

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE  
RECURSOS NATURALES  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE  
RECURSOS NATURALES



“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PARTICULAS EN  
SUSPENSIÓN  $PM_{10}$  EN RELACIÓN AL VIENTO Y LA  
TEMPERATURA DEL AIRE EN LA ZONA SUR DEL  
CERCADO DEL CALLAO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

ALISON ESPINOZA GOMEZ  
SHIRLEY KEY TITO MEZA

ASESOR:

MG. TEÓFILO ALLENDE CCAHUANA

Callao, 2019  
PERÚ

## **DEDICATORIA**

Dedicado a nuestras familias quienes nos brindaron  
su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra querida alma máter, la Universidad Nacional del Callao.

A nuestro asesor, el Mg. Teófilo Allende Ccahuana, por su apoyo y orientación, para que se consolide la presente tesis.

Por último agradecer a nuestros profesores, que a lo largo de nuestra carrera profesional contribuyeron con nuestro desarrollo profesional.

## INDICE

INDICE DE TABLAS .....	3
INDICE DE FIGURAS .....	4
RESUMEN .....	5
ABSTRACT .....	6
I.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
1.1.Descripción de la realidad problemática .....	7
1.2.Formulación del problema.....	8
1.2.1.Problema general .....	8
1.2.2.Problemas específicos .....	8
1.3.Objetivos .....	9
1.3.1.Objetivo general .....	9
1.3.2.Objetivos específicos .....	9
1.4.Limitantes de la investigación .....	9
1.4.1.Datos de la información recopilada .....	9
1.4.2.Espacial.....	9
1.5.Justificación de la investigación .....	9
1.5.1.Legal .....	9
1.5.2.Teórica .....	10
1.5.3.Tecnológica.....	11
1.5.4.Económica .....	11
1.6.Importancia .....	11
II.MARCO TEÓRICO .....	13
2.1.Antecedentes .....	13
2.1.1.Antecedentes internacionales .....	13
2.1.2.Antecedentes nacionales .....	14
2.2.Base teórica - Conceptual.....	15
2.2.1.Meteorología y climatología .....	15
2.2.2.Contaminación atmosférica.....	25
2.2.3.Material particulado.....	26
2.2.4.Método de medición de la calidad del aire .....	28
2.2.5.Número de estaciones de monitoreo de calidad de aire .....	30
2.2.6.Estándares de calidad ambiental .....	31
2.3.Definiciones de términos básicos.....	32
III.HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	36
3.1.Hipótesis .....	36
3.1.1.Hipótesis general .....	36
3.2.Definición conceptual de variables.....	36
3.3.Operacionalización de variables .....	37
IV.DISEÑO METODOLÓGICO .....	38

4.1.Tipo y diseño de investigación .....	38
4.1.1.Elección de las estaciones .....	38
4.1.2.Localización de las estaciones de monitoreo .....	39
4.1.3.Distribución espacial de partículas en suspensión PM10.....	40
4.1.4.Frecuencia de los datos .....	40
4.1.5.Análisis de datos de las estaciones de muestreo.....	40
4.2.Método de investigación.....	40
4.3.Población y muestra.....	41
4.4.Lugar de estudio .....	41
4.5.Técnicas e instrumentos para la recolección de la información .....	43
4.6.Análisis y procesamiento de datos.....	44
V.RESULTADOS .....	51
5.1.Resultados descriptivos .....	51
5.1.1.Comportamiento diario de partículas en suspensión PM10 .....	51
5.1.2.Comportamiento anual de partículas en suspensión PM10 .....	54
5.2.Resultados inferenciales .....	55
5.2.1.Comportamiento de las variables meteorológicas.....	55
5.2.2.Comportamiento de partículas en suspensión PM10 en relación a las variables meteorológicas.....	55
5.2.3.Distribución Espacial de las partículas en suspensión PM10.....	59
VI.DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	66
6.1.Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados .....	66
6.2.Contrastación de los resultados con otros estudios similares .....	70
6.3.Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes.....	71
CONCLUSIONES .....	72
RECOMENDACIONES .....	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
ANEXOS .....	80
ANEXO N° 1 .....	81
ANEXO N° 2 .....	83
ANEXO N° 3 .....	92
ANEXO N° 4 .....	95

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala beaufort de intensidades de viento.....	22
Tabla 2. Criterios de apreciación de la intensidad del viento en la escala Beaufort .....	22
Tabla 3. Número aproximado de estaciones de monitoreo de aire para PM10	30
Tabla 4. Recomendaciones de número mínimo de estaciones.....	30
Tabla 5. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire .....	31
Tabla 6. Conceptualización de las variables .....	36
Tabla 7. Operacionalización de las variables.....	37
Tabla 8. Localización de las estaciones de monitoreo .....	38
Tabla 9. Uso actual de suelos en la zona sur del Cercado del Callao .....	42
Tabla 10. Prueba de normalidad para E-02 .....	45
Tabla 11. Prueba de normalidad para E-03 .....	46
Tabla 12. Prueba de normalidad para E-04 .....	46
Tabla 13. Prueba de normalidad para E-04A.....	47
Tabla 14. Prueba de normalidad para E-07 .....	47
Tabla 15. Prueba de normalidad para la variable temperatura .....	48
Tabla 16. Prueba de normalidad para la variable velocidad del viento .....	49
Tabla 17. Grado de relación según coeficiente de correlación .....	50
Tabla 18. Concentración media trimestral de PM10 .....	59
Tabla 19. Correlación rho de Spearman – Estación E-02.....	66
Tabla 20. Correlación rho de Spearman – Estación E-03.....	67
Tabla 21. Correlación rho de Spearman – Estación E-04.....	68
Tabla 22. Correlación rho de Spearman – Estación E-04A.....	68
Tabla 23. Correlación rho de Spearman – Estación E-07.....	69

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura vertical de la atmósfera en función de la variación de temperatura y presión .....	16
Figura 2. Inversión térmica.....	19
Figura 3. El gradiente de presión y el viento .....	20
Figura 4. Desplazamiento de las masas de aire por acción del gradiente de presión .....	21
Figura 5. La rosa de los vientos .....	21
Figura 6. Brisas de mar y de tierra .....	24
Figura 7. Muestreador HI-VOL PM10.....	29
Figura 8. Localización de las estaciones de monitoreo.....	39
Figura 9. Distribución de áreas de uso actual de suelos de la zona sur del Cercado del Callao.....	42
Figura 10. Histograma y gráfico de distribución normal para E-02 .....	45
Figura 11. Histograma y gráfico de distribución normal para E-03.....	46
Figura 12. Histograma y gráfico de distribución normal para E-04 .....	46
Figura 13. Histograma y gráfico de distribución normal para E-04A .....	47
Figura 14. Histograma y gráfico de distribución normal para E-07 .....	48
Figura 15. Histograma y gráfico de distribución normal para la variable temperatura.....	48
Figura 16. Histograma y gráfico de distribución normal para la variable velocidad del viento.....	49
Figura 17. Valores diarios PM10 – Año 2017 para la estación E-02.....	51
Figura 18. Valores diarios PM10 – Año 2017 para la estación E-03.....	52
Figura 19. Valores diarios PM10 – Año 2017 para la estación E-04.....	52
Figura 20. Valores diarios PM10 – Año 2017 para la estación E-04A.....	53
Figura 21. Valores diarios PM10 – Año 2017 para la estación E-07.....	53
Figura 22. Valor promedio anual para todas las estaciones .....	55
Figura 23. Temperatura vs velocidad del viento.....	56
Figura 24. Variación mensual del PM10 vs temperatura del aire .....	57
Figura 25. Variación mensual del PM10 vs velocidad del viento.....	58
Figura 26. Distribución espacial de las partículas en suspensión PM10 – I Trimestre 2017 .....	60
Figura 27. Distribución espacial de las partículas en suspensión PM10 – II Trimestre 2017 .....	61
Figura 28. Distribución espacial de las partículas en suspensión PM10 – III Trimestre 2017 .....	62
Figura 29. Distribución espacial de las partículas en suspensión PM10 – IV Trimestre 2017 .....	63

## RESUMEN

En el Perú, uno de los principales problemas ambientales es la contaminación del aire, y, específicamente, en el distrito del Callao, las principales causas que evidencian este problema son las emisiones atmosféricas generadas por el tránsito vehicular y actividades industriales, ante ello, el objetivo de la presente Tesis, es evaluar la distribución espacial de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  y analizar cómo influyen las variables meteorológicas (viento y temperatura del aire) en dicha distribución.

Para evaluar la distribución espacial de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  en relación a las variables meteorológicas, se utilizó el programa estadístico IBM SPSS, con el cual se realizó la Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov obteniéndose como resultado que la muestra no posee una distribución normal, en consecuencia, se realizó la Prueba No Paramétrica Rho de Spearman.

Como resultado del análisis, se obtuvo un grado de correlación negativa débil a media en las estaciones E-02, E-03, E-04 y E-07, lo cual indica un comportamiento inverso entre las variables meteorológicas y  $PM_{10}$ , con un nivel de significancia menor a 0.05 ( $p < 0.05$ ), lo que da confiabilidad a dichos resultados, sin embargo, la estación E-04A presenta un nivel de significancia mayor a 0.05 ( $p > 0.05$ ), con esto podemos afirmar que en dicha estación no existe correlación entre las variables meteorológicas y el  $PM_{10}$ . Cabe precisar, que la estación E-04A, presenta altas concentraciones de  $PM_{10}$ , debido a la presencia de fuentes móviles (tránsito de vehículos menores y camiones, recorrido diario del tren que transporta minerales) y fuentes fijas (metalmecánicas y almacenes de concentrados de mineral e hidrocarburos).



## ABSTRACT

In Peru, one of the main environmental problems is air pollution, and, specifically, in the district of Callao, the main causes that demonstrate this problem are the atmospheric emissions generated by vehicular traffic and industrial activities, in view of this, the objective of this Thesis is to evaluate the spatial distribution of PM10 suspended particles and analyze how meteorological variables (wind and air temperature) influence said distribution.

To evaluate the spatial distribution of PM10 suspended particles in relation to the meteorological variables, the statistical program IBM SPSS was used, with which the Kolmogorov-Smirnov Normality Test was performed, obtaining as a result that the sample does not have a normal distribution, consequently, the Spearman Rho Non-Parametric Test was performed.

As a result of the analysis, a degree of weak to medium negative correlation was obtained at stations E-02, E-03, E-04 and E-07, which indicates an inverse behavior between the meteorological variables and PM10, with a level of significance less than 0.05 ( $\rho < 0.05$ ), which gives reliability to these results, however, station E-04A has a level of significance greater than 0.05 ( $\rho > 0.05$ ), with this we can affirm that in said station no There is a correlation between the meteorological variables and the PM10. It should be noted that the E-04A station has high concentrations of PM10, due to the presence of mobile sources (transit of smaller vehicles and trucks, daily route of the train that transports minerals) and fixed sources (metalworking and warehouses of mineral concentrates and hydrocarbons).

# **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción de la realidad problemática**

La contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales del Perú. Asimismo, las principales causas de este problema en Lima y Callao son el deficiente sistema de transporte urbano con un parque automotor antiguo, la mala organización de rutas y la sobreoferta de taxis, situando al parque automotor como la mayor fuente de contaminación del aire en el país. (Informe Nacional del Estado del Ambiente 2013-2014, 2016).

Asimismo, en el desarrollo de las actividades industriales se generan emisiones atmosféricas que pueden afectar potencialmente la calidad del aire.

Es una incertidumbre la interacción de las variables meteorológicas con los factores que influyen en la concentración del material particulado. Según el Boletín Mensual de Vigilancia de la Calidad del Aire Lima Metropolitana del SENAMHI (2017), la concentración de material particulado menor a 10 micrómetros obedece a la influencia de la intensidad del tráfico vehicular, emisiones de procesos industriales y actividad comercial, que al interactuar con las condiciones meteorológicas determinan el comportamiento de las concentraciones de las partículas en la atmósfera. La distribución de los contaminantes sobre el distrito del Callao, se debe a los vientos del sur y suroeste que van dispersando los contaminantes desde el mar hacia el continente; además a la inversión térmica que dificulta la dispersión de los contaminantes hacia la atmósfera superior (Municipalidad Provincial del Callao, 2010).

Las ciudades han destacado tradicionalmente por un microclima caracterizado por temperaturas en el centro de las mismas, sensiblemente superiores a las del medio natural próximo a ellas. Este contraste térmico es denominado “islas de calor” y las causas más frecuentes que la originan son: el aporte adicional

de calor por calefacciones, por tráfico vehicular, emisiones industriales, respiración humana, etc. (Pérez, 2003). La urbanización incide de manera directa en el aumento de las temperaturas y en la generación de las denominadas islas de calor urbano (Opazo, 2011).

La Dirección General de Salud (DIGESA), realiza monitoreos de calidad de aire en el área Metropolitana de Lima y Callao, presenta los valores anuales en informes de Estudios de Saturación, sin embargo, estos informes no son utilizados como herramientas, ni considerados en los Planes de Desarrollo Urbano.

La presente investigación tiene por objetivo determinar la distribución espacial de partículas en suspensión  $PM_{10}$  en relación a las variables meteorológicas (viento y temperatura); los valores de las concentraciones de  $PM_{10}$  fueron registradas en el Cercado del Callao para el año 2017, los resultados proporcionarán antecedentes que pueden servir como herramienta para la planificación territorial – ambiental.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo se distribuyen las partículas en suspensión  $PM_{10}$  en relación al viento y la temperatura del aire en la Zona Sur – Cercado del Callao para el año 2017?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuál es la concentración de partículas en suspensión  $PM_{10}$  en relación al viento?
- b. ¿Cuál es la concentración de partículas en suspensión  $PM_{10}$  en relación a la temperatura del aire?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar la distribución espacial de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  en relación al viento y la temperatura del aire en la Zona Sur – Cercado del Callao para el año 2017.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Evaluar la concentración de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  en relación al viento.
- b. Evaluar la concentración de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  en relación a la temperatura del aire.

### **1.4. Limitantes de la investigación**

#### **1.4.1. Datos de la información recopilada**

Los datos procesados en la presente investigación tienen una frecuencia interdiaria para el año 2017, considerándose 122 datos de monitoreo en cada estación. Sin embargo, tomado como referencia los antecedentes, estudios similares realizan un análisis más preciso, debido a que la información contenida en dichos estudios considera una frecuencia de monitoreo horario, para un determinado periodo de tiempo.

#### **1.4.2. Espacial**

Dificultad en la accesibilidad a la zona de estudio, debido a que dicha zona presenta notoria incidencia delictiva, lo que impidió realizar monitores ambientales por los autores de la presente investigación.

### **1.5. Justificación de la investigación**

#### **1.5.1. Legal**

La Constitución Política del Perú de 1993, establece en el Art. 2; que las personas tienen derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida, por ello es importante identificar las áreas de mayor contaminación y generar planes de acción a partir de la información generada.

La Ley general del Ambiente, Ley N° 28611 estipula en el artículo 118°; que son las autoridades quienes adoptan medidas para la prevención, vigilancia y control ambiental y epidemiológico, con la finalidad de asegurar la conservación, mejoramiento y recuperación de la calidad del aire; asimismo el artículo 113° de la citada Ley indica, que toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente.

La normativa peruana referida a la calidad del aire, a través del D.S. N° 003-2017-MINAM (Estándares de Calidad Ambiental para Aire), y el reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire mediante D.S. N°074-2001-PCM, exigen el cumplimiento de los niveles de concentración máxima de los contaminantes del aire.

### **1.5.2. Teórica**

La calidad del aire en el área Metropolitana de Lima y Callao en los últimos años se ha visto afectada por el crecimiento explosivo del parque automotor, la falta de supervisión de la aplicación de planes urbanos, inadecuada ubicación de industrias y comercio, resultando como consecuencia el aumento de emisiones de contaminantes atmosféricos, especialmente el  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  (PISA, 2010).

La asociación que existe entre las variables meteorológicas (temperatura y viento), con una variable de calidad del aire  $PM_{10}$ , permite analizar los resultados en los informes de monitoreo; además permite conocer cómo estas

variables meteorológicas contribuyen a las concentraciones de  $PM_{10}$  (Sierra, 2006).

Esta investigación servirá como marco teórico para la evaluación de material particulado en suspensión, en relación al viento y la temperatura.

### **1.5.3. Tecnológica**

El modelamiento espacial con el software ArcGIS y la herramienta Kriging, nos permite visualizar los contaminantes y su dispersión, previa recolección de datos, a través de ella se brinda la información necesaria para la toma de decisiones.

### **1.5.4. Económica**

La presente investigación utiliza procesos metodológicos y procedimientos poco onerosos que permiten demostrar la distribución de material particulado en suspensión en relación al viento y temperatura del aire.

## **1.6. Importancia**

La investigación surge debido a la incertidumbre de la interacción de las variables meteorológicas con la distribución de material particulado en un área de estudio ubicada en la zona sur del cercado del Callao, determinada por factores antropogénicos (emisiones industriales, intensidad del tráfico vehicular, parque automotor) y naturales (vientos locales, inversión térmica, otros).

Es por ello, que el presente trabajo de investigación, muestra los resultados de la interacción de las variables meteorológicas (viento y temperatura del aire) con el material particulado  $PM_{10}$ , lo que permitirá servir como herramienta de planificación territorial-ambiental, la cual involucra la toma de decisiones

concertadas de los actores sociales, económicos, políticos y técnicos, para la ocupación ordenada y el aprovechamiento sostenible del territorio.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

En el estudio realizado por Opazo (2011). Donde su principal objetivo es establecer el grado de correlación espacial entre la distribución de las temperaturas atmosféricas, de los vientos superficiales y de los niveles de concentración del material particulado en Santiago de Chile, la metodología se basó en la utilización del ArcGis 9.3 y la herramienta Kriging ordinario para la digitalización de datos de temperatura y material particulado obtenidas de la Red MACAM. El estudio concluye en que la contaminación del aire en Santiago por material particulado se concentra principalmente en los meses de otoño e invierno. Por otro lado; se encontró que existe una relación directa de la distribución espacial de las temperaturas del aire con la distribución de la contaminación por material particulado en los días de máxima contaminación, de tal forma que los lugares que registran las temperaturas más elevadas concentran a su vez los mayores niveles de contaminación.

En el estudio presentado por Bayas (2017), cuyo objetivo es implementar un modelo de distribución espacial y multitemporal del material particulado en los campos universitarios de la UNACH, utilizo como metodología el modelo de interpolación Kriging para determinar la dispersión del material particulado, se obtuvieron datos de tres puntos de monitoreo para el periodo de mayo-junio del año 2016, donde además de realizar la caracterización del material particulado, se realizó un barrido de metales en los filtros. La duración del monitoreo fue de 28 días. El estudio concluye en que la mayor cantidad de material particulado sedimentable se presentó entre las siete de la mañana y nueve de la noche, horario donde existe mayor tránsito de vehículos y personas. Además, los principales elementos que se encontraron en las muestras son: Si, Al, Na, Ca, K, Fe, Ti y Mg.



En el artículo científico presentado por Li (2017). Analizó la relación de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  con diferentes parámetros meteorológicos en 11 estaciones de monitoreo entre los años 2014 y 2015, las concentraciones de  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$  oscilaron entre 31.7 a 145.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 57.4 a 179.4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente. Hubo relaciones positivas entre las concentraciones de material particulado y la temperatura del aire en primavera y verano, pero no en otoño e invierno. Las relaciones entre las concentraciones de material particulado y los parámetros meteorológicos difirieron entre temporadas y años.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En el estudio presentado por Herrera (2011), cuyo objetivo es determinar el material particulado en suspensión en atmosfera de la población de Segunda Jerusalén en donde se aplicó la metodología basada en el Protocolo de Monitoreo de calidad de aire y emisiones del subsector minería de la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Energía y Minas del Perú. También se ha tenido en cuenta el reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del aire. Asimismo, se utilizaron los parámetros de monitoreo ambientales y meteorológicos tales como: temperatura ambiental, precipitación, dirección y velocidad del viento. Concluye que la concentración máxima de partículas  $PM_{10}$  en las épocas de invierno y verano es de 19.20  $\text{mg}/\text{m}^3$  y 25.59 $\text{mg}/\text{m}^3$  y la concentración mínima es de 3.48  $\text{mg}/\text{m}^3$  y 4.44 $\text{mg}/\text{m}^3$  respectivamente. Con respecto a la dirección del viento influye de manera poco favorable en las épocas de verano e invierno.

En el artículo escrito por Pacsi (2016). Donde el objetivo del estudio es determinar el análisis temporal y espacial de la calidad del aire por  $PM_{10}$  Y  $PM_{2.5}$  en Lima Metropolitana; utilizó una base de datos con promedios horarios de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , proporcionados por dos instituciones; la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). En la metodología se utilizó el programa estadístico MINITAB TM versión 11.0 con el fin de obtener los parámetros estadísticos descriptivos de

los datos. Se concluyó que durante el otoño en las zonas sur y este de Lima se registran los mayores valores de  $PM_{10}$  y los mínimos valores en el Callao. En todas las estaciones de monitoreo para  $PM_{10}$  a excepción del Callao, se superan significativamente los valores límites de los Estándares de Calidad Ambiental.

En el trabajo de investigación presentado por Vásquez (2018), el objetivo de investigación fue determinar la relación existente entre las variables meteorológicas y la contaminación atmosférica en el Centro poblado de Champamarca para el año 2018, se utilizó el método estadístico Rho de Spearman para hallar la correlación existente entre las variables antes mencionadas. Los resultados de la investigación fueron que existe una relación inversa entre los factores climatológicos y la contaminación atmosférica.

## **2.2. Base teórica - Conceptual**

### **2.2.1. Meteorología y climatología**

La meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar. El estudio de la atmósfera está basado en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la presión atmosférica, la humedad o la temperatura, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo (Rodríguez, Benito, & Portela, 2004).

La climatología es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo (Editex, 2015).

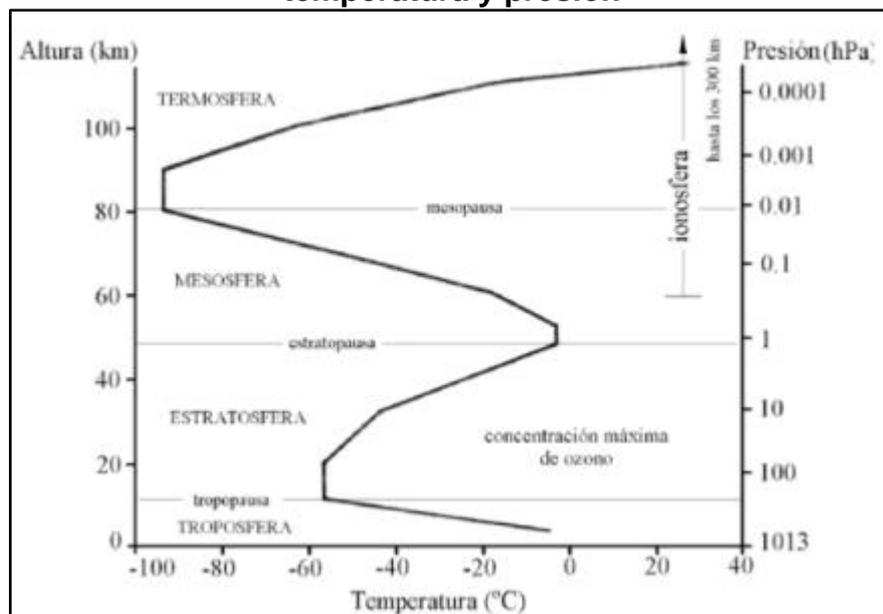
#### **a. Atmósfera**

Es la capa gaseosa que cubre la superficie de un planeta. La atmósfera terrestre tiene un espesor de unos 2.000 km aproximadamente. En la actualidad, el equilibrio dinámico de la atmósfera es producto de las interacciones biológicas y geológicas con la superficie terrestre, producido a lo largo de millones de años (Gallego et al. 2012). Entre las funciones de la atmósfera; dos de ellas son de protección: contra meteoritos pequeños y rayos solares como los ultravioleta; también sirve como un gran modelador térmico y generador de los fenómenos meteorológicos que permiten y regulan la vida en la Tierra (Aguilar, 2004).

### ➤ Estructura y composición de la atmósfera

La atmósfera se estructura en capas con distinta composición y propiedades físicas, influidas por los procesos biológicos y geoquímicos, las radiaciones procedentes del sol y la gravedad (Gallego et al. 2012). En la Figura 1 se muestra la estructura de la atmósfera en función de la variación de temperatura y presión, diferenciándose cuatro capas: troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera.

**Figura 1. Estructura vertical de la atmósfera en función de la variación de temperatura y presión**



Fuente: *Meteorología y clima* (Casas & Alarcón, 1999)

Con respecto a la composición de la atmósfera, en sus 80 primeros kilómetros, está principalmente integrada por cuatro componentes: 78,084% de Nitrógeno (N<sub>2</sub>), 20,948% de Oxígeno (O<sub>2</sub>), 0,934% de Argón (Ar) y 0,033 de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Además, la atmósfera está constituida de pequeñas cantidades de vapor de agua, gases nobles y otros gases (Gandía & Meliá, 1991).

## **b. Variables meteorológicas**

### **➤ Temperatura**

La temperatura es la variable meteorológica en que se manifiesta el calentamiento del suelo, agua y aire, producido por la radiación solar. Los factores que determinan la variabilidad de la temperatura son: la hora local, la estación del año, la ubicación geográfica del lugar, cercanía o lejanía a algún cuerpo de agua y la constitución del suelo (Sánchez, 1990).

#### **- Variaciones de la temperatura**

La cantidad de energía solar recibida, en cualquier región del planeta, varía en función con la hora del día, estación del año y la latitud. Estas diferencias de radiación originan las variaciones de temperatura, además la temperatura puede variar debido a la distribución de distintos tipos de superficies y en función de la altura (SENAMHI, 2017).

**Variación diurna:** es el cambio de temperatura producido por la rotación de la tierra originando el día y la noche (UDELAR, 2017).

**Variación de la temperatura con la latitud:** Ocurre una distribución natural de la temperatura sobre la esfera terrestre, debido a que el ángulo de incidencia de los rayos solares varía con la latitud desde el Ecuador hacia los polos (UDELAR, 2017).

**Variación estacional:** es ocasionado por el movimiento de traslación de la Tierra con el Sol, dando lugar a las cuatro estaciones verano, otoño, invierno y

primavera. El eje de rotación de la tierra está inclinado con respecto al plano de su órbita; entonces el ángulo de incidencia de los rayos solares varía estacionalmente, en forma diferente en ambos hemisferios (UDELAR, 2017).

**Variación con los tipos de superficie terrestre:** la distribución de continentes y océanos produce un efecto muy importante en la variación de la temperatura. Existen diferentes capacidades de absorción y emisión de radiación entre tierra y agua (capacidad calorífica), se puede afirmar que las variaciones de temperatura sobre las áreas de agua experimentan menores amplitudes que sobre las sólidas (UDELAR, 2017).

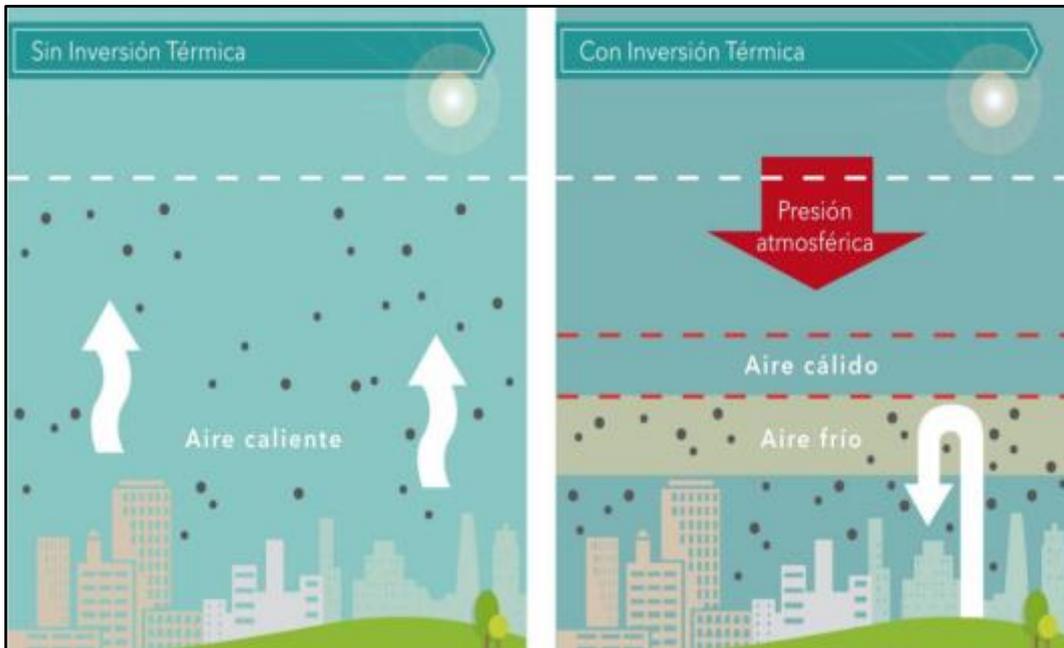
**Variación con la altura:** en la tropósfera, la temperatura decrece normalmente con la altura, este decrecimiento de la temperatura es llamado gradiente vertical de temperatura, definido como un cociente entre la variación de temperatura y la variación de la altura. En la troposfera el gradiente vertical de temperatura medio es de aproximadamente  $6.5^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ . Sin embargo, a menudo se registra un aumento de temperatura con la altura, a este incremento de la temperatura con la altura se le denomina Inversión Térmica de la Temperatura (UDELAR, 2017).

#### - **Inversión térmica**

La inversión térmica ocurre cuando existe un cambio en el orden de la temperatura en las zonas de las masas de aire. En condiciones normales las masas de aire fluyen del suelo a la atmósfera perdiendo temperatura o enfriándose gradualmente conforme asciende. El fenómeno de inversión térmica se presenta en zonas donde no existe un buen flujo de masas de aire, aumentos de presión y temperaturas bajas. La inversión térmica, se produce en las noches, cuando la superficie del suelo se enfría y con esto el aire que está en contacto con él, lo que no sucede con el aire que se encuentra a mayor altura. Este aire más caliente tiene una menor densidad que el aire frío, lo que provoca que el aire frío más pesado no pueda desplazarse verticalmente; en estas condiciones, los contaminantes (monóxido de carbono y partículas) no

pueden dispersarse por quedar atrapados en la capa inferior en la que el aire no circula verticalmente (Figura 2).

**Figura 2. Inversión térmica**



Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. Gobierno del Estado de Jalisco.  
Figura. Recuperado de [http://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/inversion\\_termica.pdf](http://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/inversion_termica.pdf)

### ➤ El viento

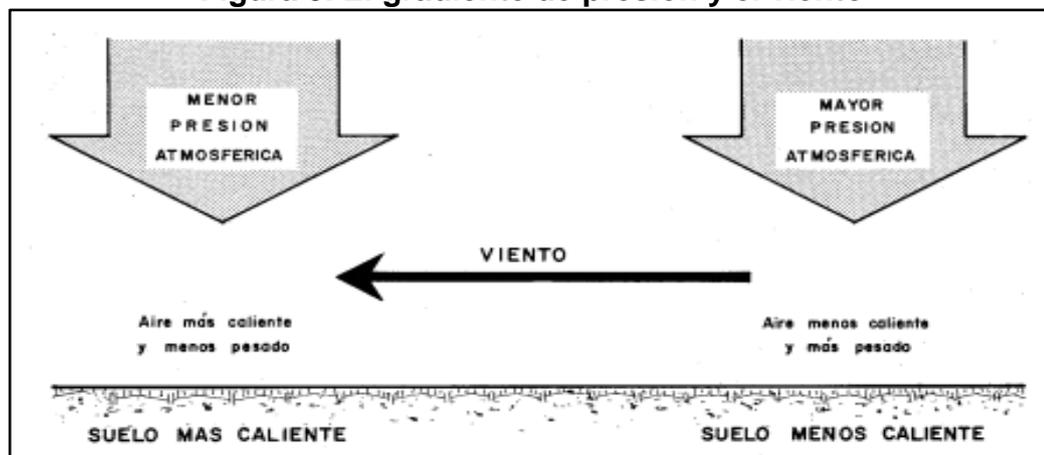
La superficie terrestre se calienta por la radiación solar; esta radiación no se recibe con la misma intensidad en todas las zonas del planeta. El aire de las capas atmosféricas más bajas se calienta bajo la influencia de esta superficie terrestre, siendo su caldeoamiento más o menos intenso según la temperatura que alcancen las zonas con las que se mantiene en contacto (Andrades & Múñez, 2012).

En las costas marinas, debido a que el suelo se calienta diariamente y se enfría de noche en forma más intensa que la superficie de agua vecina, se originan diferencias en la presión atmosférica que causan vientos y corrientes muy características. Durante el día desde las capas de aire en contacto con el suelo caliente de la costa produce una corriente ascendente que da lugar a un aumento de presión en los niveles alto atmosférico y un descenso en el nivel de

tierra. Estos cambios dan lugar a dos vientos de direcciones opuestas, uno a nivel del mar, desde este hacia tierra y otro en la alta atmósfera en sentido contrario (INTA, 1986).

Por consiguiente; el viento se define como el desplazamiento horizontal de las masas de aire, causado por las diferencias de presión atmosférica, atribuidas a la variación de temperatura sobre las diversas partes de la superficie terrestre (Sierra, 2006).

**Figura 3. El gradiente de presión y el viento**

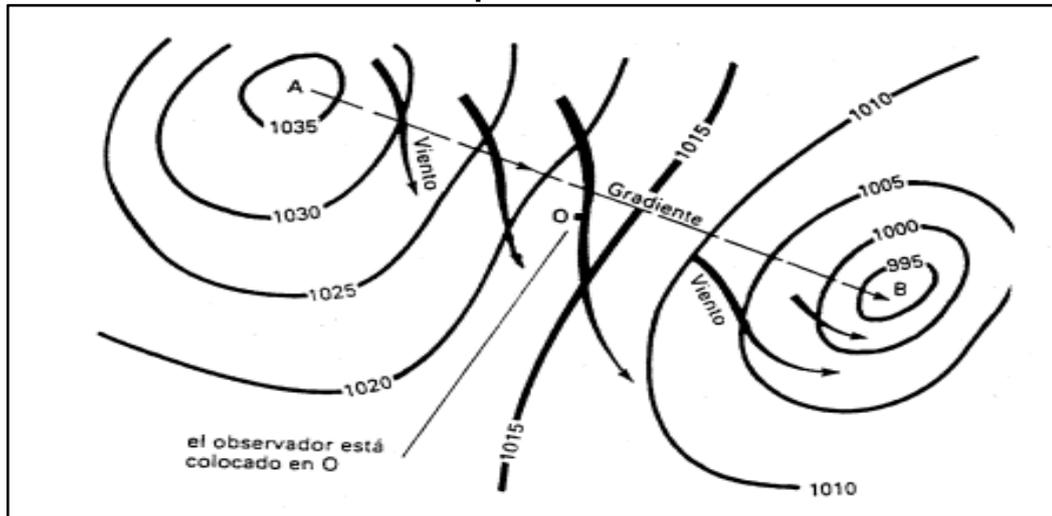


Fuente: (Sánchez, 1990)

#### - Características del viento

**Gradiente de presión:** El desigual calentamiento de la superficie terrestre y de las masas de aire origina zonas de la atmósfera con distinta presión atmosférica. En una representación gráfica de isobaras aparecen centros de altas presiones en donde la presión disminuye desde el centro a los bordes; a este descenso se denomina gradiente de presión. Estos gradientes existen siempre de altas a bajas presiones, y será la fuerza que desplazará a las masas de aire originando el viento. Si las isobaras están muy juntas, el gradiente es grande y los cambios de presión son elevados en una distancia pequeña, originando vientos fuertes. Si las isobaras están muy separadas el gradiente es pequeño y se originan vientos débiles (Andrades & Múñez, 2012).

**Figura 4. Desplazamiento de las masas de aire por acción del gradiente de presión**

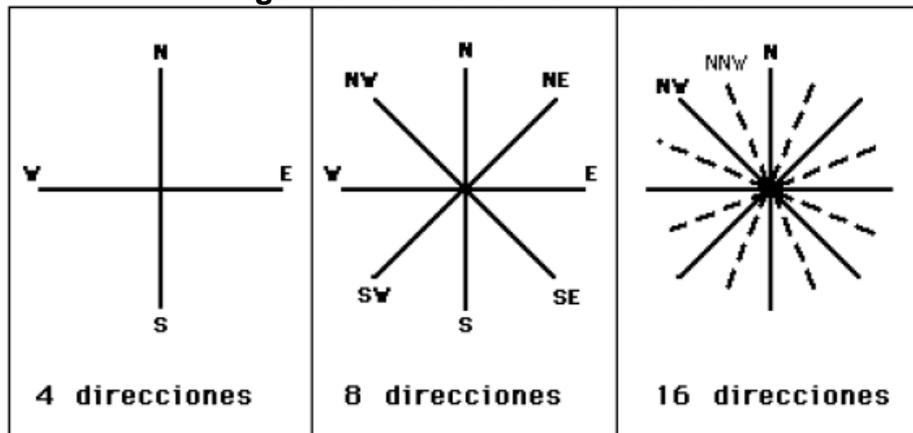


Fuente: (Andrades & Múñez, 2012).

**Dirección del viento:** Se define como la dirección desde la cual sopla el viento, y se mide en grados en la dirección de las agujas del reloj a partir del norte verdadero (Camones & Hinojosa, 2016).

Asimismo, la dirección del viento se refiere a los distintos rumbos de la rosa de los vientos. Las direcciones aparecen dividiendo los cuadrantes mediante su bisectriz. En la rosa completa la dirección se nombra indicando primero el nombre más simple y después el más complejo. El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro del reloj. De este modo, un viento del SE equivale a 135°; uno del S, a 180°; uno del NW, a 315° etc. (Andrades & Múñez, 2012).

**Figura 5. La rosa de los vientos**



Fuente: (Andrades & Múñez, 2012)



- **Fuerzas que intervienen en la dirección del viento**

El aire se calienta más en el ecuador que en los polos. Si la tierra estuviera inmóvil, el aire caliente y poco denso del ecuador se elevaría a las capas altas de la atmósfera y se dirigiría hacia los polos. Este aire, a nivel de la superficie terrestre sería sustituido por el aire frío y denso de los polos que se dirigiría hacia el ecuador. La tierra estaría siempre sometida a corrientes de aire frío polar (Andrades & Múñez, 2012).

El movimiento de la tierra modifica esta doble circulación del aire ya que, al girar alrededor de su eje, de oeste a este, origina una fuerza desviatoria del viento llamada **fuerza de Coriolis**. Esta fuerza es perpendicular al movimiento del aire originado por el gradiente de presión e irá cambiando su dirección hasta convertido en un movimiento paralelo a las isobaras (Andrades & Múñez, 2012).

**Velocidad del viento:** La velocidad del viento es la rapidez y dirección de los vientos que se mide con el anemómetro. La intensidad del viento se ordena según su rapidez utilizando la escala de Beaufort. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes de categoría 5 y los tornados (ECURED, 2017).

**Tabla 1. Escala beaufort de intensidades de viento**

Grados Beaufort	V (m/s)	Viento
0	0.0-0.4	Calma
1	0.5-1.5	Brisa muy ligera
2	1.6-3.4	Brisa ligera
3	3.5-5.5	Pequeña brisa
4	5.6-8.0	Moderado
5	8.1-10.9	Fresco
6	10.9-13.9	Fuerte (bonacible)
7	>13.9	Fuerte (muy fresco)

Fuente: (Villarrubia, 2004)

**Tabla 2. Criterios de apreciación de la intensidad del viento en la escala Beaufort**

Grados Beaufort	Criterios de apreciación	
	En el mar	En tierra
0	Mar en calma	El humo se eleva verticalmente
1	Formación de ondas con	El viento inclina el humo, pero no

Grados Beaufort	Criterios de apreciación	
	En el mar	En tierra
	aspecto de escamas, pero sin cresta de espuma	hace girar las veleras
2	Olas muy pequeñas. Crestas sin romper de aspecto vidrioso	Movimiento de hojas. El aire se siente en el rostro
3	Pequeñas olas. Se inicia la rotura de crestas. Espuma vidriosa. Aparición de espuma de ola diseminada	Movimiento continuo de hojas y ramas pequeñas
4	Alargamiento de olas cortas. Espuma de olas más densa	Se eleva polvo y hojas. Agitación del ramaje
5	Pronunciamiento de olas moderadas. Formación de ovillo de espuma	Movimiento de arbustos y pequeño arbolado
6	Formación de grandes olas y generalización de crestas de espuma blanca. Brumas	Agitación de grandes ramas. Dificultad para usar el paraguas
7	El mar crece y la espuma de las olas se difumina en huellas	Movimiento de árboles. Molestias al caminar de cara al viento

Fuente: (Villarrubia, 2004)

## - Tipos de vientos

### Vientos locales o brisas

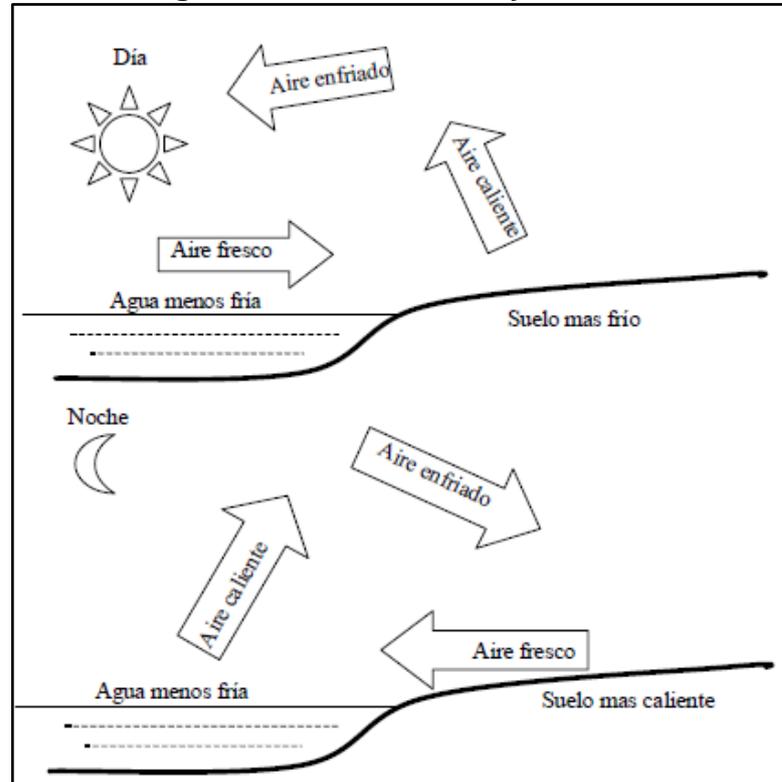
**Brisas marinas:** Son vientos que en la mañana soplan desde el mar al continente. Su origen debe a que las zonas desérticas se calientan más rápido que las aguas oceánicas generando la diferencia de temperatura y presión atmosférica que origina los vientos (Peñaherrera, 1996).

Las brisas marinas se producen a lo largo de la costa, todo el año, con velocidad y duración variables. La mayor o menor velocidad de los vientos marinos está en relación directa con la diferencia de presiones entre costa y superficie oceánica. A mayor diferencia de presión atmosférica, mayor velocidad de vientos (Peñaherrera, 1996).

**Brisas continentales o de tierra:** Son vientos que soplan desde el continente hacia el mar y reciben el nombre de vientos de tierra. Se inicial al finalizar el día debido a que la tierra se enfría más rápidamente que las aguas marinas, convirtiéndose en zona de altas presiones. En las superficies oceánicas se mantienen temperaturas mayores que tienen menor presión atmosférica, lo que

motiva que los vientos cambien su dirección y soplen de tierra firme hacia el mar (Peñaherrera, 1996).

**Figura 6. Brisas de mar y de tierra**



Fuente: (Andrades & Múñez, 2012)

### c. Factores que inciden en el clima

#### ➤ La Corriente Peruana

La Corriente Peruana Costanera y la Corriente Peruana Oceánica – que se desplaza cerca de la costa – son los factores decisivos en la conformación del clima de la costa central y sur. Ambas son relativamente frías y sus temperaturas son inferiores a las de las aguas oceánicas que las circundan. Se manifiesta por constante nubosidad y alta humedad atmosférica, que se acentúa en invierno, cuando se producen garúas producto de la condensación de la humedad ambiental. Desde la desembocadura del Santa, en Ancash, a la frontera con Ecuador, la influencia de la Corriente Peruana disminuye progresivamente. Se debe a que sus aguas comienzan a desviarse hacia el oeste, hasta alejarse definitivamente de la costa a la altura de la península de Illescas, al sur de Piura, con rumbo a la isla Galápagos (Peñaherrera, 1996).

### ➤ **Anticiclón Del Pacífico Sur**

Centro de alta presión atmosférica en la zona central del Pacífico en el hemisferio sur. Crea una circulación de masas de aire que, desplazándose en sentido contrario a las agujas del reloj, forma un circuito de vientos en todo el Pacífico sur. Estos vientos llegan a nuestras costas impulsando masas de aire con alta humedad atmosférica, pues proceden de aguas tropicales. Las más bajas, al ser enfriadas por la Corriente Peruana, originan neblinas que se acumulan en forma de nubes en la costa centro-sur (Peñaherrera, 1996).

### ➤ **Islas de calor**

Manley (1958) acuñó dicho término por primera vez para referirse a las modificaciones climáticas más claras que causa la urbanización. Según Molina (2007), define a las islas de calor como un fenómeno en el cual las temperaturas del aire en las zonas urbanas son mayores que las temperaturas en los alrededores de la ciudad, constituyendo una importante modificación climática que se relaciona de manera directa con los usos y coberturas del suelo, la geometría urbana, la influencia del calor antropogénico, y las propiedades térmicas de los materiales de construcción.

Las islas de calor urbanas contribuyen a generar contaminantes fotoquímicos, zonas de convergencia de aire contaminado y discomfort térmico, especialmente durante los días de verano y sobre las áreas con mayor edificación, menor vegetación y más altas tasas de impermeabilización. El crecimiento urbano incontrolado en las ciudades intensifica las denominadas islas de calor, ya que se produce un reemplazo de cubiertas agrícolas y de vegetación natural por superficies construidas (Romero, 2007).

### **2.2.2. Contaminación atmosférica**

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que

pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, y/o perturbar el bienestar y el uso de los bienes. Al proceso de vertido de contaminantes a la atmosfera se le denomina emisión, mientras que a la concentración de contaminantes una vez emitidos, transportados y dispersados en la atmosfera se le denomina inmisión.

La mayor o menor concentración de contaminantes en un área determinada, depende no solo de los aportes *in situ* sino también de los provenientes de otros lugares y que son transportados por el principal agente dispersor, el viento (Silva & Montoya, 2017).

#### **a. Tipos de contaminantes**

Según su origen puede ser clasificado como primarios y secundarios.

##### **➤ Contaminantes primarios**

Son sustancias de naturaleza y composición química variada, vertidas directamente a la atmosfera por alguna fuente de emisión como chimeneas, automóviles, entre otros. Entre los contaminantes primarios se encuentran los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos (HC), **material particulado (PM)**, entre otros (Contreras et al. 2013).

##### **➤ Contaminantes secundarios**

Se originan a partir de contaminantes primarios como consecuencia de reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera, formando otros contaminantes nuevos. Los principales son el SO<sub>3</sub> que al reaccionar con el ion hidroxilo pasa a ácido sulfúrico y forman las lluvias acidas, el ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y los nitratos de peroxiacetilo (PAN), los cuales son componentes del smog fotoquímico (Calvo et al. 2009).

#### **2.2.3. Material particulado**

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas encontradas en el aire. Tiene como origen los aerosoles marinos, erosión eólica, incendios forestales, combustiones industriales y domésticas, actividades extractivas, incineración de residuos, entre otros. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín o el humo, son lo suficientemente grandes para ser vistas a simple vista. Otros son tan pequeños que solo se pueden detectar con un microscopio electrónico (EPA, 2017) (Calvo et al. 2009).

El material particulado se clasifica en partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ) y material particulado menor a 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ) en función a su diámetro aerodinámico (Rivera, 2012).

#### **a. Origen de las partículas atmosféricas**

Las partículas atmosféricas pueden ser de origen natural o antropogénico (producida por la acción humana), la cantidad de emisión dependerá del tipo de fuente emisora que exista en una región determinada (Gangoiti, et al. 2001).

Las partículas de origen natural provienen de fenómenos naturales como la erosión del suelo, transporte de la sal marina, erupciones volcánicas, incendios forestales, emisiones de material biológico (polen, restos de insectos plantas, animales o de piel humana). Los aerosoles orgánicos se forman a partir de compuestos orgánicos volátiles procedentes de los seres vivos (Gangoiti, et al. 2001).

Las partículas de origen antropogénicos se generan como resultado de la actividad del hombre, como la quema de combustibles fósiles, quemas en campos agrícolas, procesos industriales, actividades minero-metalúrgicas, emisiones domésticas, etc. (Aragón, 2011).

#### **b. Fuentes de emisión de material particulado**

Las principales fuentes de emisión de partículas son la fabricación de hierro y acero, producción de cemento, extracción de rocas y minerales y sus procesos

de transformación, el almacenamiento y manejo de granos y la elaboración de pulpa de celulosa y papel (Palacios, 1997).

El principal responsable de la emisión de material particulado es atribuido a la condensación de los productos de la combustión, procedentes de fuentes fijas y móviles, de origen antropogénico (Palacios, 1997).

#### ➤ **Fuentes fijas**

En las zonas alejadas de la ciudad, las principales fuentes de contaminación del aire son: las minas, refinerías, centrales hidroeléctricas y termoeléctricas. En cambio, en las ciudades son consideradas como fuentes fijas: las fábricas de pintura y disolventes, almacenes y distribuidores de gasolina u otros cuyas emisiones sean contaminantes potenciales (Palacios, 1997).

#### ➤ **Fuentes móviles**

La emisión de material particulado por fuentes móviles se produce por la combustión de combustibles fósiles utilizados en el parque automotor (Caminos et al. 2007).

### **c. Material particulado atmosférico menor a 10 micras**

Son pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera y cuyo diámetro es menor que 10  $\mu\text{m}$  (1 micrómetro equivale a la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbono (hollín) (MAPAMA, 2017).

## **2.2.4. Método de medición de la calidad del aire**

### **a. Muestreo activo**

Este método a diferencia de los muestreadores pasivos, requieren de energía eléctrica para bombear aire a través de un medio de colección físico o químico.

El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio. Los muestreadores activos más utilizados en la actualidad son los burbujeadores acidimétricos para la medición de SO<sub>2</sub>, el método de filtración para partículas totales en suspensión (PTS) y el método gravimétrico de altos volúmenes (High Vol) (Inche, 2004).

➤ **Muestreador de PM<sub>10</sub> de alto volumen (High Vol)**

El aire ambiental es aspirado a un flujo nominal de 1.13 m<sup>3</sup>/min, mediante una bomba de succión, hacia un selector de partículas de dos etapas: en la primera etapa ingresa a una cámara las partículas, caen inercialmente hacia la superficie de una placa de impactación untada con una grasa o aceite de silicona, quedando así retenidas las partículas mayores a 10 µm, mientras que las de menor tamaño, que no llegan a impactar en la placa, ascienden hacia otro juego de boquillas en una segunda cámara que las conducen hacia un filtro de 203 x 254 mm, donde son depositadas. El volumen total del aire muestreado es corregido a condiciones estándar (25°C y 760 mm Hg). (Arciniégas, 2012).

Según el método EPA 40 CFR Part 50 Appendeix J 1990- Method for the Determination of Particulate Matter as PM-10 in the Atmosphere, el filtro debe ser pesado antes y después del muestreo, equilibrando la temperatura (entre 15° C – 30°C) y humedad (20% a 45%).

**Figura 7. Muestreador HI-VOL PM<sub>10</sub>**



Fuente: (MAVT, 2010)



## 2.2.5. Número de estaciones de monitoreo de calidad de aire

Para caracterizar la calidad de aire por material particulado es necesario contar con un número mínimo de estaciones de monitoreo.

El número y distribución de estaciones depende del objetivo central del monitoreo, del área de estudio, la variabilidad espacial de los contaminantes, del uso final de los datos requeridos y de la disponibilidad de recursos (DIGESA, 2005).

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), en un área geográfica donde se alcancen o excedan los valores permisibles, se incrementarán los puntos de monitoreo (Tabla 3).

**Tabla 3. Número aproximado de estaciones de monitoreo de aire para PM<sub>10</sub>**

N° de habitantes	Alta concentración	Media concentración	Baja concentración
>1,000,000	6 – 10	4 – 8	2 – 4
500,000 – 1,000,000	4 - 8	2 – 4	1 – 2
250,000 – 500,000	3 – 4	1 – 2	0 – 1
100,000 – 250,000	1 – 2	0 - 1	0

*Fuente: 40 CFR (Code of Federal Regulations), Part 58 Appendix D. Washington, D.C.: Protection of the Environment. National Archives and Records Administration; 1994*

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se recomienda como criterio para establecer un número mínimo de estaciones de muestreo de calidad de aire, la cantidad de población urbana y los parámetros que se pretendan medir (Tabla 4).

**Tabla 4. Recomendaciones de número mínimo de estaciones**

Población urbana (millones)	Parámetros de monitoreo					
	PM-10	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Oxidantes	CO	Meteorológicos <sup>1</sup>
<1	2	4	1	1	1	1
1 - 4	5	5	2	2	2	2
4 – 8	8	8	4	3	4	2
>8	10	10	5	4	5	3

<sup>1</sup>Velocidad y dirección del viento, Temperatura, Humedad, gradiente de temperatura  
*Fuente: (DIGESA, 2005)*

## 2.2.6. Estándares de calidad ambiental

En nuestro territorio nacional, se ha establecido como referente obligatorio los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y Disposiciones Complementarias (D.S. N° 003-2017-MINAM); aplicables para aquellos parámetros que caracterizan las emisiones de las actividades productivas, extractivas y de servicios (Tabla 5).

**Tabla 5. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire**

Parámetros	Periodo	Valor (ug/m <sup>3</sup> )	Criterios de evaluación	Método de Análisis <sup>(1)</sup>
Benceno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM <sub>2,5</sub> )	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) <sup>(2)</sup>	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 horas	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O <sub>3</sub> )	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en	Mensual	1,5	NE más de 4	Método para PM <sub>10</sub>

Parámetros	Periodo	Valor (ug/m <sup>3</sup> )	Criterios de evaluación	Método de Análisis <sup>(1)</sup>
PM <sub>10</sub>			veces al año	(Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H <sub>2</sub> S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No exceder

<sup>(1)</sup> o método equivalente aprobado

<sup>(2)</sup> El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Fuente: D.S. N° 003-2017-MINAM

### 2.3. Definiciones de términos básicos

**Análisis de correlación:** Es el estudio que se realiza para medir la intensidad o grado de asociación que existe entre variables numéricas (INEI, 2006).

**Brisa marina/terrestre:** Es el ciclo diurno de los vientos locales que generan como consecuencia del diferente calentamiento y enfriamiento entre la costa y el mar (SENAMHI, 2016).

**Coefficiente de correlación lineal de Spearman:** Es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos. (Hernández & Fernández, 1998).

**Contaminación:** Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos ambientales o sobre la salud adversa. La contaminación puede ser ocasionada por la producción industrial, transporte, agricultura o escorrentía (MINAM, 2012).

**Contaminación atmosférica:** Es la presencia de una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden ser nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras (MINAM, 2012).

**Distribución espacial:** Es una técnica de análisis espacial, con el fin de localizar con precisión y objetividad ciertos elementos a nivel espacial por medio del tratamiento estadístico de algunos datos (UNAL, 2017).

**Efecto Coriolis:** Fuerza aparente que desvía el viento, cualquier parcela de fluido o un objeto en movimiento hacia la izquierda en el hemisferio sur (SENAMHI, 2016).

**Emisión:** Descarga de gases y partículas a la atmósfera en un flujo continuo, la concentración de gases y partículas en el fluido son controladas a través de sistemas de control. Las emisiones pueden producirse en el punto de salida de un sistema de control de emisiones o fuera de éste. En este último caso, se habla de emisiones fugitivas sujetas a regulaciones técnicas propias de la actividad (MINAM, 2012).

**Estación de monitoreo:** Área en el que se ubican los equipos de monitoreo, de carácter temporal, definida en el instrumento de gestión ambiental preventivo o correctivo aprobada por la Autoridad Competente, establecida para la medición de la calidad del aire, agua, ruido entre otros de acuerdo con los criterios establecidos en el Protocolo de Vigilancia y Monitoreo correspondiente (MINAM, 2012).

**Estándar de calidad ambiental (ECA):** Aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana o al ambiente, estos deberán alcanzarse a través de mecanismos y plazos. Estándares primarios tiene como objetivo la protección de la salud. Estándares secundarios protegen el ambiente y la salud inclusive debido a su mayor rigurosidad (MINAM, 2012).

**Fuente de contaminación:** Punto o área de contaminación y dispersión de materiales peligrosos y residuos peligrosos al ambiente, fuente que emite contaminantes al ambiente en un sitio contaminado (MINAM, 2012).

**Fuentes fijas:** Aquellas establecidas en un lugar determinado y su emisión se produce siempre en el mismo lugar (MINAM, 2017).

**Fuentes móviles:** aquellas que cambias su ubicación con respecto al tiempo y el área de influencia de sus emisiones por lo que se considera lineal o de superficie (MINAM, 2017).

**Inversión térmica:** Condición atmosférica provocada por una capa de aire caliente que impide que el aire frío atrapado bajo ella pase hacia arriba. La inversión impide el paso de los contaminantes que, de lo contrario, podrían dispersarse (ONU, 1997).

**Islas de calor:** Fenómeno en el cual las temperaturas del aire en las zonas urbanas son mayores que las temperaturas en los alrededores de la ciudad (Molina, 2007).

**Material particulado:** Es una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas encontradas en el aire (EPA, 2017).

**Monitoreo ambiental:** Comprende la recolección, el análisis, y la evaluación sistemática y comparable de muestras ambientales en un determinado espacio y tiempo; la misma que se realiza a efectos de medir la presencia y concentración de contaminantes en el ambiente. El monitoreo ambiental puede realizarse antes, durante o después de la ejecución de un proyecto. Su planificación se realiza a través de un programa de monitoreo. Su ejecución se sujeta a un Protocolo de Monitoreo. Su planificación se realiza a través de un programa de monitoreo. Su ejecución se sujeta a un Protocolo de Monitoreo (MINAM, 2012).

**Muestreo:** Recolección de una porción representativa para someterla a análisis y ensayos (MINAM, 2017).

**PM<sub>10</sub>:** Son pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersos en la atmósfera, cuyo diámetro es menor a 10 micrómetros (MAPAMA, 2017).

**Temperatura del aire:** Es la temperatura registrada en el instante de la lectura (SENAMHI, 2016).

**Viento:** Movimiento del aire que está presente en la atmósfera, especialmente en la troposfera, producido por causas naturales (SENAMHI, 2016).

### III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1. Hipótesis

##### 3.1.1. Hipótesis general

La hipótesis general para el trabajo de investigación es **“El viento y la temperatura del aire influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> en la Zona Sur – Cercado del Callao para el año 2017”**.

##### 3.1.2. Hipótesis específicas

- a. El viento influye en la concentración de partículas en suspensión PM<sub>10</sub>.
- b. La temperatura influye en la concentración de partículas en suspensión PM<sub>10</sub>.

#### 3.2. Definición conceptual de variables

A continuación, se presenta la definición conceptual de las variables:

**Tabla 6. Conceptualización de las variables**

Variables		Definición Conceptual
Independientes	X <sub>1</sub> =Viento	Movimiento del aire que está presente en la atmósfera, especialmente en la troposfera, producido por causas naturales (SENAMHI, 2016).
	X <sub>2</sub> =Temperatura del aire	Es la temperatura del aire registrada en el instante de la lectura (SENAMHI, 2016).
Dependiente	Y <sub>1</sub> =Distribución espacial de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub> .	Es una técnica de análisis espacial, con el fin de localizar con precisión y objetividad ciertos elementos a nivel espacial por medio del tratamiento estadístico de algunos datos (UNAL, 2017).

Fuente: *Elaboración Propia*

### 3.3. Operacionalización de variables

a. Variables independientes:

- El Viento X<sub>1</sub>
- La temperatura del aire X<sub>2</sub>

b. Variable dependiente:

- Distribución espacial de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> Y<sub>1</sub>

**Tabla 7. Operacionalización de las variables**

Variables		Indicador	Unidad
Independiente	El viento	Velocidad del viento semanal y mensual	m/s
	La temperatura del aire	Temperatura del aire semanal y mensual	°C
Dependiente	Distribución espacial de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub>	Concentración de PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>

*Fuente: Elaboración Propia*



## IV. DISEÑO METODOLÓGICO

### 4.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de la presente investigación es cuantitativo y correlacional. Con respecto al diseño, este se describe a continuación:

#### 4.1.1. Elección de las estaciones

Los informes de monitoreo de calidad de aire solicitados al Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), contienen seis estaciones, con una frecuencia de muestreo interdiaria, los criterios para la selección de las estaciones de muestreo son:

- a. Estaciones que registren mayor concentración de  $PM_{10}$ .
- b. Ubicación estratégica de estaciones de muestreo para abarcar en su totalidad el área de estudio.

Se han elegido cinco estaciones, dichas estaciones cumplen con los criterios mencionados líneas arriba (Ver Tabla 8).

**Tabla 8. Localización de las estaciones de monitoreo**

Código	Descripción	Coordenadas WGS 84 (m)		Altura (m)	Parámetros medidos
		Norte	Este		
<b>Estaciones de control</b>					
E-02	Mz. E-5 Lote 1 AA.HH. Puerto Nuevo	8 667 505	267 415	6.0	$PM_{10}$
E-03	Colegio "María Reiche" Av. Contralmirante Mora N°420	8 667 459	267 637	6.0	$PM_{10}$
E-04	Calle Villa Rica N° 235/239 Urb. Santa Marina 2da. Etapa	8 667 223	267 950	6.0	$PM_{10}$
E-07	Av. Alfredo Palacios N° 698 Urb. Centenario	8 666 742	268 676	6.0	$PM_{10}$
E-04 A	Ubicada al este del Almacén 1, muy cerca del AA.HH. Ramón Castilla y el cruce de las Avenidas Gambeta y Atalaya	8 667 741	268 546	6.0	$PM_{10}$
<b>Estación meteorológica</b>					

Código	Descripción	Coordenadas WGS 84 (m)		Altura (m)	Parámetros medidos
		Norte	Este		
IGA -03	Ubicada muy cerca del AA.HH Ramón Castilla y cruce de las avenida Néstor Gambeta y Atalaya	8 667 716	268 550	24	Meteorología.

Fuente: Informe de Monitoreo Trimestral Junio – Agosto 2017. Impala Terminals Perú S.A.C.

El distrito de Cercado del Callao posee una población de 410 mil 640 habitantes (INEI, 2004), de acuerdo a la Tabla 4, indica la cantidad mínima de estaciones de monitoreo en función del número de habitantes, según la OMS para menos de un millón de habitantes el número de puntos sugeridos son dos (02) para calidad de aire y uno (01) para estación meteorológica. El presente trabajo de investigación posee cinco (05) estaciones de calidad de aire y uno (01) para estación meteorológica, cumpliendo dichos requisitos.

#### 4.1.2. Localización de las estaciones de monitoreo

Se realizó la digitalización de las estaciones de monitoreo, a través del software ArcGIS 10.0, creando un shape en ArcCatalog, dicho shape se importó al ArcGIS y mediante la herramienta Editor se añadió las estaciones de monitoreo en una tabla de atributos con su respectivo código, datos mensuales y anual promedio.

**Figura 8. Localización de las estaciones de monitoreo**



Fuente: Elaboración Propia

### **4.1.3. Distribución espacial de partículas en suspensión PM<sub>10</sub>**

Para la espacialización de la concentración de partículas PM<sub>10</sub>, se utilizó el método de interpolación Kriging ordinario (extensión del método Kriging) herramienta incorporada en el software ArcGIS 10.0 en la barra de herramienta 3D Analyst.

El método Kriging está basado en modelos estadísticos que incluyen la autocorrelación, es decir; genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valor. (ArcGIS, 2018).

Para la elaboración de la rosa de viento se utilizó datos mensuales de velocidad y dirección de viento. La rosa de viento fue elaborada con el software WRPLOT View versión 8.0.2.

### **4.1.4. Frecuencia de los datos**

La disposición de los datos de PM<sub>10</sub> se encuentran de manera interdiaria y los datos de las variables meteorológicas (temperatura y velocidad de viento) se encuentra de manera horaria.

### **4.1.5. Análisis de datos de las estaciones de muestreo**

El análisis de los datos de las estaciones de muestreo se realizó bajo el programa estadístico IBM SPSS Statistics Versión 25 utilizando el coeficiente de correlación Rho de Spearman.

Para el análisis de la información se elaboraron diagramas de dispersión para cada una de las variables y mapas de distribución espacial de la zona en estudio.

## **4.2. Método de investigación**

El presente trabajo de investigación utiliza los métodos estadísticos de Kolmogorov Smirnov y Rho de Spearman para obtener el grado de correlación entre las variables analizadas; por el empleo de métodos estadísticos para analizar los datos obtenidos, se trata de una investigación de método

cuantitativo. Asimismo, para el análisis entre variables meteorológicas y material particulado en la muestra de investigación, con la finalidad de determinar si existe una correlación, se utilizó el método correlacional.

### **4.3. Población y muestra**

#### **Población:**

La población del estudio es el distrito del Cercado del Callao para el año 2017.

#### **Muestra:**

La muestra es la zona sur del distrito del cercado del Callao para el año 2017 delimitado geográficamente por el Norte con el Río Rímac, por el Sur con el distrito de Bellavista, por el Este con los distritos de Carmen de la Legua y Cercado de Lima, por el Oeste con el Océano Pacífico.

### **4.4. Lugar de estudio**

El presente trabajo de investigación, tiene como lugar de estudio la zona sur del Cercado del Callao. Los límites de la zona de estudio son:

- Por el Norte: Río Rímac
- Por el Sur: Distrito de Bellavista
- Por el Este: Distritos Carmen de Legua y Cercado de Lima
- Por el Oeste: Océano Pacífico

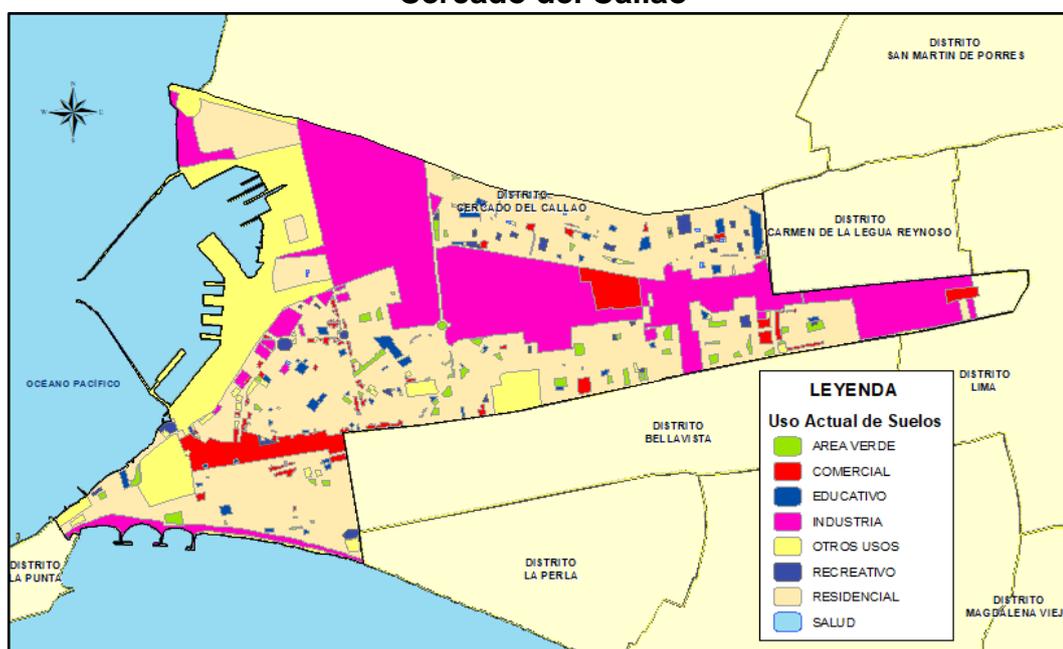
A continuación, se describen los principales factores que contribuyen a la emisión de partículas en suspensión  $PM_{10}$  en la zona de estudio:

#### **a. Uso Actual de Suelos**

Las áreas con uso residencial, industrial, comercial, educativo, área verde, recreación y Otros Usos ocupan 1,428.15 Ha. El mayor porcentaje de uso actual es destinado a la zona residencial (48.62%), seguido de la zona industrial (28.45%), zona comercial (4.74%), área de uso educativo conformado

por biblioteca, colegios, universidades, centros de formación laboral, otros (1.56%), área verde (1.54%), área de uso recreativo conformado por parques, losa deportiva, centros recreacionales, plazas, otros (0.96%), salud (0.05%) y otros usos conformado por cementerios, institucional, locales comunales, equipamiento e infraestructura mayor, entre otros (14.09%). En la Figura 9 se muestra la distribución de áreas de uso actual de suelos de la Zona Sur del Cercado del Callao.

**Figura 9. Distribución de áreas de uso actual de suelos de la zona sur del Cercado del Callao**



Fuente: Elaboración Propia.

En el distrito de Cercado del Callao se encuentra la mayor área de uso industrial respecto al resto de distritos de la provincia del Callao. (Municipalidad Provincial del Callao, 2010).

**Tabla 9. Uso actual de suelos en la zona sur del Cercado del Callao**

Uso de Suelo en la Zona Sur del Cercado del Callao	Hectáreas (Ha)	% Total
Residencial	694.35	48.62
Industrial	406.26	28.45
Comercial	67.65	4.74
Educativo	22.35	1.56
Área Verde	21.92	1.54

Uso de Suelo en la Zona Sur del Cercado del Callao	Hectáreas (Ha)	% Total
Recreativo	13.78	0.96
Salud	0.65	0.05
Otros Usos	201.19	14.09
TOTAL	1428.15	100.00

Fuente: Mapa Uso Actual de Suelos – Plan de Desarrollo Urbano (Provincia Constitucional del Callao)

En términos generales, la localización de las actividades industriales en la Provincia Constitucional del Callao se ha dado de manera planificada, sin embargo existe el conflicto originado por la ocupación residencial de áreas muy cercanas o dentro de zonas industriales, lo cual genera problemas de contaminación para sus habitantes. (Municipalidad Provincial del Callao, 2010).

#### **b. Infraestructura de Transporte**

En la zona de estudio, se ha identificado las siguientes infraestructuras:

- Avenidas con mayor afluencia de vehículos: Avenida Néstor Gambeta y Avenida Argentina. (Corporación Andina de Fomento, 2010).
- Infraestructura Ferroviaria: Ferrocarril del Centro, el cual atraviesa la Calle Abancay, la Avenida Atalaya y Jirón Manco Cápac en la zona de estudio. Esta infraestructura transporta mineral siendo su recorrido desde Huancayo hasta el Callao.

#### **4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

En la presente investigación se realizó la recolección de datos de las variables meteorológicas y material particulado PM<sub>10</sub>, mediante la técnica de análisis documental. La información documental se obtuvo de los informes de monitoreo ambiental de calidad de aire de la empresa IMPALA TERMINALS PERU S.A.C. correspondiente al año 2017. Asimismo el instrumento utilizado para la recolección de datos es la ficha de registro de datos (Ver Anexo 2. Ficha de registro de datos).

#### **4.6. Análisis y procesamiento de datos**

Según el informe de monitoreo trimestral de calidad de aire de la empresa Impala Terminals Perú S.A.C. de su Depósito de Concentrados Minerales N° 01, Depósito de concentrados Neptunia y Depósito Miller, elaborado por el laboratorio SGS del Perú S.A.C.; el procedimiento de recolección de datos de la concentración de partículas en suspensión  $PM_{10}$  se realizó en base a lo señalado en el método EPA 40 CFR Part 50 Appendix J 1990- Method for the Determination of Particulate Matter as PM-10 in the Atmosphere, el cual se detalla en el numeral 2.2.4 (método de medición de la calidad del aire).

Con respecto, a la información de las variables meteorológicas (velocidad de viento y temperatura del aire), esta ha sido recolectada de la estación portátil marca Davis, modelo Vantage Pro2 Plus; dicha información fue extraída de los informes de monitoreo señalados en el párrafo precedente.

Cabe precisar, que para el presente trabajo de investigación, se realizó el procesamiento de los datos de la concentración de partículas en suspensión  $PM_{10}$  y variables meteorológicas extraídos de los informes de monitoreo antes mencionados.

##### **4.6.1. Análisis de datos**

Con la finalidad de identificar si las variables se distribuyen normalmente, se ha realizado la Prueba de Kolmogorov – Smirnov, la cual es una prueba no paramétrica que determina el grado de concordancia entre la distribución de datos empíricos de la muestra y alguna distribución teórica específica. Dicha prueba se utiliza para un tamaño de muestra mayor a 50 ( $n > 50$ ).

Para determinar si los datos cumplen el supuesto de normalidad se utiliza el nivel de significancia ( $\rho$ ), el cual debe ser mayor a 0.05 ( $\rho > 0.05$ ), con lo que se confirma la normalidad de la distribución de las variables.

Se realizó la prueba de Kolmogorov – Smirnov con el software estadístico IBM SPSS Statistics Versión 25, obteniéndose los siguientes resultados:

**- Prueba de normalidad de la estación E-02**

Para la estación E-02, según la tabla 10, el valor de  $p$  es menor a 0.05. Asimismo, en la figura 10, se observa el histograma de forma asimétrica con una desviación estándar de 10.99 y una media de 31.46 y el gráfico de distribución normal no presenta tendencia, por lo tanto existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos de la E-02 no poseen una distribución normal.

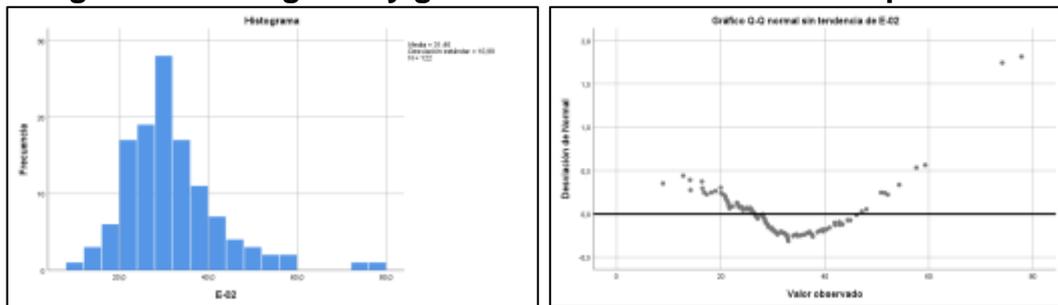
**Tabla 10. Prueba de normalidad para E-02**

	Estadístico	gl	Sig.*
E-02	,125	122	,000

\*Grado de significancia ( $p$ )

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 10. Histograma y gráfico de distribución normal para E-02**



Fuente: Elaboración Propia.

**- Prueba de normalidad de la estación E-03**

Para la estación E-03, según la tabla 11, el valor de  $p$  es menor a 0.05. Asimismo, en la figura 11, se observa el histograma de forma asimétrica con una desviación estándar de 27.903 y una media de 47.05 y el gráfico de distribución normal no presenta tendencia, por lo tanto existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos de la E-03 no poseen una distribución normal.



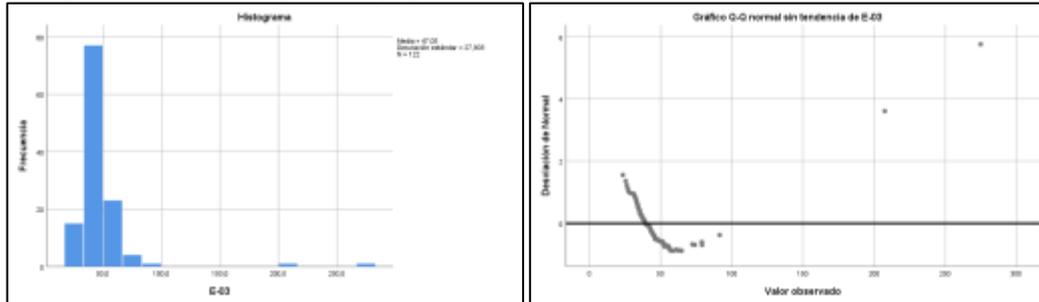
**Tabla 11. Prueba de normalidad para E-03**

	Estadístico	gl	Sig.*
E-03	,260	122	,000

\*Grado de significancia ( $\rho$ )

Fuente: *Elaboración Propia.*

**Figura 11. Histograma y gráfico de distribución normal para E-03**



Fuente: *Elaboración Propia.*

**- Prueba de normalidad de la estación E-04**

Para la estación E-04, según la tabla 12, el valor de  $\rho$  es menor a 0.05. Asimismo, en la figura 12, se observa el histograma de forma asimétrica con una desviación estándar de 20.736 y una media de 38.54 y el gráfico de distribución normal no presenta tendencia, por lo tanto existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos de la E-04 no poseen una distribución normal.

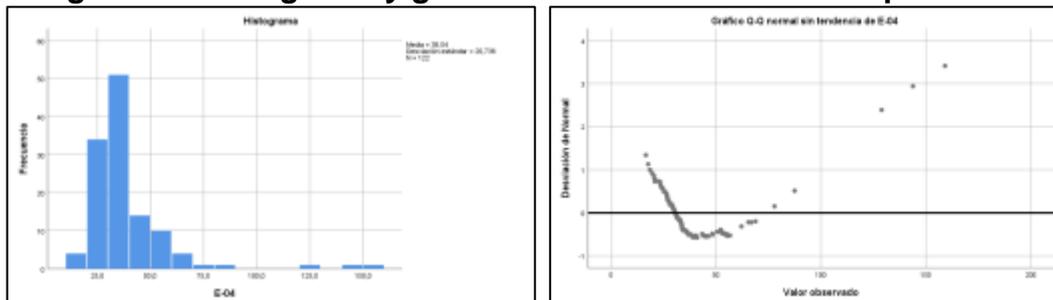
**Tabla 12. Prueba de normalidad para E-04**

	Estadístico	gl	Sig.*
E-04	,221	122	,000

\*Grado de significancia ( $\rho$ )

Fuente: *Elaboración Propia.*

**Figura 12. Histograma y gráfico de distribución normal para E-04**



Fuente: *Elaboración Propia.*

**- Prueba de normalidad de la estación E-04A**

Para la estación E-04A, según la tabla 13, el valor de  $p$  es menor a 0.05. Asimismo, en la figura 13, se observa el histograma de forma asimétrica con una desviación estándar de 62.379 y una media de 111.75 y el gráfico de distribución normal no presenta tendencia, por lo tanto existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos de la E-04A no poseen una distribución normal.

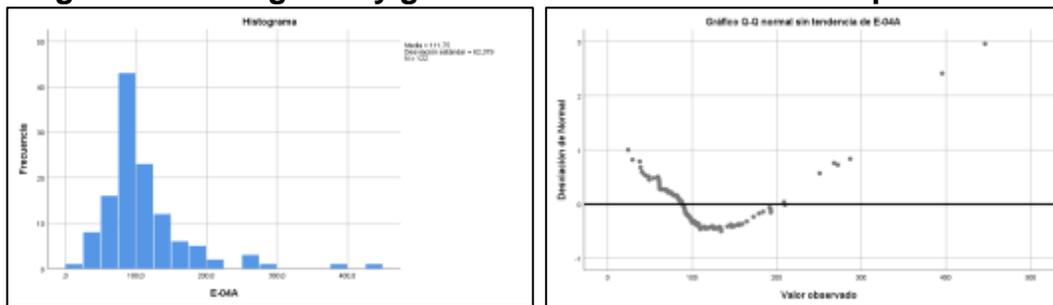
**Tabla 13. Prueba de normalidad para E-04A**

	Estadístico	gl	Sig.*
E-04A	,185	122	,000

\*Grado de significancia ( $p$ )

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 13. Histograma y gráfico de distribución normal para E-04A**



Fuente: Elaboración Propia.

**- Prueba de normalidad de la estación E-07**

Para la estación E-07, según la tabla 14, el valor de  $p$  es menor a 0.05. Asimismo, en la figura 14, se observa el histograma de forma asimétrica con una desviación estándar de 17.677 y una media de 42.67 y el gráfico de distribución normal no presenta tendencia, por lo tanto existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos de la E-07 no poseen una distribución normal.

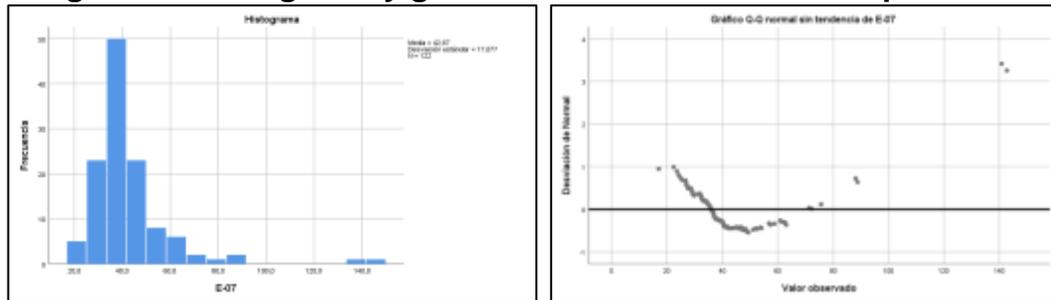
**Tabla 14. Prueba de normalidad para E-07**

	Estadístico	gl	Sig.*
E-07	,180	122	,000

\*Grado de significancia ( $p$ )

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 14. Histograma y gráfico de distribución normal para E-07**



Fuente: Elaboración Propia.

**- Prueba de normalidad de la variable temperatura**

Para la variable temperatura, según la tabla 15, el valor de  $p$  es menor a 0.05. Asimismo, en la figura 15, se observa el histograma de forma asimétrica con una desviación estándar de 2.952 y una media de 20.54 y el gráfico de distribución normal no presenta tendencia, por lo tanto existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos de temperatura no poseen una distribución normal.

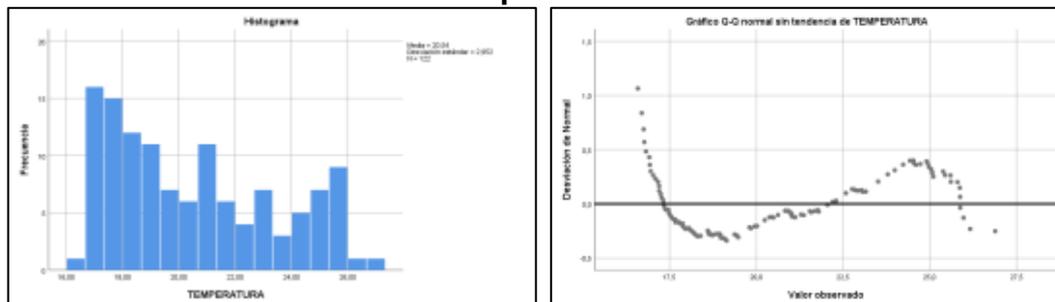
**Tabla 15. Prueba de normalidad para la variable temperatura**

	Estadístico	gl	Sig.*
TEMPERATURA	,132	122	,000

\*Grado de significancia ( $p$ )

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 15. Histograma y gráfico de distribución normal para la variable temperatura**



Fuente: Elaboración Propia.

**- Prueba de normalidad de la variable velocidad del viento**

Para la variable velocidad del viento, según la tabla 16, el valor de  $p$  es menor a 0.05. Asimismo, en la figura 16, se observa el histograma de forma asimétrica

con una desviación estándar de 1.045 y una media de 1.80 y el gráfico de distribución normal no presenta tendencia, por lo tanto existe evidencia estadística suficiente para afirmar que los datos de velocidad del viento no poseen una distribución normal.

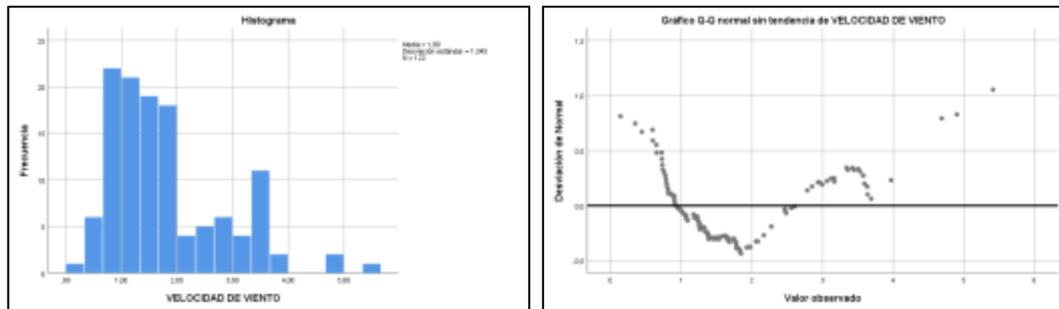
**Tabla 16. Prueba de normalidad para la variable velocidad del viento**

		Estadístico	gl	Sig.*
VELOCIDAD DE VIENTO	DE	,171	122	,000

\*Grado de significancia ( $\rho$ )

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 16. Histograma y gráfico de distribución normal para la variable velocidad del viento**



Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.6.2. Procesamiento estadístico

Se realizó el procesamiento de datos con la información contenida en los informes de monitoreo de calidad de aire. Se caracterizó los valores de concentración de partículas en suspensión  $PM_{10}$ , los datos meteorológicos de temperatura ambiental, velocidad y dirección de viento, en la ficha de registro de datos.

Para la correlación entre datos de concentración y parámetros meteorológicos se utilizó el coeficiente de correlación Rho de Spearman, por tratarse de variables cuantitativas continuas, presentar valores atípicos y no tener una distribución normal en dichas variables. (Lizama & Boccardo, 2014).

Para conocer el grado de asociación entre variables mediante el coeficiente de correlación Rho de Spearman existen rangos que varían desde -1.0 hasta +1.0,

interpretándose que los valores cercanos a  $\pm 1.0$  indican que existe una fuerte asociación entre las variables. Cuando el valor es 0.0 no existe correlación. En la tabla 17 se muestra el grado de relación según coeficiente de correlación. (Hernández & Fernández, 1998).

**Tabla 17. Grado de relación según coeficiente de correlación**

<b>RANGO</b>	<b>RELACION</b>
-0.91 a -1.00	Correlación negativa perfecta
-0.76 a -0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.51 a -0.75	Correlación negativa considerable
-0.11 a -0.50	Correlación negativa media
-0.01 a -0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación
+0.01 a +0.10	Correlación positiva débil
+0.11 a +0.50	Correlación positiva media
+0.51 a +0.75	Correlación positiva considerable
+0.76 a +0.90	Correlación positiva muy fuerte
+0.91 a +1.00	Correlación positiva perfecta

*Fuente: Hernández & Fernández (1998)*

Además se tuvo en consideración la significancia representado por el “valor p”. Cuando el valor de p es menor a 0.05, se concluye que existe una correlación significativa y real. (Hernández & Fernández, 1998).

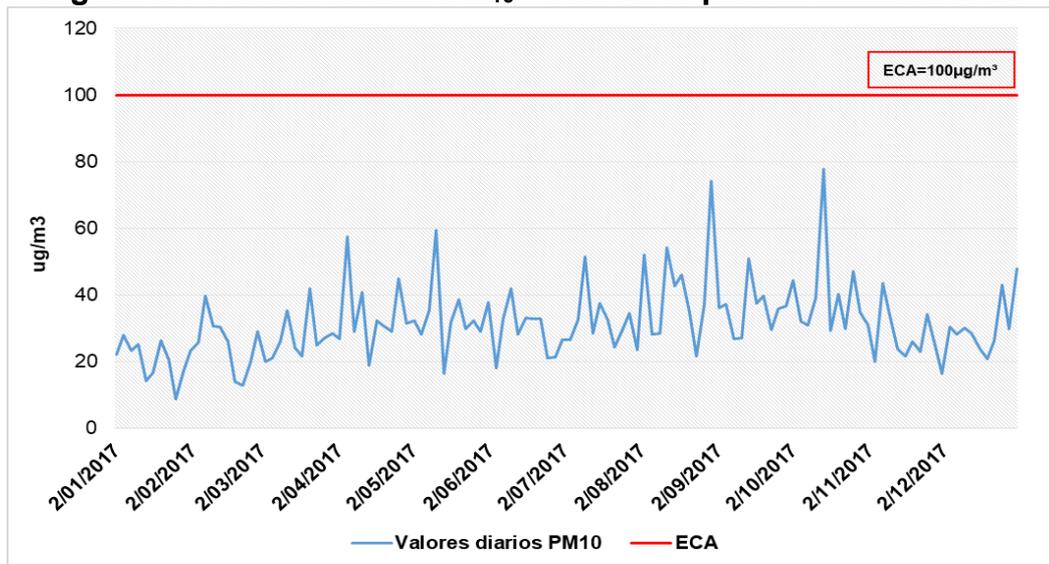
## V.RESULTADOS

### 5.1. Resultados descriptivos

#### 5.1.1. Comportamiento diario de partículas en suspensión PM<sub>10</sub>

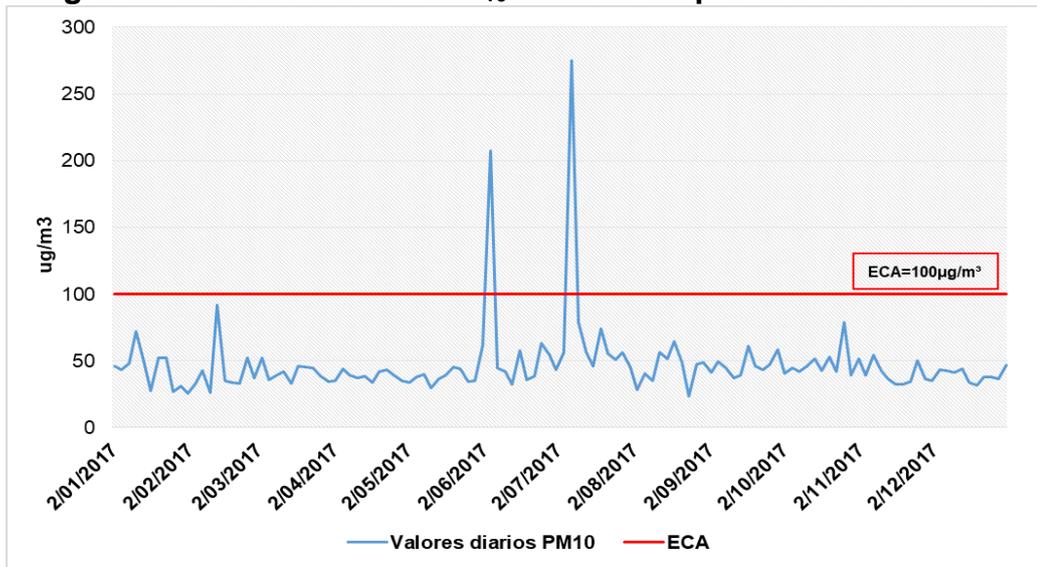
Se procesaron los valores de concentración de PM<sub>10</sub> de las cinco (05) estaciones de monitoreo ubicadas en la zona sur del Cercado del Callao. Los datos registrados corresponden a los meses de enero a diciembre del año 2017, dichos datos han sido comparados con la normativa nacional Estándares de Calidad Ambiental para Aire aprobada por el Ministerio del Ambiente, mediante D.S. N°003-2017-MINAM. En las Figuras 17, 18, 19, 20 y 21 se muestran los valores de concentración de PM<sub>10</sub> comparados con los ECA Aire.

**Figura 17. Valores diarios PM<sub>10</sub> – Año 2017 para la estación E-02**



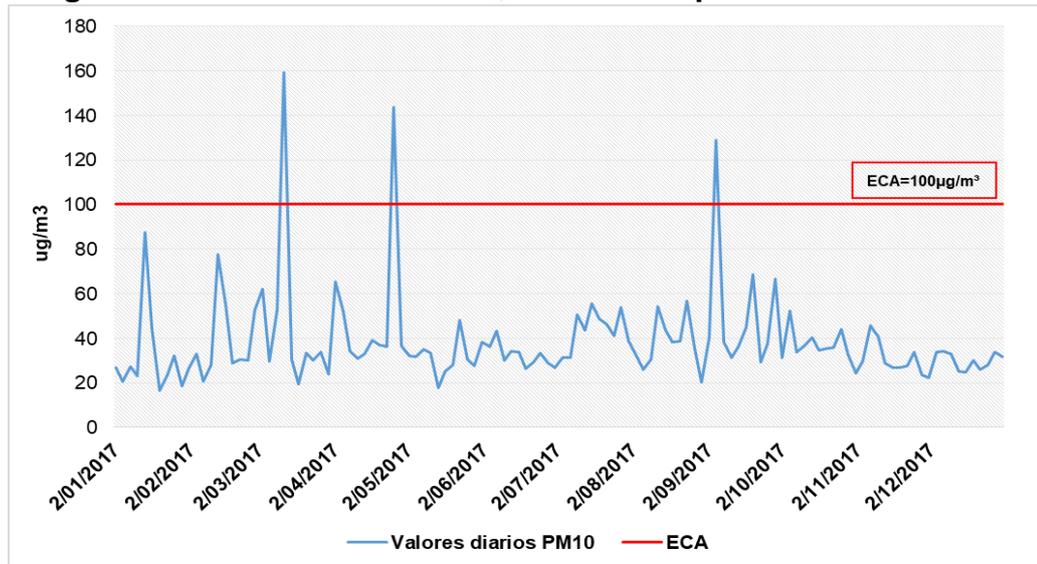
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 18. Valores diarios PM<sub>10</sub> – Año 2017 para la estación E-03**



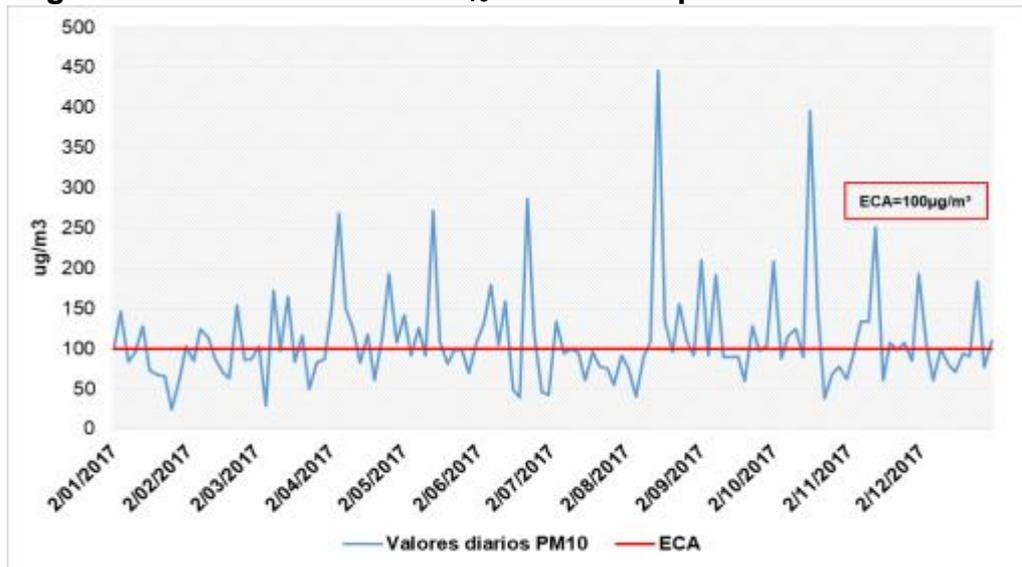
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 19. Valores diarios PM<sub>10</sub> – Año 2017 para la estación E-04**



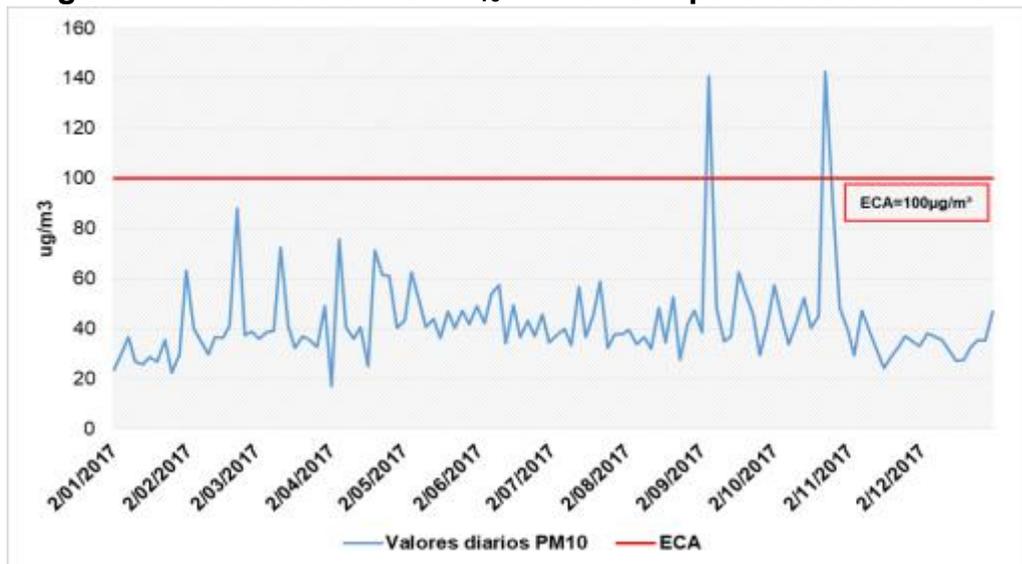
Fuente: Elaboración Propia

**Figura 20. Valores diarios PM<sub>10</sub> – Año 2017 para la estación E-04A**



Fuente: Elaboración Propia

**Figura 21. Valores diarios PM<sub>10</sub> – Año 2017 para la estación E-07**



Fuente: Elaboración Propia

Se verifica que la estación E-02 no supera los valores permitidos según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire; sin embargo, en las estaciones E-03, E-04 y E-07 se observa que el valor permitido excede en un máximo de tres (03) veces al año (Figuras 18, 19 y 21), no obstante, dichas estaciones no exceden las siete (07) veces permitidas en el año, según los



criterios de evaluación del ECA aire, cumpliendo con lo establecido en dicha normativa nacional.

En la estación E-04A, se observa que el valor ECA Aire es excedido en más de siete (07) veces, superando lo establecido en la normativa nacional. Los principales factores que influyen en las altas concentraciones de  $PM_{10}$  en dicha estación, se mencionan a continuación: (Ver Anexo 4. Panel Fotográfico).

- **Fuentes móviles:** En la intersección de las Av. Néstor Gambeta y Av. Atalaya se observa un elevado tránsito de vehículos menores y camiones de transporte de mineral, además del recorrido diario del tren que transporta mineral, el cual es descargado en almacenes que se localizan dentro del área de estudio.

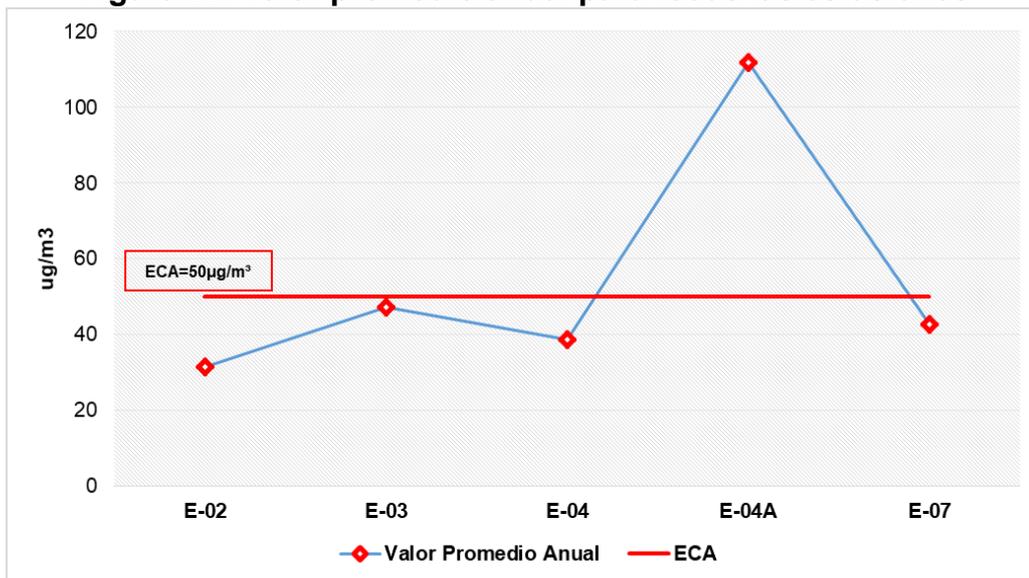
Este factor, genera la emisión de contaminantes, como el material particulado  $PM_{10}$ , parámetro en estudio.

- **Fuentes fijas:** Según la figura 9, en el área de estudio se observa que el 28.45% es de uso industrial. La estación E-04A se localiza en el área de mayor confluencia de industrias como almacenes de concentrado de mineral, almacenes de hidrocarburos y metalmecánicas.

### 5.1.2. Comportamiento anual de partículas en suspensión $PM_{10}$

En la Figura 22, se observa que el valor promedio anual de concentración de  $PM_{10}$  para la estación E-04A supera los Estándares de Calidad Ambiental para Aire ( $50 \mu g/m^3$ ). En cuanto a las estaciones E-02, E-03, E-04 y E-07 la concentración promedio anual de  $PM_{10}$ , no supera lo establecido en el ECA Aire según la normativa nacional (D.S. N° 003-2017-MINAM).

**Figura 22. Valor promedio anual para todas las estaciones**



Fuente: Elaboración Propia

## 5.2. Resultados inferenciales

### 5.2.1. Comportamiento de las variables meteorológicas

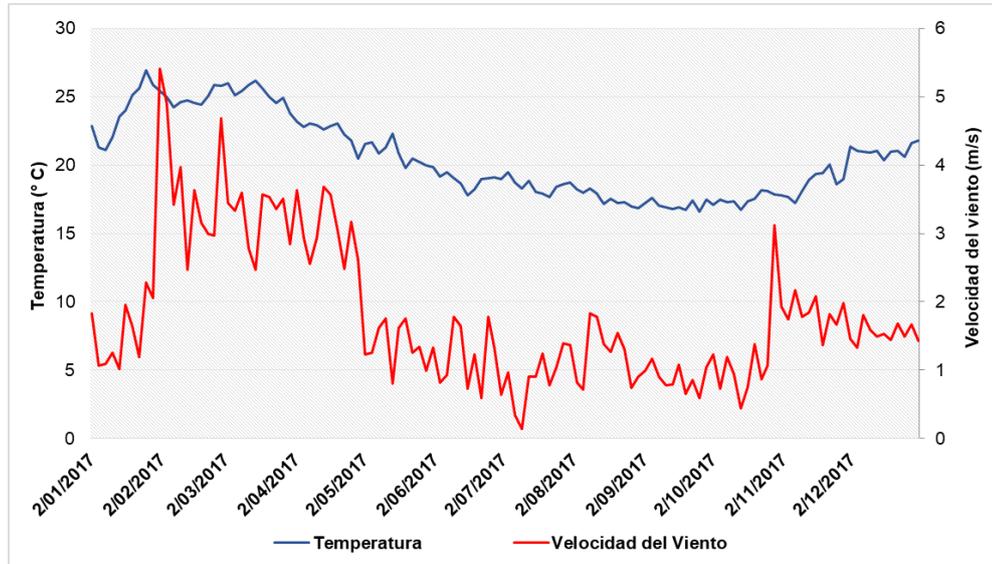
En el presente ítem, se visualiza el comportamiento de las partículas en suspensión en relación a las variables meteorológicas (temperatura del aire y velocidad del viento).

Los datos de las variables meteorológicas que se muestran en la Figura 23 pertenecen a la estación IGA-03, ubicada cerca al AA.HH Ramón Castilla y cruce de las avenidas Néstor Gambeta y Atalaya.

Se observa una relación directa entre las variables meteorológicas (temperatura del aire y velocidad del viento); asimismo, según las Tablas 19, 20, 21, 22 y 23 de correlación Rho de Spearman, se visualiza un grado de relación positiva considerable entre dichas variables.

Por lo tanto, se afirma la relación directa existente entre la temperatura del aire y la velocidad del viento.

**Figura 23. Temperatura vs velocidad del viento  
Estación IGA-03**

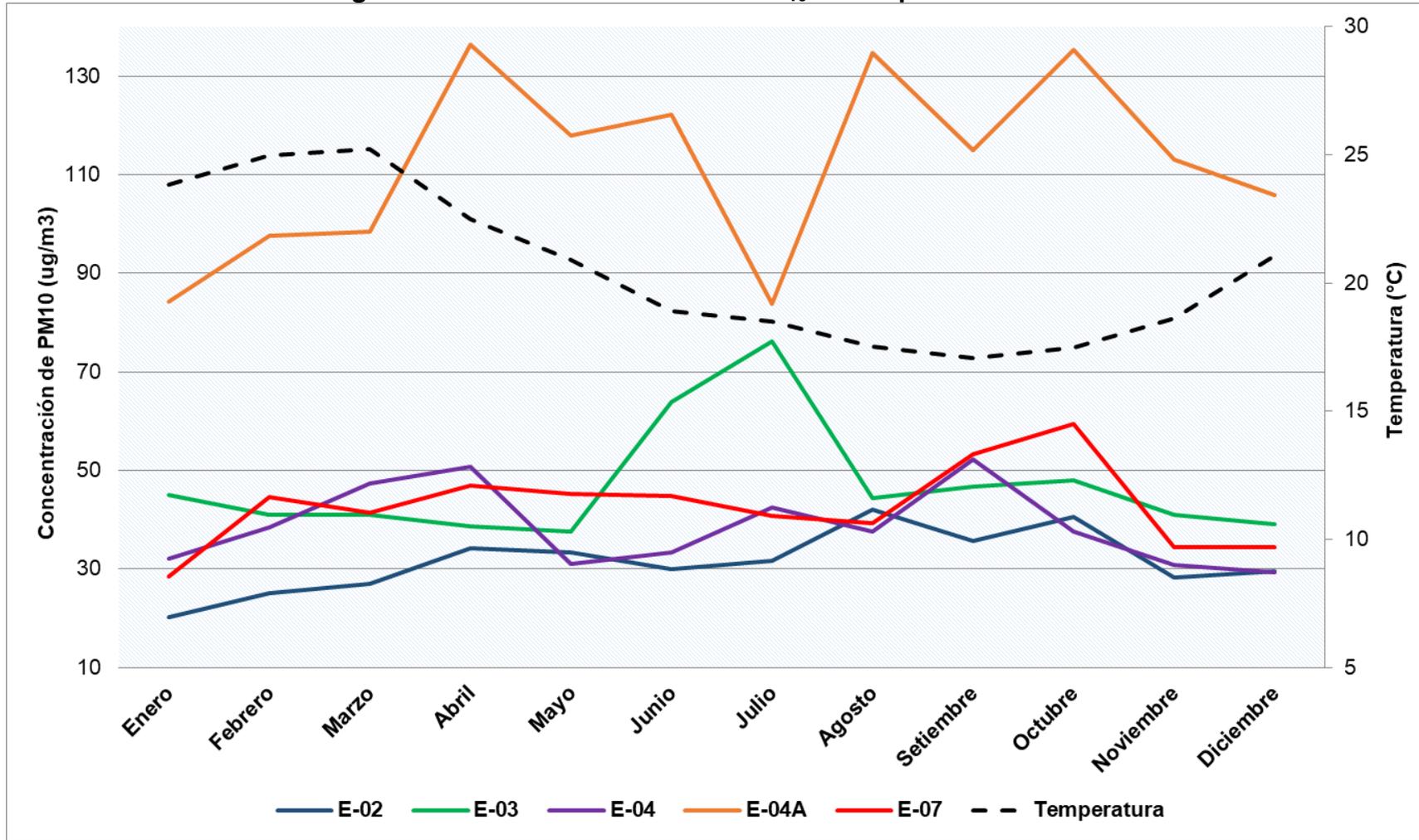


Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.2. Comportamiento de partículas en suspensión $PM_{10}$ en relación a las variables meteorológicas

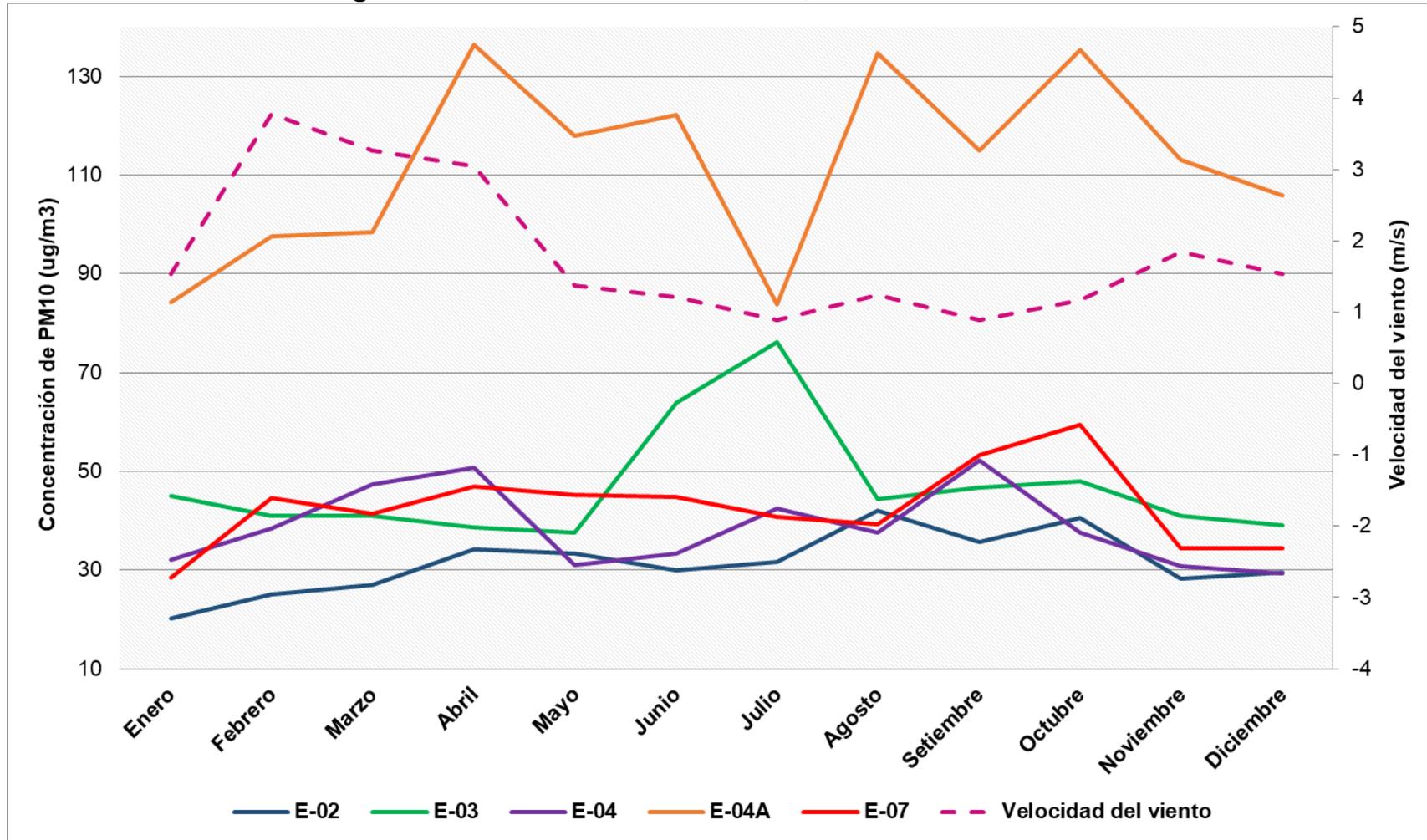
A continuación, se muestra las Figuras 24 y 25 en las cuales se presenta la relación entre la concentración de  $PM_{10}$  y las variables meteorológicas (temperatura del aire y velocidad del viento), durante el año 2017.

Figura 24. Variación mensual del PM<sub>10</sub> vs temperatura del aire



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25. Variación mensual del PM<sub>10</sub> vs velocidad del viento



Fuente: Elaboración Propia

Según las Figuras 24 y 25, las variables meteorológicas muestran un comportamiento indirecto en relación a la concentración de partículas en suspensión  $PM_{10}$ , es decir, que a medida que la temperatura y la velocidad del viento disminuyen, se observa un incremento en la concentración de  $PM_{10}$ , esto se corrobora con las Tablas 19, 20, 21, 22 y 23 de correlación Rho de Spearman, en las cuales se observa que las estaciones E-02, E-03 y E-07 presentan una correlación negativa media con un nivel de significancia menor a 0.05, con respecto a la estación E-04, se presenta una correlación negativa débil con un nivel de significancia menor a 0.05 y para la estación E-04A, no existe correlación entre las variables meteorológicas y la concentración de  $PM_{10}$ , debido a que el nivel de significancia es mayor a 0.05.

### 5.2.3. Distribución Espacial de las partículas en suspensión $PM_{10}$

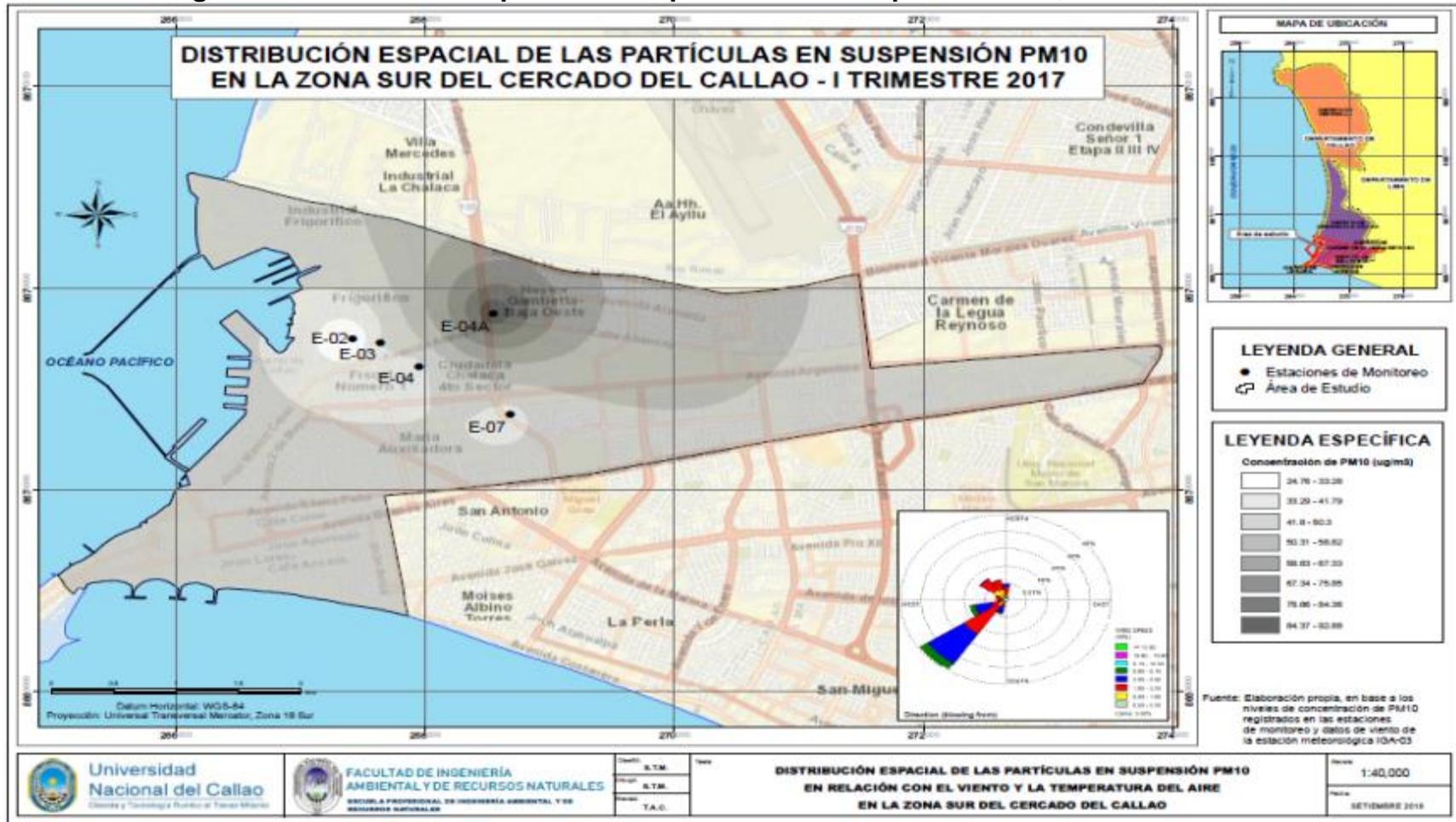
En el presente ítem, se muestran las Figuras 26, 27, 28 y 29, las cuales muestran la distribución espacial de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  con los valores de concentración de la media trimestral, correspondiente al año 2017, para la zona sur del Cercado del Callao.

**Tabla 18. Concentración media trimestral de  $PM_{10}$**

Código	Descripción	Concentración media trimestral de $PM_{10}$ ( $\mu g/m^3$ )			
		I Trim	II Trim	III Trim	IV Trim
E-02	Mz. E-5 Lote 1 AA.HH. Puerto Nuevo	24.37	32.5	36.45	32.79
E-03	Colegio "María Reiche" Av. Contralmirante Mora N°420	42.32	46.72	55.77	42.71
E-04	Calle Villa Rica N° 235/239 Urb. Santa Marina 2da. Etapa	39.28	38.36	44.11	32.58
E-07	Av. Alfredo Palacios N° 698 Urb. Centenario	38.11	45.64	44.49	42.77
E-04 A	Ubicada al este del Almacén 1, muy cerca del AA.HH. Ramón Castilla y el cruce de las Avenidas Gambeta y Atalaya	93.45	122.17	111.16	118.04

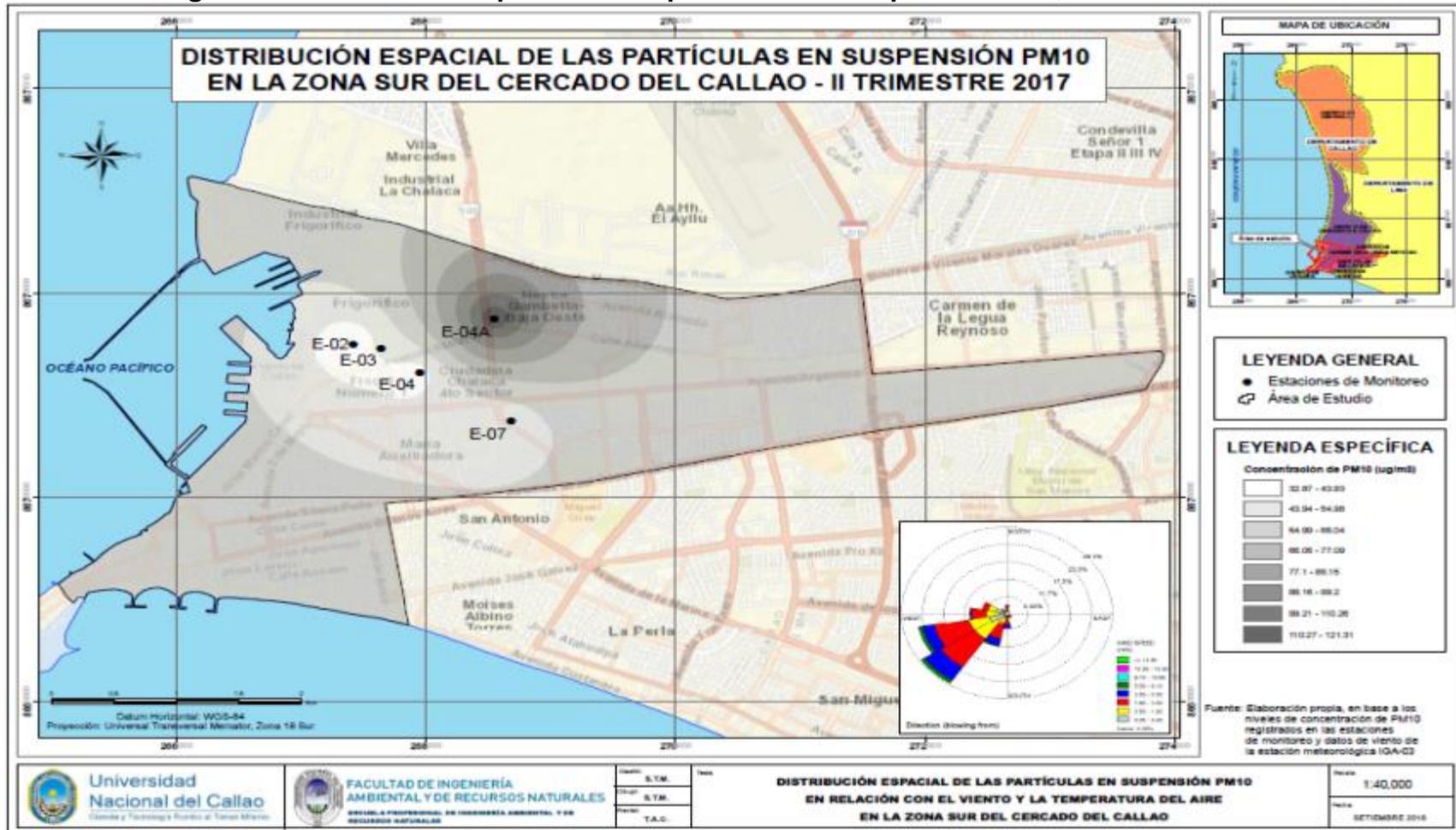
Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Distribución espacial de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  – I Trimestre 2017



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Distribución espacial de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> – II Trimestre 2017



Fuente: Elaboración propia

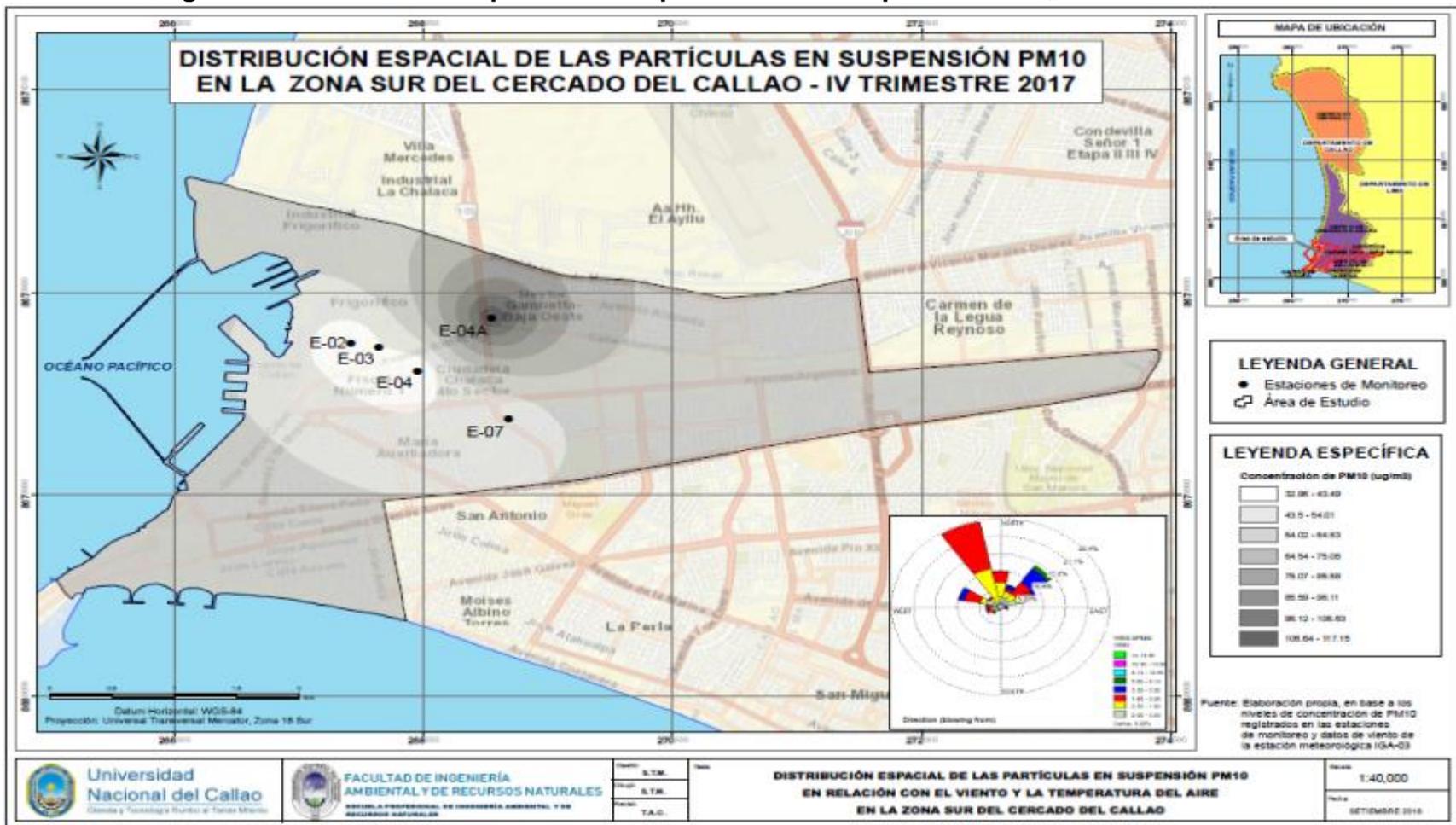


Figura 28. Distribución espacial de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> – III Trimestre 2017



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Distribución espacial de las partículas en suspensión  $PM_{10}$  – IV Trimestre 2017



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la velocidad del viento promedio en los meses de abril, mayo y junio, se encuentra comprendida entre 1.6 y 3.5 m/s con una dirección predominante de Suroeste (SW) y en los meses de julio, agosto y setiembre, la velocidad del viento oscila entre 0.0 y 0.5 m/s con una dirección predominante Norte (N). Además, se observa que en los meses de enero, febrero y marzo, la velocidad oscila entre 3.5 y 5.6 m/s con una dirección predominante Suroeste (SW); con respecto a los meses de octubre, noviembre y diciembre, la dirección predominante es Nornoroeste (NNW) con una velocidad promedio comprendida entre 1.6 y 3.5 m/s. (Ver Figura 26, 27, 28 y 29).

Asimismo, se observa que las concentraciones más altas de  $PM_{10}$  se presentan en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre, los cuales son los meses más fríos del año. Por otro lado las concentraciones más bajas de  $PM_{10}$  se presentan en octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, donde los meses son más cálidos.

A lo largo del año, el comportamiento de la concentración de las partículas  $PM_{10}$  se presenta con una menor dispersión del contaminante, debido a que la velocidad es escasa, oscilando entre 0.0 y 5.6 m/s cuya dirección predominante proviene del Suroeste y la intensidad del viento está representada entre calma y pequeña brisa (según Escala Beaufort), dicha velocidad no alcanza a modificar de manera significativa la distribución del  $PM_{10}$ , el cual se concentra en el lado Noreste del área de estudio. (Ver Figura 26, 27, 28 y 29).

En general, las características descritas muestran la influencia de las variables meteorológicas en la distribución espacial de las partículas en suspensión presentes en el área de estudio.

En el lado Noreste del área de estudio, además de la influencia de las variables descritas, se presentan otros factores que influyen en la acumulación del  $PM_{10}$ , tales como fuentes móviles (tránsito de vehículos menores y camiones y

recorrido diario del tren) y fuentes fijas (metalmecánicas, almacenes de concentrados de mineral e hidrocarburos, entre otros).

## VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Para el análisis de contrastación de hipótesis con los resultados, tal como se explicó en el capítulo IV, se utilizó el procedimiento estadístico rho de Spearman, con un nivel de significancia de 0.01 (1%); para ello se empleó el software estadístico IBM SPSS Statistics Versión 25.

#### Hipótesis General:

H<sub>0</sub>: El viento y la temperatura del aire no influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> en la Zona Sur – Cercado del Callao para el año 2017.

H<sub>1</sub>: El viento y la temperatura del aire influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> en la Zona Sur – Cercado del Callao para el año 2017.

**Tabla 19. Correlación rho de Spearman – Estación E-02**

		Concentración de PM10	Velocidad de Viento	Temperatura Ambiental
Concentración de PM10	Coefficiente de correlación	1,000	-,267**	-,483**
	Sig. (bilateral)	.	,003	,000
	N	122	122	122
Velocidad de Viento	Coefficiente de correlación	-,267**	1,000	,685**
	Sig. (bilateral)	,003	.	,000
	N	122	122	122
Temperatura Ambiental	Coefficiente de correlación	-,483**	,685**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.
	N	122	122	122

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

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 19 de la estación E-02, se aprecia que el grado de correlación entre la variable concentración de PM<sub>10</sub> y velocidad de viento es de -0.267; en el caso de la variable concentración de PM<sub>10</sub> y temperatura del aire es -0.483, con una significancia menor a 0.05 ( $\rho < 0.05$ ). En ambos casos, se obtiene un

grado de correlación negativa media. *Ver Tabla 17. Grado de relación según coeficiente de correlación.*

Por lo tanto, para la estación E-02, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis planteada; en consecuencia las variables meteorológicas influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión.

**Tabla 20. Correlación rho de Spearman – Estación E-03**

		Concentración de PM10	Velocidad de Viento	Temperatura Ambiental
Concentración de PM10	Coeficiente de correlación	1,000	-,399**	-,347**
	Sig. (bilateral)	.	,000	,000
	N	122	122	122
Velocidad de Viento	Coeficiente de correlación	-,399**	1,000	,685**
	Sig. (bilateral)	,000	.	,000
	N	122	122	122
Temperatura Ambiental	Coeficiente de correlación	-,347**	,685**	1,000
	Sig. (bilateral)	,000	,000	.
	N	122	122	122

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

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 20 de la estación E-03, se aprecia que el grado de correlación entre la variable concentración de PM<sub>10</sub> y velocidad de viento es de -0.399; en el caso de la variable concentración de PM<sub>10</sub> y temperatura del aire es -0.347, con una significancia menor a 0.05 ( $\rho < 0.05$ ). En ambos casos, se obtiene un grado de correlación negativa media. *Ver Tabla 17. Grado de relación según coeficiente de correlación.*

Por lo tanto, para la estación E-03, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis planteada; en consecuencia las variables meteorológicas influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión.

**Tabla 21. Correlación rho de Spearman – Estación E-04**

		Concentración de PM10	Velocidad de Viento	Temperatura Ambiental
Concentración de PM10	Coefficiente de correlación	1,000	-,080*	-,242**
	Sig. (bilateral)	.	,030	,007
	N	122	122	122
Velocidad de Viento	Coefficiente de correlación	-,080*	1,000	,693**
	Sig. (bilateral)	,030	.	,000
	N	122	122	122
Temperatura Ambiental	Coefficiente de correlación	-,242**	,693**	1,000
	Sig. (bilateral)	,007	,000	.
	N	122	122	122

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

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

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 21 de la estación E-04, se aprecia que el grado de correlación entre la variable concentración de PM<sub>10</sub> y velocidad de viento es de -0.080, con un grado de correlación negativa débil; en el caso de la variable concentración de PM<sub>10</sub> y temperatura del aire es -0.242, con un grado de correlación negativa media. En ambos casos, se obtiene una significancia menor a 0.05 ( $p < 0.05$ ). Ver Tabla 17. Grado de relación según coeficiente de correlación.

Por lo tanto, para la estación E-04, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis planteada; en consecuencia las variables meteorológicas influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión.

**Tabla 22. Correlación rho de Spearman – Estación E-04A**

		Concentración de PM10	Velocidad de Viento	Temperatura Ambiental
Concentración de PM10	Coefficiente de correlación	1,000	-,006	-,083
	Sig. (bilateral)	.	,944	,364
	N	122	122	122
Velocidad de Viento	Coefficiente de correlación	-,006	1,000	,693**
	Sig. (bilateral)	,944	.	,000
	N	122	122	122
Temperatura Ambiental	Coefficiente de correlación	-,083	,693**	1,000

	Concentración de PM10	Velocidad de Viento	Temperatura Ambiental
Sig. (bilateral)	,364	,000	.
N	122	122	122

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

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 22 de la estación E-04A, se aprecia que el grado de correlación entre la variable concentración de PM<sub>10</sub> y velocidad de viento es de -0.006, con lo cual no existe correlación entre dichas variables; en el caso de la variable concentración de PM<sub>10</sub> y temperatura del aire es -0.083, con un grado de correlación negativa débil. En ambos casos, se obtiene una significancia mayor a 0.05 ( $p < 0.05$ ). Ver Tabla 17. Grado de relación según coeficiente de correlación.

Por lo tanto, para la estación E-04A, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis planteada; en consecuencia las variables meteorológicas no influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión.

**Tabla 23. Correlación rho de Spearman – Estación E-07**

		Concentración de PM10	Velocidad de Viento	Temperatura Ambiental
Concentración de PM10	Coefficiente de correlación	1,000	-,153 <sup>*</sup>	-,221 <sup>*</sup>
	Sig. (bilateral)	.	,046	,014
	N	122	122	122
Velocidad de Viento	Coefficiente de correlación	-,153 <sup>*</sup>	1,000	,695 <sup>**</sup>
	Sig. (bilateral)	,046	.	,000
	N	122	122	122
Temperatura Ambiental	Coefficiente de correlación	-,221 <sup>*</sup>	,695 <sup>**</sup>	1,000
	Sig. (bilateral)	,014	,000	.
	N	122	122	122

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

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

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 23 de la estación E-07, se aprecia que el grado de correlación entre la variable concentración de PM<sub>10</sub> y velocidad de viento es de -0.153, con un grado de correlación negativa media; en el caso de la variable concentración de PM<sub>10</sub> y temperatura del aire es -0.221, con un grado de correlación negativa



media. En ambos casos, se obtiene una significancia menor a 0.05 ( $p < 0.05$ ). Ver Tabla 17. Grado de relación según coeficiente de correlación.

Por lo tanto, para la estación E-07, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis planteada; en consecuencia las variables meteorológicas influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión.

En resumen, según los objetivos planteados, se afirma que en las estaciones E-2, E-03, E-04 y E-07 (ver tablas 19, 20, 21 y 23) existe una relación indirecta de la concentración de partículas en suspensión  $PM_{10}$  con las variables meteorológicas (viento y temperatura del aire). Con respecto a la estación E-04A (ver tabla 22), se afirma que no existe relación.

## **6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares**

Con respecto a la variable velocidad del viento, se registra una velocidad escasa que oscila entre 0.0 y 5.6 m/s con una dirección que proviene del Suroeste, dicha velocidad no influye significativamente en la distribución de las partículas en suspensión en el área de estudio; según resultados de Herrera, al igual que en la presente investigación, el viento influye de manera poco favorable en la dispersión del contaminante.

La mayor concentración de material particulado en el aire, en el presente trabajo de investigación, se concentra en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre (meses fríos); otras experiencias como los estudios realizados por Opazo y Pacsi, concluyen el mismo resultado.

La investigación realizada por Vásquez en el Centro Poblado de Champamarca (Pasco), concluye que, existe una relación inversa entre los factores climatológicos (temperatura y velocidad de viento) y la contaminación por material particulado  $PM_{10}$ , similar resultado es el obtenido por la presente investigación.

En China, según la investigación de Li, la fuerte velocidad del viento favoreció la dispersión de la concentración de material particulado, asimismo, la alta temperatura favoreció la acumulación de dicho material en la capa límite, observándose una eficiente dispersión de contaminantes en otoño e invierno, lo que lleva una relación inversa entre las variables meteorológicas y la concentración de material particulado; en ese sentido, la presente investigación obtuvo un resultado similar. Es importante mencionar, que las zonas de estudio presentan características particulares o propias del lugar.

### **6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes**

El presente trabajo de investigación fue elaborado en estricto cumplimiento de las normas vigentes establecidas por la Universidad Nacional del Callo, así como las normas internacionales respecto a las citas bibliográficas. Asimismo, los datos presentados en la presente tesis son confiables y veraces; por otro lado, los análisis estadísticos presentados en la presente tesis fueron desarrollados en el programa estadístico SPSS Versión 25, siguiendo las metodologías de Kolmogorov Smirnov y Rho de Spearman.

En ese sentido, la presente tesis se ha elaborado con estricto rigor científico, garantizando la validez y fiabilidad de la información, los métodos empleados, fuentes y datos.

## CONCLUSIONES

- Mediante el método kriging se realizó distribución espacial de las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> y se obtuvo que los datos procesados se concentran principalmente en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y setiembre. En general, se observa que el comportamiento de PM<sub>10</sub>, presenta una menor dispersión a lo largo del año, esto se debe a la escasa velocidad presente en el área de estudio (0.0 – 5.6 m/s), por lo que la velocidad no alcanza a modificar de manera significativa la distribución del PM<sub>10</sub>.
- Con respecto a la relación entre las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> y el viento, mediante el análisis del coeficiente de correlación Rho de Spearman se obtuvo un grado de correlación negativa débil a media en las estaciones E-02, E-03, E-04 y E-07, lo cual indica un comportamiento inverso entre el viento y PM<sub>10</sub> con un nivel de significancia menor a 0.05 ( $\rho < 0.05$ ). Sin embargo, para la estación E-04A, el nivel de significancia es mayor a 0.05 ( $\rho > 0.05$ ), con este resultado podemos afirmar que en dicha estación no existe correlación entre el viento y PM<sub>10</sub>, esto se debe a que en dicha estación se presenta altas concentraciones de PM<sub>10</sub>, debido a la influencia de fuentes móviles (tránsito de vehículos menores y camiones, recorrido diario del tren que transporta minerales) y fuentes fijas (metalmeccánicas y almacenes de concentrados de mineral e hidrocarburos).
- Con respecto a la relación entre las partículas en suspensión PM<sub>10</sub> y la temperatura del aire, mediante el análisis del coeficiente de correlación Rho de Spearman se obtuvo un grado de correlación negativa débil a media en las estaciones E-02, E-03, E-04 y E-07, lo cual indica un comportamiento inverso entre la temperatura y PM<sub>10</sub> con un nivel de significancia menor a 0.05 ( $\rho < 0.05$ ). Sin embargo, para la estación E-04A, el nivel de significancia es mayor a 0.05 ( $\rho > 0.05$ ), con este resultado podemos afirmar que en dicha estación no existe correlación entre la temperatura del aire y PM<sub>10</sub>, esto se

debe a que en dicha estación se presenta altas concentraciones de  $PM_{10}$ , debido a la influencia de fuentes móviles y fijas.

## RECOMENDACIONES

- Para estudios de mayor envergadura, se recomienda aplicar la metodología descrita en la presente investigación, utilizando los datos de las estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) a fin de conocer como es la distribución de material particulado a nivel nacional, la cual puede ser considerada como una herramienta que ayude en la toma de decisiones de las autoridades pertinentes.
- En la Región Callao, se recomienda efectuar medidas de prevención, mitigación y control de la calidad del aire, esto por la alta influencia de factores como tránsito vehicular, emplazamiento industrial, entre otros, que influyen en la contaminación del medio atmosférico. Estas acciones deben ser realizadas con la participación activa de los actores involucrados (gobierno regional y local, instituciones, organizaciones, población y otros).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A. (2004). **Geografía general** (2 ed.). México: Pearson Educación.
- Andrades, M. & Múñez, C. (2012). **Fundamentos de Climatología**. España: Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones.
- Aragón, A. (2011). **¿Como son las Partículas Atmosféricas Antropogénicas y cuál es su relación con los diversos tipos de fuentes contaminantes?** México: Groppe Libros.
- Arciniégas, C. (2012). **Diagnóstico y Control de Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales Y Fracción Respirable PM<sub>10</sub>**. Luna Azul, 195-213.
- ArcGIS. (2018). **Como funciona Kriging**. Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>. Artículo web. Consultada el 21 de agosto del 2018.
- Bayas, K. (2017). **Distribución Espacial y Multitemporal de Material Particulado, en los campus Universitarios de la UNACH de la Ciudad de Riobamba**. Tesis de pregrado. Riobamba. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Calvo, D; Molina, T. & Salvachúa, J. (2009). **Ciencias de la Tierra y Medioambientales**. España: MCGRAW-HILL.
- Caminos, J; Enrique, C; Ghirardi, R; Graizaro, A; Rusillo, S; Pacheco, C. (2007) **Calidad de aire en la ciudad de Santa Fe**. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina.
- Casas, C. & Alarcón, M. (1999). **Metereología y clima** (1 ed.). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Camones, E. & Hinostraza, N. (2016). **Análisis Predictivo de la Temperatura en función a la Humedad Relativa y el Viento mediante el Modelo de Vectores Autorregresivos en la Estación Meteorológica de la UNASAM 2016**. Tesis de pregrado. Huaraz. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Comité de Gestión Iniciativa Aire Limpio Lima - Callao. (2010). **II Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima - Callao PISA 2011-2015**.
- Contreras, A; García, G. & Icaza, B. (2013). **Calidad del Aire: Una práctica de vida**. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Corporación Andina de Fomento (CAF). 2010. **“Estudio del Impacto Vial en la Red Metropolitana de Lima y Callao por el Flujo de Carga del Puerto, Aeropuerto y Zona de Actividad Logística”**. Perú: Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú.
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). 2005. **“Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de Datos”**
- Editex. (2015). **Geografía e Historia 1º ESO**. España: Santillana Educación.
- Enciclopedia Colaborativa en la Red Cubana ECURED. **Viento**. Disponible en: <http://www.ecured.cu/index.php/Viento>. Artículo web. Consultada el 4 de octubre del 2017.
- Gallego, A; Gonzáles, I; Sanchez, B; Fernández, P; Garcinuño, R; Bravo, J. & Durand, J. (2012). **Contaminación atmosférica**. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Gandía, S. & Meliá, J. (1991). **La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales**. Valencia: Ecir.
- Gangoiti, G.; Millán, M; Salvador, R. & Mantilla, E. (2001). **Long-range transport and recirculation of pollutants in the western Mediterranean during the project regional**. Atmospheric Environment, 6267-6276.
- Hernández, R. & Fernández, C. (1998). **Metodología de la Investigación**. México: McGraw-Hill.
- Herrera, S. (2011). **Distribución Espacial Vertical de las Partículas en Suspensión PM<sub>10</sub> del Medio Atmosférico Urbano en Segunda Jerusalén-Rioja-San Martín-Perú**. Tesis maestría. Moyobamba. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Inche, L. (2004). **Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones**. Lima: Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). **Provincia Constitucional del Callao alberga a cerca de un millón de habitantes**. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/provincia-constitucional-del-callao-alberga-a-cerca-de-un-millon-de-habitantes-7689/>. Artículo web. Consultada el 26 de octubre del 2017.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA). (1986). **La Presión Atmosférica, Los Vientos y la Humedad Relativa**. Presencia, 1-4.

- La República. **Lima es la segunda capital más contaminada de América Latina**. Disponible en: <http://larepublica.pe/sociedad/767293-lima-es-la-segunda-capital-mas-contaminada-de-america-latina>. Artículo web. Consultada el 31 de octubre del 2017.
- Li, X., Ma Y., Wang Y., Liu N., Hong Y. (2017). **Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China**. Atmospheric Research, 185-193.
- Lizama, P. & Boccoardo, G. (2014). **Guía de Asociación entre variables (Pearson y Spearman en SPSS)**. Chile. Universidad de Chile.
- Manley, G. (1958). **On the frequency of snowfall in metropolitan England**. Quarterly of Journal of the Royal Meteorological Society. 84: 70-72.
- Ministerio del Ambiente. 2017. **"Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias"** (D.S. N° 003-2017-MINAM)
- Ministerio del Ambiente MINAM. 2012. **Glosario de Términos para la Formulación de Proyectos Ambientales**.
- Ministerio del Ambiente MINAM. 2016. **Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014**.
- Ministerio del Ambiente MINAM. 2017. **Glosario de Términos**. Disponible en: <http://infoaire.minam.gob.pe/INFOAIRE/glosario-terminos>. Artículo web. Consultada el 01 de noviembre del 2017.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVT (18 de Octubre de 2010). **PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE**. Obtenido de [http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/docs/12-3-2012-0-8-52-396-1-1Manual de dise%F1o de sistemas de vigilancia de Calidad del Aire.pdf](http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/docs/12-3-2012-0-8-52-396-1-1Manual%20de%20dise%F1o%20de%20sistemas%20de%20vigilancia%20de%20Calidad%20del%20Aire.pdf)
- Ministerio De Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente Del Gobierno de España (MAPAMA). **Partículas PM<sub>10</sub>**. Disponible en: <http://www.prtr.es/es/Particulas-PM10,15673,11,2007.html>. Artículo web. Consultada el 20 de octubre del 2017.
- Molina M. **Efectos de los tipos de urbanización asociados al crecimiento urbano del área Metropolitana del Gran Santiago sobre el comportamiento y generación de micro islas de calor**. Tesis de pregrado. Universidad de Chile. Santiago. 2007.



Municipalidad Provincial del Callao. **Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia Constitucional del Callao 2011 - 2022**. Disponible en: <http://www.municallao.gob.pe/contenidosMPC/transparencia/plan-desarrollo-urbano-2011.html>. Artículo web. Consultada el 31 de octubre del 2017.

Opazo, D. (2011). **Distribución Espacial de la Contaminación por Material Particulado y su Relación con las Temperaturas del Aire y los Vientos en Santiago para el Año 2009**. Tesis de pregrado. Santiago. Universidad de Chile.

Organización de las Naciones Unidas ONU. 1997. **Glosario de estadísticas del medio ambiente**.

Pacsi, S. (2016). **Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> en Lima Metropolitana**. Anales Científicos. 273-283.

Palacios, A., & América, L. (1997). **Introducción a la toxicología Ambiental**. En J. Flores Rodríguez, Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios (págs. 47-123). México: REPIDISCA.

Peñaherrera, C. (1996). **Síntesis Geográfica del Perú**. Rio de Janeiro: Instituto Pan-Americano de Geografía e Historia.

Pérez, M; García, M. & Guerra, A. (2003). **Análisis del clima urbano a partir de imágenes satelitales en el centro peninsular español**. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. 187-206.

Rivera, J. (2012). **Modelo de Identificación de Factores Contaminantes Atmosféricos críticos en Lima-Callao**. Tesis maestría. Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Rodríguez, R; Benito, Á. & Portela, A. (2004). **Metereología y Climatología**. España: FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología).

Romero, H., Molina, M. (2007). **Relaciones espaciales entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile**. Anales de la Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas. 223-230.

Sánchez, J. (1990). **Análisis de Algunas Variables Meteorológicas y su Área de Influencia, en Ciudad Universitaria, D.F., durante el Período 1963 a 1983**. Tesis de pregrado. México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Estado de Jalisco. **Inversión Térmica**. Disponible en:

[http://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/inversion\\_termica.pdf](http://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/inversion_termica.pdf). Artículo web. Consultada el 10 de octubre del 2017.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2017). **Boletín Mensual de la Vigilancia de la Calidad del Aire Lima Metropolitana.**

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2016). **Popularización de la meteorología en la educación básica.**

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Capítulo 3: **La Temperatura.** Disponible en: [www.senamhi.gob.pe/main\\_down.php?ub=mmt&id=cap3](http://www.senamhi.gob.pe/main_down.php?ub=mmt&id=cap3). Artículo web. Consultada el 15 de octubre del 2017.

Sierra, M. (2006). **Establecer la Asociación existente entre las Variables Meteorológicas Temperatura, Velocidad del Viento y Precipitación y las Concentraciones de PM<sub>10</sub> registradas en la Red de Calidad del Aire de Bogotá D.C.** Tesis de pregrado. Bogotá. Universidad de la Salle.

Silva, J. & Montoya, Z. **SENAMHI.** Obtenido de [http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Art\\_imvContaminacion.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pdf/Art_imvContaminacion.pdf). Artículo web. Consultada el 12 de octubre del 2017.

Spedding. (2002). **Contaminación atmosférica.** España: REVERTÉ S.A.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **Particulate Matter (PM) Basics.** Disponible en: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>. Artículo web. Consultada el 8 de octubre del 2017.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). **40 CFR (Code of Federal Regulations), Part 58 Appendix D. Washington, D.C.: Protection of the Environment. National Archives and Records Administration, 1994.**

Universidad de la Republica (UDELAR). Facultad de Ciencias. **Balance de Energía.** Disponible en: [http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico\\_climatologia\\_2010/Tema4.pdf](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico_climatologia_2010/Tema4.pdf). Consultada el 24 de octubre del 2017.

Vásquez, A. (2018). **Contaminación atmosférica por PM<sub>10</sub> y su relación con variables climatológicas en el Centro Poblado de Champamarca, departamento de Pasco, 2018.** Tesis de pregrado. Perú. Universidad César Vallejo.

Villarrubia, M. (2004). **Energía Eólica.** Barcelona: Ediciones Ceac.

## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

<b>DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM<sub>10</sub> EN RELACIÓN AL VIENTO Y LA TEMPERATURA DEL AIRE EN LA ZONA SUR – CERCADO DEL CALLAO</b>						
<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Operacionalización de las Variables</b>			<b>Metodología</b>
			<b>Variable</b>	<b>Indicadores</b>		
<b>General</b>	<b>General</b>	<b>General</b>	<b>Independiente X</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad</b>	
¿Cómo se distribuyen las partículas en suspensión PM <sub>10</sub> en relación al viento y la temperatura del aire en la Zona Sur – Cercado del Callao para el año 2017?	Evaluar la distribución espacial de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub> en relación al viento y la temperatura del aire en la Zona Sur – Cercado del Callao para el año 2017	El viento y la temperatura del aire influyen en la distribución espacial de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub> en la Zona Sur – Cercado del Callao para el año 2017	El viento y la temperatura del aire	Velocidad del viento semanal y mensual	m/s	Análisis Cuantitativa - Correlacional
				Temperatura del aire semanal y mensual	°C	
<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>	<b>Específicos</b>	<b>Dependiente Y</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad</b>	
¿Cuál es la concentración de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub> en relación al viento?	Evaluar la concentración de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub> en relación al viento.	El viento influye en la concentración de partículas en suspensión PM <sub>10</sub>	Distribución espacial de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub>	Concentración de PM <sub>10</sub>	ug/m <sup>3</sup>	
¿Cuál es la concentración de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub> en relación a la temperatura del aire?	Evaluar la concentración de las partículas en suspensión PM <sub>10</sub> en relación a la temperatura del aire.	La temperatura del aire influye en la concentración de partículas en suspensión PM <sub>10</sub>				

**ANEXO N° 2**  
**FICHA DE REGISTRO DE DATOS**

### Concentración de partículas en suspensión PM<sub>10</sub>

Ítem	Fecha	E-02	E-03	E-04	E-04A	E-07
		Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)
1	02/01/2017	22.3	45.9	26.8	99.1	23.6
2	05/01/2017	27.8	43.4	20.8	145.7	29.1
3	08/01/2017	23.4	48.1	27.2	83.7	36.5
4	11/01/2017	25.2	72.3	23.3	94.8	26.7
5	14/01/2017	14.2	49.5	87.4	128.5	25.5
6	17/01/2017	16.8	27.3	44.6	73.6	28.7
7	20/01/2017	26.4	52.5	16.5	67.2	26.9
8	23/01/2017	20.6	52.5	23.5	65.2	35.6
9	26/01/2017	8.9	26.8	32.1	24.2	22.4
10	29/01/2017	17.3	31.2	18.4	61.1	29.8
11	01/02/2017	23.3	25.4	26.5	103.1	63
12	04/02/2017	25.7	33.3	33	84.9	39.9
13	07/02/2017	39.7	42.6	20.6	124.9	35
14	10/02/2017	30.7	26.2	27.9	114.3	29.5
15	13/02/2017	30.3	91.5	77.8	87.7	36.6
16	16/02/2017	25.9	35	55.1	71.5	36.1
17	19/02/2017	14.1	33.7	29	62.9	40.9
18	22/02/2017	12.8	32.9	30.6	154.5	88.1
19	25/02/2017	20	52.4	30	85.5	37.3
20	28/02/2017	29	36.9	52.8	87.1	38.7
21	03/03/2017	20.1	52.1	62.1	102.9	35.9
22	06/03/2017	21	35.5	29.5	29.4	38.5
23	09/03/2017	25.9	39.5	52.5	172.4	39.3
24	12/03/2017	35.4	42.2	159.1	96.7	72.2
25	15/03/2017	24.1	32.9	30.4	164.5	41
26	18/03/2017	21.6	45.9	19.4	83.3	32.3
27	21/03/2017	41.9	45.3	33.5	116	37.1
28	24/03/2017	25	44.4	30.2	48.8	35.6
29	27/03/2017	27	38.2	33.8	82.6	32.6
30	30/03/2017	28.5	34.2	23.9	87.4	48.8
31	02/04/2017	26.8	35.3	65.4	146.7	17
32	05/04/2017	57.6	44.1	52.3	267.7	75.6
33	08/04/2017	29	38.9	34	150.2	40.6
34	11/04/2017	40.9	37	31	123.4	35.8
35	14/04/2017	19	38.3	32.8	82.5	40.4
36	17/04/2017	32.2	33.8	39	118	24.9
37	20/04/2017	30.7	41.7	36.9	60.7	71.3
38	23/04/2017	29	43	36.2	114	61.3
39	26/04/2017	44.9	39.3	143.8	192.9	60.9

Ítem	Fecha	E-02	E-03	E-04	E-04A	E-07
		Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)
40	29/04/2017	31.6	35.3	36.5	107.9	40.3
41	02/05/2017	32.2	34	32	141.5	43.1
42	05/05/2017	28.2	37.7	31.7	91.2	62.5
43	08/05/2017	35.4	40.1	35.1	125.2	51.1
44	11/05/2017	59.3	29.8	33.2	91.8	40.4
45	14/05/2017	16.5	36.7	17.6	272	43.9
46	17/05/2017	31.7	38.9	25.1	108.8	36.1
47	20/05/2017	38.6	45.6	28	80.9	46.8
48	23/05/2017	29.9	43.7	48.2	98.6	40.3
49	26/05/2017	32.4	34.1	30.6	98.8	47
50	29/05/2017	29	35.4	27.7	69.6	41.6
51	01/06/2017	37.7	61.7	38.4	107.6	49
52	04/06/2017	18.2	207.5	36.2	132.1	41.9
53	07/06/2017	32.9	44.6	43.3	178.9	53.8
54	10/06/2017	42	42.1	29.9	104.3	57.3
55	13/06/2017	28.1	32.6	34.2	159.1	34.2
56	16/06/2017	33	57.5	33.6	49.1	49.4
57	19/06/2017	32.9	35.7	26.4	38.9	36.7
58	22/06/2017	32.8	38.6	29.3	286.7	43.1
59	25/06/2017	21.2	63.3	33.3	120.3	37.1
60	28/06/2017	21.4	55.2	29	45.6	45.7
61	01/07/2017	26.5	43.4	26.8	42.8	34.4
62	04/07/2017	26.6	56.2	31.3	133.6	37.4
63	07/07/2017	32.7	274.9	31.2	93.5	39.9
64	10/07/2017	51.5	78.9	50.5	100	33.3
65	13/07/2017	28.5	56	43.6	95.3	56.8
66	16/07/2017	37.4	46.1	55.3	60.3	36.4
67	19/07/2017	32.7	74	48.4	96.4	45.2
68	22/07/2017	24.3	55.4	46.3	78.3	58.8
69	25/07/2017	29.5	50.5	41	75.2	32.2
70	28/07/2017	34.6	56.6	53.8	54.5	37.7
71	31/07/2017	23.5	45.5	38.8	91.9	37.5
72	03/08/2017	52.1	28.2	33	75.4	39.5
73	06/08/2017	28.2	40.6	26	40.3	33.5
74	09/08/2017	28.6	35.3	30.6	90.5	36.6
75	12/08/2017	54.3	56	54.1	108.1	31.8
76	15/08/2017	42.8	51.6	43.8	446.1	48.3
77	18/08/2017	46.1	64.7	38.1	134.1	34.5
78	21/08/2017	34.8	48.6	38.8	95.9	52.5
79	24/08/2017	21.7	23.4	56.6	155.3	27.4



Ítem	Fecha	E-02	E-03	E-04	E-04A	E-07
		Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)
80	27/08/2017	37.2	47.4	35.5	109.3	42.1
81	30/08/2017	74.1	48.6	20.3	91.8	47.2
82	02/09/2017	36.2	41.4	40.5	209.6	38.5
83	05/09/2017	37.1	49.3	128.9	91	140.8
84	08/09/2017	26.8	44.7	38.1	191.5	48.4
85	11/09/2017	27.1	37	31.1	89.5	34.7
86	14/09/2017	50.8	39	36.3	89.6	36.9
87	17/09/2017	37.6	61	44.9	90.5	62.5
88	20/09/2017	39.6	45.8	68.8	59.3	54.1
89	23/09/2017	29.5	43.3	29.3	127.7	45.6
90	26/09/2017	35.9	47.3	37.5	97.6	29.2
91	29/09/2017	36.7	58.6	66.7	103.6	41.9
92	02/10/2017	44.4	40.4	31.2	208.4	57.3
93	05/10/2017	31.9	44.7	52.2	87.4	43.9
94	08/10/2017	30.9	41.7	33.6	115.9	33.5
95	11/10/2017	39.1	46	36.7	124.6	42.4
96	14/10/2017	77.8	51.4	40.4	89	52.2
97	17/10/2017	29.2	42.9	34.5	395.5	40.3
98	20/10/2017	40.3	52.7	35.4	146.9	45
99	23/10/2017	29.9	42.1	35.8	37.9	142.7
100	26/10/2017	47.1	79.1	44.1	69.1	88.8
101	29/10/2017	34.8	39.3	32.6	77.6	48.4
102	01/11/2017	30.9	51.7	24.5	61.4	40
103	04/11/2017	20.1	39.3	29.6	92.9	29.1
104	07/11/2017	43.4	54.4	45.7	134	47.2
105	10/11/2017	33.9	42.6	40.6	133.2	38.9
106	13/11/2017	23.8	36.5	29	250.6	32
107	16/11/2017	21.5	32.1	26.6	60.9	24.2
108	19/11/2017	26	32.1	26.9	106.9	28.6
109	22/11/2017	23.1	34.6	27.5	98.7	32.4
110	25/11/2017	34.3	50.1	33.6	108	37
111	28/11/2017	25	36.2	23.5	84.8	34.7
112	01/12/2017	16.4	35	22.4	192.8	32.8
113	04/12/2017	30.4	43.2	33.7	103.8	38.1
114	07/12/2017	28.2	42.6	34.1	61.2	36.9
115	10/12/2017	30.2	41.5	33	99.7	35.6
116	13/12/2017	28.6	44.3	25.1	80.5	31.1
117	16/12/2017	24.2	33.4	24.8	71.4	27
118	19/12/2017	20.9	31.5	30.2	93.4	27.6
119	22/12/2017	26.2	37.8	26	90.5	32.6

Ítem	Fecha	E-02	E-03	E-04	E-04A	E-07
		Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)	Concentración (ug/m3)
120	25/12/2017	42.9	37.7	27.9	183.8	35.3
121	28/12/2017	29.8	36.6	33.7	76.5	35.2
122	31/12/2017	48	46.8	31.9	109.7	46.7

## Datos Meteorológicos

Ítem	IGA-03			
	Fecha	Temperatura	Velocidad del viento	Dirección del viento
		°C	m/s	Dirección
1	02/01/2017	23.01	1.92	W
2	05/01/2017	21.29	1.06	NW
3	08/01/2017	21.16	1.10	NNW
4	11/01/2017	22.04	1.23	N
5	14/01/2017	23.36	0.98	NW
6	17/01/2017	23.96	1.98	NNW
7	20/01/2017	25.11	1.65	NNW
8	23/01/2017	25.60	1.15	NW
9	26/01/2017	26.89	2.22	W
10	29/01/2017	25.89	2.04	NW
11	01/02/2017	25.51	5.39	SW
12	04/02/2017	24.99	4.98	SW
13	07/02/2017	24.24	3.33	SW
14	10/02/2017	24.52	4.03	SW
15	13/02/2017	24.73	2.45	SW
16	16/02/2017	24.55	3.70	SW
17	19/02/2017	24.41	3.25	WSW
18	22/02/2017	25.08	3.03	SW
19	25/02/2017	25.77	3.01	SW
20	28/02/2017	25.73	4.86	SW
21	03/03/2017	26.01	3.46	SW
22	06/03/2017	25.06	3.41	SW
23	09/03/2017	25.55	3.59	SW
24	12/03/2017	25.85	2.78	SW
25	15/03/2017	26.18	2.39	SW
26	18/03/2017	25.55	3.63	SW
27	21/03/2017	25.00	3.49	SW
28	24/03/2017	24.51	3.43	SW
29	27/03/2017	24.94	3.45	SW
30	30/03/2017	23.73	2.91	SW
31	02/04/2017	23.14	3.65	WSW
32	05/04/2017	22.77	2.96	WSW
33	08/04/2017	23.10	2.56	SW
34	11/04/2017	22.92	2.94	SW
35	14/04/2017	22.55	3.76	WSW
36	17/04/2017	22.79	3.59	SW
37	20/04/2017	23.13	3.03	SW
38	23/04/2017	22.21	2.54	WSW

Ítem	IGA-03			
	Fecha	Temperatura	Velocidad del viento	Dirección del viento
		°C	m/s	Dirección
39	26/04/2017	21.78	3.17	S
40	29/04/2017	20.48	2.66	S
41	02/05/2017	21.48	1.23	SW
42	05/05/2017	21.66	1.24	WSW
43	08/05/2017	20.80	1.64	WSW
44	11/05/2017	21.15	1.70	W
45	14/05/2017	22.28	0.75	WSW
46	17/05/2017	20.80	1.64	WSW
47	20/05/2017	19.85	1.71	WNW
48	23/05/2017	20.45	1.28	WSW
49	26/05/2017	20.23	1.27	WSW
50	29/05/2017	20.01	1.00	WSW
51	01/06/2017	19.84	1.23	WSW
52	04/06/2017	19.15	0.83	WNW
53	07/06/2017	19.46	0.95	SSW
54	10/06/2017	19.10	1.81	SW
55	13/06/2017	18.63	1.70	SW
56	16/06/2017	17.80	0.73	SW
57	19/06/2017	18.23	1.23	SW
58	22/06/2017	18.89	0.62	W
59	25/06/2017	19.10	1.81	SW
60	28/06/2017	19.14	1.33	SSE
61	01/07/2017	18.90	0.66	WNW
62	04/07/2017	19.51	1.00	ESE
63	07/07/2017	18.77	0.35	NW
64	10/07/2017	18.33	0.14	NNE
65	13/07/2017	18.80	0.90	ESE
66	16/07/2017	18.06	0.90	N
67	19/07/2017	17.90	1.28	N
68	22/07/2017	17.66	0.78	NNW
69	25/07/2017	18.37	1.04	NNW
70	28/07/2017	18.64	1.39	N
71	31/07/2017	18.73	1.33	NNW
72	03/08/2017	18.23	0.80	N
73	06/08/2017	17.96	0.70	NNW
74	09/08/2017	18.30	1.89	NW
75	12/08/2017	17.94	1.76	NNW
76	15/08/2017	17.20	1.38	SSW
77	18/08/2017	17.53	1.28	N

Ítem	IGA-03			
	Fecha	Temperatura	Velocidad del viento	Dirección del viento
		°C	m/s	Dirección
78	21/08/2017	17.17	1.58	E
79	24/08/2017	17.31	1.42	N
80	27/08/2017	16.99	0.79	ENE
81	30/08/2017	16.80	0.95	ESE
82	02/09/2017	17.23	0.93	N
83	05/09/2017	17.60	1.30	ESE
84	08/09/2017	16.98	0.94	ESE
85	11/09/2017	16.87	0.81	E
86	14/09/2017	16.76	0.72	NNW
87	17/09/2017	16.99	1.12	WNW
88	20/09/2017	16.68	0.65	NNW
89	23/09/2017	17.33	0.81	NNW
90	26/09/2017	16.58	0.59	ENE
91	29/09/2017	17.46	1.04	NW
92	02/10/2017	17.15	1.23	E
93	05/10/2017	17.43	0.73	ENE
94	08/10/2017	17.30	1.19	WNW
95	11/10/2017	17.29	0.91	NW
96	14/10/2017	16.75	0.44	WNW
97	17/10/2017	17.30	0.76	W
98	20/10/2017	17.50	1.31	ENE
99	23/10/2017	18.19	0.91	WNW
100	26/10/2017	18.14	1.03	WNW
101	29/10/2017	17.90	3.06	WNW
102	01/11/2017	17.75	2.02	NNE
103	04/11/2017	17.62	1.74	NE
104	07/11/2017	17.22	2.24	NE
105	10/11/2017	18.05	1.67	NE
106	13/11/2017	18.91	1.88	NE
107	16/11/2017	19.34	2.16	NE
108	19/11/2017	19.36	1.43	NE
109	22/11/2017	19.98	1.73	ENE
110	25/11/2017	18.66	1.69	NE
111	28/11/2017	18.98	2.04	NE
112	01/12/2017	21.38	1.45	NNW
113	04/12/2017	21.00	1.34	NNW
114	07/12/2017	20.91	1.79	NNW
115	10/12/2017	20.95	1.60	NNW
116	13/12/2017	21.05	1.50	NNW

Ítem	IGA-03			
	Fecha	Temperatura	Velocidad del viento	Dirección del viento
		°C	m/s	Dirección
117	16/12/2017	20.42	1.53	NNW
118	19/12/2017	20.95	1.47	NNW
119	22/12/2017	21.03	1.76	NNW
120	25/12/2017	20.67	1.44	NNW
121	28/12/2017	21.67	1.67	NNW
122	31/12/2017	21.81	1.43	NNW

**ANEXO N° 3**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**

ESTACIONES DE MONITOREO

E-02

E-03



E-04

E-07



E-04A





Estación E-04A



Transito del tren, cerca de la estación de monitoreo

Área sin asfalto ni pavimento donde circulan vehículos pesados, a 20m aproximadamente de la estación



Industrias a unos 200 metros de la estación

Tránsito de vehículos pesados y menores a unos 30 m aproximadamente de la estación



Almacén de minerales Impala Terminals

**ANEXO N° 4**  
**INFORMES DE MONITOREO**

### 9.1 Material Particulado Menor a 10 Micras, PM<sub>10</sub>

Tabla N° 4A  
**Concentraciones de Material Particulado 10 micras, PM<sub>10</sub>**  
 Diciembre 2016 – Febrero 2017

N° Medición	Concentración, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>(1)</sup>								
	E-02 AA.HH. Puerto Nuevo			E-03 Colegio María Reiche			E-04 Urb. Santa Marina		
	Dic-16	Ene-17	Febr-17	Dic-16	Ene-17	Febr-17	Dic-16	Ene-17	Febr-17
1	27.5	22.3	23.3	49.4	45.9	25.4	28.3	26.8	26.5
2	31.3	27.8	25.7	54.3	43.4	33.3	12.8	20.8	33.0
3	22.4	23.4	39.7	32.9	48.1	42.6	21.3	27.2	20.6
4	19.2	25.2	30.7	39.5	72.3	26.2	26.3	23.3	27.9
5	25.0	14.2	30.3	58.5	49.5	91.5	18.8	87.4	77.8
6	24.2	16.8	25.9	42.0	27.3	35.0	21.9	44.6	55.1
7	18.2	26.4	14.1	34.8	52.5	33.7	26.2	16.5	29.0
8	15.9	20.6	12.8	37.6	52.5	32.9	41.2	23.5	30.6
9	25.0	8.9	20.0	37.3	26.8	52.4	30.0	32.1	30.0
10	12.2	17.3	29.0	64.6	31.2	36.9	31.4	18.4	52.8
<b>Mínima</b>	<b>12.2</b>	<b>8.9</b>	<b>12.8</b>	<b>32.9</b>	<b>26.8</b>	<b>25.4</b>	<b>12.8</b>	<b>16.5</b>	<b>20.6</b>
<b>Máxima</b>	<b>31.3</b>	<b>27.8</b>	<b>39.7</b>	<b>64.6</b>	<b>72.3</b>	<b>91.5</b>	<b>41.2</b>	<b>87.4</b>	<b>77.8</b>
<b>Media aritmética</b>	<b>22.1</b>	<b>20.3</b>	<b>25.2</b>	<b>45.1</b>	<b>45.0</b>	<b>41.0</b>	<b>25.8</b>	<b>32.1</b>	<b>38.3</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>5.7</b>	<b>6.0</b>	<b>8.1</b>	<b>10.9</b>	<b>13.8</b>	<b>19.4</b>	<b>7.8</b>	<b>21.0</b>	<b>17.8</b>
<b>Estándar Nacional <sup>(2)</sup></b>	<b>150</b>			<b>150</b>			<b>150</b>		

Fuente: Resultados del monitoreo de calidad de aire correspondiente a los meses: Diciembre 2016, Enero y Febrero 2017. Red de monitoreo de Impala Terminals Perú S.A.C.

(1) Expresado a condiciones estándar de presión (760 mmHg) y temperatura (25 °C).

(2) D.S. N° 074-2001-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.



Tabla N° 4B  
**Concentraciones de Material Particulado a 10 micras, PM<sub>10</sub>**  
 Diciembre 2016 – Febrero 2017

N° Medición	Concentración, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>(1)</sup>								
	E-04A AA.HH. Ramón Castilla			E-07 Urb. Centenario			E-08 Almacén en la zona de zinc		
	Dic-16	Ene-17	Febr-17	Dic-16	Ene-17	Febr-17	Dic-16	Ene-17	Febr-17
1	219.1	99.1	103.1	18.7	23.6	63.0	67.0	34.0	110.1
2	99.5	145.7	84.9	29.5	29.1	39.9	101.6	34.2	102.3
3	103.1	83.7	124.9	35.7	36.5	35.0	67.7	43.4	36.4
4	85.0	94.8	114.3	31.5	26.7	29.5	33.6	110.5	48.3
5	126.4	128.5	87.7	34.9	25.5	36.6	46.5	107.6	101.7
6	48.7	73.6	71.5	27.7	28.7	36.1	42.2	124.2	70.4
7	109.3	67.2	62.9	28.5	26.9	40.9	29.0	71.1	66.2
8	39.0	65.2	154.5	32.0	35.6	88.1	31.7	46.1	81.8
9	123.6	24.2	85.5	52.7	22.4	37.3	37.4	28.1	30.0
10	79.0	61.1	87.1	41.0	29.8	38.7	28.2	39.4	61.2
<b>Mínima</b>	<b>39.0</b>	<b>24.2</b>	<b>62.9</b>	<b>18.7</b>	<b>22.4</b>	<b>29.5</b>	<b>28.2</b>	<b>28.1</b>	<b>30.0</b>
<b>Máxima</b>	<b>219.1</b>	<b>145.7</b>	<b>154.5</b>	<b>52.7</b>	<b>36.5</b>	<b>88.1</b>	<b>101.6</b>	<b>124.2</b>	<b>110.1</b>
<b>Media aritmética</b>	<b>103.3</b>	<b>84.3</b>	<b>97.6</b>	<b>33.2</b>	<b>28.5</b>	<b>44.5</b>	<b>48.5</b>	<b>63.9</b>	<b>70.8</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>49.9</b>	<b>34.9</b>	<b>27.3</b>	<b>9.0</b>	<b>4.6</b>	<b>17.7</b>	<b>23.6</b>	<b>36.8</b>	<b>28.0</b>
<b>Estándar nacional <sup>(2)</sup></b>	<b>150</b>			<b>150</b>			<b>150</b>		

Fuente: Resultados del monitoreo de calidad de aire correspondiente a los meses: Diciembre 2016, Enero y Febrero 2017. Red de monitoreo de Impala Terminals Perú S.A.C.

(1) Expresado a condiciones estándar de presión (760 mmHg) y temperatura (25 °C).

(2) D.S. N° 074-2001-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.



**9.1 Material Particulado Menor a 10 Micras, PM<sub>10</sub>**

**Tabla N° 4A**  
**Concentraciones de Material Particulado 10 micras, PM<sub>10</sub>**  
**Marzo – Mayo 2017**

N° Medición	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )(1)								
	E-02 AA.HH Puerto Nuevo			E-03 Colegio María Reiche			E-04 Urb. Santa Marina		
	Mar-17	Abr-17	May-17	Mar-17	Abr-17	May-17	Mar-17	Abr-17	May-17
1	20.1	26.8	32.2	52.1	35.3	34.0	62.1	65.4	32.0
2	21.0	57.6	28.2	35.5	44.1	37.7	29.5	52.3	31.7
3	25.9	29.0	35.4	39.5	38.9	40.1	52.5	34.0	35.1
4	35.4	40.9	59.3	42.2	37.0	29.8	159.1	31.0	33.2
5	24.1	19.0	16.5	32.9	38.3	36.7	30.4	32.8	17.6
6	21.6	32.2	31.7	45.9	33.8	38.9	19.4	39.0	25.1
7	41.9	30.7	38.6	45.3	41.7	45.6	33.5	36.9	28.0
8	25.0	29.0	29.9	44.4	43.0	43.7	30.2	36.2	48.2
9	27.0	44.9	32.4	38.2	39.3	34.1	33.8	143.8	30.6
10	28.5	31.6	29.0	34.2	35.3	35.4	23.9	36.5	27.7
<b>Mínima</b>	<b>20.1</b>	<b>19.0</b>	<b>16.5</b>	<b>32.9</b>	<b>33.8</b>	<b>29.8</b>	<b>19.4</b>	<b>31.0</b>	<b>17.6</b>
<b>Máxima</b>	<b>41.9</b>	<b>57.6</b>	<b>59.3</b>	<b>52.1</b>	<b>44.1</b>	<b>45.6</b>	<b>159.1</b>	<b>143.8</b>	<b>48.2</b>
<b>Media Aritmética</b>	<b>27.1</b>	<b>34.2</b>	<b>33.3</b>	<b>41.0</b>	<b>38.7</b>	<b>37.6</b>	<b>47.4</b>	<b>50.8</b>	<b>30.9</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>6.8</b>	<b>10.9</b>	<b>10.8</b>	<b>6.1</b>	<b>3.5</b>	<b>4.7</b>	<b>41.3</b>	<b>34.3</b>	<b>7.8</b>
<b>Estándar Nacional(2)</b>	<b>150</b>								

Fuente: Resultados del monitoreo de calidad de aire correspondiente a los meses: Marzo, Abril y Mayo 2017. Red de monitoreo de Impala Terminals Perú S.A.C.

(1) Expresado a condiciones estándar de presión (760 mmHg) y temperatura (25 °C).

(2) D.S. N° 074-2001-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

**Tabla N° 4B**  
**Concentraciones de Material Particulado a 10 micras, PM<sub>10</sub>**  
**Marzo – Mayo 2017**

N° Medición	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )(1)								
	E-04A Al este del almacén 1 de Impala Perú SAC			E-07 Urb. Centenario			E-08 Almacén de la Zona de Zinc		
	Mar-17	Abr-17	May-17	Mar-17	Abr-17	May-17	Mar-17	Abr-17	May-17
1	102.9	146.7	141.5	35.9	17.0	43.1	227.4	30.0	86.8
2	29.4	267.7	91.2	38.5	75.6	62.5	120.3	102.9	170.4
3	172.4	150.2	125.2	39.3	40.6	51.1	41.3	372.4	39.3
4	96.7	123.4	91.8	72.2	35.8	40.4	42.5	112.1	155.9
5	164.5	82.5	272.0	41.0	40.4	43.9	184.3	242.4	133.8
6	83.3	118.0	108.8	32.3	24.9	36.1	201.0	273.4	128.5
7	116.0	60.7	80.9	37.1	71.3	46.8	89.2	108.2	228.8
8	48.8	114.0	98.6	35.6	61.3	40.3	107.8	40.3	134.8
9	82.6	192.9	98.8	32.6	60.9	47.0	39.8	132.8	122.6
10	87.4	107.9	69.6	48.8	40.3	41.6	240.6	41.4	85.9
<b>Mínima</b>	<b>29.4</b>	<b>60.7</b>	<b>69.6</b>	<b>32.3</b>	<b>17.0</b>	<b>36.1</b>	<b>39.8</b>	<b>30.0</b>	<b>39.3</b>
<b>Máxima</b>	<b>172.4</b>	<b>267.7</b>	<b>272.0</b>	<b>72.2</b>	<b>75.6</b>	<b>62.5</b>	<b>240.6</b>	<b>372.4</b>	<b>228.8</b>
<b>Media Aritmética</b>	<b>98.4</b>	<b>136.4</b>	<b>117.8</b>	<b>41.3</b>	<b>46.8</b>	<b>45.3</b>	<b>129.4</b>	<b>145.6</b>	<b>128.7</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>44.7</b>	<b>58.9</b>	<b>58.0</b>	<b>11.8</b>	<b>19.6</b>	<b>7.4</b>	<b>78.6</b>	<b>114.0</b>	<b>51.8</b>
<b>Estándar Nacional(2)</b>	<b>150</b>								

Fuente: Resultados del monitoreo de calidad de aire correspondiente a los meses: Marzo, Abril y Mayo 2017. Red de monitoreo de Impala Terminals Perú S.A.C.

(1) Expresado a condiciones estándar de presión (760 mmHg) y temperatura (25 °C).

(2) D.S. N° 074-2001-PCM. Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

**9.1 Material Particulado Menor a 10 Micras, PM<sub>10</sub>**

**Tabla N° 4A**  
**Concentraciones de Material Particulado 10 micras, PM<sub>10</sub>**  
**Junio - Agosto 2017**

N° Medición	Concentración (µg/m <sup>3</sup> )								
	E-02 AA.HH Puerto Nuevo			E-03 Colegio María Reiche			E-04 Urb. Santa Marina		
	Jun-17	Jul-17	Ago-17	Jun-17	Jul-17	Ago-17	Jun-17	Jul-17	Ago-17
1	37.7	26.5	52.1	61.7	43.4	28.2	38.4	26.8	33.0
2	18.2	26.6	28.2	207.5	56.2	40.6	36.2	31.3	26.0
3	32.9	32.7	28.6	44.6	274.9	35.3	43.3	31.2	30.6
4	42.0	51.5	54.3	42.1	78.9	56.0	29.9	50.5	54.1
5	28.1	28.5	42.8	32.6	56.0	51.6	34.2	43.6	43.8
6	33.0	37.4	46.1	57.5	46.1	64.7	33.6	55.3	38.1
7	32.9	32.7	34.8	35.7	74.0	48.6	26.4	48.4	38.8
8	32.8	24.3	21.7	38.6	55.4	23.4	29.3	46.3	56.6
9	21.2	29.5	37.2	63.3	50.5	47.4	33.3	41.0	35.5
10	21.4	34.6	74.1	55.2	56.6	48.6	29.0	53.8	20.3
11	-	23.5	-	-	45.5	-	-	38.8	-
<b>Mínima</b>	<b>18.2</b>	<b>23.5</b>	<b>21.7</b>	<b>32.6</b>	<b>43.4</b>	<b>23.4</b>	<b>26.4</b>	<b>26.8</b>	<b>20.3</b>
<b>Máxima</b>	<b>42.0</b>	<b>51.5</b>	<b>74.1</b>	<b>207.5</b>	<b>274.9</b>	<b>64.7</b>	<b>43.3</b>	<b>55.3</b>	<b>56.6</b>
<b>Media Aritmética</b>	<b>30.0</b>	<b>31.6</b>	<b>42.0</b>	<b>63.9</b>	<b>76.1</b>	<b>44.4</b>	<b>33.4</b>	<b>42.5</b>	<b>37.7</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>7.7</b>	<b>7.9</b>	<b>15.5</b>	<b>51.6</b>	<b>66.9</b>	<b>12.7</b>	<b>5.0</b>	<b>9.6</b>	<b>11.5</b>
<b>D.S. N° 003-2017-MINAM</b>	<b>100</b>								

Fuente: Resultados del monitoreo de calidad de aire correspondiente a los meses: Junio, Julio y Agosto 2017. Red de monitoreo de Impala Terminals Perú S.A.C.



**Tabla N° 4B**  
**Concentraciones de Material Particulado a 10 micras, PM<sub>10</sub>**  
**Junio - Agosto 2017**

Concentración (µg/m <sup>3</sup> )								
E-04A			E-07			E-08		
Al este del almacén 1 de Impala Perú SAC			Urb. Centenario			Almacén de la Zona de Zinc		
Jun-17	Jul-17	Ago-17	Jun-17	Jul-17	Ago-17	Jun-17	Jul-17	Ago-17
107.6	42.8	75.4	49.0	34.4	39.5	90.8	268.4	52.6
132.1	133.6	40.3	41.9	37.4	33.5	108.8	138.7	85.9
178.9	93.5	90.5	53.8	39.9	36.6	59.2	80.0	130.1
104.3	100.0	108.1	57.3	33.3	31.8	59.3	135.2	125.8
159.1	95.3	446.1	34.2	56.8	48.3	163.5	109.6	141.3
49.1	60.3	134.1	49.4	36.4	34.5	162.8	136.6	136.7
38.9	96.4	95.9	36.7	45.2	52.5	149.0	151.9	157.7
286.7	78.3	155.3	43.1	58.8	27.4	230.6	96.1	99.8
120.3	75.2	109.3	37.1	32.2	42.1	363.3	71.6	162.2
45.6	54.5	91.8	45.7	37.7	47.2	152.7	146.3	127.5
-	91.9	-	-	37.5	-	-	171.9	-
<b>38.9</b>	<b>42.8</b>	<b>40.3</b>	<b>34.2</b>	<b>32.2</b>	<b>27.4</b>	<b>59.2</b>	<b>71.6</b>	<b>52.6</b>
<b>286.7</b>	<b>133.6</b>	<b>446.1</b>	<b>57.3</b>	<b>58.8</b>	<b>52.5</b>	<b>363.3</b>	<b>268.4</b>	<b>162.2</b>
<b>122.3</b>	<b>83.8</b>	<b>134.7</b>	<b>44.8</b>	<b>40.9</b>	<b>39.3</b>	<b>154.0</b>	<b>136.9</b>	<b>122.0</b>
<b>74.8</b>	<b>25.3</b>	<b>113.8</b>	<b>7.6</b>	<b>9.1</b>	<b>8.1</b>	<b>90.6</b>	<b>53.6</b>	<b>33.7</b>
100								

Fuente: Resultados del monitoreo de calidad de aire correspondiente a los meses: Junio, Julio y Agosto 2017. Red de monitoreo de Impala Terminals Perú S.A.C.





**Tabla N° 4B**  
**Concentraciones de Material Particulado a 10 micras, PM<sub>10</sub>**  
**Setiembre - Noviembre 2017**

Concentración (µg/m <sup>3</sup> )								
E-04A			E-07			E-08		
Al este del almacén 1 de Impala Perú SAC			Urb. Centenario			Almacén de la Zona de Zinc		
Set-17	Oct-17	Nov-17	Set-17	Oct-17	Nov-17	Set-17	Oct-17	Nov-17
209.6	208.4	61.4	38.5	57.3	40.0	121.4	97.8	82.6
91.0	87.4	92.9	140.8	43.9	29.1	101.0	52.4	137.1
191.5	115.9	134	48.4	33.5	47.2	95.3	109.6	115.2
89.5	124.6	133.2	34.7	42.4	38.9	79.7	128.2	90.8
89.6	89	250.6	36.9	52.2	32.0	194.6	78.4	119.9
90.5	395.5	60.9	62.5	40.3	24.2	122.1	157.6	90.3
59.3	146.9	106.9	54.1	45	28.6	133.2	163.6	87.7
127.7	37.9	98.7	45.6	142.7	32.4	134.0	125.2	97.6
97.6	69.1	108	29.2	88.8	37.0	-	124.1	88.9
103.6	77.6	84.8	41.9	48.4	34.7	152.4	129	102.4
<b>59.3</b>	<b>37.9</b>	<b>60.9</b>	<b>29.2</b>	<b>33.5</b>	<b>24.2</b>	<b>0.0</b>	<b>52.4</b>	<b>82.6</b>
<b>209.6</b>	<b>395.5</b>	<b>250.6</b>	<b>140.8</b>	<b>142.7</b>	<b>47.2</b>	<b>194.6</b>	<b>163.6</b>	<b>137.1</b>
<b>115.0</b>	<b>135.2</b>	<b>113.1</b>	<b>53.3</b>	<b>59.5</b>	<b>34.4</b>	<b>113.4</b>	<b>116.6</b>	<b>101.3</b>
<b>48.3</b>	<b>102.9</b>	<b>54.4</b>	<b>32.3</b>	<b>32.9</b>	<b>6.6</b>	<b>51.2</b>	<b>33.8</b>	<b>17.5</b>
<b>100</b>								

Fuente: Resultados del monitoreo de calidad de aire correspondiente a los meses: Setiembre, Octubre, Noviembre 2017. Red de monitoreo de Impala Terminals Perú S.A.C.