

ACTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE TESIS

Siendo las 10:30 horas del día 10 de mayo del 2022, se reúnen, en la sala de profesores de la EPIAM, los miembros del jurado dictaminador integrado por los señores docentes: Dr. Milko Raúl Rivera Campano (presidente), M.Sc. Mario Román Flores Roque (Primer Miembro), M. Sc Paulino Flavio Ríos Zapana (Segundo Miembro), M.Sc. José Antonio Valeriano Zapana (Asesor) y el candidato al título profesional de ingeniero ambiental; BACHILLER: CRISTEILELVA COLQUE NINA, con la finalidad de proceder a la revisión del Proyecto de Tesis titulado "VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA CONCENTRACION Y COMPOSICION QUIMICA DEL MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5 MICRAS (PM2.5) EN LA PROVINCIA DE ILO (COSTA SUR DEL PERU)".

El Jurado Dictaminador procede a la revisión del Proyecto de Tesis en presencia del bachiller, y en vista que las observaciones fueron levantadas, los miembros del Jurado proceden a declarar APTO para los trámites correspondientes conforme el Reglamento de Grados y Títulos. En ese sentido, se acuerda remitir el presente a la Dirección de la EPIAM para el trámite de aprobación del proyecto de tesis mediante acto resolutivo, debiendo ejecutar el Bachiller el Proyecto de Tesis conforme indica el Reglamento de Grados y Títulos.

Siendo las 12:30 hrs del día martes 10 de mayo, se dio por terminada la sesión firmando los miembros del jurado en señal de conformidad.



Dr. Milko Raúl Rivera Campano
PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR



M.Sc. Mario Román Flores Roque
PRIMER MIEMBRO DE JURADO DICTAMINADOR



M.Sc. Paulino Flavio Ríos Zapana
SEGUNDO MIEMBRO DE JURADO DICTAMINADOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
AMBIENTAL



**VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA CONCENTRACION Y
COMPOSICIÓN QUIMICA DEL MATERIAL PARTICULADO MENOR A 2.5
MICRAS (PM2.5) EN LA PROVINCIA DE ILO (COSTA SUR DEL PERÚ)**

PROYECTO DE TESIS

PRESENTADO POR:

Cristell Elva Colque Nina

ASESOR

Mgr. José Antonio Valeriano Zapana

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERIA AMBIENTAL

ILO – PERÚ

2022

INDICE

I.	DATOS GENERALES.....	3
I.1.	TITULO.....	3
I.2.	NOMBRE DEL AUTOR.....	3
I.3.	LOCALIDAD DONDE SE REALIZARÁ LA INVESTIGACION	3
I.4.	ASESOR.....	3
I.5.	CO-ASESOR	3
II.	PROBLEMA DE LA INVESTIGACION	4
II.1.	DESCRIPCION DE LA REALIDAD DEL PROBLEMA.....	4
II.2.	FORMULACION DEL PROBLEMA	6
II.2.1.	Interrogante General	6
II.2.2.	Interrogantes específicas.....	6
II.3.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	6
II.4.	OBJETIVOS.....	7
II.4.1.	OBJETIVO GENERAL	7
II.4.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
II.4.3.	HIPÓTESIS GENERAL	7
III.	MARCO TEÓRICO.....	8
III.1.	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	8
III.1.1.	Internacionales	8
III.1.2.	Nacionales	11
1.2.	BASES TEÓRICAS.....	14
1.2.1.	Contaminación Atmosférica	14
1.2.2.	Clasificación de contaminación según distintos criterios / Contaminantes Atmosféricos	14
1.2.3.	Material Particulado 2.5 micras – Partículas Finas	16
1.2.4.	Fuentes de emisión del PM2.5	17
1.2.5.	Composición Química del PM2.5	19
1.2.6.	Efectos en la salud humana por parte de los contaminantes atmosféricos /Contaminantes en la salud.....	22
1.2.7.	Métodos de medición de la calidad del aire	23
1.2.8.	Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.....	28
1.3.	DEFINICION DE TÉRMINOS	30
IV.	MARCO METODOLOGICO.....	31
IV.1.	Área de estudio	31
IV.2.	Nivel de investigación.....	32

IV.3.	Tipo de investigación.....	32
IV.4.	Diseño de investigación.....	33
IV.5.	Variables de investigación.....	33
IV.6.	Población y/o muestra de estudio.....	34
IV.1.1.	Población.....	34
IV.1.2.	Muestra.....	34
IV.7.	Metodología Experimental o Técnicas e Instrumentos.....	36
IV.7.1.	Metodología para de colección de datos en campo.....	36
IV.8.	Diseño experimental o métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos.....	39
IV.8.1.	Análisis de la variabilidad de la concentración del PM2.5 y su composición química	39
IV.8.2.	Análisis de datos meteorológicos.....	39
V.	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	1
V.1.	Cronograma de actividades.....	1
V.2.	Recursos Humanos.....	1
V.3.	Bienes.....	1
V.4.	Servicios.....	2
V.5.	Fuentes de financiamiento y presupuesto.....	2
IV.1.3.	Fuente de financiamiento.....	2
IV.1.4.	Presupuesto.....	2
V.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	4

I. DATOS GENERALES

I.1. TITULO

- “Variabilidad estacional de la concentración y composición química del material particulado menor a 2.5 micras (PM2.5) en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)”

I.2. NOMBRE DEL AUTOR

- Cristell Elva Colque Nina

I.3. LOCALIDAD DONDE SE REALIZARÁ LA INVESTIGACION

- Lugar : Ilo
- Localidad : Ilo
- Institución: UNAM

I.4. ASESOR

- Biól. José Antonio Valeriano Zapana

I.5. CO-ASESOR

-

II. PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

II.1. DESCRIPCION DE LA REALIDAD 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). En el 2018 el 55% de la población ya vivía en estas ciudades, no obstante, las estimaciones predicen que la población urbana representará el 70% de la población total en el 2050 (“Informe Sobre Desarrollo Humano,” 2010). La evaluación de las entradas de recursos materiales, agua y energía y su relación con las actividades de la sociedad para lograr ciudades económicamente sostenibles 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 carga de aerosoles (Li et al., 2022), debido a la introducción de nuevas sustancias en el medio ambiente, tanto biológicas como químicas (Trusz et al., 2020); (Kim et al., 2015)

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). Las fuentes de PM siempre han cambiado continuamente debido al desarrollo de la sociedad y la economía y a las transformaciones observadas en la producción y el estilo de vida. Las emisiones industriales han disminuido en las últimas décadas, mientras que las emisiones de los vehículos han aumentado debido al creciente número de vehículos de motor en las ciudades a nivel mundial (M. Wang et al., 2021). Otras fuentes de PM incluyen la combustión de carbón en las centrales eléctricas (Y. Wang et al., 2016), el polvo mineral procedente de eventos de polvo natural (polvo flotante, polvo soplado y tormentas de polvo), actividades antropogénicas (construcción, agricultura y polvo de las carreteras), y los contaminantes de PM emitidos en la celebración de festivales. (Ji et al., 2018).

El número de partículas de PM_{2.5} son considerados como marcadores/indicadores específicos de la contaminación atmosférica presente en una región. Por lo cual un factor

que debemos tener en cuenta es el origen de las masas de aire los cuales pueden afectar de forma significativa no solo a los niveles de PM, sino también a su composición química (Pey et al., 2010b).

Sin embargo, pocos estudios han explorado los cambios de los componentes químicos del PM_{2.5} (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., 2010a). Siendo la composición química de los aerosoles atmosféricos un parámetro clave para los estudios climáticos, sanitarios y de ecosistemas (Pey et al., 2010a).

Las partículas atmosféricas (PM), especialmente las finas (es decir, PM_{2.5}. partículas de diámetro aerodinámico <2.5µm), 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). Numerosos estudios epidemiológicos han indicado que la exposición a las PM_{2.5} aumenta la morbilidad de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares, por lo tanto amenaza a la vida (Li et al., 2022).

Según la OMS, la contaminación atmosférica causa la muerte de siete millones de personas al año en todo el mundo. Los datos muestran que la mayoría de la población mundial (99%) respira un aire que supera los límites orientativos de la OMS y que conteniendo altos niveles de contaminantes, 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 µg/m³ en la concentración de PM_{2.5} provoca un aumento del 6% en la mortalidad por todas las causas y un aumento del 11% en la mortalidad cardiorrespiratoria (Cassee et al., 2013).

Actualmente, el 8% de las muertes por cáncer de pulmón en el mundo puede atribuirse únicamente a la exposición a las partículas finas. Siendo este el más asociado con la exposición prolongada a la contaminación de PM_{2.5} (Fajersztajn et al., 2013).

Por ello las mediciones de las concentraciones y la composición química de estos aerosoles 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. (Koponen et al., 2015).

II.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

II.2.1. Interrogante General

- “Cuál es la variabilidad estacional de la concentración y composición química del material particulado menor a 2.5 micras (pm2.5) en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)”

II.2.2. Interrogantes específicas

- ¿Cuál es la concentración del material particulado menor a 2.5 micras en diferentes estaciones del año?
- ¿Cuál es composición química del material particulado menor a 2.5 micras en diferentes estaciones del año?

II.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

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 actualidad nuestra comprensión del material particulado menor a 2.5 micras y su composición química en la provincia Ilo, aun no se encuentra completa. Por ello el presente estudio pretende llenar este vacío de conocimiento mediante la recogida de muestras de PM_{2.5} resueltas químicamente en dos puntos de monitoreo durante 8 meses. Se examinan la composición química, la variación estacional y las características específicas de las PM_{2,5} en cada lugar para determinar la formación y las fuentes de este contaminante en la provincia de Ilo.

Así mismo los conocimientos que se van 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 con el fin de aplicar una política sólida basada en decisiones informadas. Entre las actividades pueden incluir, por ejemplo, la regulación del tráfico.

II.4. OBJETIVOS

II.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la variabilidad estacional de la concentración y composición química del material particulado 2.5 micras en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)

II.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la concentración del material particulado menor a 2.5 micras en diferentes estaciones del año
- Determinar la composición química del material particulado menor a 2.5 micras en diferentes estaciones del año.

II.4.3. HIPÓTESIS GENERAL

- H_0 = No existe variabilidad estacional de la concentración y composición química del material particulado menor a 2.5 micras (pm2.5) en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)”
- H_1 = Existe variabilidad estacional de la concentración y composición química del material particulado menor a 2.5 micras (pm2.5) en la provincia de Ilo (costa sur del Perú)”

III. MARCO TEÓRICO

III.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

III.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 $35,49 \pm 18,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $66,58 \pm 60,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 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 1-2,5 μm . 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”* desarrollado en el 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 PM_{2,5} 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 PM_{2.5}. 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 PM_{2.5}, 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 PM_{2,5} 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 PM_{2,5}. En general, se observaron altas concentraciones de contaminantes atmosféricos y componentes de PM_{2,5}. 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 (PM_{2.5}, NO₂, O₃), componentes de PM_{2.5} (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 PM_{2,5}, 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 PM_{2,5}, NO₂ y O₃, exacerba los síntomas respiratorios en niños asmáticos y no asmáticos. Algunos de los resultados sugieren que los componentes de las PM_{2.5} asociados con una fuente secundaria de sulfato pueden tener un mayor impacto en algunos síntomas que las PM_{2,5}. 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 PM_{2.5} 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 PM_{2.5} medidos en una zona industrial ~20 km al SE de Antofagasta (23.63°S, 70.39°W), 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 PM_{2.5} 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 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 PM_{2.5}, 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el valor máximo diario es de 104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la fracción PM2,5, el polvo del suelo en suspensión contribuye con una media de 9,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor máximo diario de 31,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

III.1.2. Nacionales

(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 (ECA) 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.

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.

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 vehicular, se recopiló 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%.

(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 PM_{2.5}, supera lo establecido en las normas nacionales de calidad ambiental en la estación E-2. Se evidencia el mayor riesgo del MP_{2,5} a la salud de la población, siendo el sector transporte una de las fuentes de emisión significativa en Ica.

(Miranda Casapia et al., 2019), en el estudio *“Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (pm_{2.5}, 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 PM_{2.5} y PM₁₀ con la estación móvil donde se aplicó la metodología de Monitoreo Automático.

1.2. BASES TEÓRICAS

1.2.1. Contaminación Atmosférica

La contaminación atmosférica se entiende como la condición y presencia en la atmósfera 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).

1.2.2. Clasificación de contaminación según distintos criterios / Contaminantes Atmosféricos

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 atmósfera 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 atmósfera, 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 (NO_x , NH_3 , N_2O), Material Particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), 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 atmósfera (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Son importantes contaminantes secundarios el ácido sulfúrico, H_2SO_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 son: ácido sulfúrico y sulfatos, ozono, otros contaminantes fotoquímicos.

CUADRO 1: Principales contaminantes primarios y secundarios presentes en el aire

Contaminantes Primarios	Contaminantes Secundarios
Óxidos de carbono (CO)	O_3 (troposférico)
Compuestos nitrogenados (NO_x , NH_3 , N_2O)	Hidrocarburos oxidados
Compuestos azufrados (SO_x , SO_2)	Aerosoles orgánicos secundarios
Material Particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$)	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

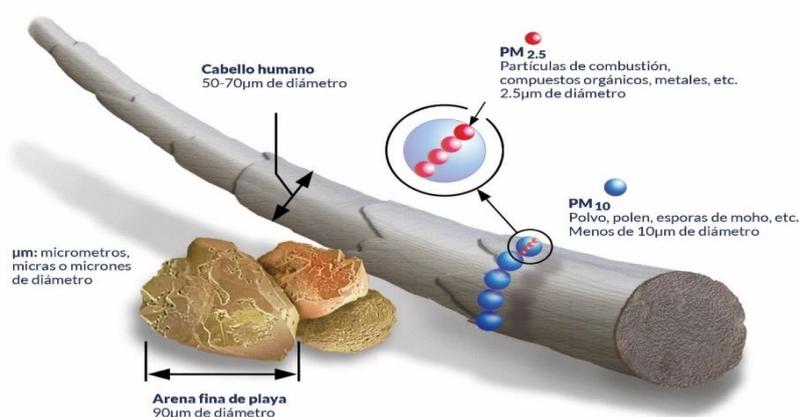
de intensidad de la actividad industrial, tráfico vehicular y el grado de control ambiental existente en cada uno (Araujo, 2016).

1.2.3. 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, proceden 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 tasa 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 compuesto 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 (Aire & Efectos, n.d.). A si 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 1: 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 aire ambiente ha provocado un grave empeoramiento de la calidad del aire tanto local como regional, con las consiguientes repercusiones graves para la salud humana (Ali-Taleshi et al., 2022).

1.2.4. Fuentes de emisión del PM_{2.5}

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, NO_x 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 (Aire & Efectos, n.d.).

FIGURA 2: Fuentes de contaminación del aire



Fuente: Organización Mundial de la Salud

CUADRO 2: Principales fuentes de emisión de la fracción de partículas

Especies	<PM _{2.5}		>PM _{2.5}	
	Naturales	Antrópicas	Naturales	Antrópicas
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	Aerosoles marinos	Quema de combustibles fósiles	Aerosoles marinos	-----
Nitratos (NO ₃ ⁻)	--	Tubos de escape de vehículos	—	—
Minerales	Erosión y re-suspensión	Polvos fugitivos de caminos pavimentados y no pavimentados, agricultura, construcción, demolición	Erosión y re-suspensión	Polvos fugitivos de caminos pavimentados y no pavimentados, agricultura, construcción, demolición
Amonio (NH ₄ ⁺)	---	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 pavimento, polvo de caminos pavimentados y no pavimentados
Carbón elemental	Incendios naturales	Quema de madera, tubos de escape de vehículos (principalmente diésel), cocinar	—	Desgaste de llantas y pavimento, polvo de caminos pavimentados y no pavimentados
Metales	Actividad volcánica	Combustión de combustibles fósiles, procesos metalúrgicos, desgaste de frenos de vehículos	Erosión y re-suspensión	—
Aerosoles biológicos	Bacterias y virus	—	Fragmentos de plantas e insectos, polen, esporas y bacterias	—

Fuente: Organización Mundial de la Salud

1.2.5. Composición Química del PM_{2.5}

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 estarán 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.

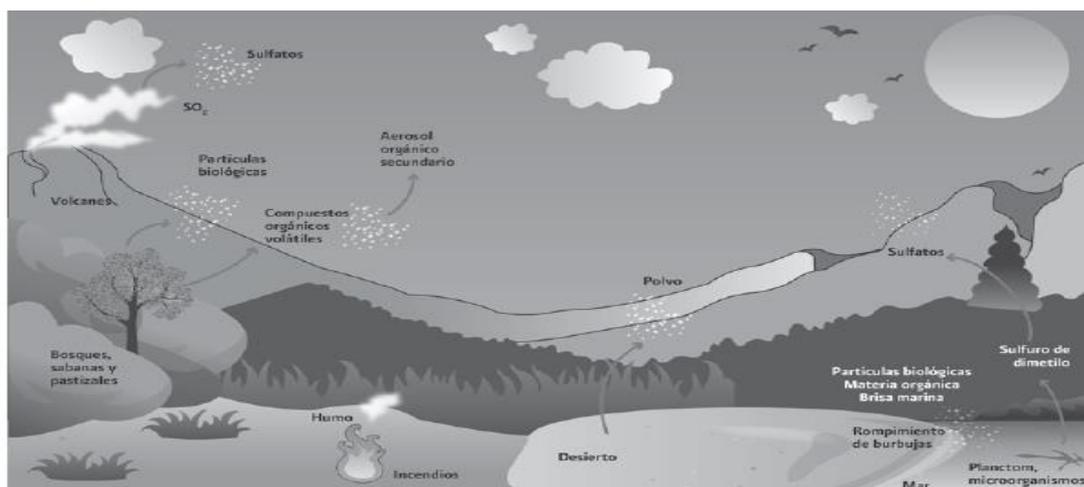
Las partículas ambientales que provienen de las fuentes móviles que usan gasolina son una mezcla de carbón orgánico, carbón elemental y pequeñas trazas de metales y sulfatos. De esas partículas, el carbón orgánico contribuye con entre el 26 % y el 88 % del total de partículas ambientales provenientes de esta fuente. Aunque los compuestos del carbón orgánico no están todavía bien caracterizados, se han identificados 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).

CUADRO 3: Composición química de las partículas finas (\leq PM2.5)

	TIPO DE PARTÍCULAS		
	Ultrafinas (PM0.1)	Finas (\leq PM2.5)	Gruesas (PM2.5 – PM10)
Composición Química	Sulfato	Sulfato, nitrato, amonio, iones de hidrógeno	Nitratos, cloruros, sulfatos de reacción de HNO ₃ , HCl y SO ₂
	Carbón elemental	Carbó elemental	Óxidos de elementos de la corteza terrestre (Si, Al, Ti, Fe)
	Compuestos metálicos	Gran variedad de compuestos orgánicos	CaCO ₃ , CaSO ₄ , 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. Agua ligada a las partículas Bacterias, virus	Bacterias, polen, moho, esporas de hongos, detritos de plantas y animales

Fuente: Agencia de Protección Medio Ambiental (2009)

FIGURA 3: Proceso Químico de formación de partículas secundarias



Fuente: INECC (2011)

1.2.5.1. Metales pesados presentes en el material particulado

Estos compuestos pueden estar presentes adicionalmente a los sulfatos, nitratos 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).

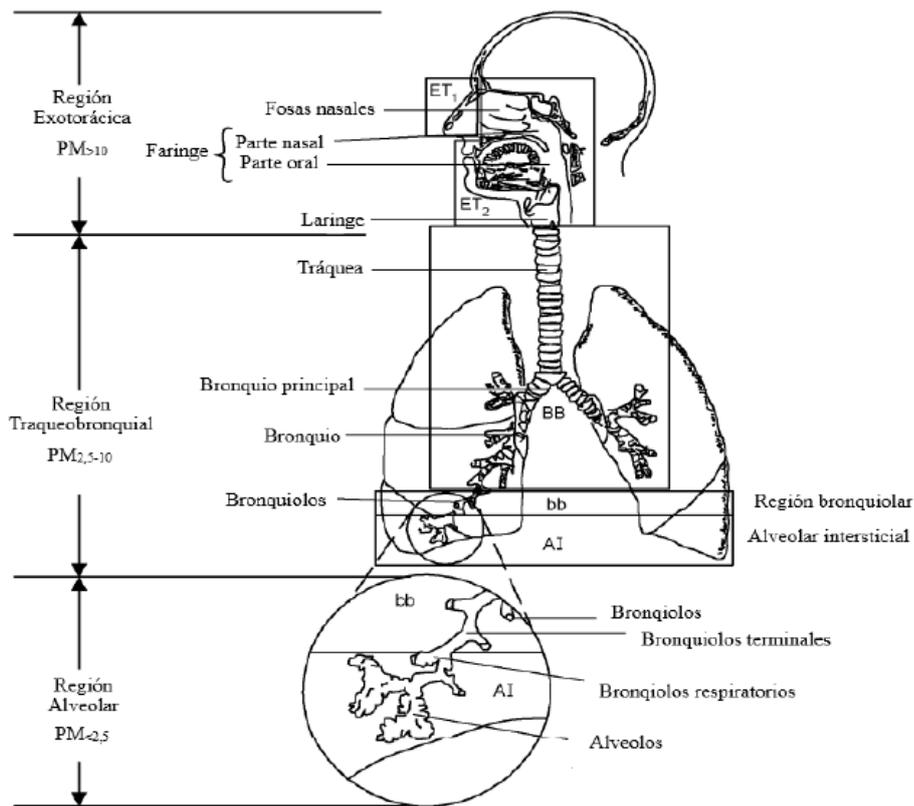
	COMPONENTES DE LAS PARTÍCULAS SUSPENDIDAS
Elementos Traza	Por ejemplo, metales, como plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), níquel (Ni), cromo (Cr), zinc (Zn), y manganeso (Mn), etc.
Compuestos orgánicos	Hidrocarburos aromáticos, HAP, alifáticos, aldehídos, ácidos carboxílicos y cetonas entre otros.

1.2.6. 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 Protection Agency (USEPA), 2009).

Diversos estudios científicos han demostrado que la exposición a corto y largo plazo al PM_{2.5} puede resultar en una gama de efectos sobre la salud, desde cambios en los biomarcadores circulantes hasta la mortalidad (United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2009). 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 4: 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.

1.2.7. 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.

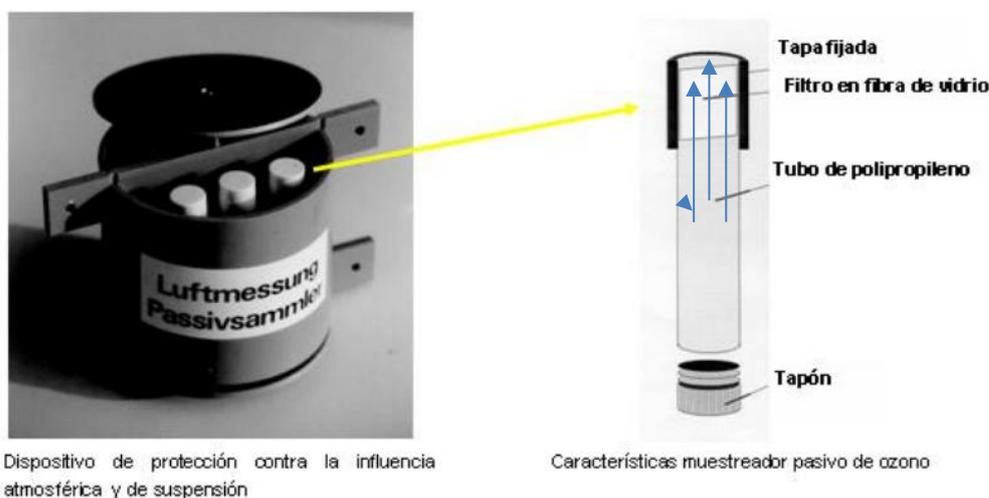
1.2.7.1. Muestreador Pasivo

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 5: Diagrama de muestreador de difusión pasiva



Fuente: (Sánchez et al., 2009)

1.2.7.2. Muestreador Activo

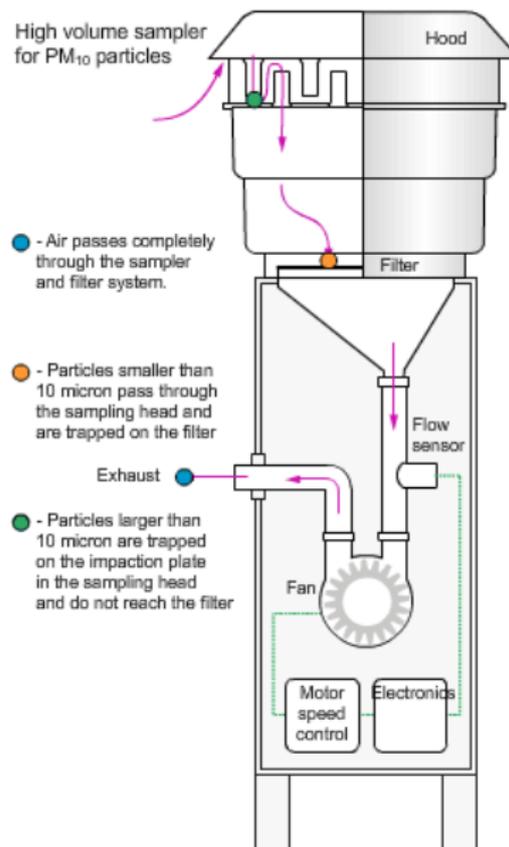
Las muestras de contaminantes se recolectan por medios físicos o químicos para su posterior análisis en el laboratorio. Por lo general, se bombea un volumen conocido de aire a través de un colector –como un filtro (muestreador activo manual) o una solución química (muestreador activo automático)- durante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

A. 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, PM₁₀, PM_{2.5} o PM₁) son colectadas en un filtro durante un periodo de muestreo específico.
- 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 específico.

FIGURA 6: Diagrama de Hi Vol



B. 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 líquida 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 específico.

1.2.7.3. 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, la 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.

A. 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:

- **Atenuación 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 relación 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 cúbico.
- **Micro balanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM, por sus siglas en inglés):** Esta técnica utiliza un filamento r3nico 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 razón, estos sistemas son considerados también como contadores ópticos de partículas. Una vez determinado el tamaño y número de las partículas, el equipo automático procede a calcular primero la masa del analito y, luego, su concentración en microgramos por metro cúbico.

B. 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 concentración 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 concentración de los parámetros del ECA para Aire:

CUADRO 4: 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 frío (CVAAS) o espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío(CVAFS)
Monóxido de Carbono	1 hora / 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

1.2.8. 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:

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

PARAMETROS	PERIODO	VALOR (ug/m ³)	CRITERIO DE EVALUACIÓN	METODO DE ANÁLISIS ⁽¹⁾
Benceno (C ₆ H ₆)	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	
	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	

Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	Anual	25	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
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 ₂ O)	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 día siguiente de la publicación del protocolo

Fuente: Decreto Supremo 003-2017 - MINAM

1.3. DEFINICION DE TÉRMINOS

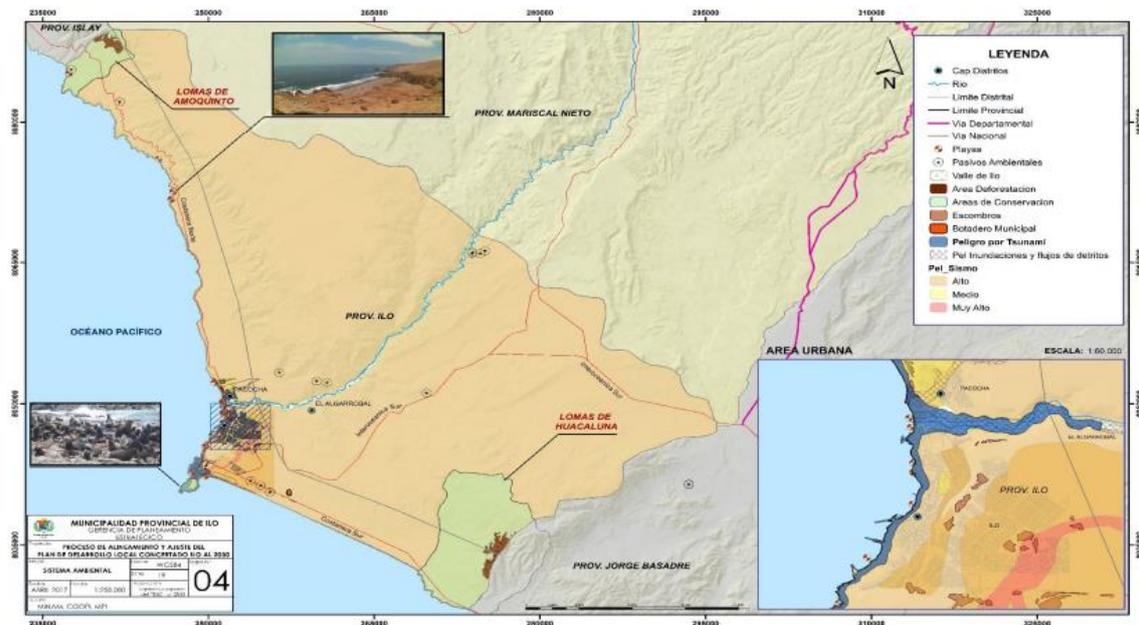
1. **Calidad de aire:** Se debe entender como un juicio cualitativo y cuantitativo relacionado directamente con los ecosistemas naturales y el confort humano (Alfaro, 1998).
2. **Contaminación:** Proceso que consiste en la adicción de cualquier sustancia al ambiente en cantidades suficientes que sean 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.).

IV. MARCO METODOLOGICO

IV.1. Área de estudio

El presente estudio se centra 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.

Mapa de ubicación



Fuente: Municipalidad Provincial de Ilo

IV.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación para el presente plan de tesis según el grado de profundidad con que se aborda el objeto de estudio corresponde al *tipo descriptivo correlacional* (Arias, 2012)

Tabla 1

Nivel de investigación

Criterio	Nivel de investigación
Según el grado de profundidad del objeto de estudio	Descriptivo analítico

IV.3. Tipo de investigación

El tipo de investigación se puede caracterizar de la siguiente manera: *observacional*, *longitudinal*, *comparativo*. Observacional ya que no se manipulan las variables de estudio; Longitudinal ya que los datos se toman en diferentes temporadas (Landeau, 2007), y comparativo porque los datos se compararan entre los puntos de estudio para ver su variabilidad.

Tabla 2

Tipo de investigación

Criterio (por el /la)	Tipo de estudio
Manipulación de variables	No experimental
Intervención del investigador	Observacional
Periodo	Prospectivo

Evolución del fenómeno estudiado	Longitudinal
Comparación de la población de estudio	Comparativo

IV.4. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es del *tipo descriptivo*, debido a que las variables no se manipularán, se recopilara información cuantitativa y se observara la variabilidad de las mismas en el tiempo (Hernández, 2014).

IV.5. Variables de investigación

El presente plan de investigación cuenta con dos variables. Estas variables no guardan relación de causa y efecto por lo que no hay variable independiente y dependiente. A continuación, se detalla las características en la operacionalización de variables:

- Variable 1. Contaminantes atmosféricos
 - PM_{2.5} (principal , concentración)
 - Metales pesados en PM_{2.5}
- Variable 2 = Parámetros meteorológicos
 - Temperatura,
 - Precipitación,
 - Presión atmosférica
 - Humedad relativa,
 - Radiación global,
 - Velocidad y dirección del viento.

Tabla 3

Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICION	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
----------	-----------	-----------	--------------------	------------------	-------------------------

PARAMETROS METEOROLOGICOS	Temperatura	Muy fría (0 °C- 7 °C) fría (7 °C- 13 °C) Fresca (13 °C- 18 °C) Cómoda (18 °C- 24 °C) Caliente (24 °C- 29 °C) Muy caliente (29 °C- 35 °C)	Intervalo	°C	Ficha de registro de monitoreo
	Humedad	Baja humedad Alta humedad	Intervalo	%	Ficha de registro de monitoreo
	Presión Atmosférica		Intervalo	Pa./mmhg/ mmbr	Ficha de registro de monitoreo
	Dirección y velocidad de vientos		Intervalo	km/h , m/s – este, sur, norte, oeste	Ficha de registro de monitoreo
	Radiación global		Intervalo	Watts/ m2	Ficha de registro de monitoreo
	Precipitación	Solo lluvia Solo nieve Mezcla	nominal	mm	Ficha de registro de monitoreo
CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	PM2.5 (principal)	DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM	Intervalo	µg/m ³	Ficha de registro de monitoreo
	Metales pesados en PM _{2.5}	DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM , ECA ONTARIO			Ficha de registro de monitoreo

IV.6. Población y/o muestra de estudio

IV.1.1. 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).

IV.1.2. Muestra

El tipo de muestro 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: Número mínimo de estaciones e 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

Tabla 4

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)

IV.7. Metodología Experimental o Técnicas e Instrumentos

IV.7.1. Metodología para de colección de datos en campo.

Para el presente estudio de investigación se recopilara la concentración de PM2.5 mediante método activo y automático, para la concentración de la composición química (metales pesados) se hará uso de análisis mediante ICP-OES o ICP-MS y finalmente para los parámetros meteorológicos, estos se obtendrán mediante las estaciones meteorológicas ubicadas en los sitios de monitoreo (2 puntos), el periodo de estudio será de 8 meses, para lo cual se hará uso del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire 2019 MINAM, como norma nacional, y guías de la OMM (Organización Mundial de Meteorología) como criterios internacionales.

La frecuencia de monitoreo será semanal en ambos puntos de estudio para la composición química, y para la concentración de los contaminantes (PM_{2.5} y otros complementarios) de forma horaria.

a. Técnica para la determinación de la concentración de los contaminantes atmosféricos

Según el protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de aire aprobado bajo Decreto Supremo N° 010-2019-MINAM, la técnica consiste en succionar la muestra de aire, ingresa a una cámara de medición donde se aplican metodologías ópticas. Esta masa es dividida entre el volumen de la muestra. En la siguiente tabla se muestran los métodos automáticos para gases ambientales.

PARÁMETRO	TIPO DE MÉTODO	DENOMINACIÓN GENÉRICA DEL MÉTODO	NORMA TÉCNICA CORRESPONDIENTE
PM _{2.5}	Método de referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría)	Norma Técnica Peruana: NTP 900.069 o NTP que lo reemplace
	Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	Aquello que se encuentren en una de las siguientes listas: <ul style="list-style-type: none"> ● EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods", ● Mcerts (Inglaterra), denominada CAMS, TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emissions."
		Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)	
		Dispersión de luz	
SO ₂	Método de referencia	Fluorescencia ultravioleta	Norma Técnica Peruana: NTP 10498 o NTP que lo reemplace
	Método Equivalente	Pararosanilina	CFR Title 40, Part 50, Appendix A (Pararosaniline Method)
		Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528 – partes 1, 2 y 3
CO	Método de Referencia	Infrarrojo No Dispersivo con filtro de Correlacion de Gas	Norma Técnica Peruana: NTP 900.081 o NTP que lo reemplace
	Método Equivalente		Aquello que se encuentren en una de las siguientes listas: <ul style="list-style-type: none"> ● EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods", ● Mcerts (Inglaterra), denominada CAMS,

			TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emissions."
NO ₂	Método de Referencia	Quimioluminiscencia	Norma Técnica Peruana: NTP 900.033 o NTP que lo reemplace
	Método Equivalente	Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase (CAPS)	EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods"
		Griess- Saltzman (Manual active)	ASTM 01607 – 91(2018) e1 Standar Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction)
		Arsenito de sodio (Manual Activo - únicamente aplicable a muestras de 24 horas)	EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods"
		Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528 – parte 1

Fuente: Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad del Aire – 2019 - MINAM

b. Técnica para la determinación de la concentración de metales en PM_{2.5}

Se instalará en campo el equipo partisol- Marca: Thermo Scientific (método activo), previo a ello se hará la preparación de los filtros en laboratorio obteniendo primero su peso inicial, luego los filtros se colocarán en el equipo Partisol y se procederá al monitoreo por 24 horas, seguido se retiraran los filtros con la muestra, de los cuales se determinará su peso final y finalmente este será analizado en laboratorio mediante ICP – OES o ICP-MS. Aproximadamente se hará uso de 70 filtros.

c. Técnica para la determinación de parámetros meteorológicas

Se instalará en ambos puntos de estudio estaciones meteorológicas compactas, para su instalación se hará uso del protocolo nacional de calidad de aire 2019 MINAM, como referencia, y así mismo se usará criterios del SENAMHI y la OMM.

Los parámetros a monitorear serán temperatura (°C), humedad (%), presión atmosférica (mbr,Pa, mmhg), dirección y velocidad del viento (m/s) y radiación solar. La frecuencia de toma de datos será horaria.

d. Equipos

- Muestreador de Bajo Volumen – Partisol 200i
- Analizadores Automático Material Particulado – PM
- Estación Meteorológica

IV.8. Diseño experimental o métodos y técnicas para la presentación y análisis de datos

Finalmente, los datos obtenidos serán almacenados en una hoja en Excel para los análisis estadísticos serán utilizados el software: ArcGis, Surfer, Python, Rstudio, Origin 4.0.2 para la obtención de gráficos y resultados finales, para validar la información será plasmada en un informe final del proyecto de investigación.

IV.8.1. Análisis de la variabilidad de la concentración del PM_{2.5} y su composición química

- En primer lugar, se analizará la calidad de datos, luego estos se prepararan en una hoja de Microsoft Excel, las variables a trabajar serán: PM_{2.5} (principal), PM₁₀, NO_x, SO₂, CO y la composición química.
- En segundo lugar, esta plantilla será guardada en formato csv para luego cargarlas al software R, Python y Origin 4.02, se hará uso de distintos paquetes como: OpenAir, Ggplot, Pandas, matplotlib, esos paquetes servirán para hacer un análisis en series de tiempo de los contaminantes, y el Origin será empleado para la estadística (media aritmética, desviación estándar, moda, etc).
- En tercer lugar, se hará uso del ArcGis y/o Surfer para la representación mediante mapas (interpolación) del comportamiento de PM_{2.5}, y metales pesados en los puntos de estudio.

IV.8.2. Análisis de datos meteorológicos

- En primer lugar, se prepararán los datos en una hoja de Microsoft Excel, en donde se ubicarán las columnas de la fecha de la siguiente manera (dd/mm/aa hh:mm), para velocidad de viento (ws) y para dirección del viento (wd); que luego serán cargados al software R studio.

- En segundo lugar, se utilizará el software R Project con la extensión de OpenAir Project, Lattice, LatticeExtra, Maps y RColorBrewer, ordenando la función windRose, la cual sirve para mostrar la gráfica de la rosa de viento.

V. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

V.1. Cronograma de actividades

Tabla 8

Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	2022											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Búsqueda y revisión de bibliografía científica												
Elaboración y presentación del proyecto de investigación de tesis												
Aprobación de proyecto de tesis												
Preparación de equipos y materiales en gabinete												
Instalación de equipos, preparación de filtros e inicio de monitoreo en campo												
Análisis de la composición química del PM2.5 (metales pesados), en laboratorio												
Obtención de datos y su procesamiento												
Redacción de informe final de tesis												
Sustentación de tesis												

Fuente: Elaboración propia

V.2. Recursos Humanos

Tabla 9

Recurso Profesional

Recurso Humano	Descripción	Cantidad
Asesor principal	Especialista en el tema de investigación	01
Co-Asesor	Especialista en el tema de investigación	01
Bach. Ingeniería	Ejecutor de la investigación	01

Fuente: Elaboración propia

V.3. Bienes

V.3.1. Materiales

- Hoja bond
- Lapiceros
- sobre manila
- Placas Petri para filtro de 47mm
- Extensión de 10 mt
- Juego de llaves Inglesas

V.3.2. Equipos

- 02 Muestreadores de bajo volumen – PARTISOL 200i
- 02 Estaciones Meteorológica
- Analizador de NOx
- Analizador de SO2
- Analizador de CO
- Analizador Material Particulado
- Laptop

V.3.3. Software

- Software R Studio

- Software de Python
- Software ArcGis
- Software Serfer
- Software Excel
- Software Origin

V.4. Servicios

- Análisis de composición química en laboratorio

V.5. Fuentes de financiamiento y presupuesto

IV.1.3. Fuente de financiamiento

El financiamiento de la presente investigación en su mayoría será financiado por el Proyecto de Investigación “Composición Química y variabilidad espacio-temporal del pm2.5 y pm10 en la provincia de Ilo (costa suroeste del Perú) como estrategia en la gestión de calidad del aire”, bajo resolución de comisión organizadora N° 0833- 2019 UNAM.

IV.1.4. Presupuesto

Tabla 10

Presupuesto del Proyecto

ÍTEM	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO S/.	VALOR TOTAL, S/.
Pasantía y/o capacitación				
Pasantía nación o Internacional	Unidad	1	5 000	5 000
Equipos				
Laptop	Unidad	1	-	-
Muestreador de Bajo volumen – Partisol 2000i	Unidad	2	-	-

Estación Meteorológica	Unidad	2	-	-
Analizador de NOx	Unidad	1	-	-
Analizador de SO2	Unidad	1		
Analizador de CO	Unidad	1		
Analizador de Material Particular	Unidad	1		
Laptop	Unidad	1		
Materiales de escritorio				
Papel bond A4	Millar	2	-	-
Sobre manila	Unidad	20	-	-
Lapiceros	Unidad	2	-	-
Placas Petri	Unidad	70	-	-
Extensión de 10 mt	Unidad	2	-	-
Juego de llaves inglesas	Unidad	2	-	-
Servicios				
Análisis en laboratorio		70	200	14 000
Software				
Software Rstudio	Unidad	1	-	-
Software Python	Unidad	1	-	-
Software ArcGis	Unidad	1	-	-
Software Serfer	Unidad	1	-	-
Software Excel	Unidad	1	-	-
Software Origin	Unidad	1	-	-
Sub total				19 000
Otros gastos				1 000

Total				S/. 20 000
--------------	--	--	--	------------

Fuente: Elaboración propia

V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aire, O. D. E. L., & Efectos, S. U. S. (n.d.). *Ontaminantes del aire y sus efectos. x.*
- 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 atmosféricos 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.
- Banco Central De Reserva Del Perú Sucursal Arequipa Caracterización Del Departamento De Moquegua I. (2014). 1–12.
- 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). *Gestión de la Calidad del Aire Causas, Efectos y Soluciones.* Instituto 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 Epidemiología*, 51(2), 226–238.
- Córdova-mendoza, P. (2021). *aire en Ica, Perú Introducción.* 33(1), 138–153.
- De la Cruz, M. (2015). Concentración de contaminantes del aire generado por las fuentes móviles 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>
- Echeverri, C. (2019). *Contaminación atmosférica (Primera Ed).* Ediciones de la U.

- Elsom, D. (1990). La contaminación atmosférica, 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., Guizzellini, 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>
- Hilario, N. (2017). *Emisiones contaminantes de vehiculos del distrito de Huancayo*. 10–11.
- 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.
- INEI. (2017). Peru: Crecimiento y distribución de la población total, 2017. Población censada más población omitida. *Journal of Chemical Information and Modeling, 53(9)*, 76. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1673/libro.pdf
- Informe sobre Desarrollo Humano. (2010). In *Relaciones Internacionales* (Issue 14).
- 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>
- 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>
- Ji, D., Cui, Y., Li, L., He, J., Wang, L., Zhang, H., Wang, W., Zhou, L., Maenhaut, W., Wen, T., & Wang, Y. (2018). Characterization and source identification of fine particulate matter in urban Beijing during the 2015 Spring Festival. *Science of the Total Environment, 628–629*, 430–440. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.304>
- 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>
- 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 PM_{2.5} 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 (PM_{2.5}/PM_{1.0}) 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 PM_{2.5} during the COVID-19 lockdown in Delhi. *Environment International*, 153(December 2020), 106541.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106541>
- MINAM, M. del ambiente. (2019). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire* (p. 102). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad>
- 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 Aruahuanca, L., & Herrera Rejas, M. (2019). Evaluación De La Concentración De Polvo Atmosférico Sedimentable Y Material Particulado (Pm_{2.5}, Pm₁₀) Para La Gestión 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>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232.
<https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pey, J., Alastuey, A., Querol, X., Pérez, N., & Cusack, M. (2010a). 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>
- Pey, J., Alastuey, A., Querol, X., Pérez, N., & Cusack, M. (2010b). 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, PM2.5 composition, 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>
- 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, Z., Elena, C., Hurtado, Q., Vásquez, M., Marcela, C., & Gaviria, L. (2009). Fortalecimiento De La Red De Monitoreo De Calidad De Aire En El Valle De Aburra Con Medidores Pasivos. *Gestión y Ambiente*, 11(1), 67–84.
- 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 Protection Agency (USEPA). (2009). *Integrated Science Assessment for Particulate Matter. December 2009*, 61.
- Valdivia, S. A. P. (2016). Analisis Temporal Y Espacial De La Calidad Del Aire Determinado Por Material Particulado Pm 10 Y Pm 2 , 5 En Lima Metropolitana. *Anales Científicos*, 77(2), 273–283.
- 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>
- Wang, Y., Jia, C., Tao, J., Zhang, L., Liang, X., Ma, J., Gao, H., Huang, T., & Zhang, K. (2016). Chemical characterization and source apportionment of PM2.5 in a semi-arid and petrochemical-industrialized city, Northwest China. *Science of the Total Environment*, 573, 1031–1040. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.179>

MATRIS DE CONSISTENCIA

INDICE

