



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL**  
**DE INGENIERO QUIMICO**

**TÍTULO:**

**“Polución ambiental por aerosoles atmosféricos que alteran la composición atmosférica que afecta la salud humana y favorecen el cambio climático en la ciudad de Chiclayo”**

**AUTORES:**

Bach. Gamarra Chipulina Carlos Daniel

Bach. Chávez Quiñones Mario Martin

**ASESOR:**

**M.Sc. RUBEN DARIO SACHUN GARCIA**

**0000-0003-1882-4617**

**LAMBAYEQUE JUNIO 2021**



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUIMICO

TÍTULO:

“Polución ambiental por aerosoles atmosféricos que alteran la composición atmosférica que afecta la salud humana y favorecen el cambio climático en la ciudad de Chiclayo”

APROBADO:

➤ Dr. Cesar Alberto García Espinoza  
Presidente

➤ M.Sc. Ronald Alfonso Gutierrez Moreno  
Secretario

➤ Dra. Liz Amelia Juanitaflor Morales Cabrera  
Vocal

➤ M.Sc. Ruben Dario Sachun García  
Asesor

## RESUMEN

La polución ambiental por aerosoles Atmosféricos alteran la composición atmosférica, afecta la salud humana, favorece el cambio climático, incrementándose su concentración en los últimos años, aumentando la temperatura del planeta.

Presentamos como objetivos determinar el efecto de la polución ambiental por aerosoles atmosféricos que alteran la composición atmosférica, en la salud humana, al cambio climático, evaluar el comportamiento de las precipitaciones y el desempeño de las parametrizaciones en la ciudad de Chiclayo.

Se ha planteado que la cantidad y el tamaño podrían alterar la composición atmosférica, sus efectos en la salud humana y como favorece el cambio climático.

Los materiales, la metodología, procedimientos y técnicas se desarrollaron de manera ordenada y sistemática para recabar, ordenar, analizar sistematizar, clasificar y arribar a las conclusiones, con los datos que se han ido obteniendo.

Herrera et al., (2018) “Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterio derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica”, Infirieron que la disposición final de los residuos sólidos de ese distrito es el tratamiento que más emisiones de gases efecto invernadero ocasiona con 532,5 t CO<sub>2</sub> e/d y un potencial de generación de energía eléctrica de hasta 73,45 MWh, y la incineración de RSU con 401,9 t CO<sub>2</sub> e /d.

Vivar, F. E. (2014), “Cuantificación de material particulado PM<sub>10</sub> y su efecto toxicológico-ambiental, en la ciudad de Azogues” Ecuador, determinó el promedio de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> fue de 70,3 µg/m<sup>3</sup>, que, si bien no supera la norma ecuatoriana de la calidad de aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, sí sobrepasa la dada por la Organización Mundial de la Salud que establece el límite máximo de 50 µg/m<sup>3</sup>.

Palabras claves: polución, aerosoles atmosféricos, contaminación, paticulas, material particulado, emisiones, efecto invernadero, concentración, aditivos, acidez, ecología, suelo, atmosfera. biósfera.

## ABSTRAC

Environmental pollution by atmospheric aerosols alter the atmospheric composition, affect human health, favor climate change, increasing its concentration in recent years, increasing the temperature of the planet.

We present as objectives to determine the effect of environmental pollution by atmospheric aerosols that alter the atmospheric composition, on human health, climate change, evaluate the behavior of rainfall and the performance of parameterizations in the city of Chiclayo.

It has been suggested that the quantity and size could alter the atmospheric composition, its effects on human health and how it favors climate change.

The materials, methodology, procedures and techniques were developed in an orderly and systematic way to collect, order, analyze, systematize, classify and reach conclusions, with the data that have been obtained.

Herrera et al., (2018) "Greenhouse gas emissions and criteria pollutants derived from different mitigation measures in the management of urban solid waste in the canton of San José, Costa Rica", They inferred that the final disposal of solid waste from this district is the treatment that causes the most greenhouse gas emissions with 532.5 t CO<sub>2</sub> e / d and a potential for generating electricity of up to 73.45 MWh, and the incineration of MSW with 401.9 t CO<sub>2</sub> e / d

Vivar, FE (2014), "Quantification of PM<sub>10</sub> particulate material and its toxicological-environmental effect, in the city of Azogues" Ecuador, determined the average daily concentrations of PM<sub>10</sub> was 70.3 µg / m<sup>3</sup>, which, although it does not exceed the Ecuadorian air quality standard of 100 µg / m<sup>3</sup>, it does exceed that given by the World Health Organization, which establishes the maximum limit of 50 µg / m<sup>3</sup>.

Keywords: pollution, atmospheric aerosols, pollution, particles, particulate matter, emissions, greenhouse effect, concentration, additives, acidity, ecology, soil, atmosphere. biosphere.

# ÍNDICE

## RESUMEN

¡Error! Marcador no definido.

ABSTRACT ..... ¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE.....III

Índice De Tablas .....V

I. INTRODUCCIÓN ..... ¡Error! Marcador no definido.

II. ANTECEDENTES Y BASE TEÓRICA ..... ¡Error! Marcador no definido.

2.1. Antecedentes..... ¡Error! Marcador no definido.

2.2. Bases teóricas ..... ¡Error! Marcador no definido.

2.2.1. La Atmosfera..... 9

2.2.2. Composición De La Atmosfera..... 10

2.2.3. Contaminación atmosférica y la salud..... 11

I.2.4. Fuentes Naturales De Contaminación..... 12

I.2.5. Fuentes Artificiales De Contaminación..... 12

I.2.6. Material Particulado (PM10 y PM2.5) ..... 14

I.2.7. Composición Química Del Material Particulado, (PM2.5 y PM10). ..... 15

I.2.8. Calidad del aire ..... 15

I.2.9. Leyes Que Regulan La Calidad Del Aire ..... 16

I.2.10. Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medio ambiente 19

III. MÉTODOS Y MATERIALES ..... 21

3.1. Metodología ..... 21

3.1.1. Diseño metodológico ..... 21

3.2. Materiales, Equipos y Reactivos..... 21

3.2.1. Materiales:..... 21

3.2.2. Equipos: ..... 22

3.2.3. Instrumentos: ..... 22

3.2.4. Reactivos utilizados como disolución electrolítica para la EC ..... 22

3.3. Especificaciones Técnicas del Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI ..... 22

3.3.1. Criterios aplicados para ubicación del Muestreador portátil ..... 23

3.3.2. Características del Lugar de Monitoreo..... 23

3.4. Parte experimental ..... 24

3.4.1. Área de estudio..... 24

3.4.2. Ubicación Especifica del área de estudio..... 25

3.5. Métodos para determinar la concentración de PM2.5 y PM10..... 26

3.6. Zonas de Recolección de Datos Muéstrales..... 28

3.7.Recolección de Muestras para determinar la concentración y composición química de PM2.5 Y PM10.....	28
3.7.1.Recolección de Datos del Primer Lugar de Muestreo .....	29
3.7.2 Recolección de Datos del Segundo Lugar de Muestreo.....	31
3.7.3.Recolección de Datos del Tercer Lugar de Muestreo.....	32
3.7.4.Recolección de Datos del Cuarto lugar de Muestreo.....	33
3.8.Método para el análisis de la composición química del PM2.5 y PM10 .....	35
3.8.1.Extracción acuosa de las partículas antes de la Aplicación del método .....	36
3.8.2.Etapa de determinación química por Electroforesis Capilar de Zona .....	36
3.8.3.Análisis de muestras .....	38
3.9.Muestra de estudio para determinar la relación del PM2.5 y PM10 con las I infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) .....	38
3.10.Método de recolección de datos que relacionan el PM2.5 y PM10 con las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs).....	38
3.10.1. Plan de Procesamiento para el Análisis de Datos de las IRAs.....	38
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
4.1. Análisis de la muestra 01: Promedio de 24 horas para PM2.5 y PM10.....	39
4.2.Análisis de la muestra 02: Promedio de 24 horas para PM2.5 y PM10.....	40
4.3.Análisis de la muestra 03: Promedio de 24 horas para PM2.5 y PM10.....	41
4.4.Análisis de la muestra 04: Promedio de 24 horas para PM2.5 y PM10.....	43
4.5Análisis de la media de 24 horas para las 4 muestras .....	44
4.6.Análisis de la media anual para las 4 Muestras.....	45
4.7.Resultados de la determinación de composición química del PM2.5 y PM10 ..	46
4.7.1.Límites de detección de los elementos analizados en el material particulado.	46
4.8.2.Relación de Casos presentados de IRAs, enfermedades asmáticas y la concentración de PM10 (media de 24 horas). .....	58
4.9.Discusión.....	59
4.9.1.Material particulado menor a 2,5 µg/m <sup>3</sup> (MP2,5).....	59
4.9.2.El material particulado menor a 10 µg/m <sup>3</sup> (MP10) .....	59
4.9.3.Composición química del material particulado .....	60
4.9.4.Relación Del PM2.5 Y PM10 Con Las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA .....	61
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo: 1 .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo: 2 .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo 03 .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Índice De Tablas

<i>Tabla 1</i> Concentración de los iones principales expresada en ng/m <sup>3</sup> .....	5
<i>Tabla 2</i> Composición De La Atmosfera.....	11
<i>Tabla 3</i> Origen Del Material Particulado.....	17
<i>Tabla 4</i> Composición Química Del Material Particulado.....	19
<i>Tabla 5</i> Guías de calidad del aire de la OMS para el material particulado: Valores de concentraciones de 24 horas y concentraciones medias es.....	21
<i>Tabla 6</i> Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental, (NAAQS) para material particulado(PM <sub>2.5</sub> ) y(PM <sub>10</sub> )... ..	22
<i>Tabla 7</i> Valores del índice de calidad del aire.....	23
<i>Tabla 8</i> Valores ICA para Material Particulado (PM <sub>2.5</sub> ) promedio de 24 horas.....	23
<i>Tabla 9</i> Valores ICA para Material Particulado (PM <sub>10</sub> ) promedio de 24 horas.....	24
<i>Tabla 10</i> Estándares de Calidad Ambiental para Aire.....	25
<i>Tabla 11</i> Diseño de contrastación de hipótesis.....	29
<i>Tabla 12</i> Recolección y registro de muestra 01.....	45
<i>Tabla 13</i> Recolección y registro de muestra 02.....	47
<i>Tabla 14</i> Recolección y registro de muestra 03.....	49
<i>Tabla 15</i> Recolección y registro de muestra 04.....	51
<i>Tabla 16</i> Los límites de detección de los elementos analizados en el MP se muestran en la tabla.....	68
<i>Tabla 17</i> Media aritmética, desviación estándar (s), máximo valor (máx.) y número de datos (n) para el MP <sub>10</sub> (en µg/m <sup>3</sup> ) de la ciudad de Chiclayo.....	69
<i>Tabla 18</i> Media aritmética, desviación estándar (s), máximo valor (máx.) y número de datos (n) para el MP <sub>2,5</sub> , (en µg/m <sup>3</sup> ) de la ciudad de Chiclayo.....	70

<b>Tabla 19</b> Episodios de IRA en menores de 5 años Departamento de Lambayeque, Perú 2018-19.....	72
<b>Tabla 20</b> Reportes de casos de IRAs a nivel provincial-2019-region de Lambayeque.....	74
<b>Tabla 21</b> Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA en base al Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE, a nivel distrital Chiclayo-2019.....	76
<b>Tabla 22</b> Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico entre 2017-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE.....	82

## Índice De Figuras

<b>Figura 1</b> Variación espacial multianual del PM2.5 en lima metropolitana. Periodo 2015-2017.....	7
<b>Figura 2</b> Variación espacial multianual del PM10 en lima metropolitana. Periodo 2015-2017.....	8
<b>Figura 3</b> Comparación entre Casos de enfermedades asmáticas y la concentración de PM10.....	9
<b>Figura 4</b> Instituto Nacional De Salud Pública de México. Sobre la Contaminación del aire y la salud. ....	27
<b>Figura 5</b> Estadísticas de la OMS.....	28
<b>Figura 6</b> Partes Internas del Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI.....	32
<b>Figura 7</b> Mapa del Perú, mostrando la región Lambayeque, distrito de Chiclayo.....	35
<b>Figura 8</b> Área de estudio del distrito de Chiclayo.....	36
<b>Figura 9</b> Ubicaciones específicas del área de estudio.....	37
<b>Figura 10</b> Control del Muestreador Portátil.....	39
<b>Figura 11</b> Muestreador De Partículas Low-Vol, Modelo PQ200 FRM de BGI.....	40
<b>Figura 12</b> Capacidad del Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BG.....	43
<b>Figura 13</b> Lugar de muestreo 01- Intersección de la Av. Augusto B. Leguía y Av. Mariano Cornejo .....	44
<b>Figura 14</b> Lugar de muestreo 02- Intersección de la Av. José Balta y Calle Manuel Pardo.....	46
<b>Figura 15</b> Lugar de muestreo 03- Intersección de la Av. Francisco Bolognesi y Av. Sáenz Peña.....	48
<b>Figura 16</b> Lugar de muestreo 04- Intersección de la Av. Salaverry y Eufemio Lora y Lora.....	50
<b>Figura 17</b> Extracción de los filtros(muestras).....	53
<b>Figura 18</b> Equipo de Electroforesis Capilar de Zona EC - HP3DCE.....	55
<b>Figura 19</b> Detector de conductividad C4D TraceDec.....	56
<b>Figura 20</b> Gráfica, Análisis de la muestra 01.....	58

<b>Figura 21</b> Gráfica, Análisis de la muestra 01.....	59
<b>Figura 22</b> Gráfica, Análisis de la muestra 02.....	60
<b>Figura 23</b> Gráfica, Análisis de la muestra 2.....	61
<b>Figura 24</b> Gráfica, Análisis de la muestra 3.....	62
<b>Figura 25</b> Gráfica, Análisis de la muestra 3.....	63
<b>Figura 26</b> Gráfica, Análisis de la muestra 4.....	64
<b>Figura 27</b> Gráfica, Análisis de la muestra 4.....	65
<b>Figura 28</b> Gráfica de la media de 24 horas (PM2.5 Y PM10) .....	66
<b>Figura 29</b> Gráfica de la Media Anual (PM2.5 y PM10).....	67
<b>Figura 30</b> Tendencia de IRAs en menores de 5 años, Perú 2014-2019.....	71
<b>Figura 31</b> Semana Epidemiológica SE-51-52-2019 e Incidencia Acumulativa Anual-2019, de los episodios IRAs notificados por la RED-VEA de la GERESAL...	73
<b>Figura 32</b> Comportamiento de episodios IRAs a nivel regional durante los años 2016 al 2019.....	74
<b>Figura 33</b> Reporte de casos de IRAs a nivel Provincial de la región Lambayeque, GERESA LAMBAYEQUE.....	75
<b>Figura 34</b> Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) al 2019 de los Distritos de Chiclayo.....	77
<b>Figura 35</b> Reportes de Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA al 2019 de los Distritos de Chiclayo.....	78
<b>Figura 36</b> Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE.....	79
<b>Figura 37</b> Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE.....	80
<b>Figura 38</b> Reportes de Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE.....	.81

<b>Figura 39</b> Registro de incrementos de casos de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico entre 2017-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE.....	83
<b>Figura 40</b> Relación de Casos presentados de IRAs, enfermedades asmáticas y la concentración de PM10 (media de 24 horas).....	84

## I. INTRODUCCION

Un tema muy debatido es la contaminación ambiental, en el Perú, la polución que se suele dar en los espacios exteriores, generados por los aerosoles atmosféricos que alteran su composición atmosféricos y que favorecen el cambio climático y los riesgos a la salud del ser humano.

El impacto de la contaminación del aire en la salud de las personas se presenta principalmente de dos formas. La primera, en forma de contaminación crónica por espacios de tiempo largos y sostenidos para lo cual han sido establecidos los Estándares de Calidad Ambientales del Aire en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental(Decreto Supremo N°074-2001-PCM) los que deben ser alcanzados en forma progresiva y a través de estrategias, planes e instrumentos de gestión concertados; la segunda, en forma de contaminación aguda a través de exposiciones de corta duración, las que requieren de medidas inmediatas destinadas a reducir la concentración de contaminantes en el aire y disminuir la exposición de la población.

Es importante hablar también de la exposición a los contaminantes. Una sustancia en el ambiente puede tener efectos muy distintos sobre la salud de las personas o la calidad de un ecosistema. Por un lado, debido a que la concentración puede variar mucho, pero también por el nivel de contacto que tenemos con esa sustancia. Es básicamente cuan expuestos estamos a sufrir sus efectos, por su exposición crónica que se da cuando estamos en contacto con el contaminante durante un largo período de tiempo, pero a un nivel relativamente bajo. La exposición aguda en cambio, se da cuando nos exponemos a la sustancia por un período breve pero la concentración es tan grande que sus efectos son muy dañinos.

En este contexto surge la inquietud de realizar la presente investigación, toda vez que la calidad ambiental en el país cada día se ve más afectada en gran magnitud, sobre todo con la contaminación del aire, y se le debe mostrar gran interés debido a que está generando consecuencias negativas sobre la salud de las personas, nos hemos planteado el siguiente problema a investigar ¿Cuál es el efecto de los aerosoles atmosféricos que alteran la composición atmosférica que afecta la salud humana y favorecen el cambio climático?

El crecimiento rápido, como consecuencia de las invasiones desordenadas, sin tener en cuenta la planificación urbana, los estudios técnicos, respeto al catastro urbano para el desarrollo de las ciudades y el avance de la industrialización, son fenómenos que

muchas veces no van acompañados de programas cuyo objetivo es proteger el ambiente. Estas exposiciones atmosféricas tales como los fluidos en forma de gas o sustancias en suspensión que proceden como residuos o productos de una actividad humana o de la propia naturaleza genera impacto ambiental. Las manifestaciones más relevantes son el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el ozono (O<sub>3</sub>), los óxidos de carbono (CO<sub>x</sub>) y las partículas en suspensión (PM<sub>x</sub>, dónde la “x” indica el diámetro en micras de estas partículas). Martínez, B. (2016).

La contaminación atmosférica es un problema global y que afecta en la salud de la población por material particulado PM<sub>2.5</sub> ya que es capaz de entrar en la sangre a través de las cavidades pulmonares y causar enfermedades respiratorias y cardiovasculares muy graves. Martínez, B. (p23, 2016)

De allí que nos hemos planteado los siguientes objetivos. *Determinar el efecto de la polución ambiental por aerosoles atmosféricos que alteran la composición atmosférica que afecta la salud humana y que favorecen al cambio climático. Determinar el índice de afecciones de la salud humana y que favorecen el cambio climático.*

En 1948 los niveles considerablemente altos de contaminación del aire se asociaron con episodios de exceso de mortalidad en Donora, Pennsylvania, en Estados Unidos de América (EUA), al igual que en Londres, Inglaterra, en 1952 y en Meuse Valley, Bélgica, en 1930. Episodios caracterizados por elevados niveles de partículas, bióxido de azufre y asociados a la mortalidad prematura. (Lacasaña, M. Aguilar, C. Romieu, I. 1999). La contaminación en las ciudades está ligada directamente a las actividades antropogénicas, donde se conjugan el transporte vehicular, la actividad industrial, el movimiento de las personas, los espacios con poca ventilación, y el microclima característico de la urbe”. (Querol, X., Alastuey, A., Rodríguez, S., Plana, F., Mantilla E. y Ruiz C., 2001). La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), indica que la exposición a estas partículas puede afectar tanto a los pulmones como al corazón, que incluye: muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, infartos de miocardio no mortales, latidos irregulares, asma agravada, función pulmonar reducida, síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos o dificultad para respirar. (EPA, 2018). Asimismo, las “*Guías de calidad del aire- 2005; de la Organización Mundial de la Salud*”, (OMS). Señalan que las pruebas realizadas para el ozono (O<sub>3</sub>) y el material particulado (MP) indican riesgos para la salud en concentraciones cada vez más bajas suspendido en el aire que hoy se observan en numerosas ciudades de los países desarrollados, vinculando a la contaminación del aire una gama creciente de efectos adversos para salud, y con el fin de reducir estos niveles recomienda rangos de medidas de (PM) a aplicar para conseguir estar por debajo de aquellos indicadores. (OMS, 2006). La contaminación del aire por PM en ciudades del norte, centro y sur de Chile se reconoce como uno de los principales problemas ambientales de Chile en la actualidad reportando mayor riesgo en términos de morbilidad y mortalidad por causas respiratorias y cardiovasculares por exposición a PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> para la población. Cáceres, D. (2015). Durante 2012 se produjeron 1.252 casos de intoxicaciones por materiales pesados, la mayoría de ellos en los departamentos de Junín

y Pasco. Las intoxicaciones se asocian principalmente con plomo y sus compuestos

(MINAM, 2014). MINAM estimó que, en 2014, Lima Metropolitana presentaría 1 220 casos de muertes atribuibles a la contaminación por PM10, 1 900 casos de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias, 495 por enfermedades cardiovasculares y 1 222 por ataques de asma en niños. MINAM (2014). Por otra parte, Coaquira F. (2018). En el año 2015, señala que se registraron 1 595 452 de procesos mórbidos en la región de Arequipa por enfermedades infecciosas, tales como infecciones respiratorias superiores al 21.44 % del total de la morbilidad presentada que junto a otras infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores con 1.10%, conforman un total de 24.56% para enfermedades del aparato respiratorio, y entre otras enfermedades llegando a la conclusión que los niños y adulto mayor ocuparon las primeras posiciones tanto para morbilidad y mortalidad, y que estos efectos negativos están relacionados con la calidad ambiental del aire en la provincia de Arequipa.(p.22). La Municipalidad Provincial de Chiclayo en su Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental (PLANEFA, 2018). Concluye; “Que el aumento del parque automotor en el distrito de Chiclayo, ha incrementado los niveles de ruido y gases contaminantes: CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y material particulado a la atmosfera, tras su proceso de combustión y se relaciona con las enfermedades asmáticas bronquiales en los niños del distrito de Chiclayo. Berrú, D. (2018). De esta forma denotamos la importancia de realizar estudios constantes sobre la contaminación del aire que se dan por muchas fuentes, y justificando la necesidad de determinar la concentración de estas partículas suspendidas en el aire por los efectos que estas causan a la salud humana e impacto en el medio ambiente. Así mismo se propuso la siguiente hipótesis “El incremento de aerosoles atraen la composición atmosférica que afecta la salud humana y favorece el cambio climático”

La técnica empleada en la toma de muestras de material particulado en varios puntos de la ciudad, es a través de la observación y métodos gravimétricos para la determinación de la concentración, asimismo el análisis estadístico aplicado a un conjunto de datos experimentales y reportes de entidades gubernamentales, específicamente a material particulado (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>). Además, el procesamiento de datos se realizó teniendo en cuenta la metodología establecida en el protocolo nacional de monitoreo de calidad de aire propuesto por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Los resultados obtenidos fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire (ECAs) e internacionales como la OMS y el Índice de Calidad del Aire (INCA) que establece los rangos de la calidad del aire permisibles.

## II.- ANTECEDENTES Y BASE TEÓRICA

### 2.1.-Antecedentes

Herrera et al., (2018) “Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterio derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica”, Costa Rica. Infirieron que la disposición final de los residuos sólidos de ese distrito es el tratamiento que más emisiones de gases efecto invernadero ocasiona con 532,5 t CO<sub>2</sub> e/d y un potencial de generación de energía eléctrica de hasta 73,45 MWh, y la incineración de RSU con 401,9 t CO<sub>2</sub> e /d. No obstante, algunos escenarios alternativos como la incineración generan importantes emisiones de contaminantes criterio del aire como partículas (5,14 t/d), NO<sub>x</sub> (0,75 t/d) y CO (0,13 t/d).

Vivar, F. E. (2014),“Cuantificación de material particulado PM<sub>10</sub> y su efecto toxicológico-ambiental, en la ciudad de Azogues" Ecuador, planteó como objetivo principal contribuir en la evaluación de la calidad del aire, mediante cuantificación de las concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub> en dos puntos de la ciudad de Azogue-Ecuador a través de monitoreos con el Muestreador de Alto Volumen (High Volume Sampler, HVS), empleando filtros de micro fibra de cuarzo, alternando cada cuatro días y siguiendo procedimientos establecidos por la normativa ecuatoriana. El promedio de las concentraciones diarias de PM<sub>10</sub> durante el semestre de monitoreo fue de 70,3 µg/m<sup>3</sup>, que, si bien no supera la norma ecuatoriana de la calidad de aire de 100 µg/m<sup>3</sup>, sí sobrepasa la dada por la Organización Mundial de la Salud que establece el límite máximo de 50 µg/m<sup>3</sup>, la población estaría expuesta al desarrollo de algunas afecciones especialmente de tipo respiratorio.

Mg. Sosa B. (2015) Contaminación ambiental por material particulado y compuestos orgánicos volátiles en la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires. El presente trabajo de tesis doctoral tiene por objeto caracterizar la calidad del aire (en particular compuestos orgánicos volátiles, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> y compuestos adsorbidos) identificar y evaluar el riesgo asociado a la salud, y elaborar indicadores proponiendo una red de monitoreo que permita evaluar la problemática en cuestión y su evolución en el tiempo a fin de brindar herramientas para la toma de decisiones.

Resultados, Las concentraciones de PM<sub>10</sub> se toman como indicador teniendo como primera justificación los valores hallados, cuyo promedio local es de 34, 23 µg/m<sup>3</sup>. Estas concentraciones se encuentran dentro de lo exigido por la legislación provincial, pero muy lejos de lo establecido por la OMS (20 µg/m<sup>3</sup>). Se considera de interés medir PM<sub>2,5</sub> por ser el tamaño de partícula más nociva para la salud, tanto por la capacidad que tiene de llegar a las zonas más sensibles del sistema respiratorio, como por los compuestos capaces de adsorber. Los promedios de las mediciones realizadas en las tres zonas, muestran que los valores se encuentran entre los establecidos por la OMS (10 µg/m<sup>3</sup>) y la UE (25 µg/m<sup>3</sup>).

Curipoma S, Vivar, A 2013 “Auditoría Ambiental al Procesamiento de Desechos Sólidos por la Empresa Municipal de Aseo (EMAC) del Cantón Cuenca” Ecuador., el autor concluye que Mediante la revisión y análisis del Plan de Manejo Ambiental contra los criterios de Auditoría aplicables se determina que la implementación del Sistema de Gestión de la Calidad facilita el control ambiental y la adecuación de las políticas ambientales de la empresa con la finalidad de minimizar los efectos ambientales, así como la minimización de recursos y conocer la eficacia del Sistema Interno de Gestión Ambiental en la instalación. Tomando en cuenta todos los antecedentes del plan de manejo vigente, además de la evaluación de impactos ambientales actuales y las no conformidades halladas mediante la Aplicación de la Auditoría Ambiental al Procesamiento de Desechos Sólidos

Aldunate P, Paz O, Halvorsen k., (2016) “Los efectos de la contaminación atmosférica por PM<sub>10</sub> sobre la salud ciudad de la Paz – Bolivia” Con el objeto de estudiar el comportamiento de las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la atmosfera de la zona central de la ciudad de la paz. El análisis constato que las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la Paz no sobre pasan los límites máximos permisibles, no obstante se registraron efectos significativos sobre la salud de la población, con incremento de 23% en el número de casos de enfermedades respiratorias inferiores y el 46% en el número de casos de enfermedades de la vías respiratorias superiores, ambos, después de 12 días de haberse registrado exposiciones agudas con incremento de 20 ug/m<sup>3</sup> en las concentraciones de PM<sub>10</sub> La Paz, Bolivia.

Jiménez. E. (2007) “Estudio, diseño y gestión de sistemas de medición de la contaminación atmosférica en Tarragona”. Se define el monitoreo atmosférico y su importancia. Asimismo, se da una guía que abarca la definición de los objetivos de monitoreo, parámetros ambientales para cumplir con esos objetivos, definiciones del número o densidad de puntos de muestreo, localización y requerimientos básicos de los sitios de monitoreo (fácil acceso, infraestructura, libre de obstáculos y seguridad contra el vandalismo) y determinación de tiempos de muestreo como son de una programa de muestreo, frecuencias de muestreo y tiempos de toma de muestras, así como un cuadro comparativo de las diferentes metodologías que se utilizan para llevar a cabo un monitoreo atmosférico con sus ventajas, desventajas y costos aproximados. Dentro de este mismo capítulo, también se explica en que consiste una red de monitoreo, Tarragona.

Mendoza, J. (2019) en “Evaluación de la contaminación del aire generado por la inadecuada disposición final de los residuos sólidos en el botadero municipal de la ciudad de Moyobamba, 2017”, Moyobamba; indica algunas técnicas hacia el desarrollo de estrategias para minimizar la contaminación atmosférica en el botadero, las cuales han sido: evaluar in situ los gases emitidos a la atmósfera con el uso del tren de muestreo, la aplicación de la estadística descriptiva para analizar los impactos ambientales realizando diagramas de barras y así obtener una mejor interpretación de la evaluación en el botadero municipal de Moyobamba, contando con un registro fotográfico y fichas técnicas. Siendo los resultados a través de dos puntos para la medición de los gases  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ; en el punto de Barlovento de  $3.45 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{SO}_2$ );  $2.75 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{CH}_4$ ), y  $5.03 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y en el Sotavento  $5.33 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{SO}_2$ );  $27.25 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{CH}_4$ ), y  $8.25 \text{ ug/m}^3$  ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Concluyéndose que la concentración de dichos gases es menor en el punto de Barlovento con respecto al otro punto. También se propuso el método de evacuador de olores con piedra.

Suárez, L., Álvarez, D., Bendezú, Y. & Pomalaya, J. (2017) en su artículo “Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú” Huancayo, se enfocaron en caracterizar la composición química del MP atmosférico colectados en una estación ubicada en el centro urbano de Huancayo. Se colectó MP en agosto del 2007, y enero, abril y mayo del 2008 con un equipo de bajo volumen (PARTISOL FRM 2000) y filtros de 47 mm. Se determinó la concentración de partículas de tamaño hasta 10  $\mu\text{m}$  (MP10), partículas menores a 2,5  $\mu\text{m}$  (MP2,5) y se analizó la composición química de hasta 38 elementos, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X (XRF). Y en el caso del MP2.5 se analizó los iones: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y especies carbonáceas: carbono orgánico y carbono elemental. Los resultados de MP10 ( $64,54 \pm 30,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y MP2,5 ( $34,47 \pm 14,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) superaron la normativa anual de calidad del aire peruano, siendo el MP2,5 el que representa mayor abundancia en comparación a otras ciudades importantes. También se evidencia una mayor concentración de MP10 y MP2,5 en periodo seco. La determinación de la composición química indicó que los elementos geológicos (8%), metales (12%) y metaloides (7%) fueron los componentes más abundantes en el MP10 y los no metales (4%), iones (11%) y especies carbonáceas (44%) en el MP2,5.

Valdera, W. (2018). En su investigación “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” Lambayeque, para su estudio se tomó como unidad de análisis la ladrillera ITAL PERU SAC, CHACUPE ALTO, de Chiclayo - Monsefú, Lambayeque. En la investigación se utilizó estación Meteorológica Vantage PRO 2 PLUS, analizador de Gases; muestreador de Material Particulado MP10  $\mu\text{m}$ ; y MP2.5  $\mu\text{m}$ , las mediciones fueron realizadas en los meses de 2015 (M1), noviembre de 2016 (M2) y 06 de noviembre de 2017 (M3) en el caso de material particulado se hizo un cuarto monitoreo (M4) al variar la posición del muestreado de material particulado MP2,5 el día 07 de noviembre de 2017. Los resultados dan cuenta que el material particulado excede a los límites máximos permisibles durante 24 horas y se debe a los procesos de intervención en la ladrillera. Se infiere que la salud humana será afectada siendo

necesario implementar planes, programas y proyectos que contribuyan con la mitigación ambiental.

Marin, M. (2019) en *“Relación entre la contaminación del aire y la salud de los pobladores del sector nueva esperanza, en el distrito de Villa María del Triunfo, mes de agosto 2018”*, Lima. Afirma que, para su investigación la población fueron los médicos del sector Nueva Esperanza, especialistas del SENAMHI y personal de la Municipalidad del distrito, y como su muestra a cuatro personas pertenecientes a los mencionados anteriormente. Llegando a la conclusión que durante el estudio no se registraron datos de contaminación del aire por el SO<sub>2</sub> y CO, pero sí los valores para el PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, que provienen de mayor fuente en las quemas domésticas de residuos sólidos o procesos industriales. Poniendo en evidencia la contaminación del aire por residuos sólidos; por ende, se forma la relación inversa con la salud de los pobladores enfermedades propensas a esta contaminación (dermatitis, enfermedades digestivas); consecuentemente, a mayor contaminación del aire por residuos sólidos, menor salud; o a menor contaminación del aire por residuos sólidos, mayor salud.

Según Solier, R. (2019) en su investigación *“Análisis de la calidad del aire en términos de dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono en Villa El Salvador”*, Lima. Determina la concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) en el aire mediante el uso de un sistema de muestreo. De acuerdo con los Estándares de Calidad del Aire (ECA), la evaluación de dichos gases en la Urbanización Pachacamac de Villa en la región Salvador de la provincia de Lima se realizaron durante el feriado de fin de año debido al uso de pirotecnia y la quema de residuos sólidos (25 de diciembre de 2017 y enero 1, 2018). Los resultados determinaron el comportamiento de los factores meteorológicos (velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura y presión atmosférica) en Lima Sur, basándose en el protocolo de gestión de datos y monitoreo de la calidad del aire de DIGESA, comparando y analizando los resultados con los valores vigentes de la normativa nacional e internacional. En cuanto al gas NO<sub>2</sub>, recibió 228  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  el 1 de enero de 2018, lo que superó el nivel especificado en el ECA aire; según el índice de calidad del aire, su valor es 144  $\mu\text{g} / \text{m}^3$ , que es el nivel naranja, por lo que tiene

la clasificación BAD, por lo que las personas susceptibles se ven afectadas. Con respecto al CO, el nivel de concentración del 01/01/2018 es menor que el nivel de concentración determinado en el aire ECA, por lo que el valor del índice de calidad del aire (INCA)

ha alcanzado el nivel verde, y se propone una buena clasificación, es decir, calidad del aire Comparado con CO, es aceptable y no representa una amenaza para la salud de la población.

Mosqueira, H. (2019). “Evaluación de las partículas PM2.5 y PM10 en la construcción de la carretera Chota, Cochabamba (Cajamarca)” Cajamarca, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la concentración de PM2.5 y PM10 en la construcción de la carretera Chota – Cochabamba. Se obtuvo la concentración del material particulado (PM) utilizando el equipo HANDHELD 3016AQ, generado por el movimiento de tierra, transporte vehicular, transporte de maquinaria pesada y chancado de agregado. Así mismo, se registró las lecturas meteorológicas determinados por SENAMHI – Chota, para analizar el comportamiento de la naturaleza en función de la temperatura promedio, viento y precipitación. Los resultados del material particulado PM2.5 y PM10 no superaron los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en los cinco puntos de monitoreo; sin embargo, en la Plaza de Armas de Lajas, Chancadora Ajipampa, Cantera el Molino y Plaza de Cochabamba superan el 50% de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el PM2.5. Así mismo los valores obtenidos del material particulado PM10 en la chancadora Ajipampa en diciembre del 2012 fue de 74.90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en la cantera El Molino en diciembre del 2012 fue de 74.40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  los cuales superan el 50% del Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

## **2.2.-Bases Teóricas**

### **2.2.1.-La Atmosfera**

La atmosfera salvaguarda la vida en el universo y es fundamental para el mantenimiento de la vida del hombre, animales, plantas, peces y otros organismos. Según Prando, R. (1996). El aire es básico para todo ser vivo. Los pulmones de un ser humano medio filtran diariamente 15 kg de aire atmosférico equivalentes a unos 15 m<sup>3</sup> a presión y temperatura normales. Prando, R. (p.51, 1996).

El aire puede definirse como una mezcla gaseosa que da sustento a la vida en la Tierra debido a la presencia de oxígeno molecular. Su composición principal se ha mantenido muy estable durante siglos y sus principales componentes son el nitrógeno (78.1%), el oxígeno molecular (20.9%) y el argón (0.9%). Ibáñez, J., Hernández, M., Doria, M., Fregoso, A., Mohan, M. (p.88, 2013).

Según Camilloni, I., Vera, C. (2018) en su investigación *“Introducción. La tierra: un lugar para la vida”*, Argentina. Nos dice que la atmósfera de la Tierra es una cobertura gaseosa compuesta principalmente por Nitrógeno ( $N_2$ ), y oxígeno ( $O_2$ ) molecular, con pequeñas cantidades de otros gases, como vapor de agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Aunque nuestra atmósfera tiene un espesor de varias centenas de kilómetros, cerca del 99% de su masa gaseosa se encuentra dentro de los primeros 30Km cercanos a la superficie terrestre. En la atmósfera también están presentes tanto las nubes de agua líquida y de cristales de hielo como impurezas provenientes de fuentes naturales y humanas. Partículas de polvo, suelo y sal marina son incorporadas a ella por acción del viento y cumplen un papel beneficioso al actuar como superficies donde el agua se condensa para formar las gotas de nubes. En cambio, las partículas que se introducen a la atmósfera por acciones humanas constituyen, por su acción contaminante, un riesgo para el sistema Tierra-atmósfera.

### 2.2.2.-Composición De La Atmosfera

La constitución del aire de la homósfera se mantiene constante gracias a los continuos movimientos verticales que aseguran su mezcla continua. Las perturbaciones impiden que los gases menos pesados, como el hidrógeno y el helio, se disocien de los más pesados y escapen hacia las capas más altas. La proporción de los distintos gases presentes en el aire de los primeros 25 km de altura de la atmósfera es la que aparece en la tabla adjunta. Seoáñez M. (p.224, 2002)

**Tabla 1.**  
*Composición De La Atmosfera*

Componente	% en volumen	Peso molecular
<b>Nitrógeno (N<sub>2</sub>)</b>	78.084	28,02
<b>Oxígeno (O<sub>2</sub>)</b>	20,946	32,00
<b>Argón (Ar)</b>	0,934	39,88
<b>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	0,034	44,00
<b>Neón (Ne)</b>	0,0018	20,18
<b>Helio (He)</b>	0,000524	4,00
<b>Ozono (O<sub>3</sub>)</b>	0,0002	48,00
<b>Hidrógeno (H<sub>2</sub>)</b>	0,00005	2,02
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	Trazas	--
<b>Criptón (Kr)</b>	Trazas	--
<b>Xenón (Xe)</b>	Trazas	--

**Nota:** Seoáñez M. (2002). Tratado De La Contaminación Atmosférica. “Problemas, Tratamiento y Gestión”. (1ª Ed.). Editorial Mundi-Prensa S.A., Madrid.

### 2.2.3.-Contaminación atmosférica y la salud

La contaminación ambiental lo describimos como la presencia de cualquier agente que altere negativamente el estado natural del medio ambiente ya sea físico, químico, biológico o de una combinación de varias sustancias o elementos dañinos en lugares, formas y concentraciones que pueden ser nocivos para la salud, la seguridad, el bienestar de la población. Según la OMS, (2021) define a la contaminación del aire como la presencia de uno o más contaminantes en la atmósfera, tales sea polvo, humos, gas, neblina, olor, humo o vapor, en cantidades y duración que pueden ser perjudiciales para la salud humana. Puntualizando que la principal vía de exposición es a través del tracto respiratorio, la inhalación de estos contaminantes provoca inflamación, estrés oxidativo, inmunosupresión y mutagenicidad en las células de nuestro cuerpo, lo que afecta los pulmones, el corazón, el cerebro, entre otros órganos y, en última instancia, conduce a la enfermedad.

Por otro lado, la OMS, (2005) en sus Guías de calidad del aire se refiere a cuatro contaminantes comunes del aire: material particulado (MP), ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), son las causas de más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados.

Por otra parte, Prando, R. (1996). Considera que la combustión de combustibles fósiles libera grandes cantidades de SO<sub>2</sub> y aún más si estos tienen elevado contenido en S, NO<sub>x</sub> producidos durante el calentamiento de N<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub>, y CO<sub>2</sub>. Además, puntualiza que si la combustión es incompleta se producen monóxido de carbono (CO) y una variedad de hidrocarburos incluyendo metano y hollín, (partículas de carbón). Sin embargo, considera también otras actividades industriales que liberan cantidades adicionales de SO<sub>2</sub>, de CFC, metales tóxicos en el aire, etc., pudiendo ser estas muy nocivas para el medio ambiente. (p.53).

A su vez, Seoáñez M. (2002) indica que las normas definidas por la OMS para uno o varios contaminantes atmosféricos se superaban al menos una vez al año en el 80% de las 105 ciudades de Europa de más de 500.000 habitantes. En este contexto millones de europeos son víctimas de la contaminación en Europa, aproximadamente un 15% de los residentes en las ciudades sufren asma, y un 7%, problemas respiratorios, elevándose así el índice de personas asmáticas al 23% de la población en las ciudades más contaminadas. (p.71).

En los estudios realizados por la Defensoría Del Pueblo, (2006) En El Informe Defensorial No. 116 “La Calidad Del Aire En Lima Y Su Impacto En La Salud Y La Vida De Sus Habitantes”, Lima. Se realizaron investigaciones epidemiológicas concluyendo que el material particulado, especialmente aquellas de diámetro menor a 10 y 2.5 micrones (PM 10 y PM<sub>2.5</sub>), son especialmente nocivas para la salud de las personas por la facilidad que tienen de penetrar el sistema respiratorio, afectando los tejidos más profundos de los pulmones. Siendo los más vulnerables los niños y adultos mayores, y sobre todo aquellos que sufren enfermedades respiratorias que acompañado por un acelerado deterioro de la calidad del aire se ven muy afectados en la salud. (p,33).

La Organización mundial de la salud estimó que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas pequeñas de 2,5 micrones o menos de diámetro (PM2.5), que causan enfermedades cardiovasculares, respiratorias, y cáncer, considerando que los países de ingresos bajos y medianos sufren las exposiciones más altas. (OMS, 2018).

#### **2.2.4.-Fuentes Naturales De Contaminación**

Son las fuentes de contaminación de origen natural, sin la intervención de las actividades humanas o donde la mano del hombre no interviene, pudiendo ser los vientos que producen polvaredas o bien tormentas de polvo y arena, la erosión del suelo, sustancias emitidas por la vegetación, animales, el mar, las actividades microbianas.; por otro lado, según Prando, R. (1996), algunas variaciones en las concentraciones de los constituyentes atmosféricos se deben a variaciones en las tasas de emisión de fenómenos naturales, tales como las erupciones volcánicas que pueden liberar gases de azufre y de cloro.(p,53). Las erupciones volcánicas también emiten CO<sub>2</sub>, cenizas volcánicas, entre otros contaminantes.

Además de los incendios forestales producidos por el incremento de temperaturas que, según Sabuco, L. (2013) en la revista de “*Apuntes de ciencia y sociedad, La Problemática de los Incendios Forestales y Bases para su Teledetección en el Perú*”, Lima. Estos emiten contaminantes tales como gases de efecto invernadero, 40% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 16% de metano (CH<sub>4</sub>) y 30% de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), Gases como el monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), monóxido y dióxido de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>) precursores de ozono troposférico. También se emiten gases como el cloruro y bromuro de metilo (CH<sub>3</sub>Cl, CH<sub>3</sub>Br) que afectan el ozono estratosférico, Además de compuestos orgánicos persistentes como dioxinas y furanos. (p.141).

#### **2.2.5.-Fuentes Artificiales De Contaminación**

Son las que contaminan a causa de actividades humanas, donde interviene la presencia del ser humano. La mayor parte de la contaminación procede de la utilización de combustibles fósiles tales como carbones, petróleo y gas. Prando, R. (1996). Señala que las actividades humanas son responsables en gran parte de los aumentos y variaciones de las concentraciones de los constituyentes atmosféricos verificados en los últimos siglos. (p.53). Entre las actividades humanas generadoras de contaminación intervienen las fuentes fijas y móviles.

##### **-Fuentes Fijas:**

Son aquellas instalaciones establecidas en un solo lugar, “fuentes antrópicas (industrias, ciudades, etc.)” Seoáñez M. (p.76, 2002) y que tiene como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, de servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera, podemos mencionar tales como centrales térmicas, plantas de

petrolero, plantas productoras de pinturas y tintas, las siderometalúrgicas (acero, vidrio, etc.), fábricas de papel, centrales de generación de la electricidad, fábricas de cemento, planta de productos químicos que son las que más contaminantes producen. De acuerdo con la Defensoría del Pueblo de Lima, (2006) señala como fuentes fijas de contaminación atmosférica (industrias, talleres, pollerías, etc.), las cuales originan problemas puntuales y significativos de contaminación de aire debido a la falta de una adecuada zonificación para dichas actividades y el crecimiento desordenado de la ciudad. Asimismo, el Ministerio De Ambiente (MINAM, 2014), En el Informe Nacional De La Calidad Del Aire 2013-2014 realiza una comparativa de los porcentajes de emisiones de material particulado (como partículas totales en suspensión PTS), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) e hidrógeno sulfurado (H<sub>2</sub>S) liberadas por fuentes fijas constituidas tanto por fuentes puntuales (como industrias, ladrilleras y otros grandes procesos productivos). (p,21)

### **-Fuentes Móviles:**

En este apartado consideramos los vehículos automotores que circulan por carretera tales como los automóviles camiones, autobuses y motocicletas.

MINAM, (2014) observó las emisiones de fuentes móviles de contaminantes como monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) que incluye las COV evaporativas, óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), material particulado (PM), apreciando fácilmente que el CO es el contaminante que en mayor porcentaje emiten las fuentes móviles, seguido de los COV. (p,21).

Con el fin de regular y establecer límites permitidos de emisión de contaminantes la EPA, (2016) señala como fuentes móviles a los motores de los vehículos, los vehículos recreativos y los motores en general, coches, camiones, autobuses, generadores, máquinas utilizadas en agricultura, ganadería y construcción, motores para embarcaciones y locomotoras, en consecuencia, todas aquellas consideradas para operar las fuentes móviles tales como la composición de los combustibles, incluida la gasolina, el diésel, el etanol, el biodiésel y las mezclas de estos combustibles que generen contaminantes atmosféricos deben cumplir los estándares de emisión de La Ley de Aire Limpio o Clean Air Act (CAA, por sus siglas en inglés).

Además, Aguilera, F. (2015) señaló que las aeronaves, es una de las fuentes móviles que emiten gases y partículas directamente en la troposfera superior y en la estratósfera inferior donde estos gases y partículas alteran la concentración de los gases atmosféricos de efecto invernadero, que incluyen al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), al ozono (O<sub>3</sub>) y al metano (CH<sub>4</sub>). (p,2). Por otro lado, el Consejo de la OACI, (2017), adoptó una nueva norma sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> de los aviones que reducirá el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero de la aviación en el clima mundial.

## 2.2.6.-Material Particulado ( $PM_{10}$ y $PM_{2.5}$ )

Es una mezcla de partículas sólidas y líquidas minúsculas, que se encuentran en el aire que respiramos y contienen una mezcla de compuestos como polvo, hollín, sales, humos, materia orgánica que pueden ser muy perjudiciales para la salud de las personas incluyendo animales y plantas.

Según La EPA, (2020) define el material particulado (PM) como una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire clasificándolas como:  $PM_{10}$ : partículas inhalables que tienen diámetros de 10 micrómetros y menores; y  $PM_{2,5}$ : partículas inhalables finas que tienen diámetros de 2,5 micrómetros y menores.

### -Origen del material particulado

Rodríguez, D. (2017). En su investigación señala que el (PM) es un componente corriente de la atmósfera terrestre que se produce mayoritariamente de manera natural, aunque en los últimos años las fuentes antrópicas (emisiones residenciales y domésticas, tráfico rodado y procesos industriales, entre otros) han ido contribuyendo cada vez más a incrementar los niveles de contaminación atmosférica que se asocian al material particulado. (p,4)

Tabla 2.  
*Origen Del Material Particulado*

<b>ORIGEN DEL MATERIAL PARTICULADO</b>	
<b>Origen natural</b>	<b>Orígenes antropogénicos</b>
<b>Erupciones Volcánicas</b>	Industrias (desde las extractivas hasta las metalúrgicas y cerámicas).
<b>Descomposición de las rocas y suelos</b>	Actividad humana propiamente dicha: ropa, calzados, transportes, residuos urbanos, etc.
<b>Esporas, vegetales microscópicos</b>	Actividad química y médica.
<b>Tormentas de polvo y arena</b>	Explotaciones ganaderas y agricultura
<b>Sustancias emitidas por la vegetación y animales</b>	Combustiones (térmicas, calefacciones, vehículos automotores).
<b>Actividades microbianas, bacterias</b>	Emisiones residenciales y domésticas
<b>Acción del sol, aerosol marino</b>	Emisiones de gases de los aviones y barcos
<b>Arrastre de aguas, minerales</b>	Polvo radiactivo, de cemento, de carbón, insecticidas y niebla.

Nota: Elaboración Propia. Fuente Seoáñez M. (2002)

Como se mencionó en anteriormente las partículas gruesas  $PM_{10}$  de un tamaño comprendido entre 2,5 y 10  $\mu$  y las finas  $PM_{2.5}$  de menos de 2,5  $\mu$ ., y de acuerdo a la OMS, (2005) el  $MP_{10}$  se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como las obras de construcción, la resuspensión del polvo de los caminos y el viento, mientras que las  $MP_{2.5}$  proceden sobre todo de fuentes de combustión, incluso procesos industriales.

### 2.2.7.-Composición Química Del Material Particulado, (PM2.5 y PM10).

El material particulado es uno de los contaminantes que suele ser más problemático por encontrarse suspendido en el aire por determinado tiempo y pueden ser de diferente tamaño, los cuales deben ser analizados para determinar la relación del efecto que conllevan en la salud y en el medio ambiente.

Seoáñez M. (2002) describe la composición de las partículas en general, como una mezcla compleja de productos entre cuyas características de composición se encuentra la de que normalmente existe un predominio de componentes que depende de la zona de muestreo. (p,93).

Pérez, R. (2013) define las partículas suspendidas o material particulado atmosférico (PM) como una mezcla compleja de partículas de diferentes tamaños, conformadas por una amplia gama de sustancias químicas. Además, indica que las PM constituyen un sistema único en complejidad de multifases entre gas, líquido y sólido, heterodisperso o polidisperso en donde la distribución de tamaño es la característica más importante para determinar sus propiedades que podrían estar asociados a su composición química, entre otros, deposición y tiempo de vida media en la atmósfera. (p,2).

**Tabla 3.**  
*Composición Química Del Material Particulado*

<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL PARTICULADO ATMOSFERICO</b>	
<b>Derivados del azufre</b>	SH <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> y derivados
<b>Derivados del carbono</b>	CO <sub>2</sub> , CO, Hidrocarburos, Aldehídos, Etileno
<b>Halógenos y derivados</b>	F y derivados, Cl y derivados Otros halógenos y derivados
<b>Derivados del nitrógeno</b>	NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, NO <sub>3</sub> , PAN, PPN, PBN, NH
<b>Metales pesados y afines</b>	Pb, Cd, Ni, Be, Hg, Cr, V, Zn, Amianto, Arsénico, Cianuros, Talco, Fibra de vidrio
<b>Sustancias orgánicas volátiles</b>	Hidrocarburos (ya citados), Disolventes, Productos químicos intermedios, como el cloruro de vinilo
<b>Aerosoles</b>	Varios

Nota: Elaboración Propia. Tomado de Seoáñez M. (2002)

### 2.2.8.-Calidad del aire

El Ministerio de Ambiente define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. (MINAM, 2017).

La calidad del aire depende de distintos factores, como son la naturaleza y concentración del contaminante, la intensidad y frecuencia de emisión, el número de fuentes contaminantes, la temperatura y la humedad, la ventilación del ambiente, dirección del viento, el tipo de actividad que realicemos y según sea el ambiente en que nos desenvolvamos, entre otros factores. Seoáñez M. (p.640, 2002). La buena calidad del aire está al margen de mantener aquellas sustancias presentes en el aire dentro de los valores establecidos, que no sobrepasen los valores estándares de calidad de aire de un país.

### 2.2.9.-Leyes Que Regulan La Calidad Del Aire

Para mejorar la situación sobre la calidad del aire y asegurar el cumplimiento de los valores establecidos, valores máximos permitidos; las administraciones, autoridades gubernamentales deben trabajar para reducir el tráfico automotor y mejorar los sistemas productivos industriales con el fin de que mejorar la calidad del medio ambiente sobre todo en las ciudades donde los efectos negativos en la salud de la población son mayores.

En las GCA de la Organización mundial de la salud se proporciona los valores guía para el MP, el ozono, el NO<sub>2</sub> y el SO<sub>2</sub>, para tomarse como referencia y adoptarlos en las normas o leyes de cada país a fin de mantener niveles inferiores a estos valores guía. Debido a las pruebas epidemiológicas realizadas superar los valores guía cabe la posibilidad de efectos adversos en la salud y aunque se hayan alcanzado estar dentro del rango permitido se corre el riesgo de efectos agudos y crónicos en la salud por lo que algunos países podrían decidir adoptar concentraciones inferiores a los valores de la OMS como normas nacionales de calidad del aire. Sin embargo, el objetivo de la gestión de la calidad del aire y la reducción de los riesgos para la salud en todos sus aspectos debe ser en avance hacia los valores guía. OMS (2006).

#### Tabla 6.

*Guías de calidad del aire de la OMS para el material particulado: Valores de concentraciones de 24 horas y concentraciones medias anuales*

Guías (OMS)	
<b>MP<sub>2.5</sub></b>	10 µg/m <sup>3</sup> , media anual
	25 µg/m <sup>3</sup> , media de 24 horas
<b>MP<sub>10</sub></b>	20 µg/m <sup>3</sup> , media anual
	50 µg/m <sup>3</sup> , media de 24 horas

Nota: Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre Actualización mundial 2005. (OMS, 2006)

Actualmente, la EPA, está autorizada a establecer Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS) para proteger la salud pública y el bienestar público y regular las emisiones de contaminantes atmosféricos peligrosos, que a través de La Ley de Aire Limpio (CAA), ley federal integral que regula las emisiones al aire de fuentes fijas y móviles, entre otras, esta ley identifica dos tipos de estándares nacionales de calidad del aire ambiental. *Los estándares primarios* brindan protección a la salud pública, incluida la protección de la salud de poblaciones "sensibles" como los asmáticos, los niños y los ancianos. Mientras que *Los*

*estándares secundarios* brindan protección del bienestar público, incluida la protección contra la disminución de la visibilidad y el daño a los animales, los cultivos, la vegetación y los edificios. (EPA, 2021)

Tabla 7.

Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental, (NAAQS) para material particulado ( $PM_{2.5}$ ) y ( $PM_{10}$ ).

Contaminantes (enlaces a tablas históricas de revisiones de NAAQS)	Primario y Secundario	Tiempo Promedio	Nivel	Formulario
Contaminación por Partículas (PM)	Primario	1 año	12,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual, promediada durante 3 años
	Secundario	1 año	15,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Media anual, promediada durante 3 años
	Primario y Secundario	24 horas	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Percentil 98, promediado durante 3 años
	Primario y Secundario	24 horas	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	No debe excederse más de una vez al año en promedio durante 3 años.

NOTA: EPA, (2021). Contaminantes atmosféricos de criterio, Tabla NAAQS. Última Actualización el 10 de febrero de 2021, Recuperado de: <https://www.epa.gov/criterio-air-pollutants/naaqs-table>

Para las regulaciones peruanas sobre el material particulado en la Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM se establece valores permitidos para el monitoreo y control de la calidad del aire, en el Artículo N° 1 de la citada Resolución Ministerial, establece el Índice de Calidad del Aire – INCA. Considerando los siguientes valores divididos en cuatro categorías de calidad del aire que coincide con el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental de Aire. (MINAM, 2016).

**Tabla 8.**

*Valores del índice de calidad del aire*

Calificación	Valores del Inca	Colores
<b>Buena</b>	0 - 50	Verde
<b>Moderada</b>	51 - 100	Amarillo
<b>Mala</b>	101 – VUEC*	Anaranjado
<b>VUEC*</b>	>VUEC*	Rojo

**Nota:** MINAM, (2016). *Índice De Calidad Del Aire* Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM, Perú.

**Tabla 9.**

*Valores ICA para Material Particulado ( $PM_{2.5}$ ) promedio de 24 horas*

Material particulado ( $PM_{2.5}$ ) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Ecuación
0 - 50	0 – 12.5	
51 - 100	12.6 - 25	$I (PM_{2.5}) = (PM_{2.5}) * 100/25$
101 - 500	25.1 - 125	
>500	>125	

**Nota:** MINAM, (2016). *Índice De Calidad Del Aire* Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM, Perú.

**Tabla10.***Valores ICA para Material Particulado (PM10) promedio de 24 horas*

<b>Material particulado (PM10) promedio 24 horas</b>		
<b>Intervalo del INCA</b>	<b>Intervalo de concentraciones (ug/m3)</b>	<b>Ecuación</b>
<b>0 - 50</b>	0 - 75	
<b>51 - 100</b>	76 - 150	$I (PM10) = (PM10) * 100/150$
<b>101 - 167</b>	151 - 250	
<b>&gt;167</b>	>250	

**Nota:** MINAM, (2016). *Índice De Calidad Del Aire* Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM, Perú.

En los países tanto desarrollados como subdesarrollados y de baja economía encaminan sus normas y leyes para minimizar los costos medioambientales, de salud y economía desencadenando en la industria modificaciones profundas, que afectan a la forma de producir, a la selección de los objetivos sociales, en los procesos de investigación y el desarrollo de nuevos productos, en la estrategia comercial, en los esquemas organizativos y en los sistemas de gestión y control. Prado, R. (p.18, 1996).

Asimismo, el estado peruano a través del Ministerio de Ambiente, en la DECRETO SUPREMO N° 003-2017- MINAM se Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley, establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas y es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. (MINAM, 2017).

**Tabla 11***Estándares de Calidad Ambiental para Aire*

<b>Parámetros</b>	<b>Periodo</b>	<b>Valor (ug/m3)</b>	<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Método de Análisis</b>
<b>Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM<sub>2.5</sub>)</b>	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media Aritmética	
<b>Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>)</b>	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media Aritmética anual	

**Nota:** Ministerio de Ambiente, (MINAM, 2017). Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM Aprueban Estándares De Calidad Ambiental (ECA) Para Aire y Establecen Disposiciones Complementarias. Ministerio de Ambiente, Perú.

## 2.2.10.-Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente

La contaminación ambiental con emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles que sobrepasan los valores permisibles han sido ampliamente relacionada con enfermedades respiratorias. La población expuesta a estos contaminantes aéreos resulta muy perjudicada, estudios epidemiológicos realizados confirman el impacto que tiene en la salud respiratoria de los niños, adultos, ancianos y sobre todo aquellas personas vulnerables que padecen infecciones respiratorias agudas o enfermedades pulmonares. (MINSA,2005Según EPA, (2018).

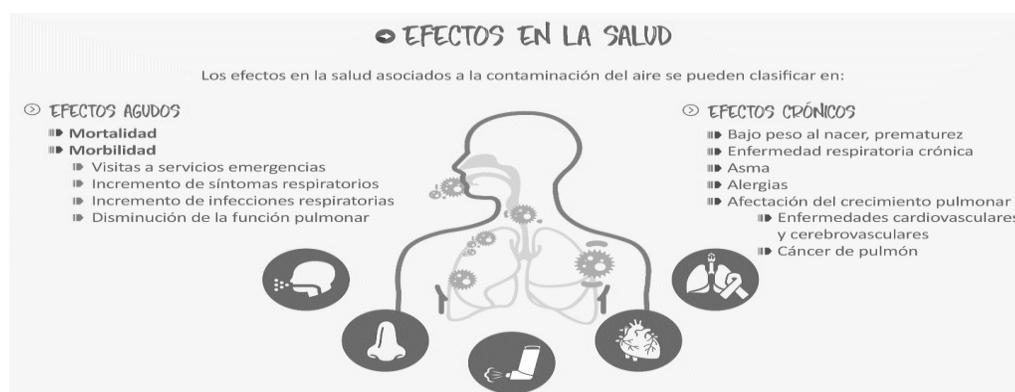
El tamaño de las partículas se vincula directamente con los problemas de salud. Aquellas partículas pequeñas menos de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (PM10) suponen los mayores problemas, debido a que pueden llegar a la profundidad de pulmones, y algunas hasta pueden alcanzar el torrente sanguíneo. Aún más aquellas partículas menores a  $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (PM2.5) la exposición a estas medidas pequeñas puede afectar tanto a los pulmones como al corazón y tiende a afectar en su mayoría a personas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños y adultos mayores.

Debido a estas exposiciones se pueden generar los siguientes efectos a la salud:

- Muerte prematura en personas con enfermedades cardíacas o pulmonares
- Infartos de miocardio no mortales
- Latidos irregulares
- Asma agravada
- Función pulmonar reducida
- Síntomas respiratorios aumentados, como irritación en las vías respiratorias, tos dificultad para respirar.

### Figura 1

*Instituto Nacional De Salud Pública de México. Sobre la Contaminación del aire y la salud.*



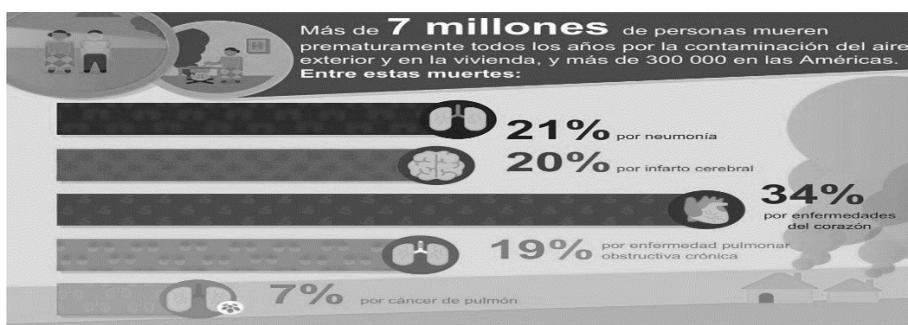
**Nota:** Instituto Nacional De Salud Pública de México. (INSP). (22 de abril de 2021). *Contaminación del aire y la salud*. Actualizado el miércoles 26 agosto 2020, México. Recuperado de: <https://www.insp.mx/infografias/contaminacion-aire-salud.html>

La Organización mundial de la Salud expresa que las principales causas de muerte están relacionadas con los problemas respiratorios causados por el uso de cocinas o estufas contaminantes, que constituyen la principal causa de contaminación del aire doméstico, debido a que millones de familias no disponen de combustibles y tecnologías de

cocción limpios en sus hogares. Se afirma que cada año, cerca de 4 millones de personas mueren prematuramente por enfermedades atribuibles a la contaminación del aire en los hogares, debido al uso de estufas ineficientes, contaminantes y a la utilización de combustibles sólidos y queroseno, combustibles para calefacción e iluminación, además de la contaminación del aire exterior por la quema de combustibles fósiles para generar electricidad, calefacción y en el transporte. OMS, (2014).

## Figura 2

Estadísticas de la OMS.



**Nota:** United Nations Climate Change. (UNFCCC). (23 de abril de 2021). OMS: *El Acuerdo de París es un acuerdo a favor de la salud*. Recuperado de: [https://unfccc.int/es/news/oms-el-acuerdo de paris es-un-acuerdo a favor de la salud](https://unfccc.int/es/news/oms-el-acuerdo-de-paris-es-un-acuerdo-a-favor-de-la-salud)

### III. MÉTODOS Y MATERIALES

#### 3.1. Metodología

##### 3.1.1. Diseño metodológico

El tipo de estudio es experimental – descriptivo, el diseño para la contratación de hipótesis se aplicará el diseño experimental y descriptivo transversal correlacional 4 x 2

**Tabla 12.**  
*Diseño de contrastación de hipótesis*

	C	Ci	Cii
<b>M</b>	<b>T</b>		
	T1	M1T1Ci	M1T1Cii
<b>M1</b>	T2	M1T2Ci	M1T2Cii
	T1	M2T1Ci	M2T1Cii
<b>M2</b>	T2	M2T2Ci	M2T2Cii
	T1	M3T1Ci	M3T1Cii
<b>M3</b>	T2	M3T2Ci	M3T2Cii
	T1	M4T1Ci	M4T1Cii
<b>M4</b>	T2	M4T2Ci	M4T2Cii

**Nota:** Elaboración Propia

- Concentraciones del Material Particulado a determinar:

$$Ci = PM (2.5)$$

$$Cii = PM (10)$$

- Muestras tomadas de 4 puntos de la ciudad:

$$M1 = \text{Muestra 1} \quad M2 = \text{Muestra 2}$$

$$M3 = \text{Muestra 3} \quad M4 = \text{Muestra 4}$$

- Tiempo de muestreo:

$$T1 = \text{Tiempo durante 24 horas.}$$

$$T2 = \text{Tiempo durante un Año.}$$

#### 3.2. Materiales, Equipos y Reactivos

##### 3.2.1. Materiales:

- Micro balanza de  $\pm 0,010$  de Precisión
- Sacabocados de diferentes diámetros
- Viales De Vidrio Y PVC de 3ml, 5ml, 10ml y 20ml
- Purificador De Agua
- Micropipeta Automática Rango Variable
- Baño De Limpieza Por Ultrasonidos Branson
- Papel Filtro

### **3.2.2. Equipos:**

- Muestreador De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI
- Equipo de electroforesis capilar de zona
- Detector electroquímico.
- Laptop con la hoja de cálculo Excel de Microsoft Office.

### **3.2.3. Instrumentos:**

- Libreta de registro de datos
- Ficha de recolección de datos de DIGESA
- Cronometro

### **3.2.4. Reactivos utilizados como disolución electrolítica para la EC**

- Ácido 2- (N-morfolino) etanosulfónico (MES), 99% de pureza (CAS n°: 4432-31-9). Se trata de un tampón perfectamente soluble en agua y de naturaleza tóxica por contacto o inhalación, motivo por el que debe ser manipulado con cuidado.
- Histidina, 99% de pureza (CAS n°: 71-00-1). Sólido blanco que puede generar irritación de las vías respiratorias al ser inhalado. Además, debe conservarse en ausencia de humedad.
- Para la determinación de cationes, sin embargo, utilizamos dos reactivos a mayores: la hidroxipropilcelulosa (HPC) y el 18crown-6.
- Hidroxipropilcelulosa (HPC), pureza 99% (CAS n°: 9004-64-2). Compuesto soluble en agua y disolventes orgánicos que puede ser un ligero irritante ocular y de las vías respiratorias.
- 18crown-6, Fluka, 99% de pureza (CAS n°: 17455-13-9). Se trata de un sólido con la apariencia de un polvillo blanco tremendamente tóxico en caso de ingestión y que también puede provocar reacciones de irritación cutánea en caso de que se produzca contacto físico.

### **3.3. Especificaciones Técnicas del Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI**

- Muestro de partícula: PM2.5 y PM10
- Rango de flujo: 10-20 LPM
- Intervalo de muestreo: 24-horas de muestras
- Exactitud:  $\pm 2\%$
- Temperatura de operación: -30 a 45°C
- Resolución de termómetro ambiental: 0.1°C
- Exactitud de termómetro ambiental:  $\pm 2\%$
- Presión barométrica: 600 a 800 mm Hg.
- Batería interna: 12v, 12Ah protegido contra corto circuito
- Alimentación eléctrica opcional: Solar
- Salida de datos: Cable serial RS232
- Idioma: inglés, español

### **Figura 3**

*Partes Internas del Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200*

*FRM de BGI*



**Nota:** Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI

#### **3.3.1. Criterios aplicados para ubicación del Muestreador portátil**

El Código de Regulaciones Federales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (CFR 40) -(EPA,2016), establece los criterios de representatividad para la localización de los sitios de muestreo de partículas suspendidos totales, de la siguiente forma:

- Altura de la toma de muestra sobre el piso: 2-15 m.
- Distancia al árbol más cercano: > 20 m de la inflorescencia que marca el follaje o las raíces y por lo menos 10 m, si los árboles actúan como un obstáculo.
- La distancia del muestreador a obstáculos como edificios, debe ser mínimo, el doble de la altura en que sobresale el obstáculo sobre el muestreador. Se recomienda un radio libre de 10 m.
- El equipo debe tener un flujo de aire sin restricciones, 270° alrededor de la toma de muestra y/o un ángulo de 120° libre por encima del equipo. No podrá haber flujos de hornos o de incineración cercanos. Se recomienda 20 m de distancia del sitio de muestreo.
- La distancia a las carreteras/caminos debe ser de 2 a 10 m del borde a la línea de tráfico más cercana. (Delgado, P., p.64, 2017)

#### **3.3.2. Características del Lugar de Monitoreo**

Además, se deben tener en cuenta las siguientes características del lugar de monitoreo:

- Fácil acceso para la instalación e inspección del equipo, mantenimiento, calibración, etc.
- Seguridad contra la incultura o vandalismo.
- El lugar debe contar con energía eléctrica segura de ser necesario, ya que el equipo tiene baterías portátiles y panel solar como energía opcional, además tener facilidad de comunicación telefónica de ser requerido.
- El equipo debe estar libre de obstáculos que afecten o distorsionen el flujo de aire en las cercanías del muestreador tales como, (edificios, árboles, casas, balcones, aglomeraciones de personas en el lugar del equipo, etc.). (Delgado, P., p.65, 2017)

### 3.4. Parte experimental

#### 3.4.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en la región Lambayeque, costa norte del Perú, donde se encuentra inmersa la zona metropolitana de Chiclayo, que según la publicación del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) en su Boletín Especial N° 26 titulado “Perú: Proyecciones de Población, Según Departamento, Provincia y Distrito, 2018-2020”, el cual contiene las proyecciones de la población hasta el nivel distrital, indica que el departamento de Lambayeque cuenta con una población de 1 310 785 de habitantes, de los cuales en la Provincia de Chiclayo comprenden 862 709 habitantes, el distrito de Ferreñafe con 107 241 habitantes y el distrito de Lambayeque con 340 835 habitantes. (INEI, 2020).

La provincia de Chiclayo se ubica entre las coordenadas geográficas 06°44'21" - 06°48'18" latitud Sur y 79°48'35" - 79°53'18" longitud Oeste y a una altitud de 24 msnm; se encuentra a 770 km al Noroeste de la ciudad de Lima y a 578 km de la frontera con el Ecuador, ocupa la parte céntrica del valle Chancay- Lambayeque, extendiéndose sobre un relieve costero con un ancho promedio de 25 km, tiene una superficie de 58 km<sup>2</sup>, con una extensión máxima de noroeste a sudeste de 9,2 kilómetros de largo y 6,3 kilómetros de ancho. El clima es desértico, semiárido, con poca lluvia durante el año (precipitación pluvial promedio de 18 mm/año). La temperatura oscila entre una máxima de 30,6°C, y mínima de 15,3°C. (García, C. p.30, 2019).

#### Figura 4

*Mapa del Perú, mostrando la región Lambayeque, distrito de Chiclayo*

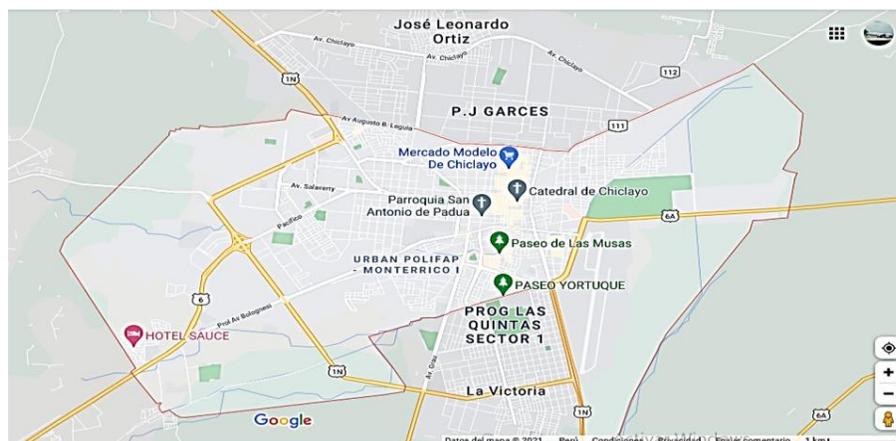


**Nota:** Captado de Google Maps

La provincia de Chiclayo abarca el área urbana de los distritos de Chiclayo, José L. Ortiz y la Victoria, que cuentan con la mayor densidad poblacional de la región y albergan el mayor movimiento comercial y social. El área, tiene una fuerte influencia sobre centros poblados localizados en un radio de 12 a 15 km<sup>2</sup>, como son los distritos de Monsefú, Pimentel, Pomalca, Eten y Reque, pertenecientes a la provincia de Chiclayo y los distritos de Lambayeque y San José, de la provincia de Lambayeque; estos centros urbanos convergen en un claro patrón radial; la tipología del área en estudio es comercial, administrativa y financiera, de potencial industrial y turístico. (García, C. p.30, 2019).

**Figura 5**

*Área de estudio del distrito de Chiclayo*



**Nota:** Captado de Google Maps

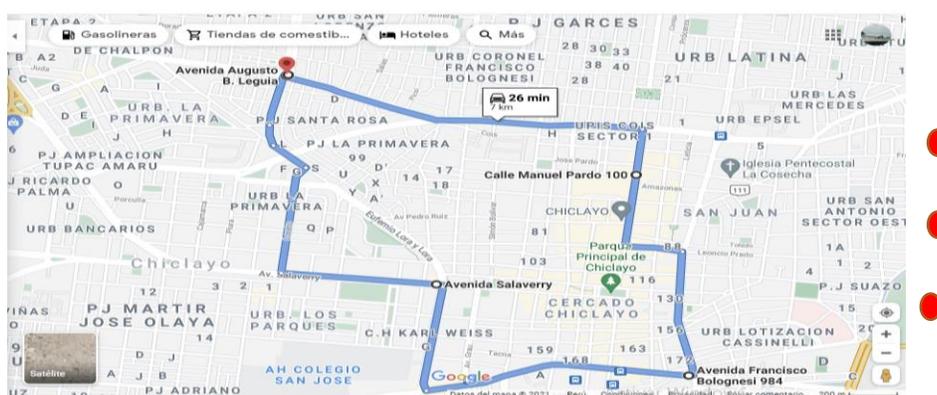
### 3.4.2. Ubicación Especifica del área de estudio

El trabajo de estudio está enfocado en la determinación de material particulado, específicamente en el distrito de Chiclayo, el área de estudio comprende estratégicamente cuatro lugares que representan mayor tráfico concurrido, alta influencia comercial y fábricas industriales en sus alrededores, estos lugares son: La intersección de la Av. Augusto B. Leguía y Av. Mariano Cornejo, en el mercado modelo de Chiclayo con intersección entre la Av. José Balta y Calle Manuel Pardo, en la intersección entre la Av. Francisco Bolognesi y Av. Sáenz Peña y en la intersección entre la Av. Salaverry y Eufemio Lora y Lora, todos ellos ubicados en lugares comerciales y de mayor afluencia vehicular.

La información registrada a nivel de suelo en estas 4 estaciones por el equipo de monitoreo portátil, indicaron que la calidad del aire en la ciudad de Chiclayo se encuentra muy influenciada por las concentraciones de material particulado menor a 2.5 y 10 micrómetros (PM2.5 y PM10). Las emisiones atmosféricas relevantes que afectan a miles de personas que viven en la ciudad, son las del parque automotor que circula diariamente por sus principales avenidas, siendo la fuente más importante, donde productos de la combustión vehicular, es la principal fuente de contaminantes en la ciudad de Chiclayo, estos gases interactúan en la atmósfera produciendo infinidad de reacciones químicas.

**Figura6**

*Ubicaciones específicas del área de estudio*



**Nota:** Captado de Google Maps

### **3.5.Métodos para determinar la concentración de PM2.5 y PM10**

La técnica que se utilizó en la presente investigación es la Observación, debido a que las concentraciones de MP2.5 y MP10 se determinaron por el método gravimétrico a través de la diferencia del peso inicial y final de cada filtro de muestreo, para obtener las muestras respectivas se utilizó un Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI, por Paz Laboratorio, Arequipa - Perú (Figura 11), además de tener un registro electrónico de la concentración de partícula muestreada según el tipo de partícula a muestrear y con referencia al tiempo seleccionado, cabe señalar que las muestras tanto medidas por el método gravimétrico como por las obtenidas de manera automática por el sistema, no varían considerablemente las cantidades por lo cual se consideró tomar las mediciones automáticas realizadas por el sistema del equipo que fueron descargadas a una memoria USB portátil, considerando conservar los filtros para ser analizados para la determinación química de las partículas, es importante señalar que este equipo utilizado incorpora tecnología pionera para satisfacer y superar los requisitos del muestreo de particulado ambiente dictados por la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA), y diseñado para muestrear partículas PM2.5 y/o PM10 en el ambiente a un flujo constante de 16.67 L/min, capaz de funcionar durante 24 horas sobre la batería interna incorporada de 12 voltios. La batería interna brinda alimentación durante las interrupciones de alimentación de CA, lo que le permite evitar las interrupciones en el muestreo, además de ser un instrumento autorizado por la EPA.

Su funcionamiento se basa en la aspiración de aire, por una tobera en la que se discriminan las partículas tipo PM2.5 y PM10 depende del tipo de partícula que se desee analizar. En la parte superior del cabezal, a la entrada de las toberas por las que circula el aire succionado, se deposita una capa de silicona cuya función es retener las partículas más gruesas para evitar que lleguen hasta el filtro. El aire circula de tal manera que atraviesa el filtro, quedando depositado el PM2.5 o PM10 y sale por un tubo ubicado en el otro extremo del equipo. El equipo además contiene un sensor que permite medir el caudal de aire en circulación y un sensor de temperatura ambiente. Para aplicar este método fue necesario definir la recolección de datos de una población representativa, que en este caso comprendió los sectores tal como fuentes fijas (área industrial y comercial) y las fuentes móviles representadas por el parque automotor de la provincia de Chiclayo.

La técnica gravimétrica utilizada consistió en pesar los filtros utilizados de fibra de 150 mm de diámetro y debiendo haberles revisado previamente a utilizarse para asegurar su integridad. Su acondicionamiento se lleva a cabo durante dos días en una sala de balanzas a temperatura y humedad controladas (20 °C y 55% de humedad). Una vez acondicionados, los filtros se pesan en una micro balanza de  $\pm 0,010$  de precisión y se llevan al captador. Tras la captación del PM2.5 y PM10, los filtros se vuelven a acondicionar en la sala de balanzas (temperatura y humedad relativa controlada) y se pesan. La diferencia de peso antes y después del muestreo nos proporciona la masa de material particulado de esas 15 horas de muestreo. Una vez pesados los filtros, estos se conservan a -18°C hasta el momento de su extracción acuosa para el análisis de composición química.

## Figura 7

### Control del Muestreador Portátil



**Nota:** Captura Propia

El punto de muestreo se situó en las avenidas principales de Chiclayo como son la intersección de la Av. Augusto B. Leguía y Av. Mariano Cornejo, en el mercado modelo de Chiclayo con intersección entre la Av. José Balta y Calle Manuel Pardo, en la intersección entre la Av. Francisco Bolognesi y Av. Sáenz Peña y en la intersección entre la Av. Salaverry y Eufemio Lora y Lora, en donde se han recogido muestras diarias de PM<sub>2.5</sub> o PM<sub>10</sub> desde el 1 de abril hasta el 31 de mayo de 2021.

La captación del PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> se llevó a cabo durante toda la semana, desde las 6 horas hasta las 20 horas en cada punto de monitoreo, siendo cuatro los puntos de recolección de datos, un punto por semana, recolectando datos de los 4 puntos en forma alternada, en todo el mes por los 2 meses consecutivos, las muestras se recogieron a diario, para determinar la concentración del material particulado. Al final de cada ciclo diario de recolección de muestras el muestreador portátil fue retirado del lugar para ser llevado a la base de análisis de muestras, además, diariamente se comprobó que el equipo de muestreo funcione correctamente.

## Figura 8

### Muestreador De Partículas Low-Vol, Modelo PQ200 FRM de BGI.



**Nota:** Fotografía del Muestreador De Partículas Low-Vol, Modelo PQ200 FRM de BGI

### **3.6. Zonas de Recolección de Datos Muéstrales**

Se tomaron 04 muestras en diferentes zonas de la ciudad de Chiclayo, de acuerdo al diseño de muestreo aleatorio simple. Para realizar el muestreo de partículas PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> se seleccionaron cuatro sitios de monitoreo en la ciudad de Chiclayo, de acuerdo a sus características para el estudio, donde existe alta transitabilidad vehicular y con buena ventilación natural y concentración poblacional, además de la alta influencia comercial y algunas fábricas dispersas aledañas a la zona de cada muestreo.

Las muestras se tomaron desde el 1 de abril hasta el 31 de mayo del 2021, las mismas que se analizaron para determinar los límites del promedio de 24 horas especificados en las normas del ECA, Además, proyectando (pronosticando) estos meses de muestras tomadas a lo que se comportaría la muestra en un año calendario para obtener la media anual y comparar los límites anuales según las normas del ECA, cabe señalar que según mes a mes y el tipo de estación del año, sea este verano, invierno, otoño o primavera hay cierta variación del tipo de muestra que se podría obtener, sin embargo cabe recalcar también que en la provincia de Chiclayo por ser un clima tropical y de bajas variaciones térmicas y humedades casi constantes, asimismo velocidades del viento no muy variables durante el año, es posible asegurar que la muestra no presente mucha variación durante un año calendario. Por otro lado, el movimiento comercial, y tráfico público y privado durante todo el año es casi constante. Es por ello se tomarán las muestras de forma diaria en dos meses consecutivos, a partir de las 06 horas hasta las 20 horas para realizar una proyección diaria y analizar los puntos críticos durante el día que son las horas de mayor movimiento tráfico-comercial que las horas de entre las 20 horas a 06 horas que representan menor flujo tráfico-comercial. Con ello se conseguirá evaluar los valores límites del ECA diario (promedio 24 horas) para PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> (100 µg/m<sup>3</sup>) y valores límites del ECA para la media anual.

### **3.7. Recolección de Muestras para determinar la concentración y composición química de PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub>**

Para la colección de las muestras respectivas se utilizó un Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI, propiedad de Paz Laboratorio, Arequipa - Perú (Figura 12), la concentración se determinó por el método gravimétrico a través de la diferencia del peso inicial y final de cada filtro de muestreo, para obtener las muestras respectivas además de tener un registro electrónico automático de la concentración de partícula muestreada según el tipo de partícula a muestrear y con referencia al tiempo seleccionado, estos datos fueron descargado en memoria USB portátil y son los que se utilizaron para el análisis de las concentraciones diarias.

El equipo utilizado incorpora tecnología pionera para satisfacer y superar los requisitos del muestreo de particulado ambiente dictados por la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA), designado como método de referencia por la EPA, el cual incluye control de velocidad de flujo volumétrico de la muestra, registro de datos, software de reporte y procesamiento de datos. Colecta partículas PM<sub>2.5</sub> en membranas PTFE de 47 mm y con

un índice de flujo constante de 16.67 L/min usando separadores inerciales. Mide la temperatura ambiente y almacena presión, temperatura del filtro e índice de flujo volumétrico. Además, ofrece al investigador la oportunidad de llevar a cabo su trabajo en áreas en donde no existe suministro de energía eléctrica, debido a que se puede utilizar la energía solar, capaz de funcionar durante 24 horas sobre la batería interna incorporada de 12 voltios o panel solar sino hubiera fuente eléctrica y ofrece un funcionamiento confiable. La batería interna brinda alimentación durante las interrupciones de alimentación de CA, lo que le permite evitar las interrupciones en el muestreo. Opera de manera que el aire ambiental es aspirado en forma simétrica (independiente de la dirección del viento), durante 24 horas a través de la abertura circunferencial ubicado en la parte superior del cabezal.

Una vez dentro el aire se acelera a través de una boquilla impactadora a una velocidad de flujo de aproximadamente de 16.67 L/min, para después dirigirse hacia la superficie de importación. Cabe indicar que las partículas mayores a 10 microgramos se quedan retenidas en la superficie de la cámara, mientras que las menores continúan el viaje a través del sistema, hacia el filtro colector, trabaja dependiendo el rango de partícula a analizar, ya sea de PM2.5 o PM10. El equipo cuenta con una bomba al vacío, la cual se encuentra conectada a un sensor de masa, que permite no solo seleccionar el flujo de aire, sino también regula la potencia de la bomba para mantenerlo constante durante las 24 horas. Asimismo, el equipo cuenta con un cronometro con el fin de contabilizar el tiempo total de muestreo. En la recolección de las partículas se utilizaron filtros de cuarzo debidamente selladas, con cierre hermético, rotuladas y etiquetadas. Los filtros se manipularon con guantes de látex durante el muestreo como también para su análisis en laboratorio.

### **Figura 9**

*Capacidad del Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI*



**Nota:** Muestreador portátil De Partículas LOW-VOL PQ200 FRM de BGI

#### **3.7.1. Recolección de Datos del Primer Lugar de Muestreo**

Se Localizó en la intersección de la Av. Augusto B. Leguía y Av. Mariano Cornejo importante de ingreso al centro de la ciudad, mercado Moshoqueque y mercado modelo de Chiclayo, asimismo de afluencia vehicular liviano y pesado. La Toma de la Muestra se realizó del 01 al 07 de abril del 2021 y desde el 01 al 07 de mayo del 2021, con la hora de inicio a partir de las 06:00 horas hasta las 20 horas, por lo mismo que el equipo empleado fue portátil, este se retiró de la zona en el momento de finalizar la toma de muestra.

**Figura 10**

*Lugar de muestreo 01- Intersección de la Av. Augusto B. Leguía y Av. Mariano Cornejo*



**Nota:** Captado de Google Maps

Se obtuvieron los siguientes datos del lugar de muestreo 01, los datos incluyen la variación diaria y semanal para el promedio de PM2.5 y PM10, asimismo se descargó los registros de las concentraciones analizadas por el sistema del equipo, estos filtros pudiendo utilizarse el método gravimétrico para ser pesados y calcular las concentraciones diarias de material particulado, que desde luego no fue necesario porque el equipo portátil a través de su sistema registra automáticamente la concentración obtenida durante el día y descargarlo a un USB portátil. Cabe destacar que estos filtros después de determinar la concentración por PM2.5 y PM10, fue necesario recolectarlos con sumo cuidado que luego fueron llevados al laboratorio para el análisis de la composición química de los datos recogidos.

**Tabla 13**  
*Recolección y registro de muestra 01*

<b>Muestra 01</b>		<b>PM2.5</b>	<b>PM10</b>
<b>1/04/2021</b>	<b>Jueves</b>	65.1	135.2
<b>2/04/2021</b>	<b>Viernes</b>	72.2	155.2
<b>3/04/2021</b>	<b>Sábado</b>	58.7	115.1
<b>4/04/2021</b>	<b>Domingo</b>	50	100.7
<b>5/04/2021</b>	<b>Lunes</b>	87	137.2
<b>6/04/2021</b>	<b>Martes</b>	69.6	108.9
<b>7/04/2021</b>	<b>Miércoles</b>	71.2	150.5
<b>1/05/2021</b>	<b>Sábado</b>	61.6	109.4
<b>2/05/2021</b>	<b>Domingo</b>	55.5	94.2
<b>3/05/2021</b>	<b>Lunes</b>	79.6	129.1
<b>4/05/2021</b>	<b>Martes</b>	68.7	130.3
<b>5/05/2021</b>	<b>Miércoles</b>	72.5	115.2
<b>6/05/2021</b>	<b>Jueves</b>	87.1	138.9
<b>7/05/2021</b>	<b>Viernes</b>	65.7	141.5

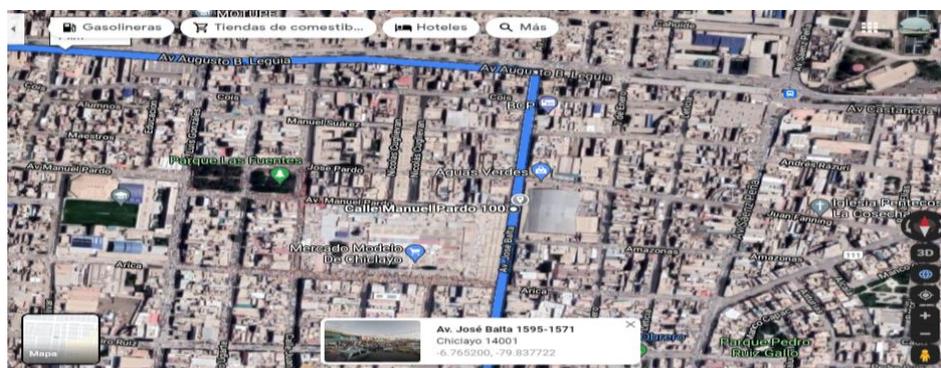
**Nota:** Elaboración Propia

### 3.7.2. Recolección de Datos del Segundo Lugar de Muestreo

Se localizó en el mercado modelo de Chiclayo con intersección entre la Av. José Balta y Calle Manuel Pardo, un importante centro comercial de la ciudad donde se concentra mayor parte de las aglomeraciones vehiculares, comercio regulado y ambulatorio, además de industrias de baja magnitud (del rubro microempresarial), tales como soldaduras metálicas, carpinterías, pinturas, etc. La Toma de la Muestra se realizó del 08 al 14 de abril del 2021 y desde el 08 al 14 de mayo del 2021, con la hora de inicio a partir de las 06:00 horas hasta las 20 horas, por lo mismo que el equipo empleado fue portátil, este se retiró de la zona en el momento de finalizar la toma de muestra.

**Figura 11**

*Lugar de muestreo 02- Intersección de la Av. José Balta y Calle Manuel Pardo.*



**Nota:** Captado de Google Maps

Se obtuvieron los siguientes datos del lugar de muestreo 02, los datos incluyen la variación diaria y semanal para el promedio de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, asimismo se descargó los registros de las concentraciones analizadas por el sistema del equipo. Cabe destacar que estos filtros después de determinar la concentración por PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, fue necesario recolectarlos con sumo cuidado que luego fueron llevados al laboratorio para el análisis de la composición química de los datos recogidos.

**Tabla 14**  
Recolección y registro de muestra 02

Muestra 02		PM2.5	PM10
8/04/2021	Jueves	63.2	130.1
9/04/2021	Viernes	79.9	155.2
10/04/2021	Sábado	55.6	123.2
11/04/2021	Domingo	42.1	95.9
12/04/2021	Lunes	82.4	159.3
13/04/2021	Martes	73.6	142.6
14/04/2021	Miércoles	61.9	133.7
8/05/2021	Sábado	56.2	103.1
9/05/2021	Domingo	53.7	98.4
10/05/2021	Lunes	64.9	140.3
11/05/2021	Martes	65.9	138.2
12/05/2021	Miércoles	62.9	130.2
13/05/2021	Jueves	77.1	145.8
14/05/2021	Viernes	65.7	111.5

Nota: Elaboración Propia

### 3.7.3.- Recolección de Datos del Tercer Lugar de Muestreo

Se localizó en la intersección de la Av. Francisco Bolognesi y Av. Sáenz Peña, importante arteria concurrida por comercio y tráfico vehicular e ingreso a la ciudad de la zona sur de Chiclayo. La Toma de la Muestra se realizó del 15 al 21 de abril del 2021 y desde el 15 al 21 de mayo del 2021, con la hora de inicio a partir de las 06:00 horas hasta las 20 horas, por lo mismo que el equipo es portátil, este debió retirarse de la zona en el momento de finalizar la toma de muestra.

**Figura 12**

Lugar de muestreo 03- Intersección de la Av. Francisco Bolognesi y Av. Sáenz Peña.



Nota: Captado de Google Maps

Se obtuvieron los siguientes datos del lugar de muestreo 02, los datos incluyen la variación diaria y semanal para el promedio de PM2.5 y PM10, asimismo se descargó los registros de las concentraciones analizadas por el sistema del equipo. Cabe destacar que estos filtros después de determinar la concentración por PM2.5 y PM10, fue necesario recolectarlos con sumo cuidado que luego fueron llevados al laboratorio para el análisis de la composición química de los datos recogidos.

**Tabla 15**

*Recolección y registro de muestra 03*

<b>Muestra 03</b>		<b>PM2.5</b>	<b>PM10</b>
<b>15/04/2021</b>	Jueves	58.9	128.2
<b>16/04/2021</b>	Viernes	63.2	130.1
<b>17/04/2021</b>	Sábado	49.3	100.1
<b>18/04/2021</b>	Domingo	43.4	96.7
<b>19/04/2021</b>	Lunes	84.5	151.2
<b>20/04/2021</b>	Martes	79.6	145.1
<b>21/04/2021</b>	Miércoles	68.2	110.7
<b>15/05/2021</b>	Sábado	57.6	105.9
<b>16/05/2021</b>	Domingo	48.5	99.1
<b>17/05/2021</b>	Lunes	73.6	150.2
<b>18/05/2021</b>	Martes	82.7	123.7
<b>19/05/2021</b>	Miércoles	72.5	125.2
<b>20/05/2021</b>	Jueves	67.1	142.9
<b>21/05/2021</b>	Viernes	65.7	152.4

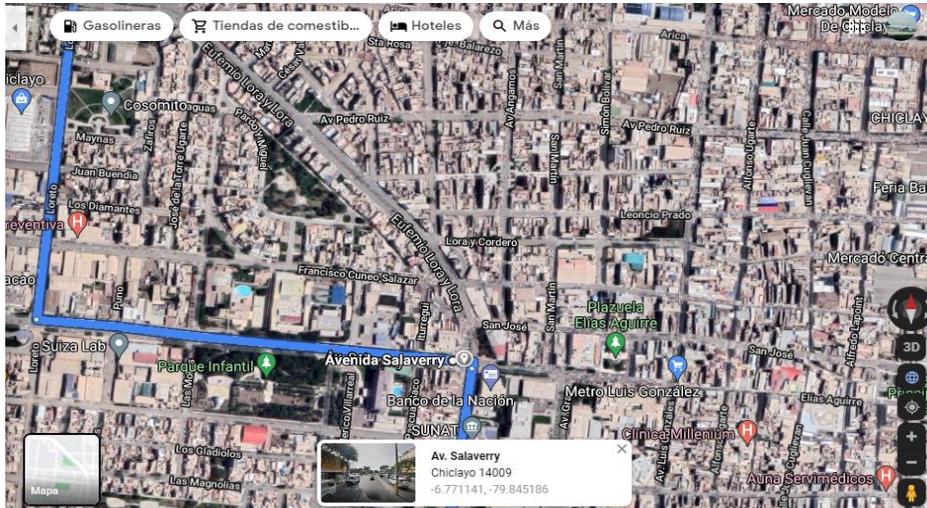
**Nota:** Elaboración Propia

#### **3.7.4.- Recolección de Datos del Cuarto lugar de Muestreo**

Se localizó en la intersección de la Av. Salaverry y Eufemio Lora y Lora, importante arteria concurrida por comercio y tráfico vehicular e importante ingreso a la ciudad de Chiclayo. La Toma de la Muestra se realizó del 22 al 30 de abril del 2021 y desde el 22 al 30 de mayo del 2021, con la hora de inicio a partir de las 06:00 horas hasta las 20 horas, por lo mismo que el equipo es portátil, este debió retirarse de la zona en el momento de finalizar la toma de muestra.

**Figura 13**

Lugar de muestreo 04- Intersección de la Av. Salaverry y Eufemio Lora y Lora.



**Nota:** Captado de Google Maps

Se obtuvieron los siguientes datos del lugar de muestreo 04, estos datos incluyen la variación diaria y semanal para el promedio de PM2.5 y PM10, asimismo se descargó los registros de las concentraciones analizadas por el sistema del equipo. Cabe destacar que estos filtros después de determinar la concentración por PM2.5 y PM10, fue necesario recolectarlos con sumo cuidado que luego fueron llevados al laboratorio para el análisis de la composición química de los datos recogidos.

**Tabla 16**

*Recolección y registro de muestra 04*

Muestra 04		PM2.5	PM10
22/04/2021	Jueves	68	136.8
23/04/2021	Viernes	66.1	137.3
24/04/2021	Sábado	51.3	108.8
25/04/2021	Domingo	46.3	94.2
26/04/2021	Lunes	86.7	153.9
27/04/2021	Martes	75.8	143.8
28/04/2021	Miércoles	87.2	138.8
29/04/2021	Jueves	77.9	114.3
30/04/2021	Viernes	66.9	115.4
22/05/2021	Sábado	56.9	108.4
23/05/2021	Domingo	50.9	123.4
24/05/2021	Lunes	78.9	97.5
25/05/2021	Martes	76.1	139.4
26/05/2021	Miércoles	61.2	150.3
27/05/2021	Jueves	77.2	135.6
28/05/2021	Viernes	81.9	145.2
29/05/2021	Sábado	58.3	107.1
30/05/2021	Domingo	45.7	98.8

**Nota:** Elaboración Propia

### **3.8.- Método para el análisis de la composición química del PM2.5 y PM10**

En la aplicación de este método es importante señalar que se realizara un estudio de los datos experimentales en referencia a un autor en específico, para los casos en la determinación de la composición química del material particulado PM2.5 y PM10. El motivo para este sustento es el acceso restringido a los laboratorios de la “Universidad Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque”, debido a la coyuntura sobre el COVID 19 que todo el mundo afrenta, y con el fin de evitar mayor exposición y riesgo a la salud personal y de los efectivos encargados del plantel, es que se realizara este método de forma referencial con los datos de otro autor.

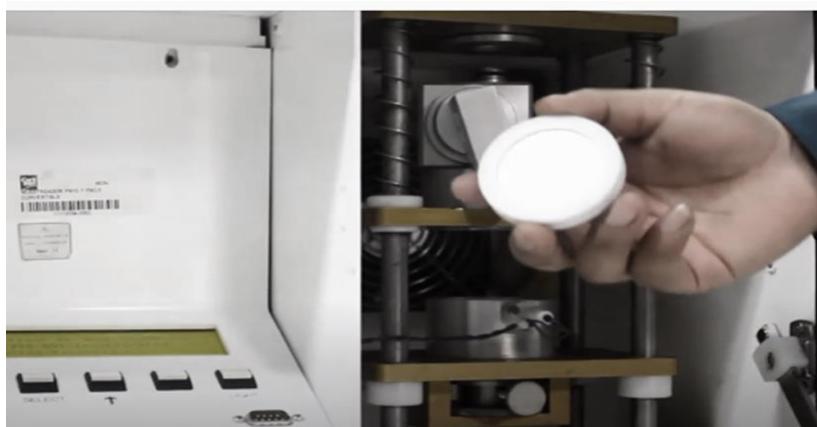
En la determinación de la composición química para las muestras de filtros obtenidas en cada punto de muestreo antes mencionados, se utilizó la técnica de electroforesis capilar de zona (CZE, Capillary Zone Electrophoresis) con Detección electroquímica. La cual se basa en las diferencias en la velocidad de migración para especies con carga eléctrica en una disolución conductora acuosa u orgánica (electrolito de fondo). Cabe señalar que es una técnica menos utilizada que las técnicas cromatográficas porque muestra peores valores de reproducibilidad y sensibilidad; sin embargo, ha demostrado mayores eficiencias en la separación, menores tiempos de análisis, niveles reducidos de pretratamiento. Además, en la electroforesis capilar, tanto el consumo de reactivos como la cantidad de residuos que se generan suele ser menor que en el caso de las técnicas cromatográficas, por todo esto puede decirse que es una técnica “verde”. Por ello este es el motivo principal por lo que se decidió aplicar este tipo de método.

Por otro lado, la técnica de EC de zona va acompañado de un sistema de detección, en este caso se optó por usar la detección electroquímica en este estudio. Una de las razones es porque estos detectores conductimétricos han demostrado ser de elevada utilidad en el análisis de aniones y cationes. Su funcionamiento se basa en la medida de la conductividad de los iones en disolución, que se hacen pasar por un campo eléctrico atravesando una serie de resistencias al tiempo que se generará una respuesta que permita la detección. (Rodríguez, D., p.21, 2017)

De esta forma los filtros recolectados se usaron para determinar la composición química de las partículas naturales y antrópicas, estas muestras, fueron tomadas en base a las emisiones de contaminantes atmosféricos por las industrias dispersas, fuentes fijas de comercio, (restaurantes, pollerías, etc.) en la ciudad, y avenidas con más tráfico vehicular, durante un periodo de dos meses consecutivos, estas muestras fueron llevadas para su análisis experimental en el laboratorio de química analítica.

## Figura 14

*Extracción de los filtros(muestras).*



**Nota:** Fotografía del autor.

### 3.8.1., Extracción acuosa de las partículas antes de la Aplicación del método

“Para tomar las porciones de muestra de los diferentes filtros se utilizó un sacabocados de 12 mm de diámetro. Antes de aplicar el procedimiento de extracción sobre las muestras, se realizó un estudio sobre la cantidad de muestra (área de filtro) mínima requerida. Para ello tomamos en un caso dos porciones del filtro (área del filtro: 4,5 cm<sup>2</sup>, área total: 9,0 cm<sup>2</sup>) y en otro cuatro (área del filtro: 4,5 cm<sup>2</sup>, área total: 18,1 cm<sup>2</sup>) y realizamos el procedimiento de extracción sobre los mismos. Una vez obtenidos los resultados y analizados, comprobamos que con dos porciones de filtro la sensibilidad y precisión del método son adecuadas. En base a esto, la extracción se realizó tomando dos porciones de 12 mm de diámetro de cada filtro (área total: 9,0 cm<sup>2</sup>), las porciones correspondientes se depositan sobre los viales de PVC de 20 mL y sobre ellas se adicionan empleando la Micropipeta automática 3 mL de agua purificada. Tapamos los viales y los sometemos a energía de ultrasonidos durante 15 minutos. Una vez pasado este tiempo, dejamos las muestras en reposo durante 30 minutos, momento en el que se completará la extracción acuosa y, por tanto, podemos trasvasar nuestros extractos a viales de vidrio de 3 mL para llevar a cabo el análisis por CE”. (Rodríguez, D., p.27, 2017).

### 3.8.2.- Etapa de determinación química por Electroforesis Capilar de Zona

La determinación analítica de aniones y cationes se llevó a cabo mediante la técnica de electroforesis capilar de zona utilizando para ello un equipo HP3DCE (Figura 11) que funciona conjuntamente con un detector de conductividad C4D-TraceDec (Figura 12) Durante el tiempo en el que fueron llevados a cabo los ensayos se siguió un procedimiento de trabajo consistente en realizar un acondicionamiento diario del capilar durante unos 45 minutos mediante el paso del tampón previamente preparado y que en función de si se estuvieran determinando aniones o cationes, veía cambiada su composición, una vez acabada la etapa de acondicionamiento, se inyectaban secuencias de análisis para grupos de 08 muestras. (Rodríguez, D., p.26, 2017).

La inyección de la muestra para conducirla al capilar se realizaba de manera hidrodinámica, empleada para volúmenes reducidos de muestras que una vez pasen al capilar ocuparán una fracción mínima del mismo (en nuestro caso, 50 mbar durante 5 segundos por el extremo largo del capilar para cationes, mientras que para aniones la inyección se realiza por el extremo corto del capilar). En este tipo de inyección la muestra se introduce a través de una diferencia de presión. Como se ha señalado en el párrafo anterior, la longitud efectiva del capilar varía en función de si estamos analizando aniones

o cationes; de este modo, al introducirse los aniones por el lado corto del capilar, la longitud efectiva del mismo será de 14 cm, mientras que en el caso de los cationes será de 34 cm. Entre otros parámetros, se fijó un valor de voltaje de 30 kV. Además, para minimizar el efecto del calentamiento de Joule, debe intentar mantenerse el capilar termostatzado (de manera que la temperatura sea homogénea a lo largo del mismo, lo que favorecerá que el flujo de electrolito también lo sea), motivo por el cual, durante el acondicionamiento, también se permite que el equipo alcance una temperatura de trabajo óptima para el capilar de 25°C. (Rodríguez, D., p.29, 2017).

Figura 15  
*Equipo de Electroforesis Capilar de Zona EC - HP3DCE.*



**Nota:** Por Rodríguez, D. 2017.

**Figura 16**  
*Detector de conductividad C4D-TraceDec.*



**Nota:** Por Rodríguez, D. 2017.

### **3.8.3. Análisis de muestras**

Las muestras colectadas de MP10 y MP2,5 fueron analizadas en el Laboratorio de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Las concentraciones de MP10 y MP2,5 se determinaron por el método gravimétrico establecido en el Método de la EPA IO-3.1 a través de la diferencia del peso inicial y final de cada filtro mediante una microbalanza de  $\pm 0,010$  mg de precisión.

La composición química elemental del MP se obtuvo mediante el análisis de electroforesis capilar de zona.

### **3.9. Muestra de estudio para determinar la relación del PM2.5 y PM10 con las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs)**

Estas muestras están constituidas por la información de concentraciones de PM2.5 y PM10 en el aire adquiridas en el propio trabajo de investigación y el número de casos de Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) en el distrito de Chiclayo, presentados durante los años 2013-2015, de los registros de DIGESA, además del análisis de informes de otras entidades gubernamentales y estudio de tesis que relacionen el PM2.5 y PM10 con los casos de Infecciones Respiratorias, pulmonares en las personas del distrito de Chiclayo.

### **3.10. Método de recolección de datos que relacionan el PM2.5 y PM10 con las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs)**

Se aplicó la técnica de Análisis, estadístico descriptivo de Contenido utilizando la Ficha de "Recolección de Datos" de DIGESA para determinar los casos de Infecciones Respiratorias Agudas, entre otras enfermedades que se relacionan con la contaminación por material particulado,

Los datos de casos de IRAs en el distrito de Chiclayo durante los años 2013- 2015 se obtuvieron usando la "Ficha de recolección de datos" del establecimiento de DIGESA. Los datos de concentraciones de PM2.5 y PM10 se obtuvieron de los cuatro lugares de monitoreo con las ubicaciones antes señalado en esta memoria. Para la información obtenida ha sido necesario el uso de la hoja de cálculo Excel de Microsoft Office para su procesamiento.

#### **3.10.1.-Plan de Procesamiento para el Análisis de Datos de las IRAs.**

Los datos fueron obtenidos mediante cifras aproximadas de niños que padecieron de patología asmáticas proporcionadas de los principales registros hospitalares del distrito de Chiclayo. Mediante la ayuda de software se realizarán los estudios de balances estadísticos de correlación con respecto a la cantidad de pacientes infantiles que padecen de enfermedades respiratorias como el asma, y con datos obtenidos por DIGESA de resultados y parámetros pasados con relación a datos y estudios más actuales de la calidad de aire en el distrito de Chiclayo.

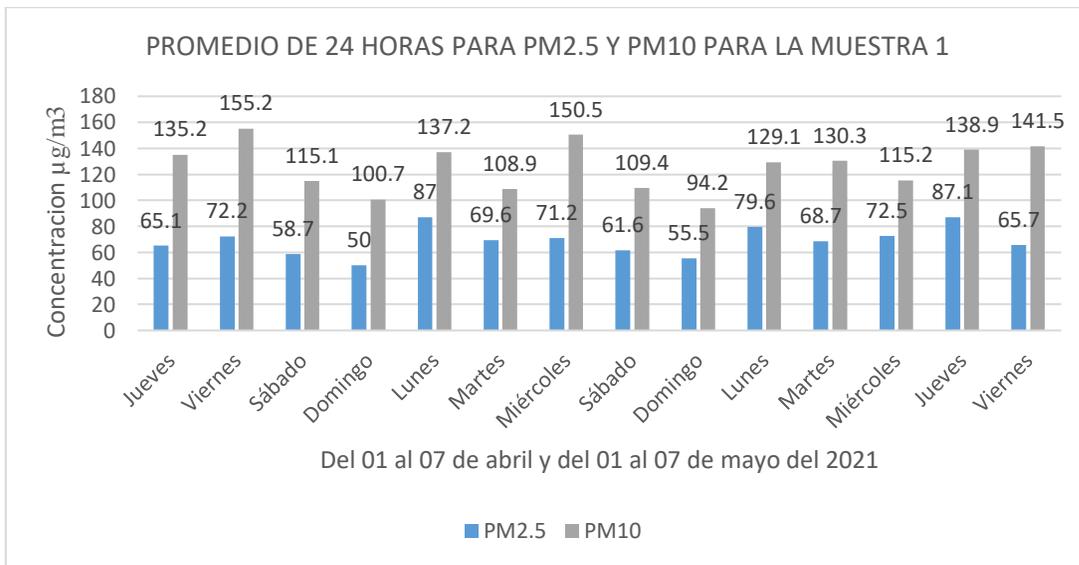
#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las gráficas que a continuación se presentaran, se muestran los resultados de los criterios tenidos en cuenta para la validación del método analítico, en general los valores registrados para este estudio indicaron condiciones aceptables garantizando la confiabilidad de los resultados.

##### 4.1. Análisis de la muestra 01: Promedio de 24 horas para PM2.5 y PM10

**Figura 17**

*Gráfica, Análisis de la muestra 01*

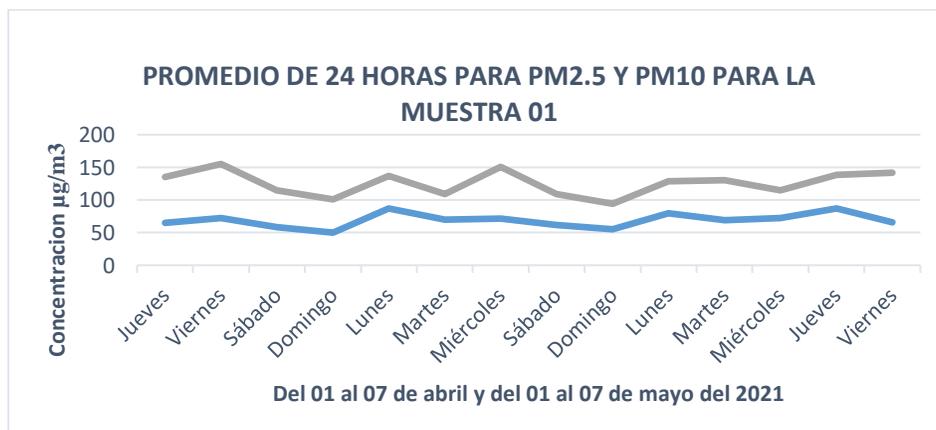


**Nota:** Elaboración Propia

En la Figura 20 se muestra la variación temporal del promedio diario (24 horas) de 68.8 µg/m<sup>3</sup> en promedio de concentración para PM2,5 y PM10 una media de 24 horas de 125.8 µg/m<sup>3</sup> para la estación de muestreo 01 donde la calidad del aire para los valores del PM2,5 muestra que supera los valores límites del ECA para PM2,5 el promedio de 24 horas (50 µg/m<sup>3</sup>); también, con referencia de las guías de la OMS para 24 horas supera los límites de (25 µg/m<sup>3</sup>), constatando que los mayores niveles de concentraciones de PM fino superan los límites los días lunes, miércoles, jueves y viernes.

**Figura 18**

*Gráfica, Análisis de la muestra 01*



**Nota:** Elaboración Propia

Asimismo, para PM10 superan los valores límites del ECA diario (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), sin embargo, comparando los valores medidos con lo que establece la Guía de la OMS Diario (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para PM10, se observó que sobrepasan el límite máximo establecido, con excepción de algunos días como sábados y domingos que están cerca de los valores permitidos por ECA y esto es debido el menor tráfico vehicular los días domingos.

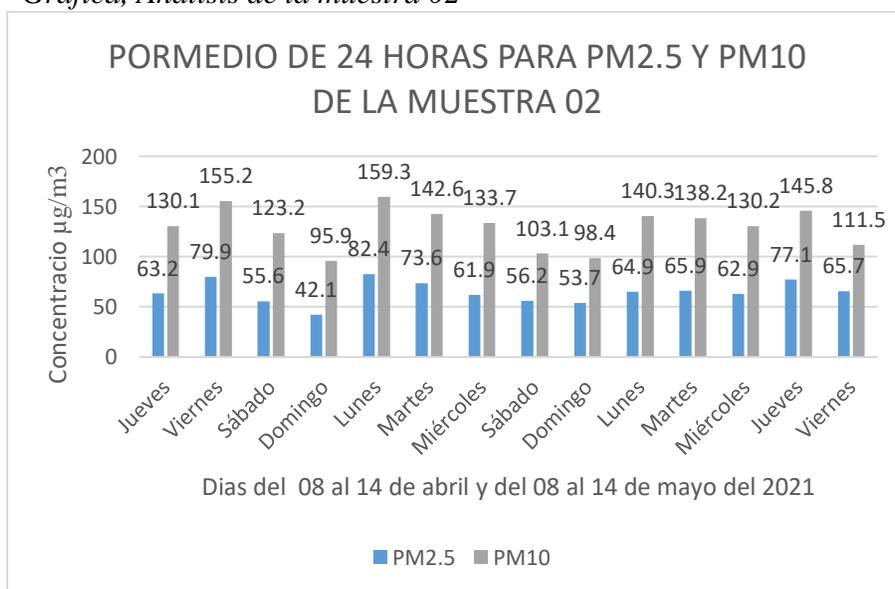
Esta condición indica que las acciones adoptadas, como lo fueron la implementación de medidas de control y gestión de calidad del aire por las distintas entidades gubernamentales, tales como la implementación de los estándares de calidad ambiental del aire (ECAS) para los contaminantes criterio y la aprobación de los límites máximos permisibles para las emisiones vehiculares entre otras medidas a inicios de los años 2000 fueron muy importantes, sin embargo existe una tasa de ingreso de vehículos nuevos y usados a partir del 2010 que han hecho que el parque automotor se incremente significativamente y con ello se han intensificado también las emisiones vehiculares y el deterioro de la calidad del aire. (Espinoza J. (2018).

#### 4.2. Análisis de la muestra 02: Promedio de 24 horas para PM2.5 y PM10

La grafica en este caso representa a una de las intersecciones entre la Av. José Balta y Calle Manuel Pardo, mas importante debido a que está ubicado el centro comercial de la ciudad donde se concentra mayor parte de las aglomeraciones vehiculares, comercio regulado y ambulatorio, además de industrias de baja magnitud (del rubro microempresarial), tales como soldaduras metálicas, carpinterías, pinturas, etc.

**Figura 19**

*Gráfica, Análisis de la muestra 02*



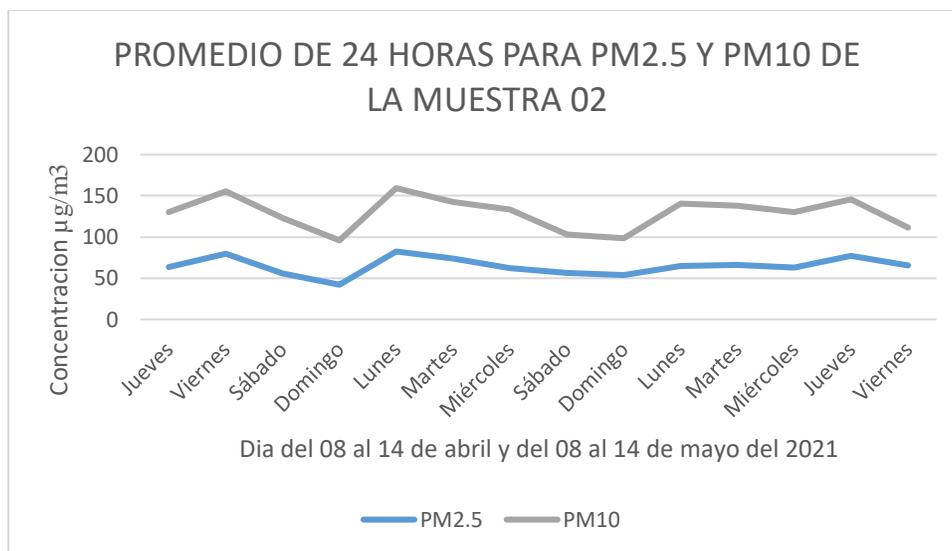
**Nota:** Elaboración Propia

En la Figura 23 se muestra el promedio diario (24 horas) de 64.65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en promedio de concentración para PM2,5 para la estación de muestreo 02, donde la calidad del aire para los valores del PM2,5 muestra supera los valores límites del ECA para PM2,5 dentro del promedio de 24 horas (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ); al igual que de las guías de la OMS para 24 horas supera

los límites de ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), constatando que los mayores niveles de concentraciones de PM 2.5 superan los límites los días jueves, viernes, lunes y martes.

**Figura 20**

*Gráfica, Análisis de la muestra 2*



**Nota:** Elaboración propia

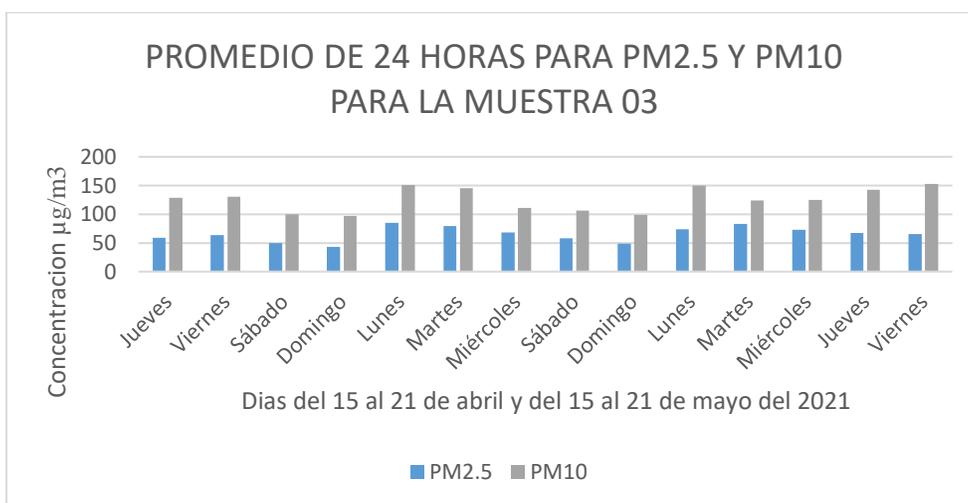
Por otro lado, los valores para PM10 se registra una media de 24 horas de  $129.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$  superando los valores límites del ECA diario ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Además, comparando los valores medidos con lo que establece la Guía de la OMS Diario ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para PM10, se observó que sobrepasan el límite máximo establecido, con excepción de algunos días como domingos que está dentro de los límites establecidos y sábados que están cerca de los valores permitidos, esto es debido a que los domingos baja el tráfico vehicular, más aun con las restricciones de salidas de vehículos privados los domingos, por la coyuntura que se vive sobre el COVID 19.

#### 4.3. Análisis de la muestra 03: Promedio de 24 horas para PM2.5 y PM10

En esta importante arteria concurrida por comercio y tráfico vehicular e ingreso a la ciudad de la zona sur de Chiclayo. La toma de la muestra indica incremento de tráfico vehicular en los días viernes para PM2.5 y martes para PM10.

**Figura 21**

*Gráfica, Análisis de la muestra 3*

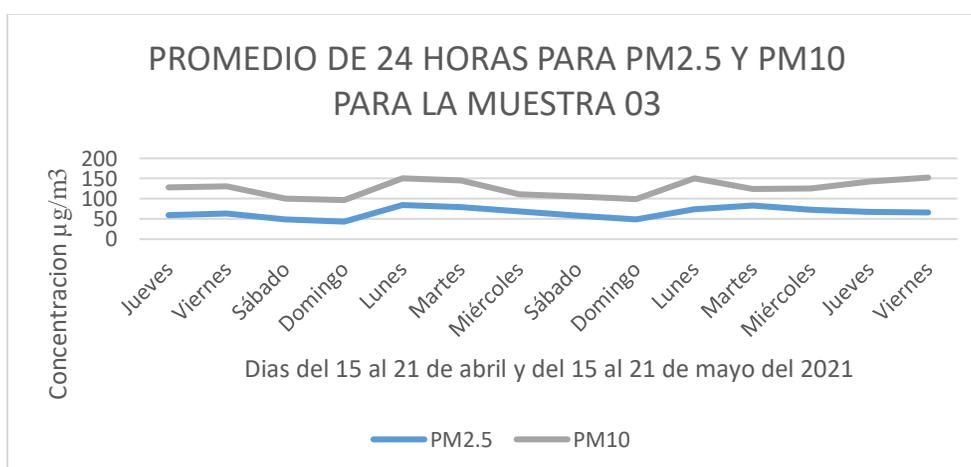


**Nota:** Elaboración Propia

En la Figura 25 se muestra el promedio diario (24 horas) de 65.34 µg/m<sup>3</sup> en promedio de concentración para PM<sub>2,5</sub> para la estación de muestreo 03, donde la calidad del aire para los valores del PM<sub>2,5</sub> muestra que no supera los valores límites del ECA para PM<sub>2,5</sub> dentro del promedio de 24 horas (50 µg/m<sup>3</sup>); sin embargo con referencia de las guías de la OMS para 24 horas supera los límites de (25 µg/m<sup>3</sup>), con excepción de algunos días como sábados y domingos.

**Figura 22**

*Gráfica, Análisis de la muestra 3*



**Nota:** Elaboración Propia

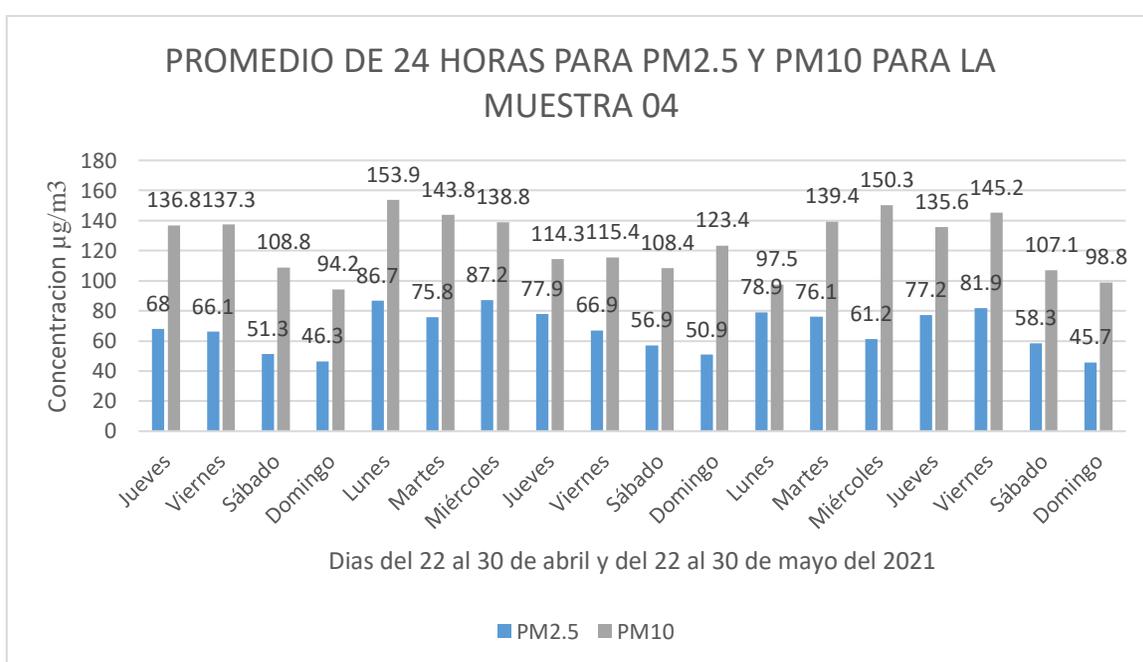
Por otro lado, los valores para PM<sub>10</sub> registra una media de 24 horas de 125.82 µg/m<sup>3</sup> que superando los valores límites del ECA diario (100 µg/m<sup>3</sup>) con excepción de sábados y domingos que están dentro de los límites permisibles, pero por otro lado supera los valores de la Guía de la OMS Diario (50 µg/m<sup>3</sup>), cabe señalar que en esta avenida se recibe una corriente de aire de la parte sur, de los cuales muchos buses interprovinciales hacen uso de esta avenida, además del tráfico vehicular cotidiano que hacen rutas para Ferreñafe, Monsefú, Puerto Eten, etc., incluso el Distrito de la Victoria que es un flujo poblacional que está constantemente movilizándose a los mercados céntricos de Chiclayo y diversas actividades comerciales, asimismo el flujo del viento contante.

#### 4.4. Análisis de la muestra 04: Promedio de 24 horas para PM2.5 y PM10

En esta importante avenida donde se concentra mayor flujo poblacional debido a que recorren al banco de la nación central de Chiclayo y en parte al Poder Judicial, la Sunat, y otros paraderos de colectivos que conectan a Lambayeque (paradero Lambayeque), Pimentel, San José, Santa Rosa, entre otras agencias de transporte y hospitales de los alrededores. Se recolectó las muestras en esta importante intersección como es la Av. Salaverry y Eufemio Lora y Lora, no muestra:

**Figura 23**

Gráfica, Análisis de la muestra 4

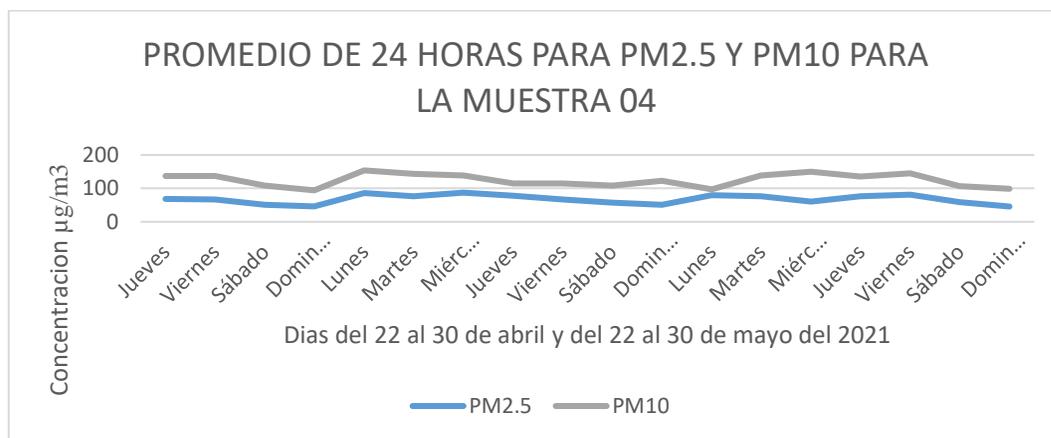


**Nota:** Elaboración Propia

En la Figura 27 se muestra el promedio diario (24 horas) de 67.41 µg/m<sup>3</sup> en promedio de concentración para PM<sub>2,5</sub> para la estación de muestreo 04, donde la calidad del aire para los valores del PM<sub>2,5</sub> muestra que supera los valores límites del ECA para PM<sub>2,5</sub> dentro del promedio de 24 horas (50 µg/m<sup>3</sup>); sin embargo, con referencia a las guías de la OMS para 24 horas supera los límites de (25 µg/m<sup>3</sup>), donde se puede ver que los días de la semana de lunes a viernes muestra un constante flujo elevado de concentración.

**Figura 24**

*Gráfica, Análisis de la muestra 4*



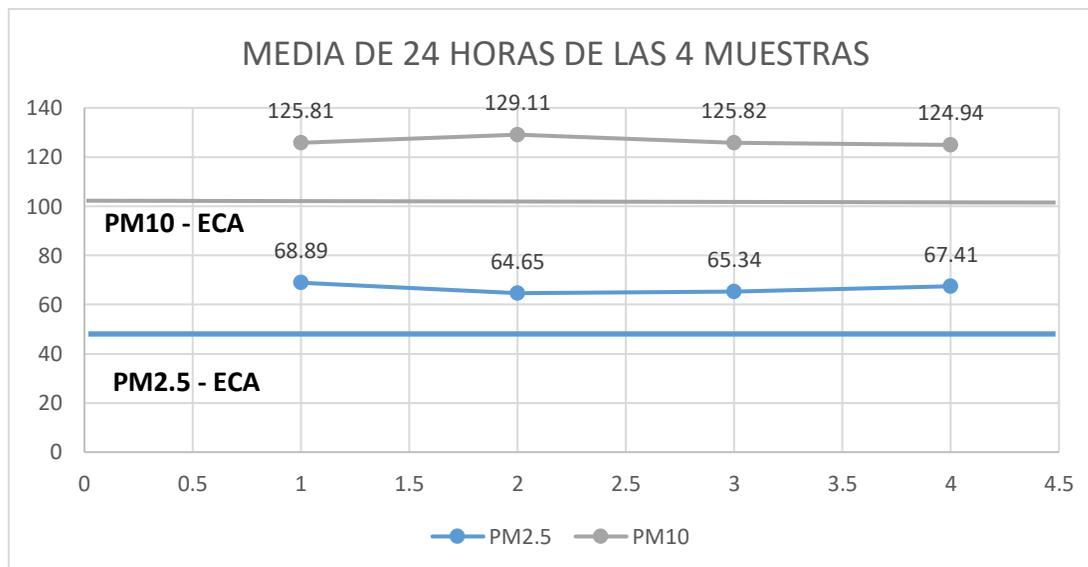
**Nota:** Elaboración Propia

Asimismo, los valores para PM10 registra una media de 24 horas de 124.94 µg/m3 que supera los valores límites del ECA diario (100 µg/m3), a su vez supera los valores de la Guía de la OMS Diario (50 ug/m3), a excepciones de sábados y domingos que por las restricciones por el COVID 19, muchos evitan salir estos días, y por ende están dentro de los límites permisibles para los especificados por ECA y pero no para las guías de la OMS.

**4.5.Resultado de la media de 24 horas de la concentración de PM2.5 y PM10 para las 4 muestras**

**Figura 25**

*Gráfica de la media de 24 horas (PM2.5 Y PM10)*



**Nota:** Elaboración Propia

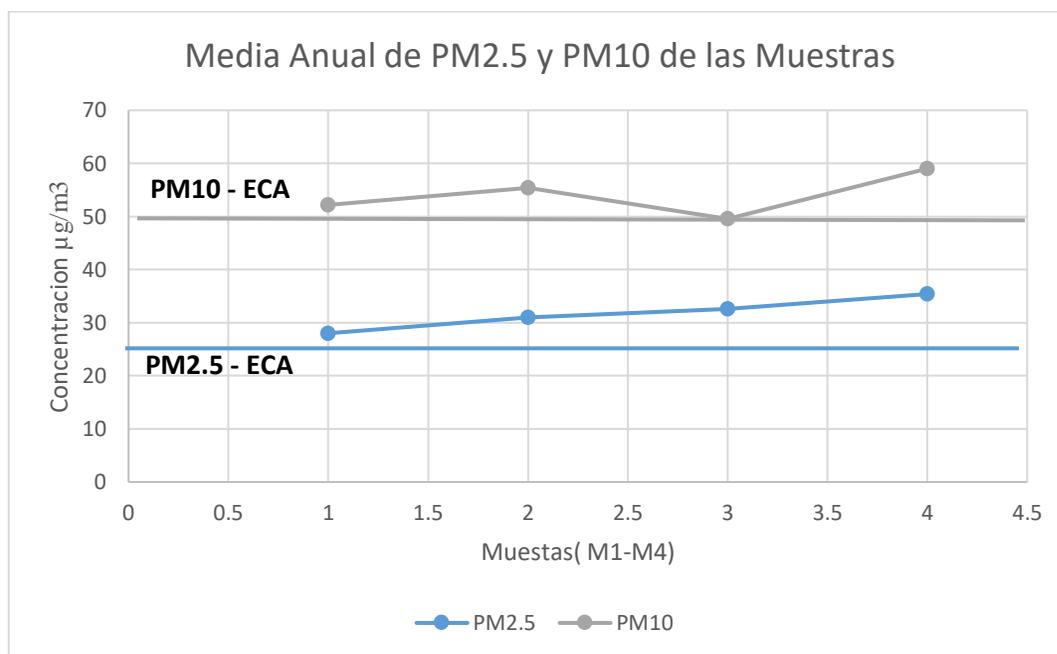
En la Figura 28 se muestra el promedio de 24 horas de los cuatro puntos de 66.57 µg/m3 en promedio de concentración para PM2,5, donde representa una calidad del aire fuera de los valores límites del ECA para PM2,5 de (50 µg/m3); asimismo, con referencia a las guías de la OMS para 24 horas supera los límites de (25 µg/m3).

Por otro lado, los valores para PM10 registra una media de 24 horas de 126.42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que supera los valores límites del ECA diario (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), igualmente para los valores de la Guía de la OMS Diario (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), para promedio de 24 horas están fuera de límites

#### 4.6. Resultados de la media anual para la determinación de la concentración de PM2.5 y PM10 en las 4 Muestras

**Figura 26**

*Gráfica de la Media Anual (PM2.5 y PM10)*



**Nota:** Elaboración Propia

Par el caso del promedio anual para PM2.5, tenemos resultados por encima de los límites de la ECA (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de 31.75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que igualmente supera la guía de la OMS (10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para PM2.5, por otro lado los valores de PM10 se obtuvo un promedio anual de 54.05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , superando significativamente los valores límites de la ECA (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y de la guía de la OMS (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), esto indica que las muestras superan los valores del ECA en lo que va del promedio anual tanto para PM2.5 y PM10, y considerablemente superan los límites de las guías de la OMS, y más aún en los promedios de 24 horas que se superan significativamente. Este dato es de suma importancia para tomar las medidas preventivas y correctivas a fin de lograr disminuir la contaminación ambiental y mejorar una calidad del aire favorable para mejorar la salud de las personas.

#### 4.7.Resultados de la determinación de composición química del PM2.5 y PM10

##### 4.7.1. Límites de detección de los elementos analizados en el material particulado.

De las muestras analizadas a través de la extracción acuosa de las partículas se aplicó el método de electroforesis capilar de zona para determinar los elementos químicos de lo que está compuesto las partículas recuperadas de las muestras tomadas.

La composición química elemental del MP se obtuvo mediante el análisis de hasta 38 elementos posibles a detectar a través de la técnica antes mencionada.

**Tabla 16**

*Los límites de detección de los elementos analizados en el MP se muestran en la tabla*

<b>Elemento</b>	<b>µg/filtro</b>	<b>Elemento</b>	<b>µg/filtro</b>	<b>Elemento</b>	<b>µg/filtro</b>
<b>Al</b>	0.136	<b>Sr</b>	0.038	<b>Ag</b>	0.129
<b>Sb</b>	0.185	<b>P</b>	0.081	<b>Pb</b>	0.067
<b>As</b>	0.029	<b>Ga</b>	0.036	<b>K</b>	0.051
<b>S</b>	0.067	<b>Ge</b>	0.022	<b>Rb</b>	0.024
<b>Ba</b>	1.424	<b>Fe</b>	0.014	<b>Se</b>	0.024
<b>Br</b>	0.022	<b>In</b>	0.336	<b>Si</b>	0.095
<b>Cd</b>	0.132	<b>La</b>	0.870	<b>Na</b>	2.543
<b>Ca</b>	0.034	<b>Mg</b>	0.305	<b>Ti</b>	0.024
<b>Cl</b>	0.082	<b>Mn</b>	0.026	<b>V</b>	0.017
<b>Co</b>	0.014	<b>Hg</b>	0.060	<b>Y</b>	0.036
<b>Cu</b>	0.014	<b>Mo</b>	0.060	<b>Zn</b>	0.017
<b>Cr</b>	0.017	<b>Ni</b>	0.014	<b>Zr</b>	0.043
<b>Sn</b>	0.231	<b>Pd</b>	0.122		

NOTA: Suárez, L., Álvarez, D., Bendezúb, Y., Pomalayab, P.

**Tabla 17**

Media aritmética, desviación estándar (s), máximo valor (máx.) y número de datos (n) para el MP10 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la ciudad de Chiclayo

Variable	media	s	Max.	n	Variable	media	s	Max.	n
<b>PM10</b>	54.05	30.87	143.003	41	<b>As</b>	0.022	0.03	0.118	38
<b>Si</b>	4.796	2.42	10.984	40	<b>Sb</b>	0.021	0.01	0.029	9
<b>Ca</b>	2.448	1.25	5.803	41	<b>P</b>	0.019	0.01	0.048	25
<b>Al</b>	1.986	1.07	4.652	40	<b>Cu</b>	0.009	0.01	0.024	40
<b>Fe</b>	1.425	0.73	3.231	40	<b>Cd</b>	0.008	0.0004	0.008	3
<b>K</b>	1.083	0.61	3.145	40	<b>Sr</b>	0.008	0.004	0.024	39
<b>S</b>	0.882	0.55	2.227	40	<b>Zr</b>	0.005	0.002	0.008	26
<b>Cl</b>	0.348	0.29	1.340	40	<b>V</b>	0.005	0.003	0.012	16
<b>Na</b>	0.249	0.10	0.427	9	<b>Rb</b>	0.004	0.002	0.009	39
<b>Mg</b>	0.186	0.11	0.474	38	<b>Br</b>	0.003	0.002	0.010	35
<b>Ti</b>	0.131	0.07	0.304	40	<b>Cr</b>	0.003	0.002	0.008	32
<b>Zn</b>	0.057	0.03	0.122	40	<b>Y</b>	0.003	...	0.003	1
<b>Mn</b>	0.040	0.02	0.096	40	<b>Ni</b>	0.002	0.002	0.008	15
<b>Pb</b>	0.035	0.03	0.190	40	<b>Se</b>	0.002	0.0001	0.022	2

**Nota:** Suárez, L., Álvarez, D., Bendezúb, Y., Pomalayab, P.

Respecto a la composición elemental los metales (Ca, Al, Fe, K, Mg, Ti, Na, Zn, Mn, Pb, Cu, Sr, Rb, Cr, Cd, Ni, V, Zr y Y) constituyeron aproximadamente 11,9% del peso del PM10, los metaloides (Si, As y Sb) el 7,5% del peso del PM10, y los no metales (S, Cl, P, Br y Se) el 1,9% del peso del PM10. Los cinco elementos más abundantes del MP10 de la ciudad de Chiclayo, durante el periodo de monitoreo, fueron el Si, Ca, Al, Fe y K ocupando el 7,6% del MP10, indicando la dominancia de elementos geológicos cuya fuente principal es el suelo y muchos de ellos productos de los hidrocarburos por la quema de combustibles fósiles, como los combustibles usados en el parque motor..

**Tabla 18**

Media aritmética, desviación estándar (s), máximo valor (máx.) y número de datos (n) para el MP2,5, (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la ciudad de Chiclayo.

Variable	media	s	Max.	n	Variable	media	s	Max.	n
<b>PM2.5</b>	31.75	14.75	67.792	9	<b>Pb</b>	0.018	0.01	0.043	9
<b>S</b>	0.946	0.69	1.929	9	<b>Ti</b>	0.017	0.01	0.027	9
<b>Si</b>	0.684	0.31	1.129	9	<b>As</b>	0.014	0.01	0.033	9
<b>K</b>	0.418	0.25	1.002	9	<b>P</b>	0.009	....	0.009	1
<b>Ca</b>	0.346	0.13	0.501	9	<b>Mn</b>	0.005	0.002	0.009	9
<b>Cl</b>	0.335	0.16	0.497	8	<b>Cu</b>	0.004	0.005	0.015	8
<b>Al</b>	0.334	0.18	0.618	9	<b>V</b>	0.003	.....	0.003	1
<b>Fe</b>	0.208	0.09	0.330	9	<b>Br</b>	0.003	0.001	0.005	8
<b>Mg</b>	0.043	0.01	0.051	4	<b>Ni</b>	0.003	0.002	0.004	2
<b>Sb</b>	0.020	.....	0.020	1	<b>Sr</b>	0.002	....	0.002	1
<b>Zn</b>	0.018	0.01	0.032	9					

Nota: Suárez, L., Álvarez, D., Bendezú, Y., Pomalayab, P.

Los cinco elementos químicos más abundantes en el PM<sub>2,5</sub> fueron el S, Si, K, Ca y Cl; la gran presencia del S en este tamaño de partícula podría estar relacionado a la quema de biomasa y con la combustión del diésel del gran tránsito vehicular, y otras fuentes como hornos de pollería y parrilleras donde usan carbón y leña como combustible. Asimismo, los elementos Si, K y Ca pertenecen a los elementos geológicos de los suelos, como es el caso de la Av. Augusto B. Leguía que en parte no está pavimentada.

Los metales en el peso del MP<sub>2,5</sub> constituyeron aproximadamente el 4,1 %, los metaloides representaron el 2,1% y los no metales representaron el 3,8%. Si comparamos estos porcentajes con los registrados en el MP<sub>10</sub> se aprecia una reducción en aproximadamente tres veces de la proporción de los metales y metaloides, por lo que estos elementos se encontrarían en las fracciones gruesas (MP<sub>10</sub>). Caso contrario se observa para los no metales, predominando en la fracción fina (MP<sub>2,5</sub>).

Como se observa en la tabla 5, en el MP<sub>2,5</sub> existe mayor concentración y variabilidad del SO<sub>4</sub>= en comparación con el NO<sub>3</sub>, La mayor presencia de SO<sub>4</sub>=, se debería al parque automotor, pues el centro urbano es muy transitado por vehículos menores y transporte público, lo que estaría aumentando las concentraciones de SO<sub>4</sub>= por procesos de combustión, típicas en áreas urbanas.

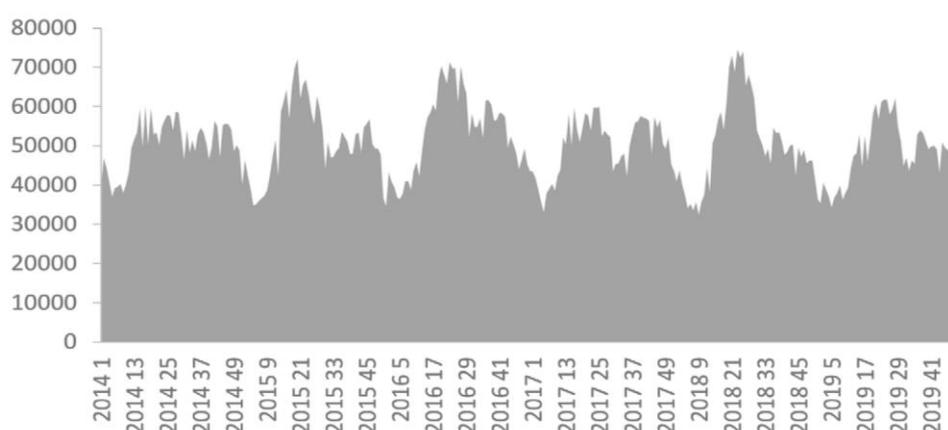
#### **4.8. Resultados de la Relación Del PM<sub>2.5</sub> Y PM<sub>10</sub> Con Las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA**

##### **4.8.1. Infecciones respiratorias agudas en menores de 5 años.**

Según el Ministerio de Salud en su boletín de Epidemiológico Del Perú La tendencia de las infecciones respiratorias agudas en los menores de 5 años, en los últimos 6 años, tiene una tendencia al descenso, notándose claramente el incremento de los episodios de IRA durante la temporada de bajas temperaturas. (MINSa, 2019).

**Figura 27**

*Tendencia de IRAs en menores de 5 años, Perú 2014-2019*



**Nota:** Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-MINSa,2019

En el Perú, en el año 2019 se han notificado 2501436 episodios de IRA en menores de 5 años lo que representa una tasa de incidencia acumulada (TIA) de 8879,3 por cada 10000 menores de 5 años, representando una disminución del 4,7% comparada con el mismo periodo del año 2018.

El canal endémico expresa la distribución, capturando la tendencia estacional de la enfermedad y representa el comportamiento esperado de dicha enfermedad en un año calendario. En el 2019, los episodios de IRA han fluctuado entre la zona de seguridad y de alarma, comparativamente con el 2018 se observa que los episodios de IRA han aumentado en Lambayeque el aumento fue en un 4%. (MINSa,2019).

**Tabla 19**

*Episodios de IRA en menores de 5 años Departamento de Lambayeque, Perú 2018-19*

Departamento	2018		2019		Índice De aumento % del año 2018 al 2019
	Casos	IA (Incidencia Acumulativa)	Casos	IA (Incidencia Acumulativa)	
Lambayeque	93702	8879.35	97488	9324.09	4.0 %

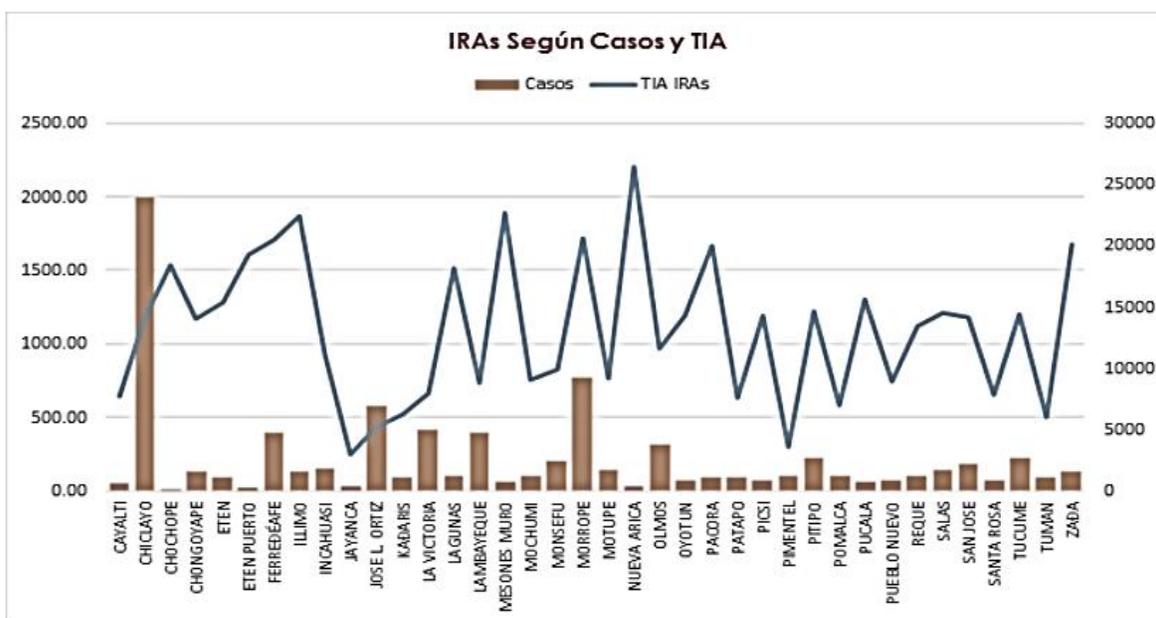
**Nota:** Elaboración propia, Recopilado de: Boletín Epidemiológico 2020 (SE 02, del 05 al 11 de enero-2020) Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades, (MINSa, 2020).

Asimismo, analizando El Boletín Epidemiológico SE-51 52-2019 emitido Por La Gerencia Regional De Salud De Lambayeque (Oficina Epidemiológica) RED-VEA De La GERESAL, los episodios de IRAs notificados en la ciudad de Chiclayo muestran una incidencia

acumulativa de 23931 casos de IRAs no neumónicas en el año 2019, además de 2667 casos de Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA) / Asma acumulados hasta el SE 51-52-2019, (semana del 15 al 28 de diciembre, última semana del 2019). (GERESAL, 2019).

**Figura 28**

*Semana Epidemiológica SE-51-52-2019 e Incidencia Acumulativa Anual-2019, de los episodios IRAs notificados por la RED-VEA de la GERESAL.*



**Nota:** Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Analizando el gráfico de distribución de episodios de IRAs a nivel regional durante los años 2016 al 2019, observamos un comportamiento irregular durante todo el período de estudio. El patrón es similar durante los últimos años y se evidencia incremento los episodios al inicio del OTOÑO manteniéndose durante el INVIERNO/Primavera, seguido de un descenso al comenzar el verano. Sin embargo, se puede ver un incremento de 30525 casos con respecto al año 2018 al 2019.

**Figura 29**

*Comportamiento de episodios IRAs a nivel regional durante los años 2016 al 2019*



**Nota:** Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Analizando los casos de IRAs reportados en el Boletín Epidemiológico SE-51 52-2019 emitido Por La Gerencia Regional De Salud De Lambayeque (Oficina Epidemiológica) RED-VEA De La GERESAL, los episodios de IRAs notificados a nivel Provincial muestran

una incidencia acumulativa de 96536 en toda la Región Lambayeque comprendido por las provincias de Chiclayo, Ferreñafe y Lambayeque como se muestra en la tabla 20

**Tabla 20**

*Reportes de casos de IRAs a nivel provincial-2019-region de Lambayeque*

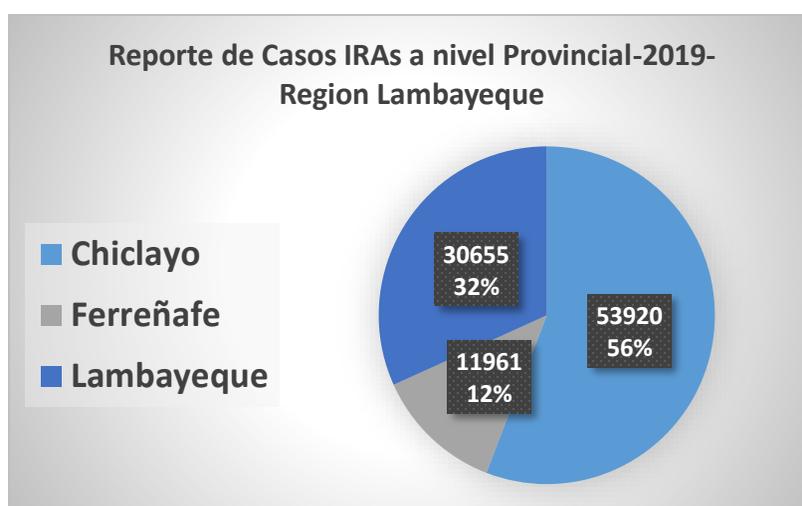
<b>Reportes de casos de IRAs a nivel provincial-2019-Region de Lambayeque</b>	
<b>Chiclayo</b>	53920
<b>Ferreñafe</b>	11961
<b>Lambayeque</b>	30655
<b>Total Casos de IRAs</b>	96536

**Nota:** Elaboración propia, recopilado del Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Destacando porcentualmente la provincia de Chiclayo con porcentajes de 56% mayor a comparación con las demás provincias para el año 2019.

**Figura 30**

*Reporte de casos de IRAs a nivel Provincial de la región Lambayeque, GERESA LAMBAYEQUE*



**Nota:** Elaboración propia, recopilado del Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Se analizó los casos de IRAs (*Infecciones Respiratorias Agudas*) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA acumulados reportados en el Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019, (semana del 15 al 28 de diciembre, última semana del 2019), mostrándonos los siguientes datos a nivel de toda la provincia de Chiclayo, es decir todos los distritos que corresponden a la Jurisdicción de Chiclayo, con un total de 53920 casos reportados de IRAs y 3951 casos de SOBA/ASMA.

**Tabla 21**

*Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA en base al Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE, a nivel distrital Chiclayo-2019.*

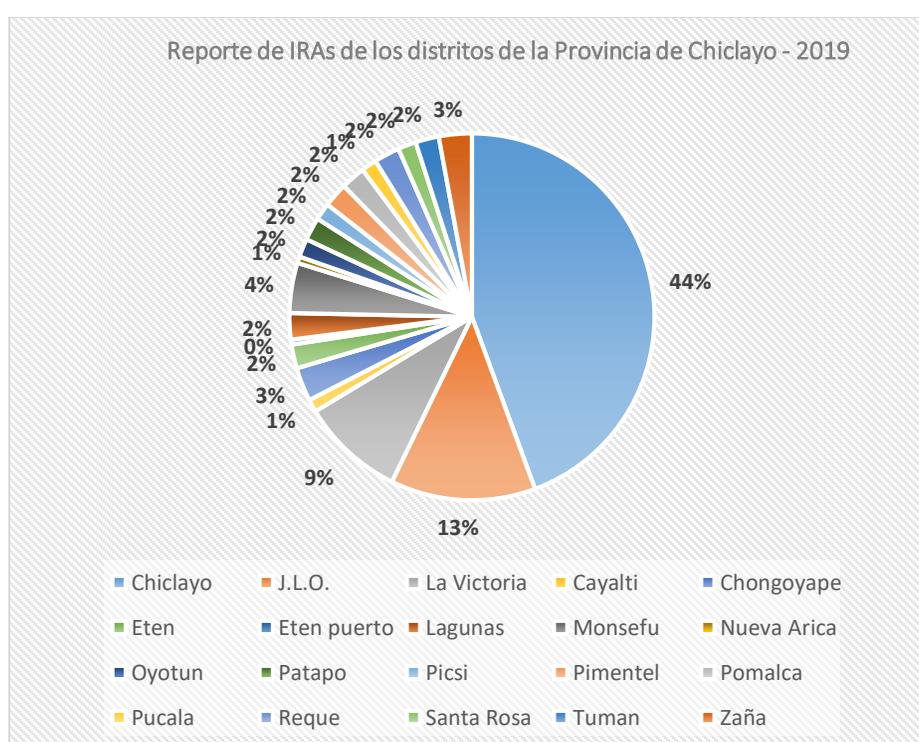
<b>Reportes a nivel Distrital – Chiclayo- 2019</b>		
<b>IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas)</b>		<b>SOBA-ASMA</b>
<b>Chiclayo</b>	23931	2667
<b>J.L.O.</b>	6923	554
<b>La Victoria</b>	4942	311
<b>Cayalti</b>	604	6
<b>Chongoyape</b>	1600	14
<b>Eten</b>	1132	24
<b>Eten Puerto</b>	235	2
<b>Lagunas</b>	1251	69
<b>Monsefú</b>	2381	75
<b>Nueva Arica</b>	311	4
<b>Oyotun</b>	874	5
<b>Patapo</b>	1093	14
<b>Picsi</b>	811	4
<b>Pimentel</b>	1164	31
<b>Pomalca</b>	1162	56
<b>Pucala</b>	732	8
<b>Reque</b>	1221	61
<b>Santa Rosa</b>	866	12
<b>Tuman</b>	1116	15
<b>Zaña</b>	1571	19
<b>Total</b>	53920	3951

**Nota:** Elaboración propia, recopilado del Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Analizando los casos de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) acumulados en todo el año 2019, reportados en el Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019, mostrándonos los siguientes datos a nivel de todos los distritos que corresponden a la Jurisdicción de la Provincia Chiclayo, llegando a concluir que Chiclayo como distrito ocupa el 44% de casos seguido de J.L.O y luego la Victoria.

**Figura 31**

*Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) al 2019 de los Distritos de Chiclayo*

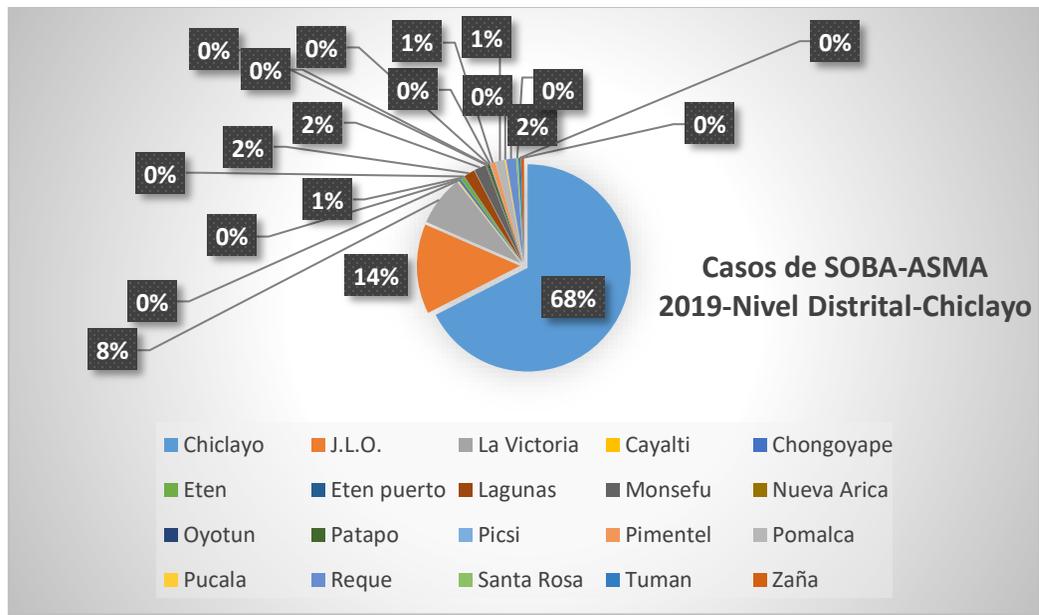


**Nota:** Elaboración propia, recopilado del Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Para los casos de Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA acumulados en todo el año 2019, reportados en el Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019, nos mostró los siguientes datos a nivel de todos los distritos que corresponden a la Jurisdicción de la Provincia Chiclayo, llegando a concluir que Chiclayo como distrito ocupa el 68% de casos, seguido de J.L.O con 14% y luego la Victoria con 8%, donde podemos evaluar que Chiclayo como distrito está siendo grandemente afectado ya sea por material particulado, como por otros factores influyentes, tales sea las bajas temperaturas en invierno, sin embargo este incremento de ve afecto al incremento de los índices de material particulado lo cual correlativamente se relacionan.

**Figura 32**

Reportes de Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA al 2019 de los Distritos de Chiclayo

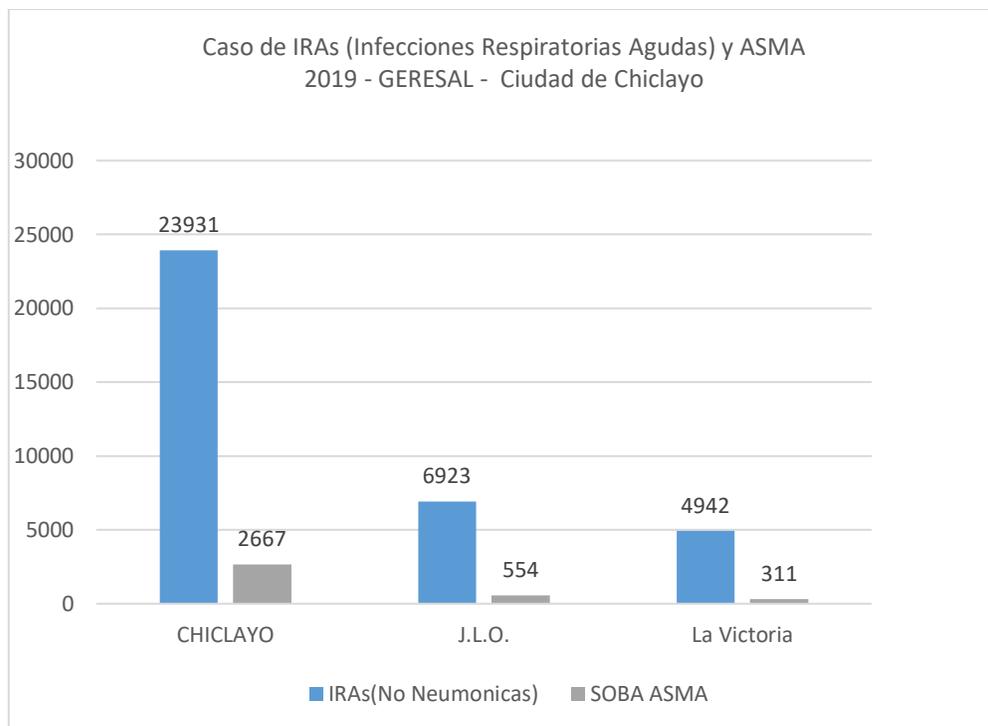


**Nota:** Elaboración propia, recopilado del Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Para un mayor análisis a nivel de distrito donde la ciudad de Chiclayo esta interrelacionada con los distritos de José Leonardo Ortiz y la Victoria compartiendo en su mayoría el movimiento comercial y vehicular, de acuerdo a los datos recopilados del Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019, GERESA-LAMBAYEQUE, se analizó los casos de IRAs (*Infecciones Respiratorias Agudas*) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA acumulados al 2019, mostrándonos los siguientes datos a nivel del distrito de Chiclayo, en comparativa con José Leonardo Ortiz y la Victoria que se ubican en sus fronteras, Chiclayo muestra un total de 23931 casos reportados de IRAs y 2667 casos de SOBA/ASMA.

**Figura 33**

Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE

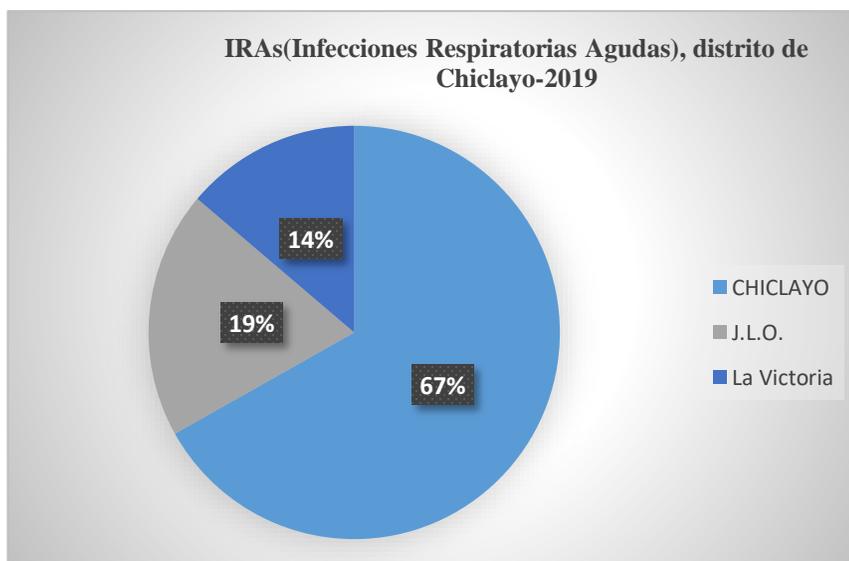


**Nota:** Elaboración propia, recopilado del Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Para los casos de IRAs (*Infecciones Respiratorias Agudas*) en el distrito de Chiclayo, en comparativa con los distritos de José Leonardo Ortiz y la Victoria que se ubican en sus fronteras, Chiclayo muestra un 67% mayor a los porcentajes de los distritos con quien comparte fronteras.

**Figura 34**

Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE

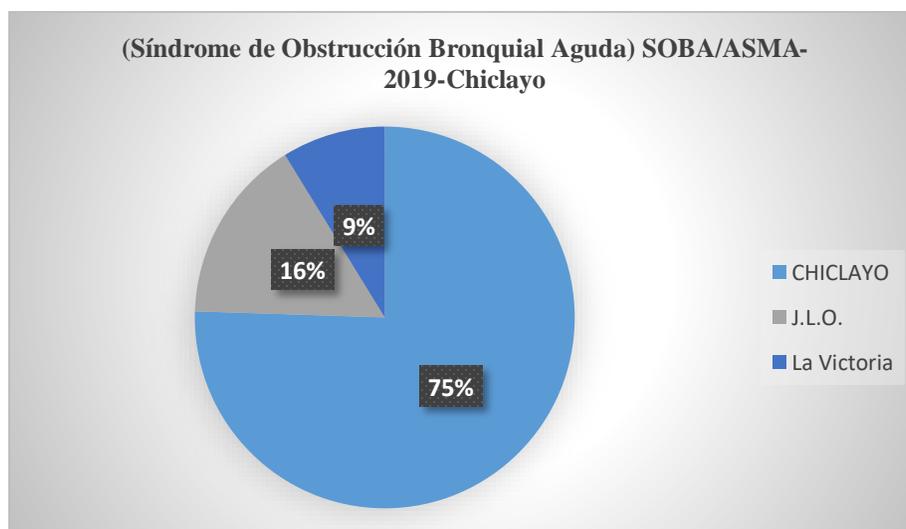


**Nota:** Elaboración propia, recopilado del Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Para los casos de Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA en el distrito de Chiclayo, en comparativa con los distritos de José Leonardo Ortiz y la Victoria que se ubican en sus fronteras, Chiclayo muestra un 75% mayor a los porcentajes de los distritos con quien comparte fronteras.

**Figura 35**

*Reportes de Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico SE 51-52-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE*



**Nota:** Elaboración propia, recopilado del Boletín Epidemiológico SE-51.52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

Analizando los Boletines Epidemiológicos SE-51.52-2017, SE 51-52-2018, SE 51-52-2019, de la Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, GERESA-LLAMBAYEQUE, se presciencia un incremento notable por año de casos de IRAs (*Infecciones Respiratorias Agudas*) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA acumulados anualmente para el distrito de Chiclayo, veamos la siguiente tabla 22.

**Tabla 22**

*Reportes de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico entre 2017-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE*

Relación Anual de casos de IRAs y SOBA/ASMA		
Chiclayo (2017-2019)	IRAs	SOBA/ASMA
<b>Chiclayo-2017</b>	18879	1377
<b>Chiclayo-2018</b>	18670	1763
<b>Chiclayo-2019</b>	23931	2667

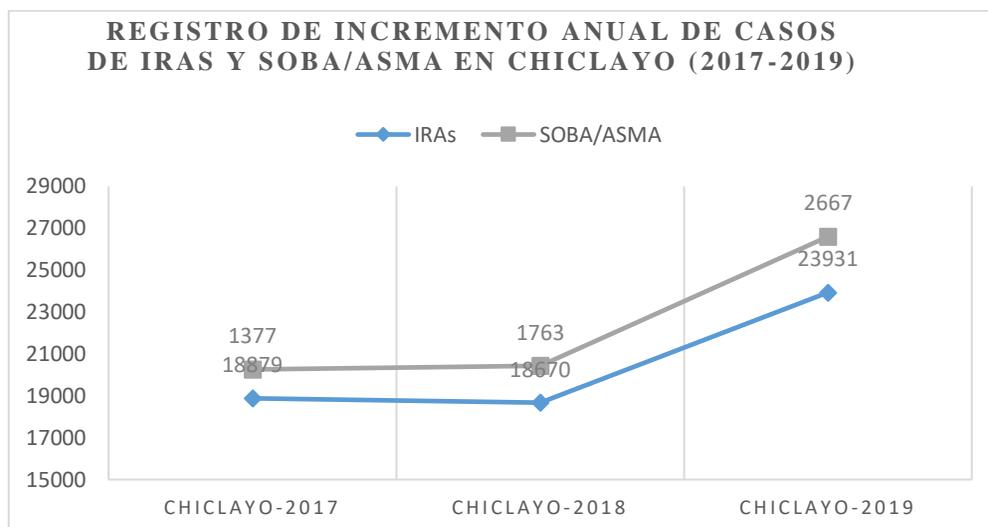
**Nota:** Elaboración Propia, recopilado de los Boletines Epidemiológicos SE-51.52-2017, SE 51-52-2018, SE 51-52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

En estos resultados se puede presenciar un aumento de casos por año de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA en la

ciudad de Chiclayo con un ligero descenso en el año 2018 con respecto al año 2017 por casos de IRAs, y para el caso de SOBA/ASMA se prescencia un aumento en todos los años analizados, cabe recalcar que en el año 2019 el incremento para ambos casos es notable.

**Figura 36**

*Registro de incrementos de casos de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base al Boletín Epidemiológico entre 2017-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE*



**Nota:** Elaboración Propia, recopilado de los Boletines Epidemiológicos SE-51.52-2017, SE 51-52-2018, SE 51-52-2019, Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica, (GERESAL, 2019).

En el análisis de la incidencia que tiene el Material Particulado en Investigaciones conducidas por el informe Defensorial del Pueblo N°116 demuestran la relación que existe entre la contaminación del aire y un amplio espectro de efectos sobre la salud de las personas, entre los que se cuentan desde ojos irritados hasta la muerte. En efecto, las evidencias apuntan principalmente a relacionar la contaminación del aire con enfermedades cardiovasculares, cáncer del pulmón y tráquea, rinitis alérgica y asma, así como infecciones respiratorias agudas (IRAs).

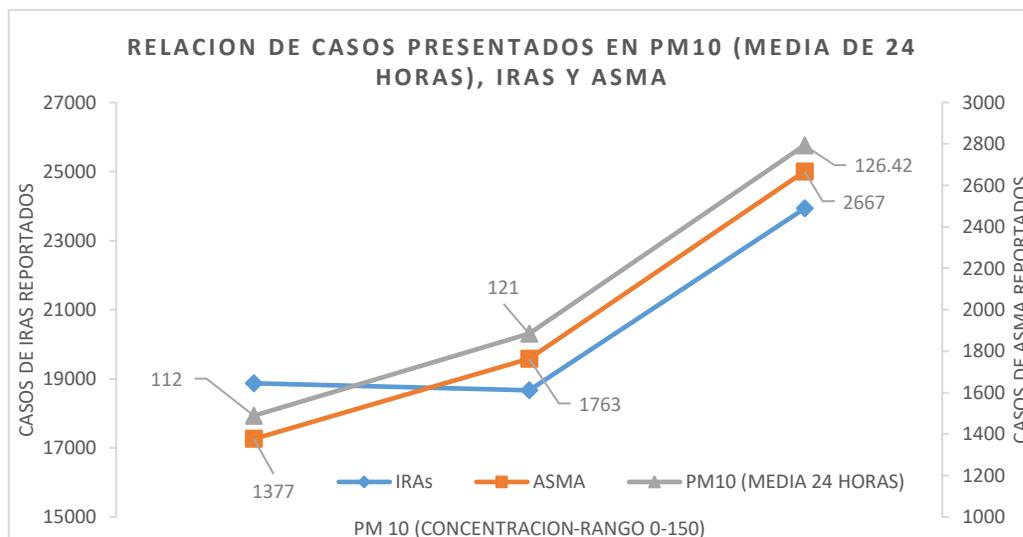
El Ministerio de Salud (MINSA) y la Oficina General de Epidemiología han mostrado que el Síndrome de Obstrucción Bronquial, el asma y las infecciones respiratorias agudas constituyen una de las cinco principales causas de atención médica. De esta forma según el MINSA, en el Perú afirma se está presentando un sostenido incremento de las enfermedades crónicas no transmisibles, como el asma, la rinitis alérgica y la faringitis, el cual es acompañado por un acelerado deterioro de la calidad del aire, como se ha visto anteriormente en los Reportes de IRAs y SOBA/ASMA de los de Boletines Epidemiológicos de la Gerencia Regional de Salud de Lambayeque del 2017-2019.

#### **4.8.2. Relación de Casos presentados de IRAs, enfermedades asmáticas y la concentración de PM10 (media de 24 horas).**

Al comparar la curva de los casos presentados de enfermedades asmáticas, casos de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y la concentración de PM 10, se encontró una similitud de crecimiento, en los años correspondientes entre 2017 y 2019.

**Figura 37**

Relación de Casos presentados de IRAs, enfermedades asmáticas y la concentración de PM10 (media de 24 horas).



**Nota:** Elaboración Propia, análisis de los boletines epidemiológicos de GERESA-LAMBAYEQUE y Proyección De PM10 En Los Años 2017 y 2018 en base al Estudio de Berrú, D. 2018.

## 4.9. Discusión

### 4.9.1. Material particulado menor a 2,5 µg/m3 (MP2,5)

Como se puede apreciar en la tabla 17, la media aritmética anual del MP2,5 para Chiclayo fue de 31,75 µg/m3 superando a los valores del ECA anual (25 µg/m3). Asimismo, para la media de 24 horas superó el valor de ECA de (50 µg/m3).

Comparando el promedio anual del MP2,5 obtenido en Chiclayo con otras ciudades, registra menores concentraciones con respecto a Ecuador que se registró una media anual para PM2.5 de 95 µg/m3.

Además se obtuvo una media de 24 horas de 66.65 µg/m3 para PM2.5; comparado con lima, en casi todo el departamento supera los valores de la media anual de PM2,5 con 31,5 µg/m3 para la media de 24 horas, a excepción del Callao los demás distritos superan significativamente los valores límites del ECA para PM2,5 (25 µg/m3) media anual; y las guías de la OMS (10 µg/m3) de la media anual, con esto se observó que sobrepasan el límite máximo establecido, al igual que Chiclayo que supera los límites o el rango permisible especificadas en la normativa de calidad del aire, cabe señalar que estos índices se superan más aun en las horas de mayor tráfico vehicular.

### 4.9.2. El material particulado menor a 10 µg/m3 (MP10)

Como se aprecia en la tabla 16 el promedio anual para el MP10 en la ciudad de Chiclayo para los dos meses de evaluación fue de 54,05 µg/m3 para el promedio anual superando el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) anual (50 µg/m3) y de las Guías de la OMS. Cabe señalar que los valores diarios (24 horas) de MP10 superó el ECA de 24 horas peruano (100 µg/m3), donde obtuvimos una media de 24 horas de 126.42 µg/m3.

Comparando el valor promedio de MP10 de la ciudad de Chiclayo, muestra mayor concentración con respecto al estudio de Doria, C., Fagundo, J. (2016), en Colombia obtuvieron una media anual de 35.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10 que no supero el límite máximo permitido de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de acuerdo con la Norma Oficial Colombiana, pero que si es superior al propuesto por la OMS de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , entendiendo que tienen una mejor calidad del aire, por otro lado Rodríguez, D. (2017). obtuvo un valor promedio anual de 23,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que estuvo dentro de los valores permisibles tanto para las regulaciones del país como para las guías de la OMS, para las zonas de muestreo en cuestión de San Diego (A Coruña), España. Así mismo en Ecuador se obtuvo una media anual de 77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mayor a las obtenidas en Chiclayo que fueron de 54.05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10, que, siendo comparados con los límites máximos permisibles según la legislación ecuatoriana y la OMS, en Ecuador se obtuvieron límites superiores para PM10, debido a que estas zonas concretan alto índice de tráfico vehicular, Cevallos J. (2018).

Con respecto al PM10 con una media de 24 horas obtenida en la ciudad de Chiclayo superó los 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la ECA, y los 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la OMS, que, comparando con los datos obtenidos por Delgado, P. (2017). en la Ciudad del Cusco donde obtuvo resultados de presencia de material particulado PM10 en la ciudad de 25.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación AI-01, en la estación AI-02 de 57.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y en la AI-03 de 31.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que no supero los estándares de calidad de aire de la normativa peruana para 24 horas de (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), pero que si supero la normativa de la OMS en la estación AI 02.

Y, por último, Berrú, 2018. Determinó que los promedios de las concentraciones de PM10 entre los años 2013 a 2015 en la ciudad de Chiclayo, si bien no superan el estándar de calidad ambiental de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de 24 horas, registro incrementos graduales en los años estudiados de 79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2013 a 96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2015, sin embargo los datos observados en nuestras muestras presentan un mayor nivel, ubicándose dentro de los no permitidos por las normas pese a que por la coyuntura sobre el COVID 19, muchas de las personas no salen a las calles, disminuyendo el aglomerado tráfico antes de la pandemia, pero que aun así se registró una media de 24 horas fuera de los límites para PM10 a diferencia de los registrados por Berrú D. (2018), no sin antes destacar que García, H. (2019). Señalo que las Fuentes Móviles en Ruta en Chiclayo, para PM (material particulado) son originadas por camiones de (46% y 88,3%), y proyecta una muestra que en 25 años pasaríamos de un nivel de emisión de 590 TM anuales a 876 TM de material particulado.

#### **4.9.3. Composición química del material particulado**

En comparación con lo obtenido en Chiclayo sobre los elementos Si, K y Ca que pertenecen a los elementos geológicos de los suelos, como es el caso de la Av. Augusto B. Leguía que en parte que no está pavimentada. Los metales en el peso del MP2,5 constituyeron aproximadamente el 4,1 %, los metaloides representaron el 2,1% y los no metales representaron el 3,8%. Además de identificar que se obtuvieron metales (Ca, Al, Fe, K, Mg, Ti, Na, Zn, Mn, Pb, Cu, Sr, Rb, Cr, Cd, Ni, V, Zr y Y) constituyeron aproximadamente 11,9% del peso del PM10, los metaloides (Si, As y Sb) el 7,5% del peso del PM10, y los no metales

(S, Cl, P, Br y Se) el 1,9% del peso del PM10. Se identificó cinco elementos más abundantes del MP10 de la ciudad de Chiclayo, durante el periodo de monitoreo, que fueron el Si, Ca, Al, Fe y K ocupando el 7,6% del MP10,

A comparación con Delgado, P. (2017). Identifico en la Ciudad de Cusco presencia de 0.006  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de Arsénico, 0.0064  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de Plomo, y Hierro 1.027  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Aluminio 11.85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y Zinc 21.226  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , estos metales pesados encontrando mayor contaminación metálica debido al producto del proceso de la combustión de hidrocarburos fósiles por el incremento del transporte vehicular sea público o privado de la población Cusqueña y en gran parte del movimiento turístico que hay en la zona, además del desgaste de los motores.

Asimismo, Doria, C., Fagundo, J. (2016). Identifico que en las muestras por PM10 su composición química comprende en su mayoría  $\text{Na}^+$  (1.98  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{Cl}^-$  (19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$  (0,25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{Ca}^{2+}$  (0,40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  (0,31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{NH}_4^+$  (0.032  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{NO}_2^-$  (0.001  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{NO}_3^-$  (0.0048  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con un descenso de las concentraciones en épocas de lluvia para  $\text{Ca}^{2+}$  ( $p=0.0$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),  $\text{Mg}^{2+}$  ( $p=0,0$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y  $\text{PO}_4^{3-}$  ( $p=0,0$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), provenientes del polvo y la combustión vehicular, las mismas composiciones químicas se encontraron en Chiclayo, con la deferencia que hay mayor concentración de las mismas por ser una Ciudad en desarrollo industrial e incremento vehicular.

#### **4.9.4. Relación Del PM2.5 Y PM10 Con Las Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA**

En el análisis por Infecciones Respiratorias Agudas (IRAs) se determinó que en el distrito de Chiclayo ocupa el 67% y en el Informe por Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA el 75% con respecto al distrito de J.L.O y la Victoria.

Constatando con Berrú, 2018 en su estudio concluye que en los casos de enfermedades asmáticas entre los años 2013 y 2015, se elevó de 381 a 794 en el lapso de dos años siendo más del 100% para el año 2015, determinando que los promedios de las concentraciones de PM10 en los entre los años 2013 a 2015, si bien no superan el estándar de calidad ambiental de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$ , estos subieron gradualmente en los años estudiados de 79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2013 a 96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2015 encontrando una relación con el incremento de los casos de enfermedades asmáticas y IRAs reportados.

Cabe señalar que, al comparar la curva de los casos presentados de enfermedades asmáticas, casos de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y la concentración de PM 10 (media de 24 horas), se encontró una similitud de crecimiento, en los años correspondientes entre 2017 y 2019, esto se constata con el incremento observado en el estudio de Berrú, D. 2018.

Asimismo, según el Informe Defensorial del Pueblo N°116, afirmó que el material particulado, especialmente las partículas de diámetro menor a 10 y 2.5 micrones (PM 10 y PM2.5), son especialmente nocivas para la salud de las personas por la facilidad que tienen de penetrar el sistema respiratorio, afectando los tejidos más profundos de los pulmones. Los principales impactos de la contaminación del aire son la alteración funcional y anatómica del pulmón, el incremento de infecciones respiratorias, el asma, las alergias de todo tipo, la exacerbación de enfermedades pre-existentes y el aumento de mortalidad por enfermedades pulmonares y cardíacas. De esta forma podemos decir que la ciudad de Chiclayo está cada

vez más siendo afectada por las grandes emisiones de material particulado conjuntamente con otros contaminantes provenientes de todas las fuentes emisoras de la ciudad.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se determinó el efecto de la polución ambiental por aerosoles atmosféricos que alteran la composición atmosférica y que afecta la salud humana, por la concentración del material particulado MP10 y MP2,5 haciendo el uso de las técnicas de Gravimetría y la observación, se registró valores mayores para las mediciones de la media de 24 horas del índice de ECAs peruanos. Siendo el MP2,5 que registró valores de 68.89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  que además de superar los límites de ECAs, también supera los límites de la guía de la OMS (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para PM2.5, por otro lado, los valores de PM10 se obtuvo un promedio diario de 125.81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , superando significativamente los valores límites de la ECA (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y de la guía de la OMS (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), esto indica un incremento significativo a diferencia de los años anteriores estudiados por Berrú, D. 2018, periodo 2013 -2015 donde obtuvo 79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2013 a 96  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el año 2015 para la media de 24 horas de PM10. Por otro lado, en el análisis de la media aritmética anual del MP2,5 para Chiclayo fue de 31,75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  superando a los valores del ECA anual (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En el PM10 el promedio anual en la ciudad de Chiclayo para los meses de evaluación fue de 54,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  superando el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) anual (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y de las Guías de la OMS.
2. Se efectuó un análisis cuantitativo de la composición química del material particulado, llevada a cabo por la técnica de electroforesis capilar de zona, encontrándose metales en el peso del MP2,5 constituyendo aproximadamente el 4,1 %, los metaloides representaron el 2,1% y los no metales representaron el 3,8%. Además, se identificaron metales tales como (Ca, Al, Fe, K, Mg, Ti, Na, Zn, Mn, Pb, Cu, Sr, Rb, Cr, Cd, Ni, V, Zr y Y) constituyendo aproximadamente 11,9% del peso del PM10, los metaloides (Si, As y Sb) el 7,5% del peso del PM10, y los no metales (S, Cl, P, Br y Se) el 1,9% del peso del PM10. Se identificó cinco elementos más abundantes del MP10 de la ciudad de Chiclayo, durante el periodo de monitoreo, que fueron el S, Ca, Al, Fe y K ocupando el 7,6% del MP10. En el MP10 se muestra una apreciable cantidad de metales (12%) y abundancia de elementos geológicos. En cambio, en el MP2,5 se ha registrado mayoritariamente el S, no metales y concentraciones importantes de COrg, CE y SO4= las cuales estarían siendo atribuidas al parque automotor.
3. En las cuatro zonas de monitoreo y toma de datos se identificó los niveles de material particulado y cada zona conserva una variación de  $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se mantienen en niveles altos para una media de 24 horas de 66.63  $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para pm2.5 y 126.32  $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM10, esto niveles altos se deben a que estos puntos estratégicos están fuertemente influenciados por el flujo vehicular, gran movimiento comercial. Con esto se estima que estas zonas se encuentran bastante influenciadas por las emisiones generadas ante el elevado flujo vehicular (parque automotor) que en los últimos años se ha visto incrementado apreciablemente, además del movimiento comercial (que se

constituyen por las emisiones de gases por panaderías, restaurantes, pollerías, actividades químicas, talleres de vidrio y aluminio, pinturas, carpinterías, fabricación de cerámicos, partículas producto de desgaste de los neumáticos de los vehículos, polvo producto del desgaste de pistas y avenidas no muy bien pavimentadas, (tal es la av. Leguía), etc.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de los reportes de MINSA Y GERESA-LAMBAYEQUE, se concluye que existe un aumento de los casos de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA de la Ciudad de Chiclayo en base a los Boletines Epidemiológico 2017-2019 de GERESA-LAMBAYEQUE. Porcentualmente la provincia de Chiclayo con respecto a los distritos de José Leonardo Ortiz y la Victoria, reporta 67% casos de IRAs y 75% casos de Síndrome de Obstrucción Bronquial Aguda (SOBA)/ASMA. Donde se registra 18670 casos de IRAs en el 2018 y 23931 casos de IRAs en 2019 en la Provincia de Chiclayo, notándose un incremento de 5261 casos en lo que va de un año, asimismo, los casos de ASMA de 1377 en el 2017 a 2667 al 2019. Cabe señalar que este incremento se relaciona con el incremento de niveles de concentración de PM10 (media de 24 horas), donde al comparar la curva de los casos presentados de enfermedades asmáticas, casos de IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) y la concentración de PM 10, se encontró una similitud de crecimiento, en los años correspondientes entre 2017 y 2019.

## RECOMENDACIONES

Siendo la contaminación atmosférica un problema de salud pública especialmente porque con el tiempo se incrementa las concentraciones de material particulado afectando a la población más vulnerable como son los niños y ancianos, los gobernantes de la ciudad de Chiclayo deben establecer estrategias y acciones en conjunto con la población civil e instituciones académicas y privadas, estas estrategias y acciones enmarcadas dentro de lo que manda la normativa peruana, que tengan las características de ser preventiva con la finalidad de generar menores índices de morbilidad en infecciones respiratorias agudas y demás enfermedades pulmonares y consecuencias variadas debido a la exposición diaria a estas contaminaciones y del mismo modo genere menos gasto público; y lo que es mejor incrementar una buena calidad de aire en la ciudad de Chiclayo.

-Se recomienda continuar con los estudios para determinar las concentraciones año a año ya que estos varían por el avance tecnológico e industrial de la ciudad de Chiclayo

## BIBLIOGRAFIA

- Defensoría Del Pueblo, (2006) *Informe Defensorial No. 116 “La Calidad Del Aire En Lima Y Su Impacto En La Salud Y La Vida De Sus Habitantes”*, Defensoría del pueblo, Lima-Perú.
- Doria, C., Fagundo, J. (2016). *Caracterización química de material particulado PM10 en la atmósfera de La Guajira*. Revista de Investigación, Universidad de Colombia.
- ESDA, (2015). “Estudio De Desempeño Ambiental” *Parte Dos, Capítulo 6-Aire Recuperado el 10 de abril 2021 de: <https://www.minam.gob.pe/esda/6-1-4-efectos-en-la-salud-de-las-personas-que-produce-la-contaminacion-estudios-que-estimen-el-impacto-de-la-contaminacion-en-la-salud-de-la-poblacion/>*
- GERASA,2019. Boletín Epidemiológico SE-51.52-2017, 2018, 2019, de Gerencia Regional de Salud de Lambayeque, Oficina Epidemiológica.
- Ibáñez, J., Hernández, M., Doria, M., Fregoso, A., Mohan, M. (2013). *Química Ambiental*. (1ª Ed.). Editorial Mcgraw-Hill/Interamericana Editores, S.A.
- Instituto Nacional De Salud Pública de México. (INSP). (22 de abril de 2021). *Contaminación del aire y la salud*. Actualizado el miércoles 26 agosto 2020, México. Recuperado de: <https://www.insp.mx/infografias/contaminacion-aire-salud.html>
- Lacasaña, M. Aguilar, C. Romieu, I. (1999) *Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina*. Salud Pública de México, Vol. 41, núm.3, pp.203-215 [Consultado: 10 de abril de 2021]. ISSN: 0036-3634. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10641308>
- Martínez, B. (2016). *La Contaminación Atmosférica en China*. Trabajo Final de Master, Universitat Pompeu Frabra.
- Ministerio de Ambiente, MINAM, (2016). *Índice De Calidad Del Aire Resolución Ministerial N° 181-2016-MINAM*, Perú.
- Ministerio de Salud, (2019). Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-MINSA, Peru-Lima.

- Ministerio de Ambiente, (MINAM, 2017). *Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM Aprueban Estándares De Calidad Ambiental (ECA) Para Aire y Establecen Disposiciones Complementarias*. Ministerio de Ambiente, Perú.
- OMS, (2014). *Directrices De La OMS Sobre La Calidad Del Aire De Interiores, Quema De Combustibles En Los Hogares*. Organización Mundial De La Salud. Ginebra 27, Suiza
- Organización De Aviación Civil Internacional (OACI). (20 de abril del 2021), *El Consejo De La OACI Adopta Nueva Norma Sobre Emisiones De CO2 Para Aviones*. Recuperado de: <https://Www.Icao.Int/Newsroom/Pages/ES/ICAO-Council-Adopts-New-CO2-Emissions-Standard-For-Aircraft.Aspx>.
- Organización Mundial de la salud - OMS. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre Actualización mundial 2005*. Organización Mundial de la Salud, Suiza.
- Organización Mundial De La Salud (OMS). (18 de abril del 2021) *Contaminación Del Aire*. Recuperado De: [https://Www.Who.Int/Health-Topics/Air-Pollution#Tab=Tab\\_1](https://Www.Who.Int/Health-Topics/Air-Pollution#Tab=Tab_1)
- Organización Mundial De La Salud (OMS). (20 de abril del 2021). *Calidad Del Aire y su Salud, Actualizado el 2018*. Recuperado de: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial De La Salud (OMS). (22 de abril del 2021). *Calidad Del Aire Y Salud, Impacto En La Salud, Actualizado el 2021*. Recuperado de: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts>
- PLANEFA. (2018). *Plan Anual De Evaluación Y Fiscalización Ambiental De Chiclayo. Municipalidad Provincial De Chiclayo*, Centro De Gestión Ambiental. Chiclayo.
- Prando, R. (1996). *Manual De Gestión De La Calidad Ambiental*. (1ª Ed.). Editorial Piedra Santa, S.A.
- Querol, X., Alastuey, A., Rodríguez, S., Plana, F., Mantilla E. y Ruiz C. (2001) *Monitoring of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> around primary particulate anthropogenic emission sources, Atmospheric Environment 35, 845-858*. (Consultado: 12 de abril de 2021). Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/journal/atmospheric-environment/vol/35/issue/5>

Rodríguez, D. (2017). *Composición iónica del material particulado atmosférico*, Tesis de pregrado. Universidad de A Coruña, España.

Sabuco, P. (2013). *Apuntes de ciencia y sociedad, “La Problemática De Los Incendios Forestales Y Bases Para Su Teledetección En El Perú”*, Artículo De Revisión, Universidad Continental. Recuperado de: <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/198>

Seoánez M. (2002). *Tratado De La Contaminación Atmosférica. “Problemas, Tratamiento Y Gestión”*. (1ª Ed.). Editorial Mundi-Prensa S.A., Madrid.

United Nations Climate Change. (UNFCCC). (23 de abril de 2021). *OMS: El Acuerdo de París es un acuerdo a favor de la salud*. Recuperado de: <https://unfccc.int/es/news/oms-el-acuerdo-de-paris-es-un-acuerdo-a-favor-de-la-salud>.