UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

"VARIABILIDAD METEOROLÓGICA Y MATERIAL PARTICULADO 2.5 MICRAS EN LA PROVINCIA DE ILO (COSTA SUR DEL PERÚ)- 2022"

PRESENTADO POR:

- Bach. Cristell Elva Colque Nina

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERÍA AMBIENTAL

ILO – PERÚ

2023

Folio Nº 047

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [X]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución de Facultad Nº 201 - 2023 - FACIA - UNAM

Fecha: 21 de noviembre del 2023

III. El jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:

"VARIABILIDAD METEREOLOGICA Y MATERIAL PARTICULADO 2.5 MICRAS EN LA PROVINCIA de ICO CCOSTA SUR DEL PERÚ - 2022"

Bachiller: CRISTELL ELVA COLQUE NINA

Asesor Principal: M.Sc. JOSÉ ANTONIO VALERIANO ZAPANA

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: APROBADO por UNANIMIDAD la sustentación de manera:

Presencial [X] Virtual [ ]

Con nota: QUINCE (15) por lo que; Sí [X] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 17:40 horas, del 29 de NOVIEMBRE del año 2023 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

Dr. Milko Raul Rivera Campano
Presidente

M.Sc. Mario Román Flores Roque
Primer Miembro

MSC Paulino Flavio Rios Zapana
Segundo Miembro

Cristell Colque Nina
Bachiller

DEDICATORIA

A mis queridos abuelos, guardianes de mi corazón y eternos ejemplos de amor y sabiduría por haberme mostrado el poder de la perseverancia y la importancia del conocimiento.

A mi amada familia, gracias por su apoyo inquebrantable, por creer en mí y ser mi refugio en los momentos de dificultad. Sus enseñanzas perdurarán en mi alma y guiarán mis pasos hacia el éxito.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme y permitirme llegar a este importante momento en mi vida.

A la Universidad Nacional de Moquegua y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por brindarme la formación profesión necesaria para ejecutar mi tesis y dar un paso en el campo del conocimiento.

A mi asesor y miembros del jurado, por sus aportes en la ejecución y culminación de la presente tesis.

RESUMEN

En la presente investigación hablaremos del material particulado PM2.5 y de la variabilidad meteorológica. La comprensión de estas variables y sus interrelaciones es esencial para comprender las condiciones climáticas y meteorológicas que prevalecen en un lugar y momento en particular. El material particulado (PM2,5), ha superado los estándares internacionales en algunas ciudades, lo cual ha motivado a las instituciones públicas a desarrollar políticas de gestión ambiental para contrarrestar y controlar los impactos causados por el PM2.5.

El objetivo de investigación es determinar la relación de la variabilidad meteorológica y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, el diseño de investigación es no experimental y de corte longitudinal, observacional, retrospectivo, la investigación es de tipo cuantitativo, las variables son medibles, se usó el análisis estadístico. La investigación es de nivel descriptivo correlacional porque nos permitió conocer el grado de asociación o relación que existe entre las dos variables de estudio. Entre nuestros resultados podemos mencionar que la concentración del PM2.5 no sobrepasa los valores establecidos en el DS 003-2017-MINAM. Los datos recolectados durante los cuatro meses del material particulado PM2.5 en la provincia de Ilo haciendo los procesos estadísticos mostraron que con una media de 13.5337$\mu g/m^3$, también se obtuvo un valor mínimo de 2.33$\mu g/m^3$ el día 21 de setiembre a horas 04:00 am y un valor máximo de 72.80$\mu g/m^3$ el día 4 de octubre a las 00:00 horas. Se concluye que no existe una correlación significativa entre la variabilidad meteorológica y el material particulado PM2.5, La temperatura ambiental tiene un mínimo 13.3 ℃ el día 01 de octubre a las 5:00 am de un máximo de 20.3 ℃ el día 30 de octubre a 13:00 horas. la humedad relativa tiene un mínimo de 59.7 % el 29 de septiembre a las 14:00 horas, un máximo de 94.1 % el día 21 de julio a las 22:00 horas. La velocidad del viento tiene un mínimo de 0.00 m/s el 13 de julio a 04:00 am y un máximo de 7.4 m/s el 15 de octubre a 12:00 pm. En cuanto la dirección se observa una predominancia desde el sur(S) a norte (N) con vientos del tipo calma (0.50 m/s - 2.10 m/s), ventolina (2.10 m/s - 3.6 m/s), brisa muy débil (3.6m/s - 5.70 m/s) y brisa débil (5.70 m/s - 8.80m/s).

Palabras claves: Temperatura, humedad, velocidad y dirección

ABSTRACT

In this investigation we will talk about PM2.5 particulate matter and its content. Understanding these variables and their interrelationships is essential to understanding the climatic and meteorological conditions prevailing at a particular place and time. Particulate matter (PM2.5) has exceeded international standards in some cities, which has motivated public institutions to develop environmental management policies to counteract and control the impacts caused by PM2.5.

The research objective is to determine the relationship between meteorological protection and particulate matter 2.5 microns in the province of Ilo (south coast of Peru) 2022, the research design is non-experimental and longitudinal, observational, retrospective, the research is of quantitative type, the variables are measurable, statistical analysis was used. The research is of a descriptive correlational level because it allowed us to know the degree of association or relationship that exists between the two study variables. Among our results we can mention that the concentration of PM2.5 did not exceed the values established in DS 003-2017-MINAM. The data collected during the four months of PM2.5 particulate matter in the province during Ilo, carrying out the statistical processes, showed that with an average of 13.5337 µg/m^3, a minimum value of 2.33 µg/m was also obtained. ^3 on September 21 at 04:00 am and a maximum value of 72.80 µg/m^3 on October 4 at 00:00. It is concluded that there is no significant correlation between conservation and particulate matter PM2.5. The ambient temperature has a minimum of 13.3 °C on October 1 at 5:00 am from a maximum of 20.3 °C on October 30 at 1:00 p.m. the relative humidity has a minimum of 59.7% on September 29 at 2:00 p.m., a maximum of 94.1% on July 21 at 10:00 p.m. The wind speed has a minimum of 0.00 m/s on July 13 at 04:00 am and a maximum of 7.4 m/s on October 15 at 12:00 pm. Regarding the direction, a predominance of winds is observed from the south (S) to north (N) with calm winds (0.50 m/s - 2.10 m/s), windy winds (2.10 m/s - 3.6 m/s), very weak breeze (3.6m/s - 5.70 m/s) and weak breeze (5.70 m/s - 8.80m/s).

Keywords: Temperature, humidity, speed and direction

INDICE GENERAL

I Planteamiento del Problema 12
1.1 Descripción y formulación del problema 12
1.1.1 Problema General 15
1.1.2 Problemas específicos 15
1.2 Objetivos 15
1.2.1 Objetivo General 15
1.2.2 Objetivos Específicos 15
1.3 Justificación e Importancia 16
1.4 Hipótesis 17
1.4.1 Hipótesis General 17
1.4.2 Hipótesis Específicas 17
1.5 Variables 17
1.5.1 Variable 1 18
1.5.2 Variable 2 18
II Marco Teórico 19
2.1 Antecedentes 19
2.1.1 Internacionales 19
2.1.2 Nacionales 23
2.1.3 Local 28
2.2 Bases teóricas 29
2.2.1 Meteorología / atmósfera 29
2.2.2 Variabilidades meteorológicas 29
2.2.3 Fenómenos meteorológicos 32
2.2.4 Contaminación Atmosférica 33
2.2.5 Material Particulado 2.5 micras – Partículas Finas 35
2.2.6 Fuentes de emisión del PM2.5 36
2.2.7 Composición Química del PM2.5 38

2.2.8 Metales pesados presentes en el material particulado 39
2.2.9 Efectos en la salud humana por parte de los contaminantes atmosféricos /Contaminantes en la salud 40
2.2.10 Métodos de medición de la calidad del aire 41
2.3 Definición de términos 48
III Metodología 49
3.1 Tipo y nivel de Investigación 49
3.1.1 Tipo de Investigación 49
3.1.2 Diseño de Investigación 49
3.2 Ámbito temporal y espacial 50
3.3 Población y Muestra 50
3.3.1 Población 50
3.3.2 Muestra 51
3.4 Instrumento 52
3.5 Procedimientos 53
3.6 Análisis de datos 54
IV Resultados y discusiones 55
V CONCLUSIÓN 74
VI RECOMENDACIÓN 76
VII Referencias 77
VIII Anexos 86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escala de Beaufort 31
Tabla 2 Principales contaminantes primarios y secundarios presentes en el aire 35
Tabla 3 Principales fuentes de emisión de la fracción de partículas 37
Tabla 4 Composición química de las partículas finas (≤ PM2.5) 39
Tabla 5 Composición química del material particulado 40
Tabla 6 Métodos automáticos de la calidad de aire 46
Tabla 7 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire 47
Tabla 8 Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad del aire, según el criterio poblacional en ZAPs 51
Tabla 9 Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad de aire, según la densidad poblacional 52
Tabla 10 Instrumentos modelo y certificación 52
Tabla 11 Estadística descriptiva para las concentraciones del PM25 de julio a octubre del 2022 55
Tabla 12 Composición del PM25 56
Tabla 13 Estadística descriptiva para las variables meteorológicas de julio a octubre del 2022 57
Tabla 14 Pruebas de normalidad para las dos variables 62
Tabla 15 Correlación entre la temperatura ambiental y PM2.5 63
Tabla 16 Correlación entre la Humedad relativa y PM2.5 63
Tabla 17 correlación entre la Velocidad del viento y PM2.5 64
Tabla 18 Correlación entre la dirección del viento y PM2.5 65
Tabla 19 Pruebas de normalidad para las 14 semanas 65
Tabla 20 Correlación entre la temperatura ambiental y PM2.5 66
Tabla 21 Correlación entre la Humedad relativa y PM2.5 67
Tabla 22 Correlación entre la Velocidad del viento y PM2.5 68
Tabla 23 Correlación entre la dirección del viento y PM2.5 68
Tabla 24 Correlación entre las variables meteorológicas- PM2.5 y Composición del PM2.5 69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución vertical media de la temperatura y otras magnitudes en la atmósfera 30
Figura 2 Comparación de tamaño de las partículas de PM 36
Figura 3 Fuentes de contaminación del aire 37
Figura 4 Proceso Químico de formación de partículas secundarias 39
Figura 5 Grado de penetración del PM en el sistema respiratorio en relación con su tamaño de partícula. 41
Figura 6 Diagrama de muestreador de difusión pasiva 42
Figura 7 Diagrama de Hi Vol 44
Figura 8 Mapa de ubicación 50
Figura 9 Distribución del material particulado PM25 de Julio a octubre del 2022 55
Figura 10 Distribución de la composición del PM2.5 de Julio a octubre del 2022 57
Figura 11 Gráfica de variables meteorológicas de julio a octubre del 2022 58
Figura 12 Gráfica de variables meteorológicas temperatura de julio a octubre del 2022 59
Figura 13 Gráfica de la variable meteorológica humedad relativa de julio a octubre del 2022 59
Figura 14 Gráfica de la variable meteorológica velocidad del viento de julio a octubre del 2022 60
Figura 15 Gráfica de la variable meteorológica dirección del viento de julio a octubre del 2022 61
Figura 16 Gráfica de la variable meteorológica dirección del viento de julio a octubre del 2022 61
Figura 17 Caseta de Monitoreo de la OEFA 86
Figura 18 Equipo Partisol 2000i 86
Figura 19 PORTA FILTRO DE EQUIPO PARTISOL 2000i 87
Figura 20 Filtro de teflón pre analizado por el laboratorio 87
Figura 21 Filtro colocado del filtro en el porta filtro 88
Figura 22 Retirado del filtro de teflón con muestra de material particulado 2.5 micras 88
Figura 23 Filtros de teflón con muestras de material particulado 2.5 micras 89
Figura 24 Equipo ICP – MS para medición de metales 89
Figura 25 Preparación de tubos de ensayo rotulados 90
Figura 26 Preparación de los filtros para el análisis de metales 91
Figura 27 Colocado de agua Tipo I a los filtros de teflón con muestra de material particulado de 2.5 micras 91
Figura 28 Colocado de solución extractiva a los filtros de teflón con muestra de material particulado de 2.5 micras 92
Figura 29 Tubo de ensayo con filtro y solución extractora 92
Figura 30 Colocado de filtros en el microondas para el proceso de digestión 93
Figura 31 Enfriado de muestras con la solución extractiva 93
Figura 32 Filtro de 1.5mm 94
Figura 33 Retiro de filtro de teflón y partículas de mayor tamaño con el filtro de 1.5mm 94
Figura 34 Preparación de muestras para el proceso de digestión en el ICP – MS 95
Figura 35 Proceso de digestión de muestras en el ICP – MS 95

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un problema de interés mundial y por lo tanto urge la imperiosa necesidad de que sea estudiada para así proponer soluciones que nos beneficien. El material particulado PM2.5 es uno de los contaminantes atmosféricos más frecuentes y perjudiciales a nivel mundial. En la presente investigación Variabilidad meteorológica y Material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (Costa sur del Perú)- 2022, hablaremos del impacto de la contaminación del aire y sus efectos locales.

La presencia de material particulado PM2.5 en la atmósfera puede ser muy variable tanto en el tiempo como en el espacio. La concentración de partículas depende de factores meteorológicos y ambientales, como las emisiones de la industria, el tráfico, la quema de biomasa y la climatología. Además, pueden variar de acuerdo con las horas del día, los días de la semana y los meses del año.

La variabilidad meteorológica es el resultado de la interacción de diferentes variables meteorológicas que están en constante cambio y evolución. Estos parámetros son la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la velocidad y dirección del viento, las precipitaciones y la cantidad de luz solar. La comprensión de estas variables y sus interrelaciones es esencial para comprender las condiciones climáticas y meteorológicas que prevalecen en un lugar y momento en particular.

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA), la contaminación por partículas respirables normalmente de menos de 10 micrómetros de diámetro (PM10), partículas respirables pequeñas de menos de 2,5 micrómetros de diámetro (PM2,5) afectan la salud. El material particulado (PM2,5) con el pasar del tiempo ha superado los estándares internacionales en algunas ciudades, lo cual ha motivado a las instituciones públicas a desarrollar políticas de gestión ambiental para contrarrestar y controlar los impactos causados con la finalidad de proteger a la salud pública de los efectos adversos.

En el Perú con el DS- 074-2001-PCM, se aprueba la creación del reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire, el cual tiene como objetivo establecer los ECAS para el aire, siendo el punto de partida para la regulación de nuevos contaminantes. Según el DS-003-2017-PCM, establece que para el PM 2,5 el valor máximo permitido de concentración es de $50 \mu g/m^3$.

La variabilidad meteorológica y el material particulado PM2.5 es un tema de gran interés en la provincia de Ilo, Perú. La preocupación por la calidad del aire se ha hecho cada vez más evidente debido a los efectos negativos que tiene sobre la salud de las personas y el medio ambiente. La presencia de material particulado PM2.5 a causa de la refinería, del parque automotor, las fábricas y actividades antropogénicas tienen efecto directo con las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como efectos adversos sobre la vegetación y la calidad del agua.

Las condiciones meteorológicas juegan un papel importante en la emisión, el transporte y la deposición del material particulado. En la provincia de Ilo, la variabilidad meteorológica se debe en gran parte a la presencia de vientos fuertes, al movimiento de las masas de aire en la costa y al efecto local de las lomas cercanas. Estos factores influyen en la dirección y velocidad del transporte del material particulado PM2.5 y en su efecto sobre la calidad del aire.

I Planteamiento del problema

1.1 Descripción y formulación del problema

Durante el pasar de los años gran parte de la población humana se concentró en entornos urbanos (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Juntamente al intento de lograr ciudades económicamente estables en las zonas urbanas (Ramirez et al., 2021) han conllevado fuertes impactos ambientales significativos, formando un gran porcentaje de las emisiones de partículas atmosféricas (Cárdenas-Mamani et al., 2022). Por lo tanto, el rápido avance de la civilización, el desarrollo de la economía y el consumo de energía, resulta ser un corto circuito en la atmósfera (Li et al., 2022), junto a la introducción de nuevas sustancias en el medio ambiente, tanto biológicas como químicas (Trusz et al., 2020); (Kim et al., 2015). La atmósfera posee diversos parámetros meteorológicos que dan lugar a fenómenos climáticos como la inversión térmica, generado por el aumento de temperatura impidiendo el movimiento de masas de aire, por consiguiente, altas concentraciones de material particulado y otros contaminantes permanecen en suspensión por tiempo prolongado.

Así mismo, la contaminación por material particulado (PM) puede ser generada por fuentes antropogénicas o naturales: quema de combustibles en el sector del transporte (García-Franco, 2020), emisiones industriales, la generación de electricidad, los sistemas de calefacción y los hogares, el tratamiento de residuos; la agricultura; el polvo arrastrado por el viento, las erupciones volcánicas (Pini et al., 2021) (Wang et al., 2021).

El número de partículas de PM2.5 son considerados como indicadores específicos en la contaminación atmosférica presente en una región. Por lo cual un factor que debemos tener en cuenta son las condiciones meteorológicas los cuales pueden afectar significativamente no solo a los niveles de PM, sino también a su composición química (Huang et al., 2021). Así mismo variables como: la temperatura, humedad relativa, la velocidad y dirección del viento son considerados como los principales impulsores en la dispersión de aire y su estudio nos permite interpretar la evolución del contaminante a través del tiempo (Hayas, 2004).

Sin embargo, pocos estudios locales han explorado la relación de las variables meteorológicas y los cambios de los componentes químicos del PM2.5 (Jeong et al., 2022). Las autoridades sobre calidad del aire se centran en la medición de concentraciones de PM, pero se presta poca atención a otros parámetros importantes como la distribución de la composición química en diferentes ciudades (Pey et al., 2010). Siendo la composición química de los aerosoles atmosféricos un parámetro clave para los estudios climáticos, sanitarios y de ecosistemas. Las partículas atmosféricas (PM), especialmente las finas (es decir, PM2.5. partículas de diámetro aerodinámico <2.5um), tienen efectos negativos significativos en el cambio climático (Li et al., 2022) y en la salud pública. Por ello han sido motivo de gran preocupación debido al alto riesgo de exposición incluso a concentraciones relativamente bajas de contaminantes atmosféricos (Kim et al., 2015), especialmente en caso de exposición prolongada (García-Franco, 2020).

Según la OMS, la contaminación atmosférica causa la muerte de siete millones de personas al año en todo el mundo. Los datos muestran que un 99% de la población mundial respira un aire que supera los límites orientativos de la OMS, con altos niveles de contaminantes, y que los países de ingresos bajos y medios son los más expuestos. Incluso las bajas concentraciones de contaminantes atmosféricos son perjudiciales y, de hecho, no existe un valor umbral por debajo del cual no se produzcan efectos adversos (Koponen et al., 2015). Se determinó que cada aumento de 10 mg/m3 en la concentración de PM2,5 provoca un aumento del 6% en la mortalidad por todas las causas (Cassee et al., 2013). y un aumento del 11% en la mortalidad cardiorrespiratoria (Fajersztajn et al., 2013).

Por otro lado, numerosos estudios epidemiológicos realizados en el Noreste de China han indicado que la exposición a las PM2.5 aumenta la morbilidad de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, y por lo tanto amenaza a la vida (Li et al., 2022). Además, de ser conocido como el primer país con una alta mortalidad prematura asociado a la exposición a PM2.5. Así mismo, Corea mediante un estudio de calidad del aire en el 2017, identificó valores altos de emisión de PM2.5 por combustión de combustible relacionados a condiciones meteorológicas y la dispersión del contaminante, en ciudades como Shanghái y Nanjing, Pekin (Ha et al., 2023)

América Latina y Caribe representa el 15% del territorio del planeta, siendo contaminado atmosféricamente por las condiciones meteorológicas propias de cada ciudad, el crecimiento demográfico y actividades antropogénicas (Segovia-Hernández et al., 2022) como mencionaremos a continuación:

- El desarrollo industrial.
- El consumo de los combustibles fósiles.
- Las emisiones de los vehículos
- El crecimiento acelerado de vehículos usados importados.
- El uso de pesticidas en la agricultura.
- Las emisiones de partículas producidas por actividades agroindustriales.
- El uso ineficiente de la energía.
- La quema de combustible en viviendas periféricas pobres.

En el Perú, estudios entre el 2010 y 2015 reportaron un promedio anual de 26µg/m3 de PM2.5 superando los umbrales de OMS de 10 µg/m3 y los estándares de calidad del aire (ECA) a nivel nacional. Destacando a Lima entre las cinco áreas urbanas más contaminadas de América del Sur, viéndose impactada principalmente por las condiciones de viento. Las altas concentraciones de PM2.5 y las condiciones meteorológicas en la ciudad de Lima, representan una grave amenaza para la salud pública, prevaleciendo el asma con un 19.6% en la ciudad de Lima (Vu et al., 2021).

Ciudades como Huancayo, Cusco y Arequipa poseen elevados niveles de contaminación atmosférica, con picos que superan los estándares de calidad del aire. Un estudio desarrollado en la ciudad de Cusco, muestra que en 8 de 12 días monitoreados superaron los niveles PM2.5 con 35 $\mu g/m^3$. En Arequipa y en Huancayo se obtuvieron considerables incrementos en las emisiones antropogénicas, y en las concentraciones de material particulado lo cual afecta a la salud pública (Olson et al., 2021).

Por ello los estudios de las concentraciones, la composición química de estos aerosoles (PM2.5) y su grado de asociación con las condiciones meteorológicas proporcionan una valiosa información sobre los niveles de contaminación atmosférica (Manchanda et al., 2021) y a su vez permite brindar información a la población con la

finalidad de prevenir enfermedades respiratorias y minimizar el porcentaje de mortalidad (Jalava et al., 2015).

1.1.1 Problema General

- ¿Cuál es la relación de la variabilidad meteorológica y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Qué grado de relación existe entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022?
- ¿Qué grado de relación existe entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022?
- ¿Qué grado de relación existe entre la velocidad del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022?
- ¿Qué grado de relación existe entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Determinar la relación de la variabilidad meteorológica y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar el grado de relación que existe entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022.
- Identificar el grado de relación que existe entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022
- Identificar el grado de relación que existe entre la velocidad del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022
- Identificar el grado de relación que existe entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

1.3 Justificación e Importancia

Como es de conocimiento, la presencia de un contaminante como el material particulado representa un importante riesgo para la salud pública y al ambiente, tanto en los países desarrollados y en países en desarrollo. Sin embargo, en la ciudad de Ilo no se encuentran estudios sobre el material particulado, composición química y variabilidad meteorológica debido a que aún no se realizan registros continuos, detallados y confiables, ya que la mayoría de estudios son realizados en Lima o algunas ciudades consideradas por la ONU (2022) como principales son por ejemplo Arequipa Trujillo, Ica, Piura y Cusco.

Cabe recalcar que la provincia de Ilo está considerada dentro de las zonas de atención prioritarias (ZAP) de calidad de aire, según el Decreto Supremo N°074-2001-PC y la Resolución Ministerial N° 339-2012-MINAM. La provincia de Ilo presenta 3 distritos, siendo Pacocha la que cuenta con una refinería de cobre de la empresa Southern Perú, por tal motivo realizar registros que nos permitan calcular o cuantificar el estado de la calidad del aire es muy importante para el cumplimiento de las políticas de salud pública y protección del medio ambiente, ya que sin estos detalles pormenorizados y confiables el gobierno local y regional no podrían realizar planes estratégicos que aborden el problema de contaminación del aire y sus efectos.

La presente investigación profundizó de manera integral en los estudios de la variable PM 2.5, mediante la recolección de partículas finas analizadas químicamente en un punto de monitoreo durante un periodo de 4 meses. Se obtuvo información sobre la composición química, variación estacional y las características específicas de las PM2.5 para determinar la relación entre la variabilidad meteorológica y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (Costa Sur del Perú)-2022.

“Las emisiones antropogénicas aumentan de manera significativa las concentraciones de PM2.5, mientras que la variabilidad meteorológica también ejerce una fuerte influencia en las variaciones de PM2.5 y los contaminantes atmosféricos a largo plazo”.

Así mismo los conocimientos que se van a adquirir en este estudio pueden proporcionar una base científica para las políticas de control de emisiones a fin de adoptar medidas analizadas con mayor profundidad por el gobierno local, regional y nacional.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

H_0 = No existe relación significativa entre la variabilidad meteorológica y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la variabilidad meteorológica y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

1.4.2 Hipótesis Específicas

H_0 = No existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_0 = No existe relación significativa entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_0 = No existe relación significativa entre la velocidad del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la velocidad del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_0 = No existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

1.5 Variables

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo determinar el grado de asociación, relación que presentan las dos variables de estudio, no se observó la causalidad (causa y efecto). Detallaremos las características de la operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENCIONES	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION
VARIABLES METEREOLOGICAS	Se tomaron los datos mediante el equipo de monitoreo Estación meteorológica para procesar los datos y establecer los diagramas meteorológicos a tiempo real y determinar las variables meteorológicas del área de estudio	TEMPERATURA	T máxima	°C (Celsius)
			T mínima	
		HUMEDAD	H máxima	% (Porcentaje)
			H mínima	
		VIENTO	Velocidad	m/s
			Dirección	°
CONCENTRACIÓN PM 2.5	Para el recojo de datos usamos el Monitor automático de partículas modelo EDM 180 Para determinar la contaminación del aire es por medio del "Protocolo de monitoreo de calidad de aire" elaborado por EPA donde establece la metodología para el muestreo.	Concentración de masa PM 2.5	Concentración Máxima	ug/m3
			Concentración Mínima	ug/m3

1.5.1 Variable 1

Variabilidad meteorológica

- Temperatura
- Humedad relativa
- Velocidad y dirección del viento.

1.5.2 Variable 2

Material particulado 2.5 micras

- Concentración
- Composición química

II Marco Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

El primer trabajo corresponde a (Luo et al., 2022), quien en su trabajo investigó ***"Partículas finas (PM 2,5 /PM 1,0) en Pekín, China: Variaciones y composiciones químicas"*** desarrollado en Pekin conocida también por algunos medios como Beijing en China. En este trabajo se tuvo como objetivo principal realizar mediciones simultáneas de PM en Beijing durante 2018-2019. Los resultados indicaron que las concentraciones medias anuales de PM 1,0 y PM 2,5 fueron de 35,49 ± 18,61 μg/m^3 y 66,58 ± 60,17 μg/m^3, mostrando una respuesta positiva a los controles de emisiones. La contribución del sulfato, el nitrato y el amonio (SNA) desempeñó un papel mayor con la carga elevada de PM y actuó como los principales contribuyentes a los episodios de contaminación. Las discrepancias observadas entre las especies químicas entre PM 1.0 y PM 2.5 en primavera sugieren que las partículas de arena tienden a acumularse en el rango de 1-2,5μm. Los episodios de contaminación se produjeron acompañados de cúmulos meridionales y de una elevada formación de SNA por reacciones heterogéneas en verano e invierno, respectivamente. Los resultados de la factorización matricial positiva (PMF) combinada con los modelos de función de contribución de la fuente potencial de contribución de fuentes potenciales (PSCF) mostraron que las áreas potenciales dependían de las estaciones, las fuentes secundarias y vehiculares eran mucho más importantes en comparación con estudios anteriores en Pekín. El estudio presentó una investigación continua sobre las PM y las fuentes de Pekín, lo que permite comprender mejor el control de las emisiones y servir de referencia para otras ciudades en desarrollo.

El segundo trabajo corresponde a (Franzin et al., 2020), quien en su trabajo investigó ***"Caracterización del aerosol atmosférico (PM10 y PM2.5) de una ciudad mediana del estado de Sao Paulo, Brasil"***. El cual tuvo como objetivo principal realizar una caracterización de la masa de aerosoles PM2.5 y PM10 en la atmósfera. Los métodos de análisis incluyen WD-XRF y EDS. Los datos se correlacionaron con la información meteorológica y las trayectorias de la masa de aire (modelo HYSPLIT) mediante un análisis multivariante. También se realizó un análisis estructural morfológico para identificar las probables fuentes de aerosoles atmosféricos en la ciudad de Sao Jose do Rio Preto, Brasil. Los valores medios de concentración en masa obtenidos fueron de 24,54 mg/m3 para el PM10, por encima del valor estándar anual de la OMS de 20 mg/m3 y de 10,88 mg/m3 para el PM2,5 cuyo límite recomendado por la OMS es

de 10 mg/m3. El análisis WD-XRF de las muestras reveló que el Si y el Al son los principales componentes de la fracción gruesa. En la fracción fina, los elementos principales eran Al y S. La caracterización SEM-FEG permitió identificar la morfología de las partículas en aglomerados, elipsoides y filamentos en la PM10, además de esférica en la PM2.5. El análisis por EDS corroboró los resultados del WD-XRF, identificando los elementos de la corteza, los aluminosilicatos y los elementos de origen antropogénico en la fracción gruesa. Para la fracción fina también se identificaron elementos de la corteza de la corteza; predominan los aluminosilicatos, el carbono negro y las partículas esféricas procedentes de procesos de combustión. El uso del análisis multivariante para correlacionar las trayectorias de la masa de aire de masas del aire con los resultados de la caracterización morfoestructural de las partículas de las partículas permitió confirmar la compleja composición de las partículas resultante de la combinación de fuentes locales y de larga distancia.

El tercer trabajo corresponde a (Prieto-Parra et al., 2017), quien en su investigación ***"Contaminación del aire, composición de PM2.5, factores de origen y síntomas respiratorios síntomas respiratorios en niños asmáticos y no asmáticos en Santiago, Chile"***. El objetivo de este estudio fue determinar la asociación entre los síntomas respiratorios y el uso de medicamentos y la exposición a diversos contaminantes atmosféricos, componentes de PM2,5 y factores de origen en un panel de niños asmáticos y no asmáticos de Santiago, Chile. Para ello, 174 niños (90 asmáticos y 84 no asmáticos) fueron seguidos durante los meses de invierno de 2010 y 2011. Los datos sobre la contaminación del aire se obtuvieron a partir de las mediciones de la sede central del gobierno y de una campaña de caracterización de las PM2,5. En general, se observaron altas concentraciones de contaminantes atmosféricos y componentes de PM2,5. Se identificaron seis factores de origen por el PMF (vehículos de motor, aerosol marino, fundición de cobre, sulfatos secundarios, quema de madera y polvo del suelo). En general, los modelos de un solo contaminante mostraron asociaciones significativas y fuertes entre las exposiciones de 7 días para varios contaminantes criterio (PM2.5, NO2, O3), componentes de PM2.5 (OC, K, S, Se, V), y factores fuente (sulfato secundario) y tos, sibilancias y otros tres síntomas respiratorios tanto en niños asmáticos como no asmáticos. No se encontraron asociaciones se encontraron asociaciones para el uso de inhaladores de rescate en asmáticos. Los modelos de dos contaminantes mostraron que varias asociaciones siguieron siendo significativas después de incluir las PM2,5, y otros contaminantes criterio, en los modelos, en particular componentes y factores de origen asociados a las fuentes industriales.

En conclusión, la exposición a los contaminantes atmosféricos, especialmente a las PM2,5, NO2 y O3, exacerba los síntomas respiratorios en niños asmáticos y no asmáticos. Algunos de los resultados sugieren que los componentes de las PM2.5 asociados con una fuente secundaria de sulfato pueden tener un mayor impacto en algunos síntomas que las PM2,5. En general, los resultados de este estudio muestran asociaciones importantes a concentraciones cercanas o inferiores a las normas actuales de calidad del aire.

El cuarto trabajo corresponde a (Jorquera & Barraza, 2013), quien en su trabajo investigó ***"Distribución en la fuente de PM10 y PM2.5 en una región desértica del norte de Chile",*** el cual se realizó con el objetivo aplicar un análisis de modelización de receptores a las PM10 y PM2.5 medidos en una zona industrial ~20 km al SE de Antofagasta, una ciudad costera de tamaño medio en el norte de Chile; el sitio de monitoreo está dentro de una región desértica que se extiende desde el norte de Chile hasta el sur de Perú. Se tomaron muestras ambientales integradas de 24 horas de PM10 y PM2.5 con Impactores Harvard; las muestras se analizaron mediante fluorescencia de rayos X, cromatografía iónica (NO3 - y SO4), absorción atómica (Na+, K+) y transmisión óptica térmica para la determinación de carbono elemental y orgánico. La modelización de los receptores se llevó a cabo utilizando la Factorización de Matriz Positiva (US EPA Versión 3.0); las fuentes se identificaron observando trazadores específicos, las proporciones de los trazadores, los vientos locales y las trayectorias del viento calculadas a partir del modelo HYSPLIT de la NOAA. Para la fracción PM2.5, se encontraron seis contribuciones: planta de cemento, 33,7±1,3%; polvo del suelo, 22,4±1,6%; sulfatos 17,8±1,7%; pilas de mineral y planta de salmuera, 12,4±1,2%; Antofagasta, 8,5±1,3% y fundición de cobre, 5,3±0,8%. 0.8%. Para la fracción PM10 se identificaron cinco fuentes - planta de cemento, 38,2±1,5%; polvo del suelo, 31,2±2,3%; depósitos de minerales y planta de salmuera, 12,7±1,7%; fundición de cobre, 11,5±1,6% y aerosol marino, 6,5±2,4%. Por lo tanto, las fuentes locales contribuyen a las concentraciones de PM en el ambiente más que las fuentes distantes (Antofagasta el aerosol marino). El polvo del suelo se enriquece con la deposición de aerosol marino y calcio, sulfatos y metales pesados procedentes de las actividades industriales circundantes. metales pesados procedentes de las actividades industriales circundantes. La contribución media del polvo del suelo en suspensión a las PM10 es de 50 µg/m3 y el valor máximo diario es de 104 µg/m3. Para la fracción PM2,5, el polvo del suelo en suspensión contribuye con una media de 9,3 µg/m3 y un valor máximo diario de 31,5 µg/m3.

El quinto trabajo corresponde a (Beleño Montagut et al., 2021) **"*Correlación entre el flujo vehicular, el PM2,5 y variables meteorológicas, un estudio de caso al oriente de Bucaramanga (Colombia)*"** tiene por objetivo identificar la correlación entre variables climatológicas y la contaminación por los automotores (PM2,5 Y COV) en un punto de acceso a una institución ubicada al oriente de Bucaramanga (Colombia). El método observación y conteo diario de vehículos y se tomaron registros en el mismo lugar, fechas y franjas horarias de las demás mediciones: tres veces al día durante 26 días de octubre a noviembre de 2017, se recopiló los datos PM2.5: Rango: 0-500 µg/m3; precisión: ± 10%; ciclo de muestreo: 1 segundo, VOC: rango: 0-10 ppm; precisión: ± 10%; ciclo de muestreo: 1 segundo, Temperatura: Rango: 10-80 ° C precisión: ±0. 3 °C; ciclo de muestreo: 2 segundos, Humedad: Rango: 0-100% RH; precisión: ± 3% RH; ciclo de muestreo: 2 segundos. Para el procesamiento de datos se usó el software R dada su capacidad para hacer análisis, en este caso de tipo ambiental con su librería OpenAir. Teniendo como el análisis de la dispersión de contaminantes en la zona de interés muestra que el PM2,5 está asociado a los COV, que son en su mayoría provenientes del combustible generado por las fuentes móviles que circulan por las vías, la alta correlación encontrada en los análisis. Los resultados estadísticos con relación a la variable temperatura se observa que al mediodía sube en 3 ªC respecto a la mañana y disminuye la humedad relativa en un 7%. Los resultados promedio de todas las mediciones de PM2,5 y COV por franja se mantienen posiblemente debido a que la velocidad del viento proveniente del Norte aumenta respecto al valor de la mañana (de 0,2 m/s a 2,9 m/s) y arrastra el material particulado.

El sexto trabajo corresponde a (Verdezoto Mendoza et al., 2022) **"*Evaluación temporal del material particulado PM2.5 y PM10 en el Distrito Metropolitano de Quito – Ecuador*",** tiene por objetivo evaluar el material particulado PM2.5 y PM10, en la temporalidad horario, mensual, estacional y anual y la correlación con las variables meteorológicas. Metodología. La base de datos y variables meteorológicas se obtuvieron de dos estaciones de monitoreo, Belisario y Carapungo, que están distribuidas en la zona de estudio. Se realizó un análisis exploratorio y correlación simple para 65718 datos de PM2.5 en Belisario, 66191 datos para PM2.5 en Carapungo y 61152 datos de PM10 en Carapungo. Los resultados evidencian que la estación de Carapungo presenta mayor concentración de material particulado respecto a la estación Belisario. La relación PM2.5/PM10 de la estación Carapungo es de 0.41 de material fino anisotrópico, que comparados con algunas ciudades como Perú, Colombia, México y Chile es similar. Respecto a las correlaciones el PM2.5 y PM10 presentan una correlación

significativa con la temperatura, humedad relativa, dirección del viento y precipitación, pero difieren en las dos estaciones. Se concluye del análisis exploratorio que el material particulado PM2.5 y PM10 en el área analizada no depende de factores climáticos, por lo tanto, puede deberse a la topografía específica de la zona la cual se encuentra caracterizada por estar rodeada de bosques, volcanes y montañas

2.1.2 Nacionales

Según (Pacsi Valdivia, 2016), en el estudio ***"Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado pm10 y pm2.5 en lima metropolitana",*** el estudio se realizó con el objetivo de realizar un análisis de la variación temporal y espacial de la concentración de la cruz del PM2.5 y PM10 en Lima y el Callao. Se utilizaron datos de concentración de PM2.5 y PM10 medidos y analizados por la DIGESA y el SENAMHI, a través de la red de monitoreo de calidad del aire de Lima Metropolitana, durante el periodo 2001 y 2014. Los resultados muestran que los promedios diarios de PM10 no sobrepasan los Estándares de Calidad del aire (ENCA) del Perú, sin embargo, los promedios anuales de PM10 y PM2.5 en casi todas las estaciones de monitoreo, si superan significativamente el ENCA y las guías de la OMS. La variación multianual del PM10 y PM2.5 muestran una tendencia descendente moderada para el PM10 y leve para el PM2.5. Sin embargo, es necesario tomar medidas de control para evitar su incremento. Las zonas norte, sur y este de Lima presentan los mayores valores de PM10 y PM2.5. Los valores de la relación PM2.5/PM10 para Lima Metropolitana, se encuentran en el rango de 0,50 (Lima norte) y 0,75 (Callao) con un promedio para la ciudad de 0,65.

Según (De la Cruz, 2015), en el estudio ***"Concentración de contaminantes del aire generado por las fuentes móviles en la ciudad de Huancayo 2012",*** la investigación tuvo como, objetivo general "concentración de contaminantes del aire generado por las fuentes móviles en la ciudad de Huancayo, para estimar la concentración de los contaminantes del aire generado por las fuentes móviles para comparar con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. El estudio de la investigación fue de tipo no experimental, con un nivel explicativo y finalmente con las estimaciones realizadas por cada tipo de contaminante comparar con los límites permisibles de los Estándares de Calidad Ambiental. Para la determinación de la muestra que es de 539 vehículos, se consideró un nivel de confianza del 98% y un error máximo permisible del 5%. Luego de las comparaciones se determinó que las

concentraciones de los contaminantes del aire en la ciudad de Huancayo generado por las fuentes móviles superan los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. El parque automotor de Huancayo, en el año 2012, ha emitido 56286,14 toneladas de contaminantes a la atmósfera de los cuales el monóxido de carbono (CO) constituye el 54,21% (30514,40 toneladas por año), le sigue los compuestos orgánicos volátiles (COV) con 29,10% (16379,58 toneladas por año). Los que generan mayor cantidad de contaminantes son los vehículos a gasolina con un promedio de 0,73 toneladas al año por vehículo, le siguen los vehículos diésel con 0,34 y los vehículos a gas con solo 0,26.

Según (Hilario, 2017), en el estudio ***"Emisiones contaminantes de vehículos del distrito de Huancayo",*** La investigación tuvo como principal objetivo, estimar la cantidad de emisiones contaminantes de vehículos en el distrito de Huancayo para el año 2016, su población fue de 61 504 unidades registradas. Se caracterizó la flota vehicula, se recopilo información de tecnología vehicular mediante encuestas, paralelamente se realizó grabaciones y conteo vehicular para determinar la fracción de categorías vehiculares. Los resultados obtuvieron la cantidad de emisiones contaminantes provenientes de las fuentes móviles del distrito de Huancayo, en el año 2016 se emitieron al ambiente 44 511,4 toneladas de contaminantes, el monóxido de carbono se emitió en mayor cantidad de 36 348,4 Tm/año representa el 81.66%, seguido de compuestos orgánicos volátiles de 4 431,6 Tm/año representa el 9.96%, los óxidos de nitrógeno de 2 840,2 Tm/año representa el 6.38% y se emitió en menor cantidad los óxidos de azufre de 138.8 Tm/año representa el 0.31%.

Para (Montocache Ayala, 2019) **"*Evaluación de la Influencia de las Condiciones Meteorológicas en los Niveles de Material Particulado PM10 y PM2.5 en la Construcción del Hospital Hipólito Unanue de Tacna*",** tiene por objetivo evaluar si las condiciones meteorológicas influyen en la dispersión de las concentraciones de Material Particulado en la fase de construcción del Hospital Hipólito Unánue de Tacna. Su metodología es de tipo descriptiva, exploratoria y correlacional, de los resultados obtenidos para el material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5) en las estaciones EMHU-01 y EMHU-02, superaron el valor establecido en los ECAs para Aire de acuerdo al D.S. N° 003-2017-MINAM en el mes de junio en las 2 estaciones EMHU-01 con 69.53 ug/m3 y en la EMHU-02 con 63.04 ug/m3; y en el mes de setiembre en la EMHU-01 con 64.40 ug/m3. En cuanto a las condiciones meteorológicas en los meses de Junio y Setiembre se presentó la temperatura promedio en las 2 estaciones de monitoreo EMHU-01 y EMHU-02 (16.3°C), de igual manera en los valores

más altos de humedad (81%); y en los Valores altos de velocidad del viento (2.7 m/s). Por otro lado, la predominancia de la dirección del viento para el mes de junio en la estación EMHU-01 fue de Noreste (NE) y en la estación EMHU-02 fue de predominancia Oeste. Se concluye que existe correlación directa de los altos valores de PM2.5 y PM10 con los registros altos de humedad relativa velocidad del viento y con la temperatura durante la construcción del Hospital Regional de Tacna, ya que el coeficiente de correlación valor – p (sig=0,016) puntos, con un nivel de significancia < a 0,05. con un nivel de confianza del 95%, y una fuerza de Pearson de (r)= 0,724 puntos indicando que la relación es directa, significativa y de buena correlación

Para (Miguel, 2021) **"*Dispersión de material particulado (PM10 y PM2.5) en Huancayo Metropolitano, región Junín, 2020*",** tiene por objetivo determinar la dispersión del material particulado (PM10 y PM2.5) en Huancayo Metropolitano, Región Junín, 2020. La metodología de investigación es aplicada cuantitativa, descriptivo. De los resultados para la masa de PM2.5 de acuerdo a las estaciones de monitoreo de la calidad de aire para las estaciones de monitoreo de la UNCP (CA-01), Instituto Geofísico del Perú (CA-02) y de la Familia Callupe (CA-03) fueron de 14.0 $\mu g/m3$, 7.0 $\mu g/m3$ y 22.3 $\mu g/m3$, respectivamente, tal como se puede apreciar en la figura 16 del monitoreo de calidad de aire para partículas menores a 2.5 μm, nos indica que el estado de calidad 14 7 22.3 0 10 20 30 40 50 60 70 80 CA-01 CA-02 CA-03 3 m / g µ ESTACIONES DE MONITOREO CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO PM2.5 ECA 201 de aire para este material en el centro urbano de la ciudad de Huancayo, de acuerdo a las concentraciones de monitoreo los índices más altos de encontraron en CA-01 (14.0 $\mu g/m3$) y CA-03 (22.3 $\mu g/m3$), en contraste con la más baja CA-02 (7.0 $\mu g/m3$). Por otro lado, de acuerdo a las tres estaciones mencionadas ninguna ha superado los estándares de calidad de aire peruano. Conclusión para el material particulado menor a 2 micras (PM2.5) se determina que no excede en ningún día de estudio los ECAs peruanos sobre calidad de aire donde los valores promedio registrados son: 14.0 $\mu g/m3$, 7.0 $\mu g/m3$ y 22.3 $\mu g/m3$ (ECA 2017 = 50 $\mu g/m3$), por lo que se establecería que la metrópoli de Huancayo no tiene contaminación para PM2.5 durante el periodo de estudio, D.S. N°003-2017 MINAM.

Para (Córdova-mendoza, 2021), en el estudio***" Primera caracterización de emisiones contaminantes y la calidad del aire en Ica, Perú".*** La investigación tuvo como objetivo principal caracterizar las emisiones contaminantes y la calidad del aire en Ica, Perú, incluida como zona de atención prioritaria. Se tomaron muestras en dos puntos durante 2019, para un

análisis cualitativo y cuantitativo del aire. Las Partículas en Suspensión PM10, así como los gases (SO2, NO2, y H2S), son inferiores a los normados en las Normas Nacionales de Calidad en ambas estaciones de monitoreo (E-1 y E-2). Sin embargo, el Material Particulado PM2.5, supera lo establecido en las normas nacionales de calidad ambiental en la estación E-2. Se evidencia el mayor riesgo del MP2,5 a la salud de la población, siendo el sector transporte una de las fuentes de emisión significativa en Ica.

Según (Miranda Casapia et al., 2019), en el estudio ***"Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (pm2.5, pm10) para la gestión de la calidad del aire 2017 en la ciudad de Tacna",*** mediante el presente trabajo de investigación que se realizó en la ciudad de Tacna desde el mes Febrero al mes de Julio del 2017, tenía como objetivo principal determinar la concentración de polvo atmosférico sedimentable en nuestra ciudad, para lo cual se establecieron 08 estaciones de muestreo donde se aplicó la metodología de Muestreo Pasivo, que consistió en la colocación de placas de vidrio ubicados en el nivel superior de las viviendas y/o instituciones, por un periodo de 04 meses y en ese tiempo se recopiló la información cada 30 días calendarios. Para la ubicación de las estaciones a muestrear se tuvo en cuenta el tipo de vía, densidad poblacional y tráfico; logrando determinar con ello 08 zonas de muestreo localizadas en la zona Centro e Intermedia de la ciudad de Tacna, tomando como referencia el paseo cívico de la ciudad. Los resultados obtenidos del muestreo de partículas sedimentables indican un valor promedio final de 1.07 mg/cm2/mes en todas las estaciones de muestreo, el cual se encuentra en el orden de 0.57 mg/cm2/mes por encima de los valores guía para partículas atmosféricas sedimentables de la Organización Mundial de la Salud - OMS, fijado en 0.50 mg/cm2/mes. Se logró determinar 3 puntos con mayor grado de significancia, en los cuales se monitoreó el PM2.5 y PM10 con la estación móvil donde se aplicó la metodología de Monitoreo Automático.

Para (Pacsi Valdivia & Murriel Gonzales, 2018) **"*Evaluación espaciotemporal del material particulado PM2,5 y su relación con las variables meteorológicas en la Universidad Nacional Agraria La Molina*",** tiene por objetivo determinar la concentración del material particulado PM2,5 en el aire ambiental del campus de la UNALM, determinar su relación con las variables meteorológicas, los Estándares Nacionales de Calidad del Aire y las Guías de la OMS durante el período julio a noviembre del año 2016. Su metodología es exploratorio descriptivo correlacional. Resultados de las concentraciones de PM2,5 en el área de estudio. Se observa que las concentraciones de PM2,5 obtenidas tienden a oscilar entre valores que van

de 36,89 a 49,92 µg/m3, con un valor máximo de 79,16 µg/m3 y un valor mínimo de 24,67 µg/m3, los cuales fueron obtenidos en el período de monitoreo. La mediana corresponde a una concentración de 45,25 µg/m3. Según el SENAMHI durante los meses de nuestro período de monitoreo la zona de Lima Este (Santa Anita y Ate Vitarte) presentó valores de concentración de PM2,5 que van de 27,0 a 59,1 µg/m3, siendo este rango muy similar al que se encontró en la presente investigación. Se concluye que la concentración promedio de PM2,5 en el aire ambiental del campus de la UNALM, se encuentran en el rango de 36,89 a 49,92 µg/m3, registrándose valores máximos de hasta 79,11 µg/m3. Estos valores superan el ECA de aire para PM2,5 (definido en 50 µg/m3) en el 21 % de los días muestreados y en el 98,5% el valor guía de la OMS (definido en 25 µg/m3). Los valores promedios de concentración de PM2,5 en el invierno austral son mayores que los registrados en la primavera y tienen una correlación positiva con la humedad relativa y negativa con la radiación solar, temperatura del aire y velocidad del viento.

Para (Sánchez Paico & Bautista Monsalve, 2019) **"*Evaluación de la calidad del aire (PM10 y PM2.5) en relación a los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad de viento) en el sector Cercado- Tarapoto, 2018*",** tiene por objetivo evaluar la calidad del aire de material particulado (PM10 Y PM2.5) y determinar su relación con la temperatura, humedad relativa y velocidad de viento en el sector Cercado – Tarapoto, 2018. La metodología es no experimental descriptivo correlacional y transaccional de los resultados podemos mencionar que La temperatura presenta un valor mínimo de 23.3 °C el día 25/10/2018 a las 04:00 am y a las 06:00 am. En tanto al valor máximo de Temperatura fue de 33.8°C el día 23/10/2018 a las 2:30 pm. En cuanto a al material particulado PM2.5 el valor mínimo fue de 11 ug/m3 se obtuvo el día 23/10/2018 a las 09:00 am y el valor máximo fue de 108 ug/m3 el 23/10/2018 a las 06:30 pm. También se observa que la Humedad relativa presenta un valor mínimo de 23% el día 23/10/2018 a las 02:30 pm y un máximo de 55% a las 09:00 a.m. del mismo día. Y el valor mínimo de velocidad de viento fue de 0.8 m/s el día 24/10/2018 a las 09:30 p.m. Mientras que el valor máximo fue de 4 m/s del día 26/10/2018 a las 05:30 a.m. conclusión que sí existe una relación entre el material particulado (PM10 y PM2.5) y las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad de viento), pero no es tan significativo a excepción del PM10, PM2.5 con la velocidad de viento, con el cual se muestra que existe una correlación inversa, esto quiere decir que a más velocidad de viento menor será la concentración de material particulado y viceversa.

2.1.3 Local

Para (JOSÉ, 2017) **"Determinación del material particulado (pm10 y pm2.5) y metales en la construcción de la carretera Dv. Papujune camino principal tramo II en la ciudad de Mariscal Nieto Moquegua"** tiene como objetivo: Determinar el material particulado (PM10 y PM2.5) y metales en la carretera Dv. Papujune de la Provincia de Mariscal Nieto Región Moquegua. Metodología descriptivo-cuantitativa. De los resultados tenemos que las concentraciones en los meses de febrero, mayo y agosto en las ocho (8) estaciones de monitoreo utilizadas en la presente evaluación, no superaron el estándar de calidad ambiental de aire (ECA's, D.S. 003-2017-MINAM), el cual indica como límite 50 µg/m3. (Ver figuras 4.7-4.8-4.9) se obtuvo como conclusiones del trabajo se puede observar que la concentración del material particulado PM2.5 en las ocho (8) estaciones de monitoreo ubicadas en el tramo II de la carretera Dv. Papujune se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental de aire (D.S. N° 003-2017-MINAM), el mismo que establece 50 µg/m3 como límite para una muestra tomada en 24 horas; no afectando al centro poblado de Calientes y Coscore.

Para (Valeriano, 2021) **"*Relación de las variables meteorológicas en la dispersión espacio temporal de los contaminantes atmosféricos (PM2.5, PM10, SO2, NO2, O3) del distrito de Pacocha, Moquegua, 2019 – 2020".*** Tiene por objetivo Determinar la relación de las variables meteorológicas en la dispersión espacio temporal de los contaminantes atmosféricos (PM10, PM2.5, SO2, NO2, y O3) del distrito de Pacocha, Moquegua, 2019 - 2020. Su diseño de investigación es no experimental, longitudinal, descriptivo correlacional, tiene por resultado para el PM2.5, se observa que los valores más altos se registran en los meses de julio – septiembre, PM 2.5 =75.33 µg / m3. Para el caso del SO2, los valores más altos se registran en los meses de enero – marzo, SO 2=783.51 µg / m3. Para el caso del NO2 se observa que los valores más altos se registran en los meses de abril – junio, NO2=36.77 µg / m3 y para el caso del O3 se observa que los valores más altos se registran en los meses de abril – junio, O3=63.52 µg / m3. En la figura 20, se observa la distribución de datos en una serie temporal para los contaminantes atmosféricos PM10, PM2.5, SO2, NO2, y O3 durante el periodo de 2019. La barra celeste muestra la presencia de datos y la barra roja los datos faltantes que corresponde a los 10 primeros días del mes de enero y el periodo del 14 de febrero al 05 de marzo. La media de los valores diarios se muestra en amarillo, los valores máximos registrados para cada contaminante es el siguiente O 3=63.5 µg / m3; NO 2=36.8 µg / m3; SO 2=783.5 µg / m3; PM 10=504.4 µg/m3, PM2.5=75.3 µg / m3. Se concluye que todos los contaminantes

atmosféricos estudiados para el presente estudio mostraron una gran sensibilidad a los parámetros meteorológicos en el distrito de Pacocha. La correlación baja para el PM2.5 ($r=0.413$; $p>0.05$). Para el 2020 entre el PM10 con la velocidad del viento existe una baja correlación negativa del PM10 ($r=-0.436$) y correlación alta negativa para el PM2.5 ($r=-0.633$; $p<0.05$). Para el 2019 entre el PM10 y la humedad relativa existe una correlación alta negativa ($r=-0.560$) y una baja relación negativa con el PM2.5 ($r=-0.457$). Para el 2020 entre el PM10 y la humedad relativa existe correlación baja negativa para el PM10 ($r=-0.408$) y correlación positiva baja para el PM2.5 ($r=-0.171$). Para el 2019 y 2020 entre la relación de O3 con la temperatura existe una relación alta negativa ($r=-0.766$; $p<0.05$) y ($r = -0.564$; $p>0.05$) respectivamente para ambos periodos. La humedad relativa con el O3 tiene una relación positiva baja ($r=0.166$) para el año 2019 y una correlación positiva baja ($r=0.454$) para el 2020. Para los meses de enero a marzo en el que se registra la menor concentración de O3 se tiene una correlación negativa alta ($r=-0.722$; $p<0.05$) con la humedad.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Meteorología

La atmósfera conocida como la capa gaseosa que rodea la Tierra por fuerza de gravedad, compuesto por una mezcla de gases entre ellos: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y vapor de agua, cuya proporción varía a diferencia de otros componentes, debido a la evaporación de diversas fuentes como: ríos, lagos, mares y transpiración de plantas (Puigcerver & Dolors Carrascal, 2008).

Una de las ciencias que estudia y define sus propiedades, fenómenos e interacciones que ocurren en su estructura, es la Meteorología, la cual se encarga de profundizar el conocimiento de las variables meteorológicas y sus cambios en el espacio y tiempo. Además de ello, la meteorología utiliza diversas herramientas y tecnologías para recolectar datos y analizar los patrones climáticos, con el fin de comprender mejor cómo funciona el clima y cómo se puede predecir su comportamiento (Sarochar, 2009).

2.2.2 Variabilidades meteorológicas

La variabilidad meteorológica es el resultado de la interacción compleja y dinámica de varias variables meteorológicas, que están en constante cambio y evolución. La comprensión de estas variables y su interrelación es esencial para comprender el clima y las condiciones meteorológicas en un lugar y momento determinados. Así mismo estas condiciones se refieren

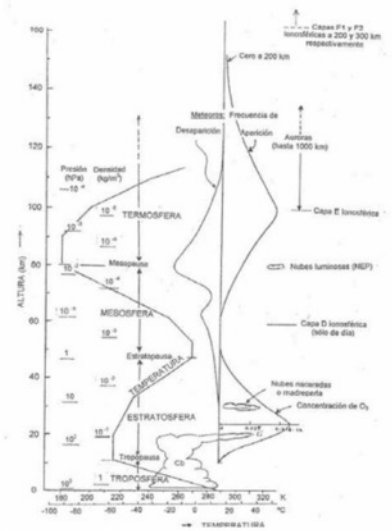
al estado atmosférico de una región en un momento dado. Esto incluye factores como la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la velocidad y dirección del viento, la precipitación y la cantidad de luz solar (Puigcerver & Dolors Carrascal, 2008).

Estas son algunas de las variables meteorológicas más comunes e importantes, pero hay muchas otras que también se utilizan para describir las condiciones atmosféricas en una región determinada (Vallero, 2007).

Temperatura

Es la medida de la energía térmica de un sistema. En el caso de la atmósfera, la temperatura se refiere a la cantidad de calor que hay en el aire y se mide en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F). La temperatura afecta muchos procesos en la atmósfera, incluyendo la formación de nubes, la evaporación, la condensación y la precipitación.

Figura 1 Distribución vertical media de la temperatura y otras magnitudes en la atmósfera



Humedad

Es la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera en relación con la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener a una temperatura y presión específicas. Se expresa como un porcentaje y se mide con un higrómetro. La humedad relativa es importante porque afecta la sensación térmica, ya que el aire húmedo tiende a sentirse más caliente que el aire seco a la misma temperatura. Además, la humedad relativa también afecta la formación de nubes y la precipitación.

Presión Atmosférica

Es la fuerza ejercida por la atmósfera sobre la superficie terrestre. Se mide en milibares o en pulgadas de mercurio y puede variar según la ubicación y las condiciones atmosféricas.

Velocidad y dirección del viento

El viento se produce por la diferencia de presión en la atmósfera. La velocidad del viento se mide en kilómetros por hora o en millas por hora, mientras que la dirección del viento se mide en grados y se refiere a la dirección de donde proviene el viento y se mide con una veleta. El viento es importante porque ayuda a transportar el calor y la humedad a través de la atmósfera, lo que puede afectar la temperatura y la humedad relativa en diferentes áreas. Además, el viento también afecta a la formación de olas en el mar, la navegación y la generación de energía eólica. Una herramienta comúnmente utilizada para interpretar la velocidad del viento es la Escala de Beaufort.

La escala de Beaufort es una escala de medición de la velocidad del viento desarrollada por el hidrógrafo británico Francis Beaufort en el siglo XIX. La escala de Beaufort clasifica la velocidad del viento en 13 niveles, desde el viento calmado hasta el huracán, y se basa en observaciones visuales del efecto del viento en el mar y en la superficie terrestre.

Cada nivel de la escala de Beaufort se asocia con una velocidad de viento aproximada, una descripción de cómo el viento afecta a la superficie del agua y a los objetos en la tierra, y una serie de símbolos gráficos para representar visualmente cada nivel. La escala de Beaufort se utiliza a menudo para describir las condiciones meteorológicas en informes de navegación, pronósticos meteorológicos y en la industria marítima en general (Did et al., 2004).

Tabla 1 Escala de Beaufort

Fuerza	Velocidad nudos	Velocidad Km/h	Nombre	Efectos del viento en alta mar
0	< de 1	0 - 2	Calma	La mar esta como un espejo.
1	1 - 3	2 - 6	Ventolina	La mar empieza a rizarse.
2	4 - 6	7 - 11	Brisa muy debil	Olas pequeñas que no llegan a romper.
3	7 - 10	12 - 19	Brisa débil, flojo	Olas cuyas crestas empiezan a romper. Borreguitos dispersos.
4	11 - 16	20 - 29	Bonacible, brisa moderada	Olas un poco largas. Numerosos borreguillos.

5	17 – 21	30 – 39	Brisa fresca, fresquita	Olas moderadas y alargadas. Gran abundancia de borreguillos y eventualmente algunos rociones.
6	22 - 27	40 - 50	Fresco, Brisa fuerte, moderado	Comienza la formación de olas grande. Las crestas de espuma blanca se ven por doquier. Aumentan los rociones y la navegación es peligrosa para embarcaciones menores.
7	28 - 33	51 - 61	Frescachón, viento fuerte	La espuma es arrastrada en dirección del viento. La mar es gruesa.
8	34 - 40	62 - 74	Temporal, viento duro	Olas altas con rompientes. La espuma es arrastrada en nubes blancas.
9	41 - 47	75 - 87	Temporal fuerte, viento muy duro	Olas muy gruesas. La espuma es arrastrada en capas espesas. La mar empieza a rugir. Los rociones dificultan la visibilidad.
10	48 - 55	88 - 101	Temporal duro	Olas muy gruesas con crestas empenachadas. La superficie de la mar parece blanca. Visibilidad reducida. La mar ruge.
11	56 - 63	102 - 117	Temporal muy duro, borrasca	Olas excepcionalmente grandes (los buques de mediano tonelaje se pierden de vista). Mar completamente blanca.
12	> de 64	> de 118	Temporal huaracanado	El aire esta lleno de espuma y de rociones. La visibilidad es casi nula. Se imposibilita toda navegación.

2.2.3 Fenómenos meteorológicos

Los fenómenos meteorológicos son aquellos eventos que ocurren en la atmósfera y que pueden tener un impacto significativo en el clima, la calidad del aire y la salud humana. Estos fenómenos incluyen, entre otros, lluvia, viento, nieve, tormentas eléctricas, huracanes y tornados. Así, mismo pueden tener un impacto en la concentración de contaminantes atmosféricos. Por ejemplo, durante una tormenta de polvo o un incendio forestal, grandes cantidades de material particulado pueden ser levantadas en el aire y transportadas por el viento. El material particulado también puede ser transportado a largas distancias por el viento y afectar la calidad del aire en áreas lejanas de su origen.

Por otro lado, ciertos fenómenos meteorológicos pueden reducir la concentración de contaminantes atmosféricos en el aire. Por ejemplo, la lluvia puede ayudar a limpiar el aire al lavar las partículas y los gases contaminantes del aire. Los vientos fuertes también pueden ayudar a dispersar los contaminantes y reducir su concentración en áreas locales.

Sin embargo, los fenómenos meteorológicos pueden afectar negativamente la concentración de estos contaminantes, lo que puede aumentar el riesgo de problemas de salud y otros impactos negativos en el medio ambiente. A continuación, se presentan algunos

ejemplos de cómo los fenómenos meteorológicos pueden afectar negativamente a los contaminantes atmosféricos:

- **Inversiones térmicas:** Como mencioné anteriormente, las inversiones térmicas son fenómenos meteorológicos que pueden atrapar los contaminantes atmosféricos en una capa de aire y aumentar su concentración en esa zona. Esto puede llevar a problemas de calidad del aire, como la formación de smog, que puede afectar negativamente la salud humana.

- **Lluvia ácida:** La lluvia ácida es un fenómeno meteorológico que puede aumentar la concentración de ácido sulfúrico y ácido nítrico en el aire. Cuando estos compuestos se combinan con la humedad del aire, pueden formar ácido sulfúrico y ácido nítrico, que pueden caer a tierra con la lluvia. Esto puede afectar negativamente la calidad del agua y el suelo, lo que puede tener un impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente.

- **Tormentas de polvo:** Las tormentas de polvo pueden levantar grandes cantidades de polvo y partículas en el aire, lo que puede aumentar la concentración de material particulado y otros contaminantes en el aire. Esto puede tener un impacto negativo en la salud humana y el medio ambiente, especialmente en áreas con altos niveles de emisiones antropogénicas.

- **Temperaturas extremas:** Las temperaturas extremas, como las olas de calor, pueden aumentar la concentración de contaminantes atmosféricos al aumentar la actividad industrial y el tráfico vehicular, lo que puede aumentar las emisiones de contaminantes atmosféricos. Además, las temperaturas extremas pueden aumentar la demanda de energía eléctrica, lo que puede aumentar la emisión de contaminantes atmosféricos por las centrales eléctricas.

2.2.4 Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica se entiende como la condición y presencia en la atmosfera de sustancias que alteren su estado natural e impliquen riesgo o daño a la salud humana y al medio ambiente (España, 1972). El elemento contaminante puede ser una sustancia extraña, química, energía o sustancia natural (Conde Williams, 2013), en caso de origen natural, por erupciones volcánicas, incendios, tormentas de arenas, descomposición de la materia orgánica o polen, pero es a partir del descubrimiento del fuego por el hombre cuando aparece la contaminación atmosférica antropogénica o contaminación atmosférica en sentido estricto(Elsom, 1990), la cual ha cobrado importancia, sobre todo, a partir de la revolución

industrial y el uso masivo de combustibles fósiles como fuente de energía (Aránguez et al., 1999). Estas pueden ser descargadas de diferentes fuentes, siendo diluidos y/o modificados química o físicamente en la atmósfera, llegando hasta los receptores en donde dañan la salud, los bienes, etc. También pueden ser transportadas a zonas diferentes de aquellas donde se han emitido, y finalmente, pueden retornar a la tierra a través de la lluvia o por deposición seca, donde entran en contacto con los receptores, que pueden ser a la vez personas, animales, plantas, mantos acuíferos, el suelo (CEPIS y OMS, 1999).

Para que la contaminación sea detectable, el contaminante deberá estar presente en cantidades o concentraciones suficientes que puedan provocar un desequilibrio detectable en el medio, ya sea por simple apreciación o determinada mediante medios de detección y medición apropiados (Conde Williams, 2013).

Los contaminantes atmosféricos consisten en una gran variedad de gases y partículas, los cuales se encuentran mezclados en el aire, muchos reaccionan entre sí o con otras sustancias presentes en la atmosférica originando nuevos contaminantes (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Estos pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- **Contaminantes primarios:**

Son aquellos que se emiten directamente a la atmosfera, su naturaleza física y su composición química son muy variadas, si bien se pueden agrupar atendiendo a su peculiaridad más característica, como poseer un elemento químico común (Cerrón, 2014). Entre estos contaminantes figuran: compuestos azufrados (SO_x, SO_2), óxidos de carbono (CO), compuestos nitrogenados (NOx, NH_3, N_2O), Material Particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), Hidrocarburos y metales (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

- **Contaminantes secundarios:**

Los contaminantes secundarios se forman a raíz de procesos químicos atmosféricos que pueden ocurrir entre dos o más contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmosfera (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Son importantes contaminantes secundarios el ácido sulfúrico, H2 SO_4 , que se forma por la oxidación del SO_2 ; el dióxido de nitrógeno NO_2 , que se forma al oxidarse el contaminante primario NO y el ozono, O_3 , que se forma a partir del oxígeno O_2 (Echeverri, 2019). Entre los contaminantes secundarios más relevantes encontramos: ácido sulfúrico y sulfatos, ozono, otros contaminantes fotoquímicos.

Tabla 2 Principales contaminantes primarios y secundarios presentes en el aire

Contaminantes Primarios	Contaminantes Secundarios
Óxidos de carbono (CO)	O_3 (troposférico)
Compuestos nitrogenados (NOx, NH_3, N_2O)	Hidrocarburos oxidados
Compuestos azufrados (SO_2)	Aerosoles orgánicos secundarios
Material Particulado (MP_{10}Y $MP_{2.5}$)	Sulfatos
Hidrocarburos	Nitratos
Metales	Material Particulado Secundario

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente – Chile

- **Contaminantes de referencia**

Están conformados por contaminantes primarios y secundarios que se encuentran en zonas urbanas. El convenio con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los reglamentos de los Estados Unidos y la Unión Europea señalan que están conformados por el monóxido de carbono (CO), dióxido de Azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), material particulado (PM_{10}) y plomo (Pb). Las concentraciones de los contaminantes de referencia varían de una localidad a otra, de acuerdo con el tipo de intensidad de la actividad industrial, tráfico vehicular y el grado de control ambiental existente en cada uno (Araujo, 2016).

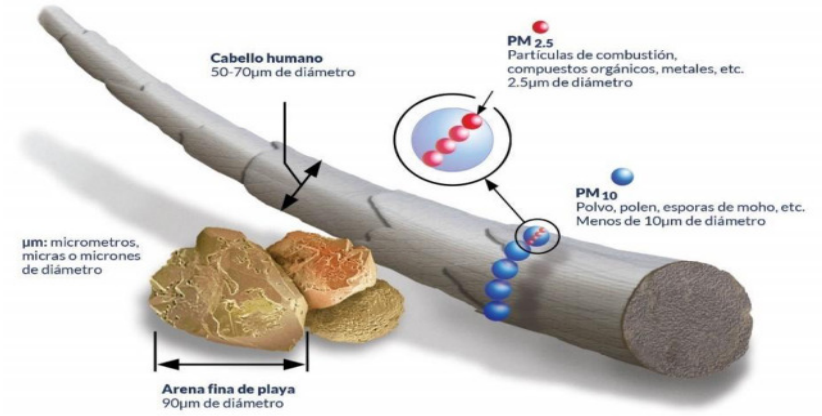
2.2.5 Material Particulado 2.5 micras – Partículas Finas

Las partículas atmosféricas son un indicador de la contaminación del aire, tienen un papel clave en la química atmosférica, el sistema climático y los ciclos biogeoquímicos. Posee mayor incidencia en las personas que cualquier otro contaminante (Ali-Taleshi et al., 2022). Consiste en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire en sólidos finos, procedentes de fuentes naturales y antropogénicas (Aire & Efectos, n.d.). Las partículas más pequeñas son más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte interior de los pulmones. Las $MP_{2.5}$, pueden permanecer suspendidas en el aire y recorrer grandes distancias. Los vehículos de gasolina tienen tasas de emisiones de MP más bajas que los vehículos diésel (Carranza, 2004).

Según la EPA la contaminación por partículas incluye: partículas inhalables que tienen diámetros de por lo general menor a 10 micrómetros (PM_{10}), partículas inhalables finas

que tienen diámetro menor a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$). El PM con un diámetro aerodinámico de 2.5 µm o menor recibe el nombre de ¨***Partículas finas***¨. Gran parte del material particulado emitido por los vehículos están compuestos por estas partículas finas siendo el resultado de la quema de combustibles fósiles en las plantas de generación de energía y de manufactura, chimeneas y cocinas a leña, quema de desechos agrícolas (Verdezoto Mendoza et al., 2022). Así mismo, es considerado el contaminante más dañino para la salud y que genera mayores niveles de mortalidad prematura en la población (Ministerio del Medio Ambiente, 2016).

Figura 2 Comparación de tamaño de las partículas de PM



Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

Durante las últimas décadas, la rápida industrialización, la urbanización y el aumento del consumo de energía han provocado un aumento de las emisiones de partículas atmosféricas en muchas regiones en desarrollo. El consiguiente aumento de la concentración de partículas atmosféricas en el medio ambiente ha provocado un grave impacto en la calidad del aire tanto local como regional, con las consiguientes repercusiones graves para la salud humana (Ali-Taleshi et al., 2022).

2.2.6 Fuentes de emisión del PM2.5

Según la OMS menciona que las fuentes de contaminación atmosférica son múltiples y específicas de cada contexto. Las principales fuentes de contaminación del aire exterior son el consumo doméstico de energía para cocinar y calefaccionar, los vehículos, la generación de energía, la agricultura, la incineración de residuos y la industria. Las políticas y las inversiones que respaldan medidas integradas de apoyo al uso sostenible de la tierra, el uso doméstico de energía y medios de transporte menos contaminantes, las viviendas con eficiencia energética,

la generación de electricidad, la industria y la mejor gestión municipal de residuos pueden reducir efectivamente las principales fuentes de contaminación atmosférica.

El $PM_{2.5}$ son el resultado de la quema de combustibles fósiles en las plantas de generación de energía y de manufactura, chimeneas y cocinas a leña en casas particulares y quema de desechos agrícolas. También pueden formarse en la atmósfera como aerosoles debido a reacciones químicas entre gases tales como el SO2, NOx y compuestos orgánicos volátiles. Los sulfatos, comúnmente generados por la conversión de emisiones de azufre primario, constituyen la fracción más grande, en masa, del $PM_{2.5}$. Este contaminante también puede formarse como resultado de la solidificación de sales de metales volátiles en forma de cristales tras el enfriamiento de los gases calientes del escape de los vehículos en el aire ambiente. Así mismo, pueden permanecer suspendidas en el aire y recorrer grandes distancias.

Fuentes de contaminación del aire

FIGURA 3: Fuentes de contaminación del aire

Figura 3 Fuentes de contaminación del aire



Fuente: Organización Mundial de la Salud

Tabla 3 Principales fuentes de emisión de la fracción de partículas

Especies	<$PM_{2.5}$		>$PM_{2.5}$	
	Naturales	**Antrópicas**	**Naturales**	**Antrópicas**
Sulfatos (SO_4)	Aerosoles marinos	Quema de combustibles fósiles	Aerosoles marinos	----------
Nitratos (NO_3)	--	Tubos de escape de vehículos	----	----
Minerales	Erosión y resuspensión	Polvos fugitivos de caminos pavimentados y no pavimentados	Erosión y resuspensión	Polvos fugitivos de caminos pavimentados y no pavimentados
Amonio (NH4)	---	Tubos de escape de vehículos	----	---

Carbón orgánico	Incendios naturales	Quema de madera, tubos de escape de vehículos, cocinar, desgaste de llantas y procesos industriales	Materia húmica del suelo	Desgaste de llantas y pavimentos, polvo de caminos pavimentados y no pavimentados
Carbon elemental	Incendios naturales	Quema de madera, tubos de escape de vehiculos (principalmente diésel), cocinar	---	Desgaste de llantas y pavimento, polvo de camino pavimentados y no pavimentados
Metales	Actividad volcánica	Combustión de combustibles fósiles, procesos metalúrgicos, desgaste de frenos de vehículos	Erosión y resuspensión	---
Aerosoles biológicos	Bacterias y virus	---	Fragmentos de plantas e insectos, polen, esporas y bacterias	

Fuente: Organización Mundial de la Salud

2.2.7 Composición Química del PM2.5

La composición química del $PM_{2.5}$ depende de la fuente emisora y de la formación de las mismas (European Commission, 2004). Un claro ejemplo son las partículas encontradas en una región costera ya que están principalmente compuestas por cloruro de sodio, proveniente de la sal del mar, mientras tanto la presencia de óxidos de hierro, calcio, sílice y aluminio son de origen geológico. En los procesos de combustión se emiten partículas de carbón, pero también de materia inorgánica proveniente del mineral presente en los combustibles.

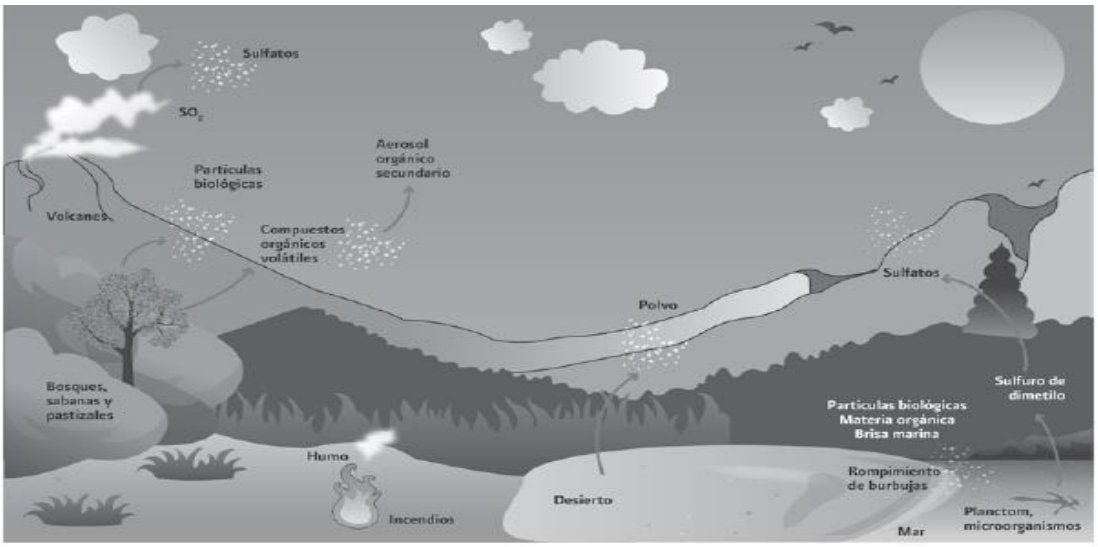
Las partículas ambientales que provienen de las fuentes móviles que usan gasolina son una mezcla de carbón orgánico, carbón elemental y pequeñas trazas de metales y sulfatos. De esas partículas, el carbón orgánico contribuye con el 26 % y el 88 % del total de partículas ambientales provenientes de esta fuente. Aunque los compuestos del carbón orgánico no están todavía bien caracterizados, se han identificado compuestos orgánicos con alto peso molecular e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Anteriormente, las emisiones de partículas provenientes de los vehículos consistían principalmente en compuestos de plomo por el aditivo que se le agregaba al combustible; sin embargo, con la eliminación de ese aditivo se eliminó también el compuesto de las emisiones (INECC, 2011).

Tabla 4 Composición química de las partículas finas (≤ PM2.5)

Ultrafinas (PM0.1)	Finas (≤ PM2.5)	Gruesas (PM2.5 – PM10)
Sulfato	Sulfato, nitrato, amonio, iones de hidrógeno	Nitratos, cloruros, sulfatos de reacción de HNO3, HCl y SO2
Carbón elemental	Carbó elemental	Óxidos de elementos de la corteza terrestre (Si, Al, Ti, Fe)
Compuestos metálicos	Gran variedad de compuestos orgánicos	CaCO3, CaSO4, NaCl, sal marina
Compuestos orgánicos con baja saturación de presión de vapor a temperatura ambiente	Metales compuestos de Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe, etc.	Bacterias, polen, moho, esporas de hongos, detritos de plantas y animales
	Agua ligada a las partículas	
	Bacterias, virus	

Fuente: Agencia de Protección Medio Ambiental (2009)

Figura 4 Proceso Químico de formación de partículas secundarias



Fuente: INECC (2011)

2.2.8 Metales pesados presentes en el material particulado

Estos compuestos pueden estar presentes adicionalmente a los sulfatos, nitratos de sodio, cloro y carbón elemental en las partículas ambientales o formar parte de ellos. Los principales compuestos son:

- **Elementos Traza.** Ejemplos de estos son los metales, como plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr), zinc (Zn) y manganeso (Mn), los cuales pueden ser emitidos por procesos metalúrgicos, sistemas de combustión, etc. Las concentraciones de los elementos trazan son muy pequeñas, tanto que su detección es a menudo una función de la sensibilidad del procedimiento analítico utilizado.
- **Compuestos Orgánicos Traza.** A pesar de que la masa total de los compuestos orgánicos puede conformar una parte significativa de la masa total de las partículas, hay una importante cantidad de compuestos orgánicos individuales que están presentes en muy bajas concentraciones; ejemplos de ellos son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y alifáticos, los aldehídos, los ácidos carboxílicos y las cetonas, entre otros (European Commission, 2004).

Tabla 5 Composición química del material particulado

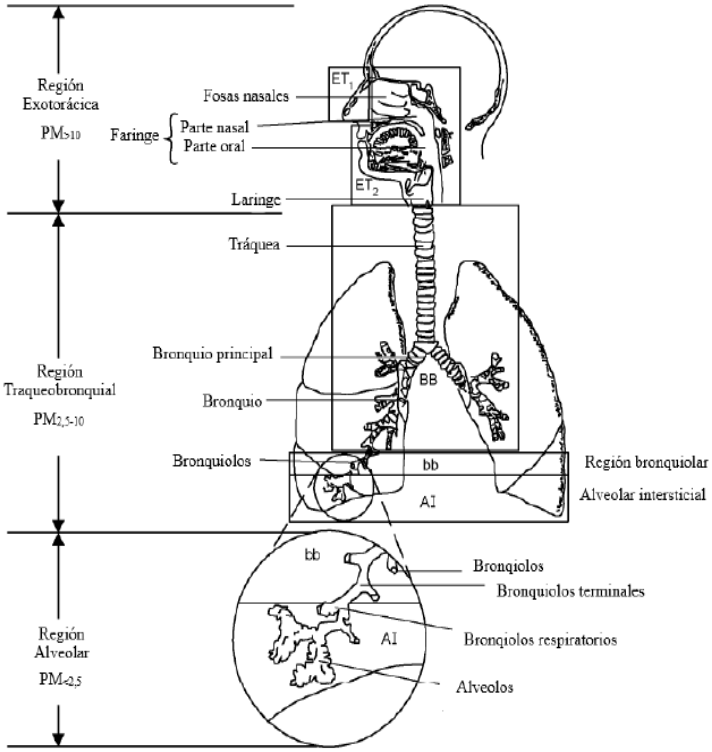
COMPONENTES DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS	
Elementos Traza	**Compuestos orgánicos**
Por ejemplo, metales, como plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr), zinc (Zn), y manganeso (Mn), etc.	Hidrocarburos aromáticos, HAP, alifáticos, aldehídos, ácidos carboxílicos y cetonas entre otros.

2.2.9 Efectos en la salud humana por parte de los contaminantes atmosféricos /Contaminantes en la salud

La vía respiratoria, el patrón de respiración (volumen y ritmo) y el tamaño de las partículas son algunos de los factores que afectan a la cantidad de PM que ingresa al cuerpo y que puede depositarse posteriormente en el tracto respiratorio. Por ejemplo, el aumento de actividad física, produce el aumento de la ventilación corporal por minuto. Los niños inhalan una mayor fracción de aire por la boca que los adultos, y los hombres tienden a inhalar una mayor fracción de aire por la boca que las mujeres (en todas las edades). La obesidad, especialmente en los niños, también puede contribuir a una mayor resistencia nasal y a un aumento de la fracción oral de respiración oral en comparación con los niños de peso normal. Por ello a mayor cantidad de respiración oral, se puede esperar que estos individuos tengan una mayor penetración de MP en el tracto respiratorio (United States Environmental Protetion Agency (USEPA), 2009).

Diversos estudios científicos han demostrado que la exposición a corto y largo plazo al PM2.5 puede resultar en una gama de efectos sobre la salud, desde cambios en los biomarcadores circulantes hasta la mortalidad. Por su tamaño, estas partículas son capaces de ingresar al sistema respiratorio, provocando potenciales daños a sus órganos principales. Mientras menor sea su diámetro, mayor será el potencial de daño a la salud humana. Las partículas de $PM_{2.5}$ penetran hasta los alvéolos pulmonares e ingresan directamente al torrente sanguíneo, aumentando los riesgos de mortalidad prematura.

Figura 5 Grado de penetración del PM en el sistema respiratorio en relación con su tamaño de partícula.



Fuente: (Echeverri, 2019)

Según la OMS, las altas concentraciones de contaminación por partículas pequeñas y finas ($PM_{2.5}$) se asocian particularmente con un alto número de muertes por enfermedades del corazón y derrames cerebrales, así como con enfermedades respiratorias y cáncer.

2.2.10 Métodos de medición de la calidad del aire

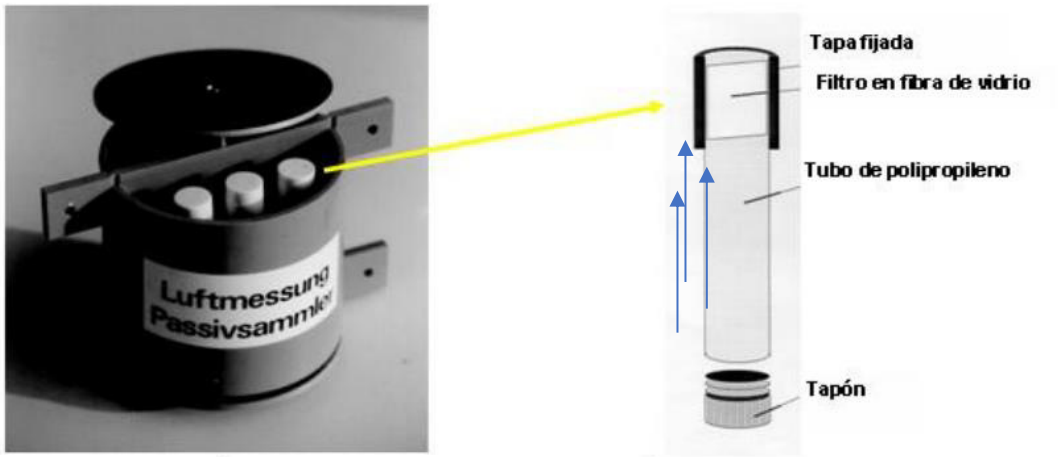
De acuerdo con las Guías de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los costos y niveles de desempeño que implican se pueden clasificar en cuatro tipos genéricos: sistemas manuales pasivos, sistemas manuales activos, sistemas automáticos, y sensores remotos.

Muestreador Pasivo

Es considerado un método simple y eficaz en función a costos, el cual brinda información aproximada acerca del estado de la calidad del aire, principalmente en zonas donde no se realizan monitoreos permanentes. La medición con estos muestreadores cuenta con una metodología establecida en la Norma Técnica Peruana: NTP 900.036:2017 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire.

Los muestreadores pasivos son tubos cuyo tamaño y el flujo teórico difiere dependiendo al gas que se pretende medir. A través de la difusión molecular a un material absorbente para contaminantes específicos, se recoge una muestra integrada durante un determinado periodo (que generalmente varía entre una semana y un mes). Los bajos costos por unidad permiten muestrear en varios puntos del área de interés, lo cual sirve para identificar los lugares críticos donde hay una alta concentración de contaminantes, como las vías principales o las fuentes de emisión, y donde se deben realizar estudios más detallados. Para aprovechar al máximo esta técnica, se debe contar con un diseño cuidadoso del estudio y vigilar los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad seguidos en el laboratorio durante el análisis de la muestra.

Figura 6 Diagrama de muestreador de difusión pasiva



Fuente: (Sánchez et al., 2009)

Muestreador Activo

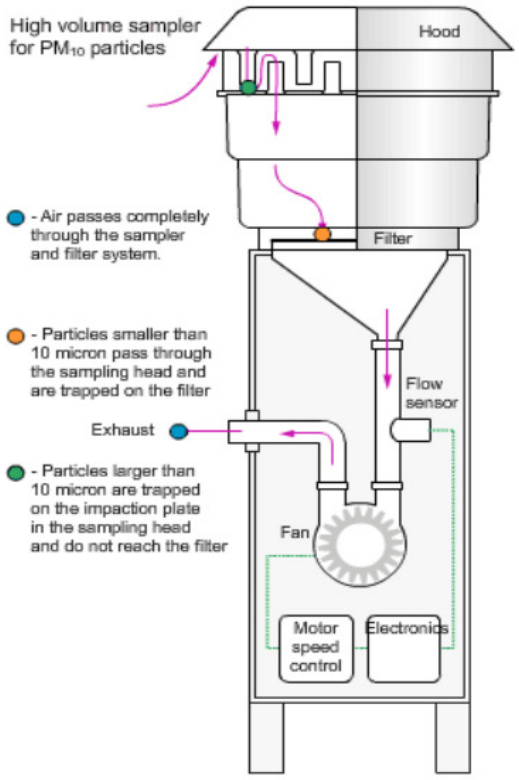
Las muestras de contaminantes se recolectan por medios físicos o químicos para su posterior análisis en el laboratorio. Por lo general, se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector –como un filtro (muestreador activo manual) o una solución química (muestreador activo automático)- durante un determinado periodo y luego se retira para el análisis.

Método activo para material particulado

El método activo, denominado también como método gravimétrico, cuyo funcionamiento consiste:

- Una muestra de aire ingresa a flujo constante a través de un cabezal selectivo, mediante una fuerza inercial se encarga de separar las partículas mayores que no son de interés del monitoreo. Luego, las sustancias de interés14 (tales como PTS, PM_{10}, $PM_{2.5}$ o PM_1) son colectadas en un filtro durante un periodo de muestreo especifico.
- Respecto al filtro debe ser desecado antes y después del muestreo, con la finalidad de obtener el peso inicial y final del filtro, ya que la diferencia de ambos permitirá obtener el peso neto del material particulado.
- El cálculo de concentración de la sustancia de interés se basa en dividir la masa del material particulado entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo especifico.

Figura 7 Diagrama de Hi Vol



Fuente: Universidad de los Andes

Método activo para gases ambientales

Consiste en el tren de muestreo ambiental, conformado por frascos impingers colectores para cada gas. Los impingers tienen dos conexiones: una para el ingreso del aire, y Otra para la salida del aire y su transporte hacia el dispositivo de control, dispositivo de medición de flujo y bomba de succión. A cada impinger se le vierte una cantidad de sustancia liquida absorbente como medio de colección. La sustancia a usar depende del analito que se desea medir.

Para el cálculo de la concentración de la sustancia de interés, se debe dividir la masa del gas ambiental entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo especifico.

Muestreador automático

Los muestreadores automáticos contienen una bomba de succión con muestras recolectadas y analizadas en tiempo real. Por lo tanto, poseen diseños específicos para cada contaminante que será analizado (MINAM, 2019). A diferencia de los muestreadores activos,

estos no colectan muestras para luego ser analizadas en laboratorio, sino determinan su concentración en una cámara de análisis que utiliza métodos ópticos (entre ellos, Ia fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, la dispersión de la luz y la atenuación de rayos beta).

Ejemplo de este tipo de equipos son los analizadores automáticos de partículas o de gases como el Analizador de NO2 Modelo T500u Caps, que trabaja por técnica de espectroscopía de cavidad atenuada por desplazamiento de fase generando una medición directa en tiempo real y continuo a través de absorción óptica.

Métodos automáticos para material particulado

Según MINAM para la determinación del material particulado mediante métodos automáticos o continuos existen tres técnicas básicas, las mismas que se describen a continuación:

- **Atenuaci6n de rayos beta:** Esta técnica se basa en la respuesta Óptica de una muestra del analito a la radiación emitida por una fuente radiactiva. De modo que, conforme vaya aumentando la masa de partículas en el filtro que contiene la muestra, irá atenuándose cada vez más el paso de la radiación beta. Esta relaci6n es la que, finalmente, permite determinar la masa del analito, cuyo cálculo es usado posteriormente por el equipo automático para establecer su concentración en microgramos por metro cubico.
- **Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM, por sus siglas en inglés)**: Esta técnica utiliza un filamento rt3nico que sostiene un filtro de 1 g milímetros de diámetro, donde es colectada la muestra. Dicho filamento es sometido a una oscilación constante, cuya frecuencia se irá reduciendo conforme vaya aumentando la masa de partículas en el filtro. Esta relación inversa es la que, finalmente, permite calcular la masa del analito, la cual es usada posteriormente por el equipo automático para establecer su concentración en microgramos por metro cúbico.

- **Dispersión de la luz:** Esta técnica se basa en la respuesta de cada partícula del analito (por ejemplo, material particulado) a un haz de luz emitido a la corriente de aire que ingresa al equipo automático. En específico, la respuesta de reflexión al haz de luz, permite determinar el tamaño de cada partícula en función de su ángulo

de reflexión, así como la cantidad de partículas presentes en la muestra. Por esa raz6n, estos sistemas son considerados también como contadores ópticos de partículas. Una vez determinado el tamaño y numero de las partículas, el equipo automático procede a calcular primero la masa del analito y, luego, su concentración en microgramos por metro cúbico.

Métodos automáticos para gases ambientales

Son técnicas que, de manera similar a los métodos automáticos para material particulado, succionan la muestra de aire, la cual en lugar de ser colectada en alguna sustancia absorbente (medio de colección), ingresa a una cámara de medición donde se aplican metodologías ópticas para la determinación del analito.

Con relación a estos métodos, cabe precisar que la concentraci6n del analito en microgramos por metro cúbico se calcula dividiendo la masa (hallada en la cámara de medición) entre el volumen de la muestra. A continuación, se presentan los métodos automáticos para gases ambientales que pueden ser aplicados para determinar la concentraci6n de los parámetros del ECA para Aire:

Tabla 6 Métodos automáticos de la calidad de aire

Parámetro	Periodo	Método de referencia
Dióxido de azufre	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta
Dióxido de Nitrógeno	1 hora	Quimioluminiscencia
Mercurio Gaseoso Total	24 horas	Espectrometría de absorción atómica de vapor frio (CVAAS) o espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frio (CVAFS)
Monóxido de Carbono	1hora / 8 horas	Infrarrojo No Dispersivo (NDIR)
Ozono	8 horas	Fotometría de Absorción Ultravioleta
Sulfuro de Hidrogeno	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta
Benceno	Anual	Cromatografía de gases

Fuente: Decreto Supremo N° 003- 2017 - MINAM

Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

El Decreto Supremo N° 074-2001-PCM en su Artículo 4 establece los estándares primarios de calidad del aire y los niveles de concentración máxima para los siguientes contaminantes criterio:

Tabla 7 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

PARAMETROS	PERIODO	VALOR (ug/m^3)	CRISTERIO DE EVALUACIÓN	METODO DE ANÁLISIS [1]
Benceno (C_8H_8)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras ($PM_{2.5}$)	**24 horas**	**50**	**NE más de 7 veces al año**	**Separación inercial/filtración (Gravimetría)**
	Anual	**25**	**Media aritmética anual**	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)[2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) / Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) / Espectrometría de absorción atómica Zeeman / (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30 000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10 000	Media aritmética móvil	
Ozono (O_3)	8 horas	100	Máxima media diaria NE de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM_{10}	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM_{10} (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0.5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H_2O)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder

(1): Metodo equivalente aprobado

(2): El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia el dia siguiente de la publicación del protocolo

Fuente: Decreto Supremo 003-2017 - MINAM

2.3 Definición de términos

1. **Calidad de aire:** Se debe entender como un juicio cualitativo y cuantitativo relacionado directamente con los ecosistemas naturales y el confort humano (Alfaro, 1998).
2. **Contaminación:** Proceso que consiste en la adicción de cualquier sustancia al ambiente en cantidades suficientes que sean capaces de alterar las condiciones naturales (Gándara, 2011).
3. **Contaminante:** Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece, o bien, por arriba de su concentración natural en un medio no contaminado (Carranza, 2004).
4. **Emisión:** Descarga de una sustancia en algún elemento del ambiente (Gándara, 2011).
5. **Fuente Emisora:** Todas aquellas capaces de emitir contaminantes a la atmósfera, pudiendo tener un origen natural o antropogénico. Generalmente se clasifican en fijas, por ejemplo, una industria, tiradero o zona agrícola y móviles, por ejemplo vehículos automotores (Carranza, 2004).
6. **Morbilidad:** Cualquier desviación, subjetiva u objetiva, de un estado de bienestar fisiológico o psicológico. Estudio estadístico de las personas que enferman en un lugar y período determinados (Carranza, 2004).
7. **Parque automotor:** Corresponde a todos los vehículos inscritos (matriculados) que existen en un año, menos las bajas producidas (vehículos sacados de circulación). Se incluyen vehículos de pasajeros, autobuses, camiones y camionetas. También se conoce con los nombres de parque automotriz, parque vehicular y parque de vehículos (CEPAL, n.d.).

III Metodología

3.1 Tipo y nivel de Investigación

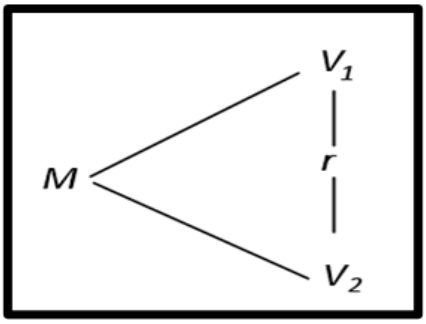
3.1.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es de diseño no experimental y de corte longitudinal, observacional, retrospectivo, según (Hernández., 2014) mencionan que en la investigación no experimental no existe o no hay manipulación intencional porque se da de forma natural.

La investigación es de tipo cuantitativo, las variables son medibles, se usará el análisis estadístico. La investigación es de nivel descriptivo correlacional porque nos permitirá conocer el grado de asociación o relación que existe entre las dos variables de estudio.

3.1.2 Diseño de Investigación

Según (Hernandez, 2014), sostiene que la investigación longitudinal, recaban datos en diferentes puntos del tiempo, para realizar inferencias acerca de la evolución del problema de investigación. La siguiente investigación corresponde a un diseño no experimental y longitudinal. según esquema



Dónde:

M = Muestra

V_1= Variabilidad Meteorológica

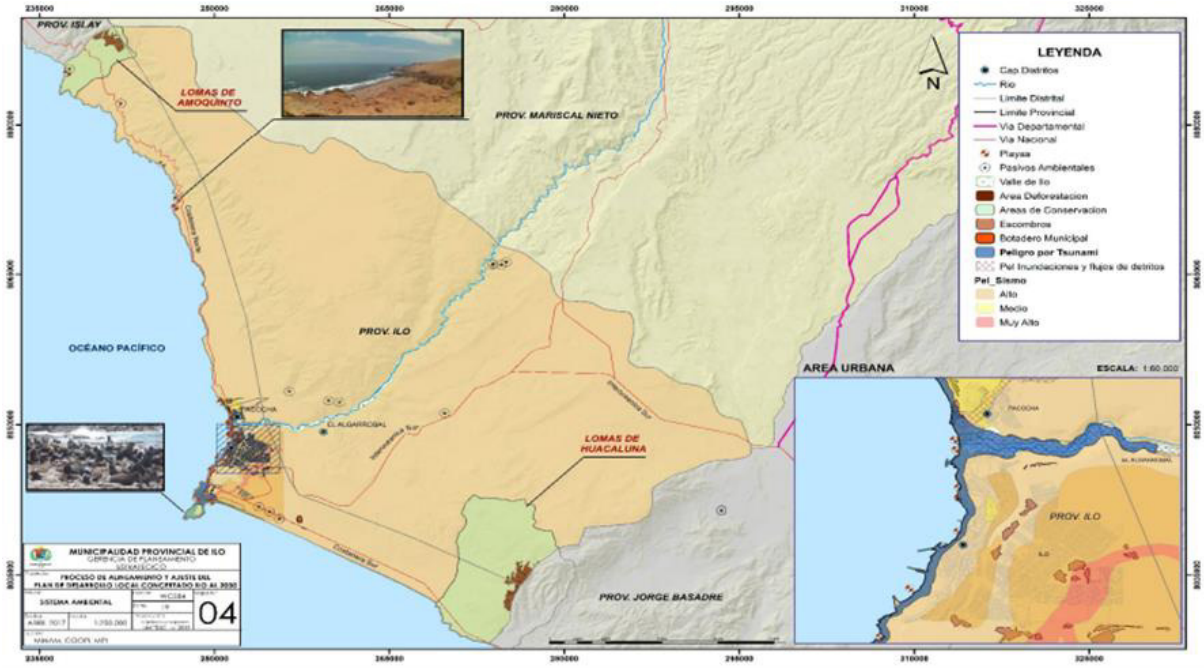
V_2= Material Particulado 2.5 Micras

r= Relación de las variables de estudio

3.2 Ámbito temporal y espacial

El estudio de investigación se realizó en la provincia de Ilo, departamento de Moquegua, zona costera sur del Perú. Actualmente Ilo constituye el área costera. A su vez siendo la segunda provincia con la mayor concentración urbana de Moquegua, cerca del 42,69% de la población regional (INEI, 2017). Esta zona costera está situada en la costa central del Perú en la región de latitud tropical (cerca de 12° S y 71° W) (*Banco Central De Reserva Del Perú Sucursal Arequipa*, 2014). Limita, por el oeste, el Océano Pacífico; al norte, con el departamento de Arequipa; al este, con las provincias de Mariscal Nieto y departamento de Puno; al sur, con el departamento de Tacna. Debido a su ubicación geográfica tiene un clima húmedo, con una temperatura promedio de 20° C durante todo el año.

Figura 8 Mapa de ubicación



Fuente: Municipalidad Provincial de Ilo

3.3 Población y Muestra

3.3.1 Población

La población está constituida por el total del espacio geográfico con un total de habitantes presentes en la provincia de Ilo. La última población conocida fue de 74 649 (Año 2017). El instituto nacional de estadística e informática (INEI).

3.3.2 Muestra

El tipo de muestreo corresponde al no probabilístico por conveniencia según criterio del investigador; (Otzen & Manterola, 2017). Para tal caso se ha tomado como criterio el protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de aire aprobado bajo Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM el cual menciona el número mínimo de estaciones de monitoreo de acuerdo a la población. Para el caso de la provincia de Ilo se tiene 74 649 habitantes por lo que corresponde 1 estación de monitoreo de calidad de aire según el D.S. 010-2019-MINAM y 2 estaciones de monitoreo de calidad de aire para aquellas Zonas de Atención Prioritaria (ZAP), además de una estación meteorológica, según Organización Mundial de la Salud (OMS)

Tabla 8 Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad del aire, según el criterio poblacional en ZAPs

Población (miles de habitantes)	Número mínimo de estaciones de monitoreo
0 – 249	1
250 – 749	2
750 – 999	3
1000 – 1499	4
1500 – 1999	5
2000 – 2749	6
2750 - 3749	7
3750 – 4749	8
4750 – 5999	9
≥ 6000	10

Fuente: Directiva 2008/50/CE de la Comunidad Europea / D.S. 010-2019-MINAM

Tabla 9 Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad de aire, según la densidad poblacional

Población Urbana (Millones)	Parámetros de Monitoreo				
	Partículas	SO_2	NO_2	CO	Meteorológicos
Menos de 1	2	2	1	1	1
1 - 4	5	5	2	2	2
4 – 8	8	8	4	4	2
Más de 8	10	10	5	5	3

Fuente: Organización Mundial de la Salud (OMS)

3.4 Instrumento

- Muestreador de MP10 y MP2.5 en aire Partisol™ 2000i - Analizador Material Particulado
- ClimaVUE50 - Estación Digital Compacta

Tabla 10 Instrumentos modelo y certificación

Equipo	Marca	Modelo	Parámetro	certificación de calibración
Muestreador de MP10 y MP2.5 en aire Partisol™ 2000i	Thermo Scientific	Partisol™ 2000i	composición Química del material particulado con diámetro menor a micras (PM2.5)	Green Group Perú LM-3602022
Muestreador de Material Particulado Grimm	GRIMM	EDM 180	Concentración MP2.5	Green Group Perú LM1692022

sensor de temperatura	BARANI	METEOTEMP RH+T	● Temperatura ● Humedad relativa	Green Group Perú LM-3592022 LM-3602022
Sensor de velocidad y dirección de viento	RM YOUNG	05305L	● Velocidad y dirección del viento.	Green Group Perú LM-3612022

3.5 Procedimientos

Para el trabajo de investigación se procedió a seguir con el protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de aire aprobado por el Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM.

Para el monitoreo de temperatura y Humedad relativa se usó un sensor meteorológico BARANI modelo METEOTEMP RH+T. Para la medición de la velocidad y dirección del viento se usó el RM YOUNG modelo 05305L. Los datos se tomaron cada hora y se registraron automáticamente en Data Loger Campbell scientific CR300 en una hoja Excel.

Para obtener los datos del material particulado del aire (PM2.5) se utilizó el muestreador Partisol™ 2000i. Mediante el método activo se siguieron los siguientes pasos:

- Se inspecciona que el filtro esté en buen estado, sin huecos, roturas e irregularidades, del contrario cambiarlo por otro.
- El filtro de teflón pasa por un proceso desecado durante 24 horas, para obtener el pesaje inicial del filtro.
- Se prepara para el inicio de monitoreo, se coloca el filtro cuidadosamente con una pinza en el portafiltros del equipo por un lapso de 24 horas.
- Luego se retira el filtro del equipo empleando la pinza, y se procede a pesarlo (en balanza analítica de 0.1 mg) para obtener su peso final.
- Para la preparación, extracción y análisis químicos del material particulado se usaron como referencia los métodos EPA I.O 3.1 1999 (Selection, preparation and extraction of filter material), y EPA I.O 3.4 1999 (Determination of metals in ambient particulate matter using Inductively Coupled Plasma “ICP” Spectroscopy.

Para el monitoreo de la concentración de PM2.5 se utilizó el Partisol2000i mediante un método automático, los datos se registraron en una hoja de excel.

3.6 Análisis de datos

Para el análisis de datos meteorológicos en primer lugar, los datos obtenidos y registrados en Data Loger Campbell Scientific CR300, fueron almacenados en una plantilla de Microsoft Excel, ubicando columnas de dd/mm/aa hh:mm para la fecha. Para el análisis estadístico los datos se cargaron al software R studio, como segundo paso se utilizó el software R Proyect, OpenAir Proyect, para el modelamiento y simulación de los contaminantes atmosféricos. La correlación que se ha usado son:

Correlación de Pearson

$0.8 < r < 1$	Correlación positiva muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Correlación positiva alta
$0.4 < r < 0.6$	Correlación positiva moderada
$0.2 < r < 0.4$	Correlación positiva baja
$0.0 < r < 0.2$	Correlación muy baja
0	Correlación nula
$0.0 < r < -0.2$	Correlación negativa muy baja
$-0.2 < r < -0.4$	Correlación negativa baja
$-0.4 < r < -0.6$	Correlación negativa moderada
$-0.6 < r < -0.8$	Correlación negativa alta
$-0.8 < r < -1$	Correlación negativa muy alta

Correlación Rho de Spearman

$0.8 < r < 1$	Correlación positiva muy alta
$0.6 < r < 0.8$	Correlación positiva alta
$0.4 < r < 0.6$	Correlación positiva moderada
$0.2 < r < 0.4$	Correlación positiva baja
$0.0 < r < 0.2$	Correlación muy baja
0	Correlación nula
$0.0 < r < -0.2$	Correlación negativa muy baja
$-0.2 < r < -0.4$	Correlación negativa baja
$-0.4 < r < -0.6$	Correlación negativa moderada
$-0.6 < r < -0.8$	Correlación negativa alta
$-0.8 < r < -1$	Correlación negativa muy alta

IV Resultados y discusiones

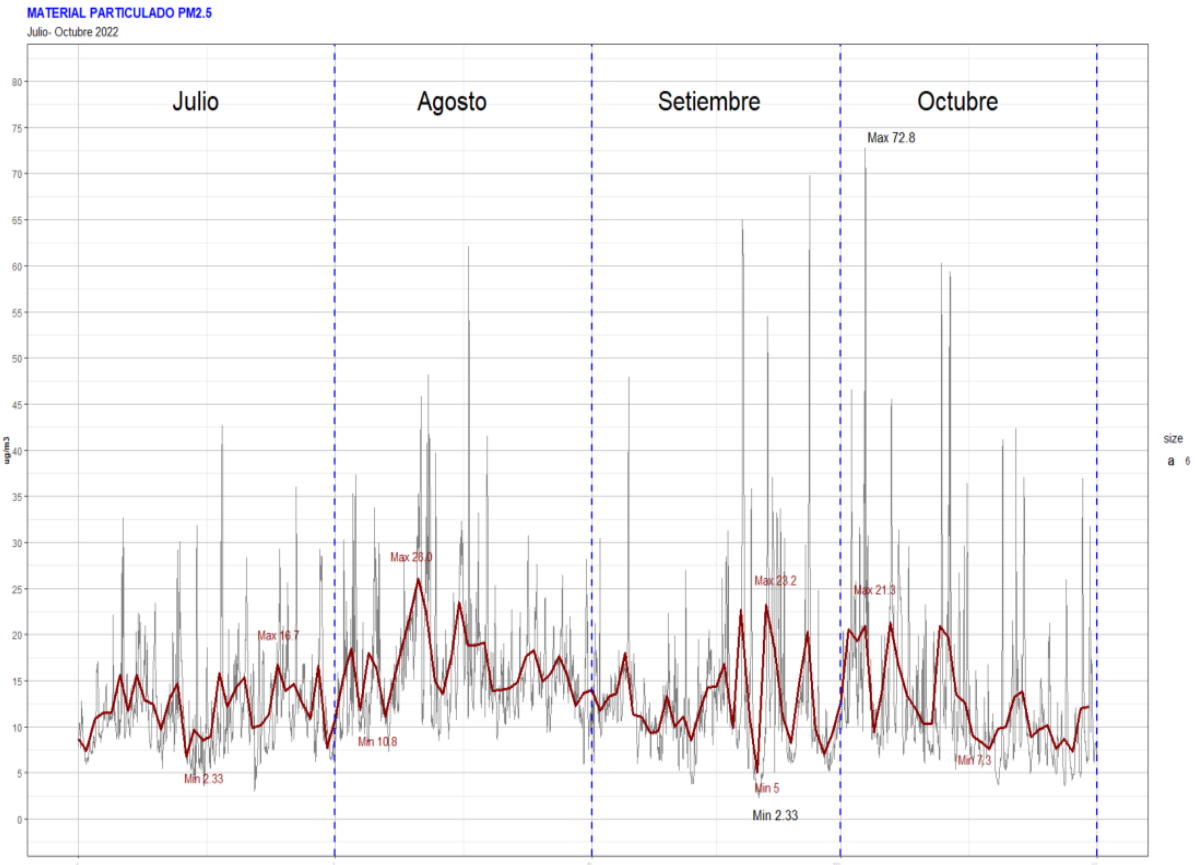
RESULTADOS DEL MATERIAL PARTICULADO PM2.5

Tabla 11 Estadística descriptiva para las concentraciones del PM25 de julio a octubre del 2022

Parámetro	Unidad	Media	Mediana	Desv. Desviación	Mínimo	Máximo
PM_{25}	$\mu g/m^3$	13.5199	11.7000	7.47437	2.33	72.80

En la tabla 11, se puede observar que la concentración del PM2.5 no sobrepasa los valores establecidos en el DS 003-2017-MINAM. Sin embargo, los datos de la tabla nos muestran los datos recolectados durante los cuatro meses donde se obtuvieron valores del material particulado PM2.5 en la provincia de Ilo con una media de 13.5337$\mu g/m^3$, también se obtuvo un valor mínimo de 2.33$\mu g/m^3$ el día 21 de setiembre a horas 04:00 am y un valor máximo de 72.80$\mu g/m^3$ el día 4 de octubre a las 00:00 horas.

Figura 9 Distribución del material particulado PM25 de Julio a octubre del 2022



En la figura 9 se puede observar el comportamiento del material particulado PM2.5 monitoreado de julio a octubre del 2022, la media de los valores diarios se muestra en color plomo, y podemos observar que el valor mínimo es 2.33 y el valor máximo es 72.8. Los valores promedios por día están de color guinda, teniendo valor mínimo 2.33 y valor máximo 26.0.

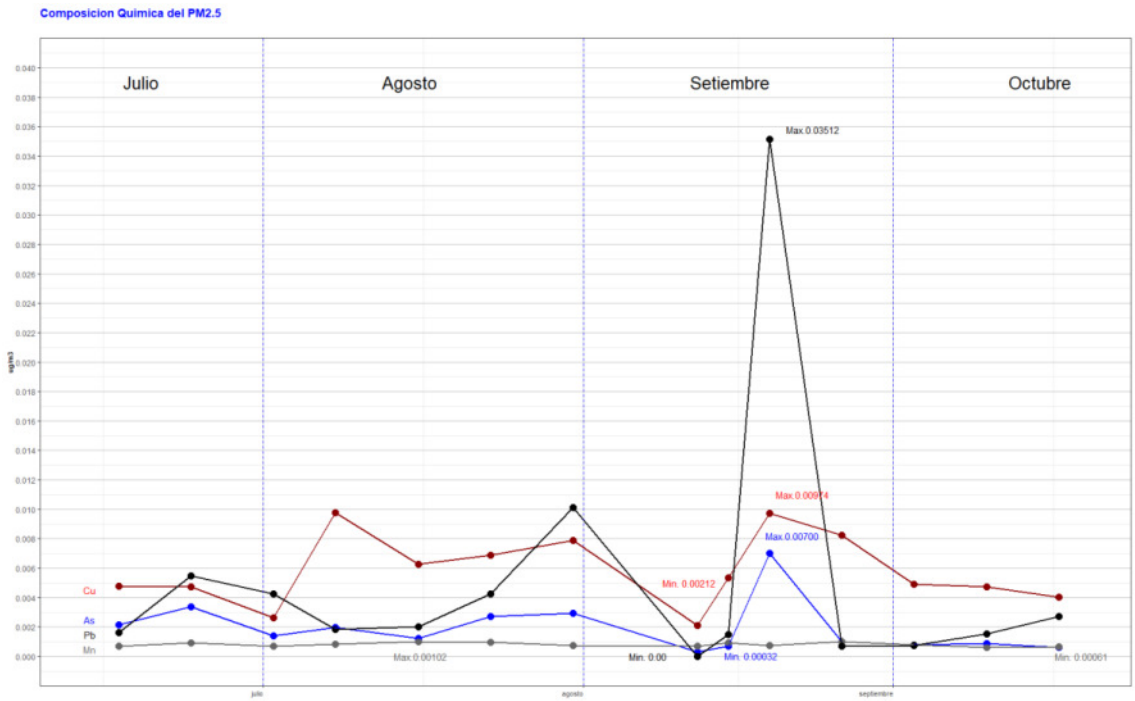
Tabla 12 Composición Química del PM25

	Unidad	Media	Mediana	Desv. Desviación	Mínimo	Máximo
Vanadio	$\mu g/m^3$	.0006713064	.0005328100	.00080741742	.00000000	.00304272
Manganeso	$\mu g/m^3$	.0008094921	.0007702000	.00013733746	.00061162	.00102191
Níquel	$\mu g/m^3$	.0003592036	.0003462800	.00036964479	.00000000	.00124827
Cobre	$\mu g/m^3$	.0058542543	.0051262850	.00238219090	.00212288	.00975092
Zinc	$\mu g/m^3$	.0027388036	.0024898300	.00203702022	.00000000	.00623192
Arsénico	$\mu g/m^3$	.0019314414	.0013031750	.00174258916	.00032456	.00700597
Bario	$\mu g/m^3$	.0006916679	.0007245300	.00063265905	.00000000	.00179565
Plomo	$\mu g/m^3$	.0051363371	.0019305800	.00901590126	.00000000	.03512864

En la tabla 2. se observa la composición del material particulado PM25, el Vanadio tiene valor mínimo de 0.0000$\mu g/m^3$ y un máximo de 0.0030$\mu g/m^3$, con una media de 0.0067$\mu g/m^3$.

El Manganeso tiene un mínimo de 0.00061 $\mu g/m^3$, un máximo de 0.0102 $\mu g/m^3$, y con una media de 0.0080. El Níquel con un mínimo 0.0000 $\mu g/m^3$ y un máximo 0.0012 $\mu g/m^3$ con promedio de 0.0035 $\mu g/m^3$. El cobre tiene un mínimo 0.00212 $\mu g/m^3$ y un máximo 0.097 $\mu g/m^3$ con media de 0.058 $\mu g/m^3$. El zinc tiene un mínimo de 0.0000 $\mu g/m^3$ y un máximo 0.062 $\mu g/m^3$ con una media de 0.0027 $\mu g/m^3$. El arsénico tiene un mínimo 0.0032 $\mu g/m^3$ y un máximo de 0.0070 $\mu g/m^3$ comuna media de 0.0019 $\mu g/m^3$. El bario tiene un mínimo de 0.0000 $\mu g/m^3$ y un máximo de 0.0017 $\mu g/m^3$ con una media de 0.0069 $\mu g/m^3$. El plomo tiene un mínimo de 0.0000 $\mu g/m^3$ y un máximo de 0.3512 $\mu g/m^3$ con una media de 0.0051 $\mu g/m^3$

Figura 10 Distribución de la composición del PM2.5 de Julio a octubre del 2022



En la Figura 10. El manganeso tiene un mínimo de 0.00061 µg/m3 el 10 de octubre y un máximo de 0.0102 µg/m3 el 16 de agosto. El cobre tiene un mínimo 0.00212 µg/m3 el 12 de septiembre y el 8 de agosto con un máximo 0.097 µg/m3. El arsénico tiene un mínimo 0.0032 µg/m3 el 12 de septiembre y un máximo de 0.0070 µg/m3 el 19 de septiembre. El plomo tiene un mínimo de 0.0000 µg/m3 el 12 de septiembre y un máximo de 0.3512 µg/m3 el 19 de septiembre.

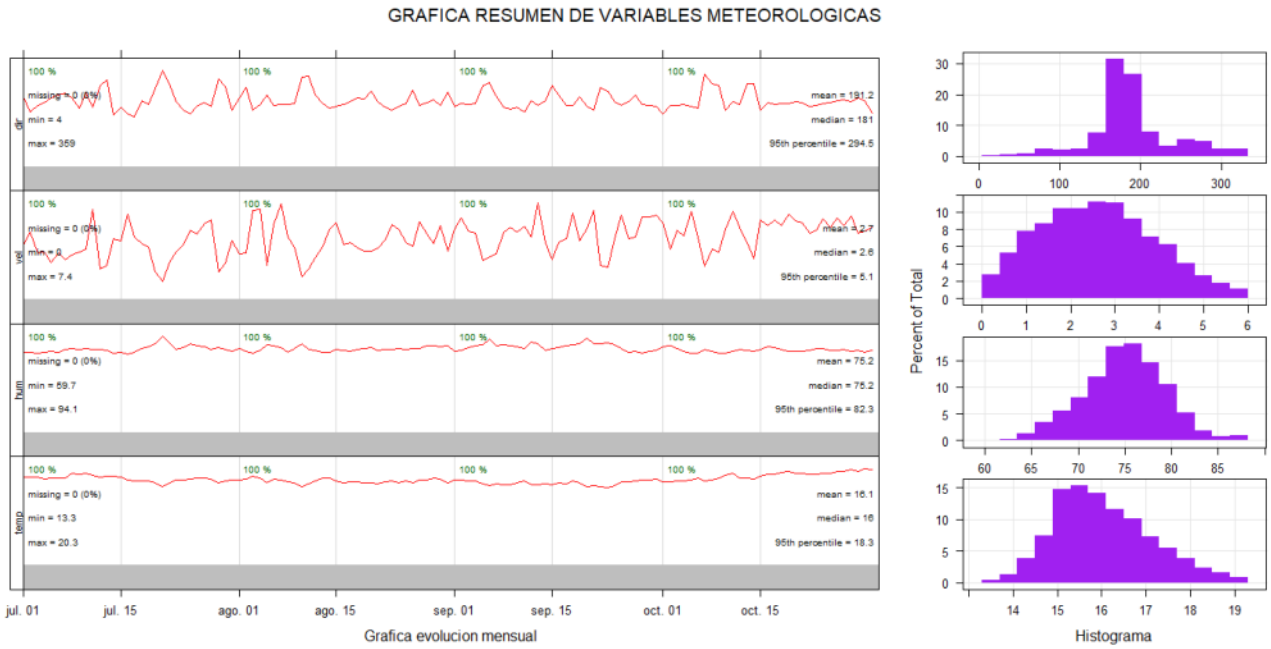
CONCENTRACIONES DE LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

Tabla 13 Estadística descriptiva para las variables meteorológicas de julio a octubre del 2022

	Unidad	Media	Mediana	Desv. Desviación	Mínimo	Máximo
Temperatura ambiental	℃	16.124	16.000	1.1544	13.3	20.3
Humedad relativa	%	75.184	75.200	4.6412	59.7	94.1
Velocidad de Viento	m/s	2.695	2.600	1.3448	.0	7.4
Dirección de Viento	°	191.174(SO)	180.900	52.3850	4.0(NE)	359.0(NO)

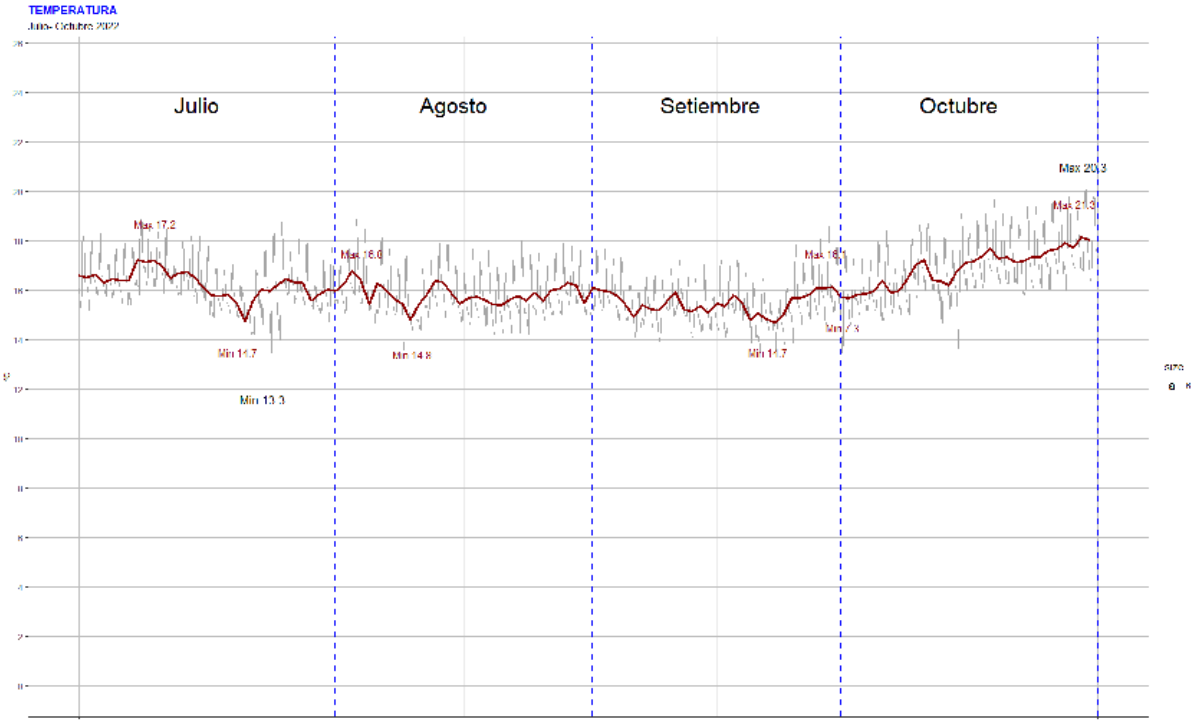
En la tabla 13 se puede observar que la temperatura ambiental tiene un mínimo 13.3 ℃ el día 01 de octubre a las 5:00 am de un máximo de 20.3 ℃ el día 30 de octubre a 13:00 horas con una media de 16.124 ℃. la humedad relativa tiene un mínimo de 59.7 % el 29 de septiembre a las 14:00 horas, un máximo de 94.1 % el día 21 de julio a las 22:00 horas una media de 75.18 %. La velocidad del viento tiene un mínimo de 0.00 m/s el 13 de julio a 04:00 am y un máximo de 7.4 m/s el 15 de octubre a 12:00 pm con una media de 2.695 m/s. La dirección del viento tiene un mínimo de 4.0 °(NE) el día 20 de septiembre a las 2:00 am, con un máximo de 359.0 °(NO) el 7 de julio a las 23:00 horas una media de 191.174 °(SO).

Figura 11 Gráfica de variables meteorológicas de julio a octubre del 2022



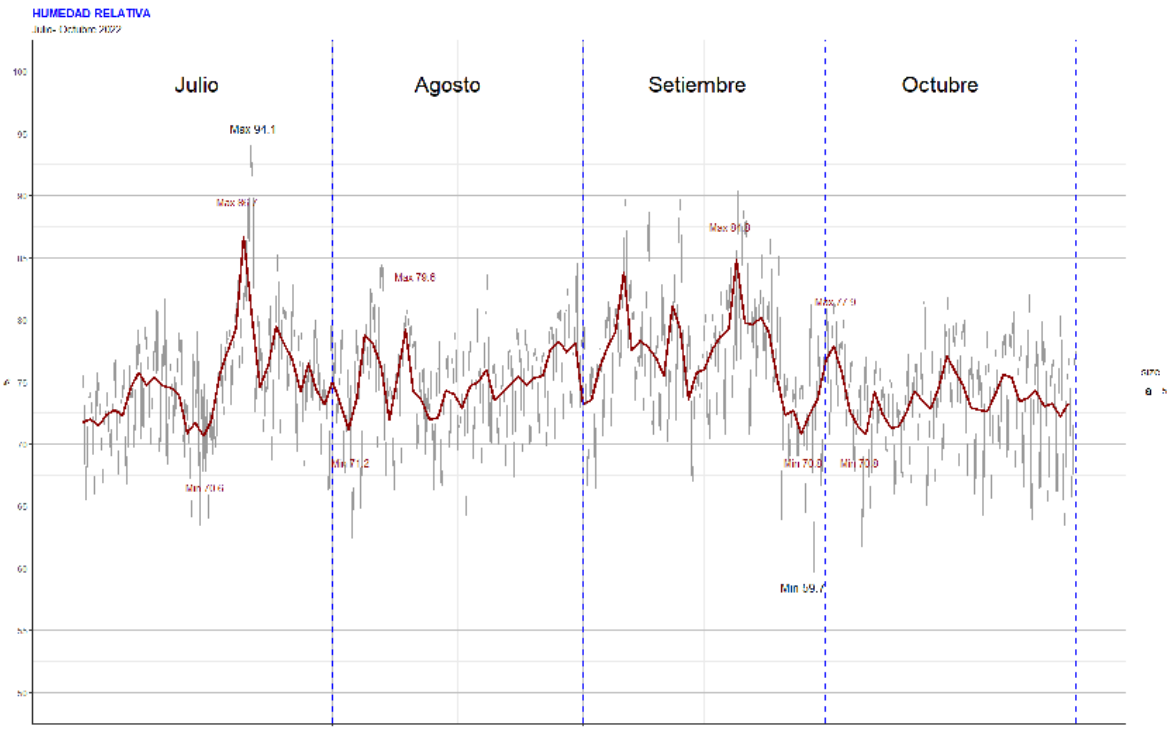
En la figura 11 Se muestran los valores máximos y mínimos del PM2.5 y las variables meteorológicas en los meses de julio a octubre del 2022 también se puede observar los histogramas correspondientes a cada variable. en los siguientes gráficos se hablará de cada variable en específico

Figura 12 Gráfica de variables meteorológicas temperatura de julio a octubre del 2022



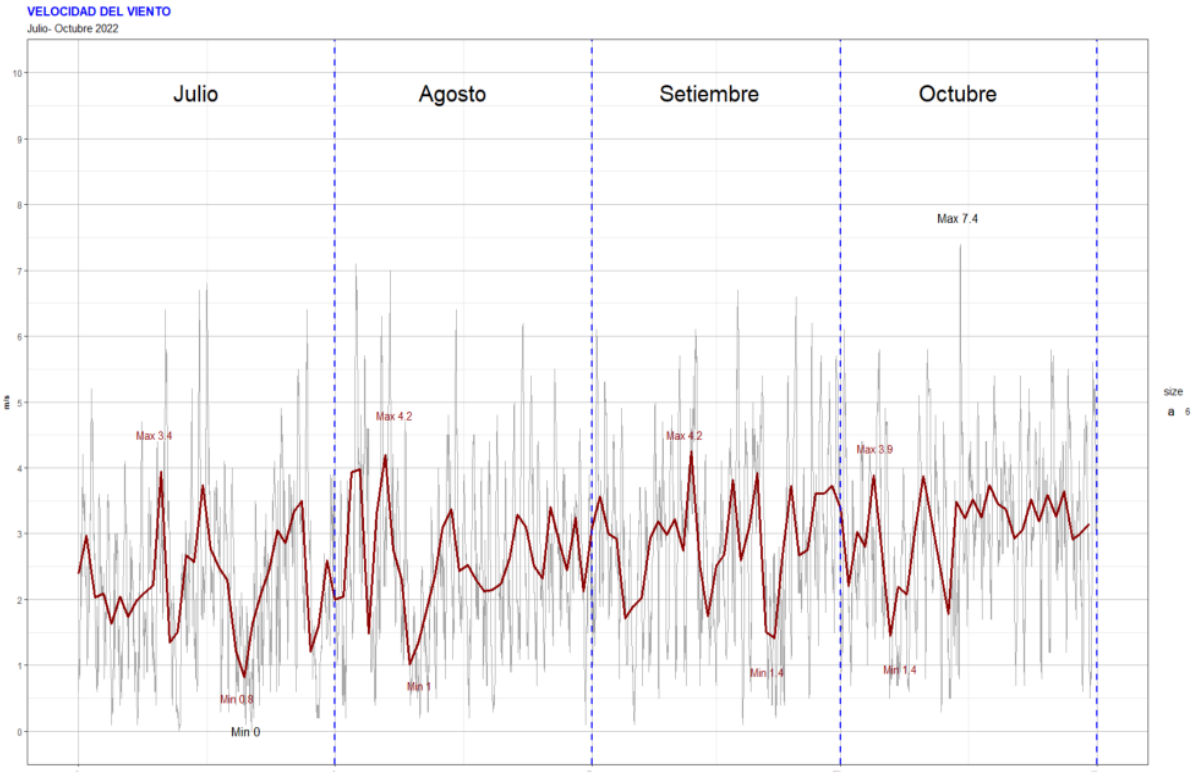
En la figura 12 muestra el comportamiento de las variables meteorológicas temperatura ambiental monitoreado de julio a octubre del 2022, la medida de los valores diarios se muestra en color plomo, tiene un mínimo de 13.3 ℃ un máximo de 20.3 ℃. Los valores promedios por día estan de color guinda siendo mínimo 14.7 y máximo de 21.3.

Figura 13 Gráfica de la variable meteorológica humedad relativa de julio a octubre del 2022



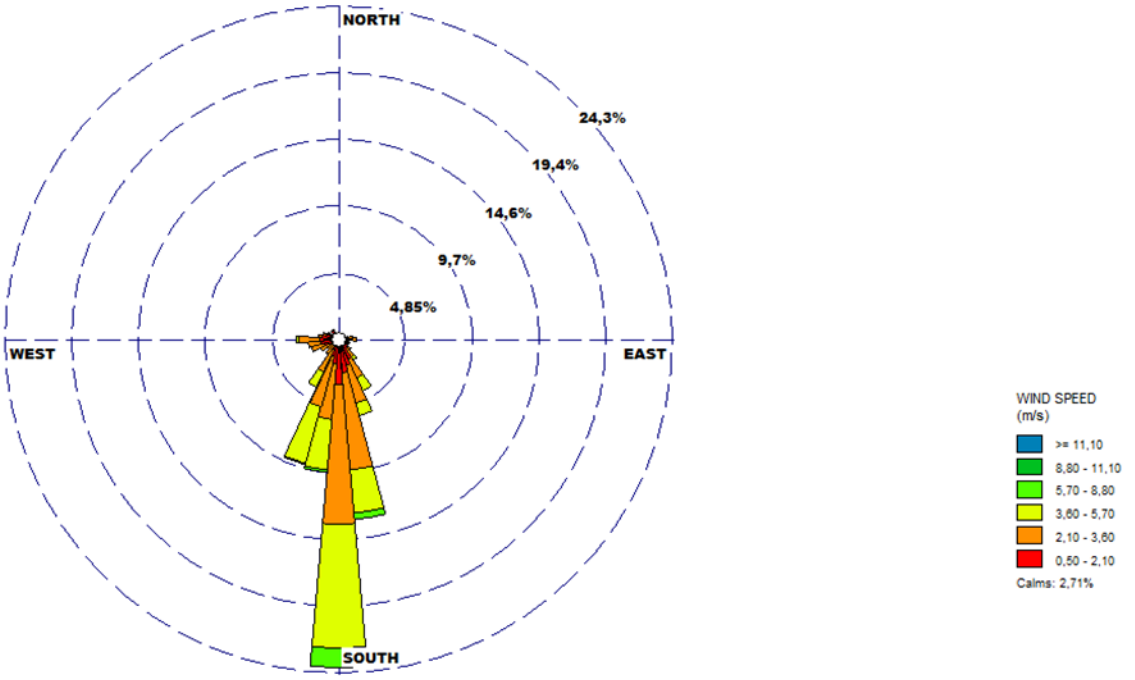
En la figura 13 muestra el comportamiento de las variables meteorológicas humedad relativa monitoreado de julio a octubre del 2022, la medida de los valores diarios se muestra en color plomo, tiene un mínimo de 59.7 % un máximo de 94.1 %. Los valores promedios por día estan de color guinda siendo mínimo 70.6% y máximo de 86.7%.

Figura 14 Gráfica de la variable meteorológica velocidad del viento de julio a octubre del 2022



En la figura 14 muestra el comportamiento de las variables meteorológicas velocidad del viento monitoreado de julio a octubre del 2022, la medida de los valores diarios se muestra en color plomo, tiene mínimo de 0.00 m/s un máximo de 7.4 m/s. Los valores promedios por día estan de color guinda siendo mínimo 0.8 m/s y máximo de 4 m/s.

Figura 15 Gráfica de la variable meteorológica dirección del viento de julio a octubre del 2022



La figura 15 es la rosa de viento monitoreado de julio a octubre, muestra que la predominancia de los vientos fue desde el sur(S) a norte (N) con vientos del tipo calma (0.50 m/s - 2.10 m/s), ventolina (2.10 m/s - 3.6 m/s), brisa muy débil (3.6m/s - 5.70 m/s) y brisa débil (5.70 m/s - 8.80m/s).

Figura 16 Gráfica de la variable meteorológica dirección del viento de julio a octubre del 2022



RESULTADOS DE HIPÓTESIS

Prueba de Normalidad de las dos variables

H_0 = Las variables meteorológicas y PM2.5 siguen una distribución normal

H_1 = Las variables meteorológicas y PM2.5 No siguen una distribución normal

Tabla 14 Pruebas de normalidad para las dos variables

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura ambiental	.077	2952	.000	.972	2952	.000
Humedad relativa	.027	2952	.000	.991	2952	.000
Velocidad de Viento	.048	2952	.000	.985	2952	.000
Dirección de Viento	.157	2952	.000	.919	2952	.000
PM2.5	.134	2952	.000	.803	2952	.000

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la tabla 14 Podemos apreciar que los datos son mayores a 50, se tendrá en consideración la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Podemos observar que la significancia es de 0.000 en las variables meteorológicas y el PM2.5 es de 0.000, ambos resultados son menores que el valor (0.05), a partir de este resultado podemos concluir que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna: Las variables analizadas no siguen una distribución normal, se emplea las pruebas no paramétricas la Rho de Spearman para medir la correlación de las variables.

Prueba de hipótesis específica

correlación entre la temperatura ambiental y PM2.5

H_0 = No existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

Tabla 15 Correlación entre la temperatura ambiental y PM2.5

			Temperatura ambiental	PM2.5
Rho de Spearman	Temperatura ambiental	Coeficiente de correlación	1.000	-.261**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	2952	2952
	PM2.5	Coeficiente de correlación	-.261**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	2952	2952

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

En la tabla 15 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Spearman es igual a -0.261, se evidencia una correlación negativa baja entre la variable temperatura ambiental y PM2.5; lo cual indica que existe una relación inversa, lo que significa que a mayor temperatura menor será la concentración de material particulado PM2.5 así también, el valor de significancia es $0.000 < 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y nos quedamos con la hipótesis alterna (H_a) Existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

correlación entre la Humedad relativa y PM2.5

H_0 = No existe relación significativa entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

Tabla 16 Correlación entre la Humedad relativa y PM2.5

			Humedad relativa	PM2.5
Rho de Spearman	Humedad relativa	Coeficiente de correlación	1.000	.139**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	2952	2952
	PM2.5	Coeficiente de correlación	.139**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	2952	2952

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

En la tabla 16 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Spearman es igual a 0.139, se evidencia una correlación positiva muy baja entre la variable humedad relativa y PM2.5; así también, el valor de significancia es $0.000 < 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y nos quedamos con la hipótesis alterna (H_a) Existe relación significativa entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

correlación entre la Velocidad del viento y PM2.5

H_0 = No existe relación significativa entre la velocidad del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la velocidad del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)

Tabla 17 correlación entre la Velocidad del viento y PM2.5

			Velocidad de Viento	PM2.5
Rho de Spearman	Velocidad del viento	Coeficiente de correlación	1.000	-.454**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	2952	2952
	PM2.5	Coeficiente de correlación	-.454**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	2952	2952

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

En la tabla 17 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Spearman es igual a -0.454, se evidencia una correlación negativa moderada entre la variable velocidad del viento y PM2.5; así también, el valor de significancia es $0.000 < 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y nos quedamos con la hipótesis alterna (H_a) Existe relación significativa entre la velocidad, dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)

correlación entre la dirección del viento y PM2.5

H_0 = No existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)

Tabla 18 Correlación entre la dirección del viento y PM2.5

			Dirección de Viento	PM2.5
Rho de Spearman	Dirección del viento	Coeficiente de correlación	1.000	.219**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	2952	2952
	PM2.5	Coeficiente de correlación	.219**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	2952	2952

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

En la tabla 18 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Spearman es igual a 0.219, se evidencia una correlación positiva baja entre la variable dirección del viento y PM2.5; así también, el valor de significancia es $0.000 < 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y nos quedamos con la hipótesis alterna (H_a) Existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)

Prueba de Normalidad de las dos variables

H_0 = Las variables meteorológicas y PM2.5 siguen una distribución normal

H_1 = Las variables meteorológicas y PM2.5 No siguen una distribución normal

Tabla 19 Pruebas de normalidad para las 14 semanas

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura ambiental	.248	14	.019	.886	14	.071
Humedad relativa	.175	14	.200*	.950	14	.556
Velocidad de Viento	.110	14	.200*	.982	14	.983
Dirección de Viento	.185	14	.200*	.938	14	.390

PM25	.186	14	.200*	.937	14	.382

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la tabla 19 Podemos apreciar que los datos son menores a 50, se tendrá en consideración la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Podemos observar que la significancia para la temperatura ambiental es de 0.071, para la humedad relativa es de 0.556, para la velocidad del viento es de 0.983, para la dirección del viento es de 0.390 y para el PM2.5 es de 0.382 estos valores de significancia son mayores al valor (0.05), podemos concluir que rechazamos la hipótesis alterna y aceptamos la hipótesis nula: Las variables meteorológicas y PM2.5 siguen una distribución normal. Las variables analizadas siguen una distribución normal, se emplea la prueba paramétrica de la correlación de Pearson para medir la correlación de las variables.

Prueba de hipótesis específica

correlación entre la temperatura ambiental y PM2.5

H_0 = No existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

Tabla 20 Correlación entre la temperatura ambiental y PM2.5

		Temperatura ambiental	PM25
Temperatura ambiental	Correlación de Pearson	1	-.400
	Sig. (bilateral)		.157
	N	14	14
PM25	Correlación de Pearson	-.400	1
	Sig. (bilateral)	.157	
	N	14	14

En la tabla 20 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Pearson es igual a -0.400, se evidencia una correlación negativa moderada entre la variable temperatura ambiental y PM2.5; así también, el valor de significancia es $0.157 > 0.05$; por lo tanto, se

rechaza la hipótesis alterna (H_1) y nos quedamos con la hipótesis nula (H_0) No existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

correlación entre la Humedad relativa y PM2.5

H_0 = No existe relación significativa entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

Tabla 21 Correlación entre la Humedad relativa y PM2.5

		Humedad relativa	PM25
Humedad relativa	Correlación de Pearson	1	.053
	Sig. (bilateral)		.857
	N	14	14
PM25	Correlación de Pearson	.053	1
	Sig. (bilateral)	.857	
	N	14	14

En la tabla 21 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Pearson es igual a 0.053, se evidencia una correlación positiva muy baja entre la variable humedad relativa y PM2.5; así también, el valor de significancia es $0.857 > 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna (H_a) y nos quedamos con la hipótesis nula (H_0) No existe relación significativa entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

`correlación entre la Velocidad del viento y PM2.5

H_0 = No existe relación significativa entre la velocidad y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la velocidad y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)

Tabla 22 Correlación entre la Velocidad del viento y PM2.5

		Velocidad de Viento	PM25
Velocidad de Viento	Correlación de Pearson	1	-.237
	Sig. (bilateral)		.414
	N	14	14
PM25	Correlación de Pearson	-.237	1
	Sig. (bilateral)	.414	
	N	14	14

En la tabla 22 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Pearson es igual a -0.237, se evidencia una correlación negativa baja entre la variable velocidad del viento y PM2.5; así también, el valor de significancia es $0.414 > 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna (H_a) y nos quedamos con la hipótesis nula (H_0) No existe relación significativa entre la velocidad, dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

correlación entre la dirección del viento y PM2.5

H_0 = No existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022

H_1 = Existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)

Tabla 23 Correlación entre la dirección del viento y PM2.5

		Dirección de Viento	PM25
Dirección de Viento	Correlación de Pearson	1	-.023
	Sig. (bilateral)		.939
	N	14	14
PM25	Correlación de Pearson	-.023	1
	Sig. (bilateral)	.939	
	N	14	14

En la tabla 23 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Pearson es igual a -0.023, se evidencia una correlación negativa baja entre la variable dirección del viento

y PM2.5; así también, el valor de significancia es $0.939 > 0.05$; por lo tanto, se rechaza la hipótesis alterna (H_a) y nos quedamos con la hipótesis nula (H_0). No existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022.

Tabla 24 Correlación entre las variables meteorológicas- PM2.5 y Composición del PM2.5

		Temperatura ambiental	Humedad relativa	Velocidad de Viento	Dirección de Viento	PM25
Manganeso Mn	Correlación de Pearson	-.480	-.130	-.126	-.123	.427
	Sig. (bilateral)	.083	.658	.668	.675	.127
	N	14	14	14	14	14
Cobre Cu	Correlación de Pearson	-.319	-.187	-.058	-.041	.395
	Sig. (bilateral)	.267	.523	.844	.890	.162
	N	14	14	14	14	14
Arsenico As	Correlación de Pearson	-.201	-.131	-.105	-.026	.100
	Sig. (bilateral)	.490	.656	.721	.929	.734
	N	14	14	14	14	14
Plomo Pb	Correlación de Pearson	-.136	.409	-.101	.182	.476
	Sig. (bilateral)	.642	.146	.730	.533	.085
	N	14	14	14	14	14

En la tabla 24 se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Pearson $= -0.480$, se evidencia una correlación negativa moderada entre la variable Manganeso y Temperatura ambiental, el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.130$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Manganeso y Humedad relativa, , el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.126$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Manganeso y Velocidad del viento, , el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.123$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Manganeso y Dirección del viento, , el coeficiente de correlación de Pearson $= 0.427$, se evidencia una correlación positiva moderada entre la variable Manganeso y PM2.5. Se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Pearson $= -0.319$, se evidencia una correlación negativa baja entre la variable Cobre y Temperatura ambiental, el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.187$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Cobre y Humedad relativa, el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.058$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Cobre y Velocidad del viento, el coeficiente de correlación

de Pearson $= -0.041$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Cobre y Dirección del viento, , el coeficiente de correlación de Pearson $= 0.395$, se evidencia una correlación positiva baja entre la variable Cobre y PM2.5. Se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Pearson $= -0.201$, se evidencia una correlación negativa baja entre la variable Arsenico y Temperatura ambiental, el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.131$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Arsenico y Humedad relativa, el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.105$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Arsenico y Velocidad del viento, el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.026$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Arsenico y Dirección del viento, el coeficiente de correlación de Pearson $= 0.100$, se evidencia una correlación positiva muy baja entre la variable Arsenico y PM2.5. Se evidencia que el valor del coeficiente de correlación de Pearson $= -0.136$, se evidencia una correlación negativa baja entre la variable Plomo y Temperatura ambiental, el coeficiente de correlación de Pearson $= 0.409$, se evidencia una correlación negativa moderada entre la variable Plomo y Humedad relativa, el coeficiente de correlación de Pearson $= -0.101$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Plomo y Velocidad del viento, el coeficiente de correlación de Pearson $= 0.182$, se evidencia una correlación negativa muy baja entre la variable Plomo y Dirección del viento, el coeficiente de correlación de Pearson $= 0.476$, se evidencia una correlación positiva moderada entre la variable Plomo y PM2.5.

DISCUSIÓN

A partir de los resultados encontrados en lo que respecta al primer objetivo específico, identificar el grado de relación que existe entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, encontramos que:

- Para el material particulado PM2.5 en la provincia de Ilo se rechaza la hipótesis alterna (H_1) y nos quedamos con la hipótesis nula (H_0), la cual indica que no existe relación significativa entre la temperatura y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, la correlación Rho de Spearman es negativa lo cual indica que existe una relación inversa, lo que significa que a mayor temperatura menor será la concentración de material particulado PM2.5.

Comparando los resultados obtenidos con Verdesoto (2022) son significativamente similares ya que en nuestro estudio la relación es inversa y en esta investigación la relación PM2.5/PM10 y la estación Carapungo es de 0.41 de material fino anisotrópico, teniendo como resultado que el material particulado PM2.5 y PM10 en el área analizada no depende de factores climáticos. En cuanto a la investigación de Beleño Colegial (2020) podemos mencionar que sus resultados son similares a los nuestros, el estadístico usado es R, muestra que la correlación es negativa con respecto a la temperatura; (es decir, tendrá mayor cantidad de PM2.5 en el aire). Además, se puede evidenciar la relación inversa entre la temperatura y la humedad relativa mencionada anteriormente. En cuanto a la investigación de Rojas (2022) comparado con nuestro resultado, existe influencia directa o indirecta de la variable meteorológica sobre el material particulado PM2.5. Además, la mayor influencia para este caso fue de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento respectivamente sobre el aumento o disminución del PM2.5, el periodo observado fue de un mes y simulados con respecto a la temperatura, humedad relativa y velocidad.

Comparando los resultados de Valeriano, (2021) que ha obtenido una correlación baja positiva entre PM2.5 y Temperatura (R = 0.223; p>0.05); observamos que se diferencia del presente trabajo.

En cuanto al segundo objetivo específico Identificar el grado de relación que existe entre la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, encontramos que:

- Para el material particulado PM2.5 en la provincia de Ilo se rechaza la hipótesis alterna (H_a) y nos quedamos con la hipótesis nula (H_0) No existe relación significativa entre

la humedad relativa y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, la correlación Rho de Spearman es positiva lo cual indica que existe una correlación positiva débil, entre la humedad y el material particulado PM2.5.

Comparando los resultados con los de Sánchez y Bautista, (2019), la relación que existe entre el material particulado PM2.5 y la humedad relativa durante los 3 días que se hizo el monitoreo en la MPSM fue de 0.137 lo cual indica que existe una correlación positiva muy baja, lo cual muestra similitud con los resultados.

Lo mismo sucede con los resultados de Motocanche, (2019) en el que existe correlación favorable entre los valores de PM2.5 con las condiciones meteorológicas de la temperatura ambiental, humedad relativa y velocidad del viento. Con una fuerza de Pearson de (r)= 0,705 puntos indicando que la relación es directa y positiva, y de moderada correlación, el cual muestra similitud con nuestros resultados.

En cuanto a (Sánchez y Bautista, 2019) En cuanto a la relación que existe entre el material particulado PM2.5 y la temperatura durante los 3 días que se hizo el monitoreo en la MPSM fue de -0.190 lo cual indica que existe una correlación negativa muy baja, casi nula, que tiene cierto grado de similitud con los resultados obtenidos

Comparando los resultados de Valeriano, (2021), observamos que se diferencia del presente trabajo ya que ha obtenido correlación mediana negativa entre PM2.5 y Humedad (R = -0.467; p>0.05

En cuanto al tercer objetivo específico Identificar el grado de relación que existe entre la velocidad del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, encontramos que:

- Para el material particulado PM2.5 en la provincia de Ilo, se rechaza la hipótesis alterna (H_a) y nos quedamos con la hipótesis nula (H_0) No existe relación significativa entre la velocidad, dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, la correlación de Rho de Spearman es negativa moderada lo cual indica que existe una relación inversa, lo que significa que a mayor velocidad del viento menor será la concentración de material particulado PM2.5

Comparando los resultados con los de Sánchez y Bautista, (2019) ambas muestran que existe una relación entre el material particulado (PM10 y PM2.5) y las variables

meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad de viento), pero no es tan significativo a excepción del PM10, PM2.5 con la velocidad de viento, con el cual se muestra que existe una correlación inversa, esto quiere decir que a más velocidad de viento menor será la concentración de material particulado y viceversa.

Comparando los resultados de Valeriano, (2021), observamos que se diferencia del presente trabajo ya que ha obtenido una correlación mediana positiva entre PM2.5 y WS (R = 0.413; p>0.05).

En cuanto al cuarto objetivo específico Identificar el grado de relación que existe entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, encontramos que:

- Para el material particulado PM2.5 en la provincia de Ilo, se rechaza la hipótesis alterna (H_a) y nos quedamos con la hipótesis nula (H_0) No existe relación significativa entre la dirección del viento y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú) 2022, la correlación de Pearson es negativa lo cual indica que existe una relación inversa, lo que significa que a mayor dirección del viento menor será la concentración de material particulado PM2.5

Comparando el cuarto objetivo específico con los resultados de Valeriano, (2021), observamos que se diferencia del presente trabajo ya que ha obtenido una correlación baja positiva entre PM2.5 y WD (R = 0.143; p>0.05).

V CONCLUSIÓN

- Se concluye que la concentración del PM2.5 del año 2022 para los meses de julio a octubre, la concentración mínima se registró el día 21 de setiembre a horas 04:00 am con un valor de 2.33$\mu g/m^3$ y la concentración máxima se registró el día 4 de octubre a las 00:00 horas con 72.80$\mu g/m^3$.
- Se concluye que para la variabilidad meteorológica para el año 2022, en los meses de julio a octubre la temperatura mínima se registró el día 01 de octubre a las 5:00 am con 13.3 ℃ y la temperatura máxima se registró el día 30 de octubre a 13:00 horas con 20.3 ℃. Para la humedad relativa mínima se registró el 29 de septiembre a las 14:00 horas con 59.7 %, y la humedad relativa máxima se registró el día 21 de julio a las 22:00 horas con de 94.1 %. La velocidad mínima del viento se registró el 13 de julio a 04:00 am con 0.00 m/s y la velocidad máxima del viento se registró el 15 de octubre a 12:00 pm con 7.4 m/s. La dirección del viento registró predominancia de los vientos fue desde el sur(S) a norte (N) con vientos del tipo calma (0.50 m/s - 2.10 m/s), ventolina (2.10 m/s - 3.6 m/s), brisa muy débil (3.6m/s - 5.70 m/s) y brisa débil (5.70 m/s - 8.80m/s).
- Se concluye que si existe una correlación significativa entre la variabilidad meteorológica y el material particulado PM2.5 considerando los valores horarios de ambas variables. Sin embargo, en la correlación de 14 datos no se evidencia correlación significativa entre las variables.
- Se concluye para el objetivo específico identificar el grado de relación que existe entre la temperatura y material particulado 2.5. Se obtiene que el valor de coeficiente de Spearman fue de -0.261 y el valor del coeficiente de correlación de Pearson fue de -0.4000, se evidencia en ambos una correlación negativa moderada entre la variable temperatura ambiental y PM2.5.
- Se concluye para el objetivo específico identificar el grado de relación que existe entre la humedad relativa y material particulado 2.5. Se obtiene que el valor de coeficiente de Spearman fue de 0.139 y el valor del coeficiente de correlación de Pearson es igual a 0.053, se evidencia una correlación positiva muy baja entre la variable humedad relativa y PM2.5;
- Se concluye para el objetivo específico identificar el grado de relación que existe entre la velocidad del viento y material particulado 2.5. Se obtiene que el valor de coeficiente de Spearman fue de -0.454 con una correlación negativa moderada y el valor del

coeficiente de correlación de Pearson es igual a -0.237, se evidencia una correlación negativa baja entre la variable velocidad del viento y PM2.5.

- Se concluye para el objetivo específico identificar el grado de relación que existe entre la dirección del viento y material particulado 2.5. Se obtiene que el valor de coeficiente de Spearman fue de 0.219 con una correlación positiva baja y el valor del coeficiente de correlación de Pearson es igual a -0.023, se evidencia una correlación negativa moderada entre la variable dirección del viento y PM2.5

VI RECOMENDACIÓN

- Se recomienda realizar estudios de investigación más profundos y con mayores puntos de monitoreo con el fin de identificar las variables meteorológicas que influyen en el material particulado PM2.5 en la provincia de Ilo.
- Se recomienda tener en cuenta que al momento de realizar los monitoreos los equipos deben estar bien calibrados para que no existan datos faltantes o erróneos.
- Se recomienda realizar investigaciones, que abarquen las cuatro estaciones del año, para poder contar con una mayor cantidad de datos que permitan establecer de una manera más confiable el comportamiento de las variables meteorológicas y el material particulado PM2.5.

VII Referencias

Alfaro, M. R. (1998). *Contaminación del aire: emisiones vehiculares, situación actual y alternativas*. Editorial Universidad Estatal a Distancia.

Ali-Taleshi, M. S., Feiznia, S., & Masiol, M. (2022). Seasonal and spatial variations of atmospheric depositions-bound elements over Tehran megacity, Iran: Pollution levels, PMF-based source apportionment and risks assessment. *Urban Climate*, *42*(January), 101113. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101113

Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosfericos y su vigilancia. *Revista Espanola de Salud Publica*, *73*(2), 123–132. https://doi.org/10.1590/s1135-57271999000200003

Araujo, 2016. (2016). *Costos externos de la contaminación del aire en la ciudad de Cajamarca*. 140.

Beleño Montagut, L., Colegial Gutierrez, J. D., & Barrera Pereza, M. L. (2021). Correlación entre el flujo vehicular, el PM2,5 y variables meteorológicas, un estudio de caso al oriente de Bucaramanga (Colombia). *Bistua Revista De La Facultad De Ciencias Basicas*, *18*(2), 15–25. https://doi.org/10.24054/01204211.v2.n2.2020.823

Cárdenas-Mamani, Ú., Kahhat, R., & Vázquez-Rowe, I. (2022). District-level analysis for household-related energy consumption and greenhouse gas emissions: A case study in Lima, Peru. *Sustainable Cities and Society*, *77*(November 2021). https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103572

Carranza, R. (2004). Gestion de la Calidad del Aire Causas , Efectos y Soluciones. *Intituto de Investigación de Ingeniería Industrial UNMSM*, *1*, 119.

Cassee, F. R., Héroux, M. E., Gerlofs-Nijland, M. E., & Kelly, F. J. (2013). Particulate matter

beyond mass: Recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. *Inhalation Toxicology*, *25*(14), 802–812. https://doi.org/10.3109/08958378.2013.850127

CEPAL. (n.d.). *Estadísticas e Indicadores Ambientales - Ficha técnica*.

Cerrón, J. C. (2014). *Manual de evaluación ambiental de proyectos*. Editorial San Marcos.

Conde Williams, A. de la C. (2013). Efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre la embarazada. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiologia*, *51*(2), 226–238.

Córdova-mendoza, P. (2021). *aire en Ica , Perú Introducción*. *33*(1), 138–153.

De la Cruz, M. (2015). Concentracion de contaminantes del aire generado por las fuentes moviles en la ciudad de Huancayo 2012. *Conciencia Ambiental y Trabajo de Campo En Estudiantes de Secundaria de El Mantaro - Jauja*, 1–196. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2010.08.019

Did, U., Para, O. L. A., Ciencia, L. A., & Tecnolog, L. A. (2004). *Meteorología y Climatología Climatología*.

Echeverri, C. (2019). *Contaminación atmosférica* (Primera Ed). Ediciones de la U.

Elsom, D. (1990). La contaminación ut- mosférica, Madrid: Cátedra. *Pollution, Atmospheric Environ-, Global*, *1990*.

España. (1972). Ley 38/1972, de 23 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico. *Boletín Oficial Del Estado*, *26 de diciembre de 1972 (309*, 23031–23034.

European Commission. (2004). Second Position Paper on Particulate Matter. *CAFE Working Group on Particulate Matter*, 231.

Fajersztajn, L., Veras, M., Barrozo, L. V., & Saldiva, P. (2013). Air pollution: A potentially

modifiable risk factor for lung cancer. *Nature Reviews Cancer*, *13*(9), 674–678. https://doi.org/10.1038/nrc3572

Franzin, B. T., Guizellini, F. C., de Babos, D. V., Hojo, O., Pastre, I. A., Marchi, M. R. R., Fertonani, F. L., & Oliveira, C. M. R. R. (2020). Characterization of atmospheric aerosol (PM10 and PM2.5) from a medium sized city in São Paulo state, Brazil. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *89*, 238–251. https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.09.014

Gándara, A. S. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable*. Instituto Nacional de Ecología.

García-Franco, J. L. (2020). Air quality in Mexico city during the fuel shortage of January 2019. *Atmospheric Environment*, *222*(November 2019), 117131. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117131

Ha, Y., Kim, J., Lee, S., Cho, K., Shin, J., Kang, G., Song, M., Lee, J. Y., Jang, K. S., Lee, K., Ahn, J., Wu, Z., Matsuki, A., Tang, N., Sadanaga, Y., Natsagdorj, A., & Kim, C. (2023). Spatiotemporal differences on the real-time physicochemical characteristics of PM2.5 particles in four Northeast Asian countries during Winter and Summer 2020–2021. *Atmospheric Research*, *283*(December 2022), 106581. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106581

Hayas, A. (2004). Meteorología y contaminación atmosférica. Peculiaridades de la zona urbana de Jaén. *Boletín Del Instituto de Estudios Giennenses*, *143*, 191–200. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1202715.pdf

Hilario, N. (2017). Emisiones Contaminantes De Vehiculos Del Distrito De Huancayo. *Universidad Nacional Del Centro de Perú*, 165.

Huang, Y., Guo, B., Sun, H., Liu, H., & Chen, S. X. (2021). Relative importance of

meteorological variables on air quality and role of boundary layer height. *Atmospheric Environment*, *267*(September), 118737. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118737

INECC. (2011). Qué son, cómo son y cómo se originan las partículas. *Guía Metodológica Para La Estimación de Emisiones de PM2.5*, *x*, 13–32.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change. In *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*. https://doi.org/10.1017/cbo9781107415416

Jalava, P. I., Wang, Q., Kuuspalo, K., Ruusunen, J., Hao, L., Fang, D., Ruuskanen, A., Sippula, O., Happo, M. S., Uski, O., Kasurinen, S., Torvela, T., Koponen, H., Komppula, M., Gu, C., & Jokiniemi, J. (2015). *Medio ambiente atmosférico Variación diurna y nocturna de la composición química y de las respuestas toxicológicas de muestras de PM urbanas segregadas por tamaño en una situación de alta contaminación atmosférica*. *120*.

Jeong, C. H., Yousif, M., & Evans, G. J. (2022). Impact of the COVID-19 lockdown on the chemical composition and sources of urban PM2.5. *Environmental Pollution*, *292*(PB), 118417. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118417

Jorquera, H., & Barraza, F. (2013). Source apportionment of PM10 and PM2.5 in a desert region in northern Chile. *Science of the Total Environment*, *444*, 327–335. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.007

JOSÉ, P. (2017). *Determinación Del Material Particulado (Pm10 Y Pm2.5) Y Metales En Laconstrucción De La Carretera Dv. Papujune Camino Principal Tramo Ii En La Ciudad De Mariscal Nieto Moquegua*. 15–19.

Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne

particulate matter. *Environment International*, *74*, 136–143. https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005

Koponen, H., Lehtinen, K. E. J., Komppula, M., Gu, C., Jokiniemi, J., & Hirvonen, M. (2015). *Day and night variation in chemical composition and toxicological responses of size segregated urban air PM samples in a high air pollution situation*. *120*. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.089

Li, J., Li, J., Wang, G., Ho, K. F., Han, J., Dai, W., Wu, C., Cao, C., & Liu, L. (2022). In-vitro oxidative potential and inflammatory response of ambient PM2.5 in a rural region of Northwest China: Association with chemical compositions and source contribution. *Environmental Research*, *205*, 112466. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112466

Luo, L., Bai, X., Liu, S., Wu, B., Liu, W., Lv, Y., Guo, Z., Lin, S., Zhao, S., Hao, Y., Hao, J., Zhang, K., Zheng, A., & Tian, H. (2022). Fine particulate matter (PM2.5/PM1.0) in Beijing, China: Variations and chemical compositions as well as sources. *Journal of Environmental Sciences*, *121*(xxxx), 187–198. https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.12.014

Manchanda, C., Kumar, M., Singh, V., Faisal, M., Hazarika, N., Shukla, A., Lalchandani, V., Goel, V., Thamban, N., Ganguly, D., & Tripathi, S. N. (2021). Variation in chemical composition and sources of PM2.5 during the COVID-19 lockdown in Delhi. *Environment International*, *153*(December 2020), 106541. https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106541

Miguel, B. F. (2021). Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. *Google Academico*, 1–71. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50737/Cusma_GM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio del Medio Ambiente. (2016). Guía de calidad del aire y educación ambiental. *Ministerio Del Medio Ambiente*, 1–103. https://mma.gob.cl/wp-

content/uploads/2018/08/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire-003.pdf

Miranda Casapia, J. L. S., Merma Aruhuanca, L., & Herrera Rejas, M. (2019). Evaluacion De La Concentracion De Polvo Atmosferico Sedimentable Y Material Particulado (Pm2.5, Pm10) Para La Gestion De La Calidad Del Aire 2017, En La Ciudad De Tacna. *Ingeniería Investiga*, *1*(1), 124–138. https://doi.org/10.47796/ing.v1i1.128

Montocache Ayala, D. R. (2019). *Para optar: título profesional de ingeniero ambiental*. 108. http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/970/1/Motocanche-Ayala-Diego.pdf

Olson, E., Michalski, G., Welp, L., Larrea Valdivia, A. E., Reyes Larico, J., Salcedo Peña, J., Fang, H., Magara Gomez, K., & Li, J. (2021). Mineral dust and fossil fuel combustion dominate sources of aerosol sulfate in urban Peru identified by sulfur stable isotopes and water-soluble ions. *Atmospheric Environment*, *260*. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118482

Pacsi Valdivia, S. A. (2016). Analisis Temporal Y Espacial De La Calidad Del Aire Determinado Por Material Particulado Pm10 Y Pm2,5 En Lima Metropolitana. *Anales Científicos*, *77*(2), 273. https://doi.org/10.21704/ac.v77i2.699

Pacsi Valdivia, S. A., & Murriel Gonzales, F. A. (2018). Evaluación espaciotemporal del material particulado PM2,5 y su relación con las variables meteorológicas en la Universidad Nacional Agraria La Molina. *Anales Científicos*, *79*(2), 334. https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.992

Pey, J., Alastuey, A., Querol, X., Pérez, N., & Cusack, M. (2010). A simplified approach to the indirect evaluation of the chemical composition of atmospheric aerosols from PM mass concentrations. *Atmospheric Environment*, *44*(39), 5112–5121. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.009

Pini, F., Piras, G., Astiaso, D., & Di, P. (2021). *Impacto de los diferentes flejos de los vehículos en la contaminación por PM10 : Comparación entre las diez ciudades metropolitanas italianas más pobladas para el año 2018*. *773*.

Prieto-Parra, L., Yohannessen, K., Brea, C., Vidal, D., Ubilla, C. A., & Ruiz-Rudolph, P. (2017). Air pollution, PM2.5composition, source factors, and respiratory symptoms in asthmatic and nonasthmatic children in Santiago, Chile. *Environment International*, *101*, 190–200. https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.021

Puigcerver, M., & Dolors Carrascal, M. (2008). El Medio Atmosférico: Meteorología Y Contaminación. *El Medio Atmosférico: Meteorología y Contaminación*, 248. http://www.publicacions.ub.edu/refs/indices/07022.pdf

Ramirez, F., Palominos, P., Camargo, M., & Grimaldi, D. (2021). A new methodology to support smartness at the district level of metropolitan areas in emerging economies: The case of Santiago de Chile. *Sustainable Cities and Society*, *67*(December 2020), 102713. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102713

Sánchez Paico, C. L., & Bautista Monsalve, M. Y. (2019). *Evaluación de la calidad del aire (PM10 y PM2.5) en relación a los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad de viento) en el sector Cercado- Tarapoto, 2018*. 1–93.

Sarochar, H. E. (2009). Introducción a la Meteorología General. *Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas*, 1–25. http://extension.fcaglp.unlp.edu.ar/content/obs/descargas/Introduccion_a_la_Meteorologia_I.pdf

Segovia-Hernández, J. G., Hernández, S., Cossío-Vargas, E., & Sánchez-Ramírez, E. (2022). Tackling sustainability challenges in Latin America and Caribbean from the chemical engineering perspective: A literature review in the last 25 years. *Chemical Engineering*

Research and Design, *188*, 483–527. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.10.012

Trusz, A., Ghazal, H., & Piekarska, K. (2020). Seasonal variability of chemical composition and mutagenic effect of organic PM2.5 pollutants collected in the urban area of Wrocław (Poland). *Science of the Total Environment*, *733*, 138911. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138911

United States Environmental Protetion Agency (USEPA). (2009). *Integrated Science Assessment for Particulate Matter*. *December 2009*, 61.

Valeriano, J. A. (2021). *Relación de las variables meteorológicas en la dispersión espacio temporal de los contaminantes atmosféricos (PM2.5, PM10, SO2, NO2, O3) del distrito de Pacocha, Moquegua, 2019 - 2020*. 1–152. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11366/2/IV_FIN_107_TE_Valeriano_Zapana_2021.pdf

Vallero, D. A. (2007). Fundamentals of Air Pollution, Fourth Edition. In *Fundamentals of Air Pollution, Fourth Edition*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373615-4.X5000-6

Verdezoto Mendoza, F. P., Muyulema Allaica, J. C., Cuba Torre, H. R., & Serrano Castro, A. K. (2022). Evaluación temporal del material particulado PM2.5 y PM10 en el Distrito Metropolitano de Quito – Ecuador. *ConcienciaDigital*, *5*(4.1), 21–44. https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i4.1.2393

Vu, B. N., Tapia, V., Ebelt, S., Gonzales, G. F., Liu, Y., & Steenland, K. (2021). The association between asthma emergency department visits and satellite-derived PM2.5 in Lima, Peru. *Environmental Research*, *199*(May), 111226. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111226

Wang, M., Tian, P., Wang, L., Yu, Z., Du, T., Chen, Q., Guan, X., Guo, Y., Zhang, M., Tang,

C., Chang, Y., Shi, J., Liang, J., Cao, X., & Zhang, L. (2021). High contribution of vehicle emissions to fine particulate pollutions in Lanzhou, Northwest China based on high-resolution online data source appointment. *Science of the Total Environment*, *798*, 149310. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149310

VIII Anexos

PANEL FOTOGRAFICO

1. UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Figura 17 Caseta de Monitoreo de la OEFA



2. MEDICION DE COMPOSICIÒN QUIMICA

Figura 18 Equipo Partisol 2000i





Figura 19 PORTA FILTRO DE EQUIPO PARTISOL 2000i

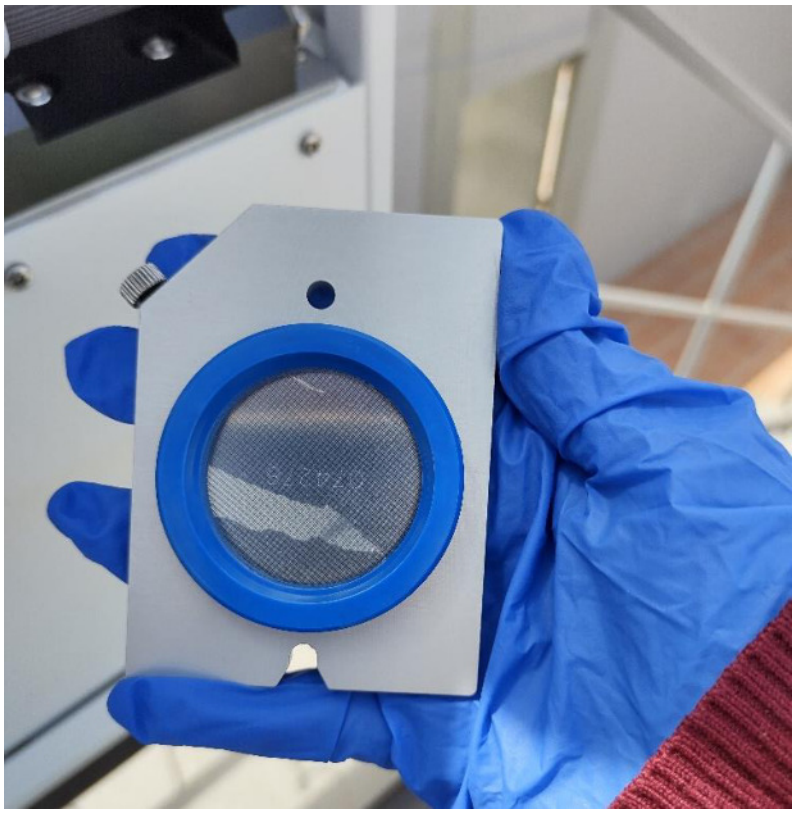
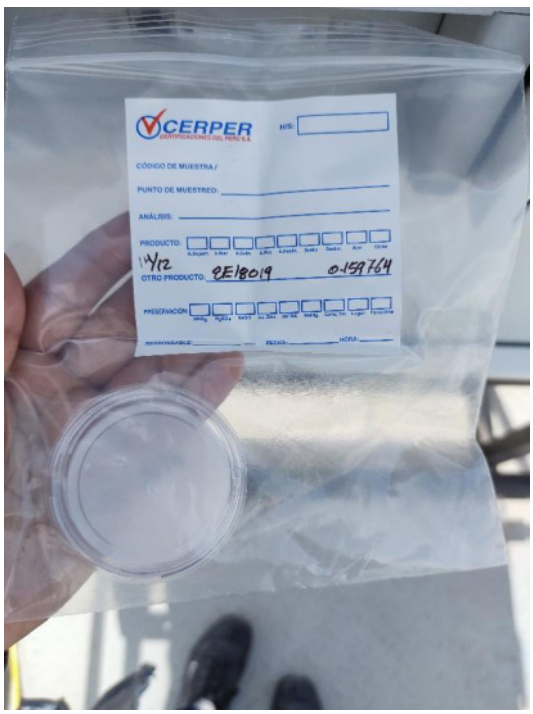


Figura 20 Filtro de teflón pre analizado por el laboratorio



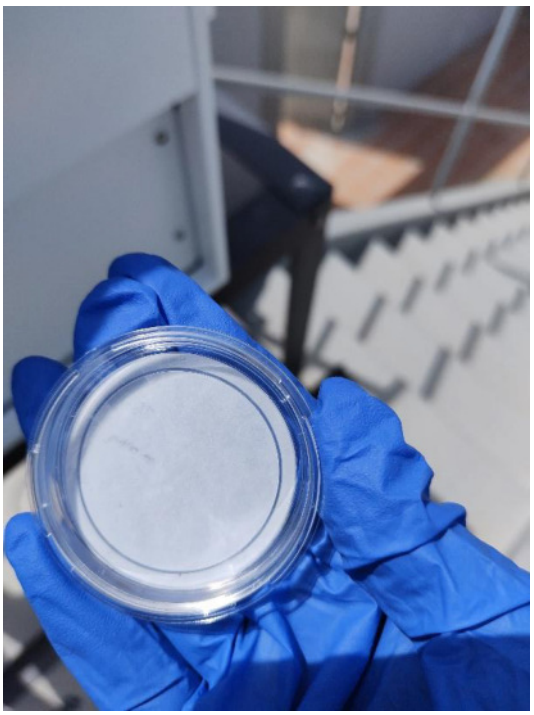


Figura 21 Filtro colocado del filtro en la porta filtro

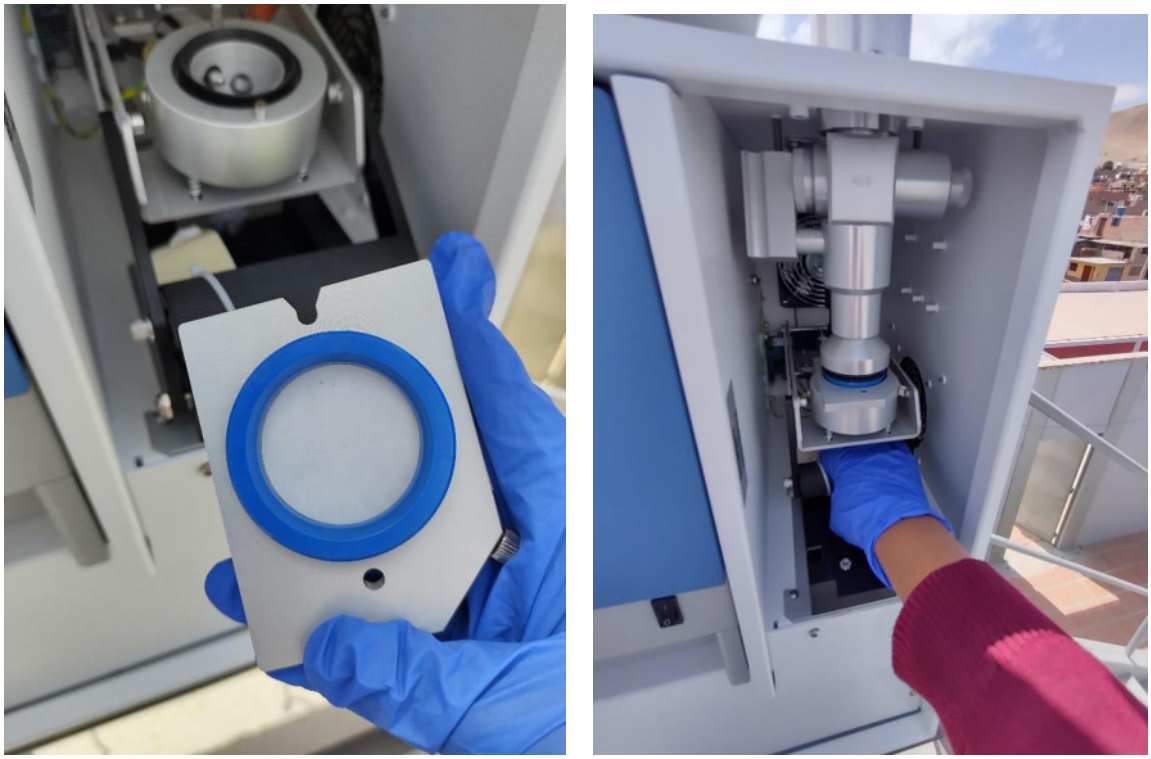


Figura 22 Retirado del filtro de teflón con muestra de material particulado 2.5 micras

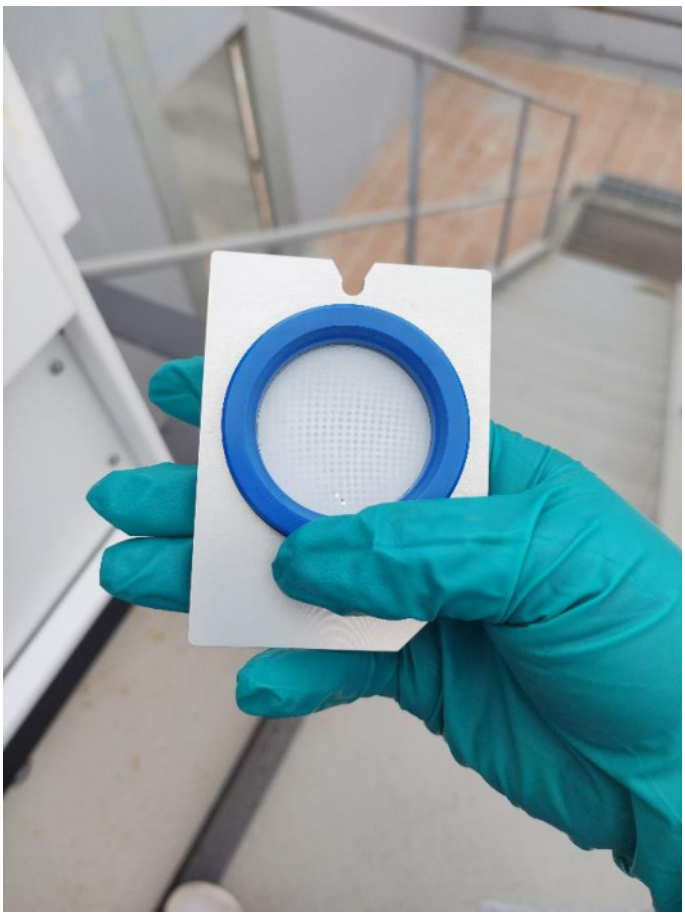


Figura 23 Filtros de teflón con muestras de material particulado 2.5 micras



3. ANALISIS DE FILTRO EN LABORATORIO

Figura 24 Equipo ICP – MS para medición de metales



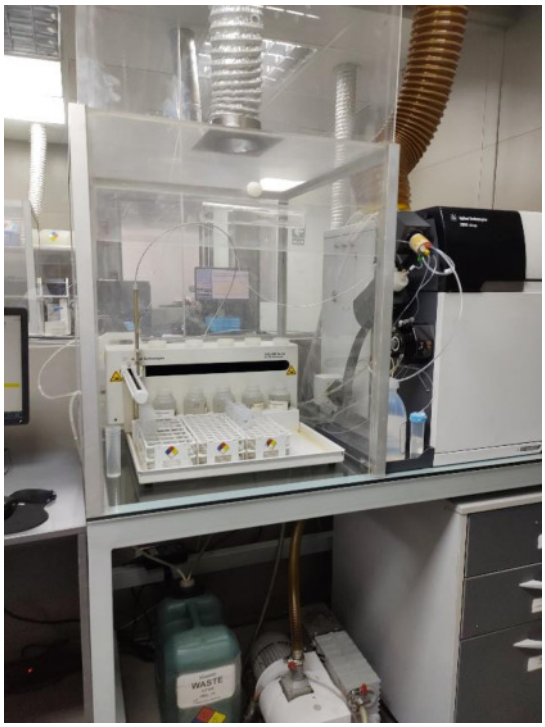
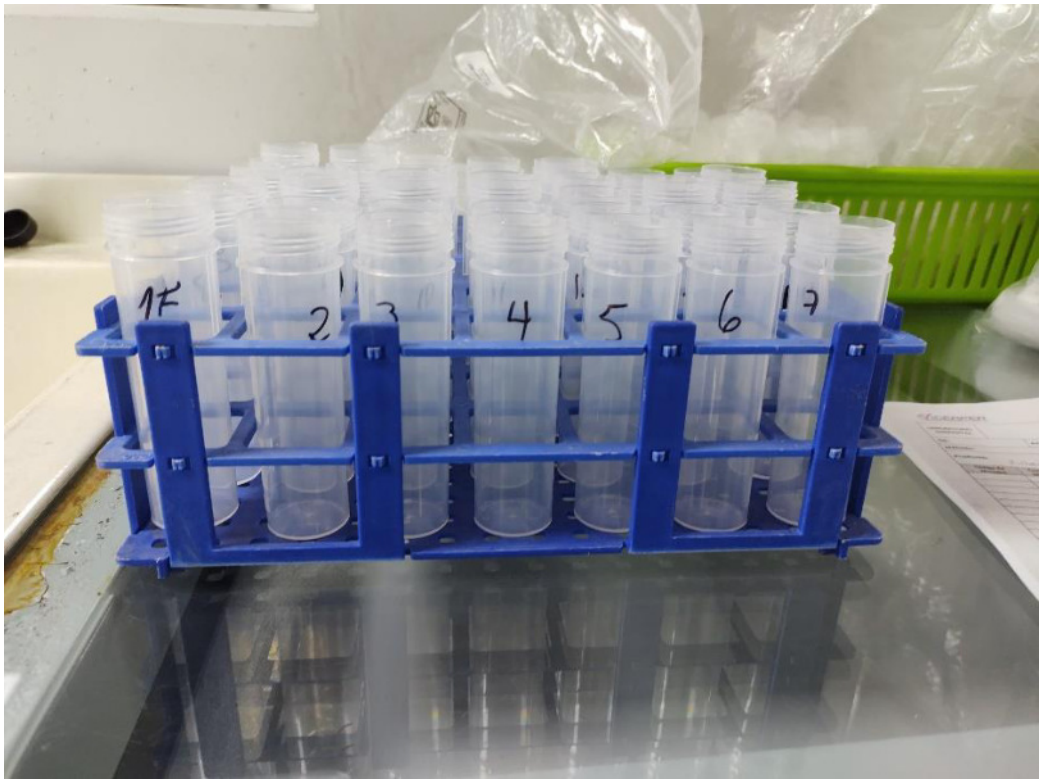


Figura 25 Preparación de tubos de ensayo rotulados



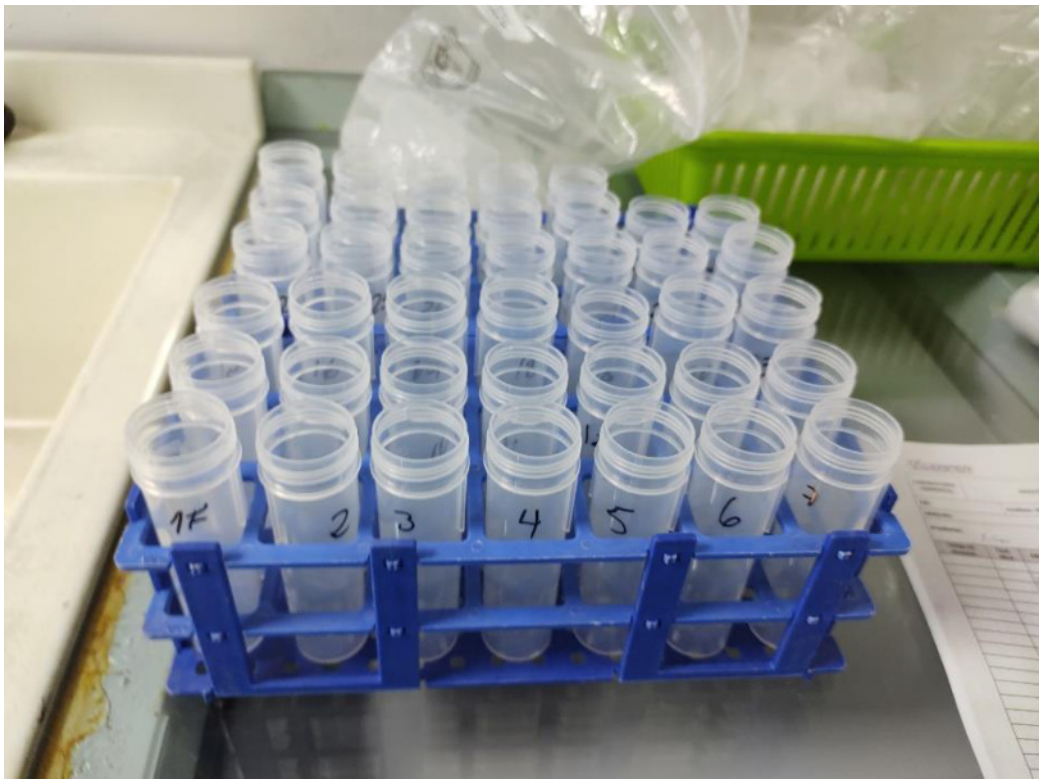


Figura 26 Preparación de los filtros para el análisis de metales



Figura 27 Colocado de agua Tipo I a los filtros de teflón con muestra de material particulado de 2.5 micras

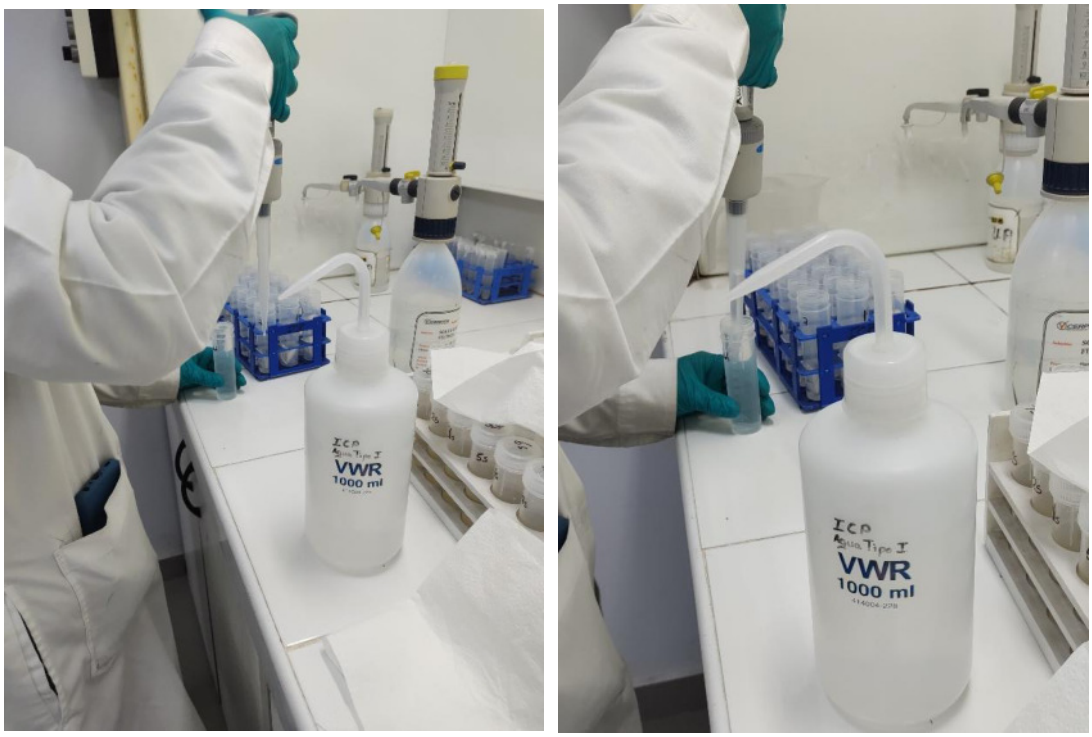


Figura 28 Colocado de solución extractiva a los filtros de teflón con muestra de material particulado de 2.5 micras

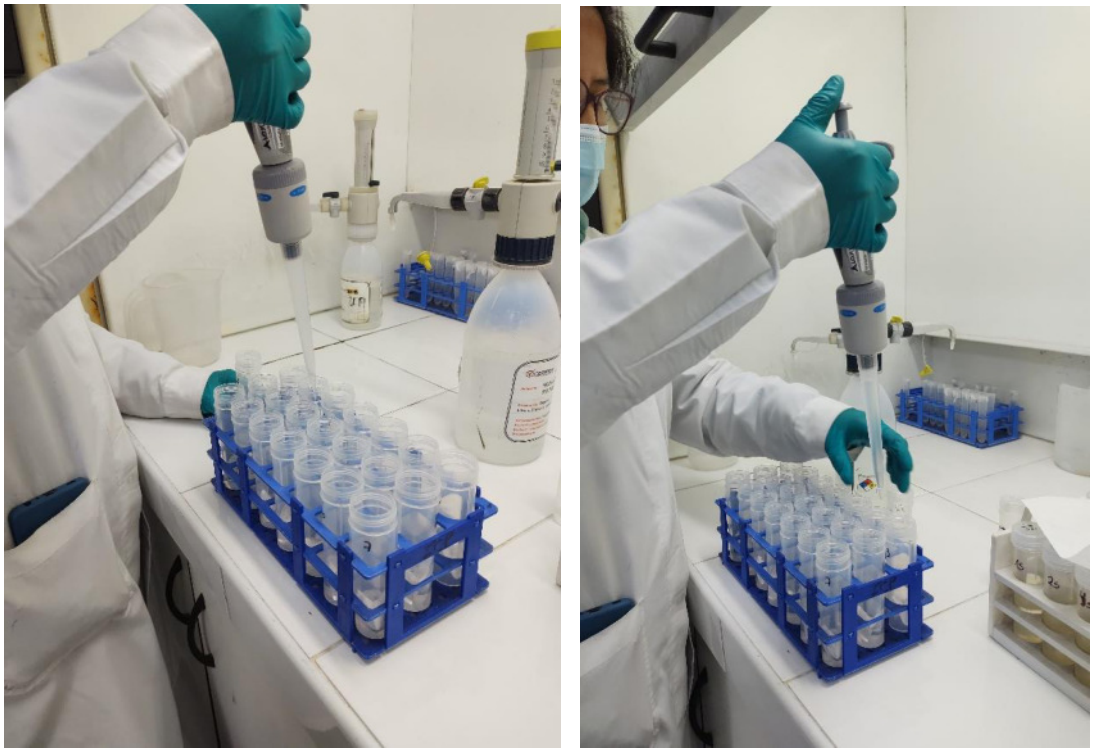


Figura 29 Tubo de ensayo con filtro y solución extractora

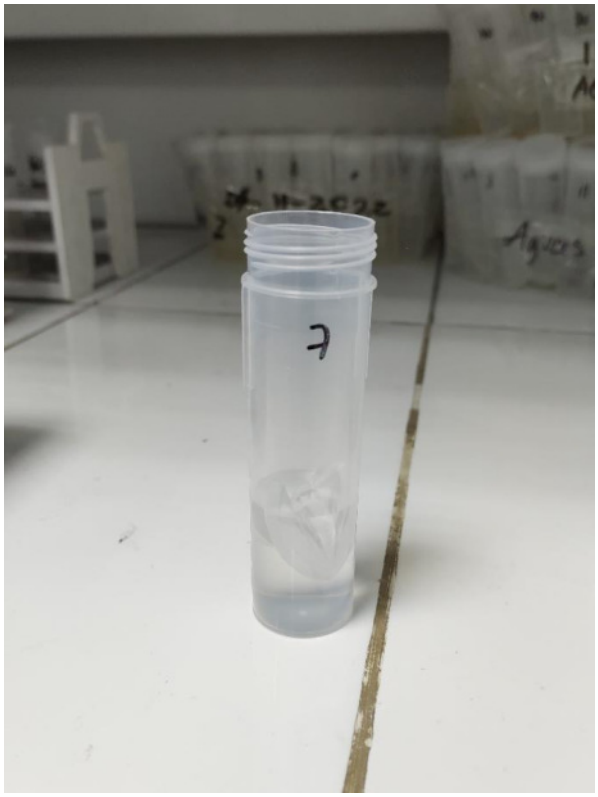


Figura 30 Colocado de filtros en el microondas para el proceso de digestión

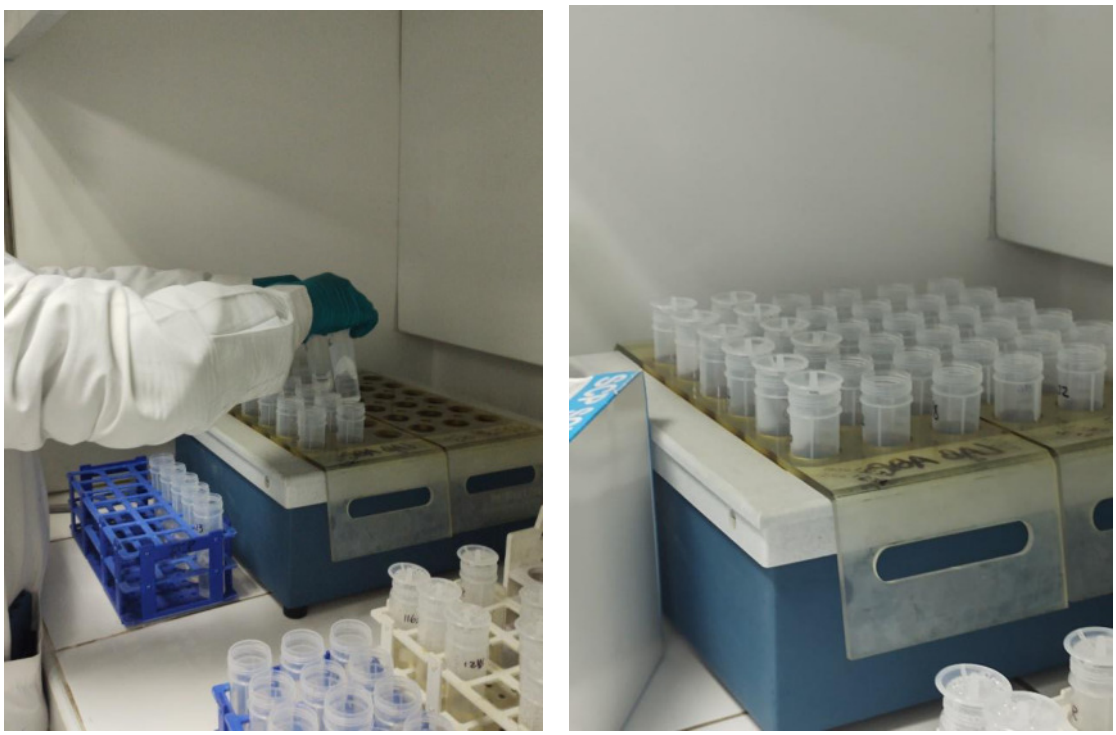


Figura 31 Enfriado de muestras con la solución extractiva

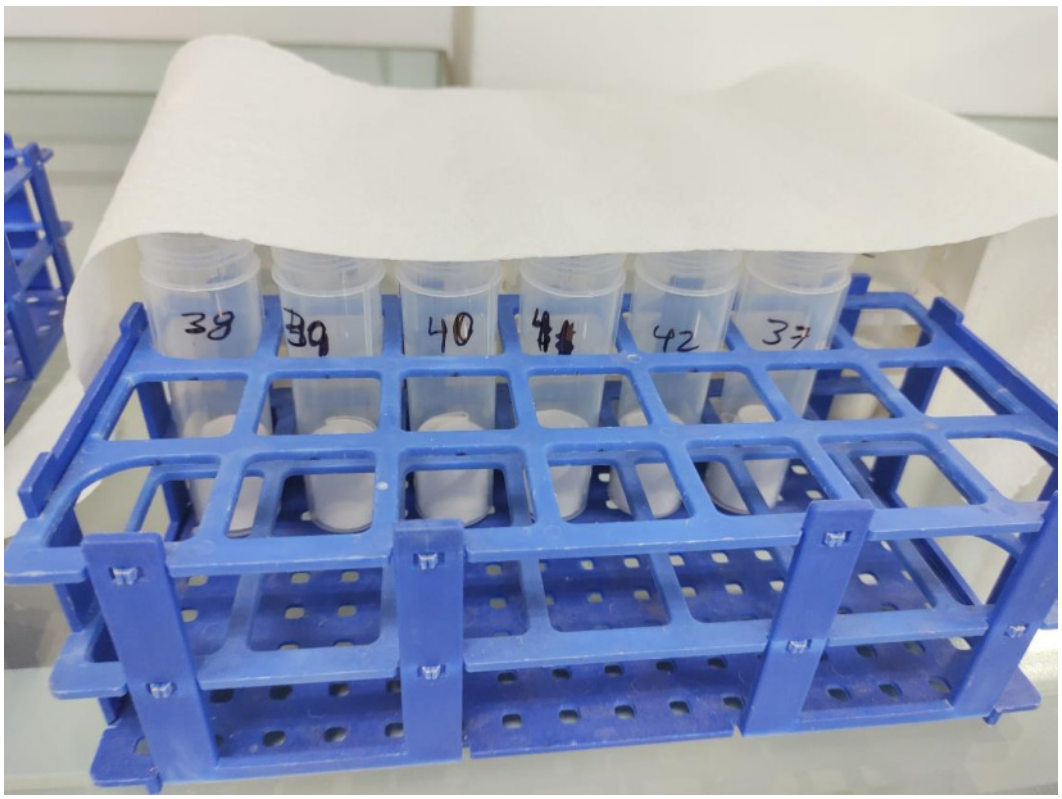


Figura 32 Filtro de 1.5mm

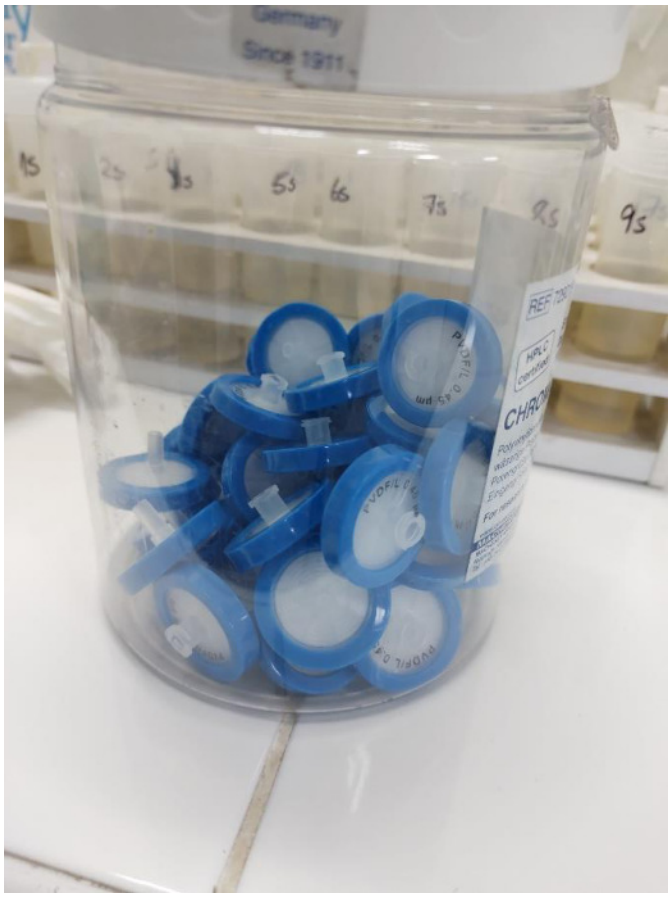


Figura 33 Retiro de filtro de teflón y partículas de mayor tamaño con el filtro de 1.5mm





Figura 34 Preparación de muestras para el proceso de digestión en el ICP – MS

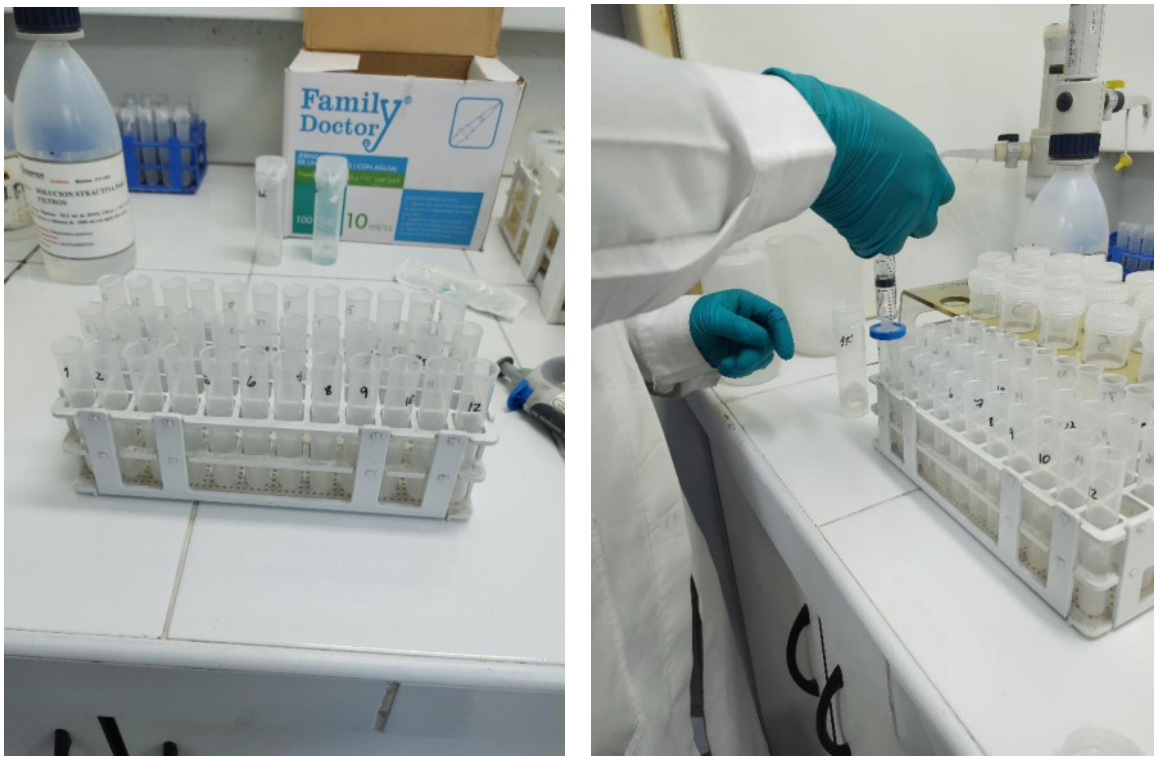
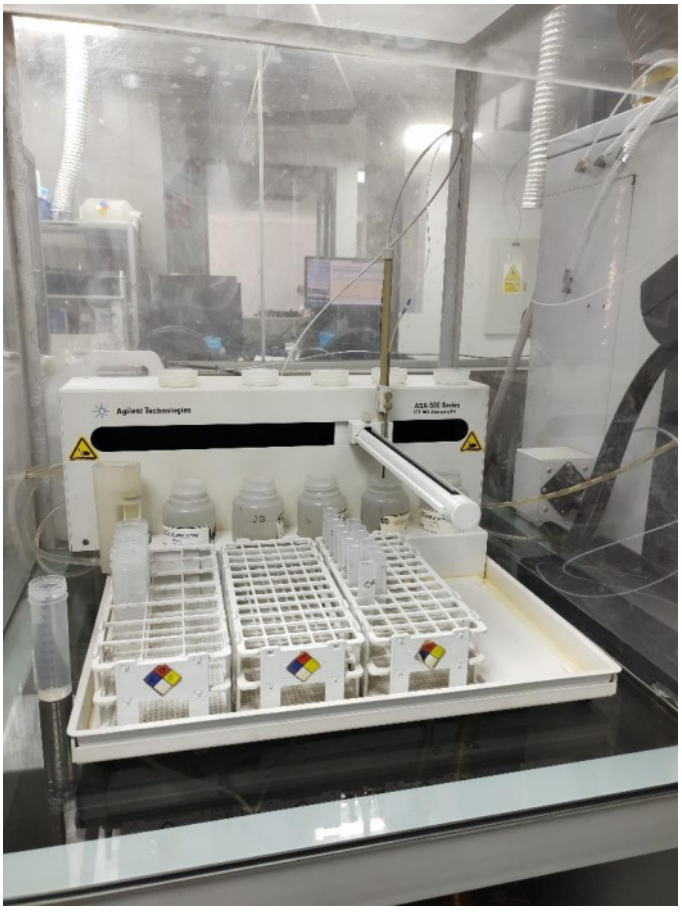


Figura 35 Proceso de digestión de muestras en el ICP – MS



"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FORMATO DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNAM

Formulario de autorización para la publicación electrónica en la página web del Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua, de conformidad con la Ley N° 30035 Ley que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto y Resolución de Comisión Organizadora N° 041-2022-UNAM que aprueba el Reglamento que regula el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

1. DATOS DEL AUTOR

Nombres y Apellidos : Cristell Elva Colque Pina
DNI/Carnet de Extranjería/Pasaporte N° : 71821191
Correo electrónico : ccolquepina@gmail.com
Teléfono/Celular : 955925644

2. GRADO, TITULO O ESPECIALIZACIÓN (Marque con una X)

Bachiller	Título Profesional	Magister	Doctor	Segunda Especialidad
	X			

3. TIPO DE PUBLICACIÓN (Marque con una X)

a) Articulo ( )
b) Tesis de pregrado (X)
c) Tesis de Maestría ( )
d) Tesis de Doctorado ( )
e) Monografía ( )
f) Reporte de caso científico o hallazgos ( )
g) Libro ( )
h) Parte de un libro ( )
i) Revisión ( )
j) Conferencia ( )
k) Presentación ( )
l) Artículo preliminar ( )
m) Articulo antes de ser publicado ( )
n) Artículo de prensa ( )
o) Documentos internos ( )
p) Imagen ( )
q) Documentos técnicos ( )
r) Ponencias presentadas en eventos científicos (Jornada, Congreso, Simposio Conferencias, etc.) ( )
s) Informes de suficiencia profesional ( )
t) Patentes producidas por académicos/as ( )

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

4. TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (Marque con una X)

a) Tesis (X)
b) Trabajo de Investigación ( )
c) Trabajo de suficiencia profesional ( )
d) Trabajo académico ( )

5. DATOS DE LA PUBLICACION

a) Título : Variabilidad Meteorologica y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (Costa sur del Perú), 2022.

b) Campo del conocimiento OCDE (Indicar el código de clasificación OCDE de la obra : https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html) : .....

c) Fecha de publicación : .....

6. DATOS DEL ASESOR:

a) Nombres y Apellidos : Jose Antonio Valeriano Zapana
b) DNI/Pasaporte/Cédula : 43500364
c) ORCID : (0000-0002-5571-0531)

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71821191
NOMBRES Y APELLIDOS : Cristell Elva Colque Nina

"UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA"

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

LICENCIAS

Licencia Estándar

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional Digital de la UNAM.

Con la autorización de depósito da mi trabajo de investigación, otorgo a la Universidad Nacional de Moquegua, una Licencia No Exclusiva para reproducir. distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi trabajo de investigación (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios provistos por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Institucional Digital de la UNAM, Colección de Tesis, entre otros, en el Perú y en el extranjero, por el tiempo y veces que considere necesarias, y libre de remuneraciones.

En virtud de dicha Licencia, la UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, podrá reproducir mi trabajo de investigación en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con los propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que el trabajo de investigación es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, o coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicho trabajo de investigación no infringe derechos de autor de terceras personas.

La UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA consignara el nombre del/los autor/es del trabajo de investigación, y no le hará ninguna modificación más de la permitida en la presente licencia.

Autorizo el depósito (marque con una X).

(X) **SI autorizo que se deposite inmediatamente.**

FIRMA : .....

DOCUMENTO DE IDENTIDAD : 71821191

NOMBRES Y APELLIDOS : Cristell Elva Colque Viña

FECHA : 17 de Enero 2024



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN / TESIS / TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Yo, Cristell Elva Colque Nina,
bachiller de la Escuela Profesional de: Ingeniería Ambiental,
de la Universidad Nacional de Moquegua, identificado(a) con DNI Nº. 71821191, autor(a) del Trabajo de Investigación / Tesis / Trabajo de suficiencia profesional, denominado:
" Variabilidad Meteorológica y material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo Costa sur del Perú), 2022"

Declaro bajo juramento que:

1. El trabajo de investigación es auténtico, siendo resultado de mi trabajo personal, que no se ha copiado, que no se ha utilizado ideas, formulaciones, citas integrales e ilustraciones diversas, sacadas de cualquier tesis, obra, artículo, memoria, etc., (en versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor, tanto en el cuerpo del texto, figuras, cuadros, tablas u otros que tengan derechos de autor. Por tanto, el trabajo de investigación no ha sido plagiado total ni parcialmente.
2. El trabajo de investigación no ha sido autoplagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
3. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en el trabajo de investigación constituirán aporte a la realidad investigada.

Soy consciente de que, el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales, por lo que asumo cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de irregularidades en el trabajo de investigación, así como de los derechos sobre la obra presentada.

Moquegua, 17 de Enero 2024



Huella digital

Nombres y Apellidos: Cristell E. Colque Nina
DNI: 71821191

Ouriginal
by Turnitin

Document Information

Analyzed document	TESIS CRISTELL JULIO (1).pdf (D172518046)
Submitted	8/1/2023 6:21:00 PM
Submitted by	JOSÉ ANTONIO VALERIANO ZAPANA
Submitter email	jvalerianoz@unam.edu.pe
Similarity	9%
Analysis address	jvalerianoz.unampe@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA	**Kevin Fidel Quispe Monroy_2023.pdf** Document Kevin Fidel Quispe Monroy_2023.pdf (D161056358)	4
W	URL: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11366/2/IV_FIN_107_TE_Valeriano_... Fetched: 8/1/2023 6:22:00 PM	10
SA	**Juan Carlos Muyulema - Evaluación temporal del material particulado PM2.docx** Document Juan Carlos Muyulema - Evaluación temporal del material particulado PM2.docx (D148491310)	6
SA	**Marco Enrique Mamani Sucari_Jaquelin Esther Calsina Quispe.pdf** Document Marco Enrique Mamani Sucari_Jaquelin Esther Calsina Quispe.pdf (D148383233)	10
SA	**3_Roberto y Diana_10577.docx** Document 3_Roberto y Diana_10577.docx (D147758325)	1
SA	**Tesis Versión Final C Mejia 12 feb 2023.docx** Document Tesis Versión Final C Mejia 12 feb 2023.docx (D158519676)	1
SA	**Proyecto_de_tesis.docx** Document Proyecto_de_tesis.docx (D131427483)	11
SA	**INFORME FINAL PM10.docx** Document INFORME FINAL PM10.docx (D61313394)	4
SA	**KEVIN FIDEL QUISPE MONROY.pdf** Document KEVIN FIDEL QUISPE MONROY.pdf (D111115588)	4
W	URL: https://doi.org/10.1017/cbo9781107415416 Fetched: 8/1/2023 6:22:00 PM	1

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL TESIS "VARIABILIDAD METEOROLÓGICA Y MATERIAL PARTICULADO 2.5 MICRAS EN LA PROVINCIA DE ILO (COSTA SUR DEL PERÚ)- 2022" PRESENTADO POR: - Bach. Cristell Elva Colque Nina PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERÍA AMBIENTAL ILO – PERÚ 2023

2

DEDICATORIA A mis queridos abuelos, guardianes de mi corazón y eternos ejemplos de amor y sabiduría por haberme mostrado el poder de la perseverancia y la importancia del conocimiento. A mi amada familia, gracias por su apoyo inquebrantable, por creer en mí y ser mi refugio en los momentos de dificultad. Sus enseñanzas perdurarán en mi alma y guiarán mis pasos hacia el éxito.

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA Nº 277-2024-UNAM/CO

Moquegua, 24 de abril de 2024

LA COMISIÓN ORGANIZADORA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

VISTOS:

El Acuerdo de Sesión Ordinaria de Comisión Organizadora de fecha 17 de abril de 2024; PROVEÍDO N° 9030-2024 de fecha 17 de abril de 2024 emitido por la Presidencia de la Comisión Organizadora; INFORME N° 273-2024-UNAM-CO-P/SG de fecha 17 de abril de 2024 emitido por la Secretaría General; CARTA Nº 021-2024-GYT/UNAM-PCAS de fecha 10 de abril de 2024 emitido por el Especialista de Grados y Títulos; Sobre el otorgamiento del Título Profesional de Ingeniero Ambiental y demás documentos que escoltan el expediente administrativo, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú en su artículo 18º prevé que cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico, y el artículo 8º de la Ley Nº 30220, Ley Universitaria, establece que la referida autonomía inherente a las Universidades, se ejerce de conformidad con la Constitución y las Leyes de la República e implica las organizaciones de su sistema académico, económico y administrativo, así como la administración de sus bienes y rentas, elaborar su presupuesto y aplicar sus fondos con la responsabilidad que impone la Ley;

Que, de conformidad con la Ley N° 28520 de fecha 23/05/2005, se creó la Universidad Nacional de Moquegua, cuyo artículo 1º dispone: "créase la Universidad Nacional de Moquegua como persona jurídica de derecho público interno, con sede en la ciudad de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, Departamento de Moquegua";

Que, el artículo 29° de la Ley Universitaria, Ley N° 30220, establece que, aprobada la ley de creación de una universidad pública, el Ministerio de Educación (MINEDU), constituye una Comisión Organizadora integrada por tres (3) académicos de reconocido prestigio, que cumplan los mismos requisitos para ser Rector (…). Esta Comisión tiene a su cargo la aprobación del estatuto, reglamentos y documentos de gestión académica y administrativa de la universidad, formulados en los instrumentos de planeamiento, así como su conducción y dirección hasta que se constituyan los órganos de gobierno que, de acuerdo a la presente Ley, le correspondan";

Que, mediante Resolución Viceministerial N° 011-2024-MINEDU de fecha 31/01/2024, se reconformó la Comisión Organizadora de la Universidad Nacional de Moquegua, integrada por los académicos: Dr. Jorge Lázaro Franco Medina, como Presidente; Dr. Edwin Molina Porcel, como Vicepresidente Académico y Dr. Avid Roman Gonzalez, como Vicepresidente de Investigación;

Que, el artículo 58° de la Ley Universitaria, Ley Nº 30220, concordado con el artículo 14º del Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua, aprobado con Resolución de Comisión Organizadora Nº 578-2021-UNAM, establecen que el **Consejo Universitario es el máximo órgano de gestión, dirección y ejecución académica y administrativa de la universidad.** En el caso de la Universidad Nacional de Moquegua, dada su condición y naturaleza, corresponde ejercer dicha atribución a la Comisión Organizadora quien hace las veces de Consejo Universitario, disposición relacionada con la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias;

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

///... **Resolución de Comision Organizadora Nº 277-2024-UNAM/CO**

Que, el artículo 44° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, señala que las universidades otorgan los grados académicos de Bachiller, Maestro, Doctor y los Títulos Profesionales que correspondan, a nombre de la Nación (...);

Que, el numeral 45.2 del artículo 45° de la Ley N° 30220, Ley Universitaria, precisa **los requisitos mínimos para la obtención del título profesional, como son: el grado de Bachiller y la aprobación de una tesis** o trabajo de suficiencia profesional. Asimismo, establece que el título profesional solo se puede obtener en la universidad en la cual se haya obtenido el grado de bachiller;

Que, mediante Resolución de Comisión Organizadora N° 1153-2021-UNAM, se aprobó el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, el mismo que fue modificado a través de las Resoluciones de Comisión Organizadora N° 410; 453 y 890-2022 y N° 880-2023-UNAM el cual establece los requisitos y norma los procedimientos para la obtención de los grados académicos y títulos profesionales conferidos por esta Casa Superior de Estudios;

Que, mediante la Carta N° 021-2024-GYT/UNAM-PCAS, el Especialista del Área de Grados y Títulos, remite a Secretaria General, la relación de un (1) bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, quien se encuentra apto para la expedición del Título Profesional de Ingeniero Ambiental, al haber cumplido satisfactoriamente con los requisitos legales y reglamentarios[1], exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, conforme lo señala la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, razón por la cual la Secretaría General incluye el expediente como punto de agenda para ser tratado en Sesión de Comisión Organizadora de fecha 17 de abril de 2024;

Que, se ha establecido como atribución de la Comision Organizadora de la UNAM, la facultad de conferir los grados académicos y los títulos profesionales (...), por lo que en mérito al pedido del Secretario General y debatido el caso en Sesión Ordinaria de fecha 17 de abril de 2024, se acordó por unanimidad **conferir a nombre de la Nación el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, por la modalidad de la Sustentación de Tesis a un (1) Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua**;

---

[1] Artículo 122°. - Requisitos para la obtención del Título Profesional
Para obtener el Título Profesional el interesado deberá presentar ante su Escuela Profesional un expediente con la siguiente documentación:

a. Solicitud dirigida al Director de la Escuela Profesional o quien haga sus veces, indicando la fecha y numero de comprobante de pago.
b. Dos (2) fotografías de frente, tamaño pasaporte a color con fondo blanco (con traje formal); para garantizar la seguridad ciudadana.
c. Dos ejemplares de la Tesis, del Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe del Examen Profesional en físico, uno para la Biblioteca y otro para la Escuela Profesional, y un CD con la versión digital.
d. Formulario de autorización del graduado para la publicación de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional en el repositorio.
e. Declaración Jurada de originalidad de la Tesis, Trabajo de Suficiencia Profesional o Informe de Examen Profesional.

La Escuela Profesional es responsable de completar el expediente del bachiller en un plazo máximo de 3 días hábiles y derivar a la Oficina de Secretaría General, adjuntando los siguientes documentos:

a. Copia del acta de sustentación indicando la modalidad de obtención del título profesional.
b. Constancia de "no adeudo" de Bienes a la Universidad, bienes a los Laboratorios Básicos y de Especialidad, material bibliográfico; dichos documentos deberán ser refrendados por los responsables a cargo.

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe

DECENIO DE LA IGUALDAD DE OPORTUNIDADES PARA MUJERES Y HOMBRES
"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"

///... **Resolución de Comision Organizadora Nº 277-2024-UNAM/CO**

Estando en uso de las facultades y atribuciones conferidas en el artículo 18° de la Constitución Política del Perú; la Ley N° 30220, Ley Universitaria; el Documento Normativo denominado: "Disposiciones para la Constitución y Funcionamiento de las Comisiones Organizadoras de las Universidades Públicas en proceso de Constitución", aprobado mediante la Resolución Viceministerial N° 244-2021-MINEDU y sus modificatorias, y en la Resolución Viceministerial Nº 011-2024-MINEDU, así como en el Estatuto de la Universidad Nacional de Moquegua y demás normas concordantes;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO: CONFERIR, a nombre de la Nación el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL,** por la modalidad de la Sustentación de Tesis, a los Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Moquegua, que se consigna en el listado siguiente:

1. **CRISTELL ELVA COLQUE NINA**

TESIS : "VARIABILIDAD METEREOLÓGICA Y MATERIAL PARTICULADO 2.5 MICRAS EN LA PROVINCIA DE ILO (COSTA SUR DEL PERÚ) - 2022"

ARTÍCULO SEGUNDO: AUTORIZAR, a la Secretaría General de la Universidad Nacional de Moquegua, expedir y registrar los Diplomas correspondientes para su otorgamiento.

ARTÍCULO TERCERO: ENCARGAR al Área de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Moquegua, para que realice las acciones pertinentes conducentes, relacionadas con la inscripción de los grados y títulos en el Registro de Grados y Títulos de la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria - SUNEDU.

ARTÍCULO CUARTO: NOTIFICAR, la presente Resolución a todas las instancias y dependencias administrativas y académicas de la Universidad Nacional de Moquegua, para su conocimiento, cumplimiento y demás fines pertinentes.

ARTÍCULO QUINTO: ENCARGAR, a la Oficina de Tecnología de la Información, la publicación de la presente Resolución en el portal de transparencia de la Universidad Nacional de Moquegua.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE.

DR. JORGE LAZARO FRANCO MEDINA
Presidente de la Comisión Organizadora
Universidad Nacional de Moquegua

ABOG. KEVIN YUVER CHIHUAN QUISPE
Secretario General
Universidad Nacional de Moquegua

Domicilio Fiscal: Prolongación Av., Ancash S/N - Moquegua
RUC: 20449347448 - Teléfono: (053) 670168
Página Web: www.unam.edu.pe