



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“Monitoreo de Material Particulado (PM10) y Variaciones  
Climáticas en Santiago de Surco y San Juan de Miraflores,  
Lima-Perú, 2019”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTOR:**

Ponce Estela, Manuel Angel (0000-0002-7877-1142)

**ASESORA:**

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (0000-0002-9965-9678)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación lo dedico a mi familia y aquellas personas que siempre están a mi diestra, quienes con su paciencia, perseverancia y esfuerzo me alentaron en seguir adelante por conseguir esta profesión, de formarme con buenos valores y sobre todo el conocer el significado de “no rendirse”, cada logro de mi vida será gracias a ustedes que siempre serán en mí, el aliento para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a DIOS, al Señor de la Agonía, a la Virgen Dolorosa, por escuchar mis oraciones y permitirme seguir adelante con mis metas y objetivos, desarrollando mis proyectos, por brindarme salud y vivir a lado de mis seres queridos, por guiarme siempre por el buen camino y por levantarme cuando más lo necesitaba.

A mi asesora la Mg. Rita Jaqueline Cabello Torres, quien en el poco tiempo que la conozco me ha enseñado a perseverar y no rendirme y que si uno se propone lograr una meta u objetivo por más difícil que sea, sí se puede llevar a cabo, muchas gracias ingeniera por confiar en mi persona y así mismo por haberme ayudado a descubrir lo que es la investigación y empezar en este mundo científico con este presente trabajo concluido.

A mi asesora que siempre me acompaña en la vida, en los momentos de dificultad y gratos, en lo académico, que me enseñó que es la perseverancia y la dicha de seguir superándose como profesional.

## Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras y gráficos	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	20
3.1. Tipo y diseño de investigación	20
3.2. Variables y Operacionalización	20
3.3. Población, muestra y muestreo	22
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
3.5. Procedimientos	24
3.6. Método de análisis de datos	25
3.7. Aspectos éticos	25
IV. RESULTADOS	26
V. DISCUSIÓN	35
VI. CONCLUSIONES	42
VII. RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS	44
ANEXOS	50
Anexo 1. Declaratoria de autenticidad (autor)	50
Anexo 2. Declaratoria de autenticidad (asesor)	51
Anexo 3. Matriz de Operacionalización de Consistencia	52
Anexo 4. Oficio de respuesta de la DIGESA - MINSA	53



## Índice de tablas

Tabla 1	Contaminantes atmosféricos gaseosos	6
Tabla 2	Clasificación de partículas por tamaño.	7
Tabla 3	Clasificación de Partículas	8
Tabla 4	Matriz de Operacionalización de Variables.	21
Tabla 5	Correlación entre el PM10 y los factores meteorológicos en la Estación del distrito de Santiago de Surco, 2019.	33
Tabla 6	Correlación entre el PM10 y los factores meteorológicos en la estación del distrito de San Juan de Miraflores, 2019.	34
Tabla 7	Matriz de correlaciones entre los factores meteorológicos en las estaciones del distrito de Santiago de Surco y San Juan de Miraflores. 2019.	36
Tabla 8	Resultados de la aplicación del INCA en las estaciones de los distritos de Santiago de Surco y san Juan de Miraflores, 2019.	38

## Índice de figuras y gráficos

Figura 1	Diferencias entre una fibra de cabello y el PM10.	9
Figura 2	Tamaño del Material Particulado PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>0.1</sub> .	10
Gráfico 1	Distribución de las variaciones climáticas en el distrito de Surco entre enero y diciembre de 2019, Lima-Perú.	26
Gráfico 2	Distribución espacial de factores meteorológicos y de material particulado PM10 en el distrito de San Juan de Miraflores entre enero y diciembre de 2019, Lima-Perú.	27
Gráfico 3	Rosa de Viento de la estación ubicada en la sede de la DIGESA en Santiago de Surco – 2019.	28
Gráfico 4	Rosa de Viento de la estación ubicada en el Hospital María Auxiliadora en San Juan de Miraflores– 2019.	29
Gráfico 5	Valores promedio mensuales de PM10 en las estaciones ubicadas en la sede de la DIGESA en Santiago de Surco y en San Juan de Miraflores.	30
Gráfico 6	Variación diaria de las concentraciones de PM10 y de la velocidad del viento en las estaciones de los distritos a) Santiago de Surco y b) San Juan de Miraflores.	31
Gráfico 7	Distribución de la dirección del viento y el PM10 en las estaciones de los distritos a) Santiago de Surco y b) San Juan de Miraflores.	32
Gráfico 8	Tendencia temporal de la concentración de PM10 en las estaciones de los distritos de Santiago de Surco y San Juan de Miraflores 2019.	37
Gráfico 9	Distribución de rosa de viento en las Estaciones de Santiago de Surco y San Juan de Miraflores, 2019.	39
Gráfico 10	Dispersión de PM10 y los factores meteorológicos en el distrito de Surco y de San Juan de Miraflores, Lima-Perú.	41

## RESUMEN

La investigación se desarrolló en base a la data del monitoreo de PM10 y datos del clima correspondientes al Programa de Vigilancia Sanitaria de la Calidad del Aire de la Dirección General de Salud Ambiental en el Distrito de San Juan de Miraflores y Santiago de Surco, Provincia de Lima, departamento de Lima en el año 2019. El objetivo principal ha sido determinar la concentración de material particulado PM10 y su relación con las variaciones climáticas; Viento (Dirección y Velocidad del Viento) y factores fisicoquímicos (Presión Atmosférica, Punto de Rocío, Temperatura, Radiación Solar y Humedad Relativa). La metodología comprendió el análisis de la tendencia mensual de cada parámetro de calidad y de variación del clima, un análisis de rosa de viento, y un análisis de un factor entre el PM10 con cada variable climática. Se obtuvieron resultados diarios de material particulado menores a 10 micras (PM10) se compararon con los Estándares de Calidad Ambiental vigentes, establecidas en las normativas de la OMS y la normativa peruana (D.S. N°003-2017-MINAM) y se establecieron relaciones con las variaciones climáticas.

Los hallazgos de esta investigación pueden ayudar a predecir la calidad del aire en el entorno de las estaciones de monitoreo estudiadas de acuerdo con las condiciones meteorológicas lo cual puede ser tomado en consideración en la adopción de mejoras en el desempeño de la gestión urbana.

**Palabras Claves:** PM10, variaciones climáticas, Estación fija.

## ABSTRACT

The research was developed based on the PM10 monitoring data and climatic data corresponding to the Air Quality Surveillance Program of the General Directorate of Environmental Health in the District of San Juan de Miraflores and Santiago de Surco, Province of Lima, department of Lima in 2019. The main objective has been to determine the concentration of PM10 particulate material and its relationship with climatic variations; Wind (Wind Direction and Speed) and physicochemical factors (Atmospheric Pressure, Dew Point, Temperature, Solar Radiation and Relative Humidity). The methodology included the analysis of the monthly trend of each quality parameter and climate variation, a wind rose analysis, and an analysis of a factor between the PM10 with each climatic parameter. Daily results of particulate matter less than 10 microns (PM10) were obtained, they were compared with the current Environmental Quality Standards, established in the WHO regulations and Peruvian regulations (DS N ° 003-2017-MINAM) and relationships were established with climatic variations.

The results of this research can help to predict the air quality in the environment of the monitoring stations studied according to the meteorological conditions, which can be taken into consideration in the adoption of improvements in the performance of urban management.

Keywords: PM10, climatic variations, fixed station.

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel local en los distritos de San Juan de Miraflores y de Santiago de Surco se han realizado Monitoreos de la Calidad del Aire, puntualmente de los contaminantes de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, estos contaminantes se presentan en mayor concentración debido a las fuentes de emisión fijas (sectores industriales más relevantes como los textiles, los alimentos, los derivados de productos químicos, los cuales son procesados en la misma ciudad), móviles (parque automotor, influencia de aviones y helicópteros) y naturales (área naturales como: parques, avenidas no pavimentadas o no asfaltadas). En el caso del material particulado menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>) se esperan identificar concentraciones por debajo del estándar de Calidad Ambiental para el Aire que es de 100 µg/m<sup>3</sup> en un periodo de 24 horas, y en el caso del material particulado menores a 2.5 micras, el estándar es de 50 µg/m<sup>3</sup> en un periodo de 24 horas. Estos límites se encuentran establecidos en el Decreto Supremo N°003-2017-MINAM, y a la vez se considera la Guías de Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el cual refiere valores de 50 µg/m<sup>3</sup> y 25 µg/m<sup>3</sup> para el material particulado menores a 10 micras y menores a 2.5 micras respectivamente, establecido en la actualización del año 2005.

Un estudio global sobre la tendencia de PM<sub>10</sub> indicó una situación crítica de los niveles de PM<sub>10</sub> en la mayoría de los países en desarrollo con mayores excedencias en los grandes centros urbanos de todas las ciudades importantes. Se demostró que los valores de PM<sub>10</sub> están disminuyendo en Europa y EE.UU., mientras que en la mayoría de los países asiáticos los valores seguían siendo críticos, especialmente en India y China. Se observaron relaciones entre las fuentes de PM<sub>10</sub> en diferentes regiones del mundo, siendo el material de la corteza, vehicular o las emisiones del tráfico y la quema de biomasa como las principales fuentes identificadas en la mayoría de los estudios. Aparte de las fuentes antropogénicas, las tormentas de polvo tienen un efecto severo sobre la variabilidad del PM<sub>10</sub> en la mayoría de continentes. Los factores meteorológicos; como la velocidad del viento, la temperatura, la humedad relativa juegan un papel importante en el patrón estacional de PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub>. Estudios en salud

demonstraron que los efectos más prevalentes en áreas con mayor PM10 son; anomalías de nacimiento, pérdida de años de vida y aumento de las enfermedades cardiovasculares y respiratorias. (Mukherjee et al., 2017).

En India se realizó un estudio sobre los métodos de medición y otros datos sobre la contaminación del aire (material particulado menor a 10 micras – PM10), sobre su red nacional de monitoreo, durante 12 años, realizando comparaciones con la Guía de la Calidad del Aire de la OMS (Organización Mundial de la Salud) y los estándares vigentes nacionales. Concluyeron en la necesidad de optar por nuevas tendencias de monitoreo (calidad de mediciones, sistemas de seguimiento, análisis de datos, accesibilidad de datos y sistemas de seguimiento híbridos), y nuevas tecnologías de modernización en el monitoreo de la calidad del aire. (Pant et al., 2018).

Un estudio realizado en la ciudad de Skopje en Macedonia del Norte y la región de los Balcanes, encontró que la contaminación por material particulado tiene niveles altos en las áreas urbanas, provocados por carbones negros, compuestos orgánicos volátiles y diversos contaminantes que vienen a hacer un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. (Srbínovska et al., 2020).

Este estudio es importante porque pretende caracterizar la contaminación atmosférica por PM10 y su relación con las variaciones climáticas en 2 distritos del sur de Lima. Como ya se ha mencionado, muchos estudios han demostrado que las variaciones climáticas son los factores principales y determinantes de las variaciones diarias en las concentraciones de contaminantes, explicando más del 70% de la variación de las concentraciones medias diarias de contaminantes en China. Sin embargo; la concentración de los contaminantes tiene importantes variaciones estacionales que son desventajosas para analizar la relación entre contaminantes atmosféricos y condiciones meteorológicas. (Él, J., et al 2017).

Existe una responsabilidad social por parte de la universidad, en ese contexto, esta investigación contribuye a difundir el estado actual de la contaminación atmosférica y de la calidad del aire en dos de los distritos del sur de Lima considerada como una megaciudad al superar más de 10 millones de habitantes, ya que es necesario un cambio en la conducta ciudadana y también por parte de

los entes gubernamentales que todavía presentan debilidades para controlar el problema de la contaminación atmosférica.

Las investigaciones sobre el estado de la calidad del aire vienen siendo desarrolladas esporádicamente por el SENAMHI y de manera muy puntual por investigadores preocupados por relacionar la relación que existe con los aspectos climatológicos, en la actualidad no se cuenta con información integrada relacionada con la situación en el distrito de Surco aunque si en Villa María. Este estudio ofrece un panorama de como las variables climáticas estarían influenciando el transporte de los contaminantes y abrir nuevas rutas de investigación destinadas a promover futuras investigaciones sobre la emisión y dispersión de estos contaminantes en el Sur de Lima.

Ante esta situación surge la **pregunta general** ¿De qué manera se determina el estado de calidad del aire en el sur de Lima?, asimismo las **preguntas específicas**:

¿Cuáles son las variaciones climáticas en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores?,

¿Cuáles son las concentraciones de PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores?,

¿Cuál es la tendencia de las variaciones temporales entre la velocidad y la dirección del viento y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores?,

¿Cómo se relacionan la variación del clima y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores?

### **La hipótesis general**

El monitoreo de Material Particulado (PM10) y Variaciones Climáticas en Santiago de Surco y San Juan de Miraflores, Lima-Perú, 2019 determina el estado de calidad del aire en el sur de Lima.

### **Hipótesis específicas:**

- i. Las variaciones climáticas en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores, presentan distintos niveles de calidad del aire.
- ii. Las concentraciones de PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores, no supera las normas de niveles moderados del contaminante.
- iii. Las variaciones temporales entre la velocidad y dirección del viento y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores, muestran una relación con una tendencia dispersa.
- iv. Existe una relación significativa entre las variaciones climáticas y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores.

### **El objetivo general:**

Determinar el estado de calidad del aire en el sur de Lima mediante el monitoreo de Material Particulado (PM10) y Variaciones Climáticas en Santiago de Surco y San Juan de Miraflores, Lima-Perú, 2019.

### **Objetivos específicos:**

- i. Analizar las variaciones climáticas en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores.
- ii. Analizar las concentraciones de PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores.
- iii. Analizar las variaciones temporales entre la velocidad y dirección del viento y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores.
- iv. Analizar la relación entre las variaciones climáticas y de PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores.

## II. MARCO TEÓRICO

**Contaminantes atmosféricos.** Los contaminantes atmosféricos, los cuales degradan la calidad del aire, se comportan de distintas formas, y tienen un origen diferente, como lo detalla (Tejerina Fernández, 2015), que da a conocer que los contaminantes atmosféricos se clasifican en primarios, que son emitidos directamente a la atmósfera por una fuente natural o antropogénica, pero mantienen su fórmula, y los secundarios que se originan por reacciones químicas o fotoquímicas a partir de los primarios.

Independientemente de la fuente de los contaminantes atmosféricos primarios y secundarios, las condiciones meteorológicas desempeñan un papel importante en la formación y transporte de gases y partículas. Un ejemplo bien documentado ocurre cuando el dióxido de azufre liberado de fuentes puntuales industriales en el noreste de los Estados Unidos forma partículas ácidas. Estos precursores ácidos se transportan a gran distancia, lo que provoca efectos adversos debido a la lluvia ácida en el sur de Canadá. De manera similar, ahora se sabe que las partículas liberadas durante las tormentas de polvo en Asia se transportan a otros continentes. Así, el movimiento de masas de aire puede reducir los niveles ambientales de contaminantes en una región a expensas de la calidad del aire en otra región. (Stanek, LW y Brown, JS, 2019).

Conociendo la clasificación de los contaminantes del aire (Tejerina Fernández, 2015) precisa que es importante también conocer los contaminantes atmosféricos, gaseosos (Tabla N°01).

Tabla N°01. Contaminantes atmosféricos gaseosos

<b>Compuesto</b>	<b>Formula</b>	<b>Características</b>	<b>Causante</b>
Dióxido de Azufre	SO <sub>2</sub>	Incoloro no inflamable	De la lluvia acida
Monóxido de Nitrógeno	NO	Incoloro, insípido e inodoro	Efecto invernadero
Dióxido de Nitrógeno	NO <sub>2</sub>	Rojizo, insípido e inodoro	De la lluvia acida
Monóxido de Carbono	CO	Inflamable, insípido e incoloro	Toxico en concentraciones elevadas
Ozono troposférico	O <sub>3</sub>	Azulado de olor agradable	Toxico en concentraciones elevadas

Fuente: (Tejerina Fernández, 2015)

Así mismo el material particulado caso de estudio, considerado un contaminante atmosférico también se puede clasificar por su tamaño, (Tabla N°02) donde las partículas sólidas y líquidas se encuentran en el aire en forma de polen, polvo, hollín y humo (Tejerina Fernández, 2015).

Tabla N°02. Clasificación de partículas por tamaños

<b>Partículas</b>	<b>Tamaño</b>
Sedimentables	Mayor de 30 micrómetros
Suspensión	Menor de 30 micrómetros
Respirables	Menor de 10 micrómetros
Humos	Menor a 1 micrómetro

Fuente: (Tejerina Fernández, 2015)

Las partículas también se pueden clasificar como se aprecia en la Tabla N°03.

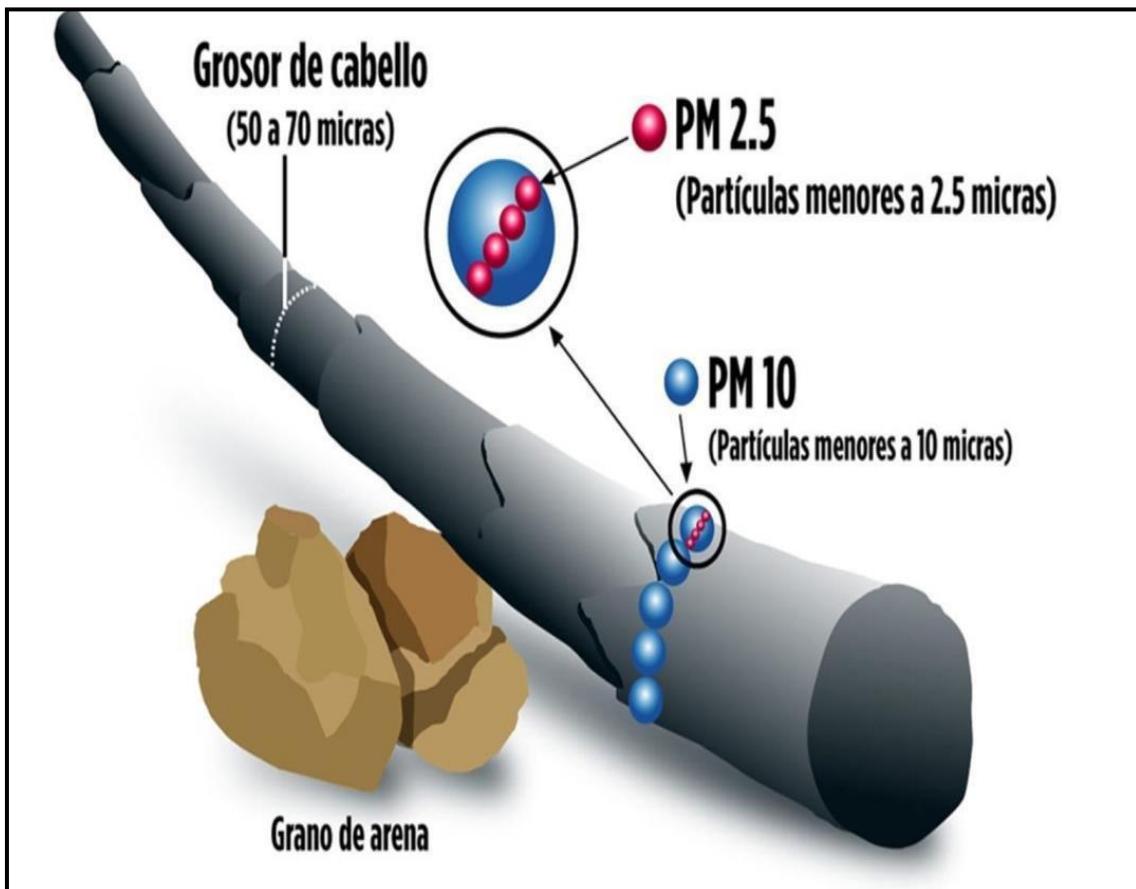
Tabla N°03. Clasificación de Partículas

Partículas	Tamaño
Partículas Primarias	Entran en la atmosfera de forma directa, por las fuentes de emisión, se incluye las partículas filtrables y condensables.
Partículas Filtrables	Emitidas directamente en estado sólido o líquido, pueden ser retenidas en filtros.
Partículas Condensables	Emitidas en estado gaseoso, pero de forma inmediata al entrar en contacto con la atmosfera cambian a estado líquido o sólido.
Partículas Secundarias	Son las que se forman en la atmosfera por reacciones químicas, se producen condensaciones o licuefacciones, tiene lugar lejos del lugar de emisión.

Fuente: (Tejerina Fernández, 2015)

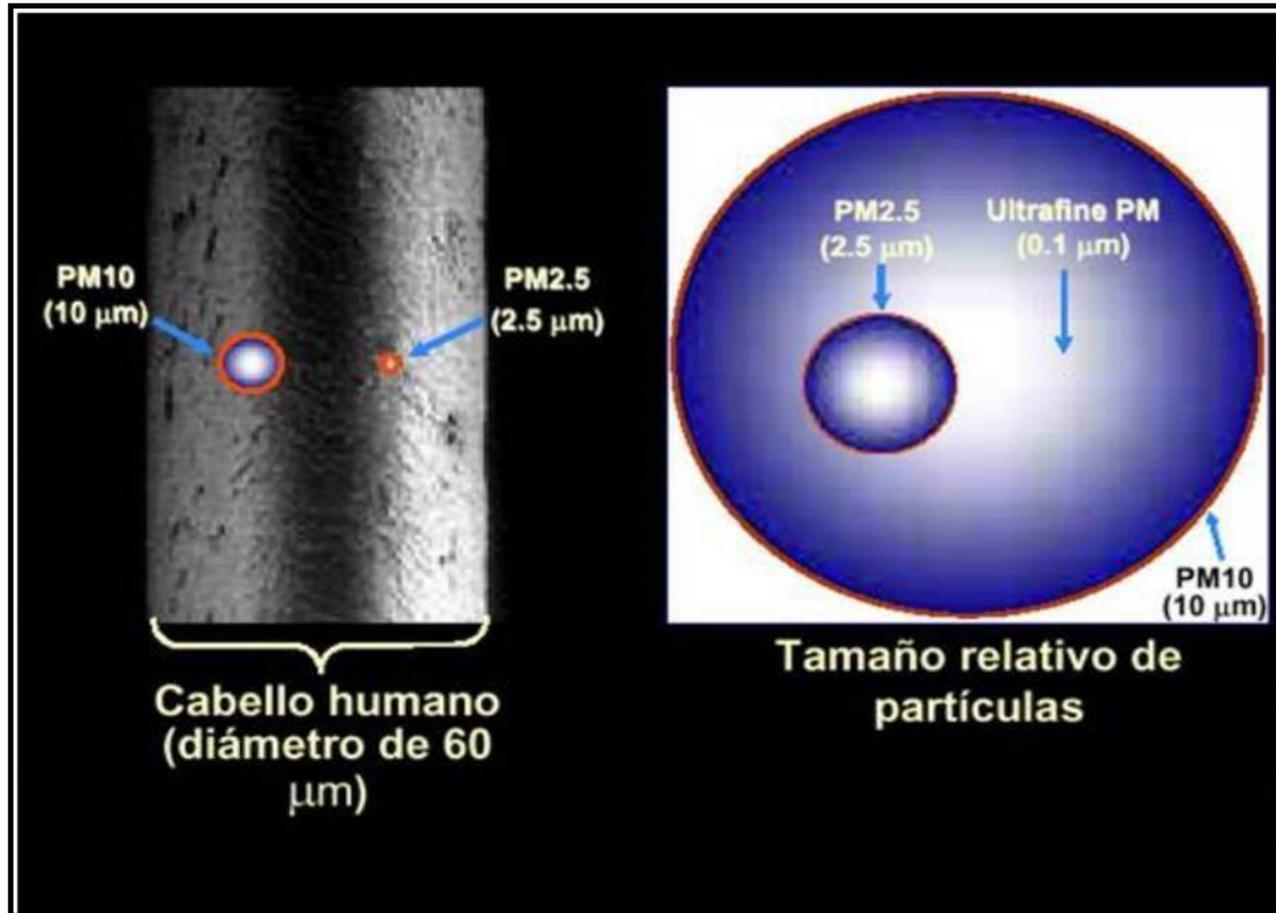
En la composición química del material particulado se encuentran metales pesados como el Arsénico (As), Cromo (Cr), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Selenio (Se), Vanadio (V), Níquel (Ni), Mercurio (Hg), los cuales se quedan en suspensión con las partículas, el metal Plomo (Pb) es el más importante para tener en cuenta, porque una vez depositado en cualquier medio del ecosistema tarda mucho tiempo en degradarse (Tejerina Fernández, 2015).

Figura N°01



Diferencias entre una fibra de cabello y el PM10. Fuente: (EPA, 2017a)

Figura N°02



Tamaño del Material Particulado PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>0.1</sub> - Fuente: (AAQS,2015)

El conocimiento de los niveles de los contaminantes atmosféricos constituye un aspecto esencial de la evaluación y mitigación de sus impactos adversos en la salud humana y ecosistemas más amplios, y proporciona los datos para monitorear el cumplimiento de los controles regulatorios y para asesorar al público en general sobre la calidad actual del aire, niveles y advertencias de contaminación según corresponda. Las mediciones directas proporcionan los medios fundamentales para determinar los niveles de contaminantes atmosféricos en una ubicación específica, pero su extrapolación a ubicaciones remotas del sitio de medición requiere una comprensión del comportamiento atmosférico del contaminante en consideración. Los modelos numéricos se pueden utilizar para predecir los niveles de contaminantes, basados en factores tales como estimaciones de emisiones y condiciones meteorológicas, pero dichos modelos deben basarse en mediciones reales y validarlas. (Bloss, W. 2018).

Un estudio realizado en la ciudad de Cracovia, en Polonia, nos da a conocer como es la relación del material particulado menor a 10 micras y 2.5 micras en los exteriores e interiores de las viviendas, donde las concentraciones eran mayores en el exterior que en el interior, reflejando una correlación estadísticamente significativa entre ambas concentraciones, aduciendo que el factor principal de la contaminación del aire en el interior de la vivienda, podría ser el tipo de ventanas que usan y la calefacción, con respecto a la contaminación exterior. Se concluye que la mejora de la calidad del aire en el exterior redundará en la calidad del aire del interior; no obstante, se debería realizar cambios de ventanas modernas y de calefactores. (Scibor et al., 2019).

En relación a la salud de la persona, y enfermedades endocrinológicas y alteraciones cardiovasculares (aumento de la presión arterial y riesgo en enfermedad coronaria), podemos citar el estudio realizado en la ciudad de México, sobre los ésteres de ftalatos (usados en la elaboración de plásticos) causantes de estas enfermedades. Considerando la contaminación por vía inhalatoria, sin embargo, en la investigación se han encontrado 8 ésteres del ftalato medidos en material particulado menores a 10 y 2.5 micras en la ciudad muestreada, principalmente en mayor cantidad en los meses más cálidos del año, se puede adicionar que después de realizar cálculos de concentración en

la atmósfera y utilizando flujos respiratorios, se determinó que el género masculino estuvo más expuestos a mayores cantidades de ftalatos. (Quintana et al., 2018).

Un estudio realizado en varias ciudades del caribe colombiano, sobre el material particulado menor a 10 micras (PM10), teniendo como objetivo la estimación de series de tiempo, seleccionar el mejor modelo matemático y un modelo pronóstico para las concentraciones del PM10. Para determinar la intervención de data faltante en el monitoreo realizado, este modelo tuvo su principal aporte en la mejora significativa de la recolección de datos del PM10. (Cujia et al., 2019).

Las predicciones, en modelos matemáticos, nos ayudan a pronosticar la producción de sistemas solares, mediante la irradiancia solar, que tiene como objetivo la investigación de los métodos de predicción con respecto a la irradiación solar, esta metodología se basa en la diversidad de conjuntos de datos, el intervalo de tiempo, el horizonte de pronóstico, la configuración y los indicadores de desempeño. (Voyant et al., 2017).

En la ciudad de Villavicencio – Colombia, se realizó un estudio descriptivo y correlacional, determinando el grado de influencia de los factores meteorológicos (Temperatura, precipitación y velocidad del viento) y las concentraciones del material particulado y partículas suspendidas totales, obteniendo diagramas con el aplicativo estadístico SPSS, teniendo como correlación negativa del PM10 con la velocidad del viento y la precipitación, así mismo, se refleja una correlación muy baja, pero positiva con la temperatura. Donde se evidencia que existe una relación significativa. En esta investigación también se pudo demostrar de que dirección provienen los contaminantes, ya que se realizó una rosa de vientos con el programa WRPLOT view. (Buitrago et al., 2019).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), estableció en un informe del año 2016, que más de 3 millones de personas fallecen anualmente por causas de la contaminación del aire, por lo que, indica que el material particulado (PM10), es uno de los componentes considerados peligrosos para la salud de las personas. En este estudio, se da evidenciar que la piel humana también es afectada por el material particulado menor a 10 micras (PM10), causando inflamación y envejecimiento (autofagia, que es un estrés celular). (Park et al., 2018).

Un estudio realizado en Mangalore, India, con respecto al material particulado menor a 10 y 2.5 micras (PM10 y PM2.5), donde se realizó monitoreos en 6 zonas de la ciudad, dio como resultado que las concentraciones de masa exceden los límites de los estándares nacionales de calidad del aire ambiental (NAAQS), donde se aplicó el análisis de espectrofotometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICPOES) y reveló 12 y 9 distintos elementos químicos para el PM10 y PM2.5 respectivamente. Indicando que el PM10 es mayor con el polvo de carreteras pavimentadas y las emisiones de los vehículos de diesel y gasolina, concluyendo que el material particulado en el aire tiene un 70% de contribución de las emisiones vehiculares. (Kalaiarasan et al., 2018).

**Parámetros meteorológicos.** Un estudio realizado en la provincia de Mae Hong Son, Tailandia, determinó que las relaciones entre factores meteorológicos (temperatura, precipitación, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento y la humedad relativa) y concentraciones de material particulado menores a 10 micras de diámetro (PM10), se encuentran influenciadas según las estaciones de seca y monzón. El estudio concluyó que los resultados diarios no representaban útiles para tener advertencias de contaminación del aire y se recomendaba tener promedio de datos diarios. Por lo tanto; los datos obtenidos, fueron para realizar mejoras en las medidas de contaminación del aire y establecer un estado de alerta para toda la ciudad en estudio. (Kliengchuay et al., 2018).

También se puede indicar, que el material particulado en relación a los factores meteorológicos (temperatura y humedad relativa), están vinculados a enfermedades respiratorias (bronquitis aguda, rinitis alérgica y asma), conllevando a ingresos hospitalarios con mucha frecuencia en especial de niños y ancianos. Este estudio nos revela que la tasa de enfermedades, tuvieron una significancia de aumento, cuando el material particulado y la temperatura aumentaban, y una humedad relativa decreciente. (Jo et al., 2017).

La radiación solar y la relación con los contaminantes del aire en el medio ambiente, están siendo investigadas, en aprovechamiento de la reducción de contaminantes con respecto a energías limpias que genera la radiación, se ha visto que en las ciudades existen una variedad de contaminantes urbanos causantes de dificultades complicadas difíciles de resolver. Con este estudio se

trata investigar el potencial de la energía solar, para reducir los contaminantes del aire en el medio ambiente del entorno de la ciudad. (Khodakarami et al., 2016).

Monitoreo de material particulado; se puede relacionar principalmente en el consumo de energía fósil, siendo la principal fuente de emisión dentro de los distintos contaminantes atmosféricos. (Wang et al., 2019).

La dimensión Niveles de concentración y tiempo del Material Particulado: para la determinación de material particulado es significativo aplicar algunas características de la distribución espacial y temporal de los contaminantes del aire, donde nos pueden revelar la causa de la contaminación del aire, sobre todo en las grandes concentraciones de emisiones de contaminantes antropogénicos. (Yao et al., 2019).

El indicador PM10; las partículas contaminantes del aire de material particulado menores a 10 micrómetros, son unos de los tipos de contaminación más peligrosos para la salud humana. (Brodny et al., 2019)

La dimensión Viento; esta dimensión es considerada con dos indicadores (velocidad y dirección): El indicador Velocidad del Viento; durante los años de 2015 al 2016, se realizó un estudio para descubrir las variaciones espacio-temporales y los factores influyentes de estos contaminantes en china. El análisis estadístico indicó que las concentraciones de PM2.5, PM10 y SO2 se asociaron con precipitación, temperatura y la velocidad del viento. (Li et al., 2019). Por otro lado; un estudio realizado en el área metropolitana de Lima, del monitoreo de 8 estaciones, se pudo determinar que la baja velocidad del viento se asocia con eventos que contribuyen a niveles elevados de PM<sub>2.5</sub> estacional. (Romero et al., 2020). Del mismo modo, un estudio realizado en la región Arequipa durante el 2018 se pudo observar que las concentraciones de partículas finas (PM2.5) así como de las partículas gruesas se correlacionaron negativamente con el punto de rocío, así como con la humedad relativa y la velocidad del viento (Adriana E. Larrea Valdivia et al. 2019). Por otro lado, en un estudio realizado en 3 megaciudades en China observaron una correlación negativa del PM10 y la velocidad del viento en el verano y el otoño; pero encontraron una correlación positiva en el invierno. (Zhang, H. et al 2015).

Un estudio realizado en la ciudad de Wuhan durante el 2013 al 2016 para analizar las influencias de los parámetros meteorológicos críticos, viento y precipitación, en concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5-10</sub> encontró que la velocidad del viento se correlacionó linealmente con las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> transformadas logarítmicamente, pero se correlacionó de manera no lineal con las concentraciones de PM<sub>10</sub> transformadas logarítmicamente y de PM<sub>2.5-10</sub>. También encontraron que las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>2.5-10</sub> disminuyó en casi un 60 y un 15% cuando la velocidad del viento aumentó a 6 m/s, respectivamente, lo que indica un impacto negativo más fuerte de velocidad del viento en partículas finas que en partículas gruesas, debido a la resuspensión del polvo bajo fuertes vientos (Zhang, B et al. 2017). Un estudio que recopiló datos meteorológicos de Beijing del 1 de noviembre de 2013 al 31 de octubre de 2017, sugirió que las condiciones meteorológicas, especialmente la velocidad extrema del viento, la duración de la insolación y la humedad promedio afectaron la concentración y la distribución espacio-temporal de los contaminantes del aire. La velocidad extrema del viento como factor dinámico atmosférico más que la velocidad media del viento fue el elemento meteorológico más importante que influyó en el cambio de AQI en Beijing, que provocó más movimiento atmosférico y turbulencias, mejorando la capacidad de difusión y dilución del contaminante del aire, cuya influencia auto-acumulativa estuvo alrededor. 7.5270% durante 5 periodos. (Zhang, Y. et al 2019).

En este estudio, en el cual recopilaron datos de seguimiento de seis contaminantes durante el 2016 y 2017, de una ciudad del norte (Beijing) y una ciudad del sur (Nanjing) para comparación, encontraron que las concentraciones de la mayoría de los contaminantes del aire (excepto 8-h O<sub>3</sub>) se correlacionaron negativamente con la velocidad del viento en todas las temporadas, con algunas excepciones en verano. La velocidad del viento determina la distancia de transporte horizontal por unidad de tiempo. Los contaminantes del aire comenzaron a acumularse bajo las condiciones climáticas estancadas. Cuanto mayor es la velocidad del viento es más eficaz en la eliminación de contaminantes. (Zhou, H., et al 2020).

El indicador Dirección del Viento; un estudio realizado en la región del Delta del río Pearl en China durante los años 2013 a 2017 demostró que las

concentraciones de contaminantes del aire tienden a ser más bajas en dirección contra el viento y más altas en dirección a favor del viento. (Xie, J., et al 2019). La dirección del viento ejerce una influencia limitada sobre las concentraciones de partículas gruesas. (Zhang et al. 2017). Un estudio que recopiló datos de monitoreo de la calidad del aire; índice de contaminación del aire (API) y el índice de calidad del aire (AQI) durante el 2005 y 2018 en 221 ciudades localizadas en norte y sur de China encontró que la dirección del viento y la precipitación fueron los factores meteorológicos más importantes que afectaron a la calidad del aire en China respectivamente, lo que en cierta medida refleja las causas y los mecanismos de degradación de la contaminación del aire en las dos regiones. (Ji M., et al 2020).

La dimensión Factores Físicoquímicos cuenta con indicadores como la temperatura. Un estudio realizado en el año 2015 en la provincia de Shangdong, obtuvo que la temperatura de inversión tiene una fuerte influencia en la variación diaria de concentración (PM<sub>2.5</sub>). (Yao et al., 2019). Las altas temperaturas y los contaminantes del aire son posible factores de riesgo de mortalidad (Lee et al., 2019). Un estudio que recopiló datos horarios de PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub> en todas las ciudades a nivel de prefectura (336 ciudades) en China durante 2015-2016, sugirió que las concentraciones de PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub> se asociaban significativamente con la precipitación, la temperatura de la atmósfera (T) y la velocidad del viento (WS). La temperatura y el viento fueron los principales factores que afectaron la acumulación de material particulado y contaminantes gaseosos a escala nacional. (Li, R., et al 2019). Los resultados de un estudio que evaluó los impactos de las condiciones atmosféricas estacionales y verticales en la calidad del aire en la región del Delta del Río Perle en China mostraron que la concentración relativamente alta de contaminantes ocurre bajo gradientes de temperatura en la troposfera de nivel medio relativamente bajos, la baja temperatura de la superficie se asocia con el viento del noreste que transporta contaminantes regionales y una menor fuerza de flotabilidad para impulsar la mezcla vertical (Tong et al. 2018). Un estudio que evaluó el efecto de las variables meteorológicas sobre el material particulado respirable (PM) de las principales ciudades del valle centro-sur de Chile durante la estación fría (mayo a agosto) entre 2014 y 2016 concluyeron que en general

las ciudades más septentrionales tienden a tener menos PM<sub>2.5</sub> y una mayor contaminación por PM grueso que las ciudades situadas más al sur y viceversa, así también la velocidad media del viento se relaciona de manera negativa con el contenido de PM<sub>10</sub> y de manera positiva con el rango diario de temperatura. (Yáñez, MA., et al 2017). Un estudio que evaluó las características de contaminación por partículas de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> y sus relaciones espaciales con elementos meteorológicos en 173 ciudades en China desde marzo de 2014 hasta febrero de 2015 encontró relaciones dependientes de la escala espacial entre la contaminación por partículas y elementos meteorológicos. La influencia de la temperatura tenía características similares en forma de V invertida, es decir, había una grave contaminación por partículas cuando la temperatura era de unos 15 °C, y había una ligera contaminación por partículas cuando la temperatura era menor o mayor a 15 °C. Precipitación anual, velocidad del viento, y la humedad relativa se correlacionaron negativamente con el material particulado, mientras que la presión atmosférica anual fue correlacionada positivamente. Li, X., et al. 2017). Un estudio realizado en la ciudad de Nanjing en China que investigo las características de distribución espacial y temporal de las partículas de PM<sub>2.5</sub>, usando el análisis de Spearman-Rank encontró una asociación negativa con la velocidad del viento, la humedad relativa, y la precipitación. La temperatura se correlacionó positivamente con PM<sub>2.5</sub> en la mayoría de los meses, pero mostró una correlación negativa durante todo el período, lo que indica una influencia compleja. (Chen et al. 2016).

Radiación Solar; Chile cuenta con una base de datos sobre la irradiancia solar y lugares que presentan grandes variaciones de latitud y altitud, que les ayuda a proporcionar gran información sobre la radiación solar, contando con 140 estaciones de monitoreo sobre este indicador en todo el país, el modelo con que cuentan para la información de resultados se puede generalizar a otras partes del mundo, con similar radiación. (Molina et al., 2017). Sin embargo; también podemos citar una investigación donde la eficiencia y el potencial de la energía solar (como fuente de energía limpia), es una solución para reducir los impactos de los contaminantes urbanos. (Khodakarami et al., 2016). Así mismo; los resultados del monitoreo de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> durante 9 años en una estación

urbana de monitoreo mostraron una correlación negativa entre la radiación solar y la concentración de material particulado. (Liu, Z., et al 2014).

Presión Atmosférica; En un estudio realizado en 68 ciudades de China durante un período continuo de 22 meses desde febrero de 2013 hasta noviembre de 2014, encontraron que la presión superficial (PS) tiene una fuerte relación positiva con PM<sub>2.5</sub> en el noreste y centro-sur de China, y una débil correlación en otras áreas. Esta fue más positiva en otoño que en otras temporadas. (Yang et al 2017). Asimismo, un estudio realizado en la ciudad de Xian en China de diciembre de 2016 a noviembre de 2017 para analizar la asociación de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PHS) con PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> encontró que la presión atmosférica se correlaciona positivamente con PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>. (Whan Le et al. 2019), lo cual concuerda con los hallazgos obtenidos por (Li, X., et al. 2017). Por su parte; (Ji M., et al. 2020) encontró diferencias espaciales y temporales significativas en la influencia de diferentes factores meteorológicos en la concentración de PM<sub>2.5</sub>, la distribución espacial del valor umbral de la influencia de la presión atmosférica en la concentración de PM<sub>2.5</sub> difirió significativamente entre el este y el oeste de China, especialmente en primavera, otoño e invierno. En verano, la contaminación del aire fue más grave en las zonas costeras del sureste cuando la presión atmosférica superó los 900 hPa.

Punto de Rocío; La temperatura del punto de rocío o punto de rocío, es la temperatura en la que debe estar el aire húmedo enfriado a presión atmosférica constante y agua constante contenido de vapor para que se produzca la saturación. (Camuffo, D., 2019). Debido a sus mecanismos de formación, el rocío es un buen indicador de la contaminación del aire. (Muskala et al., 2015). Un estudio realizado en la región Arequipa durante el 2018 se pudo observar que las concentraciones de partículas finas (PM<sub>2.5</sub>) así como de las partículas gruesas se correlacionaron negativamente con el punto de rocío. (Larrea A., et al., 2019).

Humedad relativa; altas concentraciones de PM<sub>2.5</sub> se asociaron con una baja humedad relativa. (Romero Y. et al 2020). De igual modo un estudio realizado en la zona norte de Tailandia sugirió una correlación negativa significativa entre

la humedad relativa y el PM10 (valor de  $p < 0,001$ ) (Wissanupong Kliengchuay et al. 2018). Sin embargo, un estudio realizado en Shenyang, una ciudad situada en el noreste de China, que analizo la variación temporal y la distribución espacial de las concentraciones de PM2.5 y PM10 desde enero de 2014 hasta mayo de 2016, de los datos de 11 estaciones de monitoreo, encontraron correlaciones positivas de los niveles de material particulado con la presión del aire, la temperatura del aire y la humedad relativa. Concentraciones de PM 2.5 mostraron correlaciones positivas con la humedad relativa debido al efecto higroscópico de aerosoles, pero no fue así para el PM10 en primavera y verano principalmente debido a la supresión de emisiones de polvo en condiciones de aire húmedo en primavera y los efectos de las fuertes lluvias de verano (Li,X et al. 2017). Un estudio realizado en las principales ciudades de china; mostró una diferencia regional significativa en la correlación de la humedad relativa. Las concentraciones de contaminantes primarios se correlacionaron positivamente con la humedad relativa principalmente en el norte y noreste de China y correlaciono negativamente en otras regiones. (He J., et al 2017).

## III METODOLOGÍA

### INFORME DE INVESTIGACIÓN CUANTITATIVO

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

**Tipo de Investigación:** La presente investigación es aplicada. Las investigaciones aplicadas tienen como fin solucionar problemas prácticos en el ámbito educacional.

**Diseño de investigación:** Según su objetivo gnoseológico, la presente investigación es no experimental, longitudinal, correlacional y explicativo.

#### 3.2 Variables y operacionalización

La presente investigación contiene dos variables; una independiente y otra dependiente. El análisis de datos se basa en las técnicas correlacionales, fundamentalmente la correlación de Pearson y en el factor p-valor (95% de significancia).

Según la naturaleza de los datos es cuantitativo. La característica relevante es la aplicación de la estadística en el análisis de datos.

Variables

- 1.- Monitoreo de material particulado (variable dependiente)
- 2.- Variaciones climáticas es la variable independiente

La tabla 4 muestra la matriz de Operacionalización.

Tabla N°04. Matriz de Operacionalización de Variables

<b>Objetivos</b>	<b>Problema</b>	<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Referencias</b>
Analizar las variaciones climáticas en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores	¿Cuáles son las variaciones climáticas en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores?	Monitoreo de material particulado	Niveles de concentración	PM10	Brodny et al., 2019
Analizar las concentraciones de PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores	¿Cuál son las concentraciones de PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores?		Tiempo	días meses	Yao et al., 2019
Analizar las variaciones temporales entre la velocidad y dirección del viento y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores	¿Cuál es la tendencia de las variaciones temporales entre la velocidad y la dirección del viento y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores?	Variaciones Climáticas	Viento	Velocidad	Li et al., 2019
				Dirección	Xie et al., 2019
Analizar la relación entre las variaciones climáticas y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores	¿Cómo se relacionan la variación del clima y el material particulado PM10 en las estaciones de monitoreo de Surco y San Juan de Miraflores?	Variaciones Climáticas	Factores fisicoquímicos	Temperatura	Yao et al., 2019
				Radiación Solar	Molina et al., 2017
				Presión Atmosférica	Yang et al., 2017
				Punto de Roció	Camuffo, D., 2019
				Humedad relativa	Romero et al., 2020

La Operacionalización de las variables; la distribución de las dos estaciones de monitoreo son el eje de la investigación, en relación a la zona sur de Lima Metropolitana. Dichas estaciones, por su posición se encuentran estratégicamente ubicadas en zonas urbanas expuestas a un mayor impacto ambiental asociado a las emisiones atmosféricas generado por las fuentes naturales, fuentes fijas y móviles.

La escala de medición es ordinal, por el orden de su data generada, en las dos estaciones de monitoreo de la zona sur de Lima Metropolitana.

### **3.3 Población, muestra y muestreo**

**Población:** Dentro de la población de estudio se considera a toda la zona sur de Lima Metropolitana, La Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria – DIGESA del Ministerio de Salud, considera los distritos de Barranco, Chorrillos, Santiago de Surco, San Juan de Miraflores, Villa María del Triunfo, Villa El Salvador, Cieneguilla, Pachacamac, Lurín.

- **Criterio de inclusión:** La Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria – DIGESA del Ministerio de Salud, cuenta con la Red de Monitoreo de la Vigilancia Sanitaria de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana y el Callao, conformada por 7 estaciones de monitoreo ubicadas en los distritos de San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Lince, Cercado de Lima, El Agustino, Comas y en la Provincia Constitucional del Callao. Se seleccionaron las estaciones ubicadas en la zona sur (Santiago de Surco y San Juan de Miraflores) por tener una generación de datos del parámetro PM10 y meteorología, de mayor consistencia y de manera continua, además de las fuentes de contaminación coexistentes con la salud de la población.
- **Criterio de exclusión:** en relación al criterio precedente, se debe indicar que las demás estaciones de monitoreo no fueron consideradas por un tema de equipamiento, ya que en su página web de la institución – DIGESA, se visualiza la falta de parámetros muestreados, indicador que nos dice: que no se cuentan con equipos o no realizan monitoreos de dichos parámetros.

**Muestra:** Se analizaron el set de datos de PM10 y variables climatológicas en las dos estaciones de monitoreo, ubicadas en el distrito de Santiago de Surco (Av. Surco N°190, instalaciones del Ministerio de Salud – DIGESA) y en el distrito

de San Juan de Miraflores (Av. Miguel Iglesias N°968, instalaciones del Hospital María Auxiliadora). Las dos estaciones cuentan con equipos automáticos para material particulado (PM10) y una estación meteorológica, datos que son generados en tiempo real, data horaria.

El analizador automático; analiza en línea, en tiempo real, data horaria. La obtención de la muestra es por análisis de absorción por radiación Beta, dicha muestra es obtenida durante el periodo de un año (2019), en unidades de microgramos por metros cubicos ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Estación Meteorológica; analiza en línea, en tiempo real, data horaria y la obtención de los datos en sus diferentes factores son recolectados mediante sistema GOES (satélite meteorológico que orbita la tierra), los factores recolectados son: velocidad y dirección del viento, temperatura ambiental, radiación solar, presión atmosférica, humedad relativa y punto de rocío.

**Muestreo:** el monitoreo del material particulado menor a 10 micrómetros y las variables meteorológicas, fue realizado por el Programa de Vigilancia Sanitaria de la Calidad del Aire que desarrolla la DIGESA del Ministerio de Salud, datos que fueron facilitados para la presente investigación según el Oficio N°1951-2020/DCOVI/DIGESA. Los datos son recolectados diariamente por Telemetría, analizados y procesados, para ser visualizados en la página web de la institución. En el análisis y en el procesamiento de datos diarios, se considera como datos validados, los que no han sufrido algún contratiempo en el muestreo (carencia de fluido eléctrico, mantenimiento y calibración programado).

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se seleccionó libros, revistas científicas, tesis de maestría y páginas de entidades nacionales como: El Ministerio del Ambiente, Instituto de Estudios Económicos Y Sociales, Diario El Peruano, considerando su relevancia para el tema, para ello se consultaron a diferentes bases de datos como: ScienceDirect, Ebsco, Scopus, Redalyc, SciELO y Google Académico.

Para la recolección de los datos se empleó lo siguiente: Filtro de vidrio de 25 mm, equipo automático modelo Beta, de la marca Thermo Scientific, estación meteorológica Campbell Scientific, con registrador de datos CR800

(Temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento, presión atmosférica, radiación solar y punto de Roció), mediante la telemetría se obtuvieron los datos en tiempo real, con el software AirMetReport, manual de los equipos.

### **3.5 Procedimientos**

La recolección de información, se fundamentó en el marco legal vigente “Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de Datos, DIGESA 2005”.

El procedimiento consistió en emplear filtros de microfibra de vidrio, los cuales se ubicaron dentro del equipo muestreador de bajo volumen (Beta PM10) que realiza el análisis automático, el cual absorbe el aire del ambiente, y lo conduce a una cámara de rayos beta.

Actividades desarrolladas en las dos estaciones de monitoreo:

- 1.1 Calibración del Equipo: Se realiza la calibración con dos equipos automáticos (laminas pre pesada de fábrica, se coloca en el lugar del filtro de vidrio y se realiza el ajuste en el equipo al parámetro del peso conocido de la lámina), también se verifico la contrastación y operatividad de la “estación meteorológica” para la obtención de datos confiables.
- 1.2 Los equipos se encuentran en las estaciones fijas, en su instalación se verificó que la altura del equipo este entre 1.5 m a 10 m sobre el piso del lugar, se verifico también que no existan barreras o interferencias como (a 10 metros de distancia) arboles, edificios, etc., para el adecuado flujo de aire durante el monitoreo. Se hizo uso de las extensiones eléctricas para tomar energía a 220 voltios, para su funcionamiento continuo. Culminando la instalación se procedió a colocar el filtro de vidrio, para inicio del monitoreo; se tuvo las medidas necesarias por protocolo normado para la manipulación del filtro.
- 1.3 Instalación y Monitoreo de Variables Meteorológicas: Se instaló una estación meteorológica de acuerdo a los criterios del protocolo nacional de la calidad de aire y gestión de los datos de la DIGESA, el cual opero durante todo el periodo de monitoreo de PM10, recolectando datos sobre la velocidad y

dirección del viento, humedad relativa, punto de rocío, radiación solar, presión atmosférica y temperatura.

1.4 El registro de los datos se realizó mediante telemetría, de acuerdo a lo señalado en el manual del software AirMetReport.

El registro de la concentración de material particulado PM10 y su relación con las variables climáticas (Dirección del Viento, Velocidad del Viento, Presión Atmosférica, Punto de Rocío, Temperatura, Radiación Solar y Humedad Relativa) se ha realizado en el entorno de las estaciones de monitoreo ubicadas en el Hospital María Auxiliadora, distrito de San Juan de Miraflores y Sede de la DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria del Ministerio de Salud) del distrito de Santiago de Surco.

### **3.6 Método de análisis de datos**

- Procesamiento de los resultados de concentración de PM10, se realizó mediante hoja de cálculo Excel 2017, así mismo para la presentación de los datos meteorológicos (Rosa de vientos) durante el periodo de monitoreo se usó el Software Wrplot View V.8.0.2.
- A partir de los datos de medición obtenidos, la metodología que se ha utilizado en el análisis de modelamiento es el coeficiente de correlación de Pearson.
- Para el análisis estadístico de los resultados de concentración de PM10, se realizó mediante el Software SPSS Statistics 22 y hoja de cálculo Excel 2017.
- Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para hallar la correlación de las concentraciones de PM10 encontradas con cada una de las variables meteorológicas.

### **3.7 Aspectos éticos**

La presente investigación ha cumplido con las normas de universidad Cesar Vallejo y que ha pasado por el turnitin, con un porcentaje menor al 23%, que demuestra la originalidad, formando parte de un proyecto de investigación de la UCV Lima Este, encontrándose en la línea de calidad y gestión de los recursos naturales a cargo de la Mg. Rita Jaqueline Cabello Torres.

## IV RESULTADOS

### OE1: Análisis de las variaciones climáticas

A partir de los resultados diarios obtenidos para el PM10 y de los valores diarios por hora de las variaciones climáticas se ha calculado los valores promedios mensuales de concentración de cada factor. Se ha elaborado un diagrama de distribución temporal para cada uno de ellos.

Los siguientes gráficos muestran la distribución de las variaciones climáticas y del contaminante PM10 en los distritos de Surco y San Juan de Miraflores obtenidos para el periodo enero a diciembre del 2019.

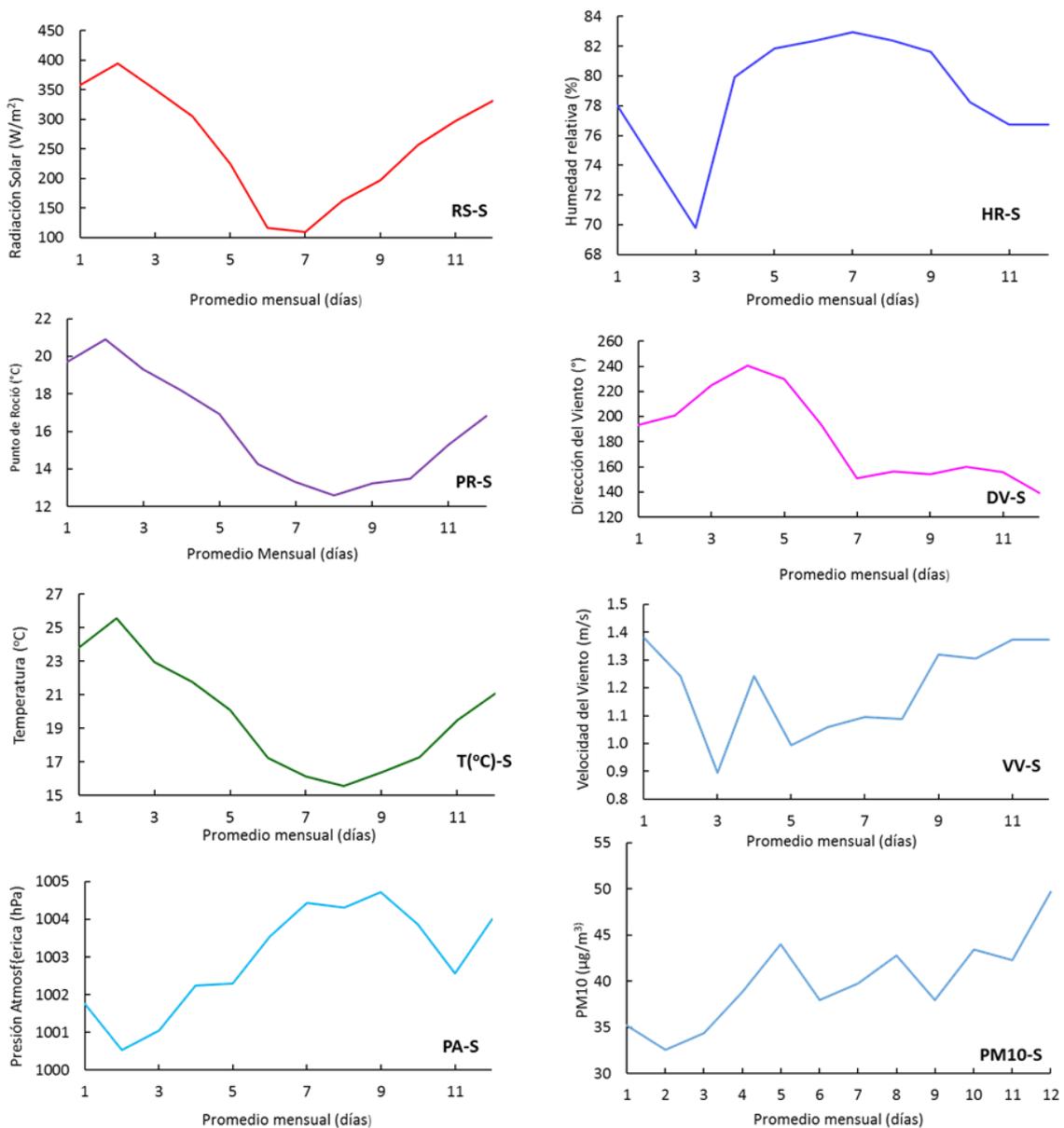


Gráfico N°1. Distribución de las variaciones climáticas y de material particulado PM10 en el distrito de Surco entre enero y diciembre de 2019, Lima-Perú.

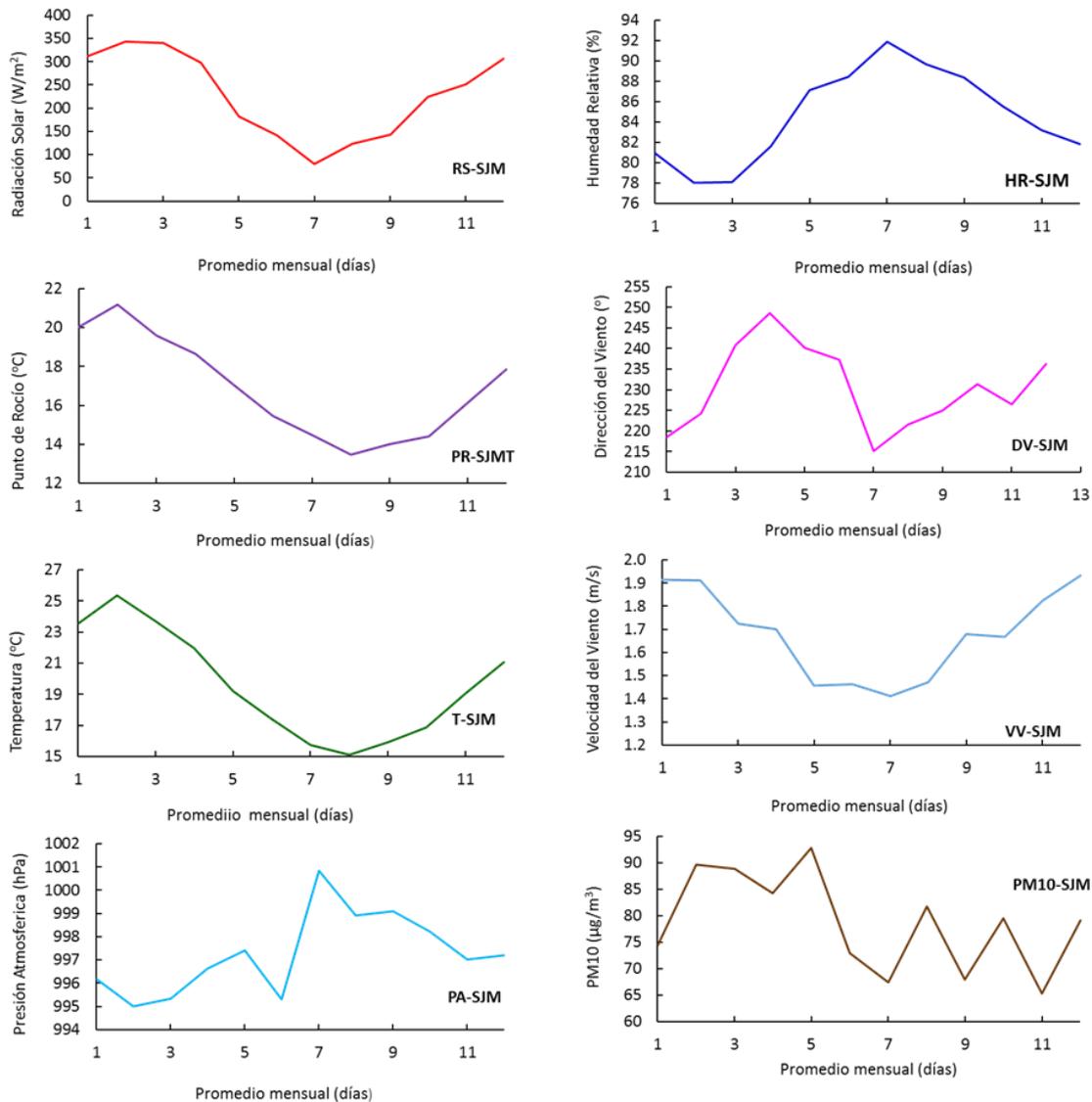


Gráfico N°2. Distribución espacial de factores meteorológicos y de material particulado PM10 en el distrito de San Juan de Miraflores entre enero y diciembre de 2019, Lima-Perú.

Es importante mencionar que las estaciones del año en esta parte del mundo, el verano comprende el periodo convenido del 22 de diciembre al 21 de marzo, el otoño del 22 de marzo al 21 de junio, el invierno del 22 de junio al 22 de setiembre y la primavera del 23 setiembre al 21 de diciembre. Teniendo en cuenta la estacionalidad del año se observa que como era de esperarse, el Punto de Rocío y la temperatura ambiental desarrollaron la misma tendencia temporal con los mayores valores de los promedios mensuales entre 23 y 25.6 °C. La radiación solar también fue elevada en estos meses alcanzando un valor máximo del promedio mensual de 394.4 W/m<sup>2</sup>. En los meses de invierno estos valores

disminuyeron hasta alcanzar un promedio mensual mínimo de 15.5 °C para la temperatura y de 109.8 W/m<sup>2</sup> para la radiación solar.

Sin embargo, también se puede observar que contrariamente la humedad relativa presentó menores valores en verano (69.8 a 78%) así como la presión atmosférica en dicho periodo (1000.5 a 1001.8 hPa).

La dirección del viento persistió en los primeros meses del año con velocidades que fueron disminuyendo de 1.4 m/s a 0.9 m/s. En el invierno, ocurrió una disminución de las temperaturas, radiación solar y velocidad del viento. Un análisis de la rosa de viento señala que la predominancia de la dirección del viento es en dirección Sur (S), Sur Sur Oeste (SSW) y Sur Sur Este (SEE), y siendo la velocidad del viento mínima de 0.30 m/s y la máxima a 2.40 m/s.

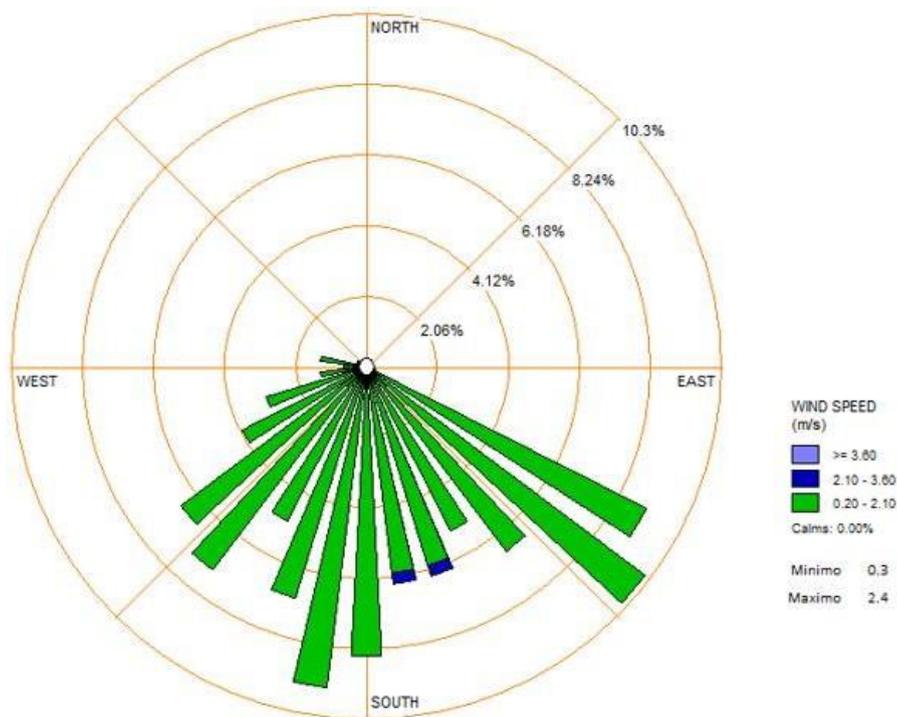


Gráfico N°3. Rosa de Viento de la estación ubicada en la sede de la DIGESA en Santiago de Surco – 2019.

Respecto a la estación de San Juan de Miraflores se observaron tendencias similares entre las temperaturas (23.5 a 25.4 °C) y la radiación solar (312.1 a 343 W/cm<sup>2</sup>) y con la velocidad del viento (1.7 a 1.9 m/s) es decir los mayores valores correspondieron a verano, con una fuerte disminución hacia el invierno cuando

se alcanzaron temperaturas mínimas de 15.1 a 15.9 °C y de radiación solar (80.3 a 141.2 W/cm<sup>2</sup>). Asimismo; la velocidad del viento disminuyó (1.9 a 1.5 m/s) conforme lo hacía la dirección del viento. El análisis de rosa de viento demostró la predominancia en dirección Sur Sur Oeste (SSO), con proyecciones mínimas de 0.9 m/s y máxima de 4.2 m/s.

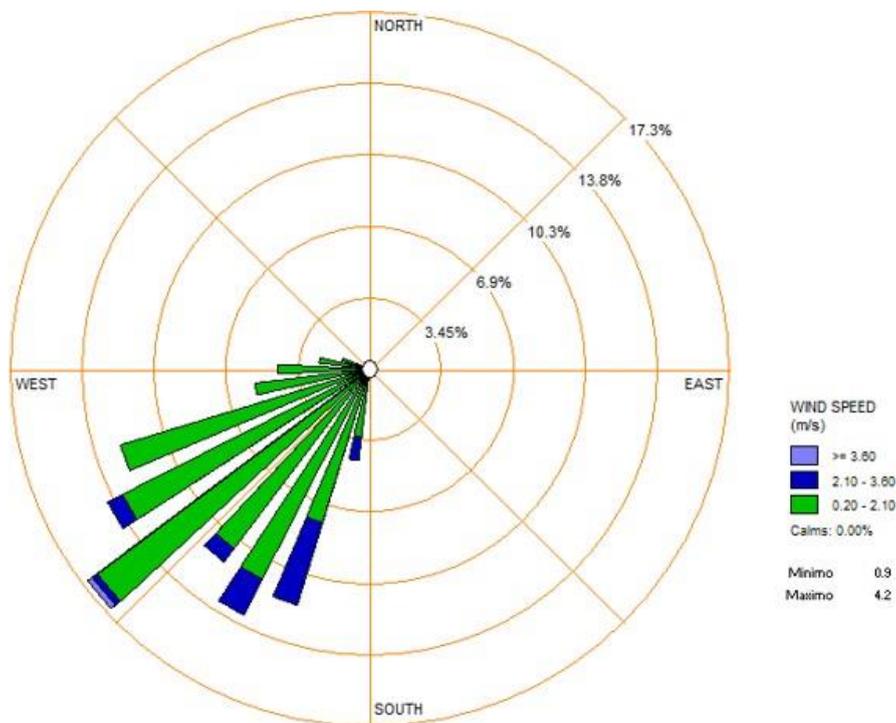


Gráfico N°04. Rosa de Viento de la estación ubicada en el Hospital María Auxiliadora en San Juan de Miraflores– 2019.

En cambio; se produjo una distribución temporal creciente para la presión atmosférica con la humedad relativa desde principios de año hacia el final, ya que sus promedios mensuales en verano oscilaron para la presión atmosférica entre 995 y 996.2 hPa y para la humedad relativa de 78 a 80.9 %, con un aumento marcado en invierno como para ambos factores con valores máximos promedio de 1000.8 hPa y de 91.9% respectivamente.

## OE2: Análisis de las concentraciones de PM10 en las Estaciones de Surco y San Juan de Miraflores

En la estación de Surco, el material particulado PM10, presentó los menores valores a principios de año es decir entre enero a marzo (32.6 y 35.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), luego de lo cual se incrementó especialmente en el mes de mayo con altibajos hasta el mes de octubre incrementándose en diciembre cuando alcanzó su máxima concentración promedio mensual (49.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En la estación de San Juan de Miraflores, el material particulado PM10 en general se observaron mayores valores en el primer semestre con un valor promedio máximo en mayo de 92.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y valores menores que oscilaron entre 65.3 y 81.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el segundo semestre.

En el siguiente gráfico se puede evidenciar que los valores de promedio mensual de la estación en San Juan de Miraflores oscilaron de 65.3 (noviembre) a 92.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (mayo) y superaron ampliamente a los valores detectados en la Estación de Surco entre 32.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (febrero) y 49.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (diciembre).

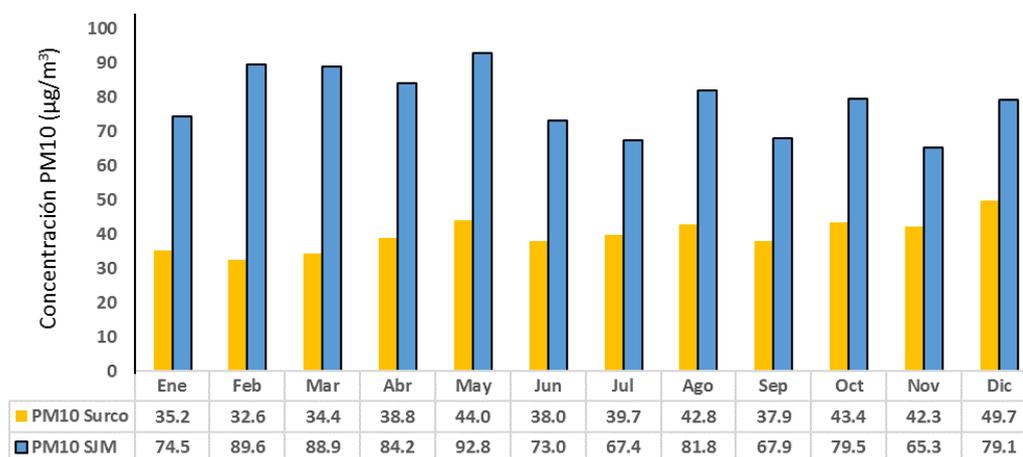


Gráfico N°05: Valores promedio mensuales de PM10 en las estaciones ubicadas en la sede de la DIGESA en Santiago de Surco y en San Juan de Miraflores.

### OE3: Análisis de las variaciones temporales entre la velocidad y dirección del viento y el material particulado PM10

Se ha graficado las concentraciones de material particulado PM10 a lo largo del año, así como la velocidad del viento en el mismo plano cartesiano usando el eje Y doble. El siguiente gráfico muestra comportamientos generalmente opuestos entre las variables, en las estaciones de Santiago de Surco y San Juan de Miraflores, ya que cuando mayor es la velocidad del viento, los valores de PM10 resultan menores, asimismo la concentración del PM10 aumenta a un máximo cuando la velocidad de los vientos es más baja.

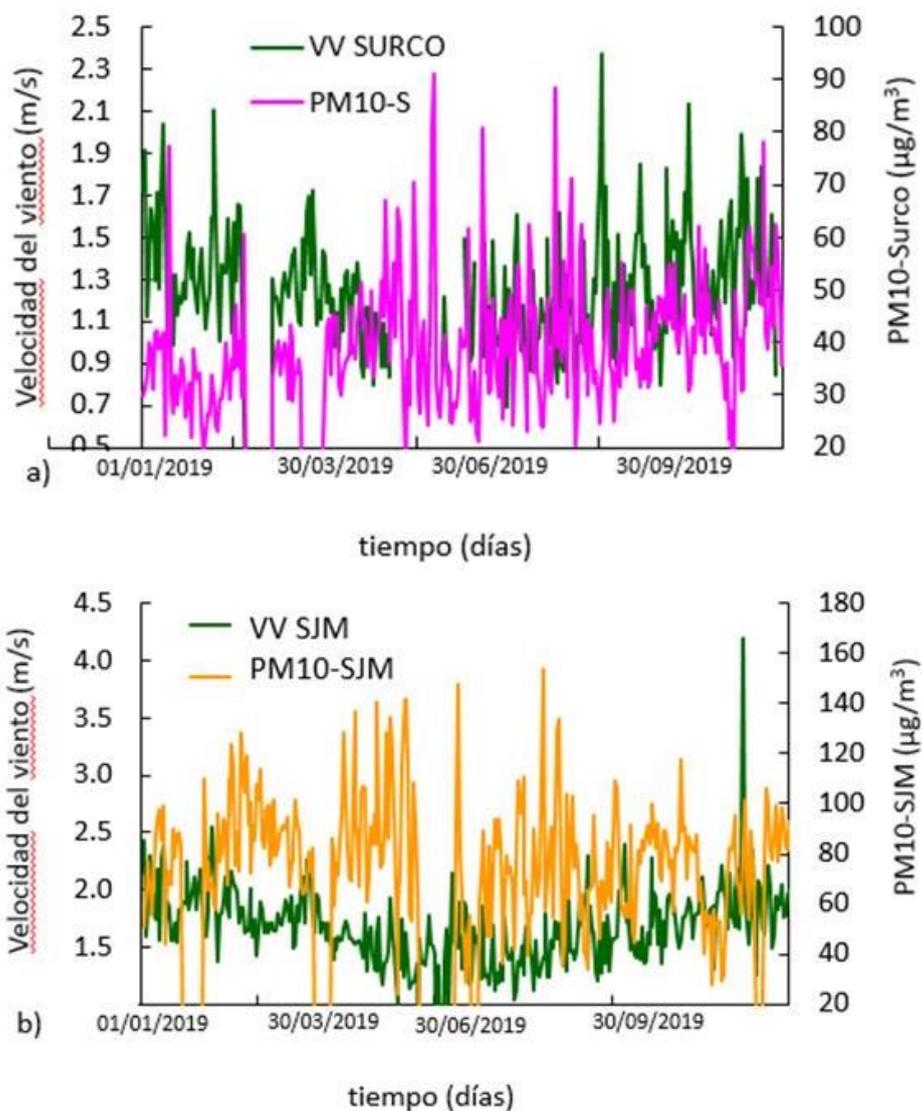


Gráfico N°06. Variación diaria de las concentraciones de PM10 y de la velocidad del viento en las estaciones de los distritos a) Santiago de Surco y b) San Juan de Miraflores.

En los siguientes gráficos se puede apreciar las concentraciones de material particulado PM10 a lo largo del año, así como la dirección del viento en el mismo plano cartesiano usando el eje Y doble. La figura muestra en ambas estaciones de Surco y San Juan de Miraflores comportamientos generalmente opuestos entre las variables, ya que cuando mayor es el grado de la dirección del viento, los valores de PM10 resultan menores, asimismo la concentración del PM10 aumenta a un máximo cuando los grados de la dirección de los vientos es menor. Eso quiere decir, que la dirección de los vientos, se dirigen hacia el Este (E), el material particulado es menor y cuando cambia la dirección hacia el Oeste (W), la cantidad del material particulado es mayor.

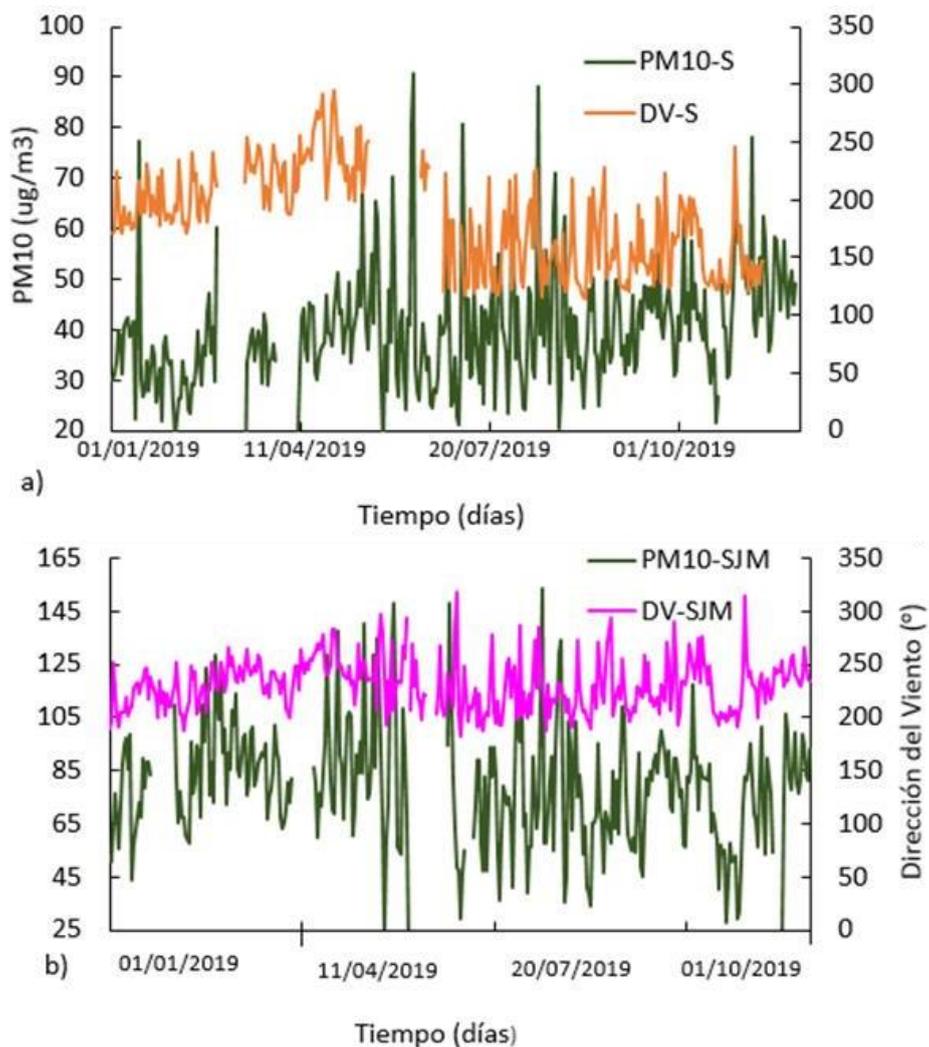


Gráfico N°07. Distribución de la dirección del viento y el PM10 en las estaciones de los distritos a) Santiago de Surco y b) San Juan de Miraflores.

#### OE4: Análisis de la relación entre las variaciones climáticas y el material particulado PM10

El análisis correlacional entre la variaciones climáticas y el material particulado PM10 en la estación de Surco, demostró que no existe una relación significativa ( $p = 0.327$ ) entre la velocidad del viento (VV) y el PM10, tampoco se demostró una relación significativa con la radiación solar (RS) ( $p > 0.05$ ), sin embargo, fueron la temperatura ambiental (T) ( $p = 0.001$ ) y especialmente el punto de rocío (PR) ( $p = 0.000$ ) los factores estereológicos que si se correlacionaron significativamente con el PM10 mostrando correlación opuesta y débil.

Tabla N°05 Correlación entre el PM10 y los factores meteorológicos en la Estación del distrito de Santiago de Surco, 2019.

VV SURCO			RS SURCO			PA SURCO		
Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N
-.058	.327	284	.041	.490	283	.120*	.044	284
PR SURCO			T SURCO			HR SURCO		
Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N
-.252**	.000	284	-.189**	.001	284	-.120*	.043	284

VV: velocidad del viento; RS: radiación solar; PA: presión atmosférica; PR: punto de rocío; T: temperatura; HR: humedad relativa.

De otro lado, en la estación de San Juan de Miraflores a excepción de la velocidad del viento (VV) y de la presión atmosférica (PA), es la temperatura ambiental (T), el punto de rocío (PR), la humedad relativa (HR) y la radiación solar (RS) los factores relacionados significativamente con el PM10 ( $p < 0.05$ ). Como se observa; los factores que presentaron mayores valores de correlación fueron, la radiación solar que se correlacionó de manera positiva con el mayor factor R (0.332), y la humedad relativa que se correlacionó de manera negativa ( $R = -0.355$ ). Les siguieron las temperaturas ambientales y el punto de rocío con menores factores, aunque positivos.

Tabla N°06 Correlación entre el PM10 y los factores meteorológicos en la estación del distrito de San Juan de Miraflores (SJM), 2019.

<b>VV SJM</b>			<b>RS SJM</b>			<b>PA SJM</b>		
Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N
-.056	.320	315	,332**	.000	315	-0.0978041	.083	315

<b>PR SJM</b>			<b>T SJM</b>			<b>HR SJM</b>		
Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral)	N
,184**	.001	315	,252**	.000	315	-,355**	.000	315

VV: velocidad del viento; RS: radiación solar; PA: presión atmosférica; PR: punto de rocío; T: temperatura; HR: humedad relativa.

## V. DISCUSIÓN

### OE1: Análisis de las variaciones climáticas

Se tuvo acceso a los datos de las variables climáticas y de PM10 de la DIGESA, de ambas estaciones de monitoreo en Surco y San Juan de Miraflores, del 01 de enero al 31 de diciembre del 2019, sin embargo no siempre se contó con datos, habiendo espacios vacíos equivalentes al 18.4% de datos en la estación de Surco y del 2.99% en la estación de San Juan de Miraflores, mostrando que la serie de tiempo se hallaba segmentada en algunos periodos cortos del 2019, no se tomaron en cuenta en los cálculos ni se aplicó ningún método de iteración para su estimación. Se ha trabajado con los datos reales en esta investigación. La base de datos correspondió a los valores emitidos diariamente tanto de los factores meteorológicos como del PM10. A partir de esta base de datos se ha analizado los factores meteorológicos y su influencia en la distribución de la concentración del PM10 por un solo factor. Asimismo; las consideraciones fundamentales para establecer la relación entre algún factor meteorológico y el PM10 se ha basado en el cálculo del factor estadístico p-valor con un nivel de significancia de 0.05 y el factor de correlación de Pearson R.

La estación de San Juan de Miraflores presentó mayores valores en la velocidad del viento, la Humedad relativa y el punto de rocío, pero la estación de Surco dominó con mayores valores en la velocidad del viento y en humedad relativa. La temperatura fue el único factor muy cercano entre ambas estaciones aledañas en el sur de Lima. De acuerdo a la tabla se evidenció que la velocidad del viento en ambas estaciones se correlacionó de manera significativa y de manera directa con la radiación solar, la humedad relativa y la temperatura a excepción del punto de rocío que solo guardo una relación directa con la velocidad del viento en SJM. La variación en los factores meteorológicos se explica en la variedad de microclimas que existen en los distintos distritos de Lima y que afectan de manera directa en las condiciones de dispersión y concentración de un contaminante atmosférico (Pacsi, 2016). Otro aspecto relevante es que los demás factores se correlacionaron de manera significativa y positiva entre sí, a excepción de algunos factores que mantuvieron correlaciones negativas tales como la radiación solar con la presión atmosférica y la humedad relativa; la presión atmosférica con el punto de rocío, el punto de rocío con la humedad

relativa y la temperatura ambiental con la humedad relativa en ambas estaciones.

Tabla N°07 Matriz de correlaciones entre los factores meteorológicos en las estaciones del distrito de Santiago de Surco y San Juan de Miraflores. 2019.

		VV SURCO	VV SJM	RS SURCO	RS SJM	PA SURCO	PA SJM	PR SURCO	PR SJM	T SURCO	T SJM
RS	Pearson's r	0.448	0.588	—	—						
	p-value	< .001	< .001	—	—						
PA	Pearson's r	0.104	0.041	-0.472	-0.142	—	—				
	p-value	0.067	0.435	< .001	0.007	—	—				
PR	Pearson's r	-0.026	0.388	0.639	0.666	-0.651	-0.166	—	—		
	p-value	0.651	< .001	< .001	< .001	< .001	0.002	—	—		
T	Pearson's r	0.235	0.443	0.707	0.748	-0.632	-0.203	0.977	0.971	—	—
	p-value	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	—	—
HR	Pearson's r	0.346	-0.486	-0.589	-0.778	0.391	0.168	-0.472	-0.665	-0.58	-0.82
	p-value	< .001	< .001	< .001	< .001	< .001	0.001	< .001	< .001	< .001	< .001

## OE2: Análisis de las concentraciones de PM10 en las Estaciones de Surco y San Juan de Miraflores.

La estación de Surco, ha presentado niveles moderados en la concentración de material particulado PM10, estos valores resultaron inferiores a los estándares de calidad del aire para mediciones dentro de las 24 horas ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) así como al valor anual promedio ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), según el Decreto Supremo N°003-2017-MINAM.

En la estación de San Juan de Miraflores, los mayores valores observados en el primer semestre coinciden con los hallazgos descritos por Pacsi (2016) entre los meses de verano y otoño, especialmente entre febrero a mayo con disminuciones en invierno. Además de acuerdo a los ECAs (Estándares de Calidad Ambiental) estos valores superaron el estándar considerado para mediciones de promedio anual ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y superaron el estándar de 24 horas ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con valores que oscilaron entre ( $100.8$  y  $153.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), la norma menciona quedurante un año el estándar no debe ser superado en más de 7 días, sin embargo se contabilizaron 43 días con estos valores destacando el mes

de mayo con el 9% de concentraciones superiores a los 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . El registro histórico de SENAMHI señaló para el 2014 que esta estación había superado en 23 días el ECA vigente de aquel periodo para las mediciones diarias (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (SENAMHI, 2014). Esta situación evidencia las variadas fuentes de contaminación del aire que existen en toda la ciudad de Lima, en la que destacan principalmente el parque automotor, el sector industria, así como las instalaciones de servicios de gasolina y de comida como fuentes de emisión de PM10 (MINAM, 2014).

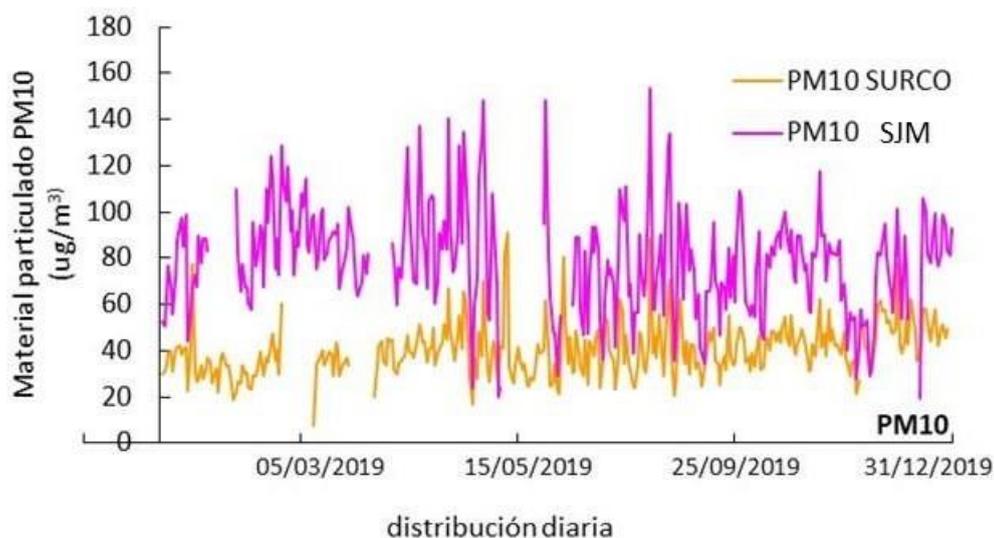


Gráfico N°08. Tendencia temporal de la concentración de PM10 en las estaciones de los distritos de Santiago de Surco y San Juan de Miraflores. 2019.

De otro lado, de acuerdo al Índice de calidad del aire (INCA), el 86.4% de los valores diarios de PM10 a lo largo de todo el año en la Estación del distrito de Santiago de Surco se clasificaron en el rango de buena calidad del aire cumpliendo también con el límite máximo establecido por la OMS para este contaminante (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Ilizarbe-González, 2020), mientras que solo el 13.6% correspondieron a una calidad de aire moderada.

No obstante; la Estación en San Juan de Miraflores tiene un 76.6% de las concentraciones diarias de PM10 que se mantuvieron en el rango moderado y un 13.6% de concentraciones en el rango de mala calidad del aire, esta condición podría estar afectando la salud de la población (SENAMHI, 2014).

Tabla N°08. Resultados de la aplicación del INCA en las estaciones de los distritos de Santiago de Surco y San Juan de Miraflores, 2019.

Intervalo Índice de Calidad del Aire (INCA)	Santiago de Surco (%)	San Juan de Miraflores (%)
Buena (0-50) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	86.4	8.8
Moderada (51-100) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13.6	76.6
Mala (101-167) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	13.6
Umbral de Cuidado > 167 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0	0

Las investigaciones históricas para la estación de San Juan de Miraflores señalan que estos niveles de contaminación por PM10 se debe a las altas emisiones vehiculares y el polvo atmosférico natural del entorno a la estación de monitoreo (Pacsi, 2016), ya que existe una diferencia entre la zona de San Juan de Miraflores de tipo arenosa que aún libera parte del polvo desde sus suelos no pavimentados, este polvo se suspende en la atmosfera, mientras que Surco representa una urbe totalmente pavimentada.

Es importante destacar que Lima es una ciudad con más de 10 millones de habitantes y debido a su alta demografía y actividades económicas, se ha catalogado como una de las 10 áreas urbanas que mantienen un alto nivel de contaminación a nivel mundial con un relativo riesgo de mortandad de 1.25 de su población por enfermedades cardio-respiratorias (Ilizarbe-Gonzáles, 2020).

### **OE3: Análisis de las variaciones temporales entre la velocidad y dirección del viento y el material particulado PM10**

El análisis de rosa de viento en la Estación Surco demostró que el origen de las fuentes propias del distrito como la Base Área de las Palmas (FAP) y los centros de venta de alimentos como restaurantes, incluido su parque automotor en la mayoría de los casos cumplen con las normas nacionales y referencias internacionales (OMS), sin embargo también existiría una influencia foránea determinada por la dispersión o transporte de PM10 trasportada por los vientos provenientes de la zona sur (S) y la zona Sur Este (SE) desplazándose hacia la zona Norte (N) y Nor Oeste (NW) de Lima con una velocidad baja. La figura muestra la rosa de vientos en ambas estaciones de monitoreo.

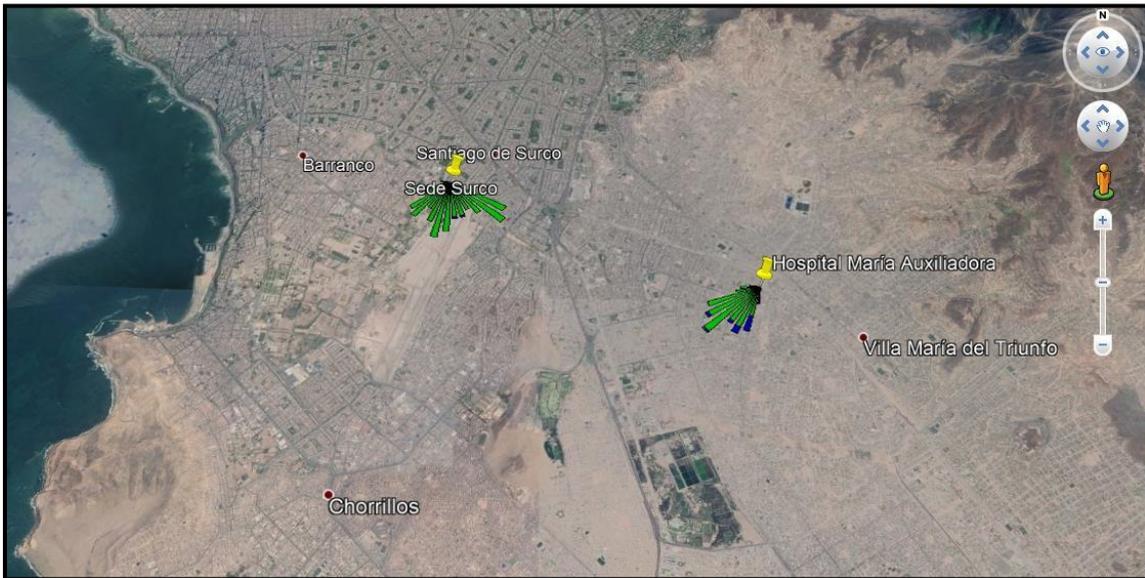


Gráfico N°09. Distribución de rosa de viento en las Estaciones de Santiago de Surco y San Juan de Miraflores, 2019.

En el caso de San Juan de Miraflores en la Estación del Hospital María Auxiliadora los vientos provenientes de la zona Sur Oeste (SW) se desplazan hacia la zona Nor Este (NE), con una mayor velocidad que la estación ubicada en Surco, visualizada por los colores azules que aparecen en la figura. Es importante tener en cuenta que este distrito corresponde a una zona desértica con una topografía variada y por la presencia de cerros, zonas de áreas verdes sin forestar, calles sin pavimentar, además de una elevada actividad de fuentes de área como pollerías, restaurantes, comedores, que utilizan una diversidad de tipos de carbón para el cocimiento de alimentos, además de las fuentes móviles lineales (Tapia et al 2018). Los resultados señalan que las políticas de reordenamiento del tránsito vehicular aplicados resultan cruciales en la reducción de los contaminantes atmosféricos.

#### **OE4: Análisis de la relación entre las variaciones climáticas y el material particulado PM10**

El siguiente grafico muestra las dispersiones y correlaciones halladas entre el PM10 y las variaciones climáticas en cada estación evaluada. Las gráficas de distribución de la dirección del viento y velocidad, si bien no muestran relaciones significativas con el PM10, no obstante, se puede observar una mayor dispersión

de valores relacionados con la concentración de PM10 en San Juan de Miraflores, mientras que en la estación de Santiago de Surco las concentraciones PM10 mantienen valores más discretos.

La Humedad Relativa en la estación de Santiago de Surco, mostro un nivel de significancia algo débil, pero con un factor de R opuesto al PM10 ( $R=-0.12$ ), una mayor humedad relativa conduce a disminuir el contenido de PM10 atmosférico, de igual modo en la estación de San Juan de Miraflores ( $R=-0.355$ ).

El Punto de rocío mostro un nivel significativo y directo con el PM10 en la estación de Santiago de Surco ( $R=-0.252$ ) y en la estación de San Juan de Miraflores ( $R=0.184$ ).

La Radicación solar no presento una relación significativa con el PM10 en la estación de Santiago de Surco siguiendo la tendencia histórica del 2018 (Costa, et al. 2018) sin embargo en San Juan de Miraflores mostro una correlación baja y directa  $R$  (0.332) eso se debería principalmente a que los valores en la estación de Santiago de Surco oscilan en un rango estable de material particulado con concentraciones bajas, en cambio en la estación en San Juan de Miraflores se observa una tendencia ascendente de valores de PM10 con el incremento de radiación solar, la caída de marzo a julio en Santiago de Surco fue opuesta al incremento de la concentración de MP10 en esos meses. En cambio; en San Juan de Miraflores, ambos factores presentaron tendencias similares.

En el caso de la temperatura, en general se produjo una correlación negativa y baja con el PM10 en el distrito de Santiago de Surco ( $R=-0.189$ ) esto sucedió debido a que a principios de año mientras la temperatura fue mayor se produjeron las menores concentraciones de PM10, pero llegado el invierno conforme las temperaturas descendían también lo hacia el PM10. En cambio; en San Juan de Miraflores, ambos factores siguieron la misma tendencia produciendo un factor  $R$  mayor y directo ( $R=0.25$ ) y esto sugiere que las menores temperaturas de invierno donde la humedad relativa es alta se generaría una mayor formación de material particulado debido a la transformación de gases a material particulado emitida desde las fuentes contaminantes (Silva et al. 2017).

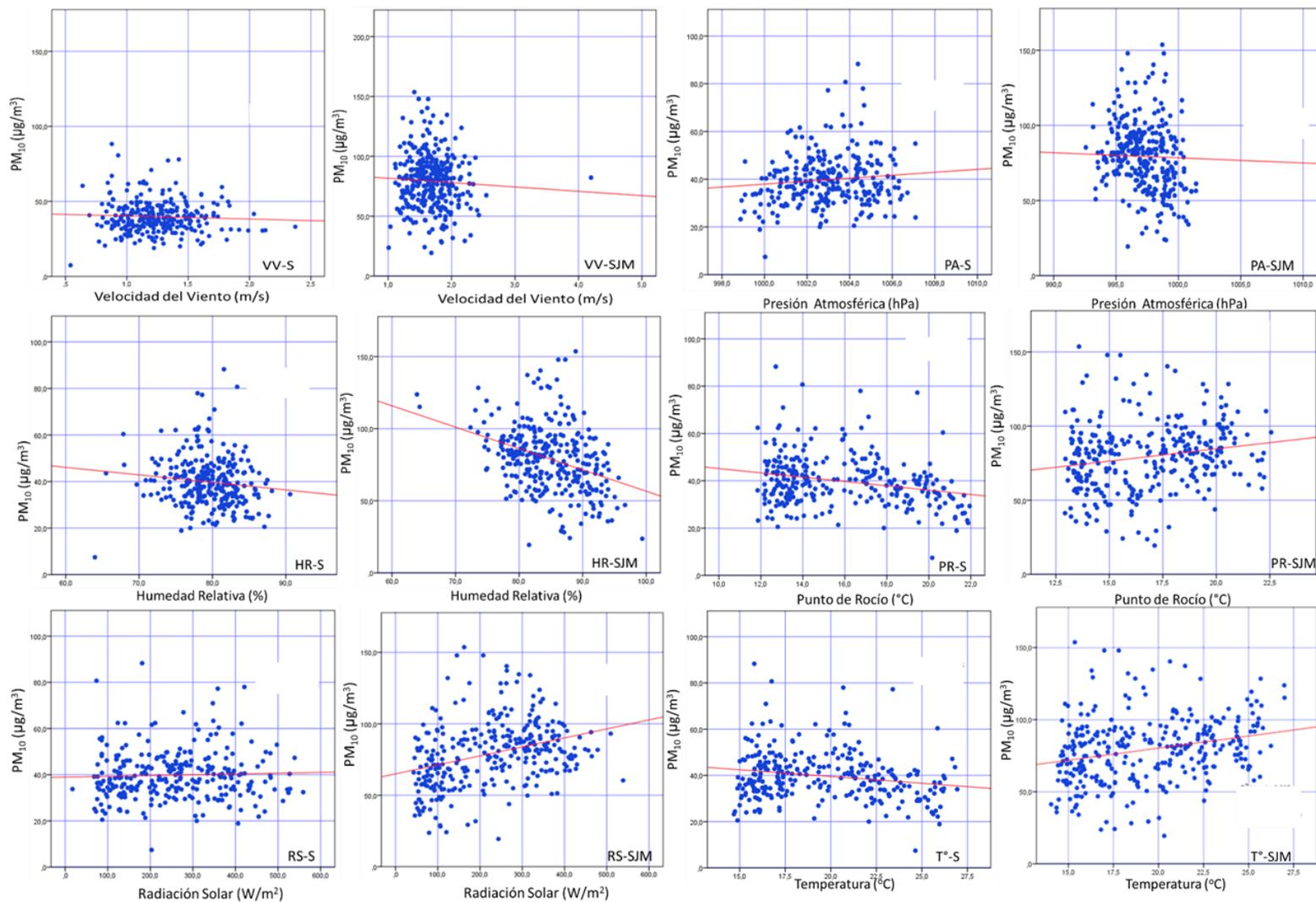


Gráfico N°10 Dispersión de PM10 y los factores meteorológicos en el distrito de Surco y de San Juan de Miraflores, Lima-Perú.

## VI. CONCLUSIONES

6.1 De acuerdo a los resultados obtenidos, del monitoreo del material particulado y las variaciones climáticas en las estaciones de San Juan de Miraflores y Surco, no determinaría el estado de la calidad del aire en el sur de Lima, en tanto los niveles de contaminación y la influencia de las variaciones climáticas, no son las mismas en ambas estaciones.

6.2 Con excepción de la humedad relativa y la presión atmosférica, en general, los valores de las variables meteorológicas son menores en invierno que en otras estaciones del año. (OE1)

6.3 Las concentraciones medias anuales de PM10 en el aire en la estación de San Juan de Miraflores supera el límite establecido en el ECAs para dicho contaminante. (OE2)

6.4 Si bien los resultados mostraron un comportamiento generalmente opuesto entre la velocidad del viento y los niveles de material particulado PM10, en ambas estaciones, éste no fue estadísticamente significativo. Por otra parte, cuando la dirección del viento se dirige hacia el Este (E), el material particulado es menor y cuando cambia la dirección hacia el Oeste (W), la cantidad del material particulado es mayor. (OE3)

6.5 La temperatura y el punto de rocío fueron las variables climáticas que presentaron correlaciones directas con el PM10 en la estación de San Juan de Miraflores, pero una correlación opuesta en la estación de Santiago de Surco. Adicionalmente, en la estación de San Juan de Miraflores, la variable Humedad Relativa se correlacionó de manera opuesta con el PM10, mientras que la Radiación Solar mostró una correlación positiva. (OE4)

## **VII. RECOMENDACIONES**

7.1 Implementar estaciones adicionales de monitoreo sanitario de la calidad del aire en la zona sur de Lima metropolitana.

7.2 Reduciendo las emisiones vehiculares, mejora en la planificación urbana, promoción de la infraestructura verde en la estación de San Juan de Miraflores, puede mejorar la calidad del aire.

7.3 Considerando que el PM<sub>2.5</sub> aporta una porción significativa de PM<sub>10</sub> y dado que su toxicidad depende principalmente de sus componentes químicos en fracción de menor tamaño, es importante asociar PM<sub>2.5</sub> y sus componentes químicos en estudios futuros para evaluar mejor el estado y efectos negativos de PM<sub>10</sub>.

## Referencias Bibliográficas

- Adriana E. Larrea Valdivia<sup>1</sup> & Juan A. Reyes Larico<sup>1</sup> & Jimena Salcedo Peña<sup>1</sup> & Eduardo D. Wannaz<sup>2</sup>. Health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) adsorbed in PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in a region of Arequipa, Peru. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07185-5>
- Angie Magaly Buitrago Moreno / José Miguel Tejeiro Mahecha (2019). <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/15598/2019migueltejeiro?sequence=6&isAllowed=y>
- Bloss, W. (2018). *Medición de contaminantes atmosféricos. Módulo de referencia en Sistemas Terrestres y Ciencias Ambientales*. doi: 10.1016 / b978-0-12-409548-9.11354-5
- Brodny, J. y Tutak, M. (2019). Análisis de la diversidad de emisiones de determinados contaminantes gaseosos y particulados en los países de la Unión Europea. *Journal of Environmental Management*, 231, 582–595. doi: 10.1016 / j.jenvman.2018.10.045
- Camuffo, D. (2019). Fundamentos teóricos de la humedad. *Microclima para el patrimonio cultural*, 43–59. doi: 10.1016 / b978-0-444-64106-9.00003-1
- Chen, T., He, J., Lu, X., She, J. y Guan, Z. (2016). Variaciones espaciales y temporales de PM<sub>2.5</sub> y su relación con factores meteorológicos en el área urbana de Nanjing, China. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, 13 (9), 921. doi: 10.3390 / ijerph13090921
- Cujia, A., Agudelo-Castañeda, D., Pacheco-Bustos, C., & Teixeira, E. C. (2019). Forecast of PM<sub>10</sub> time-series data: A study case in Caribbean cities. *Atmospheric Pollution Research*. doi:10.1016/j.apr.2019.09.013.
- Él, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H., Li, R. (2017). Características de la contaminación del aire y su relación con las condiciones meteorológicas durante 2014-2015 en las principales ciudades chinas. *Contaminación ambiental*, 223, 484–496. doi: 10.1016 / j.envpol.2017.01.050.
- Gina Mishel Ilizarbe-González<sup>a</sup>, JhojanPool Rojas-Quincho<sup>b</sup>, Rita Jaqueline Cabello-Torres<sup>a</sup>, Carlos Alfredo Ugarte-Alvan<sup>a</sup>, Patricia Reynoso-Quispe<sup>c</sup> & Lorgio Gilberto Valdiviezo-Gonzales<sup>a</sup>. Caracterización química e identificación de fuentes PM<sub>10</sub> en dos distritos de Lima, Perú. DOI: <http://doi.org/10.15446/dyna.v87n215.83688>
- He, J., Gong, S., Yu, Y., Yu, L., Wu, L., Mao, H., Li, R. (2017). Características de la contaminación del aire y su relación con las condiciones meteorológicas durante 2014-2015 en las principales ciudades chinas. *Contaminación ambiental*, 223, 484–496. doi: 10.1016 / j.envpol.2017.01.050

- Ji, M., Jiang, Y., Han, X., Liu, L., Xu, X., Qiao, Z. y Sun, W. (2020). *Relaciones espacio-temporales entre la calidad del aire y múltiples parámetros meteorológicos en 221 ciudades chinas. Complejidad*, 2020, 1–25. doi: 10.1155/2020/6829142
- Jo, E.-J., Lee, W.-S., Jo, H.-Y., Kim, C.-H., Eom, J.-S., Mok, J.-H., Park, H.-K. (2017). Effects of particulate matter on respiratory disease and the impact of meteorological factors in Busan, Korea. *Respiratory Medicine*, 124, 79–87. doi:10.1016/j.rmed.2017.02.010
- Kalaiarasan, G., Balakrishnan, R. M., Sethunath, N. A., & Manoharan, S. (2018). Source apportionment studies on particulate matter (PM 10 and PM 2.5) in ambient air of urban Mangalore, India. *Journal of Environmental Management*, 217, 815–824. doi:10.1016/j.jenvman.2018.04.040
- Khodakarami, J., & Ghobadi, P. (2016). Urban pollution and solar radiation impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 965–976. doi:10.1016/j.rser.2015.12.166
- Kliengchuay, W., Cooper Meeyai, A., Worakhunpiset, S., & Tantrakarnapa, K. (2018). Relationships between Meteorological Parameters and Particulate Matter in Mae Hong Son Province, Thailand. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12), 2801. doi:10.3390/ijerph15122801
- Lee, W., Choi, HM, Kim, D., Honda, Y., Leon Guo, Y.-L. y Kim, H. (2019). Efecto sinérgico entre las altas temperaturas y la contaminación del aire sobre la mortalidad en el noreste de Asia. *Investigación medioambiental*, 108735. doi: 10.1016 / j.envres.2019.108735
- Li, X., Ma, Y., Wang, Y., Liu, N. y Hong, Y. (2017). Análisis temporal y espacial de material particulado (PM 10 y PM 2,5) y su relación con parámetros meteorológicos en una ciudad urbana en el noreste de China. *Investigación atmosférica*, 198, 185-193. doi: 10.1016 / j.atmosres.2017.08.023
- Li, R., Wang, Z., Cui, L., Fu, H., Zhang, L., Kong, L., Chen, J. (2019). Características de la contaminación del aire en China durante 2015-2016: variaciones espacio-temporales y factores meteorológicos clave. *Science of The Total Environment*, 648, 902–915. doi: 10.1016 / j.scitotenv.2018.08.181
- Li, R., Wang, Z., Cui, L., Fu, H., Zhang, L., Kong, L., Chen, J. (2019). Características de la contaminación del aire en China durante 2015-2016: variaciones espacio-temporales y factores meteorológicos clave. *Science of The Total Environment*, 648, 902–915. doi: 10.1016 / j.scitotenv.2018.08.181

- Liu, Z., Hu, B., Wang, L., Wu, F., Gao, W. y Wang, Y. (2014). Variación estacional y diurna en materia particulada (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) en un sitio urbano de Beijing: análisis de un estudio de 9 años. *Investigación en ciencias ambientales y contaminación*, 22 (1), 627–642. doi: 10.1007 / s11356-014-3347-0
- Ministerio del Ambiente Decreto Supremo N°003-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-003-2017-MINAM.pdf>
- Molina, A., Falvey, M., & Rondanelli, R. (2017). A solar radiation database for Chile. *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/s41598-017-13761-x
- Monica Tejerina Fernández (2015). UF1909: toma de muestras de contaminantes atmosféricos. <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=xbRWDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=tejerina+fernandez+2015&ots=ZTQUVpEpvG&sig=O3spOoyDTpdpqijZ5q65odGwJk4#v=onepage&q=tejerina%20fernandez%202015&f=false>
- Mukherjee, A. y Agrawal, M. (2017). Material particulado del aire mundial: fuentes, distribución y efectos en la salud. *Cartas de química ambiental*, 15 (2), 283-309. doi: 10.1007 / s10311-017-0611-9 URL para compartir este documento: [sci-hub.do/10.1007/s10311-017-0611-9](http://sci-hub.do/10.1007/s10311-017-0611-9)
- Muskała, P., Sobik, M., Błaś, M., Polkowska, Ż. Y Bokwa, A. (2015). Deposición de contaminantes a través del rocío en entornos urbanos y rurales, Cracovia, Polonia. *Investigación atmosférica*, 151, 110-119. doi: 10.1016 / j.atmosres.2014.05.028
- Organización Mundial de la Salud 2005. Guías de Calidad del Aire relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf;jsessionid=65D11EECF714094B3A54EF5C55767A6?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=65D11EECF714094B3A54EF5C55767A6?sequence=1)
- Pacsi Valdivia, Sergio (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. Doi:<http://dx.doi.org/10.21704/ac.v77i2.699>
- Pant, P., Lal, R. M., Guttikunda, S. K., Russell, A. G., Nagpure, A. S., Ramaswami, A., & Peltier, R. E. (2018). Monitoring particulate matter in India: recent trends and future outlook. *Air Quality, Atmosphere & Health*. doi:10.1007/s11869-018-0629-6.
- Park, S.-Y., Byun, E., Lee, J., Kim, S., & Kim, H. (2018). Air Pollution, Autophagy, and Skin Aging: Impact of Particulate Matter (PM<sub>10</sub>) on Human Dermal

Fibroblasts. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(9), 2727. doi:10.3390/ijms19092727

Quintana-Belmares, R. O., Kraus, A. M., Esfahani, B. K., Rosas-Pérez, I., Mucs, D., López-Marure, R., Alfaro-Moreno, E. (2018). Phthalate esters on urban airborne particles: Levels in PM 10 and PM 2.5 from Mexico City and theoretical assessment of lung exposure. *Environmental Research*, 161, 439–445. doi:10.1016/j.envres.2017.11.039

Romero, Y., Díaz, C., Meldrum, I., Arias Velásquez, R., y Noel, J. (2020). Análisis temporal y espacial de contaminantes relacionados con el tráfico bajo la influencia de la estacionalidad y variables meteorológicas sobre una ciudad urbana del Perú. *Heliyon*, 6 (6), e04029. doi: 10.1016 / j.heliyon.2020.e04029

Ścibor, M., Balcerzak, B., Galbarczyk, A., Targosz, N., & Jasienska, G. (2019). Are we safe inside? Indoor air quality in relation to outdoor concentration of PM10 and PM2.5 and to characteristics of homes. *Sustainable Cities and Society*, 101537. doi:10.1016/j.scs.2019.101537

SENAMHI 2014. Evaluación de la Calidad del Aire en Lima Metropolitana, 2014. [www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe) / [www.peruclima.pe](http://www.peruclima.pe)

Silva, J., Rojas, J., Norabuena, M., Molina, C., Toro, R. A., & Leiva-Guzmán, M. A. (2017). Particulate matter levels in a South American megacity: the metropolitan area of Lima-Callao, Peru. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(12). doi:10.1007/s10661-017-6327-2

Srbínovska, M., Andova, V., Mateska, A. K., & Krstevska, M. C. (2020). The effect of small green walls on reduction of particulate matter concentration in open areas. *Journal of Cleaner Production*, 123306. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123306

Stanek, LW y Brown, JS (2019). *Contaminación del aire: fuentes, regulación y efectos sobre la salud. Módulo de referencia en Ciencias Biomédicas*. doi: 10.1016 / b978-0-12-801238-3.11384-4

Tong, CHM, Yim, SHL, Rothenberg, D., Wang, C., Lin, C.-Y., Chen, YD y Lau, NC (2018). Evaluar los impactos de las condiciones atmosféricas estacionales y verticales en la calidad del aire en la región del Delta del Río Perla. *Ambiente atmosférico*, 180, 69–78. doi: 10.1016 / j.atmosenv.2018.02.039

Vilma Tapia<sup>1,a</sup>, Luz Carbajal<sup>2,b</sup>, Vanessa Vásquez<sup>1,c</sup>, Rocío Espinoza<sup>3,d</sup>, Cinthya Vásquez-Velásquez<sup>1,e</sup>, Kyle Steenland<sup>4,f</sup>, Gustavo F. Gonzales<sup>1,g</sup>. Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2.5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú. Doi:10.17843/rpmesp.2018.352.3250.

- Voyant, C., Notton, G., Kalogirou, S., Nivet, M.-L., Paoli, C., Motte, F., & Fouilloy, A. (2017). Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review. *Renewable Energy*, 105, 569–582. doi:10.1016/j.renene.2016.12.095
- Wang, L., Dong, S., Liu, M., Tao, W., Xiao, B., Zhang, S., Li, X. (2019). Hidrocarburos aromáticos policíclicos en PM2.5 y PM10 atmosféricos en la ciudad semiárida de Xi'an, noroeste de China: variaciones estacionales, fuentes, riesgos para la salud y relaciones con factores meteorológicos. *Investigación atmosférica*, 229, 60–73. doi: 10.1016 / j.atmosres.2019.06.014
- Wang, L., Dong, S., Liu, M., Tao, W., Xiao, B., Zhang, S., Li, X. (2019). Polycyclic aromatic hydrocarbons in atmospheric PM2.5 and PM10 in the semi-arid city of Xi'an, Northwest China: Seasonal variations, sources, health risks, and relationships with meteorological factors. *Atmospheric Research*, 229, 60–73. doi:10.1016/j.atmosres.2019.06.014
- Xie, J., Liao, Z., Fang, X., Xu, X., Wang, Y., Zhang, Y., Wang, B. (2019). Las características del campo de viento por hora y sus impactos en la calidad del aire en la región del delta del río Pearl durante 2013-2017. *Investigación atmosférica*, 227, 112-124. doi: 10.1016 / j.atmosres.2019.04.023
- Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen, H. y Zhang, L. (2017). Relaciones entre PM2.5 y factores meteorológicos en China: variaciones estacionales y regionales. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, 14 (12), 1510. doi: 10.3390 / ijerph14121510
- Yao, Y., He, C., Li, S., Ma, W., Li, S., Yu, Q., Zhang, Y. (2019). Propiedades de la materia particulada y los contaminantes gaseosos en Shandong, China: fluctuación diaria, factores de influencia y distribución espacio-temporal. *Ciencia del Medio Ambiente Total*. doi: 10.1016 / j.scitotenv.2019.01.026
- Yáñez, MA, Baettig, R., Cornejo, J., Zamudio, F., Guajardo, J. y Fica, R. (2017). Materia aérea urbana en el centro y sur de Chile: Efectos de las condiciones meteorológicas sobre el material particulado fino y grueso. *Ambiente atmosférico*, 161, 221-234. doi: 10.1016 / j.atmosenv.2017.05.007
- Zhang, B., Jiao, L., Xu, G., Zhao, S., Tang, X., Zhou, Y. y Gong, C. (2017). Influencias del viento y la precipitación en concentraciones de material particulado de diferentes tamaños (PM2.5, PM10, PM2.5–10). *Meteorología y física atmosférica*, 130 (3), 383–392. doi: 10.1007 / s00703-017-0526-9
- Zhang, H., Wang, Y., Hu, J., Ying, Q. y Hu, X.-M. (2015). Relaciones entre parámetros meteorológicos y contaminantes atmosféricos de criterio en tres megaciudades de China. *Environmental Research*, 140, 242-254. doi: 10.1016 / j.envres.2015.04.004

- Zhang, Y. (2019). Análisis del efecto dinámico de las condiciones meteorológicas sobre la contaminación del aire: un estudio de caso de Beijing. *Science of The Total Environment*, 684, 178–185. doi: 10.1016 / j.scitotenv.2019.05.360
- Zhou, H., Yu, Y., Gu, X., Wu, Y., Wang, M., Yue, H., Ge, X. (2020). Características de la contaminación del aire y su relación con los parámetros meteorológicos: ciudades del norte y del sur de China. *Atmósfera*, 11 (3), 253. doi: 10.3390 / atmos11030253

## ANEXOS

### ANEXO 1: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES DE CONSISTENCIA

Variables	Definición	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Referencias
Monitoreo de material particulado	Evaluación de las características de la distribución espacial y temporal de los contaminantes del aire el cual puede revelar la causa de la contaminación del aire, especialmente para las grandes regiones donde se concentra la emisión de contaminantes antropogénicos.	Medición de los niveles de contaminación de PM10 mediante un equipo automático de partículas, análisis de absorción por radiación Beta. Determina los niveles de contaminación en el espacio y tiempo.	Niveles de concentración	PM10	Brodny et al., 2019
			Tiempo	días meses	Yao et al., 2019
Variaciones Climáticas	Las variaciones climáticas tienen fuertes efectos sobre la mezcla de contaminantes del aire, lo que afecta directamente la calidad del aire superficial.	Medición de las variables climáticas mediante una estación Cambell Station, correlacionando diferentes factores con respecto al material particulado Pm10.	Viento	Velocidad	Li et al., 2019
				Dirección	Xie et al., 2019
			Factores fisicoquímicos	Temperatura	Yao et al., 2019
				Radiación Solar	Molina et al., 2017
				Presión Atmosférica	Yang et al., 2017
				Punto de Rocío	Camuffo, D., 2019
Humedad relativa	Romero et al., 2020				

## Anexo 2: Oficio de respuesta de la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria, DIGESA - MINSA



PERÚ

Ministerio  
de Salud

Viceministerio  
de Salud Pública

Dirección General  
de Salud Ambiental  
e Inocuidad Alimentaria

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"  
"Año de la Universalización de la Salud"

Lima, 03 de diciembre de 2020

### OFICIO N° 1951-2020/DCOVI/DIGESA

Doctor

**EDUARDO ESPINOZA FARFAN**

Director de la Escuela de Ingeniería Ambiental  
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

Lima

Asunto : Remito respuesta sobre solicitud de información de resultados de medición de material particulado y datos meteorológicos de las estaciones de monitoreo de Surco y María Auxiliadora, año 2019.

Referencia : Carta S/N de la Escuela de Ingeniería Ambiental  
Expediente N° 20-103237-001

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y en atención al documento de la referencia, mediante el cual solicita información de resultados de medición de material particulado y datos meteorológicos de las estaciones de monitoreo de Surco y María Auxiliadora, año 2019, para la investigación (tesis) del Sr. Manuel Ponce Estela, estudiante de Titulación en la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo.

Al respecto, se le remite el Informe N° 2525-2020/DCOVI/DIGESA, para su conocimiento y fines.

Sin otro particular, quedo de Usted.

Atentamente,

MINISTERIO DE SALUD  
Dirección General de Salud Ambiental  
e Inocuidad Alimentaria  
DIGESA  
.....  
Dijo: **Emilio Oquendo Romero**  
Director Ejecutivo  
Dirección de Control y Vigilancia

**Anexo 3: registro fotográfico**

**Estación de Monitoreo de la Vigilancia Sanitaria de la  
Calidad del Aire  
Distrito de Santiago de Surco**



**Estación Santiago de Surco  
Equipo Analizador de Partículas menores a 10 micras (PM10)**



**Estación de Meteorológica ubicada  
Distrito de Santiago de Surco**



**Estación de Monitoreo de la Vigilancia Sanitaria de la  
Calidad del Aire  
Distrito de San Juan de Miraflores**



**Estación Meteorológica ubicada en el  
Distrito de San Juan de Miraflores**



**Estación San Juan de Miraflores  
Equipo Analizador de Partículas menores a 10 micras  
(PM10)**





**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

## **Declaratoria de Originalidad del Autor / Autores**

Yo, MANUEL ANGEL PONCE ESTELA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de Investigación / Tesis titulado: "MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO (PM10) Y VARIACIONES CLIMATICAS EN SANTIAGO DE SURCO Y SAN JUAN DE MIRAFLORES, LIMA-PERU, 2019", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Apellidos y Nombres del Autor</b>	<b>Firma</b>
MANUEL ANGEL PONCE ESTELA  <b>DNI:</b> 10809209  <b>ORCID:</b> 0000-0002-7877-1142	