



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“Estudio comparativo de niveles de material particulado PM10 y PM2.5  
según regiones en Perú período 2015–2019”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Industrial**

AUTOR:

López Oblitas, Luis Enrique (ORCID: 0000-0001-5154-8090)

ASESOR:

Ing. Mario Roberto Seminario Atarama (ORCID: 0000-0002-9210-3650)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistema de Gestión de la Calidad

PIURA - PERÚ

2020

### **DEDICATORIA:**

Esta tesis se la dedico a mis padres, que sin ellos no hubiera logrado una meta importante en mi vida. Gracias por estar conmigo dándome su apoyo moral y brindándome entusiasmo para seguir adelante en mis propósitos.

A Dios por concederme a los mejores padres que me guían día a día para ser un profesional hecho y derecho, teniendo como ejemplos a ellos.

### **AGRADECIMIENTO:**

Por el esfuerzo, dedicación, paciencia, por su confianza y por todo lo que me ha dado a lo largo de mi carrera y de mi vida, este Proyecto de titulación va para ti mamá.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARATULA

<b>DEDICATORIA:</b> .....	I
<b>AGRADECIMIENTO:</b> .....	II
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	III
<b>ÍNDICE DE TABLAS:</b> .....	IV
<b>RESUMEN</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VI
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	5
<b>III. METODOLOGIA</b> .....	11
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	11
3.2. Variables, operacionalización .....	11
3.3. Población, muestra y muestreo .....	15
3.5. Método de análisis de datos .....	18
3.6. Procedimientos .....	19
3.7. Aspectos éticos .....	20
<b>IV.-RESULTADOS</b> .....	21
<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	32
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	35
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	37
<b>ANEXOS</b> .....	43

## ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 2: Matriz De operacionalización .....	12
Tabla 3: Población, muestra y muestreo.....	15
Tabla 4: Matriz de análisis documental.....	17
Tabla 5: Eficiencia de componentes tecnológicos .....	21
Tabla 6: Equipos más recomendados.....	22
Tabla 7: Comparación entre países – PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> .....	23
Tabla 8: Relación PM 2.5/PM 10 para diferentes ciudades y países del mundo.....	24
Tabla 9: Estándares de calidad del aire para PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> – OMS.....	25
Tabla 10: Estándares de calidad del aire para PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> – ENCA.....	26
Tabla 11: Evaluación comparativa de PM <sub>2.5</sub> entre los años 2002-2003 con el año 2017.....	27
<b>Tabla 12:</b> Cuidados y recomendaciones según categoría de calidad del aire .....	28
Tabla 13: Niveles de material particulado PM 10 y PM 2.5 según Regiones para el período 2015 – 2019.....	29
Tabla 15: Factores de incidencia en la formación de PM 10 y PM 2.5 según Regiones .....	31

## RESUMEN

El presente estudio se trazó como objetivo realizar un análisis comparativo de los niveles de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en Perú 2015 – 2019, para lo cual se utilizó como metodología la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios. Entre los resultados obtenidos se obtuvo que las tecnologías más utilizadas para el control de las emisiones de material particulado corresponden a: Ciclones, Multiciclones, lavador Venturi, precipitador electrostático y filtros de mangas.

La investigación arribó a las siguientes conclusiones: el estado del arte de material particulado evidencia que existen diversas tecnologías, equipos, procedimientos y estadísticas; en cuanto al estado actual, los artículos científicos consultados sostienen que hay más concentración de material particulado  $PM_{2.5}$  en relación al  $PM_{10}$ ; respecto a las características de material particulado por Regiones se presenta diferencias bien marcadas pues hay Regiones que superan los estándares de calidad del aire establecidos en el Perú, en cambio en otras sucede lo contrario; en relación a los factores que inciden en los niveles de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en las Regiones de la costa y selva predominan los generados por actividades económicas y en las de la Sierra los de fenómenos atmosféricos, geográficos.

Palabras clave; material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , niveles de concentración, estándares de calidad del aire, características del  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , Regiones.

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to carry out a comparative analysis of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> levels of particulate matter in Peru 2015 - 2019, for which the search, recovery, analysis, criticism and interpretation of secondary data was used as a methodology. Among the results obtained, it was obtained that the most used technologies for the control of particulate matter emissions correspond to: Cyclones, Multicyclones, Venturi scrubber, electrostatic precipitator and bag filters.

The research reached the following conclusions: the state of the art of particulate material shows that there are various technologies, equipment, procedures and statistics; Regarding the current state, the scientific articles consulted maintain that there is a higher concentration of PM<sub>2.5</sub> in relation to PM<sub>10</sub>; Regarding the characteristics of particulate material by Regions, there are well-marked differences since there are Regions that exceed the air quality standards established in Peru, while in others the opposite occurs; In relation to the factors that influence the levels of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in the Regions of the coast and jungle, those generated by economic activities predominate and in those of the Sierra those of atmospheric, geographic phenomena.

### **Keywords:**

PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> particulate matter, concentration levels, air quality standards, characteristics of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, Regions

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica causa una serie de impactos en la vegetación, objetos, animales y el hombre, además de causar la disminución visual, debido a la absorción y dispersión de la luz por los contaminantes dispersos en el ambiente. Uno de los contaminantes atmosféricos es el material particulado (PM), este tipo de contaminantes se encuentra formado por pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, hollín, cenizas, partículas de metales, polen o cemento, que se dispersan en la atmósfera, con diámetros que le permiten mantenerse suspendidos en la atmosfera desde 10 micras a menos Arciniegas (2012). Las principales fuentes de material particulado pueden comprender fenómenos propios de la naturaleza como los incendios, emisiones de los volcanes, polvo elevado al ambiente por el viento, o pueden provenir de actividades realizadas por la mano del hombre como trabajos de la industria, labores de la agricultura o labores del sector construcción, quemas agrícolas, paso de vehículos y de aviones Martín (2005).

En su investigación Soto (2016) para su tesis de grado titulada “Determinar la calidad del aire (PM10) en una vía pavimentada (Av. Antonio Maya de Brito) y una vía no pavimentada (Av. Colonización) en el Distrito de Mantay, Provincia de Coronel Portillo – Ucayali” de la Universidad Nacional de Ucayali, tuvo como objetivo realizar el análisis comparativo del material particulado en un tamaño de 10 micras que se presenta en dos tipos de vía una con asfalto y otra sin asfalto, la metodología utilizada fue de tipo descriptiva, determinando mediante análisis gravimétrico, mediante separación y posterior pesada de los elementos particulados que decantaron que sedimentaron del aire, para una posterior determinación de las partículas PM10, obteniéndose como resultados que la cantidad de material particulado presente en la calle sin pavimentar fue de 453.68 ug/m<sup>3</sup> y en la calle con pavimento fue de 444.80ug/m<sup>3</sup>, aunque las dos vías presentan valores iguales o similares de PM 10 , estos valores sobrepasan hasta mas del triple niveles establecidos para este tipo de partículas que es 150 ug/m<sup>3</sup>.



Vasquez (2005) En su tesis de grado titulada "Evaluación y control ambiental de contaminantes debidos al tráfico rodado en la ciudad de Piura" de la Universidad de Piura, tuvo como objetivo determinar los valores de contaminación sonora, así como contaminantes más comunes del ambiente, como partículas totales en suspensión, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, plomo, así como emisiones evaporativas, la metodología utilizada en la investigación fue la metodología propuesta por la OMS para evaluaciones rápidas las conclusiones que se obtuvieron de la presente investigación fueron, que en el año 2004 que las emisiones que realizó el rodado en la ciudad de Piura fue de 914.73 Ton/año para partículas totales en suspensión, se emitió plomo al ambiente en una cantidad de 53.296 Ton/año, se emitieron una cantidad de partículas evaporativas de 5033.157 Ton/año, siendo el mayor contaminante los derivados del NO<sub>x</sub>, donde los vehículos particulares aportan mayor cantidad de contaminantes al ambiente que el transporte público, siendo las avenidas más transitadas de la ciudad las que mayor contaminación registran como la Av. Sánchez Cerro, Vice y Grau.

En la ciudad de Piura después del fenómeno El niño, la mayor parte de las pistas se encuentran en mal estado, de igual forma en los asentamientos humanos no se encuentran asfaltados los caminos, produciendo que el paso de vehículos por estas vías de transporte ocasionan que se levanten a la atmosfera una cantidad importante de material particulado, de igual forma los aviones que aterrizan o despegan en el aeropuerto por acción de las turbinas de los motores que utilizan a máxima potencia para elevarse o aterrizar, hace que el material particulado se eleve y sea dirigido por la acción del viento algunos kilómetros a la redonda de donde fueron producidos, ocasionando esto la producción de un número de enfermedades e incluso hasta muertes que hasta la fecha no se tienen un control o registro del daño que puede causar este material particulado.

Debido a que ciertas actividades producen material particulado en el ambiente y al no realizar el registro de la cantidad de material particulado que se arrojan al ambiente por las diversas actividades y en las diversas áreas de la ciudad, se mantiene el riesgo de que las personas sobre todo niños sigan sufriendo los efectos ya registrados en la publicaciones realizadas en otros países de enfermedades pulmonares y cardiacas,

que pueden llegar a ocasionar incluso la muerte, sin que ninguna autoridad, tenga el conocimiento para tomar acciones y frenar la contaminación de la atmosfera con este tipo de partículas contaminantes, que por tener un pequeño tamaño, pueden viajar por nuestras vías aéreas y llegar hasta nuestros pulmones y algunas veces transfundirse y atravesar hacia el sistema circulatorio.

En la presente investigación se realizó un estudio comparativo de niveles de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  según Regiones en Perú período 2015 – 2019, haciendo uso de los trabajos de investigación publicados en repositorios institucionales, generando información útil para que las autoridades puedan tomar decisiones y así mejorar la calidad de vida de la población.

Se realiza la siguiente interrogante principal en la investigación cuál será el nivel comparativo de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  según regiones en el Perú para el período 2015 – 2019, y se presentan las siguientes interrogantes específicas siendo la primera de ellas cuál es el estado del arte de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  presente en el contexto mundial, se tiene como segunda interrogante específica cuál será el estado actual particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en el Perú, como tercera interrogante específica se planteó cuáles son las características de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  según Regiones de acuerdo al nivel de cumplimiento de los estándares de calidad ambiental de aire en la atmosfera período 2015 2019, como cuarta interrogante específica se tiene cuáles son los factores que inciden según Regiones en los niveles de material particulado  $PM_{10}$  Y  $PM_{2.5}$

El objetivo principal de la investigación fue realizar un análisis comparativo de niveles de material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  según repositorio de datos históricos en Perú 2015 – 2019, se tienen como objetivos específicos: a) determinar el estado del arte del material particulado; b) determinar el estado actual del material particulado; c) Describir las características del material particulado  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  en Perú según Regiones y como objetivo específico final sistematizar los factores que inciden en los niveles de material particulado  $PM_{10}$  Y  $PM_{2.5}$ .

La presente investigación tiene una justificación técnica debido a que se realizará un

análisis comparativo de los niveles de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> según Regiones en Perú para el período 2015 – 2019 en base a estudios publicados en los repositorios institucionales y con ello conocer que áreas geográficas presentan mayor contaminación.

La justificación práctica de la investigación se basa en el análisis de las estadísticas de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por Regiones, y según período 2015 – 2019, conocer que diversidad existe en las mismas sobre dicha contaminación y en base a ellas que contribución han aportado las investigaciones realizadas sobre el tema.

La justificación metodológica se basa en que a través de esta investigación es posible demostrar como a través de fuentes documentales o secundarias es posible conocer la realidad de las diferentes Regiones del Perú para un período definido, y sobre un tema que tiene que ver con la calidad de vida de poblaciones de áreas geográficas diversas.

La relevancia social consiste en que se puede establecer medidas correctivas para disminuir o mitigar el material particulado que se encuentre en el ambiente, una vez se determinen las causas que los originen, además de que se establezcan la variación de las mediciones con relación a los límites máximos permisibles, lo que contribuirá a la mejora de la salud de la población, y a la mejora de la calidad de vida de los mismos.

## II. MARCO TEÓRICO

Como antecedentes tomados como base para nuestra investigación tenemos a Ramirez (2008) en sus tesis de grado titulada “Determinación de material particulado fino en las escuelas públicas elementales del distrito de aguas II” de la Universidad de Turabo en Puerto Rico, tuvo como objetivo medir la cantidad de material suspendido en el aire de tipo particulado en un tamaño de 2.5 micras que se encuentra en las Escuelas públicas del distrito de aguas en Puerto Rico, la metodología de la investigación fue de tipo descriptiva donde se tomaron muestras de la calidad del aire tanto exterior como al interior de las instalaciones escolares obteniéndose como conclusiones de la investigación que los ambientes escolares no exceden los límites máximos permitidos para la presencia de partículas contaminantes del aire en un tamaño de PM 2.5, según lo que establece OSHA y EPA, pero durante algunas tomas de muestra los límites si excedieron los limites dispuestos, que pueden llegar a causar enfermedades respiratoria y cardiacas en personas que se ven afectadas por esta contaminación de ambiente.

De igual forma se tomó como base la investigación de Opazo (2011) en su tesis de grado titulada “Distribución espacial de la contaminación por material particulado y sus relación con las temperaturas del aire y los vientos en Santiago para el año 2009” de la Universidad de Chile, tuvo como objetivo evaluar la relación que existe entre el material particulado que se encuentra en el ambiente con las temperaturas atmosféricas y los vientos superficiales que ocurren en la capital chilena, la metodología empleada en la investigación de tipo descriptiva se realizó haciendo uso de los datos de la red de monitoreo automático de la calidad del aire que se encuentran distribuidos en la ciudad de Santiago, determinando la fecha y la hora de la toma de los datos, teniendo en cuenta los parámetros de viento y las temperaturas en las mismas zonas de monitoreo los días y fechas específicas, las conclusiones a las que se llegaron en la investigación fueron que en Santiago la contaminación por material particulado se presenta en otoño e invierno, con altos registros de partículas en el ambiente, se evidenció una relación entre el material particulado y la temperatura

atmosférica debido a que en los lugares con mayor cantidad de material particulado en el ambiente, presentó mayores niveles de temperatura, marcando distintos sectores de la ciudad, donde existe menos cantidad de material particulado y menor temperatura a la misma hora del día que en otros sectores de la misma ciudad con mayor cantidad de material particulado y mayor temperatura, y se puede evidenciar que debido al movimiento vientos o brisas estas, trasladan las partículas en suspensión hacia las zonas más de la ciudad donde sea mayor concentración de este material particulado.

De igual forma otra tesis tomada como antecedente se presenta a Giménez (2018) en su tesis de grado titulada “Análisis de la afección por material particulado, periodo 2017 Puerto Quequén” de la Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires, tuvo como objetivo lograr realizar el diagnóstico de la situación del material particulado en el ambiente del área portuaria durante el año 2017, y lograr asociar esta contaminación con las distintas afecciones de salud que presentan las personas que se encuentran en el área de influencia de este puerto, la metodología utilizada en la investigación de tipo exploratoria fue establecer una red de monitoreo del material particulado en el puerto Quequén, además de realizar visitas guiadas al puerto y establecer entrevistas con distintas personas presentes en el lugar, utilizando la norma ASTM 1739/98 determinando el material particulado soluble como insoluble en agua expresándolo en  $\text{mg}/\text{cm}^3$  en 30 días. Las conclusiones que se obtuvieron de la investigación fueron que la cantidad de material macro particulado en el ambiente del puerto Quequén durante el periodo de estudio superaron las disposiciones de calidad ambiental establecidas por la Provincia de Buenos Aires en Argentina, siendo los valores de  $0.50 \text{ mg}/\text{cm}^2$  y el valor máximo de  $1.5 \text{ mg}/\text{cm}^2$ .

En su investigación Soto (2016) para su tesis de grado titulada “Determinación de la calidad del aire por material particulado (PM10) en una vía pavimentada (Av. Antonio Maya de Brito) y una vía no pavimentada (Av. Colonización) en el Distrito de Mantay, Provincia de Coronel Portillo – Ucayali” de la Universidad Nacional de Ucayali, tuvo como objetivo realizar el análisis comparativo del material particulado en un tamaño

de 10 micras que se presenta en dos tipos de vía una con asfalto y otra sin asfalto, la metodología utilizada fue de tipo descriptiva, determinando mediante análisis gravimétrico, mediante separación y posterior pesada de los elementos particulados que decantaron que sedimentaron del aire, para una posterior determinación de las partículas PM10, obteniéndose como resultados que la cantidad de material particulado presente en la calle sin pavimentar fue de 453.68 ug/m<sup>3</sup> y en la calle con pavimento fue de 444.80ug/m<sup>3</sup>, aunque las dos vías presentan valores similares de material particulado de un tamaño de 10 micras, estos valores sobrepasan hasta más del triple los límites máximos establecidos para este tipo de partículas que es 150 ug/m<sup>3</sup>.

Otra investigación tomada como base de la investigación está Valdera (2018) en su tesis de grado titulada “Evaluación de los niveles de contaminación del material macro particulado generado en la producción de ladrillo artesanal de arcilla en el sector Chacupe Alto carretera Chiclayo a Monsefú” de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, tuvo como objetivo evaluar la cantidad de material particulado PM10 Y Pm 2.5 que genera la industria de del ladrillo en la Empresa ITAL Perú SAC en la ciudad de Chiclayo, como parte de la metodología, se utilizó una estación meteorológica Vantage PRO 2 PLUS, que es un analizador de gases, que muestrea material particulado de 10 y 2.5 micras, realizándose tres muestreos a lo largo de tres años desde el 2015 hasta el 2017 en el mes de noviembre, obteniéndose como conclusión que el material particulado que se genera como parte de la producción de ladrillo en esta empresa de Chiclayo sobrepasa los límites máximos permitidos para este tipo de contaminantes durante todas las horas de muestreo, esto debido a los mismos procesos que se efectúan como parte del sistema productivo del ladrillo, los cuales causan daño a la salud de las personas que se encuentra en el lugar.

Vasquez (2005) En su tesis de grado titulada “Evaluación y control ambiental de contaminantes debidos al tráfico rodado en la ciudad de Piura” de la Universidad de Piura, tuvo como objetivo determinar los valores de contaminación sonora, así como contaminantes más comunes del ambiente, como partículas totales en suspensión,

SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, plomo, así como emisiones evaporativas, la metodología utilizada en la investigación fue la metodología propuesta por la OMS para evaluaciones rápidas, las conclusiones que se obtuvieron de la presente investigación fueron, que en el año 2004 que las emisiones que realizó el rodado en la ciudad de Piura fue de 914.73 Ton/año para partículas totales en suspensión, 4248.732 Ton/año para SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 4332.294 Ton/año, NO<sub>x</sub> 32551.531 Ton/año, se emitió plomo al ambiente en una cantidad de 53.296 Ton/año, se emitieron una cantidad de partículas evaporativas de 5033.157 Ton/año, siendo el mayor contaminante los derivados del NO<sub>x</sub>, donde los vehículos particulares aportan mayor cantidad de contaminantes al ambiente que el transporte público, siendo las avenidas más transitadas de la ciudad las que mayor contaminación registran como la Av. Sánchez Cerro, Vice y Grau.

Se toma en la investigación como teorías relacionadas al tema, las emisiones que son el volumen de contaminantes que una determinada fuente puede emitir al ambiente, contaminando esencialmente el aire, expresándose el grado de emisiones como kilogramos de contaminantes que se emiten por día o alguna unidad equivalente a estas, estas emisiones así sean de la misma fuente, pueden ser muy cambiantes con respecto al tiempo e incluso los componentes de los contaminantes pueden variar con respecto al tiempo debido esto a las condiciones en las que son operadas las fuentes de emisiones Mihelcic & Zimmerman (2012).

Clasificación de las emisiones se pueden realizar debido al contaminante en específico, de acuerdo a la fuente donde se produzcan, se clasifican en fuentes estacionarias, puntuales y móviles, de acuerdo al tipo de liberación, en esta última se clasifican como contaminantes naturales, como emisiones permitidas, emisiones fugitivas o emisiones accidentales Mihelcic & Zimmerman (2012).

Para calcular las emisiones se utilizan cuatro métodos los cuales son la medición directa donde se realiza un muestreo de los contaminantes que se emiten al ambiente mediante un muestreo en la corriente directa de descarga, lo cual es difícil para obtener la muestra debido a factores como el calor, humedad, velocidad de la descarga, generalmente se deja un equipo de monitoreo fijo sobre la pila de la descarga para mantener datos constantes de las emisiones; el segundo método de muestreo es el

enfoque del balance de masa que consiste en medir de forma indirecta la cantidad de emisiones, conociendo la sustancia que se encuentra dentro del proceso, y los desechos que origina, puede ser útil para medir las emisiones fugitivas o accidentales; el tercer método es el modelado del factor de proceso intentando describir las emisiones por medio de funciones matemáticas o información relevante del proceso, tratando de integrar la física y la química del proceso, para determinar los contaminantes específicos que son emitidos al ambiente; El modelado del factor de emisiones, mediante este método se calcula la cantidad de contaminantes relacionados con un tipo de fuente de emisión, multiplicando la cantidad de producto que se encuentra en el proceso, y mediante un factor establecido, se puede obtener la cantidad de contaminantes que se liberaron al ambiente de forma indirecta Mihelcic & Zimmerman (2012)

Un contaminante del aire es el material particulado, el cual se conforma de sustancias líquidas y sólidas que se encuentran en suspensión en el aire, donde el diámetro de estas partículas tienen una variación y su origen es diverso, clasificándose este tipo de sustancias por la aerodinámica que presentan, siendo esta propiedad importante para que estos materiales sean transportados por el aire a distintos ambientes, incluyendo el ingreso en las vías respiratorias y desde este lugar ingresar al torrente sanguíneo, causando afecciones o enfermedades a las personas que están en contacto con estos tipos de ambientes donde abunda el material particulado en suspensión. El tipo de partículas que conforman a este material particulado por su tamaño se pueden clasificar en gruesas, finas, ultrafinas y nano partículas, teniéndose en consideración que las partículas gruesas y finas se expresan en unidades de masa, mientras que las partículas ultrafinas y nano partículas se expresan en función a la cantidad contenida en una unidad de área determinada, el número de partículas ultrafinas y nano partículas se encuentran presentes como contaminantes atmosféricos en mayor cantidad pero su masa es insignificante comparada con las partículas finas o gruesas que son menor cantidad pero por su tamaño comprenden mayor masa Hilario (2017).

Las normas ambientales en la mayor parte de países mencionan seis contaminantes



de la calidad del aire como los criterios básicos para medir la contaminación del mismo, estos contaminantes son dióxido de carbono, plomo, dióxido de nitrógeno, ozono a nivel de la tierra, dióxido de azufre y dos tipos de partículas en suspensión, estos parámetros debían ser medidos durante un periodo mínimo de 8 horas, el estándar de partículas en suspensión en un inicio no incluía el tamaño de las partículas pero en el año de 1987 se incluyó que la medida de estas partículas debe de ser con un diámetro igual o mayor a 10 micrones (PM10), en 1997 se adicionaron tamaños más pequeños de 2.5 micras, siendo este estándar con un límite máximo de entre 65 a 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en la actualidad el tiempo de medición de PM10 es de una media anual de 24 horas, siendo el mismo tiempo de medición para PM 2.5, y el estándar según las normas ambientales de calidad del aire y estándares de california de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10 y 15 – 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2.5, disminuyendo según los estándares de California a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10 y 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM2.5, siendo las enfermedades que provoca estas partículas las siguientes agravamiento del asma, tos, respiración dolorosa, bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar, muerte prematura de enfermos del corazón y los pulmones Mihelcic & Zimmerman (2012).

### **III. METODOLOGIA**

#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

La investigación empleada es de tipo documental, debido que está basado en un proceso de búsqueda, y recolección de datos, realizando análisis crítico e interpretación de los datos secundarios, es decir, los encontrados y registrados por autores en investigaciones documentales que pueden ser: impresa, audiovisuales ARIAS (2012)

La presente investigación es de tipo no experimental, debido a que no se realizará la manipulación de las variables, sino que solamente se trabajará con las variables tal y como se presentan en la naturaleza TAM, VERA, & OLIVEROS (2008).

La investigación es transeccional debido a que solamente se tomaran valores de las variables que se generen durante el periodo de estudio, no tomando en cuenta los valores que se generen antes o luego de la investigación HERNANDEZ, FERNANDEZ, & BAPTISTAL (1997).

#### **3.2. Variables, operacionalización**

Variable es el elemento que se puede medir, controlar o manipular en una Investigación, que pueden tener cambios frecuentes o probables. También obtienen valores diferentes, los que pueden ser cuantitativos o cualitativos. (Núñez Flores, 2007)

**Tabla 1:** Matriz De operacionalización

<b>Variabl e</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Categorías</b>	<b>Sub categorías</b>	<b>Unidad de análisis</b>
Material particulado	El material particulado presentes en las atmósferas se puede dividir, según su tamaño, en dos grupos principales.	Describir el estado del arte de material particulado	Estado del arte del material particulado	Técnicas, equipos, proceso, indicadores	Aspectos técnicos Arciniégas (2011) Métodos de medición Rojano, Angulo y Restrepo (2013) Métodos e instrumentos Galvis y Rojas (2006)
	A las de diámetro de de 10 micras que son PM <sub>10</sub> y a la fracción	Describir el estado actual del material particulado.	Estado actual del material particulado.	Niveles de material particulado PM <sub>10</sub>  Niveles de material particulado PM <sub>2.5</sub>	Métodos de medición Mihelcic & Zimmerman (2012).  Impacto sanitario Ramírez (2008)

	respirable más pequeña, de 2,5 micras que son PM <sub>2,5</sub> . Linares y Díaz (2008).	Describir las características del material particulado PM 10 y PM 2.5 en Perú según Regiones, período 2015-2019	Características del Material particulado según Regiones	Características del material particulado PM <sub>10</sub>	Clasificación de las emisiones. Hilario (2017) Niveles de contaminación. Valdera (2018). Soto (2016).
				Características del material particulado PM <sub>2.5</sub>	Clasificación de las emisiones. Hilario (2017) Niveles de contaminación. Valdera (2018). Soto (2016).
			Estándares de calidad ambiental.	Cumplimientos de los indicadores de calidad ambiental del aire para material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> según regiones.	Normas ambientales. Mihelcic & Zimmerman (2012). Control ambiental Vásquez (2005)
		Sistematizar			Relación entre temperatura y

		los factores que inciden en la formación de material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> en Perú, según Regiones	Factores que inciden en la formación de material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> según Regiones	Factores geológicos, climatológicos, atmosféricos.	material particulado Opazo (2011) Impacto de la temperatura en el material particulado. Impacto de Factores geológicos, climatológicos, atmosféricos. en el material particulado. Giménez (2018)
				Factores industriales, transporte, sanitarios.	Relación entre humedad relativa y material particulado Opazo (2011) Impacto de la humedad relativa en el material particulado. Giménez (2018) Impacto de los Factores industriales, transporte, sanitarios en el material particulado.

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3. Población, muestra y muestreo

La población captada para esta investigación es finita, la recolección de información documental se ha encontrado en fuentes como: informes, investigaciones científicas, reportes institucionales y en leyes. La información recopilada fue seleccionada con criterio innovativo y estratégico.

**Tabla 2:** Población, muestra y muestreo

<b>CATEGORIA</b>	<b>SUBCATEGORIAS</b>	<b>POBLACIÓN</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>MUESTREO</b>
Estado del arte	Técnicas	Informe	1	-
	Equipos	Informe	2	-
		Investigaciones científicas	2	-
	Procesos	Informe	1	-
	Indicadores	Reportes institucionales	1	-
Estado actual de la medición de material particulado	Niveles de material particulado PM <sub>10</sub>	Informe	1	-
		Reportes institucionales	1	-
	Niveles de material particulado PM <sub>2.5</sub>	Reportes institucionales	1	-
		Informe	4	-
Características del Material particulado	Características del material particulado PM <sub>10</sub> .	Investigaciones científicas	2	-

según Regiones				
	Características del material particulado PM <sub>2.5</sub> .	Investigaciones científicas	6	.
Estándares de calidad ambiental.	Cumplimientos de los indicadores de calidad ambiental del aire para material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> según regiones.	Investigaciones científicas	3	-
		Informes	3	-
	Decreto supremo	1	-	
Factores que inciden en la formación de material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> según Regiones.	Factores geológicos, climatológicos, atmosféricos.	Investigaciones científicas	4	-
	Factores industriales, transporte, sanitarios.	Reportes institucionales	2	-

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validación y confiabilidad de los instrumentos

Técnica: análisis de los documentos diversos: Trabajos de investigación (Tesis), artículos de revistas científicas, informes institucionales, ha permitido que los

mismos se han categorizado según unidad de análisis de la presente investigación.

Observación documental indirecta

Validez de contenido: La información de las fuentes documentarias, ha sido validada por el Dr. /Econ. Juan Francisco Crisanto Quispe, en cuanto a la pertinencia de cada categoría y unidad de análisis, su readaptación y coherencia con respecto a la variable de la investigación.

Confiabilidad: no es medida, porque ésta sujeta a criterios propios para la selección del material informativo.

**Tabla 3:** Matriz de análisis documental

<b>Objetivo general:</b> Análisis comparativo de niveles de material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> según repositorio de datos históricos en Perú 2015 – 2019			
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>CATEGORÍAS</b>	<b>SUBCATEGORÍAS</b>	<b>UNIDAD DE ANÁLISIS</b>
Describir el estado del arte de material particulado	Estado del arte del material particulado	Técnicas, equipos, proceso, indicadores.	Aspectos técnicos Arciniégas (2011) Métodos de medición Rojano, Angulo y Restrepo (2013) Métodos e instrumentos Galvis y Rojas (2006)
Describir el estado actual del material particulado.	Estado actual de la medición de material particulado	Niveles de material particulado PM <sub>10</sub>	Métodos de medición Mihelcic & Zimmerman (2012).
		Niveles de material	Impacto sanitario



		particulado PM <sub>2.5</sub> .	Ramírez (2008)
Describir las características del material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> en Perú según Regiones, período 2015-2019.	Características del Material particulado según Regiones	Características del material particulado PM <sub>10</sub> .	Hilario (2017) Valdera (2018). Soto (2016).
		Características del material particulado PM <sub>2.5</sub> .	Hilario (2017) Valdera (2018). Soto (2016).
	Estándares de calidad ambiental.	Cumplimientos de los indicadores de calidad ambiental del aire para material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> según regiones.	Mihelcic & Zimmerman (2012). Vásquez (2005)
Sistematizar los factores que inciden en la formación de material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> en Perú, según Regiones	Factores que inciden en la formación de material particulado PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> según Regiones.	Factores geológicos, climatológicos, atmosféricos.	Opazo (2011) Giménez (2018) Opazo (2011) Giménez (2018)
		Factores industriales, transporte, sanitarios.	

Fuentes: Elaboración Propia.

### 3.5. Método de análisis de datos

EL Método de análisis utilizados es de datos cualitativo, que es un proceso creativo y dinámico que nos permite obtener conocimiento de una masa de datos heterogéneos en forma narrativa o textual. Los datos cualitativos pueden proceder de una cantidad de fuentes y tener formato de audio, de texto, de imagen o de vídeo.

En este caso se optó por buscar en Redalyc, repositorios de investigaciones científicas, reportes empresariales, reportes institucionales y algunas páginas web

- REDALYC: Es un sistema virtual que nos ayuda con las búsqueda de información necesario con revistas o investigaciones científica y con fuentes de la región, cuentan con 16 años de dar apoyo en la afianzamiento de las revistas, actualmente ayuda de manera exclusiva a las investigaciones que comparten sin fines de lucro para mantener la confianza, el profesionalismo académico y abierta de la comunicación científica, de cualquier punto de la región.
- Repositorios de investigaciones científicas: Son instalaciones virtuales donde se pueden encontrar los resultados de la investigación científica. Según su ámbito y objeto, pueden ser temáticos, multidisciplinarios, de objetos de aprendizaje o institucionales.
- Reportes institucionales: es una base de datos de información respecto de las aprendizajes, capacidades y niveles de desempeño que han logrado los alumnos, en distintas áreas evaluadas, así como también de información de contexto y de factores asociados al aprendizaje de la respectiva.

### 3.6. Procedimientos

En el análisis y obtención de información de las fuentes documentarias, se ha utilizado el siguiente procedimiento:

- Elegir el tema

- Búsqueda de referencias especializadas
- Elaboración de las fichas bibliográficas
- Clasificación de las fuentes de acuerdo a su importancia
- Elaborar un esquema
- Lectura de los capítulos de las obras escogidas.
- Se elaboraron las fichas según el esquema
- Elaborar el borrador
- Pasar a limpio.

### 3.7. Aspectos éticos

Se ha respetado el derecho de autoría de los diferentes documentos utilizados en el presente trabajo de investigación, así como las organizaciones e instituciones de los cuales provienen dichos artículos y las revistas de carácter científico.

Se ha tomado en cuenta el Reglamento de trabajo de investigación de la UCV, en cuanto a la originalidad de la Tesis.

#### IV.-RESULTADOS

Para la determinación del estado del arte de material particulado, las investigaciones y estudios encontrados se organizaron de acuerdo a la técnica, equipos, procedimientos y estadísticas.

Algunos estudios evidencian que la tecnología de puntos de control de fuentes fijas de emisión efectivamente recogen información en tiempo real y de forma eficiente. Para lo cual hacen uso de ciclones, multiciclones, lavadores Venturi, precipitador electrostático y filtros de manga. En la siguiente tabla se presenta la eficiencia de dichos componentes tecnológicos.

**Tabla 4:** Eficiencia de componentes tecnológicos

<b>Componentes tecnológicos</b>	<b>Eficiencia</b>
Ciclones	90%
Multiciclones	95 al 98%
Lavador Venturi	70 al 99%
Precipitador electrostático	No determinada
Filtros de manga	No determinada

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla N ° 04, se observa que los componentes de esta tecnología tienen altos niveles de eficiencia, lo que determina su preferencia.

Hay otros estudios que señalan como una tecnología para cuantificar los niveles de material particulado el establecimiento de estaciones de muestreo en red de la calidad del aire, que son conglomerado de aparatos de ciencia orientados al recojo y análisis de las muestras de aire con el propósito de determinar la calidad del mismo.

En base a las investigaciones y los estudios analizados se determinó que la

tecnología más usada para el control del material particulado son las fuentes fijas, le siguen en orden de mayor uso las redes de estación de muestreo de la calidad del aire, en zonas estratégicas implementadas con los equipos apropiados.

En relación a los aparatos para la cuantificación de componente particulado, de las investigaciones y artículos analizados, se determina que hay una diversidad de equipos para el control de material particulado, los que son colocados en diferentes estaciones de muestreo. En la tabla N °05 se detalla los equipos más recomendados en los estudios.

**Tabla 5:** Equipos más recomendados

<b>Equipos</b>	<b>Confiabilidad</b>
Equipos HANDHEL MODELO 3016 AQ	100%
Muestreadores	No determinada
Bombas de muestreo personal	No determinada
Filtros de fibra de vidrio	No determinada

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla N° 05, se determina que el equipo de mayor confiabilidad es el HANDHELD, de ahí su preferencia en relación con otros.

De los estudios analizados se infiere que hay estudios que por su confiabilidad recomiendan emplear el equipo HANDHELD 3016 AQ. Otros sugieren utilizar los muestreadores, varios se inclinan por las bombas de muestreo y finalmente otros recomiendan los filtros de fibra de vidrio.

En cuanto a los procedimientos, los estudios y artículos analizados señalan que para calcular las emisiones se utilizan cuatro métodos los cuales son: a) la medición directa, b) enfoque del balance de masa, c) modelado del factor de

proceso y d) modelado del factor de emisiones.

Las fuentes consultadas indican que existen diversos procedimientos (metodologías) de acuerdo al área geográfica a evaluar, la estación, las condiciones en las cuales se desarrolla la investigación, las características del estudio. En esencia los procedimientos aplicados buscan la medición de la calidad del aire: procedimiento mediante el cual se obtienen muestras de aire, y se analizan para determinar las concentraciones de contaminantes del aire en un espacio determinado.

En relación a la subcategoría estadísticas, la relación  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , ha sido determinada por varios estudios llevados en ciudades latinoamericanas y del mundo. Como es predecible existe diversidad en los niveles encontrados, debido a las distintas geográficas, geológicas, climatológicas, atmosféricas, y en las fuentes de contaminación que existen aun dentro de la misma ciudad, y que influyen en la distribución del tamaño del material particulado en cada sitio de monitoreo. Otras investigaciones señalan: La concentración de material particulado, se puede comparar con normas internacionales de países latinoamericanos y los resultados de comparación se muestran en la tabla 06.

**Tabla 6:** Comparación entre países –  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$

	Valor máximo permitido $PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valor máximo permitido $PM_{2.5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
México	75	45
Perú	100	50
Argentina	150	65
Villavicencio	39.82	30.11
Colombia		

Fuente: Isaza, L. & et at (2019)

De acuerdo a la tabla anterior, se realiza dicha comparación, tomando en cuenta que las características de la población y del desarrollo económico de los países son similares. Valores encontrados por varios autores para la relación PM 2.5/PM 10, en diferentes ciudades y países del mundo se presentan en la siguiente tabla 07.

**Tabla 7:** Relación PM 2.5/PM 10 para diferentes ciudades y países del mundo

<b>Lugar</b>	<b>Fuente</b>	<b>Relación PM2.5/PM10</b>
Ciudad de México, México	Romieu, et al., 1997	0.50 – 0.70
Santiago, Chile	Romieu, et al., 1997	Invierno 0.60 Verano 0.40
Birmingham, UK	Harrison et al, 1997	Invierno 0.80 Verano 0.50
Italia	D’Innocenzio et al. 1998	0.58
Holanda	Jannsen et al, 1997	0.57
Alemania	Kainka et al, 1997	0.70 – 0.80
España	Rodríguez et al, 2003	País Vasco 0.74 Islas Canarias 0.40 Barcelona 0.60 Tarragona 0.62
Estados Unidos	US. EPA, 2003	Este 0.75 Centro 0.52

		Oeste 0.53
Sidney, Australia	Cohen D. 1999	0.29 – 0.53
Hong Kong, China	Ho K. et al 2003	0.53 – 0.78

Fuente: Rojas, N. y Galvis, B. (2005)

Según la tabla N° 07, efectivamente se constata la diferencia de indicadores de países con niveles de crecimiento y desarrollo diferentes, confirmando la teoría.

Para determinar el estado actual del material particulado en el Perú, se ha tomado en cuenta para efectos de comparación las directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire publicadas en 2005, que se muestran en la tabla N° 08, como orientación general relativa a límites para contaminantes atmosféricos, clave que entrañan riesgos sanitarios.

**Tabla 8:** Estándares de calidad del aire para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> – OMS

<b>ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE</b>			
<b>CONTAMINANTE</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>VALOR (ug/m<sup>3</sup>)</b>	<b>REFERENCIA</b>
Partículas gruesas PM 10	Anual	20	Estándar internacional de calidad ambiental del aire - OMS
	24 horas	50	
Partículas finas 2.5	Anual	10	
	24 horas	25	

Fuente: Organización Mundial de la Salud – OMS

Estudios realizados en Perú sobre PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, los resultados indican: Uno de los problemas resaltados fue la alta contaminación de Lima, pues los grados de material particulado (PM<sub>2.5</sub>) estaban por encima de la norma tanto del Perú



(20 ug/m<sup>3</sup> ) como de la OMS (10 ug/m<sup>3</sup> ). Además se indica que Lima tiene la mayor contaminación del aire exterior de América Latina (38 ug/m<sup>3</sup>). El mismo reporte muestra que la zona de Lima Norte es la más contaminada. Así mismo hay regiones en el Perú que superan los estándares de calidad del aire – ECA tanto nacionales como de la OMS.

Con respecto a las características del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> según Regiones en el Perú, a fin de comparar los resultados de las investigaciones y estudios sobre las características del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por Regiones con las directrices del Perú en cuanto a la calidad del aire, en la tabla N° 09 se presentan los Estándares nacionales de calidad del aire, de acuerdo al D.S. 003-2017-MINAM.

**Tabla 9:** Estándares de calidad del aire para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> – ENCA

<b>ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE</b>			
<b>CONTAMINANTE</b>	<b>PERÍODO</b>	<b>VALOR (ug/m<sup>3</sup>)</b>	<b>REFERENCIA</b>
Partículas menores a 2.5 micras	Anual	25	Estándar de calidad ambiental del aire (Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM)
	24 horas	50	
Partículas menores a 10 micras	Anual	50	
	25 horas	100	

Fuente: Torres, B. (2017).

En cuanto a la tendencia de las características del material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> según Regiones para el período analizado 2015 – 2019, por los estudios se evidencia una mayor concentración en emisiones generadas por actividades productivas y de servicio. La aplicación de políticas públicas de control de la calidad del aire ha logrado en algunas Regiones como Lima controlar los niveles de dicho material particulado.

De los estudios anteriores, relacionados con las características de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por Regiones para el período 2015 – 2019, se

concluye que hay una diversidad de indicadores, pues hay regiones que el comportamiento de la concentración de material particulado se debe al desarrollo de actividades productivas que generan emisiones, elevando las cantidades de este material particulado, superando los límites establecido en los estándares nacionales de la calidad del aire ECA y de la OMS. Entre estas actividades están la industria, la minería, la fabricación de ladrillo, el transporte terrestre y aéreo, la quema de desechos agrícolas. Estadísticas referentes se muestran en la tabla N° 10

**Tabla 10:** Evaluación comparativa de PM<sub>2.5</sub> entre los años 2002-2003 con el año 2017

<b>PARTÍCULAS MENORES A 2.5 MICRAS</b>					
<b>Fecha</b>	<b>E-1</b>	<b>E-2</b>	<b>E-3</b>	<b>E-4</b>	<b>ECA (24 h)</b>
	<b>Exconsulado de Brasil</b>	<b>Ministerio de transporte</b>	<b>Facultad de medicina</b>	<b>Exmolinera Iquitos Yulfo</b>	
<b>2002</b>	<b>28,35</b>	<b>49,42</b>	<b>37,47</b>	<b>74,12</b>	<b>50</b>
<b>2003</b>	<b>59,20</b>	<b>85,90</b>	<b>51,00</b>	<b>65,60</b>	<b>50</b>
<b>2017</b>	<b>63,20</b>	<b>76,27</b>	<b>61,69</b>	<b>68,18</b>	<b>50</b>

Fuente: Torres, B. (2017)

En la tabla anterior se observa que la tendencia para el período es a crecer los niveles de material PM 2.5. Hay Regiones que la cantidad de material particulado PM 10 y PM 2.5 presenta las características de emisiones debido a aspectos geológicos, atmosféricos, velocidad del viento, de lluvia y de altura. Algunas superan los límites estándar de la calidad del aire, mientras que otras sus valores están por debajo de dichos indicadores. Lima, presenta zonas como la norte donde los niveles de PM 10 y PM 2.5 superan los estándares de calidad del aire

– ECA y dicho material presenta como característica la concentración de emisiones debido al crecimiento económico de la capital, y que tiene que ver con actividades como la manufactura, transporte terrestre, marítimo, pollerías.

Los últimos trabajos científicos sugieren que particularmente las partículas procedentes del tráfico urbano, está asociado al creciente desarrollo del asma y alergias en la población infantil. Siendo las enfermedades que provoca estas partículas de material particulado PM 10 y PM 2.5 las siguientes: agravamiento del asma, tos, respiración dolorosa, bronquitis crónica, disminución de la función pulmonar, muerte prematura de enfermos del corazón y los pulmones. Por ejemplo un estudio realizado en Lima, dio como resultado una prevalencia alta de asma en niños expuestos a la contaminación de PM 2.5 y que hubo un aumento de los síntomas asmáticos con el incremento del tráfico vehicular.

Respecto al cumplimiento de los indicadores de calidad ambiental del aire para material particulado PM 10 y PM 2.5 según regiones. Cada categoría corresponde al nivel de contaminación de acuerdo a las características de las mismas y sus niveles de desarrollo socio – económico. En la tabla N° 11 se presentan los datos cualitativos y las estrategias aplicadas.

**Tabla 11:** Cuidados y recomendaciones según categoría de calidad del aire

<b>CATEGORÍA</b>	<b>REGIONES</b>	<b>NIVEL DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS</b>
<b>Buena</b>	Mayoría de Regiones	Regiones con bajas tasas de crecimiento de actividades económicas y efectivas políticas públicas de salud.
<b>Moderada</b>	Una cantidad menor, en relación a las que presentan una calidad del aire buena	Regiones con tasas medias de crecimiento de actividades productivas y de servicios y efectivas políticas de salud.
<b>Mala</b>	Una minoría de Regiones, en comparación de las de categoría moderada y buena.	Regiones con altas tasas de crecimiento de actividades económicas de producción y servicios; así como limitada aplicación de políticas de salud.

<b>Umbral de cuidado</b>	No hay registros de Regiones, que presenten estas características. .	
--------------------------	--	--

Fuente: Ministerio del Ambiente – MINAM (2014)

De los estudios analizados y tomados como referente, se puede observar que a nivel de Regiones y para el período 2015 – 2019, la calidad del aire en la mayoría de dichas Áreas geográficas es buena y o moderada y en una minoría la calidad del aire es mala. Además hay Regiones en las cuales se están aplicando políticas públicas y de salud que para el período analizado están disminuyendo los niveles de material particulado PM 10 y PM 2.5 y con ello mejorando la salud de la población de dichas Regiones.

En la tabla N° 12, se presentan los niveles de material particulado PM 10 y PM 2.5 según Regiones y para el período 2015 – 2019, en base a los estudios y artículos científicos analizados.

**Tabla 12:** Niveles de material particulado PM 10 y PM 2.5 según Regiones para el período 2015 – 2019.

<b>Regiones</b>	<b>Niveles de material particulado PM 10 y PM 2.5</b>
Lima	PM 2.5: 3.89 ug/m <sup>3</sup> a 38 ug/m <sup>3</sup>
Piura	Material contaminante: 4248.732 Ton/año para SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> 4332.294 Ton/año, NO <sub>x</sub> 32551.531 Ton/año,
Ayacucho	PM 2.5: 12.5 ug/m <sup>3</sup>
Tacna	Material particulado PM 10 y PM 2.5: 1.07 mg/cm <sup>2</sup> /mes
Cajamarca	PM 2.5: 31 µg/m <sup>3</sup>
Huancayo	MP10 (64,54 ±30,87 µg/m <sup>3</sup> ) y MP2,5

	(34,47 ±14,75 µg/m <sup>3</sup> )
San Martín	PM 10: 51.25 µg/m <sup>3</sup> PM 2.5: 58.31 µg/m <sup>3</sup>
Cuzco	PM 10: 196.82 µg/m <sup>3</sup> PM 2.5: 221.28 µg/m <sup>3</sup> y 63.73 µg/m <sup>3</sup>
Iquitos	PM 2.5: 61.69 a 76.27 ug/m <sup>3</sup>
Ucayali	PM 10: en la calle sin pavimentar fue de 453.68 ug/m <sup>3</sup> y en la calle con pavimento fue de 444.80ug/m <sup>3</sup> .

**Fuente: Elaboración propia.**

En relación a los factores que inciden en la concentración de material particulado PM 10 y PM 2.5, es necesario señalar que según las investigaciones analizadas, en las Regiones de la Costa entre los elementos que inciden en la concentración del PM 10 y PM 2.5 están los componentes derivados de actividades desarrolladas por el hombre: manufactura, transporte terrestre y aéreo, construcción, servicios; en el caso de las Regiones de la Sierra tiene que ver con actividades como la minería y fenómenos naturales: geografía, humedad relativa, temperatura, velocidad del viento. geología, y en el caso de Regiones de la Selva tiene que ver con actividades exploratorias y explotación de combustibles o eliminación de desechos agrícolas. En la tabla N° 12 se presenta las Regiones agrupadas en costa, sierra y selva y los factores que más inciden en la formación del material particulado PM 10 y PM 2.5.

**Tabla 13:** Factores de incidencia en la formación de PM 10 y PM 2.5 según Regiones

<b>Regiones</b>	<b>Factores de contaminación</b>
Regiones de la costa	Derivados de actividades productivas y de servicios: industria, transporte terrestre y aéreo, construcción. gastronomía.
Regiones de la sierra	Fenómenos naturales: geografía, humedad, velocidad del viento, altura; minería
Regiones de la selva	Actividades exploratorias y explotación de combustibles o eliminación de desechos agrícolas.

Fuente: Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Respecto al estado del arte del material particulado, en la subcategoría técnica los diversos estudios consultados evidencian que no existe una tecnología única, sino por el contrario la misma se adecúa a las necesidades de las investigaciones y las realidades geográficas de las zonas investigadas; las que más predominan son las de ciclones, multiciclones y las redes de centrales de muestreo de calidad del aire. En la subcategoría equipos los estudios analizados señalan de igual manera que existe una diversidad de equipos utilizados, dichos equipos se adecúan a las características de lo investigado y la naturaleza del sector investigado y los recursos financieros disponibles. Se recomienda usar equipos calibrados y que tengan componentes analógicos. Para la subcategoría procedimientos hay investigaciones que usan procesos químicos, estadísticos, descriptivos, comparativos, analíticos. Ciertos estudios sugieren hasta cuatro metodologías. En la subcategoría estadísticas los estudios demuestran países con altos índices de contaminación particulado que superan los parámetros de la OMS y otros que no superan los mismos, tal como se muestra en la tabla 07. Los resultados concuerdan con las teorías, pues una adecuada medición de la calidad del aire permitirá aplicar políticas públicas de protección de la salud de la población.

En relación al estado actual del material particulado en el Perú, en la subcategoría PM 10, los estudios evidencian que hay Regiones como Lima que muestran altos índices de concentración de este material que también varían según las zonas analizadas, en Regiones como Cajamarca y Huancayo ubicadas en la sierra del Perú los niveles de este material son mucho menores, en Regiones como Cuzco, Tacna, Iquitos los grados de concentración de PM 10 muestran un término medio. Para la subcategoría material particulado PM 2.5, el comportamiento según los estudios consultados, se observa una variabilidad según ubicación de la Región en la costa, sierra y selva; pero que es mayor al PM 2.5. Se constata que dicho material particulado por ser de menor diámetro puede subir al ambiente con mayor facilidad y contaminar en mayor

concentración el aire.

Respecto a las características del particulado PM 10 y PM 2.5 según Regiones, los estudios y artículos referenciales evidencian que la composición de dichos materiales particulados varía según Región, pues en algunas tiene fuerte componente químico, en otras tiene componente metálico, en otros residuos de combustibles e industriales y en otras ayuda en su composición la ubicación de la Región y sus características medio ambientales. En cuanto a cumplimiento de estándares nacionales y de la OMS sobre calidad del aire, hay Regiones que están por encima de dichos límites y otras por debajo de los limitantes establecidos. Esto concuerda con las teorías analizadas pues los niveles de concentración de material particulado tienen relación con el grado de desarrollo socio-económico de los países y por ende de las Regiones.

En relación a los factores que inciden en la formación del componente particulado PM 10 y PM 2.5, los diversos estudios analizados según Regiones evidencian que en su formación se encuentran componentes de fenómenos naturales: temperatura, humedad, velocidad del viento, altura; residuos de la actividad industrial, los residuos de la actividad minera, las emisiones de los combustibles del transporte terrestre y aéreo, el estado de las carreteras, y el aspecto cultural del manejo de los residuos sólidos. También se observa que a mayor desarrollo industrial los niveles de concentración de material particulado son mayores. Por lo tanto se recomienda aplicar políticas públicas que exijan que las diversas actividades productivas y de servicios usen tecnologías limpias.

La metodología utilizada tiene sus aspectos positivos, pues permite consultar diversas fuentes de información secundaria y con ello contrastar las opiniones de diferentes investigadores, lo negativo es que no hay una aplicación para evidenciar en el campo real la efectividad de técnicas, equipos, metodologías y de políticas públicas que coadyuvan a la mejora de la calidad del aire y con ello mejorar el estilo de vida de los pobladores, siendo la persona lo más importante en la sociedad

La investigación es importante en el contexto actual, pues se observa que varias actividades económicas, ya sean de producción o servicios, utilizan tecnologías obsoletas que generan altas concentraciones de material particulado, de ahí que



los datos son importantes para la toma de medidas de las entidades pertinentes; las mismas que deben diseñar políticas públicas orientadas al uso de tecnologías limpias y con ello preservar la salud de los habitantes.

Finalmente con la pandemia que se está viviendo a nivel mundial, estudios de esta naturaleza permiten conocer el avance de investigaciones en aspectos que son fundamentales para la convivencia y supervivencia humana.

## VI. CONCLUSIONES

1. En la determinación del arte, se constató que a nivel global o internacional las diferentes investigaciones sostienen que existen diversas tecnologías para la recolección material particulado, las que más predominan son las de ciclones, multiciclones, lavador Venturi, precipitador electrostático y filtros de mangas y las redes centrales de muestreo de calidad del aire; en cuanto a los equipos para cuantificar la cantidad de componente particulado, se recomienda emplear el equipo HANDHELD 3016 AQ que permite realizar el monitoreo de partículas con un diámetro de 0.3  $\mu\text{m}$  hasta 10  $\mu\text{m}$ , lo que lo convierte en uno de los contadores portátiles de partículas más avanzados; sobre procedimientos de igual manera se evidencia una variedad, hay investigaciones que usan procesos químicos, estadísticos, descriptivos, comparativos, analíticos, ciertos estudios sugieren hasta cuatro metodologías; referente a estadísticas de igual manera se presentan una diversidad, de acuerdo al nivel de desarrollo del país y sus políticas públicas.
2. Para la determinación del estado actual del material particulado en Perú, los indicadores de los estudios demuestran que difieren de acuerdo a la realidad socio económica del país, Se evidencia de las investigaciones, artículos y estudios consultados que hay diferencias entre los diversos países que reflejan los niveles de componente particulado que concentran, según los niveles de crecimiento y desarrollo alcanzado, así como las políticas de salud implementadas. Regiones como Lima muestran altos índices de concentración de este material que también varían según las zonas analizadas, en Regiones como Cajamarca y Huancayo ubicadas en la sierra del Perú los niveles de este material son mucho menores, en Regiones como Cuzco, Tacna, Iquitos los niveles de acumulación de material particulado PM 10 muestran un término medio.
3. En la descripción de las características del material particulado PM 10 y PM 2.5, según Regiones para el período 2015 – 2019, se concluye que hay una diversidad de indicadores, pues encontramos regiones que exceden de acumulación de componente particulado, se debe al desarrollo

de actividades productivas que generan emisiones elevando los niveles de este material particulado, superando los límites establecido en los estándares nacionales de la calidad del aire ECA y de la OMS. Entre estas actividades están la industria, la minería, la fabricación de ladrillo, el transporte terrestre y aéreo, la quema de desechos agrícolas. En cuanto a la tendencia de las características del componente particulado PM 10 y PM 2.5 según Regiones para el período analizado 2015 – 2019, por los estudios se evidencia una mayor concentración en emisiones generadas por actividades productivas y de servicio.

4. En relación a la sistematización de los factores que influyen en la conformación del componente particulado PM 10 y PM 2.5 para el período 2015 – 2019 según Regiones, Es necesario señalar que de acuerdo a las investigaciones analizadas, en las Regiones de la Costa entre los factores que impactan en la conformación del PM 10 y PM 2.5 están los componentes derivados de actividades desarrolladas por el hombre como industria, transporte terrestre y aéreo, construcción, servicios; en el caso de las Regiones de la Sierra tiene que ver con actividades como la minería y fenómenos naturales y en el caso de Regiones de la Selva tiene que ver con actividades exploratorias y explotación de combustibles o eliminación de desechos agrícolas.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Que el Ministerio del Ambiente, en base a las concentración de material particulado, incremente las zonas de atención prioritaria – ZAP por Regiones, y así realizar estudios en los lugares, donde la calidad del aire supera largamente los estándares de calidad afectando la salud de la población.
2. Que el Ministerio del Ambiente equipare los estándares de calidad del aire - ECA nacionales a los parámetros dados por la OMS, y así establecer políticas públicas que exijan a las actividades económicas el uso de tecnologías limpias y así mejorar de manera sustancial la calidad de aire por Regiones.
3. Realizar alianzas entre Ministerio del Ambiente, Ministerio de Educación, SUNEDU y Universidades; a fin de orientar las investigaciones al estudio del material particulado y sus clases, en las especialidades relacionadas con dicho tema; las mismas que serían financiadas con recursos del Estado.
4. Normar para que el Ministerio de Salud conjuntamente con los Gobiernos Regionales, diseñen políticas orientadas al monitoreo y control del desarrollo de actividades económicas que contaminan el aire en su ámbito geográfico.
5. Que el Ministerio de la producción establezca normas para que las empresas industriales en su proceso de producción utilicen tecnologías limpias y con ello minimizar las emisiones de residuos contaminantes que son los que contribuyen a la formación de material particulado, y de esta manera mejorar la calidad del aire en las diferentes Regiones del Perú.
6. El Ministerio del Ambiente – MINAM, en alianza con el Ministerio de Salud, en base a la calidad del aire de Regiones críticas por la presentación de enfermedades respiratorias, establezca nuevas zonas prioritarias de atención – ZAP a fin de aplicar políticas de salud y con ello contrarrestar el efecto del material particulado en dichas enfermedades.



## REFERENCIAS

**Alvarado, Ch (2018).** *Análisis de inmisión de material particulado PM10 y PM2.5 en dos puntos estratégicos de la ciudad de Bogotá.*

**Arciniégas, C. (2011).** *Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10.*

**Arenas, J. (2017).** *Determinación del material particulado pm10 y pm 2.5, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el Distrito Yura – Arequipa.*

**Castelar, G. (2019).** *Comparación entre tres muestreadores de material particulado (PM 2.5), en el campus de la UNALM.*

**DIGESA.(2005).** *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos.*

**Echeverri C. y Maya, J. (2008).** *Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables (PM10) en la ciudad de Medellín.*

**Escobar, L. y Vivas, J(2019).** *Evaluación de las concentraciones de material particulado PM10 Y PM2.5 En el caso urbano del Municipio de Viejesvalle del Cauca. Viejesvalle del Cauca : s.n.*

**Xunta de Galicia (2014).** *PM 10 y PM 2.5 en A Coruña en 2014 y la influencia del aerosol marino.*

**Galvis, B., Rojas, N. (2006).** *Relación entre PM 2,5 y PM 10 en la ciudad de Bogotá.*

**Giménez, Juan. (2018).** *Análisis de la afección por material particulado, periodo 2017 Puerto Quequén. Tandil - Argentina : Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2018.*

**Heber Nehemías Chui Betancur, Dwight Roberto Acosta Najarro & Bernardo Roque Huanca. (2017).** *Identificación del material de partículas finas (pm2.5) mediante microscopía electrónica de escaneo cerca de la planta de cemento de cesur del distrito de Caracoto, Puno,.*

**Hermitaño, A. (2017).** *Evaluación del material particulado y su relación con las*

*enfermedades respiratorias en el proceso de chancado y molienda en la compañía minera Casapalca S.A, Provincia de Huarochiri, Lima 2017.*

**HERNANDEZ, ROBERTO, FERNANDEZ, CARLOS y BAPTISTAL, PILAR. (1997).** *Metodología de la Investigación.2ª. Ed.* Mexico : MCGRAW HILL, 1997.

**Hilario, Nilda. (2017).** *Emisiones contaminantes de Vehículos del Distrito de Huancayo.* Huancayo - Perú : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2017.

**Inza, A. Sánchez, M. & et at. (2006).** *Estudio de los niveles de PM10 y PM2.5 en un área urbana con influencia industrial siderometalúrgica (Beasain, Guipúzcoa).* .

**Javier Olaya-Ochoa, Diana Paola Ovalle & Cristhian Leonardo Urbano (2017).** *Acerca de la estimación de la fracción PM2.5/PM10.*

**Lazo, R y Motocanvhe D. (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.*

**Martín, Paula. (2005).** *Contaminación del aire por material particulado en la ciudad de buenos aires.* Buenos Aires - Argentina : Universidad de Buenos Aires, 2005.

**Mihelcic, James y Zimmerman, Julie.(2012).** *Ingeniería Ambiental: fundamentos, sustentabilidad y diseño.* Mexico : Alfaomega Grupo Editor SA, 2012.

**Opazo, Dustyn.(2011).** *Distribución espacial de la contaminación por material particulado y su relación con las temperaturas del aire y los vientos en Santiago para el año 2009.* Santiago - Chile : Universidad de Chile, 2011.

**Pacsi, S. (2014).** *Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM10 y PM2,5 en Lima Metropolitana.*

**Ramirez, Lourdes. (2008).** *Determinación del material particulado fino en escuelas públicas elementales del distrito de Caguas II.* Gurabo - Puerto Rico : Universidad de Turabo, 2008.

**Reátegui, W. (2018).** *Estimación de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en el área metropolitana de Lima utilizando un modelo euleriano.*

**Rojano, R., Angulo, L. y Restrepo, G. (2013).** *Niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST), PM10 y PM2.5 y su Relación en Lugares Públicos de la Ciudad Riohacha, Caribe Colombiano. .*

**Rojas, L.(2016).** *Propuesta del proceso de validación para el ensayo de medición de material particulado PM 10 y PM 2.5 con base la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005.*

**Salazar, E. y Espinoza, V. (2018).** *Correlación entre la opacidad y el material particulado PM 2.5, en vehículos diésel en la ciudad de Quito utilizando como muestra un motor de prueba.*

**Salini, G. y Medina, E. (2017).** *Estudio sobre la dinámica temporal de material particulado PM 10 emitido en Cochabamba, Bolivia.*

**Sánchez, R. & et at (2017).** *Monitoreo de Material Particulado (pm10) en la Calidad de Aire en 2 Puntos Críticos de la Provincia de Ilo-2017.*

**Soto, Jairo. (2016).** *Determinación d ela calidad del aire por material particulado (PM10) en una vía pavimentada (Av. Antonio Maya de Brito) y una vía no pavimentada (Av. Colonización) en el Distrito de Mantay, Provincia de Coronel Portillo - Ucayali. Pucallpa - Perú : Universidad Nacional de Ucayali, 2016.*

**TAM, JORGE, VERA, GIOVANNA y OLIVEROS , RICARGO. (2008).** *Tipos, métodos y estrategias de investigación científica. Lima - Perú : Escuela de Postgradode la Universidad Ricardo Palma, 2008.*

**Tapia, V. Carbajal.(2018)** *Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2,5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú.*

**Trelles, R.(2017).** *Determinación del material particulado (PM10 Y PM 2.5), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2) y monóxido de carbono (CO) en el Distrito de Ocoruro-Provincia Espinar- Región Cusco.*

**Valdera, Walter.( 2018).** *Determinación d ela calidad del aire por material particulado (PM10) en una vía pavimentada (Av. Antonio Maya de Brito) y una vía no pavimentada (Av. Colonización) en el Distrito de Mantay, Provincia de*



*Coronel Portillo - Ucayali*. Lambayeque - Perú : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2018.

**Vasquez, José. (2005).** *Evaluación y control ambiental de contaminantes debidos al trafico rodado en la ciudad de Piura*. Piura - Perú : Universidad de Piura, 2005.

## **ANEXOS**

### **ANEXO N° 01**

#### **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD DEL AUTOR**

Yo, Luis Enrique López Oblitas, alumno de la Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial, de la Universidad “César Vallejo”, filial Piura, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan al Trabajo de investigación/ Tesis titulado: “Estudio comparativo de niveles de material particulado PM 10 y PM 2.5 según Regiones en Perú período 2015 – 2019”, son:

1. De mi autoría
2. El presente Trabajo de Investigación/ Tesis no ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
3. El presente Trabajo de Investigación/ Tesis no ha sido publicado ni presentado anteriormente.
4. Los resultados presentados en el presente Trabajo de Investigación/ Tesis son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Piura, 06 de julio de 2020

.....  
Luis Enrique López Oblitas

DNI.

**ANEXO 2:**

**MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

<b>Variabl e</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Categorías</b>	<b>Sub categorías</b>	<b>Unidad de análisis</b>
Material particulado	El material particulado respirable presente en la atmósfera se puede dividir, según su tamaño, en dos grupos principales. A las de diámetro igual o	Describir el estado del arte de material particulado	Estado del arte del material particulado	Técnicas, equipos, proceso, indicadores	Aspectos técnicos Arciniégas (2011) Métodos de medición Rojano, Angulo y Restrepo (2013) Métodos e instrumentos Galvis y Rojas (2006)
		Describir el estado actual del material particulado.	Estado actual de la medición de material particulado.	Niveles de material particulado PM 10  Niveles de material particulado PM 2.5	Métodos de medición Mihelcic & Zimmerman (2012).  Impacto sanitario Ramírez (2008)

	inferior a los 10 micrómetros PM10 y a la fracción respirable más pequeña, PM2,5. Linares y Díaz (2008).	Describir las características del material particulado PM 10 y PM 2.5 en Perú según Regiones, período 2015-2019	Características del Material particulado según Regiones	Características del material particulado PM 10	Clasificación de las emisiones. Hilario (2017) Niveles de contaminación. Valdera (2018). Soto (2016).
				Características del material particulado PM 2.5	Clasificación de las emisiones. Hilario (2017) Niveles de contaminación. Valdera (2018). Soto (2016).
			Estándares de calidad ambiental.	Cumplimientos de los indicadores de calidad ambiental del aire para material particulado	Normas ambientales. Mihelcic & Zimmerman (2012). Control ambiental Vásquez (2005)

				PM 10 y PM 2.5 según regiones.	
		Sistematizar los factores que inciden en la formación de material particulado PM 10 y PM 2.5 en Perú, según Regiones	Factores que inciden en la formación de material particulado PM 10 y PM 2.5 según Regiones	Factores geológicos, climatológicos, atmosféricos.	Relación entre temperatura y material particulado Opazo (2011) Impacto de la temperatura en el material particulado. Impacto de Factores geológicos, climatológicos, atmosféricos. en el material particulado. Giménez (2018)
				Factores industriales, transporte, sanitarios.	Relación entre humedad relativa y material particulado Opazo (2011) Impacto de la humedad relativa en el material particulado.

					Giménez (2018) Impacto de los Factores industriales, transporte, sanitarios en el material particulado.
--	--	--	--	--	--