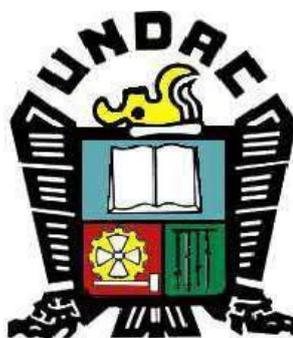


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**Análisis de las concentraciones del PM₁₀ en su interacción con
los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de**

Lima, durante los años 2014 al 2018

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor: Bach. Abner Habacuc OSCATEGUI BARZOLA

Asesor: Mg. Lucio ROJAS VITOR

Cerro de Pasco – Perú – 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**Análisis de las concentraciones del PM₁₀ en su interacción con
los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de
Lima, durante los años 2014 al 2018**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Rommel Luis LÓPEZ ALVARADO
PRESIDENTE

Mg. Rosario Marcela VÁSQUEZ GARCÍA
MIEMBRO

Ing. Miguel Angel BASUALDO BERNUY
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis padres.

RESUMEN

El deterioro de la calidad del aire en las ciudades es un problema de índole mundial que se incrementa con el crecimiento poblacional. Entre los contaminantes del aire urbano, el material particulado en suspensión es considerado uno de los más importantes, por sus posibles efectos sobre la salud de las personas.

En este sentido la presente investigación ha sido desarrollada, persiguiendo como objetivo el de analizar las concentraciones del PM_{10} en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.

La principal conclusión a la que se ha arribado es que las concentraciones del PM_{10} en el distrito de Ate – Provincia de Lima son variables de acuerdo a la interacción con los factores meteorológicos, durante el periodo de estudio. Sin embargo, al verificar el cumplimiento del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire en referencia al PM_{10} se establece que no cumple con el D.S. N° 003 – 2017 – MINAM.

Palabras clave: Contaminación atmosférica; factores meteorológicos; estándar de calidad ambiental para el aire.

ABSTRACT

The deterioration of air quality in cities is a global problem that increases with population growth. Among urban air pollutants, particulate matter in suspension is considered one of the most important, for its possible effects on human health.

In this sense the present research has been developed, aiming to analyze the concentrations of PM₁₀ in its interaction with the meteorological factors in the district of Ate – province of Lima, during the years 2014 to 2018.

The main conclusion reached is that the concentrations of PM₁₀ in the district of Ate – Province of Lima are variable according to the interaction with the weather factors, during the study period. However, by verifying compliance with the National Air Quality Standards Regulations with reference to PM₁₀ it is established that it does not comply with D.S. No. 003 – 2017 – MINAM.

Keywords: Air pollution; meteorological factors; environmental quality standard for air.

INTRODUCCIÓN

Las consecuencias del desarrollo de las ciudades traen consigo una serie de eventos que involucran de una u otra forma el medio ambiente, y con ello, la calidad del aire, entre otros aspectos. Por tal razón, cada vez es más frecuente el interés por conocer e identificar el estado actual del aire, con el fin de evaluar las causas y establecer medidas que minimicen y contribuyan a solucionar el problema.

La presente investigación se realizó, debido a que este tipo de contaminación es una de los problemas ambientales que, con mayor sistematicidad en las ciudades, demostrándose que es un problema que toma dimensiones globales.

El objetivo de la presente investigación es el de analizar las concentraciones del PM₁₀ en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018

La tesis está constituido en cuatro capítulos, descritos a continuación: Capítulo I Problema de investigación, que describe la situación problemática a investigar, así como los propósitos de la misma; Capítulo II Marco teórico, que muestra los diversos antecedentes y referencias teóricas que nos han servido de base para nuestra investigación; Capítulo III Metodología y técnicas de investigación, el cual nos permite describir el método científico que se ha utilizado, así como su entorno poblacional; Capítulo IV Resultados y discusión, que muestra las estadísticas de los datos procesados, la prueba de hipótesis.

La principal conclusión a la que se ha arribado es que las concentraciones del PM_{10} en el distrito de Ate – Provincia de Lima son variables de acuerdo a la interacción con los factores meteorológicos, durante el periodo de estudio. Sin embargo, al verificar el cumplimiento del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire en referencia al PM_{10} se establece que no cumple con el D.S. N° 003 – 2017 – MINAM.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPÍTULO I:

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	7
1.3. Formulación del problema	7
1.3.1. Problema principal	7
1.3.2. Problemas específicos	7
1.4. Formulación de objetivos	7
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. Justificación de la investigación	8
1.6. Limitaciones de la investigación	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	10
2.2. Bases teóricas – científicas	19
2.3. Definición de términos básicos	43
2.4. Formulación de hipótesis	45
2.4.1. Hipótesis general	45
2.4.2. Hipótesis específicas	45
2.5. Identificación de variables	45
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	45

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	47
3.2. Métodos de investigación	48

3.3. Diseño de investigación	48
3.4. Población y muestra	49
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	50
3.7. Tratamiento estadístico	51
3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	52
3.9. Orientación ética	52

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	54
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	58
4.3. Prueba de hipótesis	80
4.4. Discusión de resultados	80

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y determinación del problema

En nuestro país, la problemática de la contaminación del aire ha venido empeorándose en los últimos años a consecuencia de varios factores; como el crecimiento acelerado del parque automotor y su casi nulo mantenimiento, la importación de autos usados, la deficiente calidad de los combustibles, la mala planificación urbanística y su escasa supervisión, entre otros.

En el año 2000, se estimó que la población de Lima y Callao fue de 7.5 millones de habitantes que requerían de 10.5 millones de viajes por día, es decir de una tasa de 1.4 viajes/hab/día, para movilizarse cotidianamente. Los propósitos del transporte obedecen a: trabajo con 46%, estudio con 15%, compras con 11% y otros con 28%¹.

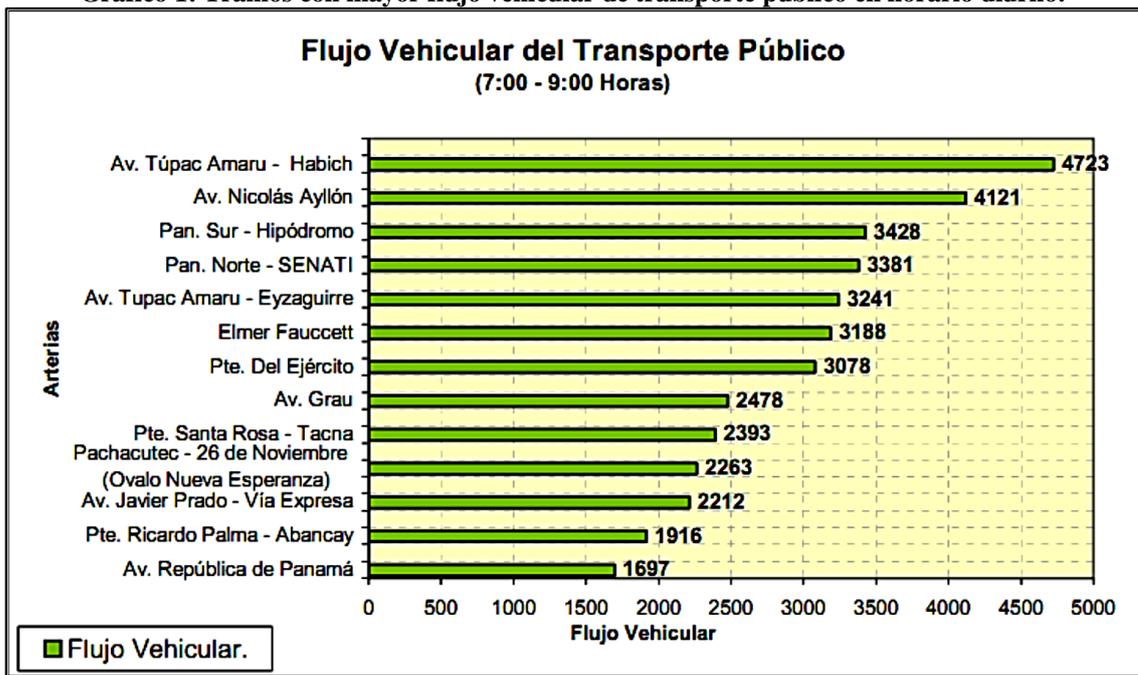
Siendo un 81% por transporte público y un 19% en transporte privado. Las principales vías se clasificaron de acuerdo a los sectores de la ciudad:

¹ Fuente: Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao. 2010

- Sector Norte: Av. Túpac Amaru, Universitaria y Carretera Panamericana Norte.
- Sector Noreste: Av. 9 de octubre, Próceres de la Independencia y Canto Grande.
- Sector Este: Av. Nicolás Ayllón, Carretera Central y Autopista Ramiro Prialé.
- Sector Sur: Av. Paseo de la Republica, Arequipa y Vía Evitamiento.
- Sector Oeste: Av. Argentina, Colonial, Venezuela, Morales Duarez, La Marina y La Paz.

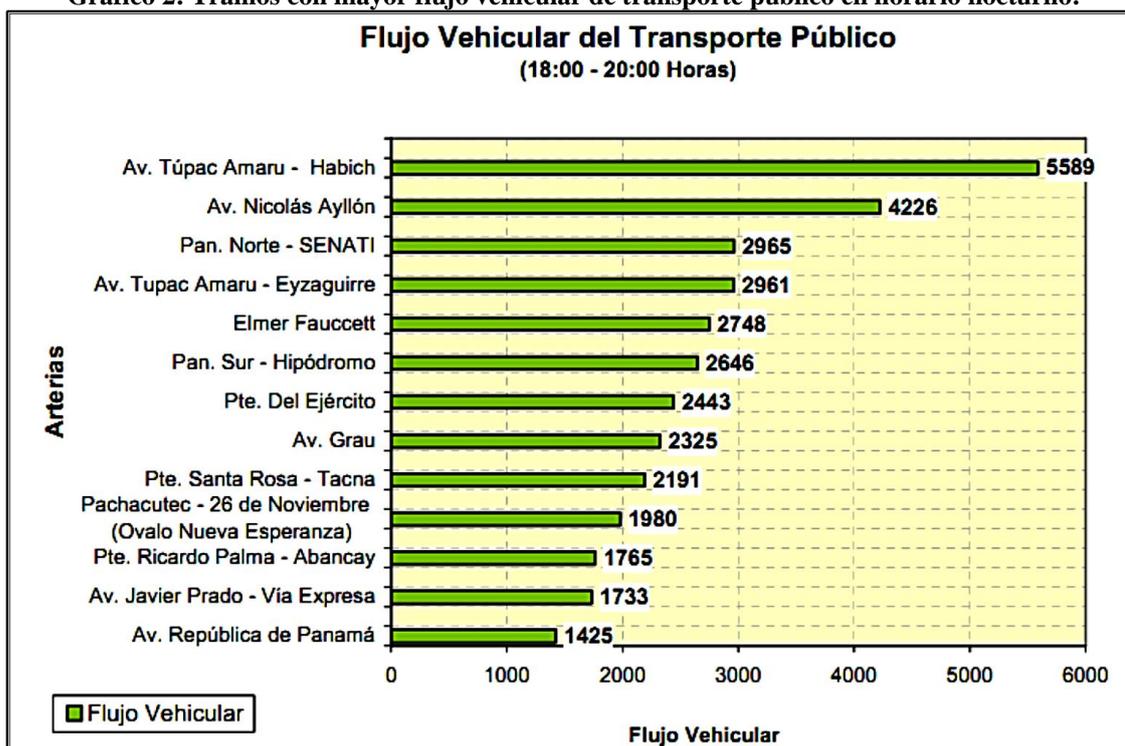
El distrito de Ate corresponde al Sector Este; por tanto, como se puede apreciar en los estudios realizados por la Municipalidad Metropolitana de Lima, identifican a la Av. Nicolás Ayllón como uno de los tramos con mayor carga de vehículos en horas pico, tal como se aprecian en los siguientes gráficos.

Gráfico 1: Tramos con mayor flujo vehicular de transporte público en horario diurno.



Fuente: Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao. 2010.

Gráfico 2: Tramos con mayor flujo vehicular de transporte público en horario nocturno.



Fuente: Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao. 2010.

De la misma manera, el documento de la referencia revela que el 93% de las industrias se ubican en la provincia de Lima y el 7% en la provincia del Callao. Y, de acuerdo al Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao, el número de establecimientos industriales en el Distrito de Ate fue de 151, de los cuales los establecimientos industriales generadores de contaminación del aire fueron 114.

Cuadro 1: Establecimientos industriales de contaminación del aire en Ate.

Descripción CIU ²	Distrito de Ate
Elaboración de productos alimenticios y bebidas.	28
Fabricación de productos de caucho y plástico.	14
Fabricación de productos de metal, excepto maquinaria y equipo.	8
Fabricación de productos textiles.	49
Fabricación de sustancias y productos químicos	15
TOTAL	114

Fuente: Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao. 2010.

² CIU: Clasificación Industrial Internacional Uniforme

Los sectores industriales que generaban más residuos industriales peligrosos (RIP), fueron: químicos, fundición, metal – mecánica, pinturas y tinta; y las industrias que generaban más contaminación atmosférica, eran: productos textiles, sustancias y productos químicos, incluyendo los farmacéuticos y productos de metal. En esa época los distritos que generaron más RIP y CAT fueron: Cercado de Lima, Ate y Callao. Según el Ministerio de Producción, en el 2017 el registro de empresas y establecimientos manufactureros, de los cuales se considera los sectores industriales importantes al textil, muebles, alimentos y bebidas, impresión y metal metálica en el distrito de Ate se concentra alrededor de 2648 industrias.

En Lima, los niveles de contaminación atmosférica promedio registrados para las emisiones de material particulado superaron, de manera significativa, tanto los estándares internacionales del Organismo Mundial de la Salud (OMS) como los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por la autoridad nacional. Esto significa un grave riesgo para la salud, sobre todo, para las zonas de Lima Ciudad, Lima Este y Lima Norte que albergan la mayor proporción de la población y donde se han reportado los máximos niveles de emisión. En Lima el nivel de contaminación atmosférica es casi seis veces superior al máximo razonable establecido por la Organización Mundial de la Salud lo que la convierte en la urbe latinoamericana con peores indicadores y en un factor de riesgo para la salud de sus habitantes. En ese sentido, un reciente informe presentado por la OMS advierte que vivir en ciudades donde los niveles son dos veces y medio superior de salud a largo plazo³.

³ “Contaminación del aire en Lima Metropolitana Perú” – Autor: Renzo Lamas Noriega. Revista Digital Gestipolis (31-12-2015) - <https://www.gestipolis.com/contaminacion-del-aire-lima-metropolitana-peru/>

De la misma manera, es sabido que las actividades humanas descritas anteriormente y su relación con los factores climáticos que se presentan por la aridez de nuestra región costa donde se ubica geográficamente la capital, han ocasionado que la calidad del aire se haya convertido en uno de los mayores riesgos para la salud de la población que habita en ella, encontrándose el distrito de Ate en la zona este de dicha ciudad metropolitana.

Para corroborar lo descrito anteriormente, se tiene un informe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) sobre calidad de aire en los distritos limeños realizado en abril del 2017, menciona que tanto en Ate, Huachipa, Puente Piedra como en Villa María del Triunfo, se registró la mayor contaminación de nuestra capital. Incluso, los índices superaron el Estándar de Calidad Ambiental Nacional. Otros distritos que encabezan esa lista, aunque en menor magnitud, son San Juan de Lurigancho y Santa Anita⁴.

El mismo informe, señala que el 71% de las 42 municipalidades en Lima no supervisaba la contaminación del aire, y entre esos municipios se encontraban todos los que ya hemos nombrado. Esa denuncia hecha por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) agrava un poco más el problema, ya que no existen planes locales para cambiar la situación de contaminación.

Desde el año 2010, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en convenio con la Municipalidad de Ate y, ha instalado una estación de monitoreo de Calidad de Aire donde registra las concentraciones de gases contaminantes del aire con analizadores automáticos. Dichos equipos proporcionan mediciones de alta resolución y en tiempo real, a través de métodos electro ópticos.

⁴ “Lima está entre las ciudades con peor calidad del aire en América Latina” – Autor: Maria Vanessa Romo Espinoza. RPP Noticias (08-06-2017) - <https://rpp.pe/blog/la-calidad-de-vida-se-respira/lima-esta-entre-las-ciudades-con-peor-calidad-del-aire-en-america-latina-noticia-1056486>

De acuerdo con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), los distritos del norte y este de Lima presentan un aire más contaminado. La entidad hizo un análisis estadístico de los datos recolectados por la Red de Monitoreo Automático de la Calidad del Aire (REMCA) en Lima Metropolitana y el Callao entre el 2010 y el 2018. Los datos arrojaron que las concentraciones de PM₁₀ (del inglés 'particulate matter') en la estación de Carabayllo, Ate, San Juan de Lurigancho y Santa Anita muestran una tendencia de incremento de 2.5 microgramos por metro cúbico al año. Sin embargo, en otras estaciones no se encontraron variaciones significativas en las concentraciones de contaminantes en el ambiente⁵.

Finalmente, en el Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas en la Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Lima – Callao, publicado por la Organización Mundial de la Salud, se logró identificar las fuentes de área por distrito, tal como se puede ver en el siguiente cuadro.

Cuadro 2: Fuente área en el distrito de Ate.

CIUU	Área	Ate
1541	Panadería	217
1721	Textiles (tintorería)	20
2010	Aserrado	5
2022	Carpinterías	96
2221	Imprentas	30
2693	Ladrilleras	6
2731	Fundición de hierro y acero	5
2732	Fundición de metales no ferrosos	3
	Pollerías	118
	Grifos	32
	TOTALES	532

Fuente: Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas en la Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Lima – Callao, DIGESA.

⁵ “Aumenta la contaminación del aire en distritos del norte y este de Lima” – Diario El Comercio (15-03-2019) - <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/aumenta-contaminacion-aire-distritos-norte-lima-noticia-617160>

Por todo lo expuesto, la presente investigación ha pretendido analizar la información suministrada con el uso de herramientas informáticas para que sirva de base a otros estudios o trabajos que permitan tener un plan de acción para disminuir la contaminación del aire en dicho distrito capitalino; y de ese modo, prevenir daños en la salud de la población, específicamente de las personas más vulnerables como niños, ancianos y personas enfermas.

1.2 Delimitación de la investigación

Nuestro trabajo, se establece en los límites de la investigación en términos de espacio, tiempo, universo y del contenido. Según el detalle:

- Delimitación Espacial: El trabajo investigativo se desarrolló en el distrito de Ate, Provincia de Lima.
- Delimitación Temporal: Los datos que se han trabajado, pertenecen al periodo comprendido entre los años 2014 al 2018.
- Delimitación del Universo: Tomaremos en cuenta los datos obtenidos por la estación de monitoreo de Calidad de Aire que tiene instalado el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) en el distrito de Ate.
- Delimitación del Contenido: Con esta investigación pretendemos aplicar los conceptos más importantes de contaminación atmosférica.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema principal

¿Cómo son las concentraciones del PM_{10} en el distrito de Ate - provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018?

1.3.2 Problemas específicos

a) ¿Cuáles son las concentraciones del PM_{10} en el distrito de Ate - provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018?

- b) ¿Cuáles son las condiciones meteorológicas más importantes del distrito de Ate - provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018?
- c) ¿Los factores meteorológicos del distrito de Ate - provincia de Lima influyen en las concentraciones del PM₁₀, durante los años 2014 al 2018?

1.4 Formulación de objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar las concentraciones del PM₁₀ en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.

1.4.2 Objetivos específicos.

- a) Analizar la variación temporal de las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate durante los años 2014 al 2018.
- b) Analizar los factores meteorológicos más importantes en el en el distrito de Ate durante los años 2014 al 2018.
- c) Determinar la influencia de los factores meteorológicos del distrito de Ate - provincia de Lima en las concentraciones del PM₁₀, durante los años 2014 al 2018.

1.5 Justificación de la investigación

El problema de la contaminación del aire es de gran importancia para todas las poblaciones urbanas; sin embargo, muchos de nosotros no tomamos conciencia de esta problemática. Esta ha sido la motivación principal para realizar esta investigación, de tal modo que sirva de base a futuras investigaciones o planes de acción con miras a resolver esta problemática.

Esta investigación se justifico al problema que la sociedad actual enfrenta y principalmente en este distrito que se padece bastante de esta cruda realidad, la contaminación sonora o auditiva.

Es necesario mencionar, que este trabajo se justifica teóricamente por el uso de conceptos de Contaminación Atmosférica y Meteorología y Climatología; tal como lo indicamos al delimitar la investigación. De la misma forma, y relacionando a la práctica, se ha hecho uso de equipos de monitoreo ambiental y software de análisis estadístico para la explicación y discusión respectiva.

De la misma manera, es necesario el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Aire (Decreto Supremo N° 003 – 2017 – MINAM), que nos sirve como justificación legal.

1.6 Limitaciones de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación no se han presentado mayores limitaciones; sin embargo, para registrar los datos climatológicos de la zona en cuestión., nos hemos valido de los datos brindados por el SENAMHI debido a que no se pudo contar con los equipos necesarios para dichas mediciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

Para la presente investigación hemos visto por conveniente señalar los siguientes antecedentes en el orden local, nacional e internacional:

Tesis: Estimación de la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en el área metropolitana de Lima utilizando un modelo Euleriano

Autor: Warren Reátegui Romero - Institución: Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lugar y Año: Lima, Perú – 2018.

Resumen:

La calidad del aire de las ciudades es el resultado de relaciones complejas naturales y antropogénicas. Muchos distritos de la ciudad de Lima Metropolitana tienen concentraciones de material particulado que superan los ECA para PM₁₀ (100 µg/m³) y PM_{2.5} (25 µg/m³). La exposición a concentraciones elevadas de contaminantes del aire genera efectos negativos sobre la salud. Las emisiones vehiculares son una fuente muy importante de contaminantes, los valores promedio

de los contaminantes dan un mecanismo para analizar los cambios en tiempos largos. La variabilidad en esta tesis se relaciona con las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ que nos indica que tan alejadas están las concentraciones del valor promedio y ayudan a tomar decisiones sociales importantes. Este trabajo de tesis tiene como objetivo estimar la concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ para Lima Metropolitana usando el modelo numérico de mesoescala euleriano Weather Research and Forecasting/ Chemistry (WRF-chem). Este modelo online sirve tanto para la investigación atmosférica y necesidades de pronóstico del tiempo-químico, para lo cual hace uso de información simultánea de meteorología y de química. Los periodos de estudios corresponden a los meses de febrero y julio del 2016, escogidos por los altos y bajos niveles de contaminantes atmosféricos. El modelo estimó las concentraciones de las especies químicas $PM_{2.5}$ y PM_{10} , información que fue comparada con datos registrados a nivel de superficie por diez estaciones de calidad del aire de SENAMHI: Campo de Marte (CMD), Ate (ATE), San Borja (SBJ), Santa Anita (STA), Carabayllo (CRB), Huachipa (HCH), Puente Piedra (PPD), San Martín de Porres (SMP), Villa María del Triunfo (VMT) y San Juan de Lurigancho (SJL). Esto nos permitió conocer en qué medida los ciclos diurnos de PM_{10} y $PM_{2.5}$ están influenciados por las emisiones vehiculares en los dos periodos seleccionados. Un modelo numérico es euleriano cuando captura información de concentración o meteorológica en puntos fijos del espacio. El modelo WRF-chem, fue desarrollado por el National Center for Atmospheric Research (NCAR) en colaboración con otras instituciones norteamericanas, incluyendo National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y National Centers for Environmental Prediction (NCEP).

Tesis: Influencia del PM10 en la incidencia de enfermedades respiratorias de la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate, Lima 2014 - 2015

Autor: Gaby María Reupo Farro - Institución: Escuela de Posgrado de la Universidad César Vallejo - Lugar y Año: Lima, Perú – 2018.

Resumen:

La investigación tuvo como objetivo principal determinar la influencia del PM₁₀ en la incidencia de las infecciones respiratorias agudas altas y bajas en la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate, Lima 2014-2015, en donde responde al problema general ¿Cuál es la influencia del PM₁₀ en la incidencia de las infecciones respiratorias agudas altas y bajas en la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate, Lima 2014-2015?

La investigación es de tipo básico de nivel correlacional, asimismo desarrolló un enfoque cuantitativo de diseño no experimental y corte transversal. El estudio consideró una muestra de 16,625 historias clínicas de paciente menores de 5 años. Los datos se procesaron en el Software libre R v 3.2.1, con la finalidad de determinar la influencia del PM₁₀ en la incidencia de las infecciones respiratorias agudas altas y bajas en la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate, Lima para los años 2014-2015, se realizó un estudio de corte transversal, en la que se recolectó datos de las concentraciones mensuales del PM₁₀ y la frecuencia de casos de enfermedades respiratorias en menores de 5 años de los años 2014-2015. Luego de aplicar la prueba estadística de correlación de Pearson se comprobó que el PM₁₀ influye significativamente en la incidencia de las infecciones respiratorias agudas de las vías respiratorias altas y bajas en la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate. Ello fue el resultado del valor r de Pearson = 0,987 con un

nivel de significancia de $p < 0,005$, lo cual implica rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna.

Tesis: Determinación del material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el distrito Yura - Arequipa.

Autor: Jonathan Arenas Pacheco - Institución: Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Agustín - Lugar y Año: Arequipa, Perú – 2017.

Resumen:

El presente trabajo de investigación se realizó mediante una metodología cuantitativa en el centro poblado de Yura, provincia de Arequipa, Región Arequipa. El trabajo de investigación se realizó trimestralmente en un año en el centro poblado de Yura. Los monitoreos de Calidad de Aire se realizaron en 3 estaciones de monitoreo de calidad de aire analizando los parámetros de material particulado (PM_{10}), material particulado ($PM_{2.5}$), Dióxido de Azufre (SO_2) y Dióxido de Nitrógeno (NO_2). Para la toma de muestra del material particulado (PM_{10}) se utilizó un equipo HI-VOL, dicho equipo presenta un motor que permite extraer el material particulado del ambiente pasando por unas cámaras hasta llegar al filtro (cuarzo) en donde son retenidas, el periodo de muestreo es de 24 horas y posteriormente es llevado al laboratorio. Para la toma de muestra del material particulado ($PM_{2.5}$) se utilizó un equipo LOWVOL, dicho equipo permite extraer el material particulado del ambiente en un periodo de 24 horas y posteriormente es llevado al laboratorio. Otro equipo utilizado es el tren muestreo de gases, que mediante soluciones captadoras se puede cuantificar en un laboratorio la concentración de los gases, en este caso del dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2); también se utilizó una estación meteorológica portátil, que nos brinda los parámetros como temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, dirección y velocidad de

viento, estos últimos parámetros nos ayudan para elaborar una rosa de viento de cada punto de monitoreo.

Se han instalados tres puntos de monitoreo, el primer punto de monitoreo se instaló en techo del I.E. 40102 Nuestra Señora Carmen Patrona de Yura, el segundo punto se instaló en el techo del Puesto de Salud Yura Juan Pablo II y el tercer punto se instaló en techo en Cruce Calera.

Los resultados obtenidos para los meses de noviembre, febrero y mayo están por debajo según indican en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire D.S. 003-2001-MINAM y los valores obtenidos para el mes de agosto están por debajo según indican en los Estándares de Calidad Ambiental de Aire D.S. 003-2017-MINAM.

Tesis: Nivel de contaminación del aire por material particulado (PM₁₀) en la ciudad del Cusco.

Autor: Jonny Tello Yarin - Institución: Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco - Lugar y Año: Cusco, Perú – 2017.

Resumen:

El objetivo central del estudio ha sido la determinación del nivel de contaminación del aire por material particulado (PM₁₀) en la ciudad del Cusco. Como primer y segundo objetivos fueron: Identificar las zonas con mayor concentración de material particulado PM₁₀ y establecer los límites de confianza del material particulado (PM₁₀) y comparar con los límites permisibles.

Para lograr los objetivos se tomó datos correspondientes de concentración del material particulado PM₁₀ de cinco estaciones de monitoreo colocados por la Dirección Regional de Salud de la ciudad del Cusco. Para el límite permisible de concentración de material particulado PM₁₀ se tomó como referencia el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM presente en el Reglamento de Estándares Nacionales

de Calidad Ambiental del Aire (ECA ANUAL de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ya que sigue en vigencia el valor del límite permisible para PM_{10} . Para el análisis estadístico se utilizó el software statgraphics centurion xvii, con una confiabilidad del 95%.

El estudio concluye que el nivel de concentración de PM_{10} en la ciudad del Cusco es intermedio, mostrando valores promedios de $43,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2013, $38,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el año 2014 y para el año 2015 de $48,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las zonas con mayor concentración de material particulado PM_{10} son los distritos de San Jerónimo que presenta un valor promedio de los tres años de estudio $62,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el distrito de Wanchaq que presenta un valor promedio de $46,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la zona de muestreo JER (San Jerónimo) hay diferencia significativa del límite permisible de contaminación de aire por material particulado PM_{10} registrándose por encima de este con valores en un intervalo de $[55,70 - 68,51] \mu\text{g}/\text{m}^3$. En la zona de muestreo WAN (Wanchaq) no hay diferencia significativa de los valores muestreados y del límite permisible de contaminación de aire por material particulado registrándose en un intervalo de $[41,95 - 51,72] \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sin embargo, en las zonas de muestreo DES (DIRESA), BEL (Belén pampa), TTIO hay diferencia significativa del límite permisible de contaminación de aire por material participado registrándose con valores debajo de este, en un intervalo de $[30,63 - 37,65] \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[34,63 - 41,21] \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $[32,33 - 40,83] \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Artículo: Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ en Lima Metropolitana.

Autor: Sergio A. Pacsi Valdivia - Institución: Revista Anales Científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina - Lugar y Año: Lima, Perú – 2016.

Resumen:

En el presente estudio se realizó un análisis de la variación temporal y espacial de la concentración del $PM_{2.5}$ y PM_{10} en Lima y el Callao. Se utilizaron datos de concentración de $PM_{2.5}$ y PM_{10} medidos y analizados por la DIGESA y el SENAMHI, a través de la red de monitoreo de calidad del aire de Lima Metropolitana, durante el periodo 2001 y 2014. Los resultados muestran que los promedios diarios de PM_{10} no sobrepasan los Estándares de Calidad del aire (ECA-Aire) del Perú, sin embargo, los promedios anuales de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en casi todas las estaciones de monitoreo, si superan significativamente el ENCA y las guías de la OMS. La variación multianual del PM_{10} y $PM_{2.5}$ muestran una tendencia descendente moderada para el PM_{10} y leve para el $PM_{2.5}$ sin embargo es necesario tomar medidas de control para evitar su incremento. Las zonas norte, sur y este de Lima presentan los mayores valores de PM_{10} y $PM_{2.5}$. Los valores de la relación $PM_{2.5}/PM_{10}$ para Lima Metropolitana, se encuentran en el rango de 0,50 (Lima norte) y 0,75 (Callao) con un promedio para la ciudad de 0,65.

Tesis: Relación del material particulado menor de 10 micras (PM_{10}) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) con las infecciones agudas de las vías respiratorias superiores en niños menores de 5 años de la cuenca atmosférica de Trujillo, 2005.

Autor: Dany Paredes Castillo - Institución: Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Trujillo - Lugar y Año: Trujillo, Perú – 2016.

Resumen:

La contaminación del aire es un fenómeno que, paulatinamente y con mayor intensidad, está afectando a los habitantes de las principales ciudades del mundo y, en especial, a grupos vulnerables como niños, enfermos, mujeres gestantes y ancianos de los sectores económicos más pobres y excluidos. Trujillo, ciudad de la

eterna primavera por su clima benigno, muestra un acelerado crecimiento industrial y comercial, ha sufrido una urbanización acelerada, contando hoy con una población superior a los 631 mil habitantes, la gran mayoría de ellos ubicados en la periferia. Esto ha ocasionado una serie de problemas ambientales, destacando la contaminación de aire por el incremento de los vehículos automotores y las fábricas, originando elevados índices de concentración de material particulado menor de 10 micras y el Dióxido de Nitrógeno en la ciudad, hecho que ameritaba buscar una explicación si guardaban relación con las Infecciones Agudas de las Vías Respiratorias Superiores en niños menores de cinco años reportados en la Cuenca Atmosférica de Trujillo. Para lo cual se utilizó un estudio ecológico que consistió en definir correlaciones entre los promedios semanales del dióxido de nitrógeno y partículas menores de 10 micras en las estaciones de monitoreo atmosférico de la Dirección Ejecutiva de Salud Ambiental de La Libertad y el total de consultas semanales por infecciones agudas de las vías respiratorias superiores en niños menores de cinco años durante el año 2005. Como resultados se determinó que el contaminante dióxido de nitrógeno y el material particulado menor a 10 micras y las variables temperatura y humedad relativa tienen una correlación significativa moderada con las consultas por infecciones agudas de las vías respiratorias. La Regresión de Poisson resultó apropiada para estimar la reducción de los casos de hospitalizaciones por infecciones respiratorias, asma y neumonía si los niveles de material particulado y dióxido de nitrógeno se reducirían. Los resultados sugieren que los contaminantes: dióxido de nitrógeno y el material particulado menor a 10 micras inciden en la salud de los niños menores de cinco años de la Cuenca Atmosférica de Trujillo.

Artículo: Percepción de la contaminación atmosférica en Lima: contraste entre la avenida Abancay y El Olivar de San Isidro.

Autor: Armando Aramayo B - Institución: Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO) de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lugar y Año: Lima, Perú – 2013.

Resumen:

La contaminación atmosférica es un problema creciente en muchas ciudades del mundo, entre ellas Lima que es una ciudad que tiene más de 9 millones de habitantes en la actualidad. La falta de un adecuado sistema de transporte masivo, la antigüedad del transporte público existente, la gran congestión vehicular, el tipo de combustible utilizado y la particular geografía de la ciudad ha llevado a que la contaminación atmosférica sea un problema muy importante en lo que respecta al manejo de la urbe. En el presente estudio se está comparando dos lugares dentro de la ciudad de Lima: El Olivar, una zona rodeada de muchos árboles grandes y con poco nivel de tráfico vehicular; y la avenida Abancay, una zona conocida por ser una de las vías con mayor contaminación atmosférica de la ciudad, y mediante encuestas se ha planteado determinar la existencia de diferencias en las percepciones de las personas acerca de algunos problemas a la salud relacionados a la contaminación del aire que estos pudieran estar percibiendo. Los resultados señalan que existen diferencias significativas entre lo que perciben las personas en estos dos lugares, siendo también muy significativa la diferencia entre hombres y mujeres. Entre los problemas a la salud cuya diferencia es más notoria resalta la irritación y la picazón de los ojos. En asma no existe diferencia estadísticamente significativa entre los dos lugares evaluados. Este tipo de estudios relacionados a

la contaminación ambiental puede servir como instrumento de planificación ambiental debido a que puede permitir determinar de una manera rápida y a bajo costo zonas problema y hasta estimar niveles de contaminación atmosférica de manera indirecta, basándose en los problemas percibidos por las personas.

2.2 Bases teóricas - científicas

Los contaminantes atmosféricos más relevantes para la salud son material particulado (PM) con un diámetro de 10 micras o menos, que pueden penetrar profundamente en los pulmones e inducir la reacción de la superficie y las células de defensa. La mayoría de estos contaminantes son el producto de la quema de combustibles fósiles, pero su composición puede variar según sus fuentes.

Durante un largo tiempo se ha sostenido que la contaminación atmosférica que afecta a las ciudades en especial a las urbes y metrópolis latinoamericanas es, producto de la interacción entre condiciones atmosféricas y topográficas adversas para la dilución de los contaminantes, y la existencia de altas tasas de emisión de estos últimos, provenientes tanto de fuentes fijas como móviles. Consecuentemente y dado que los factores geográficos son inalterables, sólo resta concentrar el esfuerzo en la reducción de las emisiones para controlar el problema de la contaminación atmosférica urbana.

Debido a lo expuesto, hemos visto por conveniente abordar los siguientes temas, que son el fundamento teórico a nuestra investigación.

El aire

La Organización Mundial de la Salud, define al aire puro como la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0.5 milímetros los cuales en su conjunto envuelven al globo

terrestre. Está compuesta por un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de diferentes compuestos tales como el argón, el dióxido de carbón, y el ozono⁶.

Por otro lado, también se señala que el aire es un bien libre que se encuentra disponible en cantidades prácticamente ilimitadas, de forma que resulta suficiente para satisfacer las necesidades de la población. No es un bien escaso y, por lo tanto, no se trata de un bien económico⁷.

Contaminación atmosférica⁸

La contaminación atmosférica es la presencia en el ambiente de cualquier sustancia química, partículas, microorganismos que alteran la calidad ambiental y la posibilidad de vida. Las causas de la contaminación pueden ser naturales o artificiales, generado principalmente por la quema de combustibles fósiles (plantas de energía que funcionan a carbón, fábricas y vehículos), partículas y gases industriales.

El problema de la contaminación atmosférica se relaciona con la densidad de partículas, gases y la capacidad de dispersión, teniendo en cuenta la formación de lluvia ácida y sus posibles efectos sobre los ecosistemas.

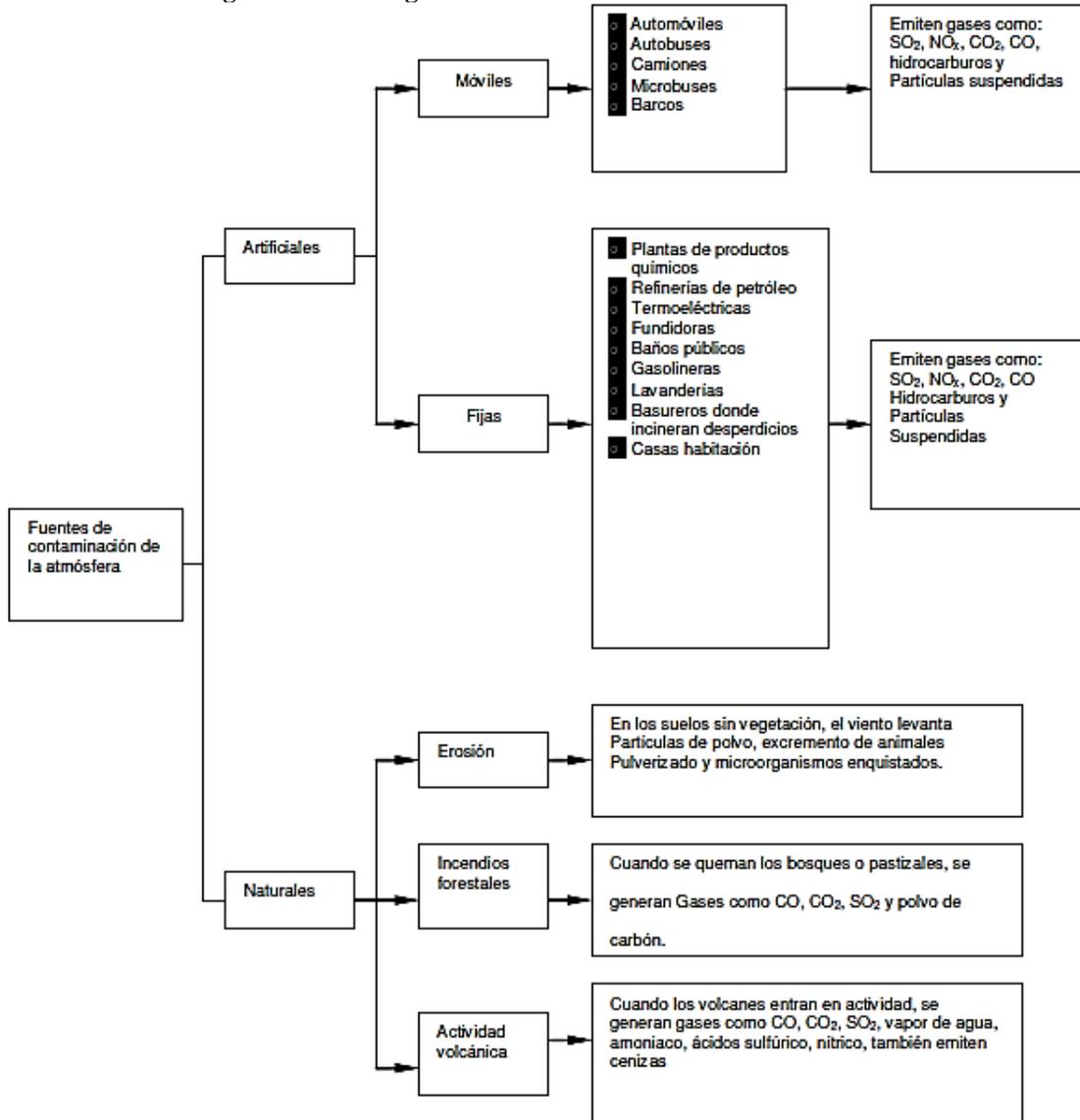
La contaminación del aire afecta a los países desarrollados y en vías de desarrollo; el incremento de los gases y la emisión de partículas, que dañan a la salud. Las principales fuentes de contaminación atmosférica pueden apreciarse en la siguiente gráfica:

⁶ “Guías para la calidad del aire”. Organización Mundial de la Salud. 2004

⁷ “Curso práctico de microeconomía”. Autor: Beatriz Begoña. 2006

⁸ “Contaminación atmosférica” – Autor: Martínez E. y Díaz Y. 2004

Figura 1: Fuentes generales de contaminación de la atmósfera.



Fuente: “Contaminación atmosférica” – Autor: Martínez E. y Díaz Y. 2004

Fuentes naturales de contaminación atmosférica

Las fuentes naturales de contaminación son procesos propios de la naturaleza, como erupciones volcánicas, la actividad biológica de microorganismos, los huracanes, tornados, incendios naturales, plantas en descomposición (metano, sulfuro de hidrogeno). La contaminación atmosférica por fuentes naturales es mayor que la antropogénica; sin embargo, estos últimos presentan amenaza para el ecosistema cuando superan los límites máximos permisibles.

Fuentes antropogénicas de contaminación atmosférica

Procesos industriales, calderas de vapor, centrales térmicas de electricidad utilizan combustibles fósiles en la generación de calor, la contaminación del aire depende del contenido de azufre en el combustible carbón, petróleo; la combustión libera emisiones de azufre en forma de anhídrido sulfuroso, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, metales pesados, plomo, etc.

La industria siderurgia emite partículas, SO₂, CO, NO₂, óxido de hierro; mientras que la refinería de petróleo causa SO₂, HC, CO, NO₂, amoníaco, humos y partículas; la industria química emite SO₂, nieblas de ácidos sulfúrico, nítrico y fosfórico, que causa olores desagradables. Los principales focos antropogénicos de emisiones primarias se clasifican en:

Cuadro 3: Focos antropogénicos de emisiones primarias para contaminación atmosférica.

Focos fijos	Industriales	Procesos industriales
	Domésticos	Instalaciones fijas de combustión Instalaciones de calefacción
Focos móviles	Vehículos automóviles	
	Aeronaves	
	Buques	
Focos compuestos	Aglomeraciones industriales	
	Áreas urbanas	

Fuente: "Contaminación atmosférica" – Autor: Martínez E. y Díaz Y. 2004

La proporción entre las emisiones primarias naturales y antropogénicas para los distintos contaminantes se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 4: Focos de emisión

Contaminante	Antropogénicos	Naturales
Aerosoles	11.3%	88.7%
SO ₂	42.9%	57.1%
CO	9.4%	90.6%
NO ₂	11.3%	88.7%
HC	15.5%	84.5%

Fuente: "Contaminación atmosférica" – Autor: Martínez E. y Díaz Y. 2004

Fuentes móviles de la contaminación atmosférica⁹

Las fuentes móviles incluyen a las diversas formas de transporte como automóviles, camiones y aviones, entre otros.

Los problemas de calidad del aire están relacionados con diferentes factores: geofísicos, meteorológicos y socioeconómicos, éste último debido a la presión ejercida por el crecimiento de la economía y población.

La población, el desarrollo industrial y la dependencia por los motores de combustión interna explican el incremento sostenido de las emisiones gaseosas y material particulado, los cuales han sobrecargado la capacidad natural del aire para diluirlos.

Los contaminantes más importantes derivados de los combustibles fósiles (diésel, gasolina, petróleo y gas), que son los más usados por automóviles y buses antiguos en nuestro país y América latina son: el material particulado (PM), Dióxido de Azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Todos estos compuestos componen lo que usualmente conocemos como humo negro vehicular.

La cantidad de emisiones que produce un vehículo automotor depende de una serie de factores como el tipo y la calidad del combustible que consume, el estado de conservación del motor, su antigüedad, tecnología, si cuenta o no con un sistema de control de emisiones, la morfología de la ciudad donde transita, los hábitos del chofer, el tiempo que permanece operativo, el tráfico en las vías y, finalmente, su recorrido.

⁹ “Contaminación atmosférica urbana, episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago”. Autor: Raúl G. E. Morales. 2006

Los motores de combustión interna (MCI) generan emisiones tóxicas, contenidas en los vapores del combustible, en los gases del cárter y en el tubo de escape. Cerca del 1% de los gases de escape contienen aproximadamente 300 sustancias, de las cuales la mayoría son tóxicas.

Fuentes puntuales o fuentes fijas de la contaminación atmosférica

Una fuente puntual se refiere a una fuente en un punto fijo o estacionario. Existen cientos de miles de fuentes estacionarias de contaminación del aire, como las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo y fábricas. Según la industria o proceso específico, las fuentes estacionarias pueden emitir uno o varios contaminantes criterio del aire además de muchos otros contaminantes peligrosos. Muchas de estas fuentes de contaminación, a su vez, generan productos de consumo útiles, crean millones de empleos y prestan servicios y comodidades, por lo que no resulta viable clausurarlas. Pero es urgente que implanten procesos para minimizar y manejar adecuadamente sus emisiones.

Fuentes de área de contaminación atmosférica

Las fuentes de área son una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, que no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto pueden afectar la calidad del aire en una región. Por ejemplo: el uso de madera para cocinar o calentar la casa, las imprentas, las estaciones de servicio y las tintorerías, entre otros.

Efectos de la contaminación atmosférica¹⁰

El pulmón es la mayor superficie corporal que está en contacto con los componentes gaseosos, el 70% del aire inspirado llega a los alvéolos; las partículas, gases, humus, microorganismos, virus, hongos, alérgenos, humedad, sustancias

¹⁰ “Manual técnico del sonido”. Autores: Gómez E., Ignasi D. 2011

volátiles, pasan a la tráquea, bronquios y alvéolos, causando enfermedad respiratoria aguda o crónica. Los niños y ancianos son los más vulnerables por los insuficientes mecanismos de defensa.

Los vehículos automotores son la mayor fuente de monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, ozono y otras oxidantes fotoquímicas, plomo, partículas suspendidas totales de bióxido de azufre y los compuestos orgánicos volátiles, pueden provocar efectos inflamatorios irritativos en el aparato respiratorio.

La contaminación industrial de chimeneas, incendios forestales, disolventes, pinturas y resinas que aumentan la concentración de partículas y gases tóxicos como el dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono, aerosoles y desechos, afectan directamente a las vías respiratorias, en asmáticos y cardiovasculares. Los gases, partículas, humos, microorganismos, virus, hongos, humedad, sustancias volátiles del aire que respira una persona pasa por la tráquea, bronquios y alvéolos pulmonares, causa enfermedad respiratoria; los niños y ancianos son más vulnerables, por mecanismo insuficiente de defensa; las partículas grandes se quedan en la fosa nasal, el 70% del aire inspirado menores a 0.5 micras pasan hasta los alvéolos pulmonares; causando asma bronquial, caracterizada por la obstrucción bronquial intermitente, motivados por broncos pasmo y edema de la mucosa, consecuentes a un fondo de hiperactividad bronquial; los factores como la ansiedad puede exacerbar el asma, la personalidad puede influir negativamente sobre el pronóstico de la enfermedad, se ha observado que el riesgo por asma es elevado en pacientes con ansiedad y depresión que abandonan el tratamiento psicótopo.

El plomo ingresa al organismo por las vías respiratorias, pudiendo las partículas pequeñas respirables llegar al tejido pulmonar. Las partículas de 2.9 μm incrementan el plomo en heces fecales por ingesta, las partículas que logran llegar al pulmón es absorbido en su totalidad sin importar su composición química, el depósito de partículas en pulmón sería del 30 al 50% de inhalado dependiendo del tamaño de las partículas; los niños absorberían de 1.6 a 2.7 veces más que los adultos. La absorción gastrointestinal en adultos es de 10% al 15%; la absorción neta en niños es de 42% al 50%; los factores que afectan la absorción son la dieta en adultos que llega hasta un 45% en ayuno. Las infecciones respiratorias y las diarreas generan más de tres millones de muertes cada año según la OMS.

Los daños que produce la contaminación del aire, pueden ser resumidos en los siguientes:

- Daños a la vegetación: alteraciones foliares, reducción del crecimiento de las plantas, disminución de la floración, etc.
- Alteraciones del medio ambiente: reducción de la visibilidad, efecto de invernadero, afectación de la capa de ozono, lluvia ácida, etc.
- Efectos psicológicos sobre el hombre.
- Efectos fisiológicos sobre el hombre: agudos y crónicos.
- Pérdidas por efectos directos o indirectos en el ganado y en las plantas.
- Pérdidas por la corrosión de materiales y de sus revestimientos de protección.
- Pérdidas por gastos de mantenimiento de las edificaciones y la depreciación de objetos y mercancías expuestos.
- Gastos directos por la aplicación de medidas para reducir el humo y las emanaciones de las fábricas.

- Pérdidas indirectas por mayores gastos de transporte en tiempo de niebla contaminada, o de electricidad por la necesidad de encender el alumbrado antes del horario establecido.
- Gastos administrativos de la lucha contra la contaminación.
- Costo en investigaciones destinadas a la contaminación ambiental.

Lo expresado puede resumirse en los cuadros que se muestran a continuación.

Cuadro 5: Individuos sensibles por contaminantes del aire.

Contaminante	Individuos sensibles
Ozono	Niños que pasan tiempo en exteriores, adultos que realizan actividad física significativa en exteriores e individuos con enfermedades respiratorias como el asma.
Material particulado	Personas que presentan enfermedades de los pulmones o el corazón, tales como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas o similares. Niños, ancianos y mujeres embarazadas
Monóxido de carbono	Personas con enfermedades cardiovasculares, tales como angina o aquellas con afectaciones que comprometen a los sistemas cardiovascular y respiratorio (por ejemplo, fallas congestivas del corazón, enfermedades cerebro vasculares, anemia, obstrucción crónica del pulmón) y las mujeres embarazadas, los bebés en gestación y recién nacidos.
Dióxido de azufre	Niños, adultos con asma u otras enfermedades respiratorias crónicas y personas que realizan actividades físicas en exteriores.
Dióxido de nitrógeno	Niños y adultos con enfermedades respiratorias como el asma.

Fuente: “Unidad de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2009

Cuadro 6: Efectos de los contaminantes atmosféricos sobre el sistema respiratorio.

Contaminante	Efecto a corto plazo	Efecto a largo plazo
Material particulado “respirable” (PM ₁₀) y fino (PM _{2.5})	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de morbimortalidad respiratoria. - Disminución en la función pulmonar. - Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucociliar. - Síndrome bronquial obstructivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Daño y menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio. - Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta.

Particulado ultra fino (PM _{0.1})	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor respuesta inflamatoria. (Comparando con PM₁₀ y PM_{2.5}). - Ingreso rápido al sistema circulatorio y a otros órganos 	
Ozono (O ₃)	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de frecuencia respiratorio de CVF (Capacidad vital forzado) y VEF (Volumen espiratorio forzado en el primer segundo). - Alveolitis neutrofílica, aumento de permeabilidad e hiperactividad bronquial. - Alteración del epitelio alveolar (células tipo II) 	<ul style="list-style-type: none"> - Daño de células epiteliales, “bronquiolización” alveolar. - Disminución del desarrollo de CVF y VEF.
Dióxido de azufre (SO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Obstrucción bronquial. - Hipersecreción bronquial. 	- Bronquitis crónica.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Hiperactividad bronquial. - Aumento de síntomas respiratorios y exacerbaciones de asma. - Aumenta la respuesta a la provocación con alérgenos. - Disminución de la actividad mucociliar. 	- Posible decremento del desarrollo pulmonar.
Monóxido de carbono (CO)	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución en la capacidad de ejercicio. 	
Plomo (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> - Alteración del epitelio bronquiolar (células de Clara) 	

Fuente: “Unidad de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2009

Cuadro 7: Efectos no respiratorios de los contaminantes atmosféricos.

Órgano / Sistema	Contaminantes	Efectos
Cardiovascular	Material particulado. Monóxido de carbono. Plomo / Vanadio. Ozono	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de la variabilidad en la frecuencia cardíaca ante el estrés. - Interfiere el transporte de O₂ por la hemoglobina. - Mayor frecuencia de hipertensión arterial en población adulta. - Comunicación interventricular (administración prenatal en ratas).

Unidad materno – fetal	CO y PM _{2.5} (Hidrocarburos aromáticos polí cíclicos: HAP)	- Bajo peso de nacimientos - Baja talla al nacer
Sistema nervioso central y autonómico	Monóxido de carbono. Plomo. Ozono.	- Cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual, compromiso progresivo y letal de conciencia en concentraciones altas. - Cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual. Compromiso progresivo y letal de conciencia en concentraciones altas. - Hiperquinesis, trastornos del aprendizaje, encefalopatía, cólicos intestinales. - Daño cerebeloso en células de Purkinje (administrado prenatalmente en ratas)
Renal	Cadmio y Vanadio Plomo	- Toxicidad renal - Tubulopatía
Hematopoyético	Plomo	- Anemia
Óseo	Plomo	- Reemplazo del Ca ²⁺ en los huesos produciendo descalcificación

Fuente: “Unidad de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2009

Prevención y control de la contaminación atmosférica¹¹.

Las principales medidas a tomar en cuenta para prevenir y controlar la contaminación atmosférica, son las siguientes:

- Aplicación de las medidas normativas de la calidad del aire.
- Planificación urbana y regional.
- Reducción de la generación de contaminantes.
- Control de emisión de partículas en la fuente, con cámaras de sedimentación, separador inercial, purificación por vía húmeda, filtración y precipitación

¹¹ “Contaminación atmosférica urbana, episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago”. Autor: Raúl G. E. Morales. 2006

electrostática; control de las emisiones gaseosas por combustión, absorción o adsorción.

Vigilancia de la calidad del aire

- Red de estaciones de muestreo.
- Laboratorios para la determinación de los contaminantes.
- Sistema de clasificación, análisis, archivo de la información.
- Hacer el seguimiento del cumplimiento de las normas de la calidad del aire.
- Observar tendencias de la contaminación, comprendidas las zonas no urbanas.
- Acelerar los mecanismos de control en casos de emergencia.
- Proporcionar una magnitud de exposición de la población.
- Planificar el uso del espacio urbano.
- Organizar campañas de sensibilización y lucha contra la contaminación.

Monitoreo de contaminantes atmosféricos

- Determinar el grado de contaminación del aire ambiental y su relación con las condiciones de exposición y los riesgos para la salud.
- Identificar las diversas fuentes a la contaminación de la atmósfera.
- Evaluar los resultados de las medidas de prevención y control del aire.

Estándar de calidad ambiental - ECA.

Los Estándar de Calidad Ambiental – ECA, es regulada mediante la Ley General del Ambiente, mencionando en el artículo 31º, que el ECA es la medida que establece el nivel de concentración de 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 el ambiente; según el parámetro en particular a que se refiera.

La norma de calidad del aire establece límite tolerable de contaminantes presentes en el aire sin alterar las características adecuadas para la vida y la salud de las personas, así como para el medio ambiente¹².

Las principales características de los estándares de calidad ambiental son:

- Los ECAs están referidos al medio ambiente y se miden en el cuerpo receptor.
- Los ECAs no están referidos a ninguna actividad en especial.
- Los ECAs son valores objetivos, cuantificables y medibles de contaminación. Se expresan en unidades de medida, como máximos, mínimos o rangos, y son medibles por métodos científicos.
- Los ECAs tienen una vigencia temporal, están sujetos a variación. Sus valores son revisados periódicamente y pueden ser modificados por la autoridad competente.
- Los ECAs son valores tope que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente.

Material particulado PM₁₀¹³

El material particulado está compuesto por una mezcla heterogénea de partículas de diferentes tamaños y composición química. Las partículas difieren de acuerdo con sus fuentes de emisión, formas, tamaños, mecanismos de formación y composición química y pueden caracterizarse por sus propiedades físicas y químicas. Se clasifica según su tamaño: PM_{2.5} corresponde a las partículas cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2.5 µm y PM₁₀, a las menores de 10 µm (un micrón es la milésima parte de un milímetro).

¹² “Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión” Autor: Kiely Gerard. 1999

¹³ “Contaminación atmosférica urbana, episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago”. Autor: Raúl G. E. Morales. 2006

Estas partículas se encuentran flotando en el aire y pueden ser sólidas o líquidas, orgánicas e inorgánicas siendo su origen mayoritariamente natural las mismas que debido a su pequeño tamaño tienen una velocidad de sedimentación muy baja pudiendo mantenerse en el aire por mucho tiempo y logrando alcanzar distancias de hasta 30 millones con referencia a su lugar de emisión. Las mismas que al ser inhaladas afectan la salud de las personas penetrando en las vías respiratorias pudiendo en su camino adherirse a sus paredes y ocasionar síntomas respiratorios severos (tos, dificultad para respirar, agrava el asma) y llegar hasta los pulmones produciendo enfisemas o cáncer pulmonar. También producen alteraciones en la coagulación de la sangre y en la mayor incidencia en el desarrollo de las enfermedades cardíacas.

Dichas partículas provienen de los procesos de combustión de fuentes tanto móviles como fijas y de fenómenos naturales. La composición química del material particulado varía de acuerdo a la fuente.

Las partículas son eliminadas de la atmósfera mediante dos mecanismos: la deposición en la superficie de la Tierra (deposición seca) y la incorporación a gotas de las nubes durante la formación de la lluvia (deposición húmeda).

Actualmente el ECA vigente establece un valor promedio horario de PM_{10} de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor promedio anual de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El material particulado menor a 10 micrómetros de diámetro (PM_{10}) corresponde de uno a dos tercios de las emisiones totales de material particulado. La principal afectación a la salud que puede producir el PM_{10} es su acumulación en los pulmones y daño de los mismos.

Las partículas con diámetro de $10 \mu\text{m}$ suelen ser de origen primario y contienen materiales de la corteza terrestre y polvo de las carreteras, industrias, y

construcciones también las propiedades de las partículas atmosféricas son temporal y espacialmente muy variables debido a los cambios que sufren en la atmosfera por lo que su influencia no es determinante como la climatología (temperatura, humedad, radiación, lluvia potencial de depuración) y la geografía (topografía, cobertura de suelo, proximidad a zonas áridas) de una región determinada.

Meteorología¹⁴

La meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros del griego, meteoros (alto), logos (tratado). El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, variables o factores meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad.

Un factor meteorológico se define como aquella variable que caracteriza el estado de la atmosfera en un lugar específico y en un tiempo dado.

Clima¹⁵

Al disponerse de observaciones meteorológicas de varios años, el concepto de clima de un lugar alcanzó forma concreta.

Las condiciones atmosféricas varían continuamente, pero en un plazo prolongado se hacen cada vez más pequeñas estas variaciones; de forma que, si comparamos un año con los siguientes, encontraremos que la temperatura media del aire o la pluviosidad media son bastantes similares, esta pauta a largo plazo es el clima. Así un valor climático de una determinada zona será el promedio de las condiciones atmosféricas anuales de cada 30 años.

¹⁴ “Guía básica de meteorología general”. SENAMHI. 2008

¹⁵ “Guía básica de meteorología general”. SENAMHI. 2008

Influencia de la velocidad y dirección del viento en el transporte y dispersión del PM₁₀¹⁶

El viento, en regiones llanas, puede ser definido como el desplazamiento prácticamente horizontal del aire.

La dispersión de contaminantes en la atmósfera, está influenciada significativamente por la variabilidad de la dirección del viento. Si la dirección del viento es constante, la misma área estará continuamente expuesta a niveles relativamente altos de contaminación. Por otra parte, cuando la dirección del viento es cambiante, los contaminantes serán dispersados sobre un área mayor y las concentraciones resultarán relativamente menores.

El viento también desempeña un papel significativo en el transporte y dilución de los contaminantes. Cuando su velocidad aumenta, mayor es el volumen de aire que se desplaza por unidad de tiempo, por la zona donde está localizada una fuente de emisión de contaminantes.

En consecuencia, la concentración disminuye si la emisión es constante. La velocidad del viento afecta el tiempo de recorrido de los contaminantes entre la fuente y los receptores. Cuando los contaminantes son emitidos desde las fuentes, con impulso vertical y calor, la elevación de los mismos también está afectada por la velocidad del viento.

Generalmente, es aceptado que cuanto mayor es la intensidad del viento, menor será la concentración de contaminantes en el aire. Esta relación se verifica, generalmente, cuando la fuente está ubicada a nivel del suelo. Sin embargo, las concentraciones máximas a nivel del suelo de contaminantes emitidos desde

¹⁶ “Modelo de difusión atmosférica urbana” – Autor: Laura E. Venegas y Nicolás A. Mazzeo. 2005

chimeneas con empuje térmico e impulso vertical, pueden no verificar esta “relación inversa” con la velocidad del viento.

Si la fuente de emisión de contaminantes se encuentra ubicada en superficie, las mayores concentraciones de los mismos en aire a nivel del suelo se presentan cuando las velocidades del viento son bajas y la atmósfera es estable.

Si las fuentes son elevadas (por ejemplo, chimeneas) y los contaminantes son emitidos con impulso vertical y empuje térmico, la condición atmosférica (velocidad del viento y estabilidad de la atmósfera) asociada a las mayores concentraciones de contaminantes en aire a nivel del suelo, solo puede ser determinada mediante la aplicación de modelos de dispersión atmosférica.

Esto se debe, en parte, a que la velocidad del viento está involucrada en dos aspectos que tienen influencias contrapuestas sobre la concentración de contaminantes en aire a nivel del suelo. Por un lado, la velocidad del viento afecta la elevación de la pluma originada por una emisión de contaminantes con impulso vertical y empuje térmico. Cuando los vientos son débiles, la elevación de la pluma es mayor que para vientos fuertes. Por otro lado, vientos débiles generan una mínima dilución, mientras que vientos fuertes proporcionan considerable dispersión.

Por otra parte, en condiciones atmosféricas marcadamente inestables (convectivas) la pluma de contaminantes puede ser transportada hacia la superficie, originando concentraciones relativamente elevadas a nivel del suelo cerca de la fuente.

Los altos valores de PM_{10} ocurren durante periodos de bajo flujo de viento, lo cual empeora la dispersión de las masas de aire en el ambiente, y refiere que la concentración de los contaminantes del aire generalmente decrece con el

incremento de la velocidad del viento. Una velocidad del viento alta, es causa dominante de la reducción de los niveles de contaminación.

El efecto de la velocidad del viento es predominante a un umbral de velocidad determinado, con relación a cuando el promedio estacional es mayor que 1,6 m/s.

Influencia de la humedad relativa en el transporte del PM₁₀

Si existe efecto de la humedad en la concentración del PM₁₀ debido a su característica física llamado higroscopicidad llamada así a la capacidad de absorber agua líquida o en fase de vapor, lo que origina su crecimiento bajo condiciones húmedas originando a mayor humedad relativa menor concentración de PM₁₀. Lo mencionado guarda relación con que al aumentar la humedad disminuye la re suspensión del material particulado, haciendo que el PM₁₀ no permanezca en la atmósfera.

Por lo cual podría decirse que existe un efecto inverso de la humedad respecto a la concentración del PM₁₀ lo que significa que cuánto más alto sea la humedad existirá una menor concentración de un contaminante, pero a un determinado umbral de humedad, con relación a cuando la humedad es menor que 70%.

Así se menciona que a mayor humedad las concentraciones de todos los contaminantes del aire pueden disminuir entre 1,5 a 3,5 veces.

Influencia de la temperatura en el transporte del PM₁₀

La influencia de la temperatura muestra una fuerza de asociación positiva con la concentración del PM₁₀, donde a mayor temperatura habrá más concentración de PM₁₀.

En periodos calientes existe un aumento del PM₁₀ debido a que un aumento de temperatura genera mayor suspensión del polvo del suelo.

El efecto de temperatura significa cuánto más alto sea más bajo es la concentración de un contaminante a un umbral de temperatura determinado, con relación a cuando la temperatura es menor que 25°C.

Inversión térmica¹⁷

La inversión térmica (IT) es un fenómeno natural que se caracteriza por un cambio en la tendencia normal del aire al enfriarse con la altitud; cuando existe ésta, la temperatura aumenta con la altitud en determinado estrato atmosférico. Este aumento térmico puede producirse desde la superficie o a partir de una cierta altura. Se pueden presentar cuatro tipos de inversiones térmicas (de tierra, por subsidencia, por turbulencia y frontal), de tal manera que, bajo ciertas condiciones meteorológicas puede predominar alguna de ellas y contribuir a intensificar la acumulación y concentración de contaminantes en el aire.

Desde la perspectiva de la salud, las inversiones térmicas (ITs) en sí mismas no representan riesgo para la salud humana; éstas, se caracterizan por ser más frecuentes e intensas en la temporada invernal, aunque también aparecen en el verano con menor intensidad y frecuencia. En presencia de contaminantes atmosféricos la IT aparece como una «capa de smog» de color ocre debido a la presencia de óxidos de nitrógeno y partículas suspendidas.

La IT se vuelve peligrosa en una zona urbana debido a que la capa de aire caliente que cubre la región impide el desarrollo de corrientes de aire ascendentes que dispersen los contaminantes. Esta situación se agrava en presencia de masas de aire de alta presión que propician una inversión prolongada durante varios días. Los contaminantes del aire en la superficie llegan a concentrarse hasta llegar a valores

¹⁷ “Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara (México)” – Autores: García M., Ramírez H., Ulloa H., Arias S. y Pérez A. 2012

nocivos o letales para los seres vivos. Una IT es peligrosa porque acentúa los efectos dañinos de las islas de calor y las cúpulas de polvo que se forman sobre las áreas urbanas.

Comúnmente, los parámetros que identifican una IT son el espesor, la intensidad, la temperatura y la hora de ruptura. El espesor es la diferencia en metros entre la cima o tope de la IT y su base; la intensidad es la diferencia de temperaturas (en grados Celsius) de la cima y de la base; la temperatura de ruptura es el valor que se requiere alcanzar entre la base y la cima de la IT, y la hora de ruptura (h) es el instante en que se alcanza la temperatura de ruptura; ello permite estimar las condiciones idóneas de dispersión de contaminantes en el aire.

Minería de datos aplicada a la calidad del aire¹⁸

La Minería de datos (o "Data mining", como se le conoce en inglés) es una técnica de análisis y estudio de datos que está surgiendo con fuerza en los últimos años, gracias a la posibilidad de aplicar el potencial de procesamiento de datos de los actuales ordenadores.

En sí misma, la minería de datos no es más que una técnica para el análisis y procesado de grandes volúmenes de datos con el objeto de extraer información útil y patrones de fácil comprensión, que sería imposible conseguir por los medios y herramientas estadísticas tradicionales.

La minería de datos se aplica ya de forma habitual a campos como la informática (redes neuronales y sistemas expertos), la genética (estudio del ADN), el estudio de mercados (estudios de hábito de compra, internet), o incluso los propios negocios y procesos industriales (análisis de clusters y anomalías), y se está

¹⁸ Blog "La calidad ambiental" – Autor: Fernando Follos Pliego. 2013 - <http://ferfollos.blogspot.com/2013/06/mineria-de-datos-de-la-calidad-del-aire.html>

extendiendo prácticamente a cualquier campo que disponga de grandes conjuntos de datos cuyo volumen impida un tratamiento eficiente por otros medios.

La calidad del aire se mide mediante redes de control, públicas y/o privadas, compuestas por una o varias estaciones de control en las cuales se miden diversos contaminantes y parámetros meteorológicos en continuo.

Estos datos se almacenan y envían a un centro de control para su gestión respondiendo a periodos de integración que pueden ir de los 10 minutos al dato horario.

En el 99% de las ocasiones, el único procesado al que se someten estos datos de calidad del aire obtenidos por las redes de control es el relativo a la obtención de los principales estadísticos para demostrar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa: medias diarias, medias horarias, medias octohorarias móviles, etc.

En este sentido, destinar el ingente volumen de recursos técnicos y económicos que supone una red de control, con el único objetivo de comprobar el cumplimiento legal, destinando con posterioridad los datos al más absoluto olvido, podría parecer un derroche innecesario, más aún en los tiempos que corren actualmente.

Se deduce pues que la calidad del aire es uno de esos campos en los que los repositorios de datos son de difícil tratamiento por otros medios que no sean la minería de datos, y a su vez uno de los campos donde más rentable, útil e interesante podría resultar aplicar estas técnicas de análisis.

Marco normativo general.

El Perú como miembro de las Naciones Unidas, desarrolla acciones de coordinación con el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente,

participa en los diversos foros; asimismo en la Comunidad Andina de Naciones, es miembro de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica.

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, es una de las principales áreas programáticas de la agenda 21, para la protección y fomento de la salud humana. Su objetivo es reducir los riesgos y mantener el medio ambiente, que no se ponga en peligro la salud y seguridad humana, y que se siga fomentando el desarrollo.

En relación a la contaminación del aire en zonas urbanas, propone el desarrollo de tecnología adecuada para combatir la contaminación; propone la creación de capacidad de control de la contaminación del aire en las grandes ciudades, con programas de vigilancia.

Marco normativo nacional: Constitución Política del Perú.

El Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales; la décimo novena política de estado, sobre desarrollo sostenible y gestión ambiental propugna integrar la política nacional ambiental con las políticas económicas, sociales, culturales y de ordenamiento territorial, para contribuir a superar la pobreza y lograr el desarrollo sostenible, asegurar la protección ambiental y promover centros poblados y ciudades sostenibles.

Marco normativo nacional: Política Nacional del Ambiente.

Establecida en la Ley General del Ambiente, es un instrumento de carácter público, que tiene como propósito definir y orientar el accionar de las entidades del gobierno nacional, regional y local; y del sector privado y de la sociedad civil, en materia ambiental; se diseñan y aplican de conformidad con lo establecido en la Política Nacional del Ambiente y deben guardar concordancia entre sí. Tiene por objetivo mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de

ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.

Marco normativo nacional: Ley General del Ambiente.

En octubre del 2005, se aprueba la Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente”, el cual se constituye en la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

Marco normativo nacional: Ley General de Salud.

Ley N° 26842 Ley General de Salud (Capítulo VIII, art. 106), la autoridad de Salud establece las medidas de prevención y control indispensables para que cesen los actos de contaminación ambiental que ponga en riesgo la salud de la población.

Marco normativo nacional: Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

Mediante la Ley General del Ambiente se estableció el Estándar de Calidad Ambiental - ECA, medida que establece el nivel de concentración de sustancias físico, químico y biológico en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud ni el ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. El ECA es obligatorio en el diseño de

las normas legales y las políticas públicas, es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

Ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas jurídicas o naturales, a menos que se demuestre que existe causalidad entre su actuación y la transgresión de dichos estándares. Las sanciones deben basarse en el incumplimiento de obligaciones a cargo de las personas naturales o jurídicas, incluyendo las contenidas en los instrumentos de gestión ambiental.

Los estándares nacionales de calidad ambiental del aire fueron establecidos por el Decreto Supremo N° 003 – 2017 – MINAM el 6 de junio del 2017, y se muestran a continuación.

Cuadro 8: Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

Parámetros	Período	Valor [µg/m³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ⁽¹⁾
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2.5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ⁽²⁾	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

⁽¹⁾ o método equivalente aprobado.

⁽²⁾ El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM

2.3 Definición de términos básicos

Alvéolo: Pequeña cavidad pulmonar donde se extrae el oxígeno del aire traspasándolo al torrente sanguíneo. Inversamente eliminan el dióxido de carbono (CO_2) de la sangre. Los humanos poseen unos 300 millones de alvéolos.

Capa de ozono: Acumulación de Ozono (O_3) situada entre 10 y 15 kilómetros de altura, formada por la acción de los rayos solares sobre las moléculas de oxígeno (O_2). Esta zona, que en realidad no es una capa sino un área en que hay mayor presencia de ozono, filtra la mayoría de los rayos ultravioletas que integran el espectro de la luz solar. Hay elementos que descomponen el ozono de la capa como los clorofluorocarbonos (CFC), usados en refrigeración, aerosoles enlatados y otros procesos, los que serían responsables del adelgazamiento en todo el planeta de dicha capa.

Combustión: Reacción química en la cual un material se combina con el oxígeno durante la evolución del calor o quema.

Compuestos orgánicos volátiles (COVs): Son producidos por la evaporación de combustibles líquidos, disolventes y algunos productos químicos orgánicos como esmaltes, pinturas o limpiadores, así como de la combustión incompleta de gasolina y otros combustibles orgánicos y la actividad biológica de ciertas plantas y animales. En la atmósfera, los COVs reaccionan con otros compuestos, en presencia de luz solar, generando Ozono (O_3).

Concentración: Corresponde a la proporción de contaminante presente en un medio, generalmente expresada en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en fracción como partes por millón (ppm).

Índice de Calidad del Aire (ICA): Es una herramienta usada para proveer al público información oportuna y fácil de comprender sobre la calidad del aire;

indica si los niveles de polución son perjudiciales a la salud, informa al público si la condición del aire debe preocuparlos por su salud.

Lluvia ácida: Se forma cuando la humedad en el aire se combina con el óxido de nitrógeno o el dióxido de azufre emitido por fábricas, centrales eléctricas y automotores que queman carbón o aceite. Esta combinación química de gases con el vapor de agua forma el ácido sulfúrico y los ácidos nítricos, sustancias que caen en el suelo en forma de precipitación o lluvia ácida. Los contaminantes que pueden formar la lluvia ácida pueden recorrer grandes distancias, y los vientos los trasladan miles de kilómetros antes de precipitarse con el rocío, la llovizna, o lluvia, el granizo, la nieve o la niebla normales del lugar, que se vuelven ácidos al combinarse con dichos gases residuales.

Partes por millón (ppm): Unidad de concentración que corresponde al fraccionamiento de una unidad en un millón.

Partículas totales en suspensión (PTS): Son materiales finamente divididos, presentes (suspendidos) en el aire, sólidos o líquidos de un diámetro igual o inferior a 50 micrómetros (μm). La fracción de PTS de tamaño superior a 10 micrones corresponde a partículas no respirables, depositándose en la parte superior del sistema respiratorio y son limpiadas y expulsadas a través de la tos o de la deglución.

Polvo: Partículas sólidas finamente divididas, que se sedimentan por su propio peso pero que pueden permanecer suspendidas por algún tiempo. El polvo proviene de una amplia variedad de fuentes, incluyendo el suelo, la vegetación, la combustión de combustibles fósiles, la quema de biomasa, y la industria. Se forma cuando las partículas finas son absorbidas en la atmósfera por la acción del viento u otros trastornos físicos o mediante la liberación de partículas ricas en las

emisiones gaseosas, los gases, tales como dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno reaccionan en la atmósfera a lo largo del tiempo para formar partículas finas, tales como sulfato de amonio y nitrato de amonio.

2.4 Formulación de hipótesis

2.4.1 Hipótesis general.

Las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate – Provincia de Lima son variables de acuerdo a la interacción con los factores meteorológicos, durante los años del 2014 al 2018.

2.4.2 Hipótesis específicas.

- a) Las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate - Provincia de Lima son variables durante los años 2014 al 2018.
- b) Las condiciones meteorológicas más importantes del distrito de Ate - Provincia de Lima, son similares durante los años 2014 al 2018.
- c) Sí, los factores meteorológicos del distrito de Ate - Provincia de Lima influyen en las concentraciones del PM₁₀, durante los años 2014 al 2018.

2.5 Identificación de variables

Las variables de trabajo para las hipótesis formuladas son las siguientes:

Variable independiente: Factores meteorológicos del distrito de Ate – Provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.

Variable dependiente: Concentraciones del PM₁₀ del distrito de Ate – Provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.

2.6 Definición operacional de variables e indicadores

El marco operacional de nuestra investigación está dado por:

Cuadro 9: Operacionalización de las variables de investigación.

Variab les	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Factores meteorológicos del distrito de Ate – Provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.	Independiente	Los elementos del clima son los fenómenos meteorológicos que se producen en la atmósfera y explican tanto el tiempo como el clima de un lugar.	Base de datos de mediciones meteorológicas Mediciones de factores meteorológicos	Temperatura Humedad Velocidad y dirección del viento	Monitoreo Estadística descriptiva
Concentraciones del PM ₁₀ del distrito de Ate – Provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.	Dependiente	Masa de partículas de tamaño menor a 10 µm para un volumen determinado de aire.	Comparación con las ECA Aire	Concentración de PM ₁₀ en ug/m ³	Monitoreo Comparación con la norma

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

Esta investigación es del tipo aplicada, ya que está dirigida en la solución de un problema en particular, el cual ha sido descrito en el capítulo I, y que es considerada una necesidad social por resolver, haciendo uso de los conocimientos que se han adquirido a lo largo de nuestra formación como profesionales de la ingeniería ambiental, para satisfacer necesidades concretas.

De la misma manera, esta investigación es del tipo descriptiva y cuantitativa; debido a que su objetivo es únicamente establecer una descripción lo más completa posible del problema en estudio; y, está basada en el estudio y análisis de la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición.

Finalmente, de acuerdo al periodo temporal que se realiza, esta investigación es del tipo transversal porque se centran en la comparación de determinadas características o situaciones en diferentes sujetos en un momento concreto, compartiendo todos los sujetos la misma temporalidad.

3.2 Métodos de investigación

El método que hemos usado en la presente investigación es el de análisis - síntesis, ya que se ha tratado de separar las secciones que conforman la totalidad del caso a estudiar, para establecer las relaciones de causa, efecto y naturaleza respecto a las variables formuladas e ir estructurando las ideas y conclusiones.

De la misma manera, se ha usado el método deductivo, porque está basado en el estudio de la realidad en la búsqueda de validación de las hipótesis a comprobar. A partir de las conclusiones a las que se arriba, se considera que los mismos efectos ocurrirán en una situación particular similar.

3.3 Diseño de la investigación

Análisis de la variación temporal de las concentraciones de PM₁₀

En primer lugar, se realizó la depuración de los datos registrados de las concentraciones del PM₁₀ y los parámetros meteorológicos haciendo uso de una hoja de cálculo, con el objetivo de eliminar datos negativos; de la misma manera, y dado que los equipos de medición registran algunos datos de los contaminantes en unidades de partes por billón (ppb), se requirió utilizar un factor de conversión para homogenizar las unidades de los contaminantes y compararlos con su ECA posteriormente. Finalmente, dichos datos que conforman nuestra base de datos homogenizados han sido almacenados en un archivo plano de texto para la importación de dicha base de datos al software correspondiente.

Análisis de los factores meteorológicos más resaltantes.

Las condiciones meteorológicas que se emplearon para el análisis de correlación con las concentraciones registradas del PM₁₀ durante el periodo en estudio, son: la dirección del viento, la velocidad del viento, la temperatura y la humedad relativa.

Los datos de las variables meteorológicas han sido obtenidos de la estación Von Humboldt debido a que la estación de monitoreo de calidad de aire no cuenta con una estación meteorológica y actualmente esta es la más cercana. Cada variable evaluada ha sido comparada con su valor climático del distrito establecido por SENAMHI.

Verificación de la relación entre los factores meteorológicos y las concentraciones de PM₁₀

En primera instancia se verifico el cumplimiento del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire en referencia al PM₁₀ en relación a los datos procesados, luego se relacionó las condiciones meteorológicas con la concentración del PM₁₀ a través del software de minería de datos, que trabaja a través del coeficiente centesimal de correlación de Pearson, cuyo resultado nos brinda una matriz de correlación para cada año de las concentraciones del PM₁₀ y los parámetros meteorológicos estudiados, donde se pudo determinar cuáles de los parámetros meteorológicos presentaban una correlación positiva o negativa en relación a la concentración del PM₁₀.

3.4 Población y muestra

La estación 1 de la red de monitoreo de la calidad del aire en Lima Metropolitana del SENAMHI, ubicada en el Palacio Municipal de Ate viene operando desde el año 2010; por lo tanto, los datos obtenidos a lo largo de todos estos años son nuestra población, que viene a ser una información de bastante peso en cuanto a información digital se refiere.

Por lo tanto, nuestra muestra serán los datos obtenidos en el período comprendido entre los años 2014 al 2018, los cuales han sido analizado de acuerdo al diseño y metodología antes descritos.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Recopilación bibliográfica de la información.

A través de este instrumento y haciendo uso de fichas de trabajo, se construyeron los antecedentes de experiencias similares. De la misma forma, se logró recopilar el marco teórico para la presente tesis, los cuales están descritos en los capítulos anteriores.

Toma de datos

Los datos necesarios para la presente investigación, han sido obtenidos de Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del SENAMHI, a través de su proyecto denominado red de monitoreo de la calidad del aire en Lima Metropolitana.

Evaluación

El uso de esta técnica permitió una apreciación sistemática del desarrollo de la investigación. La evaluación se concentró en los logros esperados y alcanzados, examinando la cadena de procesos para comprender los logros o la ausencia de ellos.

Con la evaluación hemos pretendido determinar la relevancia, impacto, eficacia, eficiencia y sostenibilidad de las intervenciones y su contribución a la consecución de resultados. Una evaluación proporciona información basada en evidencia que sea creíble, fidedigna y útil. Los datos de las conclusiones, y recomendaciones deben ser usados en los futuros procesos de toma de decisiones relacionados a la investigación.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Al ser una investigación cualitativa, se han utilizado las siguientes técnicas a lo largo de la investigación:

Preparación y descripción del material

Esta técnica permitió preparar la base documental completa y fácilmente accesible. Dicha información cumplió con las características de ser detectable (saber que existe), ubicable (dónde se encuentra) y trazable (dónde y cómo se obtuvo).

Reducción de los datos

Bajo esta técnica se ha reducido el volumen de los datos, despejando los componentes de interés para la investigación, mediante la redacción de resúmenes, que permitió la identificación de los conceptos más relevantes y cómo se relacionan entre sí. De la misma manera, hemos atribuido categorías o conceptos a porciones del material bien circunscriptas y que presentan una alta unidad conceptual.

Elección y Aplicación del Método de Análisis

Con esta técnica se procedió a la interpretación de los datos utilizando métodos de análisis para detectar “patrones” a partir de los datos previamente organizados. Para ello se usó el método iterativo, con el cual, se aborda de los datos con mínima formalización teórica y construcción progresiva de una explicación.

Análisis transversal

Se utilizó para verificar si hay replica de resultados entre varios casos o situaciones, de acuerdo a los objetivos formulados y relacionando con las hipótesis de trabajo para la presente investigación.

3.7 Tratamiento estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software R, y con ayuda de sus funciones estadísticas, se consigue gráficas de resumen de parámetros estadísticos de cada uno de los parámetros obtenidos, bajo los patrones de las medidas de tendencia central y de la distribución normal de los datos registrados.

El propósito del análisis es resumir y comparar las observaciones llevadas a cabo de tal forma que sea posible materializar los resultados de la investigación con el fin de dar respuesta a las interrogantes formuladas en la investigación. El objetivo de la interpretación es buscar un significado más amplio a las respuestas mediante su conjugación con otros conocimientos disponibles, generalizaciones, leyes, teorías, etc.

3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Los instrumentos de recolección de datos han sido validados por los expertos de los funcionarios de la Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del SENAMHI, ya que esta dependencia monitorea la calidad del aire en la ciudad de Lima y formula pronósticos de calidad del aire con las variables que intervienen en la dispersión, deposición y transporte de contaminantes, velocidad y dirección del viento, transporte por turbulencia (torbellinos), transporte por tipos de nubes, reacciones químicas en la atmósfera y fuentes contaminantes antropogénicas y biogénicas.

Nuestros instrumentos de análisis de datos están basados en las funciones estadísticas del software R, y porque nos permite realizar la verificación y comparación con la normativa vigente en materia a ruido ambiental.

3.9 Orientación ética

El principio de orientación ética, se enmarca hacia la búsqueda de problemas ambientales cotidianos en el plano urbano, y de algún modo, mejorar los estilos de vida de los grupos poblacionales.

Este principio, como hemos mencionado, se aplica más que todo a la calidad medioambiental. Actualmente, las instituciones tienen un enfoque distinto de la

gestión de la calidad ambiental el cual busca convertir al medio ambiente en el cliente o usuario directo.

Por ello, este distrito, requiere de acciones que den soluciones a corto plazo a problemas cotidianos, pero de gran envergadura que aquejan a la comunidad total, estableciendo que los pobladores, incorporen en sus vidas el respeto al medio ambiente, tratando de prevenir en los grandes impactos que afectan la convivencia en el distrito.

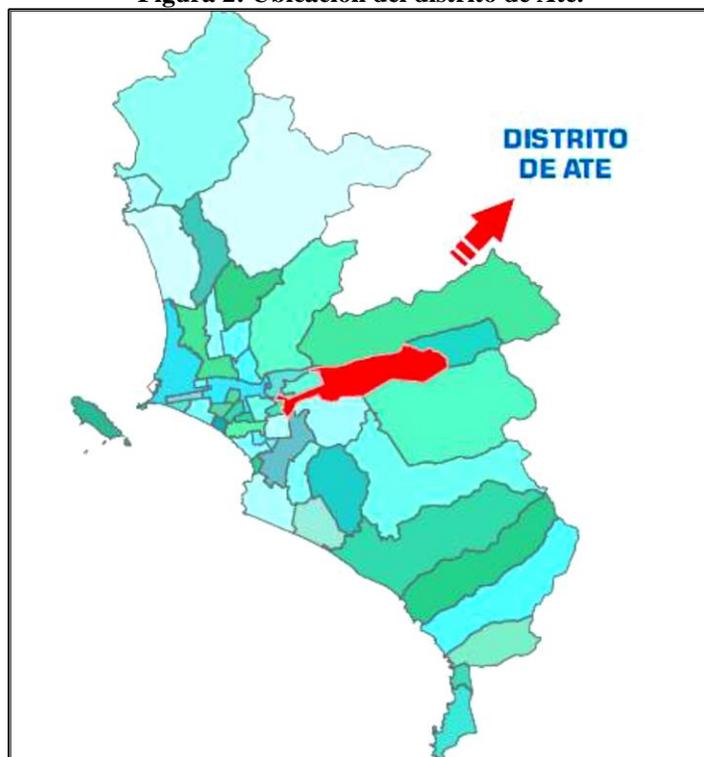
CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del trabajo de campo

Ubicación geográfica de la zona de estudio

Figura 2: Ubicación del distrito de Ate.



Fuente: Plan de desarrollo de la Municipalidad Distrital de Ate al 2021

La presente investigación se realizó en el distrito de Ate, ubicado en la provincia de Lima; y pertenece a la zona este de la cuenca atmosférica de Lima – Callao, con una altitud de entre 385 y 500 m.s.n.m., y contando con un área de 77.92 Km².

Los límites de la zona de estudio son los siguientes: por el norte limita con: Lurigancho (Chosica), San Juan de Lurigancho, Santa Anita, El Agustino; por el sur limita con: La Molina, Cieneguilla, Pachacamac; por el este limita con: Chaclacayo; y por el oeste limita con: San Luis y San Borja.

Figura 3: Límites del distrito de Ate.



Fuente: Plan de desarrollo de la Municipalidad Distrital de Ate al 2021

Clima de la zona de estudio

El clima de Ate por su gran extensión es variado, templado, con alta humedad atmosférica y constante nubosidad durante el invierno. Tiene además la particularidad de tener lluvias escasas a lo largo del año. La garúa o llovizna, lluvia con gotas muy pequeñas, cae durante el invierno. En verano llueve a veces con cierta intensidad, pero son de corta duración.

La temperatura media anual es de 15.5°C, las temperaturas máximas en verano pueden llegar a 32°C y las mínimas en invierno a 8 °C, en cada caso producen sensación de excesivo frío o intenso calor, debido a la alta Humedad atmosférica.

El territorio comprendido al Oeste del distrito entre Salamanca de Monterrico y Olimpo se caracteriza por poseer un clima húmedo y frío durante la mayor parte del año, esta parte del distrito corresponde a la eco zona denominada región Yunga, siendo la parte menos extensa del distrito. En el otro territorio que comprende el Este la parte alta desde Vitarte hasta Santa Clara y Huaycán, el clima experimenta un cambio drástico, tornándose más caluroso y seco, esta eco zona es denominada Chaupiyunga cálida.

Población de la zona de estudio.

Según el XI Censo de Población del 2017, el distrito de Ate cuenta con 599 196 habitantes, teniendo 4.3% de crecimiento promedio anual para los siguientes periodos y con una densidad poblacional de 7 710 hab/km². Los jóvenes de 19 a 34 años representan el mayor número de población del distrito de Ate, alcanzando un 32.3% del total, los adultos representan el 27.4%, los niños el 24.1%, los adolescentes el 11.8% y los adultos mayores el 4.4%.

Particularidades del trabajo de campo.

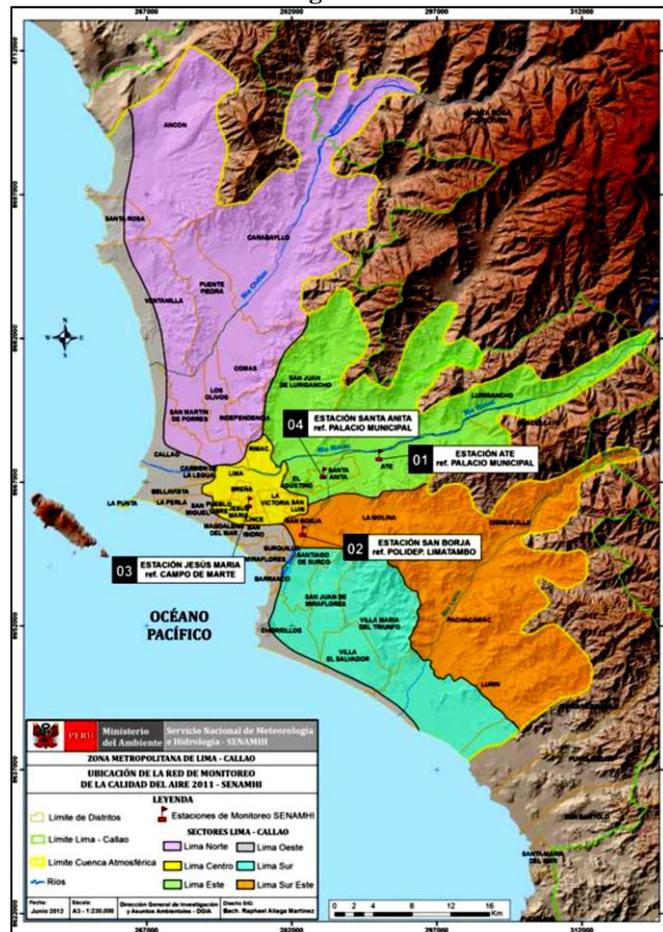
Los datos necesarios para la presente investigación, han sido obtenidos de Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales del SENAMHI, a través de su proyecto denominado red de monitoreo de la calidad del aire en Lima Metropolitana, que consta de cinco estaciones dotados con equipos automáticos que monitorean de una manera constante diferentes contaminantes entre ellos el PM₁₀. Se encuentran ubicadas en los distritos de San Borja, Ate, Jesús María, Santa Anita y Villa María del Triunfo. Para el monitoreo del PM₁₀ se utiliza el equipo automático con el método equivalente de la Micro balanza oscilante de elementos cónicos (TEOM).

Cuadro 10: Ubicación geográfica de las Estaciones de Calidad del Aire – SENAMHI.

N°	Estación	Coordenadas			Lugar
		Este	Norte	Altitud	
1	Ate	291 097	8 669 823	358	Palacio Municipal de Ate
2	San Borja	283 200	8 661 900	214	Polideportivo Limatambo
3	Jesús María	277 601	8 664 893	159	Campo de Marte
4	Santa Anita	285 325	8 667 937	282	Palacio Municipal de Santa Anita

Fuente: SENAMHI

Figura 4: Ubicación de las estaciones de vigilancia de la calidad de aire de SENAMHI.



Fuente: SENAMHI

En ciertas fechas, no existen datos, debido a diversas razones; por ejemplo, días de mantenimiento o averías del equipo o sistema eléctrico, inasistencia del personal entre otros. Por otro lado, también se tiene datos no consistentes debido a la mala calibración del equipo, usencia de mantenimiento del equipo, mal e inoportuno cambio de filtros para la toma de muestras, etc.

4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados

Variación del PM₁₀ durante el periodo de estudio.

Para un mejor entendimiento, presentamos el resumen de la variación diaria mensual en el periodo en estudio.

Cuadro 11: Resumen de la variación diaria- mensual de las concentraciones de PM₁₀ en el periodo de estudio.

Año	Número de días del año	Días monitoreados	Días no monitoreados	Número de días con alta concentración
2014	365	272	93	47
2015	365	289	76	48
2016	366	278	88	31
2017	365	152	213	38
2018	365	355	10	292

Fuente: Elaboración propia.

Como hemos podido observar, el año 2018 se ha tenido mayor cantidad de días monitoreados, alcanzando de la misma manera la más alta cantidad de días con alta concentración de PM₁₀ que representa prácticamente el 82% de días con alta concentración.

De la misma manera, presentamos la variación mensual de las concentraciones de PM₁₀ en el periodo de estudio.

Cuadro 12: Resumen de la variación mensual de las concentraciones de PM₁₀.

Meses	Promedio mensual de la concentración del PM₁₀				
	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	-	-	135.10	106.19	203.73
Febrero	-	-	-	117.74	242.90
Marzo	-	162.89	-	135.79	249.06
Abril	131.72	150.01	-	154.52	256.84
Mayo	120.64	-	141.36	128.94	169.99
Junio	109.00	-	104.27	-	173.48
Julio	119.51	99.03	94.50	-	197.49
Agosto	121.57	105.02	95.22	-	212.49
Setiembre	126.61	136.38	99.02	-	197.88
Octubre	111.78	106.00	106.84	-	201.78
Noviembre	122.78	104.47	106.80	-	184.29
Diciembre	133.89	120.05	103.72	-	204.30

Variación diaria y mensual del PM₁₀ del año 2014.

En la figura 5 se representa la variación diaria - mensual de la concentración de PM₁₀ del año 2014, se observa que los tres primeros meses no se registraron concentraciones, debido a un mantenimiento programado del equipo, además algunos días en el transcurso del año tampoco se tienen datos de monitoreo, debido a inconsistencia de los mismos.

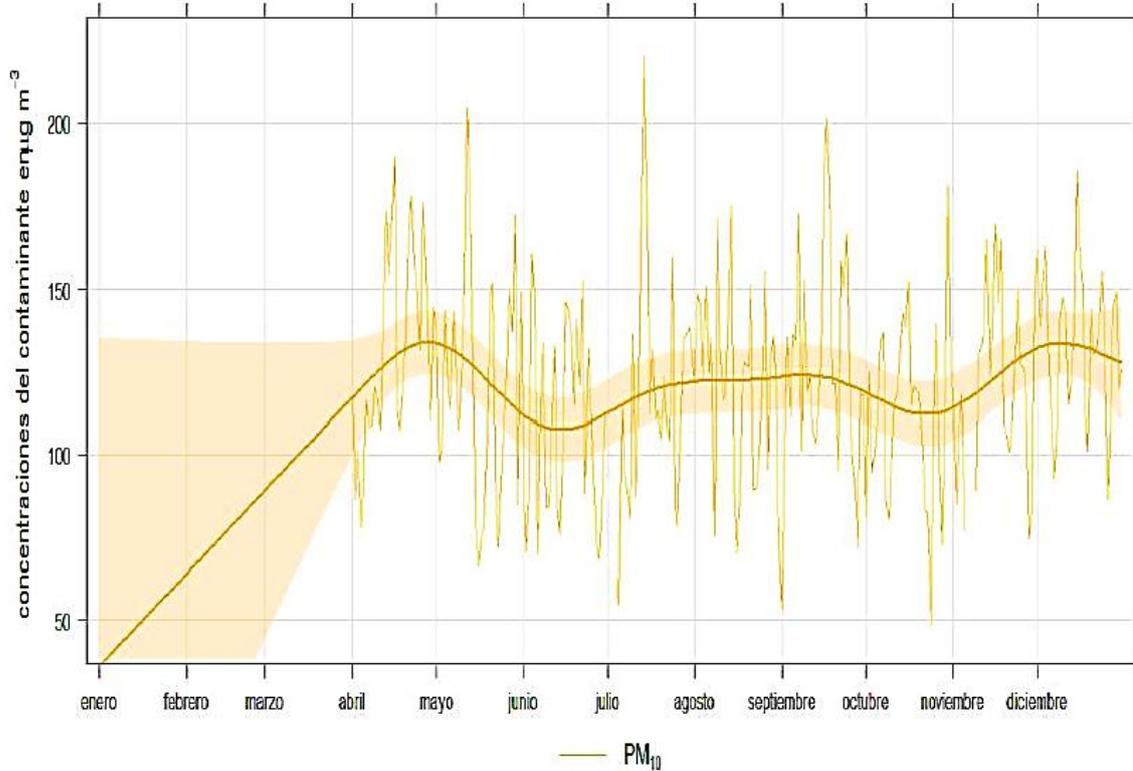
Se puede observar que, en el mes de abril se tiene más días con mayor concentración que sobrepasan 150 ug/m³ y el mes de noviembre menos días.

Figura 5: Calendario de la concentración temporal diaria mensual de PM₁₀ en el año 2014.



La mayor concentración del año se presentó el 14 de julio con 232.031 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el mes de mayor concentración fue diciembre con una media mensual de 133.8877 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 6: Variación mensual de la concentración del PM_{10} durante el 2014.

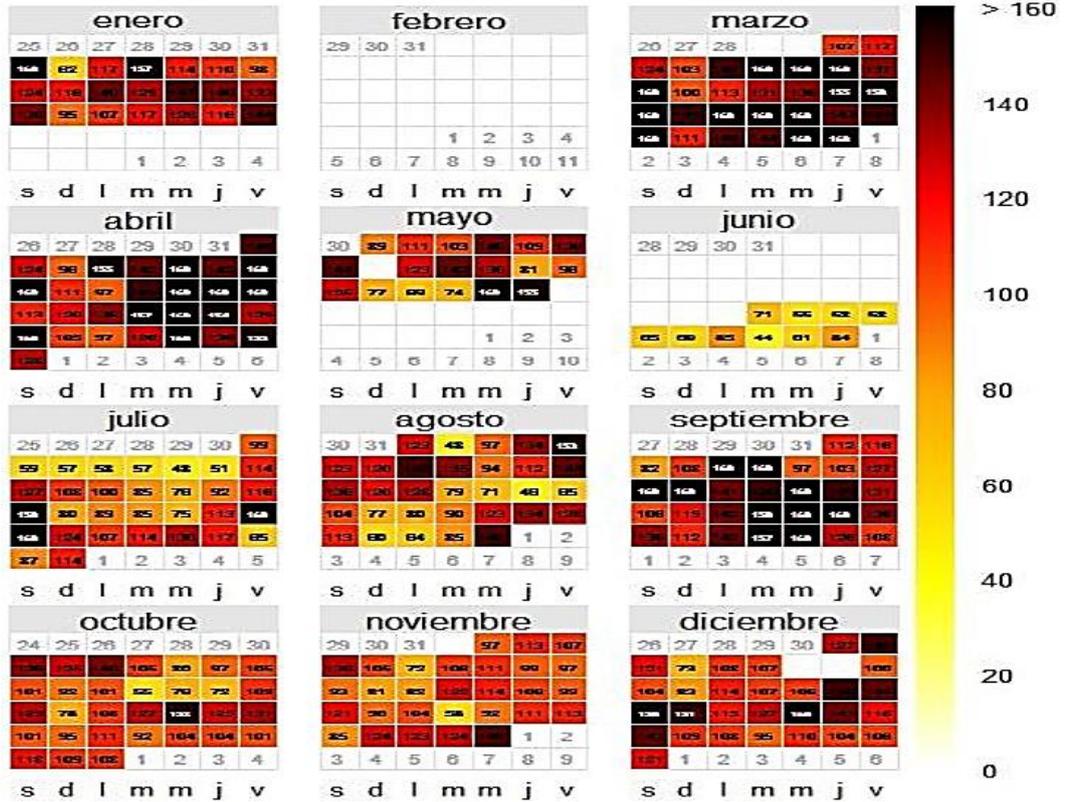


Variación diaria y mensual del PM_{10} del año 2015.

De la misma manera, en la figura 7 se representa la variación diaria – mensual de las concentraciones de PM_{10} en el año 2015, se puede observar que se tiene 76 días sin registrar datos, debido a diversas razones, como por ejemplo el mantenimiento programado desde fines de enero hasta la primera semana de marzo.

También puede observarse gráficamente que de los días monitoreados el mes de marzo es el que tiene más días con mayor concentración que sobrepasan 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el mes de noviembre menos días.

Figura 7: Calendario de la concentración temporal diaria mensual de PM₁₀ en el año 2015.

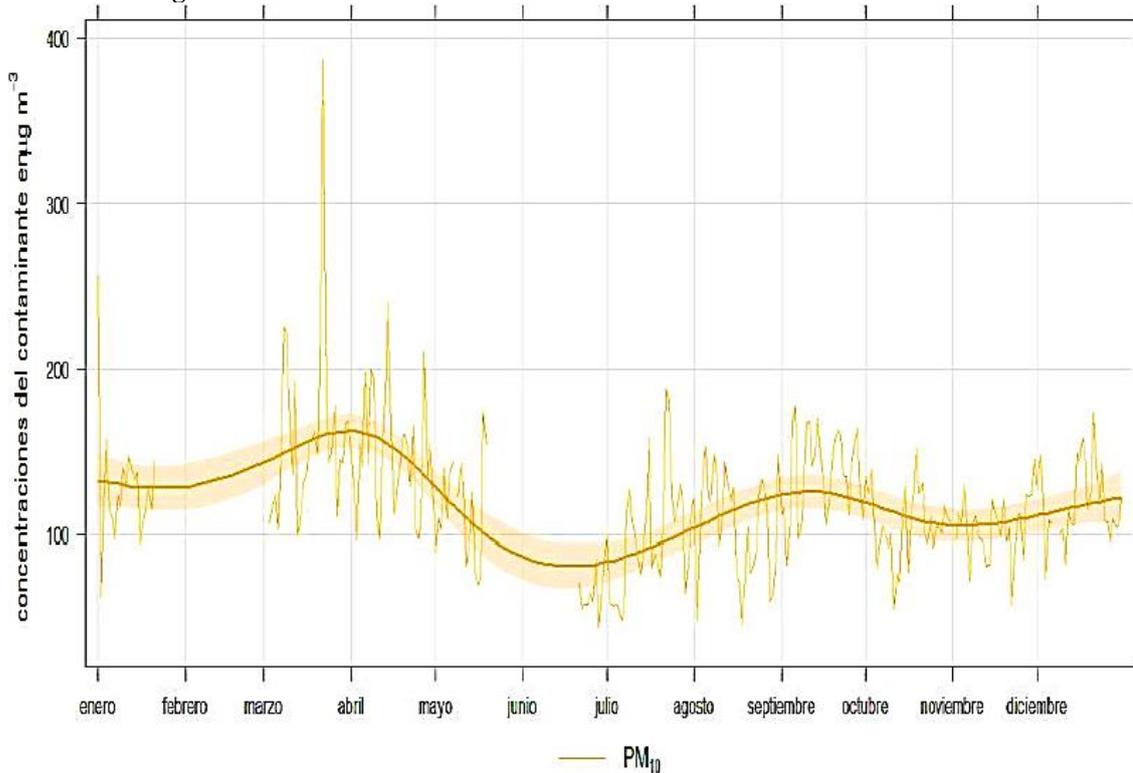


Fuente: Elaboración propia.

La figura 8 por su parte, representa la variación mensual - anual de las concentraciones de PM₁₀ en el año 2015, en él se puede observar que durante la estación de invierno presenta mayores concentraciones respecto a la estación de verano, otoño y primavera.

El mayor día de concentración en el año 2015 fue el 21 de marzo, alcanzando una concentración de 378 µg/m³ y el mes de mayor concentración fue marzo con una media mensual de 162.8899 µg/m³.

Figura 8: Variación mensual de la concentración del PM₁₀ durante el 2015.

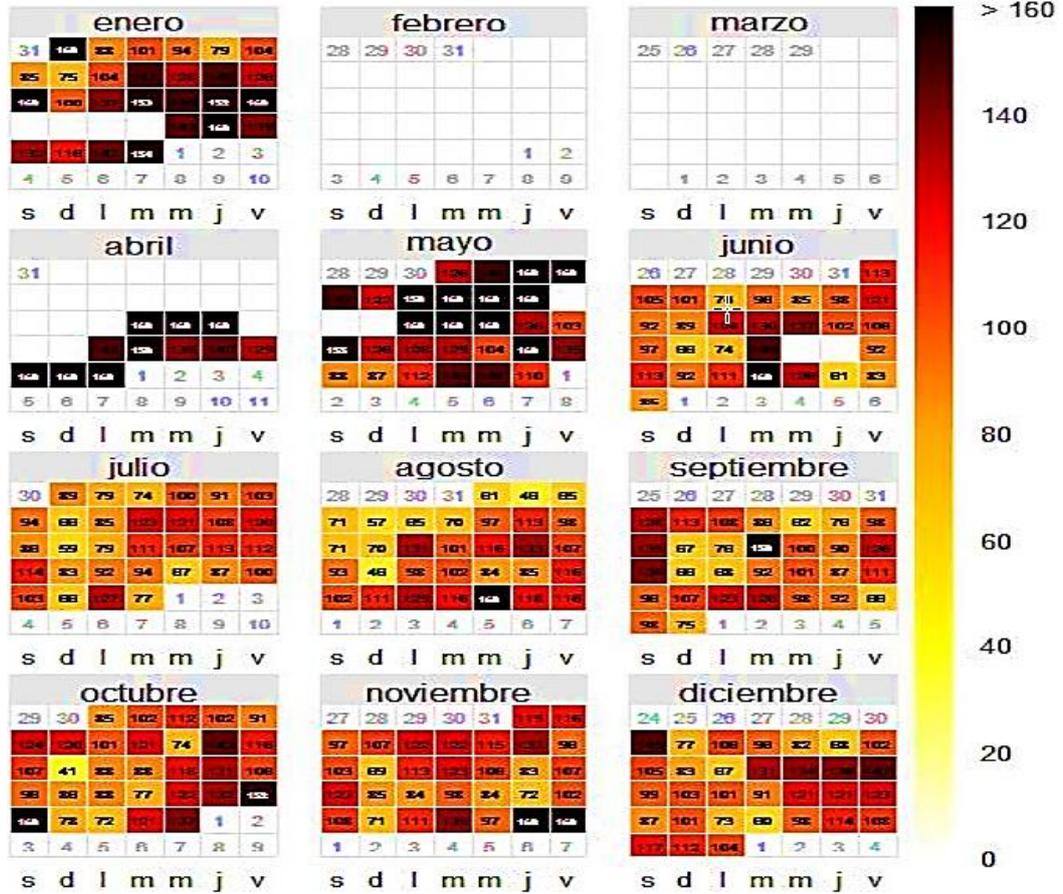


Variación diaria y mensual del PM₁₀ del año 2016.

Así mismo, en la figura 9 se representa la variación diaria – mensual de las concentraciones de PM₁₀ en el año 2016; al igual que en los años anteriores se puede observar que desde el mes de febrero hasta casi mediados del mes de abril no se registraron concentraciones de PM₁₀, debido al mantenimiento programado anual del equipo, teniendo un total de 88 días sin registro de datos.

De los días monitoreados puede observarse que el mes de mayo es el que tiene más días con mayor concentración que sobrepasan 150 ug/m³ y los meses de julio y diciembre menos días.

Figura 9: Calendario de la concentración temporal diaria mensual de PM₁₀ en el año 2016.

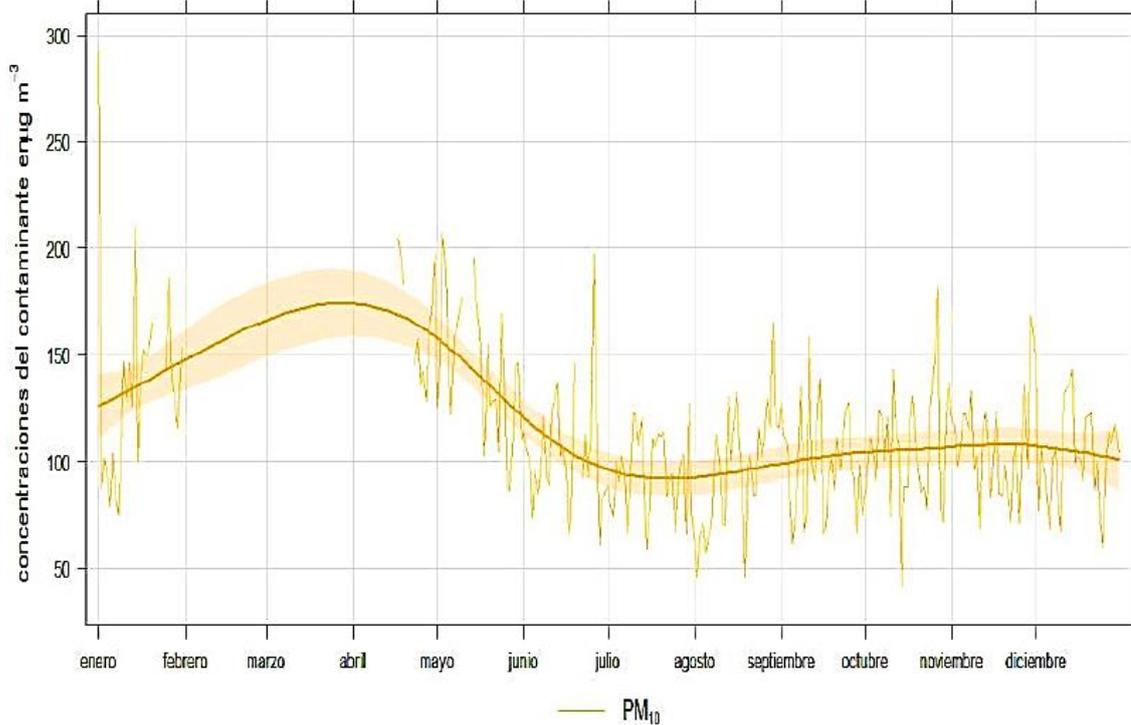


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 se representa la variación mensual - anual de las concentraciones de PM₁₀ en el año 2012, se puede observar que durante la estación de verano presenta mayores concentraciones respecto a la estación de invierno, otoño y primavera.

El día de mayor concentración fue el 01 de enero alcanzando una concentración de 276.71 µg/m³ y el mes de mayor concentración fue mayo con una media mensual de 141.364 µg/m³.

Figura 10: Variación mensual de la concentración del PM₁₀ durante el 2016.



Variación diaria y mensual del PM₁₀ del año 2017

Por otra parte, en la figura 11 se representa la variación diaria – mensual de las concentraciones de PM₁₀ en el año 2017, se puede observar que durante 7 meses no se registraron concentraciones de PM₁₀ (junio - diciembre); debido a ciertas averías en el sistema eléctrico del equipo, teniendo un total de 213 días sin registrar datos.

De los días monitoreados puede observarse que el mes de abril es el que tiene más días con mayor concentración que sobrepasan 150 ug/m³ y el mes de enero menos días.

Figura 11: Calendario de la concentración temporal diaria mensual de PM₁₀ en el año 2017.

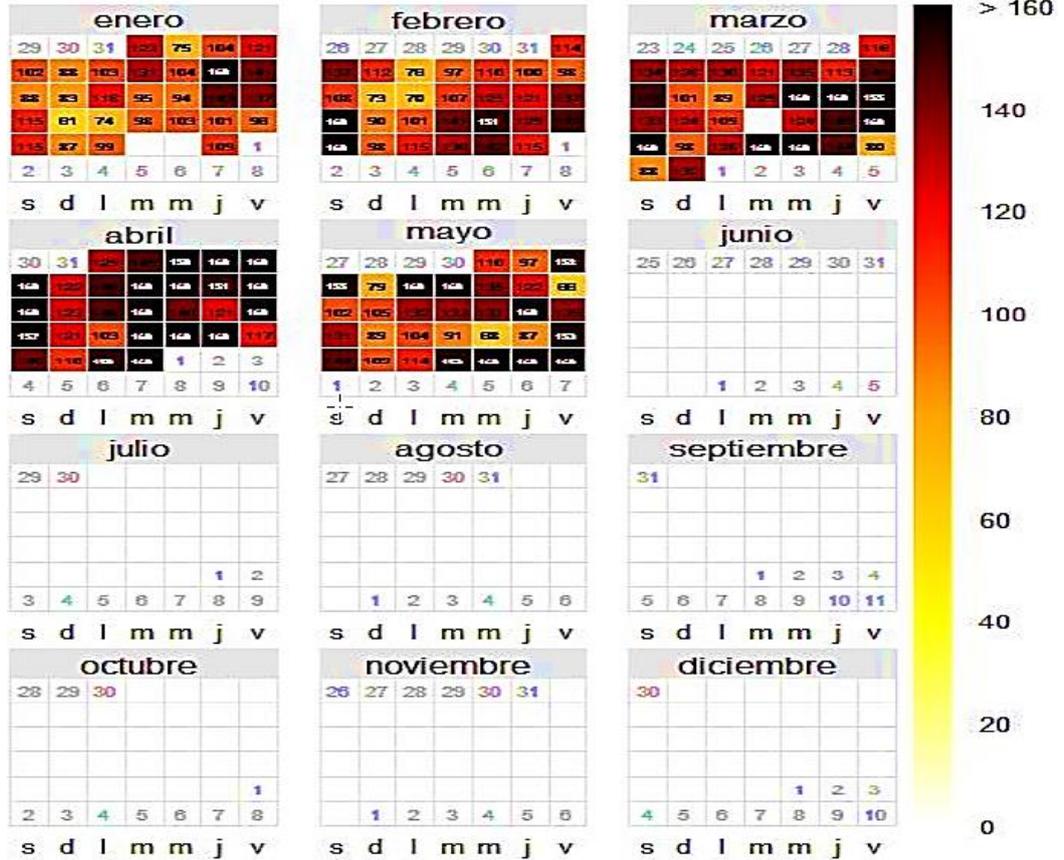
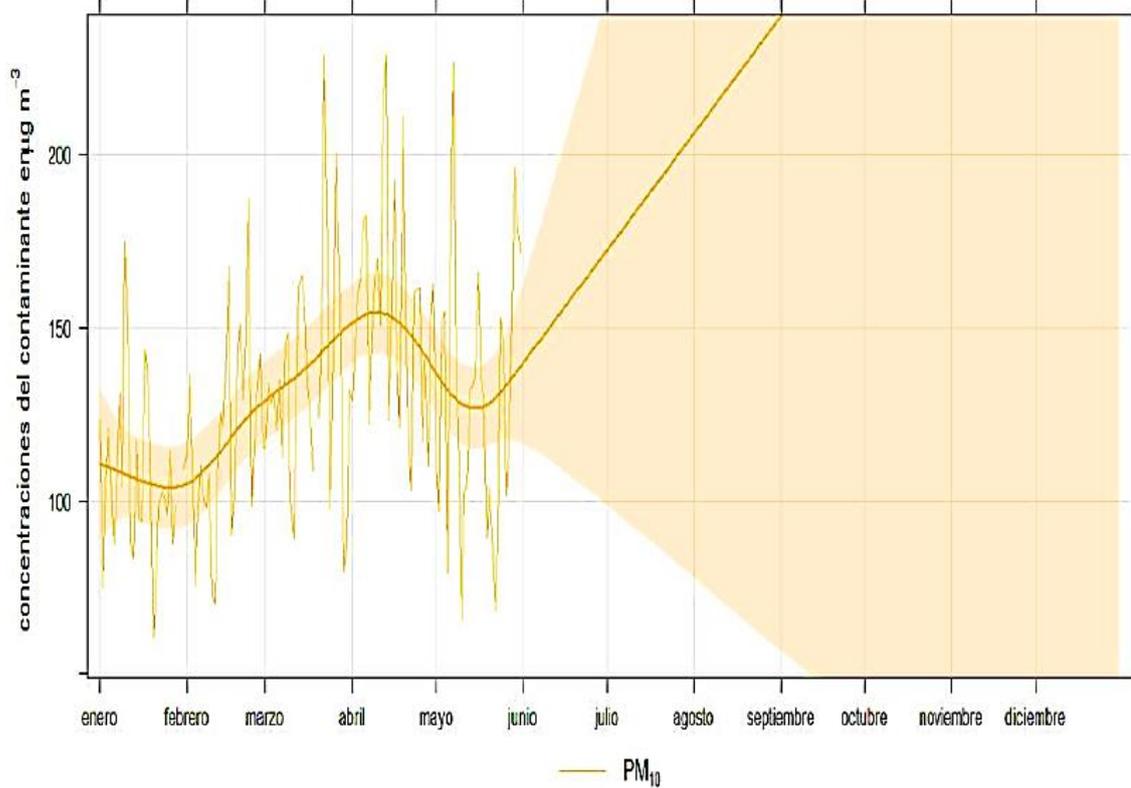


Figura 12: Variación mensual de la concentración del PM₁₀ durante el 2017.

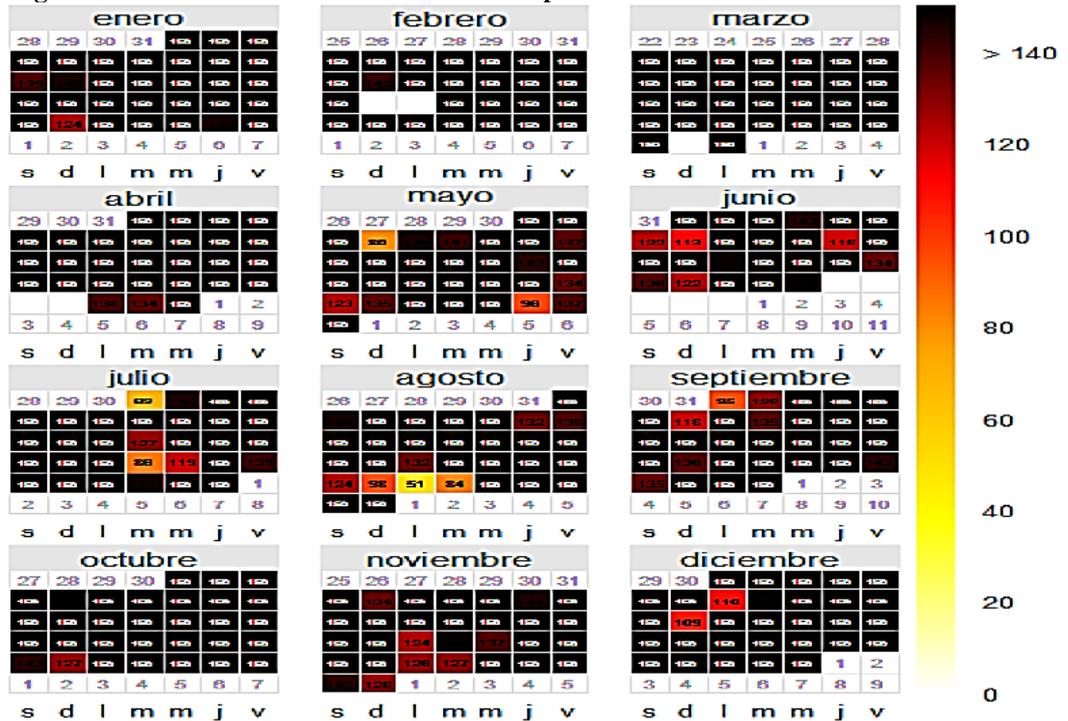


Variación diaria y mensual del PM₁₀ del año 2018

Finalmente, la figura 13 representa la variación diaria – mensual de las concentraciones de PM₁₀ en el año 2018, se puede observar que solo 10 días no se registraron la concentración del contaminante.

De los días monitoreados puede observarse que los meses de marzo y abril es el que tiene más días con mayor concentración que sobrepasan 150 ug/m³ y el mes de agosto menos días.

Figura 13: Calendario de la concentración temporal diaria mensual de PM₁₀ en el año 2018.

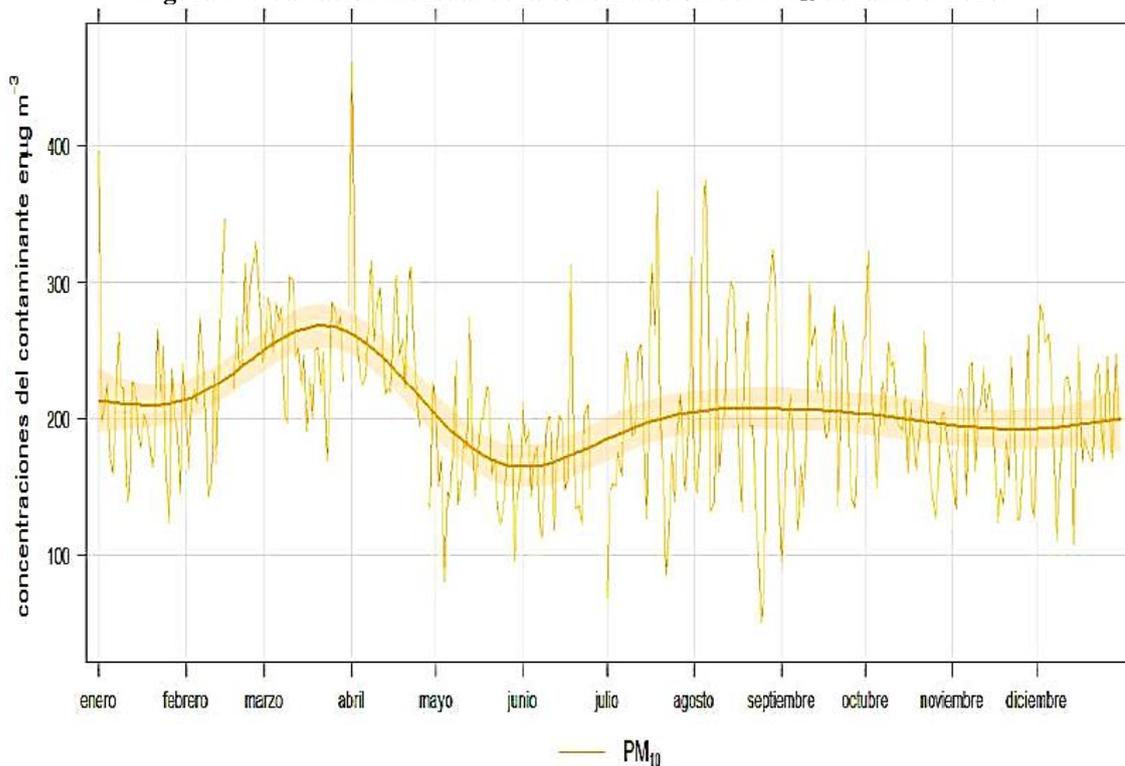


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14 se representa la variación mensual - anual de las concentraciones de PM₁₀ en el año 2018, se puede observar que durante la estación de invierno presenta mayores concentraciones respecto a la estación de otoño y primavera.

El mayor día de concentración fue el 01 de abril alcanzando un promedio diario de 485.6 µg/m³ y el mes de abril con una media mensual de 256.83 µg/m³.

Figura 14: Variación mensual de la concentración del PM₁₀ durante el 2018.



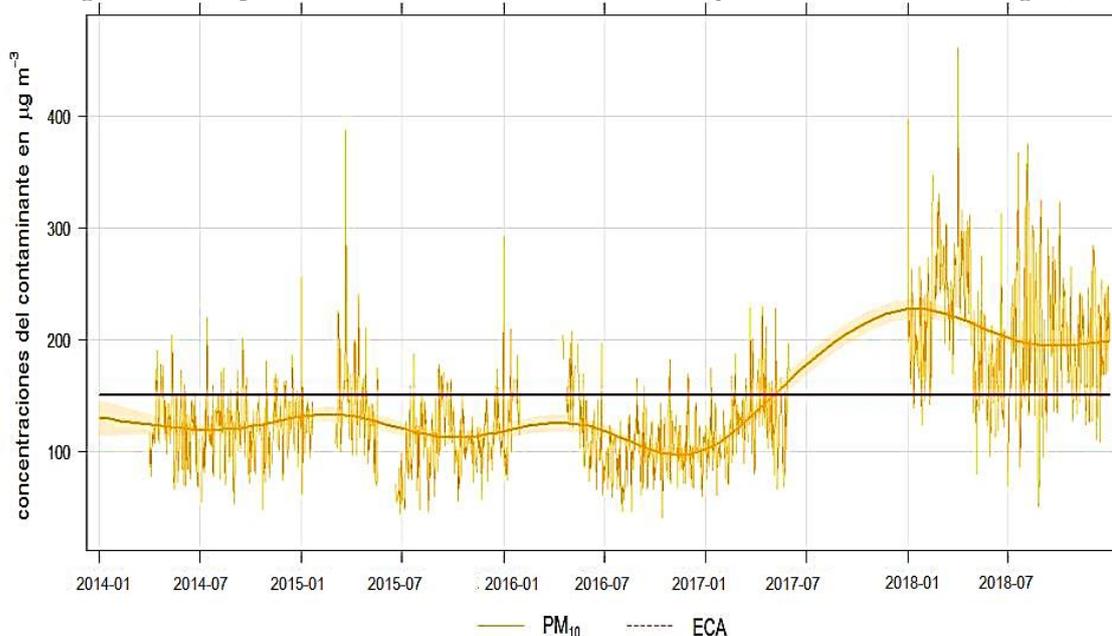
Verificación del cumplimiento del Reglamento ECA del Aire en referencia a PM₁₀ para el cumplimiento del ECA diario del periodo de estudio

Cuadro 13: Comparación de la norma referencial con los días de monitoreo

Año	Días monitoreados	Días excedidos	Referencia	Días excedidos permitidos	Cumplimiento
2014	272	47	D.S. N° 003-2017- MINAM	7	NO
2015	289	48		7	NO
2016	278	31		7	NO
2017	152	38		7	NO
2018	355	292		7	NO

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15: Comparación de las concentraciones del PM₁₀ y los ECAs diario¹⁹ (150 mg/m³)



Verificación del cumplimiento del Reglamento ECA del Aire en referencia a PM₁₀ Para el cumplimiento del ECA anual del periodo de estudio

Cuadro 14: Obtención de datos para la norma anual de los años de monitoreo

Estación (Trimestre)	Media estacional (µg/m ³)				
	2014	2015	2016	2017	2018
Verano (enero – marzo)	ND	ND	ND	119.90	231.17
Otoño (abril – junio)	122.84	ND	ND	ND	199.70
Invierno (julio-setiembre)	120.45	123.48	129.44	ND	202.73
Primavera (octubre – diciembre)	122.65	113.33	96.22	ND	196.83
Promedio anual por compleción de datos	121.98				207.61

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la compleción de datos se ha determinado que los años 2014 y 2018 cumplen con los criterios de más del 75% de monitoreo; por lo tanto, se puede obtener la media anual de cada año el cual será el resultado de las medias estacionales y al

¹⁹ DS 003-2008-MINAM

compararlos con los ECA's son anuales establecidos del reglamento D.S. N° 003-2017-MINAM para PM₁₀ se establecerá si existe el cumplimiento de esta norma.

Cuadro 15: Comparación de la norma referencial con la media anual de los años de monitoreo.

Año	Media Anual	Referencia	ECA – Media Anual	Forma del Estándar	Sobrepasa
2014	121.98	D.S. N° 003-2017-MINAM	50	µg/m ³	Si
2018	207.61		50	µg/m ³	Si

Fuente: Elaboración propia.

Temperatura en el distrito de Ate durante el periodo de estudio.

Cuadro 16: Promedio mensual de la temperatura del distrito de Ate en el periodo de estudio.

Meses	Promedio mensual de temperatura (grados Celsius)				
	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	-	21.85	22.48	22.55	23.92
Febrero	-	23.50	23.72	24.02	23.23
Marzo	-	22.49	23.55	23.41	23.46
Abril	-	20.90	22.37	20.82	20.48
Mayo	-	18.05	19.07	18.50	19.07
Junio	-	18.52	18.48	16.31	18.32
Julio	-	16.14	17.72	15.08	15.70
Agosto	-	14.69	15.62	15.00	15.50
Setiembre	-	15.26	16.33	15.99	15.79
Octubre	16.08	16.56	17.10	17.16	15.79
Noviembre	17.09	18.32	18.08	18.71	18.66
Diciembre	19.56	20.53	20.15	21.78	20.10

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 17: Comparación del promedio estacional de la temperatura y valor climático en el distrito de Ate²⁰.

Estación	Año									
	2014		2015		2016		2017		2018	
	ME	VC								
Verano	-	22.50	22.56	22.50	23.24	22.50	23.30	22.50	23.53	22.50
Otoño	-	18.90	18.96	18.90	19.97	18.90	18.56	18.90	19.32	18.90
Invierno	-	15.90	15.29	15.90	16.54	15.90	15.35	15.90	15.66	15.90
Primavera	17.79	17.40	18.45	17.40	18.63	17.40	19.34	17.40	18.64	17.40
Media anual	17.79	18.68	18.82	18.68	19.59	18.68	19.14	18.68	19.29	18.68

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura media a nivel estacional en el año 2014, que se observa para la primavera fue casi normal con respecto al valor esperado (anomalía – 0.39).

La temperatura media del año 2015 fue 0.14° C mayor con respecto a su valor climático, con esta diferencia podemos decir que el 2015 fue un año de temperatura media anual ligeramente superior a lo normal. Así mismo, la temperatura máxima media fue 0.06° C mayor a su valor climático, mientras que la mínima mostro una anomalía de -0.61° C. A nivel estacional, el cuadro anterior resalta que la temperatura del aire en verano presento una anomalía de 0.06° C que es insignificante, al igual que verano, en otoño e invierno fueron insignificantes las anomalías; sin embargo, en primavera presento una anomalía de +1.05° C.

La temperatura media del año 2016 fue 0.91° C mayor con respecto a su valor climático, con esta diferencia podemos decir que dicho año fue un año de temperatura media anual ligeramente superior a lo normal. A nivel estacional, el cuadro resalta que la temperatura del aire en verano presento una anomalía de + 0.74° C, en otoño fue mayor en 1.07°C, invierno fue mayor en 0.64°C y primavera presento una anomalía de +1.23° C.

²⁰ ME: media estacional; VC: valor climático

La temperatura media del año 2017 fue 0.46° C mayor con respecto a su valor climático, con esta diferencia podemos decir que ese año fue un año de temperatura media anual fue ligeramente superior a lo normal. A nivel estacional, se resalta que la temperatura del aire en verano presento una anomalía de +0.80° C, en otoño fue menor en 0.34° C a su valor climático, invierno fue menor en 0.55° C a su valor climático y primavera presento una anomalía de +1.94° C.

Finalmente, la temperatura media del año 2018 fue 0.61° C mayor con respecto a su valor climático, con esta diferencia podemos decir que el 2018 fue un año de temperatura media anual fue ligeramente superior a lo normal. A nivel estacional, el cuadro nos muestra que la temperatura del aire en verano presento una anomalía de +1.03° C, en otoño fue mayor en 0.42° C a su valor climático, invierno fue menor en 0.24° C a su valor climático y primavera presento una anomalía de +1.24° C.

Humedad relativa en el distrito de Ate durante el periodo de estudio.

Cuadro 18: Promedio mensual de la humedad relativa del distrito de Ate en el periodo de estudio.

Meses	Promedio mensual de la humedad				
	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	-	78.35	73.03	72.10	-
Febrero	-	76.48	71.73	69.07	71.19
Marzo	-	75.21	74.43	70.89	70.54
Abril	-	81.67	73.44	72.64	76.38
Mayo	-	87.56	81.74	78.81	81.74
Junio	-	88.88	80.50	82.98	79.97
Julio	-	94.71	79.36	85.10	84.29
Agosto	-	92.40	84.14	84.31	84.29
Setiembre	-	85.25	83.26	82.76	84.14
Octubre	88.86	81.24	80.98	77.35	88.33
Noviembre	86.33	80.10	79.66	75.44	78.37
Diciembre	84.58	77.70	78.89	70.30	76.38

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 19: Comparación del promedio estacional de la humedad relativa y valor climático en el distrito de Ate.

Estación	Año									
	2014		2015		2016		2017		2018	
	ME	VC								
Verano	-	81.00	76.71	81.00	73.09	81.00	70.74	81.00	70.85	81.00
Otoño	-	85.00	86.06	85.00	78.56	85.00	78.12	85.00	79.36	85.00
Invierno	-	88.00	90.36	88.00	82.28	88.00	84.07	88.00	83.92	88.00
Primavera	86.37	86.00	79.66	86.00	79.69	86.00	74.15	86.00	78.35	86.00
Media anual	86.37	85.00	83.19	85.00	78.41	85.00	76.77	85.00	78.12	85.00

Fuente: Elaboración propia.

En el año 2014 la humedad relativa media para la estación primavera fue 1.37% mayor a su valor climático por lo que podemos decir que fue un año con humedad relativa ligeramente mayor a lo normal, para el año 2015 en cambio fue 1.81% menor a su valor climático por lo que podemos decir que fue un año con humedad relativa ligeramente menor a lo normal. A nivel estacional, las medias estacionales registraron anomalías menores a su valor climático, en verano (-4.29%) y primavera (-6.34%), y mayores a su valor climático en otoño (+1.06%) e invierno (+2.36%).

La humedad relativa media para el año 2016 fue 6.59% menor a su valor climático por lo que podemos decir que fue un año con humedad relativa menor a lo normal. A nivel estacional, las medias estacionales registraron anomalías, en verano (-7.92%), en otoño (-6.44%), en invierno (-5.72%) y en primavera (-6.31%).

La humedad relativa media para el año 2017 fue 8.23% menor a su valor climático por lo que podemos decir que fue un año con humedad relativa menor a lo normal. A nivel estacional, las medias estacionales registraron anomalías, en verano (-10.26%), en otoño (-6.88%), en invierno (-3.93%) y en primavera (-11.85%).

Finalmente, la humedad relativa media para el año 2018 fue 6.88% menor a su valor climático por lo que podemos decir que fue un año con humedad relativa

menor a lo normal. A nivel estacional, las medias estacionales registraron anomalías, en verano (-10.15%), en otoño (-5.64%), en invierno (-4.08%) y en primavera (-7.65%).

Velocidad y dirección del viento superficial en el distrito de Ate durante el periodo de estudio.

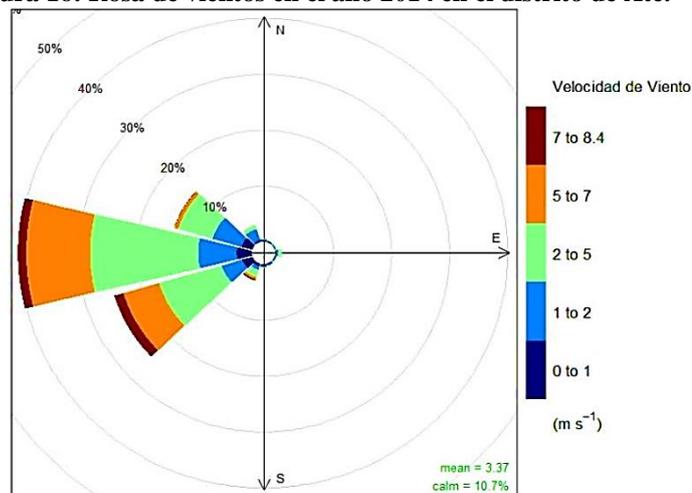
En el cuadro 20 se puede observar el comportamiento estacional de la velocidad y dirección del viento en el distrito de Ate durante el periodo de estudio y su comparación con sus valores climáticos del distrito. Se observa que la media de todos los años se comportó como vientos débiles (< 3m/s), al igual que en las medias estacionales. La dirección predominante de los vientos fue SW con un intervalo de variación de 45 a 68 grados.

Cuadro 20: Promedio estacional de la velocidad y dirección del viento en el distrito de Ate en el periodo de estudio

Estación	Año														
	2014			2015			2016			2017			2018		
	VEL	VC	DIR												
Verano	-	-	-	2.9	2.0	SW 67.4	3.0	2.9	SW 72.0	2.9	2.7	SW 74.5	2.3	2.2	SW 76.3
Otoño	-	-	-	2.5	2.3	SW 47.5	2.6	2.4	SW 50.2	2.4	2.2	SW 70.6	2.2	2.1	SW 51.3
Invierno	-	-	-	2.5	2.7	SW 45.5	2.7	2.6	SW 32.6	2.3	2.1	SW 62.2	1.9	1.8	SW 48.3
primavera	3.4	3.4	SW 80.2	3.1	2.9	SW 61.8	3.1	3.0	SW 60.2	3.0	2.8	SW 60.0	2.6	2.5	SW 59.2
Media anual	-	-	-	2.8	2.5		2.9	2.7		2.7	2.5		2.3	2.2	

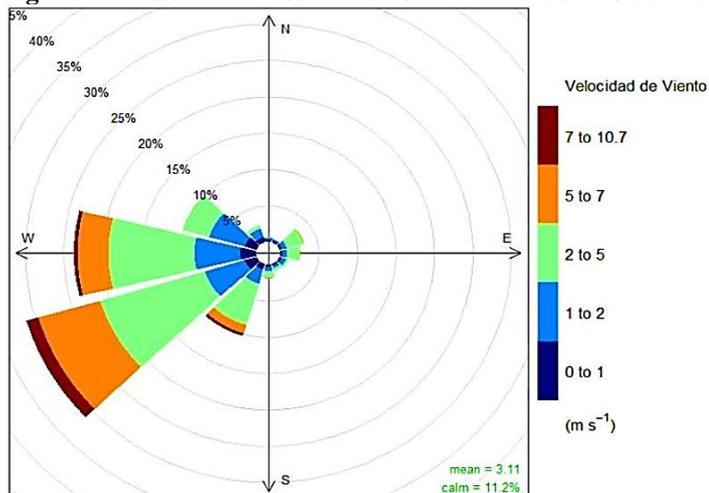
Fuente: Elaboración propia.

Figura 16: Rosa de vientos en el año 2014 en el distrito de Ate.



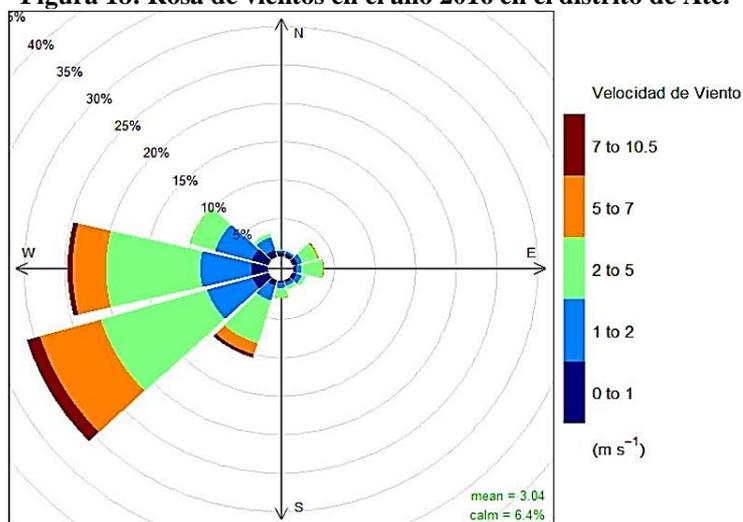
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17: Rosa de vientos en el año 2015 en el distrito de Ate.



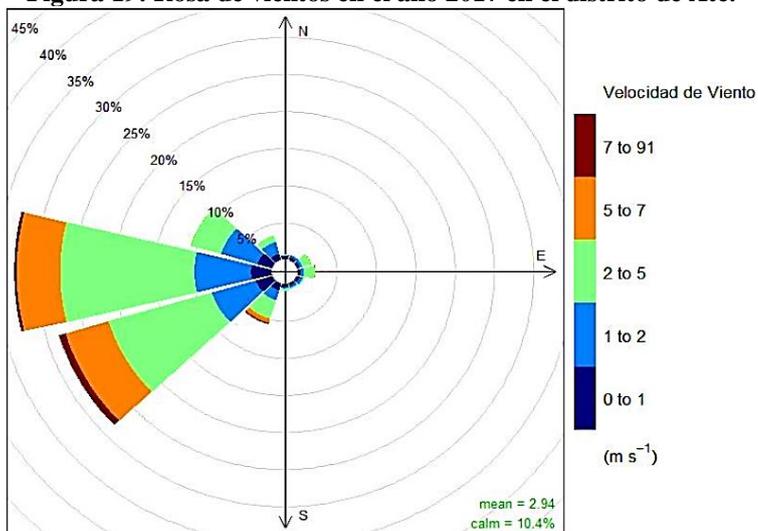
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18: Rosa de vientos en el año 2016 en el distrito de Ate.



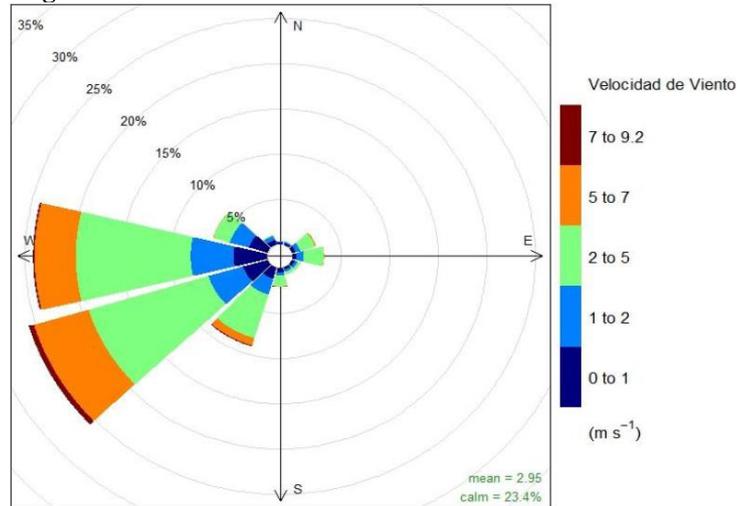
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19: Rosa de vientos en el año 2017 en el distrito de Ate.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20: Rosa de vientos en el año 2018 en el distrito de Ate.

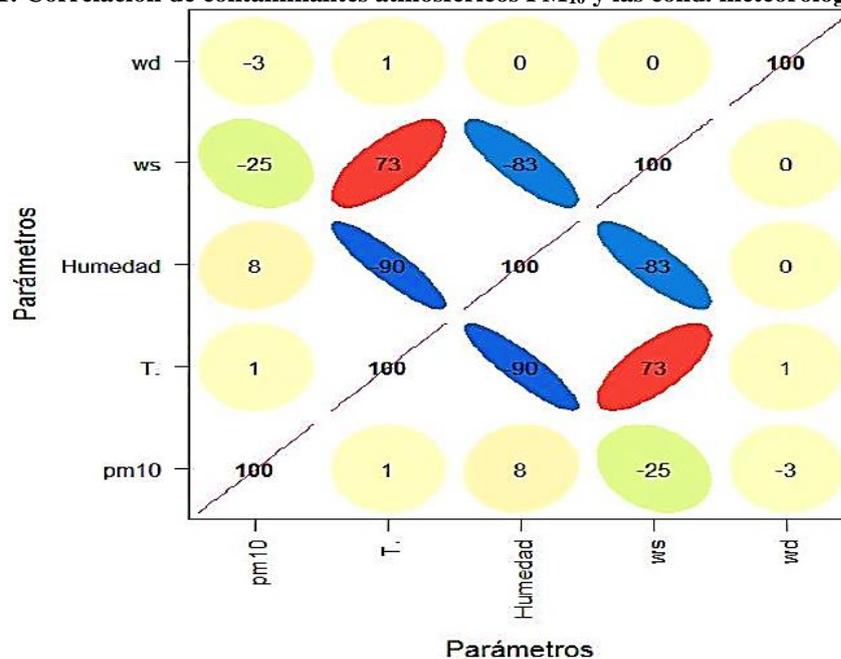


Fuente: Elaboración propia.

Relación entre las concentraciones de PM₁₀ y las condiciones meteorológicas durante el periodo de estudio.

En esta parte, se ha trabajado con la correlación centesimal de Pearson, a través de los comandos estadísticos del software R. Por lo tanto, las figuras a continuación, nos muestran la correlación centesimal de Pearson que tienen la concentración de PM₁₀ respecto a los factores meteorológicos evaluados en el periodo de estudio.

Figura 21: Correlación de contaminantes atmosféricos PM₁₀ y las cond. meteorológicas (2014)

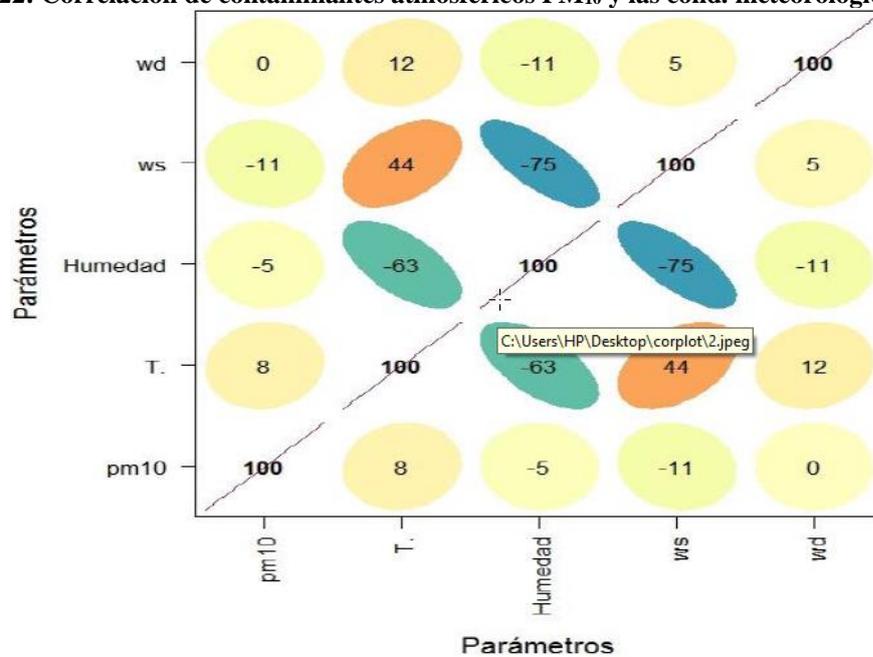


Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2014 se tiene que, el PM_{10} obtuvo correlación positiva, aunque no tan significativa con respecto a parámetros meteorológicos: temperatura (coeficiente 1), humedad relativa (coeficiente 8) y correlación negativa con respecto a la velocidad del viento (-25) y dirección de viento (-3).

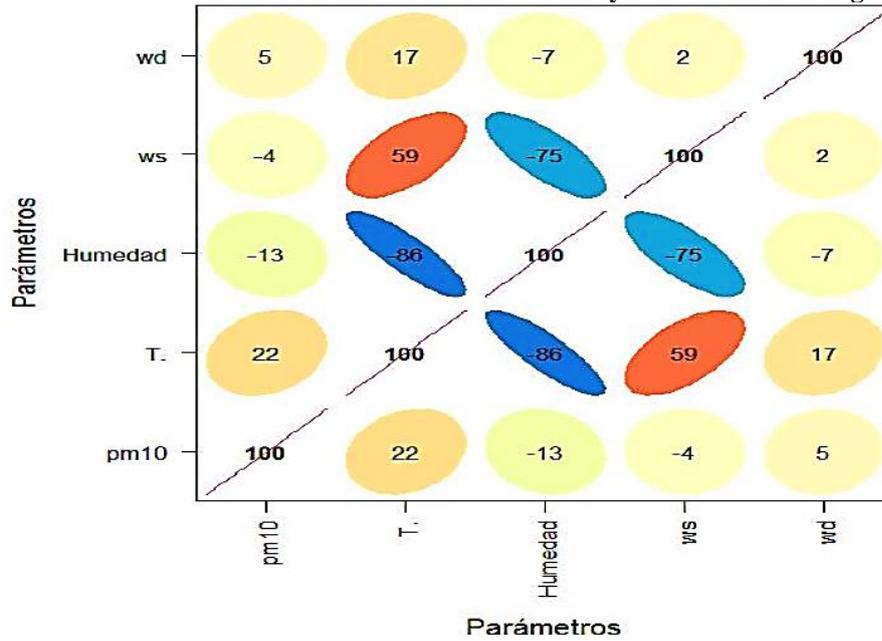
Respecto al año 2015, el PM_{10} obtuvo correlación positiva con respecto a parámetros meteorológicos: temperatura (coeficiente 8), y correlación negativa con respecto a la humedad relativa (-5), velocidad del viento (-11) y dirección de viento no presento correlación.

Figura 22: Correlación de contaminantes atmosféricos PM_{10} y las cond. meteorológicas (2015)



Fuente: Elaboración propia.

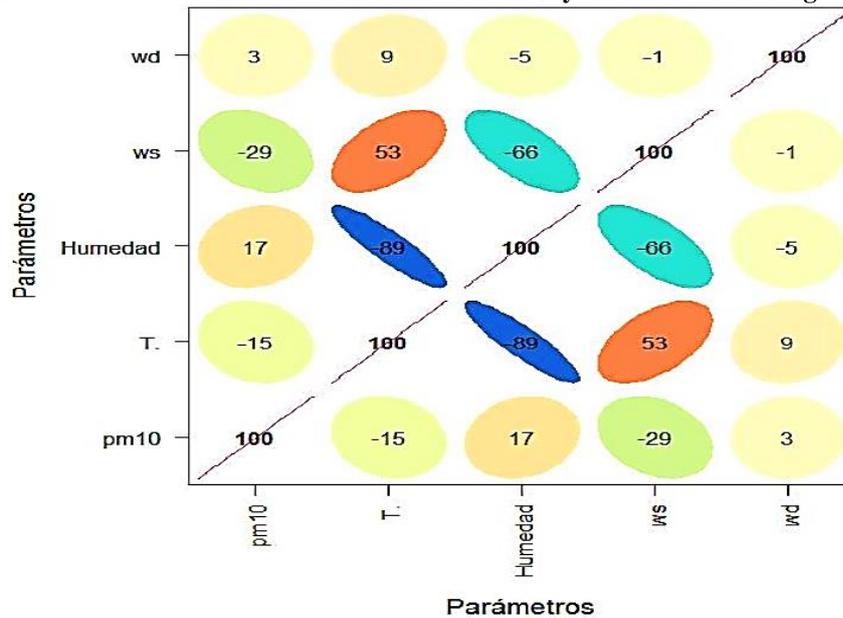
Figura 23: Correlación de contaminantes atmosféricos PM₁₀ y las cond. meteorológicas (2016)



Fuente: Elaboración propia.

En relación al año 2016, la figura 20 nos muestra que, el PM₁₀ obtuvo correlación positiva con respecto a parámetros meteorológicos: temperatura (22), dirección de viento (4) y correlación negativa con respecto a parámetros meteorológicos: Humedad (-13), velocidad del viento (-4).

Figura 24: Correlación de contaminantes atmosféricos PM₁₀ y las cond. meteorológicas en el (2017)

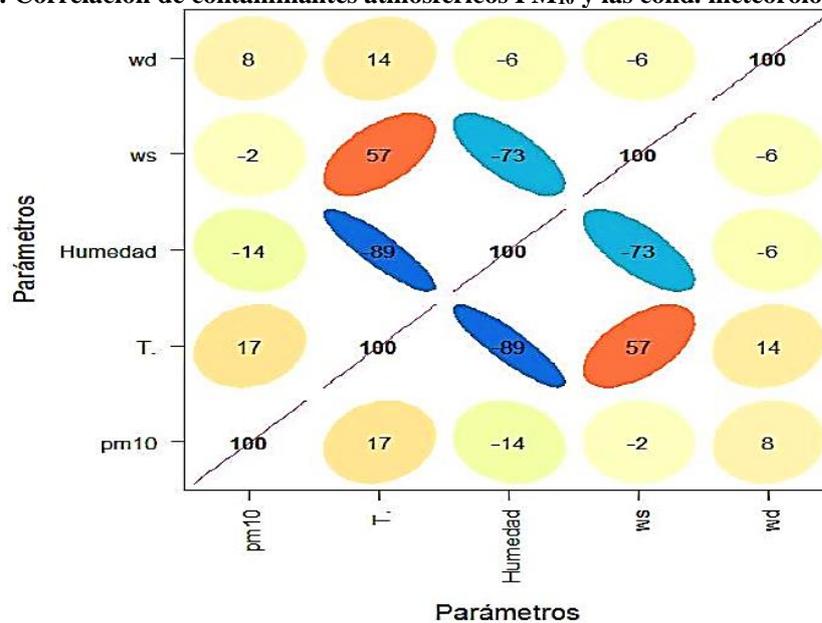


Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, en la figura 24 se muestra que el año 2017, el PM₁₀ obtuvo correlación positiva con respecto a parámetros meteorológicos: humedad (17), dirección del viento (3) y correlación negativa con respecto a parámetros meteorológicos: velocidad del viento (-4), temperatura (-15).

Finalmente, en el año 2018 el PM₁₀ obtuvo correlación positiva con respecto a parámetros meteorológicos: temperatura (17), dirección de viento (8) y correlación negativa con respecto a parámetros meteorológicos: Humedad (-14), velocidad del viento (-2); tal como se muestra en la figura 24.

Figura 25: Correlación de contaminantes atmosféricos PM₁₀ y las cond. meteorológicas (2018)



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21: Coeficiente de correlación de Pearson del PM₁₀ y los factores meteorológicos evaluados

Factor meteorológico	Material particulado	Coeficiente de correlación				
		2014	2015	2016	2017	2018
Temperatura	PM ₁₀	1	8	22	15	17
Humedad	PM ₁₀	-8	-5	-13	-17	-14
Velocidad del viento	PM ₁₀	-25	-11	-4	-29	-2
Dirección del viento	PM ₁₀	3	0	5	3	8

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Prueba de hipótesis

Comprobando nuestra hipótesis general con los resultados obtenidos, nos permitimos validarla, mencionando entonces que: “Las concentraciones del PM_{10} en el distrito de Ate – Provincia de Lima son variables de acuerdo a la interacción con los factores meteorológicos, durante los años del 2014 al 2018.”.

Del mismo modo, de acuerdo a los resultados obtenidos por la estación de monitoreo en el distrito de Ate, validamos la primera hipótesis específica, que dice: “Las concentraciones del PM_{10} en el distrito de Ate - Provincia de Lima son variables durante los años 2014 al 2018”; debido a que como hemos visto los valores no son constantes en el tiempo.

Así mismo, la segunda hipótesis específica: “Las condiciones meteorológicas más importantes del distrito de Ate - Provincia de Lima, son similares durante los años 2014 al 2018”; y la tercera hipótesis específica: “Sí, los factores meteorológicos del distrito de Ate - Provincia de Lima influyen en las concentraciones del PM_{10} , durante los años 2014 al 2018”; si son validadas, debido a que se cumplen por los resultados obtenidos a lo largo de la investigación.

4.4 Discusión de resultados

Diversos autores afirman que el comportamiento promedio del horario de las concentraciones de PM_{10} a lo largo del día, obedece a la influencia de la intensidad del tráfico vehicular y según el Ministerio de Transporte, en la Carretera Central en el distrito de Ate circulan en promedio diariamente 12134 vehículos entre las 6 a.m. y 12 a.m. siendo estas horas las de mayor concentración de PM_{10} , además se establece que las mayores concentraciones se presentan en horas de mayor actividad antropogénica que se incrementa en los meses de marzo y abril por época

de escolaridad y exposición de las personas a este contaminante especialmente en horas diurnas.

La estación de Ate en el periodo de estudio, muestra que la variación mensual - anual de las concentraciones de PM_{10} altas concentraciones del PM_{10} . Teniendo que durante el 2014 el primer pico histórico más alto se dio el 14 de julio de $2322.031 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el 2015 se aprecia que el pico más alto se dio el 21 de marzo de $378 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el 2016 el tercer pico más alto se dio el 01 de enero con de $276.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el 2017 el cuarto pico histórico más alto fue el 13 de abril de $235.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el quinto pico más alto que se presentó en el 2018 fue el 01 de abril del $256.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Para los expertos en esta temática, los días de enero que presentan altas concentraciones se debe en que estas épocas empiezan a aumentar la concentración de PM_{10} por la quema de fuegos artificiales y tal es así que el año 016 se presentó el tercer pico más alto justamente el primer día de ese año. De la misma manera, establecen que en los meses de verano la capa de inversión termina tiende a tener menos altura base respecto a la superficie del suelo lo cual produce que la dispersión y transporte de los contaminantes disminuya y su concentración aumente y en el Cuadro 12 puede determinarse que de los días monitoreados el año 2015 en el mes de marzo se presentó la mayor concentración con $162.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, luego en el mes de abril del año 2017 se presentó la mayor concentración con $154.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y de la misma manera en el mismo mes del año 2018 se presentó la mayor concentración con $256.84 \mu\text{g}/\text{m}^3$; cumpliendo con lo establecido por los expertos.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática se debe de aplicar los criterios de compleción de datos para cada trimestre de los años monitoreados y

establecer que existan el 75% de muestras válidas para que puedan establecer datos que son comparados con los ECAs respectivos, en el Cuadro 14 los años que tienen al menos 3 trimestres con un porcentaje de días monitoreados puede determinarse que tienen un buen desempeño anual y en el cuadro se muestra el desempeño anual de la estación de calidad de aire de Ate para el periodo en estudio, cuya calificación es mala para el año 2017, regular para el año 2015 y 2016 y buena para los años 2014 y 2018.

Determinando un buen desempeño en los años 2010 y 2014 se pueden obtener los promedios anuales de estos años y compararlos con el ECA anual establecido de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, determinando así que para el 2014 el promedio anual es de 121.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y para el 2018 es de 207.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Al analizar los factores meteorológicos (T° , Humedad, Velocidad y dirección del viento), se ha determinado que el año 2016 registro la mayor anomalía, con respecto al promedio anual de la temperatura del aire (superando a su valor climático en $+0.85^\circ \text{C}$) y el año con menor registro en su promedio anual fue el 2015 superando a su valor climático en 0.1°C .

En el promedio anual de la humedad relativa en el año 2017 se registró la mayor anomalía (-8,22% con respecto a su valor climático) y el año 2015 registro la menor anomalía (-1.80% con respecto al valor climático). Los vientos para el periodo 2010-2014 son considerados débiles para los promedios anuales $< 3\text{m/s}$ y dirección del viento predominante fue de suroeste (SW).

Por otro lado, en el 2018 la influencia de la temperatura muestra una fuerza de asociación positiva con la concentración del PM_{10} , donde a mayor temperatura habrá más concentración de PM_{10} debido a que en periodos calientes existe la mayor suspensión del polvo del suelo y por ello, el efecto de temperatura en la

concentración del PM_{10} será a un umbral de temperatura determinado, con relación a cuando la temperatura es menor que $25^{\circ} C$ en su promedio mensual.

Esta influencia de la temperatura puede comprobarse al haber determinado su coeficiente de correlación donde el PM_{10} presentó una correlación positiva en los 5 años con la temperatura alcanzando un máximo coeficiente centesimal de Pearson de 22 en el año 2016 y un menor en el año 2014 con 1.

Así mismo, si existe efecto de la humedad en la concentración del PM_{10} debido a su característica física llamado higroscopicidad llamada así a la capacidad de absorber agua líquida o en fase de vapor, lo que origina su crecimiento bajo condiciones húmedas originando que a mayor humedad relativa habrá menor concentración de PM_{10} , es decir que, podría decirse que existe un efecto inverso de la humedad respecto a la concentración del PM_{10} lo que significa que cuánto más alto sea la humedad existirá una menor concentración de un contaminante pero a un determinado umbral de humedad, con relación a cuando la humedad es mayor que 70%. Lo cual puede observarse en el Cuadro 21 donde el PM_{10} se presenta una correlación negativa en los 5 años con la humedad relativa debido a que esta es mayor que 70% alcanzando un máximo coeficiente centesimal de Pearson de -17 en el año 2018 y un menor coeficiente de -5 en el año 2015.

De la misma manera, la dispersión de contaminantes en la atmósfera, está influenciada significativamente por la variabilidad de la velocidad del viento y esto puede comprobarse, cuando el PM_{10} presento una correlación negativa con la velocidad del viento alcanzando un máximo coeficiente centesimal de Pearson de -29 mayor que los otros parámetros meteorológicos estudiados. Así mismo, también se establece que la dispersión de contaminantes en la atmósfera, está influenciada por la variabilidad de la dirección del viento, si la dirección del viento

es constante, la misma área estará continuamente expuesta a niveles relativamente altos de contaminación y cuando es cambiante, los contaminantes serán dispersados sobre un área mayor y las concentraciones resultarán relativamente menores lo cual puede ser causa de las concentraciones altas del PM_{10} en los años de estudio y este parámetro alcanzo un coeficiente centesimal de Pearson de 8 en el año 2018.

CONCLUSIONES

Con la presente investigación hemos podido arribar a las siguientes conclusiones:

1. Se analizó la variación temporal de las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate en el periodo 2014 al 2018 y se determinó que la mayor concentración se presente en horas diurnas y en los meses de marzo y abril por el aumento de la actividad antropogénica y por el flujo vehicular.
2. Al verificar el cumplimiento del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire en referencia al PM₁₀ se establece que no cumple con el D.S. N° 003 – 2017 – MINAM.
3. Se analizaron las condiciones meteorológicas para el periodo 2014 – 2018, determinado que el año 2016 registro la mayor anomalía, con respecto al promedio anual de la temperatura del aire (superando a su valor climático en +0.85 °C) y el año con menor registro en su promedio anual fue el 2016 superando a su valor climático en 0.1° C y el año 2018 registro la mayor anomalía en el promedio anual de la humedad relativa (-8,22% con respecto a su valor climático) y el año 2015 se registró la menor anomalía (-1.80% con respecto al valor climático). Los vientos para todo el periodo de estudio son considerados débiles para los promedios anuales < 3m/s y dirección del viento predominante fue de suroeste (SW).
4. El material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros PM₁₀ presento una correlación negativa en los 5 años con la humedad relativa alcanzando un máximo coeficiente centesimal de Pearson de -17 y con la velocidad del viento con un coeficiente centesimal de Pearson de -29 y una correlación positiva con la temperatura alcanzando un coeficiente centesimal de 22.

RECOMENDACIONES

Finalizado la presente tesis me permite realizar las siguientes recomendaciones:

1. Mantener un constante monitoreo de los parámetros de calidad de aire y realizar las mitigaciones correspondientes para que dichos parámetros no sobrepasen los estándares de calidad ambiental de aire.
2. Se recomienda establecer un comité de monitoreo participativo liderado por la Municipalidad Distrital de Ate, que permita dar a conocer a los pobladores del distrito la calidad ambiental de su distrito.
3. El sector transporte e industrial debe sustituir el uso del combustible tradicional por el gas natural viable no contribuye a la contaminación ambiental.
4. Las autoridades deben de desarrollar Políticas Públicas que permitan el control del medio ambiente y evaluar mediante el indicador de calidad del aire, informando a la población en forma continua a la población.

BIBLIOGRAFÍA

- ARAMAYO, A. 2013. Percepción de la contaminación atmosférica en Lima: contraste entre la avenida Abancay y El Olivar de San Isidro. Artículo publicado en la Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO) de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- ARENAS, J. 2017. Determinación del material particulado PM10 y PM2.5, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en el distrito Yura – Arequipa. Tesis de grado de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Agustín.
- BEGOÑA, B. 2006. Curso práctico de microeconomía orientado al medio ambiente. Buenos Aires. Ed. La Plata.
- BORJA, Jordi y CASTELLS, Manuel. 2000. Local y global, la gestión de las ciudades en la era de la información. México D.F.: Taurus.
- CAMACHO, A. 2000. Diccionario de términos ambientales. Buenos Aires. Ed. La Plata.
- CEPIS. 2009. Unidad de Toxicología Ambiental, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- DIGESA LIMA. 2015. Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas en la Cuenca Atmosférica de la Ciudad de Lima – Callao.
- GERARD, K. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión. Traducción al español por Ed. Orion.
- MARTÍNEZ, E. 2004. Contaminación atmosférica. Edición única. Madrid, España.

- MINAM. 2017. Estándares de Calidad Ambiental para el Aire. Lima, Perú. D. S. N°003-2017-MINAM
- MORALES, R. 2006. Contaminación atmosférica urbana, episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago. Chile. Ed. Universo.
- PACSI, S. 2016. Análisis temporal y espacial de la calidad del aire determinado por material particulado PM10 y PM2.5 en Lima Metropolitana. Artículo publicado en la Revista Anales Científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- OMS. 2004. Guías temáticas para la calidad del aire. Organización Mundial de la Salud.
- PAREDES, D. 2016. Relación del material particulado menor de 10 micras (PM₁₀) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) con las infecciones agudas de las vías respiratorias superiores en niños menores de 5 años de la cuenca atmosférica de Trujillo, 2005. Tesis de maestría de la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional de Trujillo.
- REÁTEGUI, W. 2018. Estimación de la concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en el área metropolitana de Lima utilizando un modelo Euleriano. Tesis de maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
- REUPO, G. 2018. Influencia del PM₁₀ en la incidencia de enfermedades respiratorias de la población infantil menor de 5 años del distrito de Ate, Lima 2014 – 2015. Tesis de maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad César Vallejo.
- SENAMHI. 2008. Guía básica de meteorología general. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Lima.
- TELLO, J. 2017. Nivel de contaminación del aire por material particulado (PM₁₀) en la ciudad del Cusco. Tesis de maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- VENEGAS, L. 2005. Modelo de difusión atmosférica urbana. México D.F.: Taurus.

Páginas Web

- COMITÉ DE GESTIÓN DEL AIRE LIMPIO PARA LIMA Y CALLAO. 2010. Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao - <http://www.PISA-2011-2015>
- EL COMERCIO. 2019. Aumenta la contaminación del aire en distritos del norte y este de Lima. Edición On line del Diario El Comercio - <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/aumenta-contaminacion-aire-distritos-norte-lima-noticia-617160>
- FOLLOS, F. 2013. Blog: La calidad ambiental - <http://ferfollos.blogspot.com/2013/06/mineria-de-datos-de-la-calidad-del-aire.html>
- LAMAS, R. 2015. Contaminación del aire en Lima Metropolitana Perú. Revista Digital Gestipolis - <https://www.gestipolis.com/contaminacion-del-aire-lima-metropolitana-peru/>
- ROMO, M. 2017. Lima está entre las ciudades con peor calidad del aire en América Latina. RPP Noticias - <https://rpp.pe/blog/la-calidad-de-vida-se-respira/lima-esta-entre-las-ciudades-con-peor-calidad-del-aire-en-america-latina-noticia-1056486>

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Análisis de las concentraciones del PM₁₀ en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018		
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
<p>General: ¿Cómo son las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate - provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018?</p>	<p>General: Analizar las concentraciones del PM₁₀ en su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate – provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.</p>	<p>General: Las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate – Provincia de Lima son variables de acuerdo a la interacción con los factores meteorológicos, durante los años del 2014 al 2018.</p>
<p>Específicos: ¿Cuáles son las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate - provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018?</p> <p>¿Cuáles son las condiciones meteorológicas más importantes del distrito de Ate - provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018?</p> <p>¿Los factores meteorológicos del distrito de Ate - provincia de Lima influyen en las concentraciones del PM₁₀, durante los años 2014 al 2018?</p>	<p>Específicos: Analizar la variación temporal de las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate durante los años 2014 al 2018.</p> <p>Analizar los factores meteorológicos más importantes en el distrito de Ate durante los años 2014 al 2018.</p> <p>Determinar la influencia de los factores meteorológicos del distrito de Ate - provincia de Lima en las concentraciones del PM₁₀, durante los años 2014 al 2018.</p>	<p>Específicos: Las concentraciones del PM₁₀ en el distrito de Ate - Provincia de Lima son variables durante los años 2014 al 2018.</p> <p>Las condiciones meteorológicas más importantes del distrito de Ate - Provincia de Lima, son similares durante los años 2014 al 2018.</p> <p>Sí, los factores meteorológicos del distrito de Ate - Provincia de Lima influyen en las concentraciones del PM₁₀, durante los años 2014 al 2018.</p>

VARIABLE INDEPENDIENTE: Factores meteorológicos del distrito de Ate – Provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.

VARIABLE DEPENDIENTE: Concentraciones del PM₁₀ del distrito de Ate – Provincia de Lima, durante los años 2014 al 2018.

Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

DECRETO SUPREMO

Nº 003-2017-MINAM

Parámetros	Período	Valor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Criterios de evaluación	Método de análisis ¹⁾
Benceno (C_6H_6)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ($\text{PM}_{2.5}$)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM_{10})	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ²⁾	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O_3)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM_{10}	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM_{10} (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

¹⁾ o método equivalente aprobado.

²⁾ El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

**PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE Y GESTIÓN
DE LOS DATOS**

MINISTERIO DE SALUD

1404/2005/DIGESA/SA

No.....

07 SEP 2005

**ES COPIA FIEL
DEL ORIGINAL**



MINISTERIO DE SALUD
Dirección General de Salud Ambiental
DIGESA

Zoila Chávez Galvez
DRA. ZOILA CHÁVEZ GALVEZ
EDAFARIO

Resolución Directoral

07 SETIEMBRE 2005

Lima,de.....del.....

Visto el Informe N° 1447-2005/DEEPA-DIGESA y el Memorándum N° 1470-2005/DEEPA/DIGESA de la Dirección Ejecutiva de Ecología y Protección del Ambiente de la Dirección General de Salud Ambiental –DIGESA- de fechas 04 y 05 de julio de 2005, respectivamente;

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 12° del Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire –Decreto Supremo N° 074-2001-PCM- señala que le corresponde al Ministerio de Salud, a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) en coordinación con otras entidades públicas, sectoriales, regionales y locales la realización permanente del monitoreo de calidad del aire y la evaluación de los resultados en el ámbito nacional;

Que, el artículo 23° de la referida norma definía la **Declaración de los Estados de Alerta** como el procedimiento a partir del cual se activaban un conjunto de medidas destinadas a prevenir el riesgo a la salud y evitar la exposición de la población a los contaminantes del aire, siendo la autoridad competente para la realización de tal declaración el Ministerio de Salud a través de la DIGESA;

Que, de acuerdo al artículo 25° del Decreto Supremo N° 074-2001-PCM el Ministerio de Salud a través de la DIGESA elabora los estudios de Diagnóstico de Línea Base, propone los niveles de estados de alerta nacionales y establece o valida criterios y metodologías para la realización de monitoreos de calidad del aire en el ámbito nacional;

Que, de acuerdo al Reglamento de los Niveles de los Estados de Alerta Nacionales para Contaminantes del Aire –Decreto Supremo N° 009-2003-SA- y su modificatoria –Decreto Supremo N° 012-2005- los Estados de Alerta son medidas predeterminadas de corta duración, aplicables en forma inmediata, destinadas a prevenir el riesgo a la salud por contaminantes del aire;

Que, de acuerdo al Informe N° 1447-2005/DEEPA-DIGESA se concluye que a fin de establecer oficialmente un procedimiento uniforme en la medición de la calidad del aire, a partir de la competencia de la DIGESA derivada de las normas precitadas, es que se considera imprescindible la elaboración del Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire, a través del Área de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica de la DIGESA



con el apoyo de la Cooperación Suiza –SWISSCONTACT- la misma que ha brindado aportes significativos a la propuesta;

De conformidad con lo dispuesto por la Ley General de Aguas -Decreto Ley N° 17752- y sus Reglamentos; y con las facultades conferidas por la Ley N° 27657, Ley del Ministerio de Salud y su Reglamento el Decreto Supremo N° 013-2002-SA, así como lo establecido en el Decreto Supremo N° 014-2002-SA, Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud;



SE RESUELVE:



1°.- Aprobar el **Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los Datos** para la aplicación de la Dirección General de Salud Ambiental –DIGESA en el marco de sus competencias como entidad encargada del Monitoreo Permanente de la Calidad del Aire.

Regístrese, comuníquese y publíquese



MINISTERIO DE SALUD
Dirección General de Salud Ambiental
DIGESA

ING. FORTALEZA REYNAGORTA JARAMILLO
Director General

12/25 SEP 2005

**ES COPIA FIEL
DEL ORIGINAL**

MINISTERIO DE SALUD
Dirección General de Salud Ambiental
DIGESA
SRA. ZOILA CHAVEZ GALVEZ

GALERÍA FOTOGRÁFICA



Estación de vigilancia de la calidad de aire de SENAMHI en el Distrito de Ate



Equipos de monitoreo de la estación en el Distrito de Ate



Equipos de monitoreo de la estación en el Distrito de Ate