



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Influencia de la concentración de PM 2.5 sobre la calidad de
aire en la Ciudad de Arequipa – Perú, 2015, 2016, 2019 Y 2020**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Euribe Diaz, Oddalis del Rosario (ORCID:0000-0003-1650-2331)

Neyra Huaman, Fiorella Leslie (ORCID:0000-0002-6230-1082)

ASESOR:

Mg. Honores Balcazar, Cesar Francisco (ORCID:0000-0003-3202-1327)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Este trabajo de indagación lo dedico de manera muy especial a la persona más trascendental de mi vida, mi querida madre, Mónica Díaz Valderrama, que es una mujer muy fuerte y guerrera, quien siempre ha sabido guiar mis pasos y hacer de mí una mujer muy fuerte, con principios y con valores.

Oddalis del Rosario Euribe Díaz

Dedico este trabajo investigativo a mi madre Esperanza Huaman Andia, por su sacrificio, esfuerzo y amor incondicional, a mis segundos padres Haydee y Luis por darme su apoyo en cada instante y transmitirme buenos valores, por la constante motivación que permitieron que hoy en día sea la persona que soy. Quiero dedicar además esta tesis a mis hermanas Jackeline, Ruby y Esthefany, por su aliento para culminar mis sueños.

Fiorella Leslie Neyra Huaman

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por mantenerme fuerte y firme ante las adversidades.

A mi hermana Nelly, por haberme dado a mis hermosos sobrinos Aimi y Hikaru que son mi motivación y adoración.

A mi amor Frank, quien desde siempre me ha apoyado incondicionalmente al igual que sus padres y hermanas.

A mis abuelos, Antonio y Nelly, que son personas muy valiosas en mi vida.

A la Ing. Rita Cabello Torres por la orientación y apoyo en la elaboración de nuestra tesis y a todas aquellas personas que siempre han estado apoyándome en todo momento.

Oddalis del Rosario Euribe Díaz

Gracias a nuestro creador por todos los fantásticos días que me regala, a mi familia ya que sin su constante aliento y colaboración nada podría ser posible.

Expreso especial reconocimiento a Mg. Rita Cabello Torres, por su asesoría y apoyo constante durante la realización de esta tesis.

A la Universidad Cesar Vallejo por su apoyo en el proceso de la tesis.

El camino no ha sido fácil hasta ahora, pero estoy agradecida con todas las personas que hicieron posible esta investigación.

Fiorella Leslie Neyra Huaman

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	17
3.1 Tipo y diseño de investigación	17
3.2 Variables y operacionalización.....	17
3.3 Población, muestra y muestreo.....	19
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.5 Procedimientos	20
3.6 Método de análisis de datos	20
3.7 Aspectos éticos	20
IV. RESULTADOS.....	21
V. DISCUSIÓN	36
VI. CONCLUSIONES	40
VII. RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS.....	42
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de consistencia de variables.....	18
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de los aires	5
Figura 2. Contaminantes y procesos de la polución atmosférica.....	6
Figura 3. Mecanismos de acción de PM 2.5 en la presión de las arterias.....	8
Figura 4. EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica).....	9
Figura 5. Comparativa de un cabello humano con PM 2.5.....	10
Figura 6. Contaminantes Atmosféricos.....	11
Figura 7. Combustión incompleta	12
Figura 8. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De la Salud Arequipa en el periodo 2015.....	21
Figura 9. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2016.....	22
Figura 10. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2019.....	22
Figura 11. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2020.....	23
Figura 12. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.....	23
Figura 13. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015.....	24
Figura 14. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2016.....	25
Figura 15. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2019.....	25
Figura 16. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2020.....	26
Figura 17. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. de La Salud – Arequipa en el periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.....	26
Figura 18. Variabilidad de concentración promedio por semana de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.....	27

Figura 19. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015.....	27
Figura 20. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2016.....	28
Figura 21. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2019.....	28
Figura 22. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2020.....	29
Figura 23. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.....	29
Figura 24. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015.....	30
Figura 25. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2016.....	31
Figura 26. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2019.....	31
Figura 27. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2020.....	32
Figura 28. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.....	32
Figura 29. Correlación PM 2.5 y Presión Atmosférica.....	33
Figura 30. Correlación PM 2.5 y Precipitación.....	33
Figura 31. Correlación PM 2.5 y Evaporación.....	34
Figura 32. Correlación PM 2.5 y Orientación del viento.....	34
Figura 33. Correlación PM 2.5 y Velocidad del Viento.....	35
Figura 34. Correlación PM 2.5 y Factores Meteorológicos.....	38
Figura 35. Rosa de viento.....	39

RESUMEN

La presente indagación fue realizada tomando como base los datos de control de PM 2.5 para medir la calidad de los aires de la ciudad de Arequipa, encargado por la “Gerencia Regional de Salud” (GERESA) y direccionado por el área de Salud Ambiental quienes son los encargados de la vigilancia de calidad de los aires de la ciudad, también tomamos los datos de control de factores meteorológicos como: precipitación, presión atmosférica, evaporación, dirección y velocidad del viento que está a cargo de “Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú” (SENAMHI) de los años 2015, 2016, 2019 y 2020. El objetivo primordial fue hacer un análisis de la Influencia de las concentraciones de PM 2.5 sobre la Calidad de Aire en la Ciudad de Arequipa. La metodología comprendió en analizar los niveles de concentraciones horarias, diarias, mensuales y anuales de PM 2.5 considerando que para tener una calidad de los aires adecuada no debe superar los ECA aire, a su vez analizar la correlación que tiene el PM 2.5 con cada factor meteorológico dado.

Los resultados alcanzados de esta indagación ayudan a determinar si la calidad de los aires de la ciudad es favorable para la población, también se considera que de acuerdo a los resultados puede implementarse mejoras continuas.

Palabras clave: PM 2.5, Factores Meteorológicos, Calidad de Aire, Correlaciones

ABSTRACT

The present investigation was carried out based on the control data of PM 2.5 to measure the air quality of the city of Arequipa, commissioned by the "Regional Health Management" (GERESA) and directed by the Environmental Health area who are those in charge of monitoring the quality of the airs in the city, we also take the control data of meteorological factors such as: precipitation, atmospheric pressure, evaporation, direction and speed of the wind that is in charge of the "National Service of Meteorology and Hydrology of the Peru" (SENAMHI) of the years 2015, 2016, 2019 and 2020. The primary objective was to make an analysis of the Influence of PM 2.5 concentrations on Airs Quality in the City of Arequipa. The methodology included analyzing the levels of hourly, daily, monthly and annual concentrations of PM 2.5 considering that to have an adequate air quality it must not exceed the ECA air, in turn analyzing the correlation that PM 2.5 has with each factor weather given.

The results achieved from this inquiry help to determine if the air quality of the city is favorable for the population, it is also considered that according to the results, continuous improvements can be implemented.

Keywords: PM 2.5, Meteorological Factors, Air Quality, Correlations.

I. INTRODUCCIÓN

La salud pública se ve afectada por la contaminación atmosférica, esta provoca 4,1 millones de muertes prematuras al año (Du et al., 2020).

No obstante, la amenaza fundamental del ambiente para la salud, aunque fueran en países en proceso de desarrollo o ya desarrollado, son las contaminaciones de los aires que se respira. Esto ocasiona 4200000 de fallecidos anualmente a nivel global, ya sean en áreas urbanas o rurales, muertes por estar expuesto a microscópicas partículas de 2.5 micras (Pm 2.5) los que son causante de males de la respiración, cardiovasculares y en el peor de los casos cáncer (OMS, 2021).

La contaminación Ambiental Urbana (CAU) se ve alterada por la expansión de megaciudades en la que han incrementado el uso de vehículos motorizados y todo tipo de actividad industrializada. Las muertes a causa del acrecentamiento de la contaminación ambiental urbana van en crecimiento desde los años 90's, especialmente en los países más industrializados (Ortega et al., 2018).

La contaminación de los aires es una problemática trascendental de salud pública a causa de sus consecuencias nocivas para la salud, ya que existe una asociación constante entre la contaminación de los aires y el acrecentamiento de las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias y asma, y un aumento en la constancia y gravedad de los síntomas respiratorios, como tos y bronquitis, así como un mayor peligro de muerte posparto por razones respiratorias a causa del acrecentamiento de los niveles de contaminantes de los aires, especialmente PM 2.5 (Barría et al., 2016)

Los materiales particulados (PM) es un buen indicador común de la contaminación de los aires. Perjudica a la gente más que toda la variedad de contaminantes. Los componentes fundamentales de las pequeñas partículas son los sulfatos, amoniacos, hollín, sales, agua y polvos minerales. Posee una combinación muy compleja de partículas sólidas y líquidas, también posee material de origen orgánico y no orgánico que flota en el aire. Las micropartículas que más daño hacen a la salud son las que tienen una dimensión de 2.5 micras o menos de ese diámetro ($\leq PM_{2.5}$). El $PM_{2.5}$ fácilmente puede traspasar las barreras pulmonares e ingresar al flujo sanguíneo, y su exposición permanente puede generar daños que pueden

clasificar como enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como el cáncer pulmonar (OMS, 2021).

Las exposiciones prolongadas a concentración elevadas de PM 2.5 es una problemática de mayor gravedad, a lado del accidente cerebrovascular, las enfermedades coronarias, las enfermedades en los pulmones, las infecciones agudas de las vías de respiración, y el cáncer pulmonar (Omokungbe et al., 2020).

El material particulado tiene como fuente primordial las emisiones, el polvo terrestre, la re suspensión del suelo y las partículas biológicas, mientras que las fuentes antropogénicas incluyen las centrales eléctricas de combustibles de origen fósil, la quema de biomasa, la construcción, las canteras y la minería (Omokungbe et al., 2020).

El clima se perjudica por las partículas finas las cuales son de diferentes formas, las partículas como aerosol tienen un impacto significativo en el balance energético del sistema terrestre por medio de la absorción y dispersión de la radiación en el ambiente y la modificación de las particularidades ópticas de los nubarrones y las superficies de nieve o hielo (Avecilla et al., 2017).

Ciertas investigaciones acerca de la contaminación de los aires en los últimos años también los han relacionado con problemas mentales basados en el hecho de que los elementos que intoxican el aire son nocivos para el sistema central nervioso. Igualmente, muchos afirman que hay mayor número de casos de trastorno en la mente en lugares urbanos que en ambientes rurales. China está experimentando una aceleración significativa en el desarrollo industrial, lo que ha llevado a una mayor emigración de la zona rural a la urbana, un aumento de las enfermedades mentales y las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, que están estrechamente ligadas con la calidad de los aires en 2020 (Ordóñez, 2020)

El emisor contaminante primordial de PM 2,5 en el mundo es China, tiene un avance enorme en su economía y un compromiso con la humanidad para reducir sus emisiones. El PM 2,5 ocasiona diversos efectos, como el detrimento de la calidad de los aires y cambio de clima, esto provoca el detrimento de la salud humana (aumento de las enfermedades respiratorias), los fenómenos meteorológicos son utilizados como alerta temprana en diversas zonas de China, principalmente en las

zonas industrialmente desarrolladas y densamente pobladas. Puesto que las actividades humanas son factores trascendentales en la generación de la bruma, esto es aún un gran reto que debe rastrear la fuente específica de PM 2,5 y cuantificar su contribución real (Zhang et al., 2020).

A partir de la realidad problemática expuesta, se planteó un problema general y tareas particulares del estudio. El problema general de la indagación fue ¿Cuál es la Influencia de las concentraciones de PM 2.5 sobre la Calidad de Aire en la Ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020?. Los problemas específicos de la indagación fueron:

- **PE1:** ¿Cuál es la variabilidad de las emisiones medias horarias de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020?
- **PE2:** ¿Cuál es la variabilidad de las emisiones medias diarias de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020?
- **PE3:** ¿Cuál es la variabilidad de las emisiones medias mensuales de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020?
- **PE4:** ¿Cuál es la variabilidad de las emisiones medias anual de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020?
- **PE5:** ¿Cuál es la influencia de las variables meteorológicas en la calidad de los aires en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020?

El objetivo general fue hacer un análisis de la Influencia de las concentraciones de PM 2.5 sobre la Calidad de Aire en la Ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- **OE1:** Determinar la variabilidad de las emisiones medias horarias de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019 y 2020.
- **OE2:** Determinar la variabilidad de las emisiones medias diarias de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019 y 2020
- **OE3:** Determinar la variabilidad de las emisiones medias mensuales de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019 y 2020

- **OE4:** Determinar la variabilidad de las emisiones medias anual de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019 y 2020
- **OE5:** Determinar la influencia de las variables meteorológicas en la calidad de los aires en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020

La hipótesis general de la indagación fue Las concentraciones de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020 determina la calidad de los aires. Las hipótesis específicas fueron los siguientes:

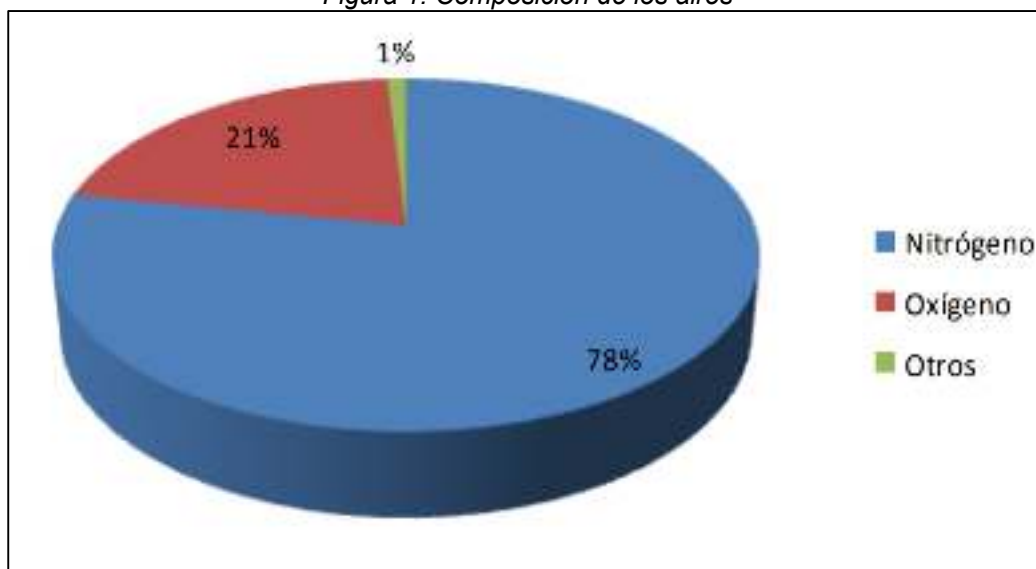
- **HE1:** La variabilidad de las emisiones medias horarias de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019 y 2020 influye en la calidad de los aires.
- **HE2:** La variabilidad de las emisiones medias diarias de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019 y 2020 influye en la calidad de los aires.
- **HE3:** La variabilidad de las emisiones medias mensuales de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019 y 2020 influye en la calidad de los aires.
- **HE4:** La variabilidad de las emisiones medias anual de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019 y 2020 influye en la calidad de los aires.
- **HE5:** La influencia de las variables meteorológicas influyen en la calidad de los aires en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019 y 2020

II. MARCO TEÓRICO

Amable et al. (2017) afirmaron que actualmente se encuentran diversas sustancias químicas en la polución de los aires y en el mundo debido a efectos adversos en los ecosistemas y principalmente en el estado de salud de la gente. Debido al desarrollo de las ciudades, el cambio de la superficie terrestre y los cambios climáticos son fenómenos provocados por la explosión demográfica mundial y el cambio en la calidad de los aires. La atmósfera deposita elementos de contaminación en las vías fluviales y en la tierra, dañando no solamente a las personas sino también a las plantas y a los animales del medio ambiente.

El Ministerio del Medio Ambiente (2021) ha determinado que la calidad de los aires es la composición de los aires y su aptitud para el uso. Tiene una composición bastante compleja, ya que contiene alrededor de 1000 compuestos, entre los más destacados son el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, se considera que sin estos tres compuestos la vida no sería posible.

Figura 1. Composición de los aires

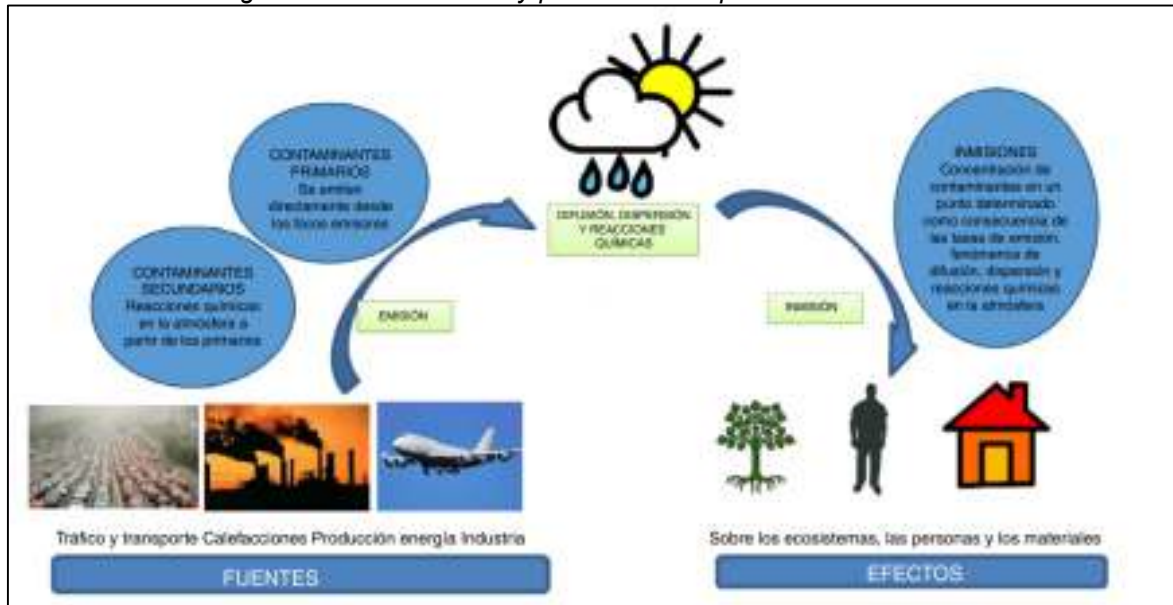


Fuente: Fernández 2017

De acuerdo al MINAN (2021), la polución de los aires de la atmosfera es consecuencia de la presencia de micropartículas contaminantes en la atmosfera por consecuencias directa de todas las actividades de las personas en los recientes años. Estos químicos y gases, al ser liberados al medio ambiente, provocan una variedad de efectos y fenómenos en los organismos y los ecosistemas. La polución

de los aires perjudica a todas las áreas tales como , bosques, aguas, ciudades, ecosistemas , culturas, etc. En los últimos años el trabajo se ha enfocado en un par de áreas específicas, la salud de la gente y la calidad de nuestro entorno ambiental.

Figura 2. Contaminantes y procesos de la contaminación atmosférica



Fuente: Soldevila et al., 2018

Hu et al., (2019) estudió los contaminantes de los aires en la enfermedad alérgica infantil en Shanghái, China. El fin de este estudio fue demostrar que la salud de los niños se vio perjudicada por la contaminación de los aires debido al clima. Se obtuvieron datos de las visitas clínicas por rinitis alérgica, dermatitis asma infantil, rinitis alérgica. Por lo tanto, el cambio del clima y la variación de la calidad de los aires se asociaron con las enfermedades alérgicas infantiles. Estos hallazgos pueden tener implicaciones significativas para el desarrollo de estrategias personalizadas para prevenir estas enfermedades que aumentan rápidamente en todo el mundo. Dicho descubrimiento puede prevenir estas enfermedades que afectan deprisa al mundo.

Reyes (2019) definió la meteorología como el estudio del fenómeno atmosférico y mecanismo que produce el tiempo para predecir condiciones climáticas, utiliza instrumentos esenciales como termómetro, barómetro, higrómetro entre otros para determinar los valores de los factores climáticos.

Fernández (2017) definió los siguientes elementos meteorológicos de la siguiente manera:

TEMPERATURA: Es una propiedad física de los cuerpos o de la atmósfera. La unidad de medida puede ser en grados centígrados (°C) o grados kelvin (°K).

PRESIÓN DE LA ATMÓSFERA: Es la presión que efectuá una columna de aire por cada unidad de área del piso.

VIENTO: Es la variable de estados de movimientos de los aires tanto horizontal como vertical.

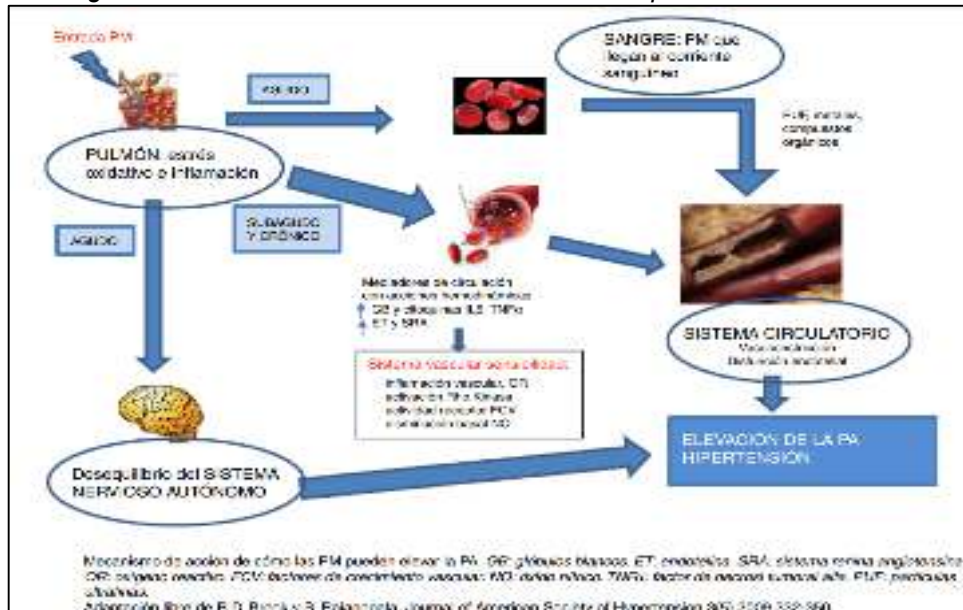
ORIENTACIÓN DEL VIENTO: Está determinado por el punto en el horizonte del espectador desde el que está soplando, usando una veleta de 360°.

VELOCIDAD DEL VIENTO: Depende de las distribuciones de la presión, tiene una tendencia a soplar de las regiones de presión alta hacia regiones baja presión y su unidad de medición es el m/s.

Martínez et al. (2011), dieron a conocer que la correlación de Pearson es parecida a la correlación de Spearman. La correlación entre un par de variables X e Y se halló haciendo un cálculo de coeficiente de correlación de Pearson, para un grupo de rangos emparejados. La correlación de Spearman se puede hallar utilizando las fórmulas de Pearson si modificamos a priori la estimación categórica.

Soldavilla y otros. (2018) señalaron como motivo de preocupación los efectos en la salud pública del acrecentamiento de la polución de los aires. Muchos estudios indican que exponerse a elementos que intoxican el aire incrementan los problemas cardiovasculares y en el peor de los caos la muerte. Asimismo , se ha comprobado una relación entre incremento de infecciones y la hipertensión en las arterias, así como prevalencia mayor de hipertensiones.

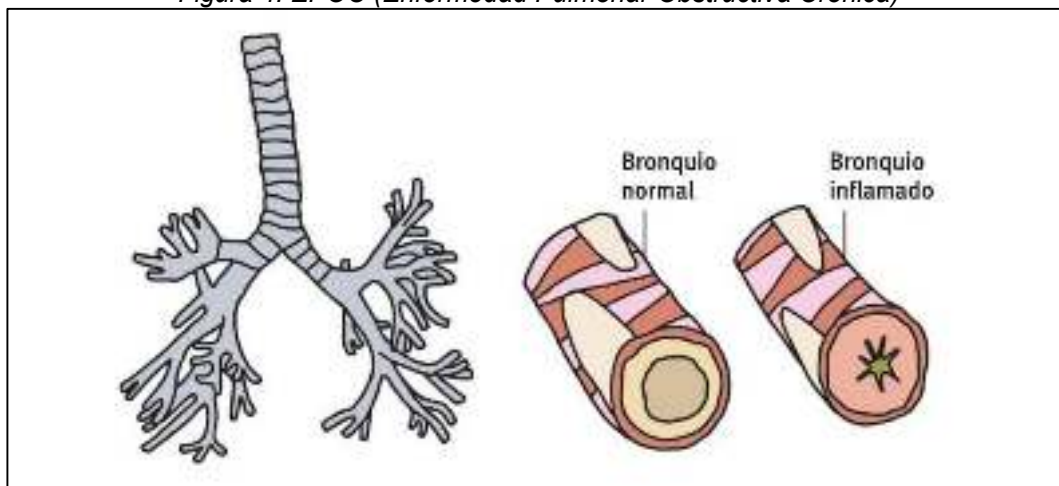
Figura 3. Mecanismos de acción de PM 2.5 en la presión de las arterias



Fuente: Soldevila et al., 2018

Cabrera et al (2021) afirmaron que los contaminantes agregados al cambio del clima representan un peligro para la salud de la respiración, ya que exacerban o contribuyen a enfermedades crónicas. Los cambios bruscos de temperatura se asocian con morbilidad y mortalidad por males respiratorios como el asma males pulmonares obstructivos crónicos. El aire es uno de los elementos que se han visto perjudicados por el cambio del clima global. Es sabido que las exposiciones a partículas PM 2.5 bajo las influencias de los cambios globales del clima está ligada con la sintomatología respiratoria, daño de las funciones pulmonares, exacerbaciones del asma y desarrollo de bronquitis crónica. La European Respiratory Society (ERS) hace la afirmación de que los neumólogos poseen un rol importante que realizar en la lucha en contra de los cambios climáticos.

Figura 4. EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica)



Fuente: Neumoteknon – Instituto de Neumología

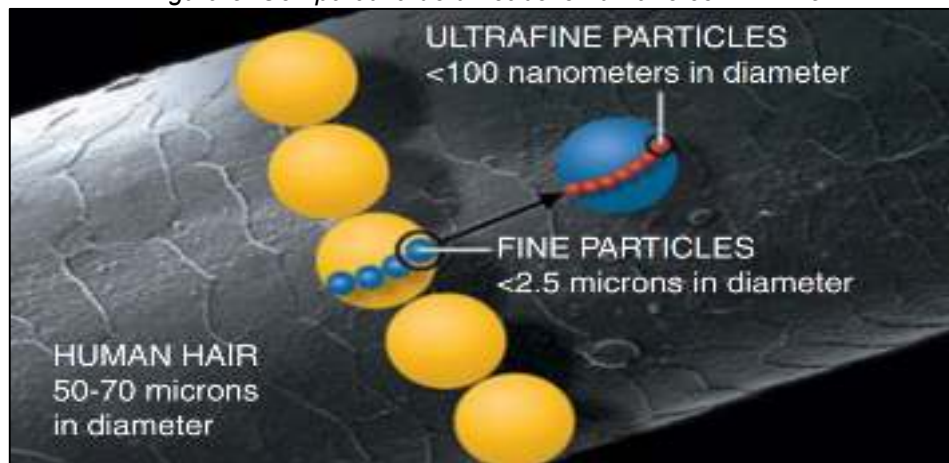
Aguilar (2020) manifestó que se tiene evidencias científicas sobre la relación que hay entre PM, ambiente y salud. Alrededor del mundo, existe mucha gente que está expuesta a contaminantes, se han ejecutado estudios para evaluar los efectos secundarios que puede causar a la humanidad. En el área urbana del Valle de Apora (Antioquia, Colombia), el 79% de las PM 2,5 en el ambiente provienen del parque automotor. Se evaluó el efecto de las PM 2.5 sobre la mortalidad temprana en una población urbana. Se utilizaron el modelo BenMap-CE v.1.1 y las funciones de efectos en la salud para calcular las asociaciones con la mortalidad por todas las causas (HC) en adultos mayores de 30 años, incluida la enfermedad coronaria (CHD) normal e inducida y cáncer de pulmón (LC) para encontrar asociaciones con la mortalidad en infantes (menores de 1 año) por todas las causas (CO), incluidas las naturales y anormales. Finalmente, se realizó una evaluación para el año 2016 (línea base) y una evaluación para los años 2020 y 2030, en base a las cantidades anuales promedio registradas y previstas por la Agencia de Medio Ambiente.

Martí (2017) estudió las consecuencias de la polución de los aires en la salud. La salud humana y los ecosistemas dependen de la calidad de los aires, ya sea por razones naturales o humanas, tiene un impacto negativo en los ecosistemas y contribuye globalmente al cambio climático. Son los factores humanos que más consecuencias negativas tienen en la actualidad los que se han incrementado en las últimas décadas. Introducen varios contaminantes en la atmósfera, incluidas las partículas (PM)

y una variedad de compuestos (metales, compuestos no orgánicos, compuestos resistentes orgánicos, compuestos volátiles orgánicos). En relación a las partículas, su dimensión las hace más o menos dañinas; Los más peligrosos son los de menos de 2,5 microgramos, que entran en la sangre a partir de cálculos pulmonares y pueden perturbar a todos los órganos, células y tejidos del organismo.

Xing et al., (2016) consideró que la patogenicidad del material particulado depende de su composición, origen y tamaño. Por ejemplo, el PM 2.5 tiene pequeños diámetros, que pueden ser capaces de transportar distintas sustancias tóxicas e incluso pasar por medio de los filtros de la nariz (vellos nasales) y llegar al final del tracto respiratorio mediante flujos de aire y quedarse acumulados en el pulmón dañando parte de ellos.

Figura 5. Comparativa de un cabello humano con PM 2.5



Fuente: Soldevila et al., 2018

Ordoñez (2018) señaló que el nivel de calidad de la vida en Arequipa está en relación directa con muchas condiciones que ayudan a hacer que la vida sea respetable y de agrado. La polución de los aires es una de las razones primordiales del detrimento de la calidad con que vive la gente. El fin de este trabajo fue optimizar la calidad de los aires y aminorar los efectos perjudiciales de la contaminación en el estado de salud de la comunidad. Asimismo, hacer posible una cultura ambiental de deje la implementación de acciones que optimicen la calidad de los aires, es por eso que se han propuesto varios planes tales como "Un día en bici, sin coche y sin moto".

Arenas (2017) estableció la cantidad de partículas PM2.5 entre otros contaminantes en el distrito arequipeño de Yura. El material particulado PM2.5 se cuantificó mediante la metodología de análisis con la ayuda de la gravedad. El autor comparó los resultados con los valores estandarizados de calidad de los aires del medio ambiente. De igual forma, fue planificando e interpretando la velocidad, medidas meteorológicas, orientación y ascenso del viento. Se tomaron muestras cada tres meses durante en el distrito de interes. Arenas (2017) recomendó que la municipalidad del distrito de Yura realice un seguimiento continuo para analizar la calidad de los aires ambiental y no exceder estos estándares.

Figura 6. Contaminantes Atmosféricos



Fuente: MINAM 2021

Córdova et al., (2020) en su indagación sostiene que la polución de los aires se ve afectada a causa de la urbanización, parque automotor, industrialización y otras actividades antrópicas. Sus principales contaminantes son el material particulado y otros gases. El propósito del estudio fue hacer un análisis de la calidad de los aires y las emisiones de contaminantes en la ciudad de Ica, Perú, por ser este lugar un destino preferente. Durante 2019 se tomaron muestras en dos puntos para análisis cualitativo y cuantitativo de aire. Como resultado se obtuvo partículas en suspensión y otros gases, los cuales están por debajo de los valores nacionales estandarizados de calidad en las dos estaciones de control (E-1 y E-2). Sin embargo, las partículas PM2.5 superan los límites determinados por las reglas medioambientales nacionales en la estación E-2. Se ha comprobado que hay un

mayor riesgo de que las PM 2.5 afecten la salud pública, esto se debe a que el estacionamiento es una de las fuentes importantes de emisiones en Ica.

Figura 7. Combustión incompleta



Fuente: MINAM 2021

Romero et al. (2020), recolectaron informaciones numéricas de control de los aires desde el 2015 hasta el 2018 para analizar el efecto de elementos meteorológicos tales como la velocidad de los vientos, la relativa humedad, las temperaturas, y la orientación de los vientos en la variación del tiempo y del espacio de PM_{2.5} en Lima. Utilizando información promedio de 8 estaciones como muestras, se halló que el contenido medio por mes de elementos que intoxican vinculados con el tráfico desde el año 2015 hasta el 2018 fue mas elevado en la primavera y el invierno y el más reducido en otoño y verano. Una disminución en el viento se ha asociado con un aumento en los niveles de PM 2.5. Se concluyó que existen fluctuaciones estacionales en las cantidades de PM 2.5, y esto establece la necesidad de un trabajo futuro para comprender las consecuencias de los cambios en la calidad de los aires en los seres humanos.

Lee et al.(2021), estudió los efectos que existen sobre las conglomeraciones de partículas gruesas y finas en la República en Corea. El objetivo es hallar la partición de las cantidades de PM 2.5. Como resultado se consiguió que las temperaturas de los aires y el viento en la superficie son las variables más considerables que perjudican la variabilidad de PM 2.5. Los mecanismos por los cuales la meteorología controla las partículas cambian según su ubicación, estación del año y el tamaño de estas partículas. Se sugiere que los gobiernos locales de las

regiones con índices de mayor concentración de material particulado deben reafirmar sus políticas de regulación con un panorama a largo plazo.

Omokungbe et al. (2020), realizaron la medición de las cantidades de gruesas y finas partículas en el aire también se hicieron mediciones de la orientación y las velocidades de los vientos, las humedades relativas y las temperaturas en seis zonas elegidas en Ile-Ife, una ciudad grande nigeriana. Fueron usados muchos sensores de calidad de los aires (AQ) de costo reducido y barato. La meta fue hacer publicaciones y recopilaciones de información numérica de las condiciones en la que se encuentran los aires de la zona, y analizar las consecuencias en las cantidades PM 2.5 de las condiciones atmosféricas más predominantes de una planta fundidora de hierro. Se llegó a conclusión de que, si hay una relación entre las cantidades de partículas y las temperaturas, obteniéndose una curva que señala a cantidades mayores de partículas mayores son las temperaturas bajas.

Chen et al. (2020), evaluaron el efecto de la condición meteorológica en la concentración de PM 2,5 en el país chino. Se compararon los métodos para cuantificar la relación con la meteorología. Este artículo es una descripción general del efecto atmosférico en la concentración, dispersión, producción química, crecimiento, fotólisis y depósito de PM 2.5. Se manejó una metodología de análisis causal porque extrae factores meteorológicos, en tanto que los modelos numéricos son excelentes para cuantificar factores meteorológicos en cantidades de 2.5 PM.

Guan et al., (2018) analizó cuantitativamente las fuentes de PM 2.5 en baja distancia visual y los efectos de la meteorología, lo cual desarrolla un fenómeno de contaminación, esto produce una amenaza peligrosa para la subsistencia de las sociedades y la productividad en China.

Utilizó el modelo de factorización de matriz positiva junto con el modelo generalizado AdditiveModel (PMF-GAM) para analizar cuantitativamente el efecto de la meteorología y las emisiones de la fuente en distancia visual. Como resultado se tiene la importancia relativa de las variables predictoras es la humedad y la SN (sulfato y carbono orgánico secundario (SOC) más nitrato (H&SN, 69,14%), gases de escape de vehículos (VE, 13,5%), polvo de la corteza (CD, 7.28%), temperatura (T, 4.71%), ignición de carbón (CC, 4.08%), velocidad del viento (WS, 1.08%) y

presión atmosférica (AP, 0,21%). Asimismo, concluyó que la humedad es menor cuando la distancia visual es mayor y la humedad es mayor con SN muestra claros efectos de sinergia cuando la humedad es más alta (N60%).

Se manejaron modelos de factorización de matrices positivas a lado de modelos generalizados como el "AdditiveModel (PMF-GAM)" para hacer la evaluación numérica de los efectos de la meteorología y las fuentes de emisión de las fuentes en distancias visuales. Como resultados se tiene que las variables de predicción son las humedades, los sulfatos, carbonos orgánicos, y nitratos (69%) , los gases emitidos por los tubos de escape (14%), polvos (7%), temperaturas (5%) ignición de carbones (4%) velocidad de los vientos (1%) y la presión de la atmosfera (menor al 1%). Asimismo, concluyó que la humedad es menor cuando la distancia visual es mayor.

Meng et al., (2018), realizaron un trabajo para evaluar la polución por materiales particulados PM2.5 el periodo de inviernos en la ciudad china de Beijing, utilizando la metodología de regresiones empíricas se evaluaron las influencias de los elementos individuales meteorológicos con el PM 2.5. Se comprobó que las diluciones horizontales y las agregaciones verticales juegan un rol fundamental en las contaminaciones por PM 2.5 durante los inviernos. Los efectos de los vientos horizontales en las cantidades de pm 2.5 fundamentalmente se debe a su disolución, las diluciones de los vientos norteros coadyuvaron con el 28% en el año 2016, mucho menor que las contribuciones del año 2015 que fueron del 32%. Las contribuciones de las agregaciones crecientes verticales observadas en el año 2016 fueron resultado tanto de las mayores profundidades de la inversión de temperaturas como de las menores alturas de las capas limites planetarias. La disolución de las alturas de las capas limites planetarias contribuyeron con un 9.8% a la polución por PM 2.5 el año 2016, 5% por debajo que el año 2017. En contraste con las diferencias de las temperaturas de la capa de inversiones, las profundidades de inversiones de temperaturas señala de mejor manera los impactos agregados de las inversiones de las temperaturas a PM 2.5 que fueron de 11% el año 2015, y la correlación se incremento a 14% el año 2016. Las humedades relativas también son elementos de impacto importante que ayudó con un 41% , muy por encima del índice del año 2017 (27). Se pudo concluir que los

resultados señalan que se deben tener control no solamente en las emisiones del lugar sino también aire atmosférico horizontal y sus condiciones.

East et al., (2019) estudió un modelado de la calidad de los aires para dar a conocer las maniobras de atenuación de la polución en una ciudad extensa de América Latina. El objetivo fue encontrar en qué lugares las emisiones de PM 2,5 son mayores. Se obtuvo como resultado que los caminos sin pavimentar son la primordial fuente de contaminación. Para el 2030 el PM 2.5 aumentará si no se toman en cuenta las medidas para minimizar el impacto.

Thunis et al., (2021) estudió la sensibilidad de la modelización de la calidad de los aires a diferentes inventarios de emisiones de última generación para Europa. Utilizó las emisiones CAMS, EMEP y EDGAR, en 2015. Cuyo objetivo fue evaluar el inventario EDGAR, ya que este es preciso para la modelización de la calidad de los aires. Thunis et al. (2021), ejecutó el modelo de calidad de los aires EMEP con 3 inventarios de emisiones distintos. Como resultado de la concentración se han comparado con las estaciones de control "de fondo". Así Thunis et al., (2021) propone que EDGAR sea una opción a utilizarse ya que es efectiva para la modelización de la calidad de los aires en Europa.

Liu et al., (2021) realizó la distribución de cantidades de PM 2.5 en el aire, se detectó diferentes mecanismos que ocasionan variaciones, este se descompuso en distintos patrones, se aplica el "análisis de función ortogonal empírica" (EOF). Existen cinco patrones, de los cuales se obtuvo resultados de porcentajes, indicó que esta información proporciona nuevas ideas para investigar la influencia meteorológica en las distribuciones regionales de PM 2.5 en la cuenca Sichuanes, al tiempo que tiene implicaciones para mejorar las tácticas de control de la polución a escala regional.

Yang et al., (2019) realizó un estudio donde examinó seis contaminantes de los aires, entre ellas el PM 2.5. Se analizó la relación espacio – tiempo. Las cantidades en su mayoría fueron bajas en verano y más altas en invierno. Asimismo, se concluyó que el PM 2,5 es el más responsable de la polución en el oeste de China.

Guzmán (2019) estudió la calidad de los aires en Ventanilla CHP. Las cantidades de PM2.5 han sido estimadas y determinadas. Los resultados mensuales del año

01 se analizan y comparan con los valores estandarizados de calidad ambiental (ECA) para describir la calidad de los aires. De igual manera se determinaron los picos más altos, gases en la central térmica Ventanilla (mes/día) y bajas concentraciones de material particulado. La metodología utilizada es descriptiva. El período durante el cual se desarrolló el control de la calidad de los aires fue desde enero 2019 a junio 2019. Como resultado se encontró que los valores están por abajo de los valores estandarizados de calidad ambiental. Recomendó realizar forestaciones ya que la zona se encuentra sin vegetación y descampada.

Herrera (2019) estimó la cantidad de materiales particulados (PM 2.5). Se desplegó un programa de control de la calidad de los aires que recolectó datos dos veces al año, en el verano de octubre de 2015 y en el invierno de mayo de 2016. Se manejaron equipos automáticos de muestreo y detección de partículas PM2.5. El resultado fue que el PM promedio de 2.5 fue bajo con una calificación de los índices de calidad de los aires de buena. También se concluyó que los valores obtenidos son inferiores a los valores estandarizados nacionales, y el nivel de concentración disminuye con el acrecentamiento de la altitud, esto se debe a un incremento en el tráfico vehicular y la actividad industrial.

Morales y Rodríguez (2016) afirmaron que la indagación correlacional es una de las metodologías estadísticas descriptivas más utilizadas en la mayoría de las investigaciones aplicadas, con la cual es deseable calcular el nivel de correspondencia lineal entre las variables objeto de estudio. Cuando las variables están correlacionadas, los investigadores están interesados en predecir esas variables, pero no pueden sacar conclusiones acerca de la causa de la relación.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación: El tipo de indagación corresponde al aplicado. Las investigaciones de tipo aplicadas tienen como finalidad resolver problemas prácticos y concretos de alguna problemática.

3.1.2 Diseño de investigación: El diseño de indagación es un trabajo en la que no se manipula una variable para ver los cambios en la otra, longitudinal, correlacional y explicativo.

3.2 Variables y operacionalización

El siguiente trabajo cuenta con 2 variables, una variable independiente y la otra variable dependiente.

Para el análisis de datos, se han tomado los promedios de todos los datos para poder hacer la determinación de la cantidad de factores de polución que se hallan en el medio ambiente.

Según la naturaleza de sus datos es cuantitativo, su característica es la utilización de la estadística para el examen de datos.

Variables:

- 1.- Variable independiente, PM 2.5.
- 2.- Variable dependiente, calidad de los aires.

Matriz de consistencia de variables

Tabla 1: Matriz de consistencia de variables

1. PROBLEMA	2. OBJETIVOS	3. HIPOTESIS	4. VARIABLES		
Problema General:	Objetivo General:	Hipótesis General:	Variables:	Indicadores:	Fuentes de información
¿Cuál es la Influencia de las concentraciones de PM 2.5 sobre la Calidad de Aire en la Ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020?	Analizar la Influencia de las concentraciones de PM 2.5 sobre la Calidad de Aire en la Ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020	Las concentraciones de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020 determina la calidad de los aires	Independiente	- PM 2.5	GERESA AREQUIPA
			Material Particulado		
Problema específico	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dependiente	Indicadores:	Fuentes de información
1. ¿Cuál es la variabilidad de las emisiones medias horarias de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020?	1. Determinar la variabilidad de las emisiones medias horarias de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019, 2020	1. La variabilidad de las emisiones medias horarias de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019, 2020 determina la calidad de los aires.	Calidad de los aires	- Velocidades de los vientos	SENAMHI
2. ¿Cuál es la variabilidad de las emisiones medias diarias de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020?	2. Determinar la variabilidad de las emisiones medias diarias de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019, 2020	2. La variabilidad de las emisiones medias diarias de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019, 2020 determina la calidad de los aires.		- Direcciones de los vientos	
3. ¿Cuál es la variabilidad de las emisiones medias mensuales de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020?	3. Determinar la variabilidad de las emisiones medias mensuales de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019, 2020	3. La variabilidad de las emisiones medias mensuales de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019, 2020 determina la calidad de los aires.		- Presiones Atmosféricas	
4. ¿Cuál es la variabilidad de las emisiones medias anual de PM 2.5 en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020?	4. Determinar la variabilidad de las emisiones medias anual de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019, 2020	4. La variabilidad de las emisiones medias anual de PM 2.5 en la avenida la salud – Arequipa en los años 2015, 2016, 2019, 2020 determina la calidad de los aires.		- Evaporación	
5. ¿Cuál es la influencia de las variables meteorológicas en la calidad de los aires en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020?	5. Determinar la influencia de las variables meteorológicas en la calidad de los aires en la ciudad de Arequipa – Perú 2015, 2016, 2019, 2020?	5. La influencia de las variables meteorológicas determinan la calidad de los aires en la ciudad de Arequipa – Perú, 2015, 2016, 2019, 2020		- Precipitación	

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población: Consideramos la ciudad de Arequipa como nuestra población para la indagación de este proyecto de investigación:

- **Criterios de inclusión:** La DESA (Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental) de la GERESA (Gerencia Regional de Salud), en su área de salud ambiental, son los encargados de realizar vigilancia de la calidad de los aires en sus distintos puntos de control.
- **Criterios de exclusión:** Cabe resaltar que GERESA tiene otras estaciones de control dentro de la ciudad de Arequipa, pero no se tomaron en consideración ya que se visualiza en la página web que hay datos faltantes, se podría interpretar que no hay equipos para monitoreo o tales parámetros no son monitoreados en esas estaciones, al igual que SENAMHI, también cuenta con otras estaciones meteorológicas dentro de la ciudad de Arequipa, pero tomamos los datos de la estación de control La Pampilla ya que se encuentra relativamente cerca a la estación de control de GERESA.

3.3.2 Muestra: Se analizaron todos los datos de PM 2.5 y datos de factores meteorológicos recolectados de los centros de control ubicados en la Dirección Regional de Salud aledaña al IREN. La estación de meteorología “La Pampilla”, situada en el área biomédica del campus de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA).

Para los datos de calidad de los aires, se utiliza el método de microbalanza oscilatoria utilizando el equipo de muestreo Ruppercht & Patashinick TEOM 1440 A, que el calibrado una vez al año. Los monitoreos que se realizan son en tiempo real, tomando datos diarios y horarios.

La estación meteorológica, utiliza metodología automatizada, que toma datos en tiempo real, monitorea los siguientes factores: precipitaciones, temperaturas, humedades relativas, evaporaciones, número de horas de sol, dirección y velocidad de los vientos y nubosidad, radiación del sol.

3.3.3 Muestreo: El control de PM 2.5 y variables meteorológicas estuvo y está siendo realizado por la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental (DESA) de la

Dirección Regional de Salud (GERESA) y el SENAMHI de acuerdo con la calidad regulación. Los datos se recopilan diariamente, se analizan y procesan para su visualización en el sitio web de la institución. Los datos de la estación de meteorología fueron proporcionados para este estudio de acuerdo con la Carta N° 25A/SENAMHI.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el recojo de datos se buscó información de fuentes confiables como: sciencedirect, scopus, scielo, google académico, revistas científicas, tesis de pregrado, tesis de maestría, Ministerio del Ambiente, diario El Peruano.

3.5 Procedimientos

Se recolectó información mediante la página web de GERESA para los datos de calidad de los aires y para los datos meteorológicos se solicitó al SENAMHI Arequipa, con documento Carta N°25A la data de control de factores meteorológicos en del periodo a investigar.

3.6 Método de análisis de datos

- Para procesar los datos de material particulado y factores meteorológicos y la elaboración de graficas se utilizó la hoja de cálculos Excel.
- A partir de los datos meteorológicos obtenidos y los datos de PM 2.5 se procesaron, la metodología utilizada para el modelamiento es el coeficiente de correlaciones de Spearman.
- Se manejó el programa OriginPro para examinar la correlación entre PM 2.5 y los factores meteorológicos.

3.7 Aspectos éticos

Este estudio sigue el modelo estandarizado de la Universidad Cesar Vallejo, el cual pasa por turnitin para determinar el porcentaje de originalidad del trabajo de indagación que formará parte del proyecto de indagación para el repositorio UCV Lima Este, el cual fue recomendado por el Mg. Rita Jacqueline Cabello Torres.

IV. RESULTADOS

OE1: Determinar la variabilidad de las emisiones medias horarias de PM 2.5

Según los datos alcanzados de los monitoreos de PM 2.5 se ha calculado los valores promedio horario de cantidades del contaminante PM 2.5.

Se han elaborado gráficas en las que se puede ver la variabilidad del contaminante en la estación fija situada en la avenida de la Salud S/N Arequipa, en los años 2015, 2016, 2019 y 2020.

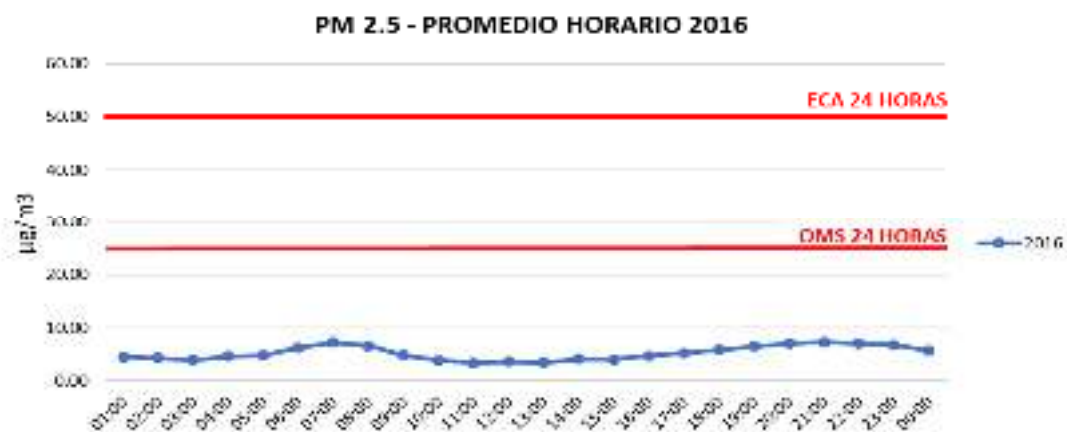
Figura 8. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De la Salud Arequipa en el periodo 2015



Fuente: Elaboración propia.

Se puede ver en la Figura 8, dos picos o considerados horas punta, se determina que en el 2015 a las 7:00 a.m. y las 20:00 p.m. son los picos más altos de concentración, sin embargo, se puede ver que entre las 5:00 a.m. y las 9:00 a.m. y a partir de las 18:00 p.m. hasta las 22:00 p.m. empieza a elevarse los niveles de concentración.

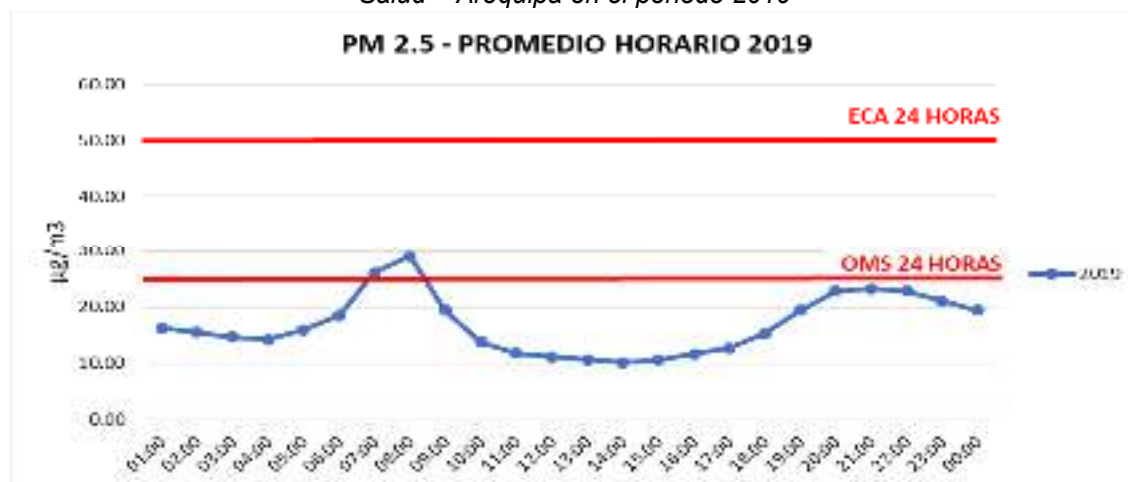
Figura 9. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2016



Fuente: Elaboración propia.

En el 2016 se puede ver 2 picos más altos de niveles de concentración, uno por la mañana y el otro por la noche. La curva empieza a variar a partir de las 5:00 a.m. hasta las 9:00 a.m. y a partir de las 17:00 p.m. hasta las 22:00 p.m. empieza a elevarse los niveles de concentración.

Figura 10. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2019



Fuente: Elaboración propia.

Para el 2019 se determina que el pico más alto de niveles de cantidades de PM 2.5 es a las 8:00 am, pero empieza a tener variabilidad en los niveles de concentraciones a partir de las 6:00 a.m. hasta las 9:00 am, donde se puede ver que a partir de las 10:00 a.m. empiezan a descender los niveles de concentraciones y se mantiene los niveles de concentraciones hasta las 18:00 p.m. que otra vez empieza a elevarse los niveles de concentraciones teniendo el pico más alto a las 21:00 p.m. y a partir de las 22:00 p.m. empieza a aminorar los niveles de concentración.

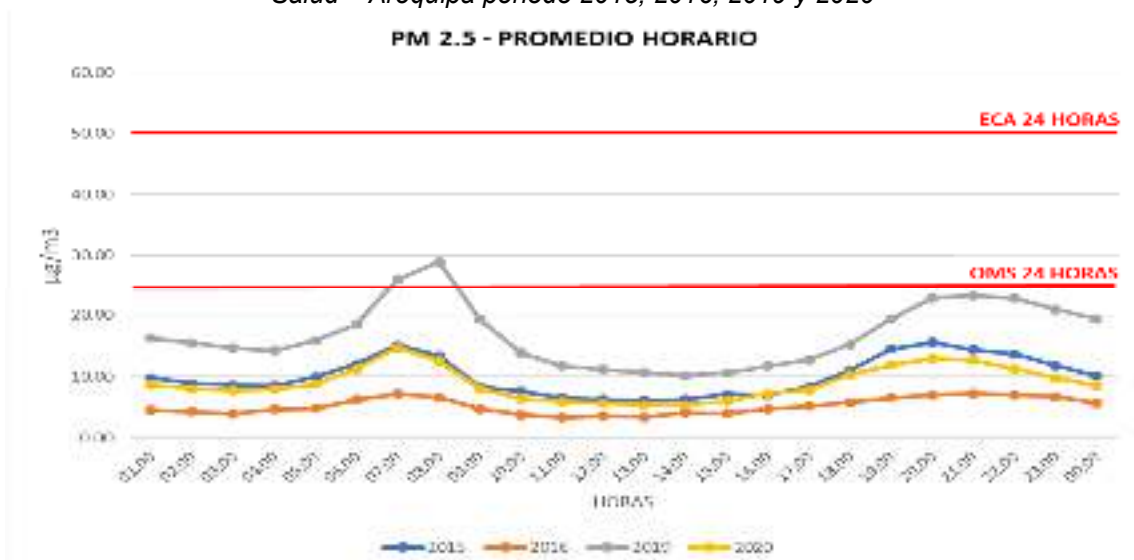
Figura 11. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2020



Fuente: Elaboración propia.

Para el 2020, se determina que la hora pico de niveles de cantidades de PM 2.5 es a las 7:00 am, pero se puede ver que desde las 5:00 a.m. empieza a elevar los niveles de concentraciones hasta las 9:00 a.m. que disminuye los niveles de concentraciones y a partir de las 10:00 a.m. empieza a mantener los niveles de cantidades de PM 2.5 y otra vez empiezan a elevarse los niveles de concentraciones a partir de las 18:00 pm, se tiene un pico máximo a las 20:00 p.m. y a partir de las 21:00 p.m. empiezan a aminorar los niveles de cantidades de PM 2.5.

Figura 12. Variabilidad de concentración promedio horario de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa periodo 2015, 2016, 2019 y 2020



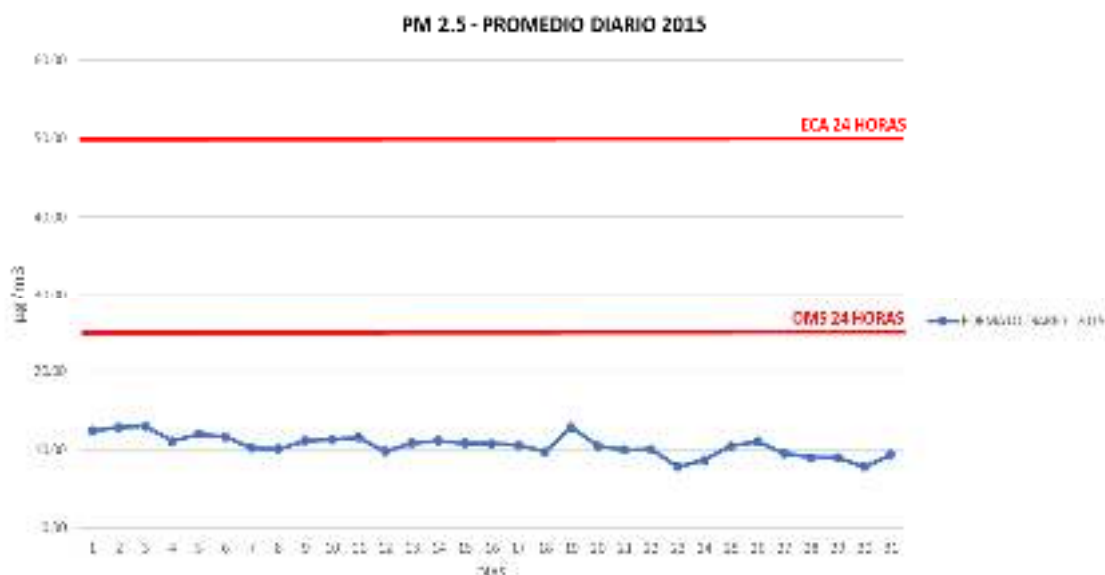
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12, se observó la variabilidad de concentración de PM 2.5 de los años 2015, 2016, 2019 y 2020 los promedios horarios de los 4 años coinciden las horas pico con altos niveles de cantidades de PM 2.5 a las 7:00 a.m. y 8:00 a.m. en horas de la mañana y a las 20:00 p.m. y 21:00 p.m. en horas de la noche.

Se determina que la variabilidad de los niveles de cantidades de PM 2.5 en promedios horario no sobrepasa el ECA, que según D.S. 003-2017- MINAM corresponde a 50 µg/m³ para un periodo de 24 horas, el cual en ningún año sobrepasa los ECAS establecidos.

OE2: Determinar la variabilidad de las emisiones medias diarias de PM 2.5

Figura 13. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015



Fuente: Elaboración propia.

Para el 2015, se observó una variabilidad en las cantidades de PM 2.5, los picos de concentración que son los siguientes días, el día 3, día 5, día 11, día 19 y día 26.

Figura 14. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2016



Fuente: Elaboración propia.

Para el 2016, se observó que existen picos altos de concentración de PM 2.5 el día 11, día 16 y día 31, baja la concentración el día 9, presenta variabilidad de concentración entre los días 11 al 18, luego mantiene una concentración más o menos constante y vuelve a elevarse los últimos días del mes, del 29 al 31 exactamente.

Figura 15. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2019



Fuente: Elaboración propia.

En el caso del 2019, se observó una variabilidad en las cantidades de PM 2.5, en la que podemos distinguir algunos picos en las cantidades de PM 2.5 los días: 2, 8, 13, 22, 23 y 25 del mes.

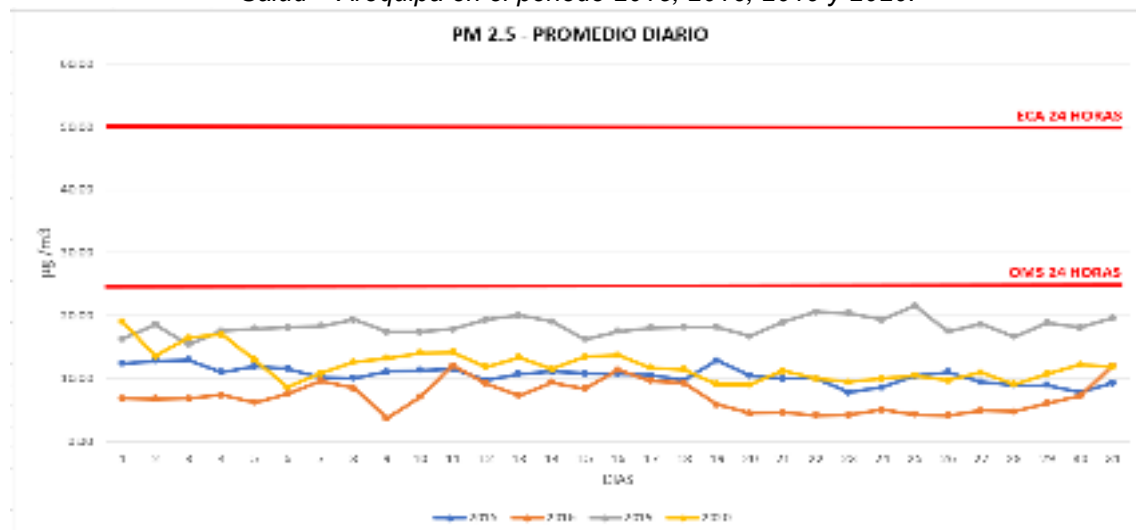
Figura 16. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2020



Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2020, se observó los picos más altos en los primeros días del mes, que son los días 1 y 4, luego baja la concentración y vuelve a subir los días 11, 13, 15 y 16, bajan la concentración otra vez y se puede ver que vuelve a subir un poco el día 30.

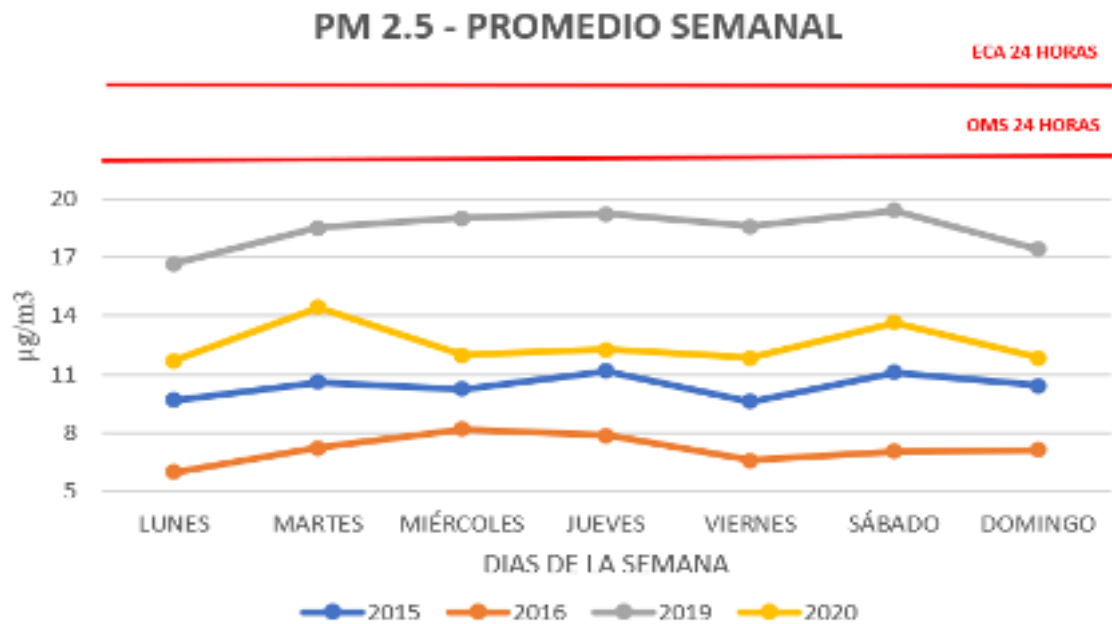
Figura 17. Variabilidad de cantidades promedio por día de PM 2.5 en la estación fija Av. de La Salud – Arequipa en el periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Se observó en la Figura 17, que las variaciones en las cantidades de PM 2.5 no superan los valores estandarizados de calidad de los aires en los años 2015, 2016, 2019 y 2020.

Figura 18. Variabilidad de concentración promedio por semana de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.

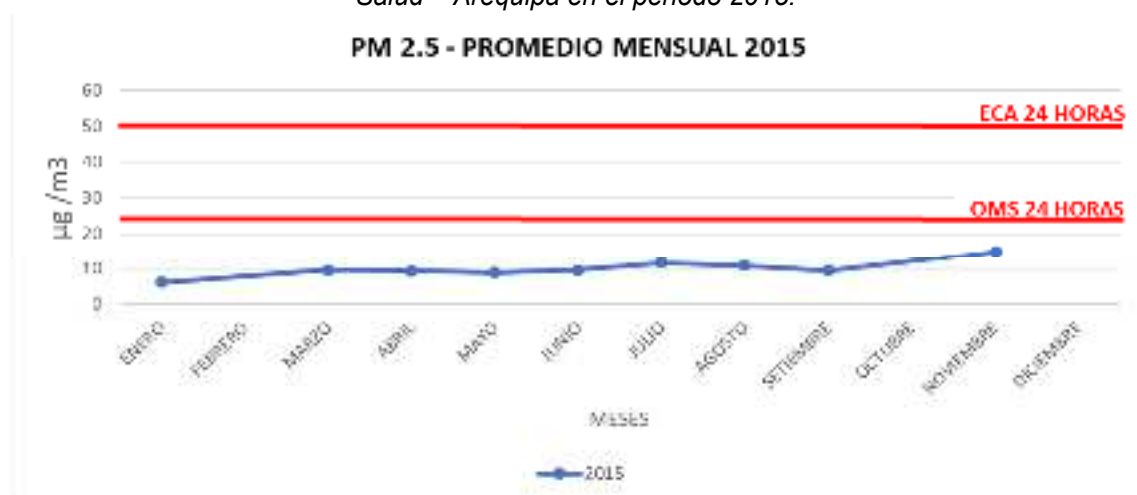


Fuente: Elaboración propia.

Se observó en la Figura 18, que las variaciones en las cantidades de PM 2.5 son altos los días martes y sábados. Así mismo se observó que en los años 2015, 2016, 2019 y 2020 tiene mayor concentración los días sábados, debido a que el punto de control está en una avenida cerca al centro la ciudad.

OE3: Determinar la variabilidad de las emisiones medias mensuales de PM 2.5

Figura 19. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015.

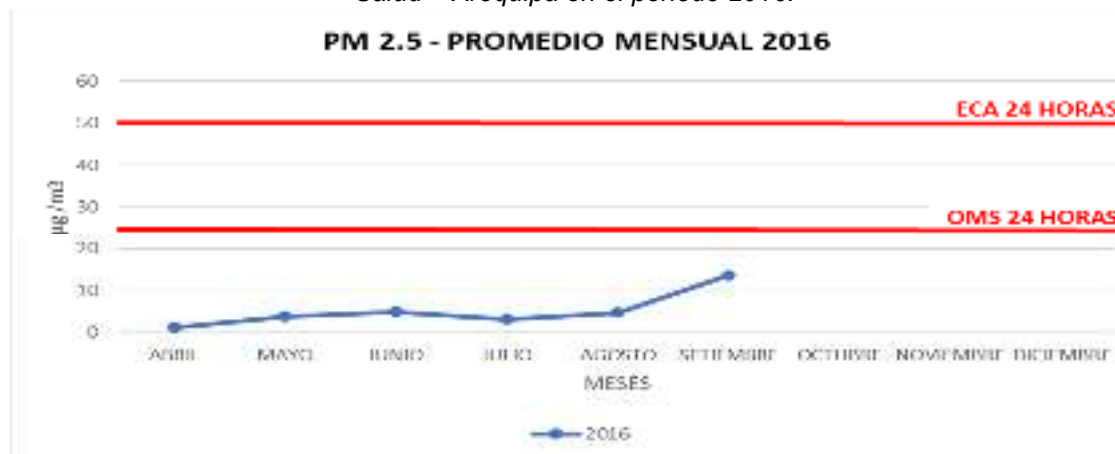


Fuente: Elaboración propia.

Se observó en la gráfica que no se cuenta con los datos completos en el año 2015, por lo que se trabaja solo con los datos alcanzados de control, sin completar datos con alguna técnica.

Se puede ver que los picos más altos de concentración son en los meses Julio y noviembre del 2015.

Figura 20. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2016.

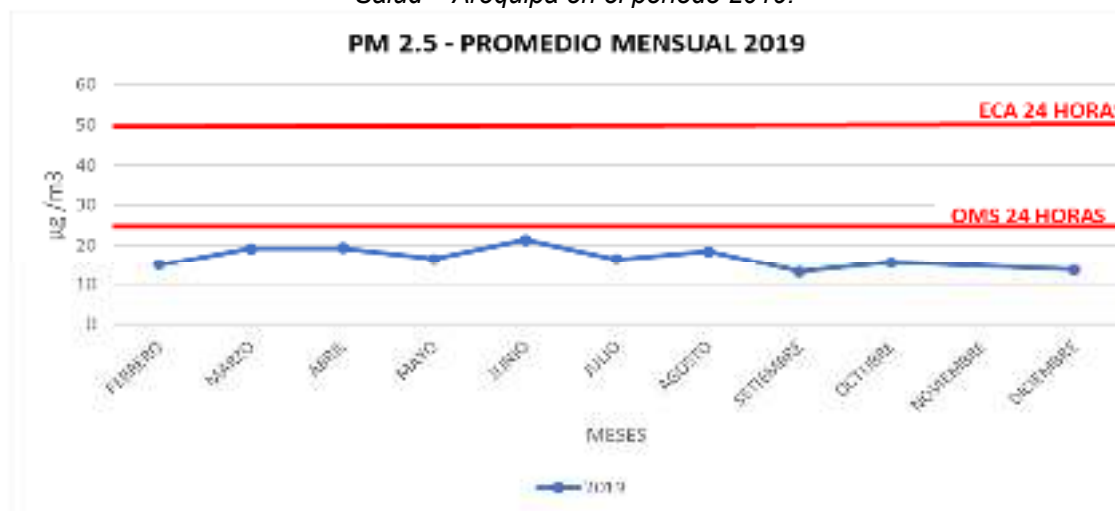


Fuente: Elaboración propia.

Se observó que no se tiene datos completos en el 2016, solo se tiene datos de 6 meses y se trabajó con los datos obtenidos, no se aplicó ningún método para completar datos.

Se observó un pico de concentración de PM 2.5 en el mes de Setiembre.

Figura 21. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2019.

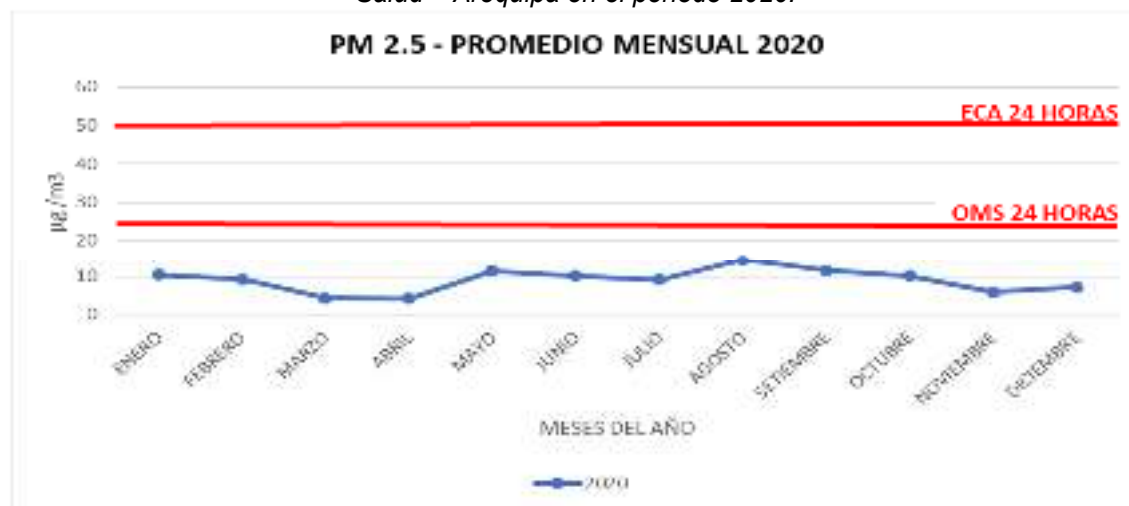


Fuente: Elaboración propia.

Para el 2019, no se tiene datos de monitores del mes de enero y noviembre, por lo que queda en blanco esos meses.

Se observó que, para los meses de marzo, abril, junio y agosto los niveles de cantidades de PM 2.5 son mayores a diferencia de los demás meses.

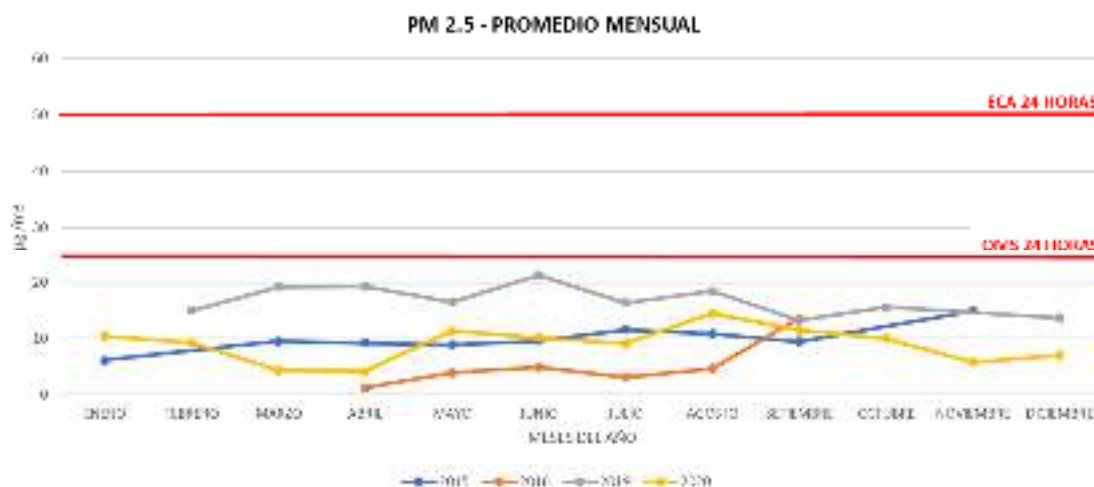
Figura 22. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Para el 2020 se observó una variación muy notable en los periodos de marzo y abril, los niveles de concentraciones son menores a diferencia de los otros meses, puesto a que hubo confinamiento social el 15 de marzo del presente año, se paralizaron muchas actividades cotidianas y es notable la disminución de concentración de PM 2.5 en los meses de confinamiento social.

Figura 23. Variabilidad de concentración promedio por mes de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.



Fuente: Elaboración propia.

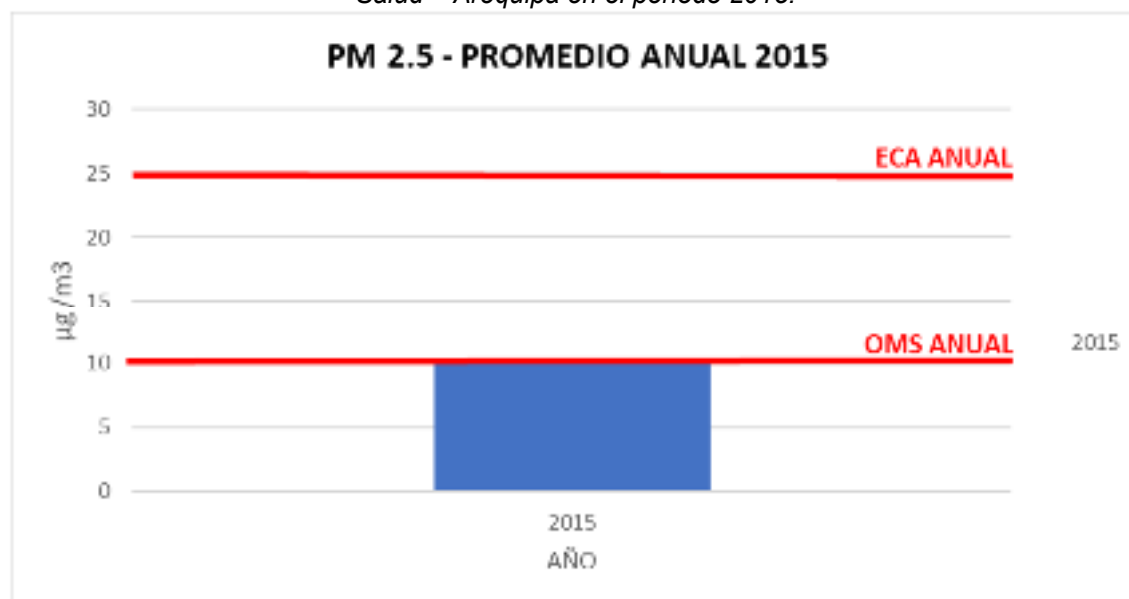
Se observó en la Figura 23 que la concentración de PM 2.5 es muy variable en los distintos años, se puede ver que en el año 2019 se tienen los niveles más elevados de concentración a comparación de los otros años.

En el 2016 no se tiene una data completa, por lo que no puede notarse una variabilidad de concentración, pero se puede ver que en el mes de setiembre se tiene los valores más elevados de concentración de PM 2.5 en ese año.

En el 2015 se observó que se tiene una mínima variabilidad de concentración de PM 2.5, sin embargo, en el mes de noviembre se elevan notablemente los niveles de cantidades de PM 2.5.

OE4: Determinar la variabilidad de las emisiones medias anual de PM 2.5

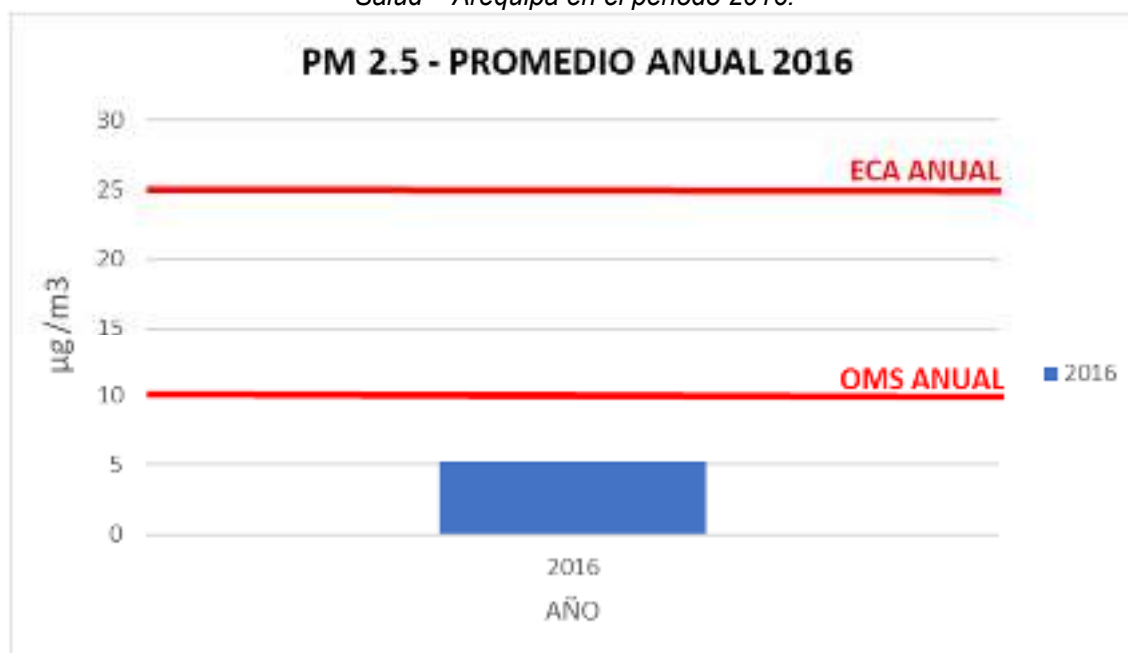
Figura 24. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015.



Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2015, se observó que los niveles de cantidades del promedio anual no superan los ECA según D.S N° 003-2017-MINAM, pero si observamos que llega al límite de concentración para el periodo anual según la OMS, sin embargo, no lo sobrepasa.

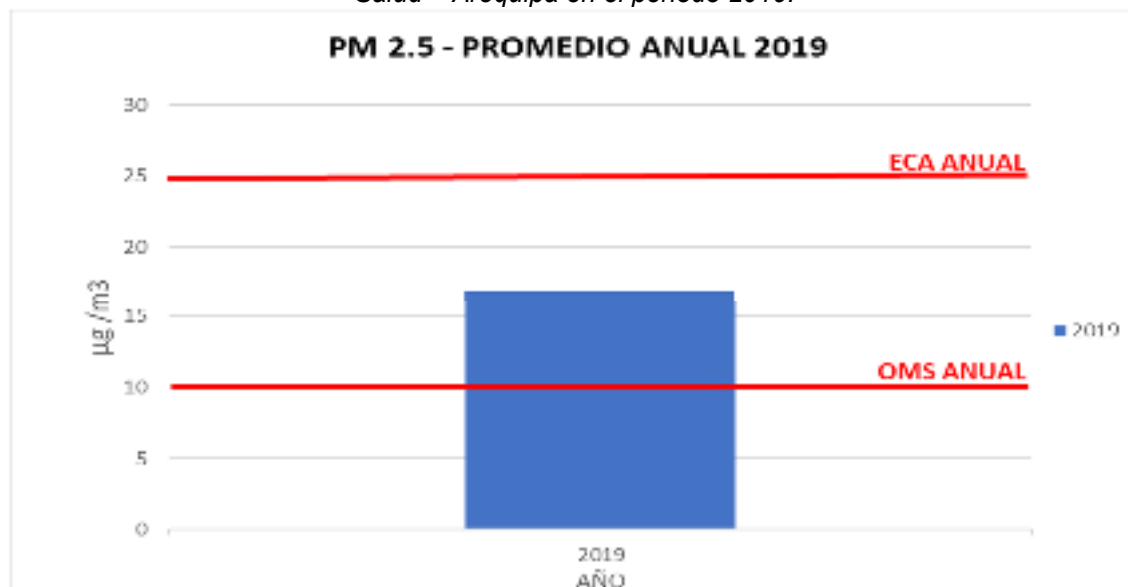
Figura 25. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2016.



Fuente: Elaboración propia.

Para el 2016 los niveles de concentraciones son bastante bajos, tal que no superan los ECA según D.S. 003-2017-MINAM y tampoco superan los límites de concentración de la OMS.

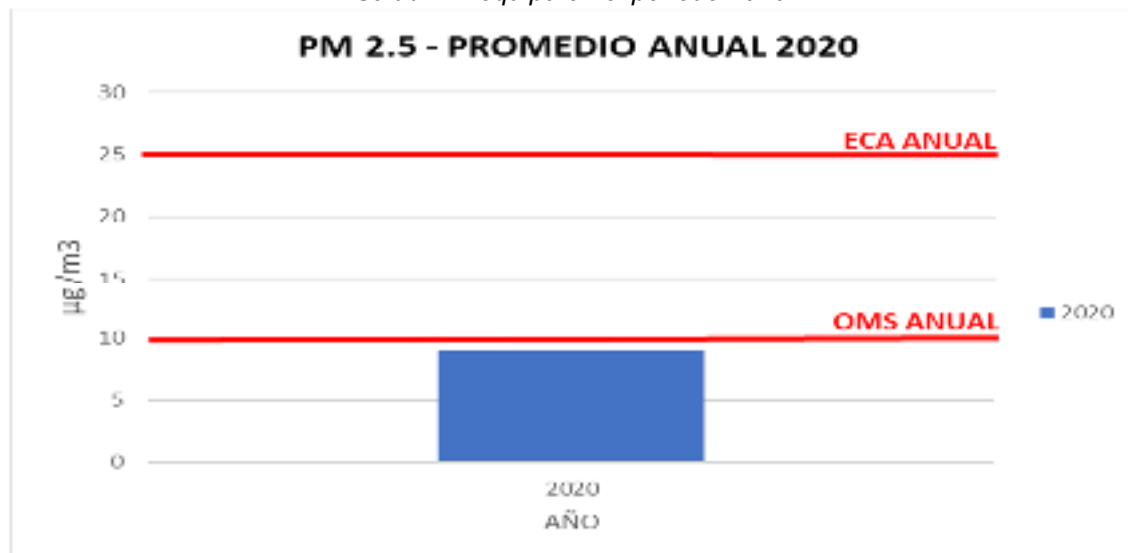
Figura 26. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2019.



Fuente: Elaboración propia.

Para el 2019, se observó que, no se superan los ECA según D.S. 003-2017-MINAM, pero si supera los límites de concentración de PM 2.5 para la OMS en promedio anual.

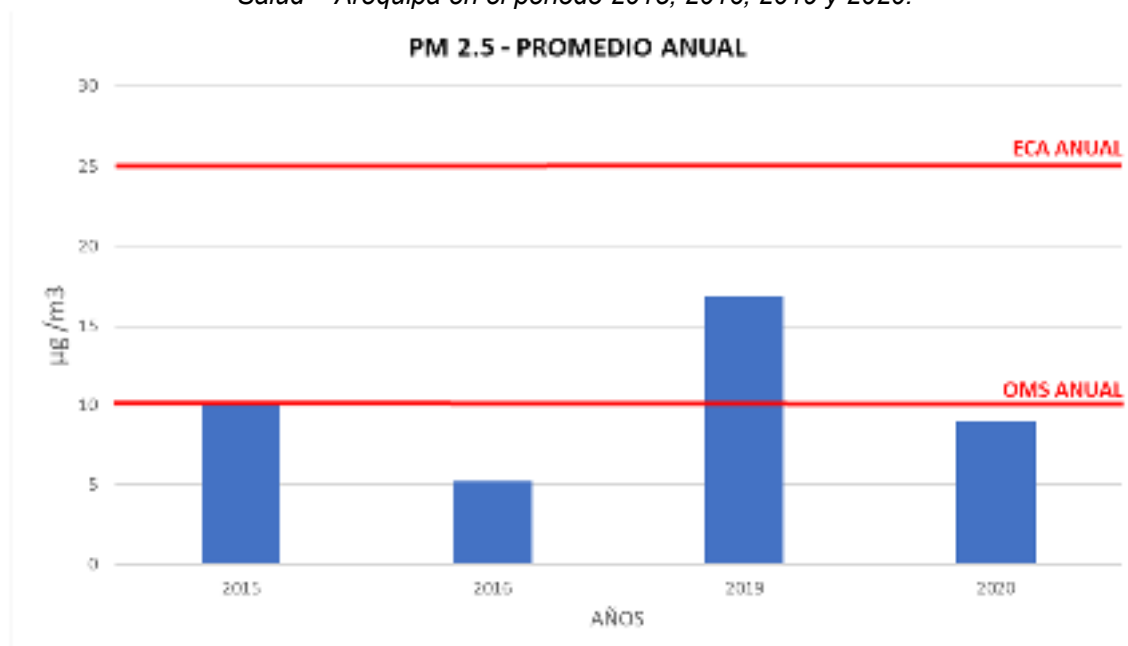
Figura 27. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2020.



Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2020 se observó que no se supera los ECA según D.S. 003-2017-MINAM y tampoco supera los ECA según OMS.

Figura 28. Variabilidad de concentración anual promedio de PM 2.5 en la estación fija Av. De La Salud – Arequipa en el periodo 2015, 2016, 2019 y 2020.

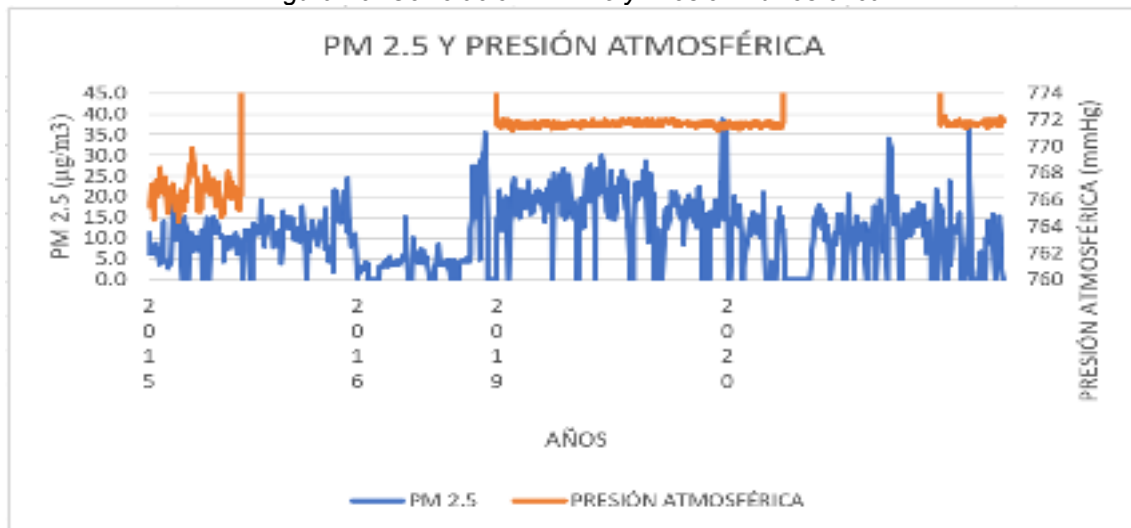


Fuente: Elaboración propia.

Para el periodo anual, el valor para el nivel de concentración es de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según D.S. 003-2017-MINAM, en la que se observó que, en los años 2015, 2016, 2019 y 2020 no supera el ECA establecido, pero considerando los ECA según la OMS en el 2015 llega al límite de los ECA de la OMS y en el 2019 llega a superar los ECA de la OMS para el periodo anual.

OE5: Determinar la influencia de las variables meteorológicas en la calidad de los aires

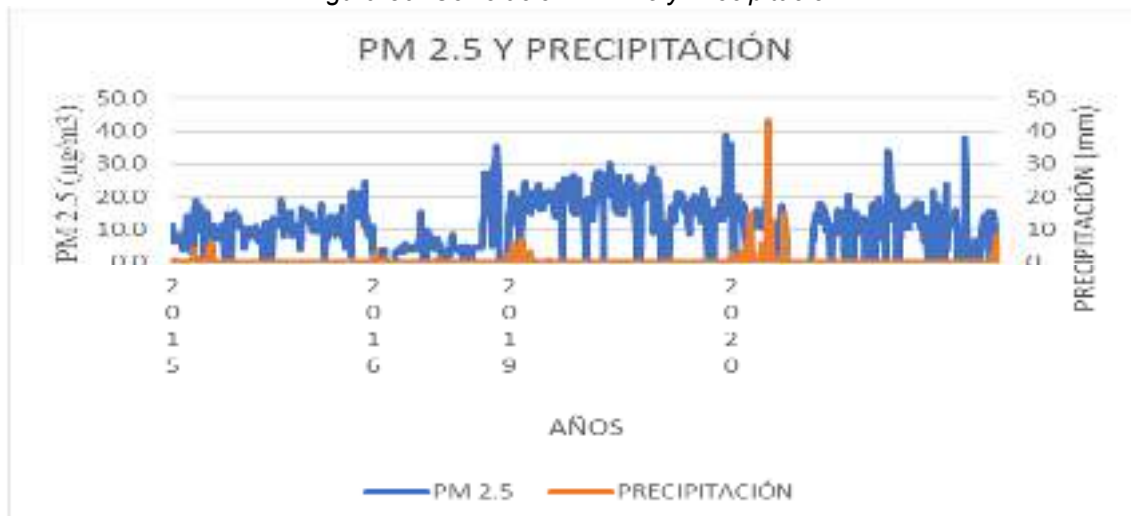
Figura 29. Correlación PM 2.5 y Presión Atmosférica



Fuente: Elaboración propia.

Se observó que, a mayor presión atmosférica, es menor la concentración de PM 2.5.

Figura 30. Correlación PM 2.5 y Precipitación



Fuente: Elaboración propia.

Se observó muy poca precipitación, pero se deduce que, a mayor precipitación, menor es la concentración de PM 2.5.

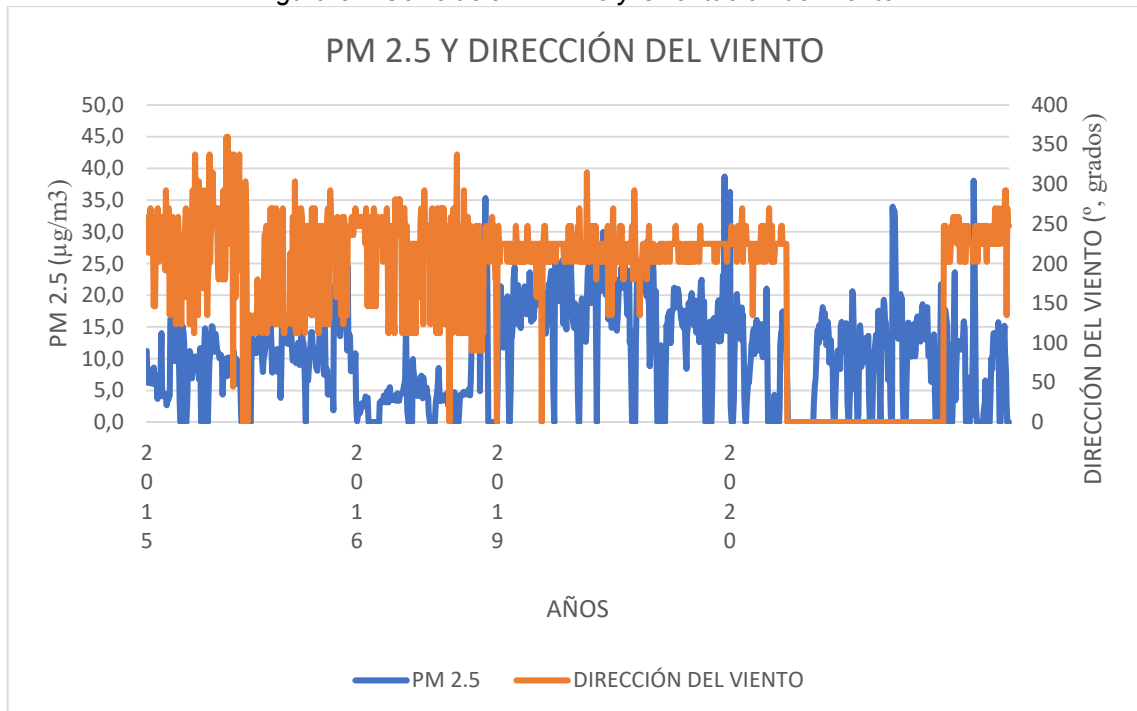
Figura 31. Correlación PM 2.5 y Evaporación



Fuente: Elaboración propia.

Se observó que, a menor evaporación, mayor es la concentración de PM 2.5.

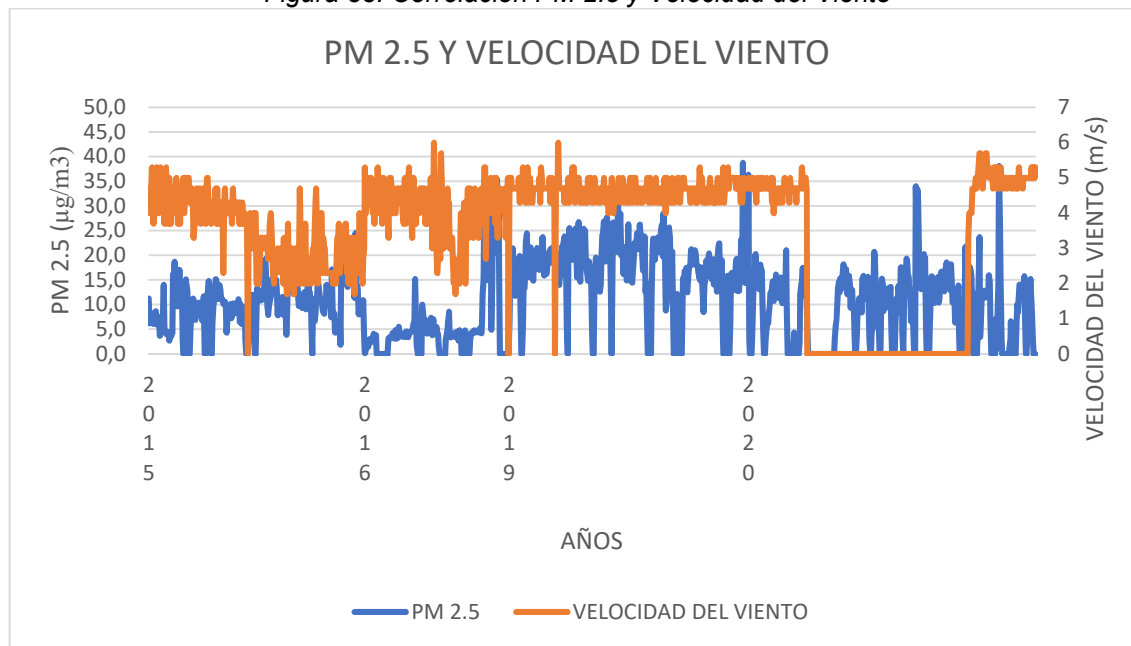
Figura 32. Correlación PM 2.5 y Orientación del viento



Fuente: Elaboración propia.

Se observó que la orientación del viento influye mucho con la concentración de PM 2.5, mientras la orientación del viento sopla constantemente, los niveles de concentraciones son menores.

Figura 33. Correlación PM 2.5 y Velocidad del Viento



Fuente: Elaboración propia.

Se observó que, a mayor velocidad del viento, menor es la concentración de PM 2.5, ya que el viento se encarga de transportar las partículas de PM 2.5.

V. DISCUSIÓN

OE1: Determinar la variabilidad de las emisiones medias horarias de PM 2.5

Se accedió a los datos de control de PM 2.5 mediante la página web de GERESA AREQUIPA, de la que se tomó la estación fija de control de la avenida la salud, de los años 2015, 2016, 2019 y 2020, sin embargo, no se pudo obtener los datos completos al 100% por distintos factores, de los cuales solo se trabajó con los datos registrados, no se aplicó ninguna técnica para completar datos faltantes. La base de datos obtenida correspondió a los monitoreos horarios que se sacó de la estación fija de la av. La salud s/n costado de IREN.

Se puede ver que hay 2 picos en las cantidades de PM 2.5 que es uno por la mañana y otro por la tarde, los cuales consideramos que son las horas punta.

De manera que, Herrera (2019) evaluó la de concentración de PM 2.5, en la que obtuvo valores promedios bajos, con una buena clasificación de los índices de calidad de los aires, se concluyó que los valores conseguidos están por debajo de los valores estandarizados nacionales.

OE2: Determinar la variabilidad de las emisiones medias diarias de PM 2.5

Los monitoreos realizados de PM 2.5 promedio diario, no superan los ECA, según Decreto Supremo N°003-2017-MINAM, sin embargo se puede determinar que hay algunos días en los que la concentración de PM 2.5 se eleva, por lo general se puede ver que se elevan los primeros días del mes, luego más a menos a medio mes y por último los fines de mes, teniendo mucha variación y no coincidiendo la variabilidad en varios días, a comparación de la variabilidad constante que se tiene en los promedios horarios.

Por lo tanto, Guzmán (2019) pudo determinar los picos más bajos y altos de cantidades de materiales particulados en la central térmica de ventanilla. Los resultados conseguidos indican que los valores son menores que el estándar de calidad del ambiente.

OE3: Determinar la variabilidad de las emisiones medias mensuales de PM 2.5

Se puede ver una variabilidad constante mensual, se tiene que los niveles de cantidades de PM 2.5 no superan los Estándares de Calidad Ambiental, ya que según el Decreto Supremo 003-2017-MINAM, los valores determinados para 24 horas son de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A diferencia de los ECA según OMS que es 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que, según análisis de datos, tampoco sobre pasan los niveles máximos permisibles.

Sin embargo, Campos (2021) según las mediciones mensuales que realizó de enero a octubre del 2019, concluyó que el material respirable particulado puede encontrarse en ambientes exteriores y interiores, por lo tanto, es una amenaza para la salud.

OE4: Determinar la variabilidad de las emisiones medias anual de PM 2.5

Los ECA determinados para un promedio anual según D.S. 003-2017-MINAM es de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual según procesamiento de datos, no sobrepasa el estándar establecido, sin embargo si comparamos la concentración de PM 2.5 con el estándar según la OMS que considera 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ podremos observar que en el año 2015 la concentración de PM 2.5 llega a los límites de concentración de ECAS según la OMS al igual que el año 2019 que llega a los límites y los sobrepasa.

En consecuencia, Córdova (2020) hace un estudio de la ciudad de Ica, se examinaron las emisiones contaminantes y la calidad de los aires, se tomaron muestras en 2 puntos de la ciudad, sin embargo, se obtiene que el PM 2.5 supera los ECA en la Estación E-2 que perjudica a la salud de la comunidad y esto es debido a que el parque automotor es una fuente de emisión significativa.

OE5: Determinar la influencia de las variables meteorológicas en la calidad de los aires

Figura 34. Correlación PM 2.5 y Factores Meteorológicos

Spearman Correlations		PA (hPa)	Evaporación	VV (m/s)	Precipitación	DV (o)	PM 2.5
PA (hPa)	Spearman Corr.	1	0.08752	0.11477	0.32115	-0.35279	0.32637
PA (hPa)	p-value	--	1.07E-04	5.56E-38	1.70E-48	3.19E-65	2.21E-29
Evaporación	Spearman Corr.	0.08752	1	-0.09377	0.14375	-0.04461	-0.02372
Evaporación	p-value	1.07E-04	--	5.16E-04	2.05E-10	0.0486	0.47948
VV (m/s)	Spearman Corr.	0.11477	-0.09377	1	0.21713	0.06895	-0.28552
VV (m/s)	p-value	5.56E-38	5.16E-04	--	2.64E-16	0.0167	4.86E-10
Precipitación	Spearman Corr.	0.32115	0.14375	0.21713	1	0.30089	-0.07716
Precipitación	p-value	1.70E-48	2.05E-10	2.64E-16	--	3.94E-45	0.01951
DV (o)	Spearman Corr.	-0.35279	-0.04461	0.06895	0.30089	1	-0.30067
DV (o)	p-value	3.19E-65	0.0486	0.0167	3.94E-45	--	5.32E-25
PM 2.5	Spearman Corr.	0.32637	-0.02372	-0.28552	-0.07716	-0.30067	1
PM 2.5	p-value	2.21E-29	0.47948	4.86E-10	0.01951	5.32E-25	--

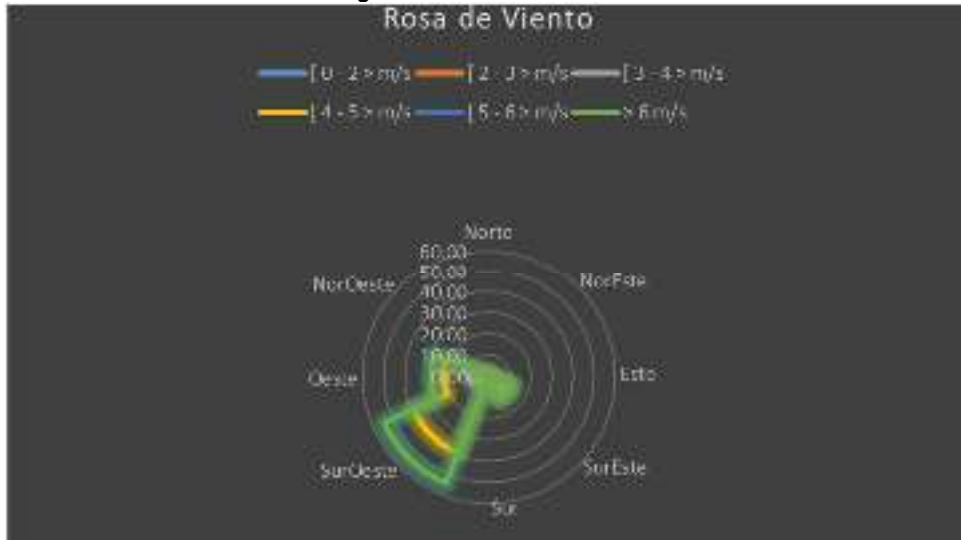
Fuente: Elaboración propia.

Se analiza las correlaciones entre el PM 2.5 y los factores meteorológicos mediante correlaciones de Spearman en la que se obtiene como resultado que el PM 2.5 tiene una correlación positiva moderada fuerte con el factor meteorológico presión atmosférica (0.32637), a diferencia de la correlación que se tiene con los demás factores meteorológicos que tienen una correlación negativa fuerte moderada débil, el PM 2.5 correlacionado con evaporación tiene una correlación de Spearman de -0.02372, el PM 2.5 correlacionado con la velocidad de los vientos tiene una correlación de Spearman de -0.28552, el PM 2.5 correlacionado con la precipitación tiene una correlación de Spearman de -0.07716, el PM 2.5 correlacionado con la orientación del viento tiene una correlación de Spearman de -0.30067.

A diferencia de Omokungbe et al., (2020) quien indica que hay relación entre las cantidades de materiales particulados y las temperaturas, se considera mayores concentraciones de material particulado a menores temperaturas.

Además, Lee et al., (2021) concluye que como resultado se halló que la temperatura de los aires y el viento en la superficie son las variables más considerables que perjudican la variabilidad de PM 2.5.

Figura 35. Rosa de viento



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza la rosa de viento con los datos de velocidad y dirección de los vientos monitoreados diariamente en 3 horarios distintos (7:00, 13:00 y 19:00 horas) lo que da por resultados que el viento sopla en dirección Sur oeste y oeste a una velocidad entre 4 a 6 m/s.

VI. CONCLUSIONES

6.1 Según los datos de control de PM 2.5 en la estación fija situada en la avenida La Salud, costado de IREN, no sobrepasa los ECA aire en ningún caso, por lo que consideramos que la calidad de los aires del área es adecuada para la población.

6.2 OE1: Con respecto al monitoreo horario, se tiene 2 picos de nivel más alto de concentración, uno que es por la mañana y otro que es por la tarde, ya que en esos horarios las personas se movilizan para poder llegar a sus centros de trabajo por la mañana, y por la noche se movilizan para retornar a sus casas, es por ellos que los niveles de concentraciones se elevan ya que hay más flujo de personas en movilización.

6.3 OE2: Para el caso del control diario, se considera que hay mucha variabilidad en los niveles de cantidades de PM 2.5, no se puede ver picos marcados y coincidentes exactamente a comparación del control horario, pero si observamos detalladamente, por lo general los niveles de concentraciones se elevan los primeros días, a medio mes y a fin de mes, por lo que se relaciona con los pagos salariales de las personas, que suelen realizar sus compras cotidianas en cuanto reciben sus sueldos.

6.4 OE3: En el promedio mensual, los niveles de concentraciones son bastante variables, debido a que en el 2016 hay un faltante de datos y en los demás años también, hay ciertos meses en los que no se cuentan con datos. También se puede ver que los niveles más bajos de concentración de PM 2.5 son en los periodos de marzo y abril del 2020, a causa del confinamiento social, en la cual paralizaron muchas actividades y esto hizo que haya una mejora en la calidad de los aires a nivel mundial.

6.5 OE4: Los niveles de concentraciones anuales cumplen con los ECA aire, no se puede ver que sobrepasen los niveles establecidos, esto hace que se determine que la calidad de los aires de la zona es saludable para la población.

6.6 OE5: Se puede ver que algunos factores meteorológicos influyen en las cantidades de PM 2.5, algunos factores meteorológicos influyen positivamente en las cantidades de PM 2.5 como la velocidad del viento y la presión atmosférica.

VII. RECOMENDACIONES

7.1 Implementar técnicas para completar datos faltantes en la Gerencia Regional de salud, para obtener una data completa en la página web de la entidad.

7.2 Construir más vías rápidas en la ciudad de Arequipa, para evitar la congestión vehicular en horas punta, y así también facilita a la movilización más rápida de las personas, se ahorra tiempo, se descongestiona la ciudad y se protege el medio ambiente.

7.3 Verificar que los vehículos que transitan en la ciudad, cuenten con un mantenimiento vehicular adecuado, los carros demasiado antiguos deben ser retirados y evitar autorizar la circulación en la ciudad, sobre todo para el caso de los móviles de servicio para el público.

REFERENCIAS

Aguiar Gil, David (2020). *Evaluación del impacto de la polución atmosférica por pm2.5 sobre la mortalidad de la comunidad en el Valle de Aburrá, Antioquia, Colombia*. <http://hdl.handle.net/10495/14391>

Amable Álvarez Isabel, Méndez Martínez Jesús, Bello Rodríguez Berta María, Benítez Fuentes Betsy, Escobar Blanco Libertad Manuela, Zamora Monzón Rolando (2017). *Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017

Arenas Pacheco Jonathan (2017). Determinación del material particulado pm10 y p.m. 2.5, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el distrito Yura – Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5311/AMarpaj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Brainvendra Widi Dionova, M.N. Mohammed, S. Al-Zubaidi, Eddy Yusuf (2020). *Environment indoor air quality assessment using fuzzy inference system*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ict.2020.05.007>

Cabrera López Carlos, Urrutia Landa Isabel, Jiménez-Ruiz Carlos A.. *SEPAR's Year: Air Quality. SEPAR Statement on Climate Change*. DOI: DOI: [10.1016/j.arbres.2021.03.003](https://doi.org/10.1016/j.arbres.2021.03.003)

Campos Falcon Enriqueta Victoria (2021). *Influencia de las concentraciones de material respirable particulado por fracciones de masa en la polución por polvo en la ciudad de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11785/UPcafaev.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Can Meng, Tianhai Cheng, Xingfa Gu, Shuaiyi Shi, Wannan Wang, Yu Wu, Fangwen Bao (2018). *Contribution of meteorological factors to particulate pollution during winters in Beijing*. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.11.365](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.365)

Christina W. Tsai, Tú-Ren Hsiao, Min-Liang Lin, Yaowen Hsu (2020). *Development of a noise-assisted multivariate empirical mode decomposition framework for characterizing PM 2.5 air pollution in Taiwan and its relation to hydro-meteorological factors*. DOI: [10.1016/j.envint.2020.105669](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105669)

Clofent David , Culebras Mario , Loor Karina , Cruz M. Jesús (2021). *Environmental Pollution and Lung Cancer: The Carcinogenic Power of the Air We Breathe*. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2020.05.031>

Dalia M. Muñoz-Pizza, Mariana Villada-Canela, Patricia Rivera-Castañeda, Marco A. Reyna-Carranza, Alvaro Osornio-Vargas, Adan L. Martínez-Cruz. Stated benefits from air quality improvement through urban afforestation in an arid city – A contingent valuation in Mexicali, Baja California, Mexico. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126854>

Dipsha Paresh Shah, Dr. Piyushkumar Patel (2021). A comparison between national air quality index, india and composite air quality index for Ahmedabad, India. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100356>

Fernández Puertas Nandy Yesenia (2017). Caracterización de material particulado y plomo en el distrito de san juan de siguas – Arequipa. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5382/AMfepuny.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Fernando Avecilla, Juan E. Panebianco, Daniel E. Buschiazzo (2017). *Meteorological conditions during dust (PM10) emission from a tilled loam soil: Identifying variables and thresholds* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.05.016>

Gerencia Regional de Salud Arequipa. <http://www.saludarequipa.gob.pe/unidades-organicas-3/dir-ejec-de-salud-ambiental/ecologia-proteccion-del-ambiente-y-salud-ocupacional/vigilancia-de-la-calidad-del-aire/>

Greem Lee, Yun Gon Lee, Eunsun Jeong, Chang-Hoi Ho, *Roles of mereorological factors in inter-regional variations of fine and coarse PM concentrations over the Republic og Korea*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118706>

Guzman Vasquez Jhosthins Jonathan Yuri. *Evaluación de la calidad de los aires de la central termica de ventanilla*. <http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/4121/GUZMAN%20VASQUEZ%20%20JHOSTHINS%20JONATHAN%20YURI%20-%20TITULO%20PROFESIONAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Herera Diaz Santos Clemente (2019). *Influencia de la altura de toma de muestra y las estaciones del año en la calidad de los aires de la comunidad de Segunda Jerusalén, Rioja, San Martín – 2014.*

<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/>

11458/3263/DOC.%20CIENC.%20AMB.%20%20Santos%20Clemente%20Herrera%20D%20c3%20adaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

J. Martí Valls (2017). Efectos de la calidad de los aires sobre la salud. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.fmc.2017.03.004>

James East, Juan Sebastian Montealegre, Jorge E. Pachón, Fernando García-Menendez (2019). *Air quality modeling to inform pollution mitigation strategies in a Latin American megacity.* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145894>

Jiamin Guo, Mengjing Zhao, Peng Xue, Xin Liang, Guangtao Fan, Bohan Ding, Junjie Liu, Jiaping Liu (2020). New indicators for air quality and distribution characteristics of pollutants in China. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106723>

Jianing Wang, Chyi Lin Lee (2021). *The value of air quality in housing markets: A comparative study of housing sale and rental markets in China.* DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112601>

Jibin Ning Xueying Di, Hongzhou Yu, Sibó Yuan, Guang Yang (2021). *Spatial distribution of particulate matter 2.5 released from surface fuel combustion of Pinus koraiensis – A laboratory simulation study.* DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117282>

Jihye Rhee, Eunjung Han, Kuk Jin Nam, Kang Hyeon Lim, Yoon Chan Rah, Saemi Park, Soonil Koun, Hae-Chul Park, June Choi (2019). Assessment of hair cell damage and developmental toxicity after fine particulate matter 2.5 μm (PM 2.5) exposure using zebrafish (*Danio rerio*) models. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.109611>

José María Ordóñez Iriarte (2020). *Salud mental y salud ambiental. Una visión prospectiva. Informe SESPAS 2020.* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2020.05.007>

Juan Antonio Ortega-García, Manuel Sánchez-Solís y Josep Ferrís-Tortajada. (2018). *Air pollution and children's health*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2018.04.017>

Junhua Yang, Zhenming Ji, Shichang Kang, Qiangong Zhang, Xintong Chen, Shao-Yi Lee (2019). *Spatiotemporal variations of air pollutants in western China and their relationship to meteorological factors and emission sources*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.120>

Liao Guan, Yongli Liang, Yingze Tian, Zhuoran Yang, Yueming Sun, Yinchang Feng (2018), *Quantitatively analyzing effects of meteorology and PM2.5 sources on low visual distance*. DOI: [10.1016 / j.scitotenv.2018.12.431](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.431)

Ling Tang, Xiaoda Xue, Min Jia, Hong Jing, Tong Wang, Ruiqing Zhen, Mantang Huang, Jun Tian, Jing Guo, Ling Li, Xin Bo, Shouyang Wang (2020). *Iron and steel industry emissions and contribution to the air quality in China*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117668>

Luisa María Gómez Peláez, Jane Meri Santos, Taciana Toledo de Almeida Albuquerque, Neyval Costa Reis Jr, Willian Lemker Andreato, María de Fátima Andrade (2020). *Air quality status and trends over large cities in South America*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.09.009>

Luyang Zhao, Xiaoqiang Zhang, Fan Zhao (2020). *Evaluating the impact of high-speed rail on county-level air quality in China*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102485>

Manual de Terminología meteorológica e hidrología para la difusión masiva del dato y su uso en la gestión de riesgo https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manual_de_terminologia/Manual_de_terminologia.pdf

Maria C.Mirabelli, Stefanie Ebelt, Scott A. Damon (2020). *Air Quality Index and air quality awareness among adults in the United States*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109185>.

Marta Doval Miñarro, Daniel Bañón, José A. Egea, Isabel Costa-Gómez, Antonia Baeza Caracena (2020). *A multi-pollutant methodology to locate a single air quality*

monitoring station in small and medium-size urban areas. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115279>

Max G. Adam, Phuong T.M. Tran, Rajasekhar Balasubramanian (2021). *Air quality changes in cities during the COVID-19 lockdown: A critical review.* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2018.11.012>

Ming Zhang, Suiting Ding, Jingru Pang, Wenwen Wang (2020). *The effect of indirect household energy consumption on PM 2.5 emission in China: An analysis based on CLA method.* DOI: [10.1016/j.jenvman.2020.111531](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111531)

Ministerio del Ambiente – Info Aire (2021). <https://infoaireperu.minam.gob.pe/prevencion-de-la-contaminacion-del-aire/>

Ministerio del Ambiente 2021. Efectos de la contaminación de los aires. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/efectos-de-la-contaminacion-del-aire/>

Ministerio del Ambiente. ECA aire. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2017-minam/>

Ministerio del Ambiente. *Gestión de calidad de los aires (2020).* <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/zonas-de-atencion-prioritaria/>

N. Soldevila Bacardit, E. Vinyoles Bargalló, J. Agudo Ugena (2018). *Contaminación atmosférica, riesgo cardiovascular e hipertensión arterial.* DOI: [10.1016/j.hipert.2018.03.001](https://doi.org/10.1016/j.hipert.2018.03.001)

Nairui Liu, Xiaoting Liu, Rohan Jayaratne, Lidia Morawska (2020). *A study on extending the use of air quality monitor data via deep learning techniques.* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122956>

OMS 2021. *Calidad de aire y salud 2021.* [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Opeyemi R. Omokungbe, Olusegun G. Fawole, Oyediran K. Owoade, Olalekan A.M. Popoola, Roderic L. Jones, FELIX S. Olise, Muritala A. Ayoola, Pelumi O. Abiodun, Adekunle B. Toyeye, Ayodele P. Olufemi, Lukman A. Sunmonu, Olawale E. Abiye. (2020). *Analysis of the variability of airborne particulate matter with*

prevailing meteorological conditions across a semi-urban environment using a network of low-cost air quality sensors. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e04207

Ordóñez Machicao Noé (2018). *Plan de gestión para el mejoramiento de la calidad de los aires en la ciudad de Arequipa.* <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7061/QUMorman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pedro Córdova-Mendoza, Teresa Oriele Barrios-Mendoza, Isis Cristel Córdova-Barrios. (2020). *Primera caracterización de emisiones contaminantes y la calidad de los aires en Ica, Perú.* <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v33n1/2224-5421-ind-33-01-138.pdf>

Pedro Morales, Luis Rodríguez (2016). *Aplicación de los Coeficientes Correlación de Kendall y Spearman.* <http://www.postgradovipi.50webs.com/archivos/agrollania/2016/agro8.pdf>

Peter H. McMurry, Marjorie F. Shepherd, James S. Vickery. *Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment.* https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=1giHmvhhw8C&oi=fnd&pg=PR22&ots=4GmjTcsxl0&sig=L5fQyyoRuJ3DhsLXAKmQFLkX2Z0&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Philippe Thunis, Monica Crippa, Cornelis Cuvelier, Diego Guizzardi, Alexander de Meij, Gabriel Oreggioni, Enrico Pisoni (2021). *Sensitivity of air quality modelling to different emission inventories: A case study over Europe.* DOI: doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100111

Qin Li, Danni Zheng, Yuanyuan Wang, Rong Li, Hongping Wu, Suxin Xu, Yuefan Kang, Yunxia Cao, Xiujuan Chen, Yimin Zhu, Shuguang Xu, Zi-Jiang Chen, Ping Liu, Jie Qiao (2020). *Association between exposure to airborne particulate matter less than 2.5 μm and human fecundity in China.* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106231>

R. An, H. Yu (2018). *Impact of ambient fine particulate matter air pollution on health behaviors: a longitudinal study of university students in Beijing, China.* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.02.007>

René Mauricio Barría, Mario Calvo y Paulina Pino. (2016). *Contaminación intradomiciliaria por material particulado fino (MP2,5) en hogares de recién nacidos*. DOI: doi.org/10.1016/j.rchipe.2016.04.007

Reyes Mestas Josue Manuel (2019). *Cuantificación y evaluación del contenido de pb y cd en el material particulado p.m. 2.5 por técnica voltamperométrica a la que esta expuesta la comunidad del área de ingenierías de la U.N.S.A. Arequipa* <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10989/QUremejm1.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Rosa María Martínez Ortega, Leonel C. Tuya Pendás, Mercedes Martínez Ortega, Alberto Pérez Abreu, Ana María Cánovas (2009). *El coeficiente de correlaciones de los rangos de Spearman caracterización*. <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v8n2/rhcm17209.pdf>

RuihuaGeng, SuqinFang, GuizhiLi (2019). *The association between particulate matter 2.5 exposure and children with autism spectrum disorder*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdevneu.2019.05.003>

Sultan AyoubMeo, Faris JamalAlmutairi, Abdulelah AdnanAbukhalaf, Omar MohammedAlessa, ThamirAl-Khlaiwi, Anusha SultanMeo (2021). *Sandstorm and its effect on particulate matter PM 2.5, carbon monoxide, nitrogen dioxide, ozone pollutants and SARS-CoV-2 cases and deaths*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148764>

Tao Li, Rong Hu, Zi Chen, Qiyuan Li, Shouxiong Huang, Zhou Zhu, Lin-Fu Zhou (2017). *Fine particulate matter (PM_{2.5}): The culprit for chronic lung diseases in China*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2018.07.002>

Tingting Wei, Meng Tang (2018). *Biological effects of airborne fine particulate matter (PM_{2.5}) exposure on pulmonary immune system*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.04.004>

Tsung-Ying Tsai, Li-Wei Lo, Shin-Huei Liu, Wen-Han Cheng, Yu-Hui Chou, Wei-Lun Lin, Yenn-Jiang Lin, Shih-Lin Chang, Yu-Feng Hu, Fa-Po Chung, Jo-Nan Liao, Tze-Fan Chao, Shih-Ann Chen (2016). *Diurnal cardiac sympathetic hyperactivity*

after exposure to acute particulate matter 2.5 air pollution. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2018.11.012>

Xihao Du, Renjie Chen, Xia Meng, Cong Liu, Yue Niu, Weidong Wang, Shanqun Li, Haidong Kan, Maigeng Zhou. (2020). *The establishment of National Air Quality Health Index in China.* Doi: doi.org/10.1016/j.envint.2020.105594

Yabin Hu, Zhiwei Xu, Fan Jiang, Shenghui Li, Shijian Liu, Meiqin Wu, Chonghuai Yan, Jianguo Tan, Guangjun Yu, Yi Hu, Yong Yin, Shilu Tong (2019). *Relative impact of meteorological factors and air pollutants on childhood allergic diseases in Shanghai, China.* DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135975

Yixian Zhang, Guangyu Cao, Guohui Feng, Kai Xue, Christoffer Pedersen, Hans Martin Mathisen, Liv-Inger Stenstad, Jan Gunnar Skogås (2020). *The impact of air change rate on the air quality of surgical microenvironment in an operating room with mixing ventilation.* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101770>

Yovitza Romero , Cesar Diaz, Ian Meldrum, Ricardo Arias Velasquez, Julien Noel (2020), *Temporal and spatial analysis of traffic – Related pollutant under the influence of the seasonality and meteorological variables over an urban city in Peru.* DOI: doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04029

Yuelin Liu, Guangming Shi, Yu Zhan, Li Zhou, Fumo Yang (2021). *Characteristics of PM2.5 spatial distribution and influencing meteorological conditions in Sichuan Basin, southwestern China.* DOI: [10.1016/ j.atmosenv.2021.118364](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118364)

Yu-Fei Xing, Yue-Hua Xu, Min-Hua Shi y Yi-Xin Lian (2016). *The impact of PM2.5 on the human respiratory system.* DOI: [10.3978 / j.issn.2072-1439.2016.01.19](https://doi.org/10.3978 / j.issn.2072-1439.2016.01.19)

Ziyue Chen, Danlu Chen, Chuanfeng Zhao, Mei-po Kwan, Jun Cai, Yan Zhuang, Bo Zhao, Xiaoyan Wang, Bin Chen, Jing Yang, Ruiyuan Li, Bin He, Bingbo Gao, Kaicun Wang, Bing Xu (2020), *Influence of meteorological conditions on PM2.5 concentrations across China: A review of methodology and mechanism.* DOI: [10.1016/j.envint.2020.105558](https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105558)

ANEXOS

Anexo 3: Matriz de operacionalización de variables

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Referencias
Material Particulado 2.5	Las fuentes primarias de emisión de PM2.5 son: quema de combustible, escapes de vehículos, polvo del suelo, polvo de la carretera, quema de biomasa, procesamiento de metales y otras actividades antropogénicas. Los principales precursores de las emisiones secundarias de PM 2.5 son compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NOX), dióxido de azufre (SO2) y amoníaco (NH3).	Se utiliza un equipo de medición gravimétrico RUPPERCHT & PATASHINICK - TEOM 1440 para registrar material particulado PM 2.5.	● Niveles de concentración	● PM 2.5	Christina W. Tsai (2020)
Calidad de Aire	En el Perú, la calidad de los aires se basa en el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire (ECA Aire), que establecen niveles objetivo para determinar la presencia de contaminantes en el aire, que al mantenerse bajo estos niveles establecidos no representen riesgo a la salud de la comunidad ni al ambiente.	Se toma como referencias los Estándares de Calidad Ambiental para aire, que son valores establecidos que no deben sobrepasar para evitar sea dañino para la salud.	● Factores fisicoquímicos	● Presión Atmosférica ● Precipitación ● Evaporación ● Orientación del viento ● Velocidad del viento	MINAM (2020)

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Herramienta de recojo de los datos de la información



PERÚ Ministerio del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres" 2018 - 2027
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

**INFORME METEOROLOGICO
(CARTA Nro. 25A)**

**PREPARADO PARA:
UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO
Atención: Dr. Eduardo Espinoza Farfán
Director EIA**

PERIODO: 2015 - 2020

ESTACIÓN MAP LA PAMPILLA

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	13.7	103.4	52.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2016	0.0	52.8	1.0	8.8	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2017	103.3	50.6	43.1	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	14.0
2018	12.8	6.2	5.8	0.2	0.0	0.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	28.7	54.8	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2020	82.2	119.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.0	19.3

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	17.5	15.6	15.9	16.5	15.8	16.5	15.2	16.8	17.8	18.7	18.8	19.6
2016	18.8	18.5	18.4	17.8	16.8	15.3	15.7	15.8	16.9	17.8	17.8	17.6
2017	16.6	16.4	16.6	16.9	16.2	14.9	15.4	15.3	17.2	18.0	18.1	17.6
2018	16.9	16.5	17.2	16.4	15.9	15.7	15.5	15.9	16.6	17.7	17.6	17.8
2019	17.5	17.4	17.8	16.8	16.2	15.8	15.4	15.8	17.1	17.2	18.2	18.1
2020	17.1	17.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	17.9	17.7	17.1

HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	50	61	64	61	52	42	38	35	35	40	45	54
2016	52	65	64	59	45	42	38	37	37	36	36	54
2017	71	68	73	60	54	42	40	36	39	37	39	53
2018	60	69	63	60	47	43	41	36	36	36	42	47
2019	68	75	66	68	58	47	40	38	42	43	51	51
2020	70	72	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	41	41	76


Firmado digitalmente por DOMEZ DELGADO Henry Javier PNU
2021.09.08 09:48
Motivo: Day V B
Fecha: 04/09/2021 12:22:30 -05:00



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres" 2018 - 2027
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

VIENTO: VELOCIDAD MEDIA MENSUAL (m/seg)

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	4.5	4.5	4.5	4.3	4.1	3.2	2.7	2.8	2.7	3.2	2.8	2.8
2016	3.5	4.3	4.5	4.5	4.4	4.3	3.2	4.0	4.3	4.4	4.9	4.9
2017	4.8	4.8	4.8	4.5	4.7	4.1	3.6	3.8	4.5	4.9	5.0	5.0
2018	5.0	4.9	4.7	4.7	4.4	4.4	4.4	4.3	4.5	4.7	4.8	4.7
2019	4.9	4.7	4.7	4.8	4.6	4.5	4.6	4.5	4.7	4.6	4.6	4.8
2020	4.8	4.6	4.8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	4.9	5.0	5.0

VIENTO: DIRECCIÓN MEDIA MENSUAL (m/seg)

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2015	SW	WSW	WSW	SW	SW	SW	SW	W	W	W	W	W
2016	SW	SW	SW	SW	SW	SW	W	W	SW	SW	SW	SW
2017	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
2018	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
2019	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW
2020	SW	SW	SW	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	SW	SW	W

ÍNDICE MÁXIMO MENSUAL DE RADIACIÓN UV-B

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2016	17.5	19.8	17.2	16.9	15.6	15.6	15.6	15.6	15.1	16.8	15.6	13.4
2017	13.2	14.1	13.7	13.5	7.6	7.6	7.7	9.4	14.3	16.4	16.2	14.1
2018	16.9	17.3	15.6	14.9	10.7	10.1	9.6	11.4	15.1	16.4	17.2	16.0
2019	16.5	14.8	16.7	15.1	12.0	10.5	7.6	9.7	11.9	13.0	14.1	14.6

* S/D = Sin Datos.

Arequipa, 04 de agosto del 2021.



Firmado digitalmente por GÓMEZ
HENRY JAVIER FAU
521703021W
Módulo: Sen al autor del documento
Fecha: 04/08/2021 12:22:24 -05:00

Ing. Henry Javier Gómez Delgado
Director Zonal 6 (e)
SENAMHI - Arequipa


Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, Cesar Francisco Honores Balcázar, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, asesor de tesis, titulada:

“Influencia de la Concentración de PM 2.5 sobre la Calidad de Aire en la Ciudad de Arequipa – Perú, 2015, 2016, 2019 Y 2020”

de las autoras Oddalis del Rosario Euribe Díaz y Fiorella Leslie Neyra Huaman, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones. He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo. 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.

Lima, 16 de noviembre del 2021

Apellidos y Nombres del Asesor: Honores Balcázar Cesar Francisco	
DNI 41134159	Firma 
ORCID 0000-0003-3201-1327	