CO, siendo estadísticamente significativa (sig. bilateral= 0.000 < 0.05), es decir, existe un comportamiento inverso entre las variables a medida que la velocidad del viento presenta valores altos la concentración de CO disminuye. La velocidad del viento (m/s) mantiene una relación negativa baja ($r = -0.167$) con el nivel de concentración de SO₂, siendo estadísticamente significativo (sig. bilateral= 0.002 < 0.05), es decir, existe un comportamiento inverso entre las variables, a medida que la velocidad del viento presenta valores altos la concentración de SO₂ disminuye. La velocidad del viento (m/s) mantiene una relación positiva media ($r = 0.595$) con el nivel de concentración de O₃, siendo estadísticamente significativo (sig. bilateral= 0.000 < 0.05), es decir, a medida que la tendencia de la velocidad del viento reporta un pico de crecimiento la tendencia del O₃ también reporta un pico creciente y viceversa.

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda que se realice estudios similares y comparativos con datos históricos en las diferentes zonas de Lima Metropolitana; ya que, esto ayudaría a entender con más precisión la relación existente entre los contaminantes atmosféricos y las variables meteorológicas en las distintas estaciones del año de esta manera se obtendrá patrones de comportamiento entre ellos y determinar que otros factores se ven involucrados en la relación de estos; promoviendo de esta manera investigaciones de nivel de causa – efecto.

Se recomienda a las autoridades de la municipalidad de Villa María del Triunfo instrumentos de gestión como es el Plan Anual de Fiscalización Ambiental (PLANEFA) cumpliendo los lineamientos prácticos para la planificación y seguimiento de las acciones que se desarrollan para promover el cumplimiento ambiental y tomar decisiones respecto a la gestión de calidad de aire en el distrito, ayudando a disminuir la contaminación del aire previniendo daños en la salud de las personas y el ambiente.

Se recomienda implementar más estaciones de calidad de aire y meteorológica, para tener una mayor vigilancia en los distritos de Lima Metropolitana, en vista de que cada distrito tiene su propio contexto y problemas ambientales.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Abel, E. G. (2018). *Evaluación espacial y temporal del material particulado PM 10 y PM 2.5 en Lima Metropolitana para el periodo 2015 - 2017*. Lima.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (Junio de 2012). Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs201.pdf
- Aguilar Haro, L. (16 de Julio de 2015). *Variación temporal de las concentraciones del PM 10 y su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate en el periodo 2010 - 2014*. Departamento Académico de Ciencias Ambientales, Lima.
- Byung - Gon, K., Min - Hyeok, C., & Chang - Hoi, H. (2009). Weekly periodicities of meteorological variables and their possible association with aerosols in Korea. *Atmospheric Environment*, 43, 6058 - 6065.
- Castañeda, M. B., Cabrera, A. F., N. Y., & De Vries, W. (2010). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/261704346_Procesamiento_de_datos_y_analisis_estadisticos_utilizando_SPSS_Un_libro_practico_para_investigadores_y_administradores_educativos/link/00b4953510e4a0dd01000000/download
- Cerda, A., & Garcia, L. (Noviembre de 2010). Contaminación del aire en la Florida (Talca, Chile): Beneficios económicos en salud por la reducción de los niveles PM 10. *Revista Medica Chile*, 138(11). Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872010001200008
- Chan, S., & Xiaohong, Y. (2008). Air pollution in mega cities in China. *Atmospheric Environment*, 42, 1-42.
- Cifuentes, L. A., Krupnick, A. J., O'Ryan, R., & Toman, M. A. (2005). Urban Air Quality and Human Health in Latin America and the Caribbean. Retrieved from <http://www.iadb.org/sds/env>
- Cuadrat, J., & Pita, F. (2011). *Climatología* (6ta ed.). Madrid, España.

- De Nerves, N. (s.f.). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. España: MC Graw Hill.
- Dextre Evangelista, E. (2016). *Comportamiento de las variables meteorológicas y su relación con la calidad de aire por material particulado PM2.5, San Juan de Lurigancho – 2016*. Lima.
- Diaz Saavedra, J. G. (2019). Niveles de concentración de PM10, NO2, SO2, H2S, CO y variables meteorológicas en la zona industrial de Villa el Salvador. Lima, Lima, Perú: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
- Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2016). *Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana 2015*. Recuperado el 04 de 10 de 2020, de www.senamhi.gob.pe
- DIRIS LIMA SUR. (2019). *Análisis de situación de salud del distrito de Villa Maria del Triunfo*.
- Doménech, X. (2000). *El impacto ambiental de los residuos*. Madrid: Miraguano, S.A. Ediciones.
- Dominguez Rodriguez, A., Juarez - Prera, R., Rodriguez, S., Abreu Gonzales, P., & Avanzas, P. (2016). Influence of meteorological conditions on hospital admission in patients with acute coronary syndrome with and without ST-segment elevation: Results of the AIRACOS study. *Medicina Intensiva*, 40, 201 - 207.
- Espinoza Guillen, J. A. (2018). *Evaluación espacial y temporal del material particulado PM-10 y PM 2.5 en Lima Metropolitana para el periodo 2015-2017*. Lima.
- Fallas, J. (2012). Correlación Lineal. Recuperado el 04 de 10 de 2020, de https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/correlacion_lineal_2012.pdf
- FOVIDA. (2017). Obtenido de <https://fovida.org.pe/wp-content/uploads/2019/02/ESTUDIO-VULNERABILIDAD-VMT-COMPLETO.pdf>

- Garcia Franco, J. L. (2020). Air quality in Mexico city during the fuel shortage of January 2019. *Atmospheric Environment*, 222. Recuperado el 04 de 10 de 2020
- Green, J., & Sánchez, S. (2012). *La Calidad del Aire en América Latina: Una visión panorámica*. Washington D.C.: The Clean Air Institute.
- Grivas, G., Chaloulakou, A., Samara, C., & Spyrellis, N. (2004). Spatial and temporal variation of PM10 mass concentrations within the greater area of Athens, Greece. *Water, air and Soil Pollution*, 158, 357- 371.
- Jianming, X., Fengxia, Y., Ying, X., Fengyun, W., Jianbin, W., & Qingyan, F. (2015). Impact of meteorological conditions on a nine-day particulate matter pollution event observed in December 2013, Shanghai, China. *Particuology*, 20, 69 - 79.
- Kalbarczyk, R., & Kalbarczyk, E. (2020). Meteorological conditions of the winter-time distribution of nitrogen oxides in Pozan: A proposal for a catalog of the pollutants variation. *Urban Climate*, 33. Recuperado el 04 de 10 de 2020
- Lana, I., Del Ser, J., Padró, A., Vélez, M., & Casanova Mateo, C. (2016, Setiembre 13). The role of local traffic and meteorological conditions in air pollution: A data based case study in Madrid, Spain. *Atmospheric Environment*. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.09.052
- Liu, P., Song, H., Wang, T., Wang, F., Li, X., Miao, C., & Zhao, H. (2020). Effects of meteorological conditions and anthropogenic precursors on ground-level ozone concentrations in Chinese cities. *Environmental Pollution*, 262. Recuperado el 04 de 10 de 2020
- Lopez del Pino, S., & Martin Calderón, C. (2015). Manejo de equipos de medida de contaminantes atmosféricos. España: Elearning S.L. Recuperado el 04 de 10 de 2020, de <https://books.google.com.pe/books?id=nbpWDwAAQBAJ&pg=PA35&dq=temperatura+atmosf%C3%A9rica&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiTssGMx5vsAhWdGbkGHdfoAYUQ6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=temperatura%20atmosf%C3%A9rica&f=false>

- Organización Mundial de la Salud. (2018). Obtenido de https://www.who.int/topics/air_pollution/es/
- Organización Mundial de la Salud. (02 de Mayo de 2018). Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health#:~:text=part%C3%ADculas%20\(PM\),las%20regiones%20de%20la%20OMS.](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health#:~:text=part%C3%ADculas%20(PM),las%20regiones%20de%20la%20OMS.)
- Pacheco, J., Franco, J., & Behrentz, E. (2009). Caracterización de los niveles de contaminación auditiva en Bogotá: Estudio piloto. *Ingeniería*, 30.
- Parker, A. (2001). *Contaminación del aire por la industria*. España: Reverté S.A.
- Parrás, D. (2019). <http://www.cece.org/Material-Teorico-Excel-2019.pdf>. Obtenido de <http://www.cece.org/Material-Teorico-Excel-2019.pdf>
- Qi, X., Mei, G., Cuomo, S., Liu, C., & Xu, N. (27 de October de 2019). Data analysis and mining of the correlations between meteorological conditions and air quality: A case study in Beijing. *Internet of Things*. Recuperado el 04 de 10 de 2020
- Ramos Herrera, S., Magaña Villegas, E., & Carrera Velueta, J. M. (2012). *Manual para el manejo de software especializado*. Obtenido de http://www.riat.ujat.mx/hablandoal aire/tutoriales/Manual_SoftwareEspecializadoParaAire.pdf
- Raphaël, C., Didier, B., Jérôme, B., & Narcisse, Z. (2016). Microscale anthropogenic pollution modelling in a small tropical island during weak trade winds: Lagrangian particle dispersion simulations using real nested LES meteorological fields. *Atmospheric Environment*, 139, 98 - 112.
- Rojas Chavez, F. J. (2017). Modelación numérica del transporte de contaminantes atmosféricos y su relación con las condiciones meteorológicas en Lima Metropolitana. *Tesis para optar el grado de Doctoris Philosophiae en Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Lima, Lima, Perú.
- Senamhi. (2001). *Guía Básica de Meteorología General*. Lima. Recuperado el 3 de Mayo de 2019

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2016). *Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana 2015*. Lima.
- Stoeckenius, T. E., Hogrefe, C., Zagunis, J., Sturtz, T. M., Wells, B., & Sakulyanontvittaya, T. (2015). A comparison between 2010 and 2006 air quality and meteorological conditions, and emissions and boundary conditions used in simulations of the AQMEII-2 North American domain. *Atmospheric Environment*, *115*, 389-403. Recuperado el 04 de 10 de 2020
- Toro, R., Kvakic, M., Klacic, Z. B., Koracin, D., Morales, R. G., & Leiva G., M. A. (2019). Exploring atmospheric stagnation during a severe particulate matter air pollution episode over complex terrain in Santiago, Chile. *Environmental Pollution*, *244*, 705-714. Recuperado el 04 de Octubre de 2020
- Vásquez Del Castillo, Á. (2018). Contaminación atmosférica por PM10 y su relación con variables. *Tesis de Pregrado*. Lima, Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
- Wei, Z., Shaojia, F., Hai, G., Bo, G., Jiaren, S., & Laiguo, C. (2016). Assessing the impact of local meteorological variables on surface ozone in Hong Kong during 2000 - 2015 using quantile and multiple line regression models. *Atmospheric Environment*, *144*, 182 - 193.
- Whiteman, C. D., Hoch, W. S., Horel, J. D., & Charland, A. (2014). Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley. *Atmospheric Environment*, *94*, 742 - 753. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.06.012>
- Zelada Cubas, W. N. (2011). Variación de la Calidad del Aire en el distrito de Trujillo durante el año 2007. *Tesis para optar el grado de: Maestría en Ciencias*. Trujillo, La Libertad, Perú.

VII. ANEXOS

ANEXO 01: Solicitud de Información a SENAMHI

 **UNIVERSIDAD DE LIMA SUR**
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

Villa El Salvador, 15 de enero de 2019

CARTA N°002-2019-UNTELS-CO-V.ACAD-FIG-EIA

Señor:
Dr. Ken Takahashi
Presidente ejecutivo
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI
Presente. -

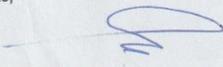
Asunto: Solicitud de información de Data Meteorológica de la Estación Villa María del Triunfo de los años 2017 – 2018.

De mi especial consideración para dirigirme a usted y expresarle mis cordiales saludos a nombre de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, asimismo, para hacer de su conocimiento que en nuestra universidad se forman profesionales íntegros en lo científico, académico, tecnológico y humanístico.

Concedores de su voluntad hacia el desarrollo de investigación, consideramos conveniente presentar a nuestro (a) alumno (a) LINDSAY GIRAY RÍOS GARCÉS, egresada, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL, a fin de facilitar el acceso de la información sobre la Data Meteorológica de la Estación Villa María de los años 2017 – 2018 en la estación de Senamhi del distrito de Villa María de Triunfo, requerida para la realización de su trabajo de suficiencia profesional titulado: " La influencia de las variables meteorológicas en las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en el Distrito de Villa María del Triunfo 2017 - 2018", tomando en cuenta los siguientes parámetros:

1. Concentración Horaria de PM10	7. Concentración Horaria NOx
2. Concentración Horaria de PM 2.5	8. Concentración Horaria O ₃
3. Concentración Horaria de CO	9. Temperatura del aire Horaria
4. Concentración Horaria de SO ₂	10. Humedad Relativa Horaria
5. Concentración Horaria de NO	11. Velocidad y Dirección del viento
6. Concentración Horaria de NO ₂	

Sin otro en particular le reiteramos el agradecimiento por el apoyo brindado a nuestra Institución.

Atentamente,

ING. MAG. DR. GUILLERMO VILCHEZ OCHOA
Responsable de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
EIA




P. I. Villa El Salvador Mz. A. Sub Lote 3. Grupo 1. Sector 3 (cruce Av. Central y Av. Bolívar) - Villa El Salvador

ANEXO 02: Información brindada por SENAMHI

1/05/2018 - 13/05/2018		VILLA MARIA DEL TRIUNFO								
FECHA	HORA	VARIABLES METEOROLÓGICAS			PARÁMETROS DE LA CALIDAD DE AIRE (µg/m ³)					
		TEM	HR	VEL	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	SO ₂	NO ₂	O ₃
1/05/2018	00:00:00	17.5	93.9	1.1	193.4	18.4	648.6	3.7	31.5	1.3
	01:00:00	18.2	88.4	1.1	173.8	21.8	739.4	4.0	28.3	1.7
	02:00:00	19.0	84.8	0.2	153.5	22.7	554.3	3.9	28.5	1.8
	03:00:00	18.8	85.3	0.4	217.2	30.3	671.6	4.6	29.5	0.7
	04:00:00	17.6	92.1	1.3	177.7	25.2	565.8	3.9	28.3	0.8
	05:00:00	17.3	93.5	0.3	344.0	42.4	576.1	4.6	27.6	1.0
	06:00:00	17.2	95.1	0.5	104.5	24.9	710.7	4.3	28.2	1.0
	07:00:00	17.4	94.9	0.3	185.1	21.0	976.3	4.8	33.7	2.9
	08:00:00	19.5	86.1	0.2	241.3	34.8	961.4	5.0	44	6.3
	09:00:00	21.4	79.2	1.2	276.0	38.5	856.7	4.5	48.3	13.9
	10:00:00	22.6	73.6	2.0	198.2	43.8	626.8	3.8	34	24.7
	11:00:00	22.7	72.2	1.8	204.4	33.6	657.8	3.7	31.4	28.0
	12:00:00	22.2	72.4	2.0	234.5	34.6	715.3	3.7	32.5	32.6
	13:00:00	24.0	67.0	2.0	205.2	31.0	614.1	3.4	25.7	31.3
	14:00:00	23.3	67.1	2.0	153.2	25.4	601.4	3.3	24.2	31.2
	15:00:00	23.2	68.4	1.7	161.7	20.0	655.5	3.3	25.1	27.5
	16:00:00	22.1	71.4	1.4	180.6	25.8	661.2	3.4	29.9	16.5
	17:00:00	21.0	75.9	1.9	194.0	26.2	698.0	3.2	29.5	8.7
	18:00:00	18.8	84.7	1.1	131.9	18.0	702.6	3.3	30.8	6.2
	19:00:00	18.6	84.5	0.4	219.8	16.5	990.1	3.8	35.7	1.2
20:00:00	18.7	84.2	0.6	218.9	21.5	1163.8	4.1	36.1	1.5	
21:00:00	18.4	86.3	0.9	111.7	25.5	763.6	3.5	32.1	2.2	
22:00:00	17.3	91.9	1.0	68.0	13.0	546.2	2.9	28.6	4.1	
23:00:00	17.3	90.9	1.1	66.0	15.5	675.0	3.0	31.9	1.5	

2/05/2018	00:00:00	17.5	89.0	1.0	70.9	14.1	721.0	3.3	33.1	1.2
	01:00:00	17.9	87.3	0.9	57.3	16.1	609.5	3.3	31.8	1.1
	02:00:00	17.6	89.3	1.0	49.2	16.1	573.8	3.2	30.9	0.9
	03:00:00	17.3	90.1	0.4	91.4	17.1	571.5	3.3	29.7	1.1
	04:00:00	17.3	89.6	0.4	72.4	11.1	585.3	3.5	27.9	1.1
	05:00:00	17.4	88.9	0.3	195.0	20.9	1154.6	5.3	33.1	2.0
	06:00:00	18.9	80.8	0.6	396.8	47.0	1756.0	6.9	39.5	1.9
	07:00:00	18.5	85.2	0.9	236.6	38.9	1454.8	6.5	43.1	2.0
	08:00:00	21.6	71.4	0.3	402.4	39.6	1999.8	7.4	68	4.4
	09:00:00	23.8	68.7	1.2	387.9	53.5	1818.1	7.6	84.5	7.8
	10:00:00	23.6	70.2	2.2	194.8	47.1	783.1	5.6	48.6	15.2
	11:00:00	23.7	66.9	1.7	173.7	26.5	611.8	4.6	36.2	24.1
	12:00:00	23.8	67.5	1.9	179.8	24.8	579.6	3.9	31.8	29.6
	13:00:00	23.9	69.5	2.3	155.1	22.9	600.3	3.8	33.1	30.7
	14:00:00	24.7	68.7	1.6	151.7	21.1	566.9	3.6	30.9	33.1
	15:00:00	23.5	69.7	1.7	142.1	23.2	483.0	3.4	26.7	26.2
	16:00:00	22.4	70.7	1.7	168.4	23.0	571.5	3.8	32.8	17.6
	17:00:00	22.1	73.5	1.3	177.1	23.5	644.0	5.3	34.5	6.3
	18:00:00	20.5	77.0	0.9	249.1	24.7	900.4	5.9	36.3	1.3
	19:00:00	19.7	82.2	1.2	186.2	28.2	910.8	5.2	36.3	1.1
	20:00:00	18.7	86.6	1.2	197.8	34.3	930.3	5.7	35.8	1.2
	21:00:00	19.2	83.9	1.0	225.4	27.4	972.9	5.7	42.3	0.9
	22:00:00	20.1	79.4	0.9	333.5	33.2	1017.7	7.6	55.6	1.2
23:00:00	19.7	81.9	1.4	244.8	33.3	694.6	4.4	40.2	0.8	
3/05/2018	00:00:00	18.8	87.8	1.0	132.8	24.9	537.0	3.5	30	2.4
	01:00:00	17.6	94.5	1.9	108.1	20.8	391.0	3.3	25.5	3.5
	02:00:00	17.4	95.3	0.1	158.4	20.9	571.5	3.5	25.6	2.0
	03:00:00	18.3	85.8	0.5	94.1	30.6	595.7	4.4	30.2	0.9
	04:00:00	17.9	89.9	0.3	89.9	22.2	563.5	4.1	29.4	1.2

	05:00:00	17.5	92.6	0.6	113.2	19.8	721.0	4.4	29.9	0.9
	06:00:00	17.6	91.2	0.1	157.9	23.2	992.4	6.1	33.2	1.3
	07:00:00	18.3	83.5	0.3	340.2	28.3	1317.9	7.2	43.3	2.5
	08:00:00	20.4	84.2	0.4	283.2	46.7	1507.6	7.1	63.5	5.3
	09:00:00	22.2	75.6	0.9	252.7	38.4	1215.5	6.2	65.1	11.2
	10:00:00	21.6	79.7	1.8	211.1	40.7	815.3	4.7	52.5	21.9
	11:00:00	23.7	68.2	1.9	215.2	40.3	676.2	4.2	46.6	32.6
	12:00:00	23.2	69.6	2.0	191.5	34.2	552.0	3.7	36.8	42.0
	13:00:00	23.0	67.4	2.3	184.1	35.1	555.4	3.6	32.7	38.5
	14:00:00	23.7	64.2	1.7	200.4	28.4	541.6	3.6	32.4	33.8
	15:00:00	23.2	65.8	1.8	191.7	29.2	588.8	3.6	35	27.2
	16:00:00	22.6	67.4	1.9	231.1	28.8	624.4	3.8	39.2	17.5
	17:00:00	21.2	71.5	1.6	250.3	38.0	729.1	4.2	44.3	4.5
	18:00:00	19.2	80.2	1.4	277.4	30.7	972.9	4.5	42.9	1.4
	19:00:00	18.3	85.9	0.8	270.7	32.8	1070.6	4.7	40.4	1.1
	20:00:00	18.2	86.6	1.1	232.7	43.7	1214.4	5.4	41.7	1.0
	21:00:00	18.5	85.2	0.7	159.7	33.4	1160.3	5.5	40.1	1.0
	22:00:00	17.8	89.6	0.9	106.4	22.1	888.9	4.5	35.7	0.7
	23:00:00	17.2	92.3	0.3	112.0	17.1	954.5	4.7	34.6	1.0
4/05/2018	00:00:00	17.4	90.2	0.9	86.9	19.1	836.0	4.5	36.1	1.2
	01:00:00	17.0	92.5	0.7	41.4	10.0	580.8	3.6	34.4	0.8
	02:00:00	16.7	93.8	0.5	43.6	11.2	569.2	3.6	33.8	1.1
	03:00:00	17.0	92.9	1.5	48.3	12.3	518.6	3.3	34.9	1.2
	04:00:00	17.1	91.7	0.9	60.0	15.0	560.0	3.7	35.5	0.6
	05:00:00	17.0	92.2	0.2	70.9	22.4	575.0	4.2	35	0.7
	06:00:00	16.9	94.2	1.6	100.4	22.5	622.1	4.9	36.4	1.1
	07:00:00	17.0	93.4	1.4	177.4	34.6	877.4	5.6	41.7	2.0
	08:00:00	17.6	91.8	1.6	177.8	46.6	864.8	5.6	40.7	3.4
	09:00:00	17.6	92.7	1.7	124.3	42.1	726.8	4.4	37.2	5.8

	10:00:00	18.0	88.6	2.0	147.3	25.5	663.5	4.1	37.9	9.7
	11:00:00	18.5	84.4	2.3	141.7	20.3	684.2	4.2	40.7	14.0
	12:00:00	20.5	78.2	2.2	83.9	14.8	500.2	3.8	31.5	19.5
	13:00:00	20.4	74.7	2.0	117.1	30.8	547.4	3.7	32.2	23.8
	14:00:00	22.6	70.5	1.4	193.0	113.9	487.6	3.5	29.2	25.3
	15:00:00	21.6	73.8	1.6	149.8	43.8	493.3	3.5	29.6	23.4
	16:00:00	20.6	76.0	1.0	164.4	22.8	462.3	3.5	29.9	19.7
	17:00:00	20.3	76.2	0.7	267.1	22.8	603.8	3.6	39.1	8.0
	18:00:00	18.7	84.9	1.5	188.2	25.0	631.3	3.7	41.5	2.3
	19:00:00	17.5	89.5	1.4	130.5	18.6	683.1	3.5	38.5	2.9
	20:00:00	17.5	89.3	0.6	111.8	17.2	753.2	3.7	38.7	1.2
	21:00:00	17.4	88.4	0.1	123.9	19.0	865.9	3.9	39.4	0.9
	22:00:00	17.6	86.2	0.1	223.9	26.5	1267.3	4.3	38.7	2.0
	23:00:00	18.2	82.2	0.3	227.7	51.9	1167.2	4.9	37.8	1.7
5/05/2018	00:00:00	17.6	89.6	1.2	165.2	47.3	1282.2	6.4	39.1	1.1
	01:00:00	17.6	86.0	0.7	143.0	40.2	859.0	5.3	37.2	0.7
	02:00:00	16.8	93.7	0.4	73.9	19.6	658.9	4.3	33.1	0.7
	03:00:00	16.3	96.6	0.3	87.5	24.9	692.3	4.2	31.8	0.8
	04:00:00	16.2	98.3	0.3	157.4	29.8	667.0	4.9	31.1	1.0
	05:00:00	16.2	95.9	0.2	228.6	40.4	908.5	6.8	31.1	1.8
	06:00:00	17.4	86.0	0.7	262.4	55.6	1363.9	7.9	33.4	2.0
	07:00:00	18.4	78.3	0.6	320.4	84.4	1564.0	7.8	44	2.5
	08:00:00	20.3	79.4	1.8	346.0	96.4	1705.4	8.3	61.2	3.4
	09:00:00	20.6	82.6	1.3	363.8	78.7	1415.6	6.8	72.2	6.3
	10:00:00	21.0	79.4	1.8	306.3	68.4	1113.2	5.6	61.7	11.3
	11:00:00	22.1	75.8	1.7	352.6	62.7	993.6	5.5	63.6	23.7
	12:00:00	23.6	70.5	2.3	288.6	70.0	847.5	4.5	52.8	33.9
	13:00:00	22.4	71.4	2.5	263.0	66.8	816.5	4.3	53.2	52.3
14:00:00	23.0	69.0	2.2	293.5	62.6	823.4	3.9	52.6	79.8	

	15:00:00	22.8	69.6	2.2	262.7	59.8	852.1	3.8	57.4	85.2
	16:00:00	22.0	72.4	1.5	183.6	50.2	770.5	3.8	51.8	74.0
	17:00:00	21.4	74.9	1.4	230.6	54.3	891.2	3.5	57.8	41.8
	18:00:00	19.6	80.5	1.4	254.9	45.9	1026.9	4.2	71.9	12.0
	19:00:00	18.9	82.6	1.0	296.1	51.6	1177.6	5.4	74.3	2.0
	20:00:00	18.6	83.0	0.8	311.6	47.8	1430.6	6.0	72.7	2.0
	21:00:00	18.9	80.9	0.3	336.9	47.2	2048.1	7.0	78.7	2.3
	22:00:00	18.9	81.5	1.2	239.8	64.0	1881.4	5.7	74.9	11.2
	23:00:00	19.0	77.2	0.9	251.8	40.2	1155.7	5.0	94.7	1.0
6/05/2018	00:00:00	19.1	77.0	0.3	264.8	40.9	1204.0	5.0	83	0.9
	01:00:00	19.1	76.8	0.3	335.4	60.2	1561.7	4.4	66.5	3.0
	02:00:00	19.2	76.2	0.3	276.8	57.9	1264.4	4.2	60.1	7.5
	03:00:00	19.0	76.2	0.3	247.5	56.7	1115.8	4.0	56.9	9.8
	04:00:00	19.0	76.3	1.2	218.2	55.5	967.1	3.9	53.7	12.1
	05:00:00	18.9	76.9	1.2	222.8	48.9	841.8	3.9	53.1	15.7
	06:00:00	18.8	76.2	1.2	342.3	46.8	1641.0	6.9	53.6	4.1
	07:00:00	18.5	82.5	1.2	321.7	63.0	1887.1	8.5	69.5	4.6
	08:00:00	22.3	63.4	0.7	102.4	58.5	715.3	4.4	43.4	20.8
	09:00:00	24.4	58.0	1.6	78.6	24.1	600.3	3.8	32.6	27.8
	10:00:00	26.1	54.3	1.1	162.8	19.3	586.5	9.3	29.6	35.3
	11:00:00	23.7	63.8	2.4	162.3	10.1	591.1	6.5	30.9	46.1
	12:00:00	24.9	59.1	2.8	161.8	11.4	603.8	2.8	30.4	33.6
	13:00:00	24.2	60.1	2.7	143.3	22.2	640.5	4.8	25.7	25.4
	14:00:00	24.9	59.3	1.1	90.4	17.6	652.0	3.7	24.4	22.7
	15:00:00	24.8	59.9	1.6	57.8	12.7	555.4	3.2	23.3	21.8
	16:00:00	23.7	65.1	1.8	81.0	16.1	606.0	3.2	24.1	17.0
	17:00:00	21.5	75.6	1.5	71.5	16.6	658.9	3.6	23.1	13.0
	18:00:00	19.3	83.4	1.5	94.6	15.9	646.3	3.2	23.6	9.9
19:00:00	18.6	88.0	1.3	92.3	13.1	753.2	3.4	25	7.0	

	20:00:00	18.1	91.5	1.7	59.2	21.5	668.1	2.8	21.6	7.4
	21:00:00	17.7	93.5	0.9	74.3	16.8	765.9	3.1	24.1	5.4
	22:00:00	17.6	93.5	0.8	101.0	13.2	871.7	3.4	27.3	1.9
	23:00:00	17.7	91.7	0.2	121.3	17.7	984.4	3.5	26.2	2.0
7/05/2018	00:00:00	18.5	83.9	0.5	147.6	30.7	903.9	3.5	25.2	2.9
	01:00:00	18.8	84.4	0.5	106.9	40.7	999.3	4.5	27.4	1.6
	02:00:00	18.9	80.2	0.3	78.7	26.2	635.9	3.4	25.8	4.3
	03:00:00	19.0	78.2	0.2	123.7	22.1	617.5	3.7	24.6	5.1
	04:00:00	17.9	88.4	1.2	110.4	22.3	596.8	4.1	27.4	0.9
	05:00:00	17.3	94.2	1.9	94.5	17.1	633.6	4.0	28	1.1
	06:00:00	17.4	91.2	0.6	155.4	21.2	1317.9	5.7	26.1	1.2
	07:00:00	17.7	90.7	0.3	223.2	31.6	1733.0	7.6	33.1	1.6
	08:00:00	19.5	89.3	0.7	262.3	27.4	1216.7	5.3	38	6.2
	09:00:00	21.8	78.6	1.3	245.6	38.4	1013.1	4.4	46.3	14.3
	10:00:00	23.0	73.7	1.3	256.9	42.7	757.8	4.2	40.1	19.6
	11:00:00	23.2	71.2	1.8	211.5	38.6	691.1	3.8	35.6	23.2
	12:00:00	22.6	73.8	2.9	195.5	31.4	600.3	3.8	29.6	24.2
	13:00:00	22.4	71.7	2.5	111.9	26.3	571.0	3.4	24.8	21.1
	14:00:00	21.4	78.4	2.0	74.3	13.1	541.6	3.9	24.8	20.2
	15:00:00	22.4	75.9	1.8	79.4	10.4	519.8	4.7	22.5	20.5
	16:00:00	21.6	78.0	1.8	88.1	19.8	563.5	3.3	26.1	16.9
	17:00:00	20.8	80.7	1.5	81.4	19.9	684.8	3.4	27.6	10.7
	18:00:00	18.9	85.8	1.3	78.0	20.0	745.5	3.4	28.4	7.6
	19:00:00	18.0	90.2	1.3	74.6	20.1	806.1	3.4	29.2	4.5
20:00:00	17.5	93.4	0.9	95.5	18.1	882.0	4.0	33.5	0.9	
21:00:00	17.5	92.7	0.8	108.2	21.0	872.8	4.2	33.9	1.0	
22:00:00	17.5	93.4	0.3	85.7	17.3	822.2	3.7	31.4	0.9	
23:00:00	17.6	94.0	0.1	75.5	17.0	726.8	3.4	30.2	0.7	
8/05/2018	00:00:00	17.6	93.8	0.4	67.2	19.1	667.0	3.4	30.1	0.8

	01:00:00	17.5	95.3	0.9	22.9	18.1	484.1	3.0	24.2	5.0
	02:00:00	17.2	98.2	0.9	33.0	9.8	489.9	2.9	25.3	5.3
	03:00:00	17.2	98.7	1.3	19.1	13.6	435.8	2.9	20.6	10.5
	04:00:00	17.2	99.1	0.1	23.0	13.6	432.4	3.0	21.1	9.9
	05:00:00	17.3	99.1	1.2	41.8	13.6	547.4	2.9	28.9	6.8
	06:00:00	17.4	96.8	0.4	48.1	22.2	660.1	3.2	35.9	3.3
	07:00:00	17.6	94.1	0.5	78.7	29.1	840.6	3.8	33.3	11.9
	08:00:00	18.6	89.7	1.0	54.3	30.7	739.4	3.5	31.6	22.5
	09:00:00	19.8	83.9	0.7	90.9	31.1	672.8	2.9	35.4	22.1
	10:00:00	21.2	77.4	1.0	101.5	25.9	576.1	3.9	32.1	34.7
	11:00:00	23.9	67.9	1.4	157.4	26.2	622.1	3.2	33.2	55.0
	12:00:00	26.2	60.7	1.4	132.8	26.8	611.8	3.3	29.3	45.5
	13:00:00	24.6	62.6	2.3	134.2	22.8	569.2	3.0	25.7	39.8
	14:00:00	25.7	60.8	2.1	118.2	12.7	596.8	2.9	26.1	33.5
	15:00:00	24.9	63.4	2.1	76.0	19.5	537.0	3.0	26	34.7
	16:00:00	24.9	62.8	1.3	135.1	22.8	626.8	3.3	30.6	22.5
	17:00:00	23.1	67.1	1.5	91.7	23.6	619.8	3.3	27.4	15.8
	18:00:00	21.6	71.3	1.7	92.0	19.2	771.6	3.1	29.8	11.4
	19:00:00	20.8	74.7	1.1	77.5	18.0	729.1	3.9	38.5	3.3
	20:00:00	20.7	75.1	1.2	99.1	14.7	762.4	3.8	39.5	1.4
	21:00:00	20.5	76.7	0.9	204.4	23.4	983.2	4.8	39.1	0.6
	22:00:00	19.3	89.9	1.1	88.4	22.7	778.5	4.5	35.9	1.6
	23:00:00	18.7	92.3	1.4	58.7	15.9	660.1	3.3	24	7.0
9/05/2018	00:00:00	18.5	94.4	1.1	58.9	10.3	540.5	3.8	25.4	3.9
	01:00:00	18.7	91.3	0.1	79.6	20.5	526.7	3.5	27.6	2.0
	02:00:00	18.7	93.1	1.3	145.9	28.4	470.3	3.1	26.9	1.4
	03:00:00	18.5	93.6	0.6	129.3	28.1	539.3	3.7	27.5	0.8
	04:00:00	18.6	93.4	0.6	76.7	33.3	756.7	3.5	26.3	1.0
	05:00:00	18.4	94.0	1.2	93.2	26.4	764.7	4.2	26.8	0.8

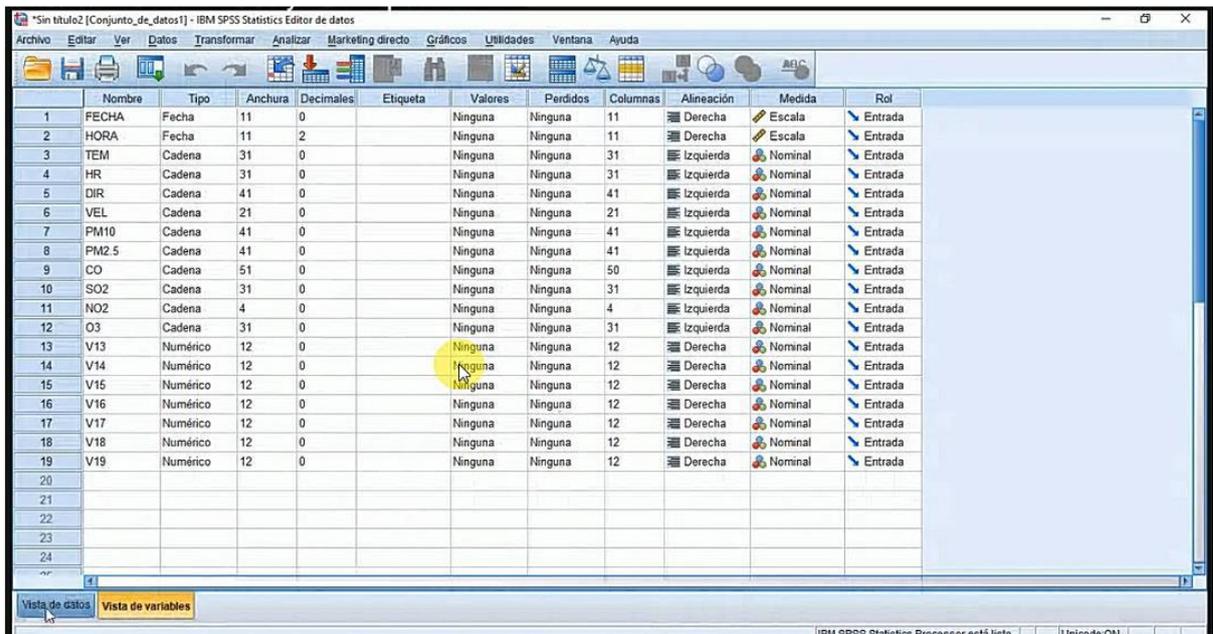
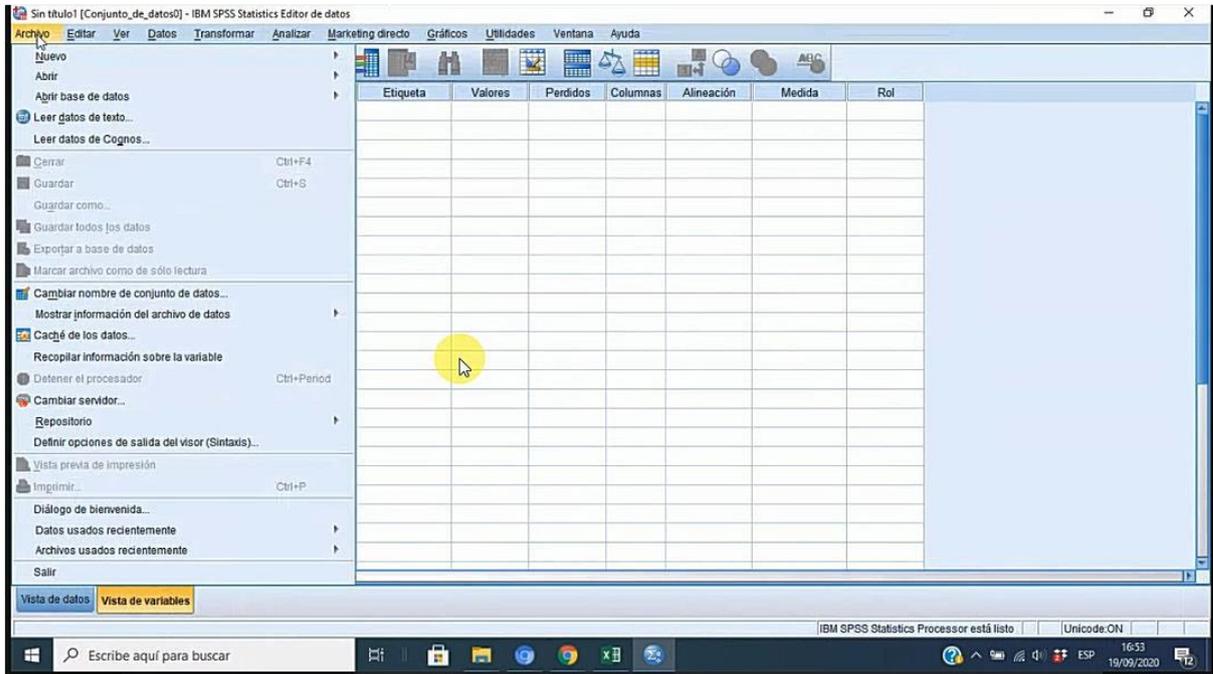
	06:00:00	18.5	91.5	0.2	154.1	33.0	1087.9	6.2	29.2	1.3
	07:00:00	18.7	91.5	1.0	198.5	36.1	1030.4	5.3	29.1	2.4
	08:00:00	20.4	85.0	0.7	102.9	34.7	775.1	4.0	31.5	10.6
	09:00:00	22.4	74.6	1.8	43.0	21.3	594.5	3.5	26.5	17.0
	10:00:00	22.9	72.9	2.4	59.8	15.9	509.4	3.4	24.9	20.3
	11:00:00	23.6	68.4	2.4	70.3	16.3	518.6	3.2	22.9	25.0
	12:00:00	25.3	62.5	1.4	114.5	21.1	606.0	3.3	27.8	27.7
	13:00:00	24.8	63.9	1.9	86.0	15.6	609.5	3.2	25.8	24.9
	14:00:00	24.2	65.3	2.4	62.0	13.2	543.9	2.9	22.6	26.5
	15:00:00	23.9	66.1	2.3	58.0	10.8	514.0	3.3	23	19.7
	16:00:00	23.6	66.8	2.2	47.6	12.0	509.4	3.1	22.9	14.5
	17:00:00	20.5	76.3	2.0	52.4	12.2	560.0	3.2	22.3	12.6
	18:00:00	20.8	71.8	2.5	97.7	12.4	663.5	3.5	27.8	10.0
	19:00:00	20.1	77.1	1.7	91.9	12.6	854.4	3.8	32.1	2.4
	20:00:00	19.5	78.7	1.7	129.7	18.5	878.6	4.4	34.5	1.0
	21:00:00	19.8	77.1	1.2	180.4	20.6	863.6	5.4	37	0.9
	22:00:00	18.9	84.9	1.4	101.9	14.4	793.5	4.4	32.5	0.8
	23:00:00	17.9	91.5	1.1	116.1	15.2	710.7	3.3	26.7	1.3
10/05/2018	00:00:00	17.7	92.7	1.8	158.8	19.2	611.8	3.4	25.8	0.6
	01:00:00	17.7	92.6	0.3	157.1	23.1	546.2	3.3	25.4	0.7
	02:00:00	17.4	96.1	1.4	115.6	24.6	458.8	3.2	25.5	0.7
	03:00:00	17.0	98.2	0.4	144.8	23.9	489.9	4.3	24.1	0.6
	04:00:00	17.1	96.6	0.6	72.2	26.6	537.0	3.4	24.9	0.8
	05:00:00	17.0	98.4	1.2	86.8	22.8	603.8	4.1	25.6	0.7
	06:00:00	16.8	98.4	1.3	231.5	25.3	786.6	5.7	26	0.9
	07:00:00	17.1	99.4	0.3	273.6	36.5	1396.1	6.3	30.4	1.9
	08:00:00	19.2	92.4	1.2	307.8	56.5	1764.1	6.7	53.3	4.3
	09:00:00	21.7	80.2	1.6	297.2	59.1	1219.0	5.7	48.3	7.7
	10:00:00	21.1	82.3	2.0	219.5	54.2	901.6	4.6	42.5	14.0

	11:00:00	22.2	74.9	1.8	179.5	40.1	816.5	5.8	44	21.7
	12:00:00	22.1	74.9	1.3	75.5	25.3	534.8	8.3	29	28.2
	13:00:00	23.4	62.0	1.1	120.8	10.3	614.1	4.3	29.8	32.0
	14:00:00	25.2	63.0	1.3	72.9	18.3	538.2	7.1	29.3	30.4
	15:00:00	25.4	62.7	1.4	80.2	12.7	532.4	14.7	29.3	22.3
	16:00:00	25.5	62.4	1.6	133.9	14.6	690.0	6.7	30.9	12.8
	17:00:00	22.6	72.0	1.3	211.5	27.9	832.6	5.6	32.7	3.3
	18:00:00	19.7	81.6	1.0	236.3	32.8	868.2	6.2	34.3	0.7
	19:00:00	18.3	89.3	1.3	170.1	29.9	989.0	7.9	46.6	0.9
	20:00:00	18.1	89.8	1.6	203.9	34.0	990.1	7.3	44.5	0.6
	21:00:00	19.1	82.9	1.3	208.3	31.3	1252.3	7.0	35.8	1.3
	22:00:00	18.0	90.4	1.1	249.8	40.3	1029.2	8.6	43.7	1.0
	23:00:00	17.2	94.9	0.8	235.4	42.1	983.2	7.4	37.7	1.0
11/05/2018	00:00:00	16.9	95.5	0.1	145.9	33.3	1059.1	5.9	29.9	1.5
	01:00:00	17.0	97.0	0.7	93.0	29.8	842.9	4.7	28.9	1.3
	02:00:00	16.9	98.8	0.4	49.9	24.8	669.3	4.7	28.3	0.6
	03:00:00	16.8	99.6	0.0	37.1	16.2	649.8	4.2	28	0.4
	04:00:00	16.7	99.6	0.1	46.6	19.5	731.4	4.6	26	1.2
	05:00:00	16.7	99.6	0.3	57.7	22.4	786.6	4.4	26.6	1.1
	06:00:00	16.8	99.6	0.8	82.4	21.0	926.9	5.1	27	1.4
	07:00:00	16.7	99.6	1.2	151.4	25.7	1139.6	5.5	29.5	1.9
	08:00:00	17.3	99.6	0.4	173.0	36.4	1382.3	6.4	36.5	2.3
	09:00:00	17.7	97.6	1.2	219.1	72.6	1262.7	7.2	44.2	3.8
	10:00:00	18.8	93.8	1.2	173.3	75.1	1036.1	7.2	42.9	6.9
	11:00:00	20.6	85.0	1.0	183.0	67.9	1127.0	7.4	60.2	16.9
	12:00:00	22.6	74.2	1.6	211.3	61.9	944.1	6.4	54.5	31.7
	13:00:00	23.2	69.5	1.7	150.9	43.7	824.5	5.5	46.1	37.0
	14:00:00	24.1	67.3	2.1	153.3	32.5	727.9	5.2	40.3	29.6
15:00:00	23.1	70.8	2.3	170.5	28.7	701.5	4.9	38.1	21.9	

	16:00:00	21.2	78.2	2.5	183.7	23.2	653.2	4.4	33	10.3
	17:00:00	19.5	84.3	1.9	205.5	28.0	841.8	4.7	37.1	2.4
	18:00:00	17.8	90.4	1.3	280.7	33.6	1117.8	5.3	38.3	1.2
	19:00:00	18.1	87.9	0.7	244.7	48.2	1327.1	6.2	37.1	2.1
	20:00:00	17.7	91.4	0.8	191.6	41.4	1171.8	5.9	33	1.0
	21:00:00	17.1	94.7	1.0	146.7	26.6	962.5	5.8	33.3	1.3
	22:00:00	17.0	95.7	0.9	169.4	23.0	905.0	4.3	32.9	1.0
	23:00:00	16.9	96.0	1.0	59.2	11.8	777.4	3.9	34	1.0
12/05/2018	00:00:00	16.9	96.6	0.4	51.6	12.1	669.3	3.6	34.4	0.9
	01:00:00	16.8	97.3	1.1	35.9	16.3	566.9	3.5	30.9	2.5
	02:00:00	16.6	98.5	0.8	26.1	12.2	496.8	3.3	28.4	5.1
	03:00:00	16.5	99.5	0.3	19.7	7.2	415.1	3.1	22.2	11.2
	04:00:00	16.1	99.6	1.4	13.3	7.8	427.8	3.1	23	11.8
	05:00:00	16.1	99.6	0.2	16.4	8.2	494.5	3.1	24.5	11.1
	06:00:00	15.9	99.6	0.4	17.7	8.5	499.1	3.2	26.8	9.2
	07:00:00	15.8	99.6	0.6	50.0	10.4	583.0	3.4	30.5	6.3
	08:00:00	15.9	99.6	1.0	77.5	12.3	742.9	3.8	32.1	4.3
	09:00:00	16.3	99.6	0.9	71.7	15.1	819.9	4.6	35.6	4.7
	10:00:00	16.8	98.0	0.9	99.7	22.4	851.0	4.6	41	9.1
	11:00:00	18.9	88.2	1.2	151.5	25.3	869.4	4.0	44.6	16.5
	12:00:00	21.0	78.5	1.5	193.9	28.4	801.5	3.8	44.3	24.3
	13:00:00	21.9	73.8	1.6	162.7	34.3	733.7	3.5	42	34.3
	14:00:00	22.8	71.9	1.7	181.3	32.3	796.9	3.6	41.7	43.4
	15:00:00	21.5	75.1	1.9	173.9	37.5	756.7	3.6	39	39.1
	16:00:00	21.3	73.5	1.8	205.1	38.4	849.8	3.8	45.7	28.2
	17:00:00	19.1	85.3	1.5	141.9	47.0	940.7	5.3	45.7	17.4
18:00:00	17.5	91.9	2.3	161.4	38.6	992.4	7.0	48.6	5.3	
19:00:00	17.1	93.4	1.4	149.1	42.7	1109.8	4.8	51.2	3.3	
20:00:00	17.1	92.8	0.8	181.4	43.3	1150.0	4.8	50.5	2.5	

13/05/201 8	21:00:0 0	17.2	92.7	1.1	164.9	46.6	1131.6	4.5	45.2	1.3
	22:00:0 0	16.9	94.8	0.7	172.8	47.7	1151.1	5.5	46.2	1.7
	23:00:0 0	16.7	94.8	0.5	195.7	50.0	955.6	5.1	43	1.1
	00:00:0 0	16.5	96.5	0.7	250.2	54.2	908.5	5.0	39.4	1.7
	01:00:0 0	16.5	97.5	0.6	292.1	69.4	732.5	5.7	37.9	1.4
	02:00:0 0	16.3	98.7	0.8	243.3	70.9	698.0	6.0	36.5	0.8
	03:00:0 0	16.4	98.3	0.4	230.0	67.0	637.1	5.5	35.7	0.9
	04:00:0 0	16.4	98.1	0.7	111.2	68.3	654.3	5.2	32.4	3.5
	05:00:0 0	16.0	99.6	0.2	108.3	44.7	612.9	6.5	32.6	3.0
	06:00:0 0	16.0	99.6	0.2	162.5	47.5	821.1	8.6	35.1	1.3
	07:00:0 0	16.2	99.6	1.1	175.5	45.9	1013.1	6.5	35.2	2.9
	08:00:0 0	16.7	99.6	0.9	157.1	51.9	841.8	5.4	34.7	5.2
	09:00:0 0	16.5	99.4	1.0	112.8	54.3	761.3	5.7	33.5	6.6
	10:00:0 0	16.6	99.1	0.7	73.2	45.8	773.9	4.5	30	11.3
	11:00:0 0	16.6	99.6	0.7	85.4	28.9	793.5	4.0	33.1	15.7
	12:00:0 0	17.6	92.8	1.0	131.4	40.9	917.7	4.2	40.1	23.6
	13:00:0 0	20.1	80.8	2.1	120.2	36.3	876.3	4.2	37.6	29.9
	14:00:0 0	20.2	81.4	1.9	77.2	26.0	733.7	3.7	28	23.5
	15:00:0 0	18.0	89.9	1.6	112.6	28.0	753.2	3.5	25.5	16.1
	16:00:0 0	17.5	89.3	0.7	85.9	23.8	588.8	3.3	24.8	15.4
	17:00:0 0	18.3	84.4	0.5	109.5	19.8	761.3	6.0	31.2	5.9
	18:00:0 0	17.7	86.4	1.1	161.6	19.9	1055.7	4.6	32.1	1.1
	19:00:0 0	16.7	92.0	0.6	122.9	21.8	1290.3	4.6	33.1	1.7
	20:00:0 0	16.3	92.9	0.3	147.3	26.3	1524.9	5.5	31.4	2.0
21:00:0 0	16.3	92.5	0.3	160.2	30.5	1193.7	4.7	29.1	2.0	
22:00:0 0	16.3	94.1	1.1	121.9	28.0	959.1	4.9	27.9	2.1	
23:00:0 0	16.0	96.5	1.5	131.4	21.2	991.3	4.1	26.9	1.5	

ANEXO 03: Análisis de datos en SPSS 23.



met.Conta.sav [Conjunto_de_datos1] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

1: FECHA 01-May-2018 Visible: 19 de 19 variables

	FECHA	HORA	TEM	HR	DIR	VEL	PM10	PM2.5	CO	SO2	NO2	O3
1	01-May-2018	0:00:00.00	17,5	93,9	96	1,1	193,4	18,4	648,6	3,7	31,5	
2	01-May-2018	1:00:00.00	18,2					21,8	739,4	4,0	28,3	
3	01-May-2018	2:00:00.00	19,0					22,7	654,3	3,9	28,5	
4	01-May-2018	3:00:00.00	18,8					30,3	671,6	4,6	29,5	
5	01-May-2018	4:00:00.00	17,6					25,2	565,8	3,9	28,3	
6	01-May-2018	5:00:00.00	17,3					42,4	576,1	4,6	27,6	
7	01-May-2018	6:00:00.00	17,2					24,9	710,7	4,3	28,2	
8	01-May-2018	7:00:00.00	17,4					21,0	976,3	4,8	33,7	
9	01-May-2018	8:00:00.00	19,5					34,8	961,4	5,0	44,0	
10	01-May-2018	9:00:00.00	21,4					38,5	856,7	4,5	48,3	
11	01-May-2018	10:00:00.00	22,6					43,8	626,8	3,8	34,0	
12	01-May-2018	11:00:00.00	22,7					33,6	657,8	3,7	31,4	
13	01-May-2018	12:00:00.00	22,2					34,6	715,3	3,7	32,5	
14	01-May-2018	13:00:00.00	24,0					31,0	614,1	3,4	25,7	
15	01-May-2018	14:00:00.00	23,3					25,4	601,4	3,3	24,2	
16	01-May-2018	15:00:00.00	23,2					20,0	655,5	3,3	25,1	
17	01-May-2018	16:00:00.00	22,1					25,8	661,2	3,4	29,9	
18	01-May-2018	17:00:00.00	21,0					26,2	698,0	3,2	29,5	
19	01-May-2018	18:00:00.00	18,8					18,0	702,6	3,3	30,8	
20	01-May-2018	19:00:00.00	18,6	84,5	71	4	219,9	16,5	990,1	3,8	35,7	
21	01-May-2018	20:00:00.00	18,7	84,2	229	6	218,9	21,5	1163,8	4,1	36,1	
22	01-May-2018	21:00:00.00	18,4	86,3	208	9	111,7	25,5	763,6	3,5	32,1	
23	01-May-2018	22:00:00.00	17,3	91,9	217	1,0	68,0	13,0	546,2	2,9	28,6	

Correlaciones bivariadas

Variables:

Coefficientes de correlación: Pearson Tau-b de Kendall Spearman

Prueba de significación: Bilateral Unilateral

Marcar las correlaciones significativas

Aceptar Pegar Restablecer Cancelar Ayuda

Vista de datos Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode ON

*Resultado1 [Documento1] - IBM SPSS Statistics Visor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

Resultado

- Logaritmo
- Correlaciones
- Títulos
- Notas
- Conjunto de datos:
 - Correlaciones

	N	HR	DIR	VEL	PM10	PM2.5	CO	SO2	NO2	O3
HR	310									
Correlación de Pearson		-.953**								
Sig. (bilateral)		.000								
N	310	310								
DIR										
Correlación de Pearson		.342*	-.295**							
Sig. (bilateral)		.000	.000							
N		296	296							
VEL										
Correlación de Pearson		.656**	-.611**	.616**						
Sig. (bilateral)		.000	.000	.000						
N		296	296	296						
PM10										
Correlación de Pearson		.167**	-.228**	.092	.049					
Sig. (bilateral)		.003	.000	.114	.402					
N		310	310	296	296					
PM2.5										
Correlación de Pearson		.023	-.046	.135	.005	.681**				
Sig. (bilateral)		.561	.418	.020	.934	.000				
N		310	310	296	296	312				
CO										
Correlación de Pearson		-.166*	.107	-.138*	-.293**	.672**	.521**	1		
Sig. (bilateral)		.001	.000	.018	.000	.000	.000	.000		
N		310	310	296	296	312	312	312		
SO2										
Correlación de Pearson		-.045	.042	-.059	-.150**	.501**	.444**	.591**	1	
Sig. (bilateral)		.428	.457	.235	.007	.000	.000	.000	.000	
N		310	310	296	296	312	312	312	312	
NO2										
Correlación de Pearson		.066	-.145*	.104	-.026	.891**	.624**	.661**	.416**	1
Sig. (bilateral)		.348	.011	.075	.850	.000	.000	.000	.000	.000
N		310	310	296	296	312	312	312	312	312
O3										
Correlación de Pearson		.739**	-.684**	.419**	-.593**	.044	.113*	-.271**	-.184**	.045
Sig. (bilateral)		.000	.000	.000	.000	.435	.046	.000	.001	.433
N		310	310	296	296	312	312	312	312	312

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode ON