

“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR
PM₁₀ Y SU RELACIÓN CON LOS FACTORES
METEREOLÓGICOS DE HUMEDAD Y
TEMPERATURA EN EL DISTRITO DE SANTA
ANITA - PROVINCIA DE LIMA DURANTE LOS
AÑOS 2018 AL 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Mao Vladimir Chavez Limay

Asesor:

M.Cs. Juan Carlos Flores Cerna
<https://orcid.org/0000-0001-7638-3456>
Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Marieta Eliana Cervantes Peralta	29425048
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Julián Ricardo Díaz Ruiz	09294063
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Irma GERALDA Horna Hernández	40317442
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME SIMILITUD

Tesis Mao Vladimir Chávez

ORIGINALITY REPORT



PRIMARY SOURCES

1	<p>Anna Trochimczyk, Monika Chorąży, Katarzyna Krystyna Snarska. "An Analysis of Patient Quality of Life after Ischemic Stroke of the Brain", The Journal of Neurological and Neurosurgical Nursing, 2017</p> <p><small>Publication</small></p>	<1 %
2	<p>Daniele Pala, Vittorio Casella, Cristiana Larizza, Alberto Malovini, Riccardo Bellazzi. "Impact of COVID-19 lockdown on PM concentrations in an Italian Northern City: A year-by-year assessment", PLOS ONE, 2022</p> <p><small>Publication</small></p>	<1 %
3	<p>sites.sandiego.edu</p> <p><small>Internet Source</small></p>	<1 %
4	<p>Dallas Cliff. "Negotiating A Flexible Retirement: Further Paid Work and the Quality of Life in Early Retirement", Ageing and Society, 2008</p> <p><small>Publication</small></p>	<1 %

DEDICATORIA

A mis padres Juan y Nancy, que con su esfuerzo, dedicación y amor me han guiado por el camino del bien, enseñándome buenos valores y principios que permitieron hoy cumplir un sueño más en mi vida, a mi hermano Neymar, que es mi motivación para no rendirme y seguir cumpliendo mis sueños y a mis abuelos que siempre me demuestran su afecto y cariño.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado la vida, brindarme salud y llenarme de fortaleza en cada momento para superar mis retos y dificultades.

A mi asesor el ingeniero Juan Carlos Flores Cerna, por aceptar guiarme en el desarrollo de esta investigación, quien me apoyó con sus observaciones para poder terminar esta tesis.

A todos los docentes de la Universidad Privada del Norte de Cajamarca, por sus enseñanzas en mi formación profesional.

A mi novia Mónica, por su apoyo y motivación de no rendirme para poder cumplir uno de mis objetivos planteados.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	25
1.3. Objetivos	26
1.4. Hipótesis	26
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	27
CAPÍTULO III: RESULTADOS	33
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS	58
ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Índice de Calidad del Aire para partículas PM_{10}	23
Tabla 2 Concentración de PM_{10} por año	33
Tabla 3 Temperatura por año	34
Tabla 4 Humedad por año	36
Tabla 5 Calculo del índice de la calidad del aire anual	39
Tabla 6 Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2018	44
Tabla 7 Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2018.....	45
Tabla 8 Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2018	45
Tabla 9 Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2019	46
Tabla 10 Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2019.....	47
Tabla 11 Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2019	47
Tabla 12 Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2020	48
Tabla 13 Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2020.....	48
Tabla 14 Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2020	49
Tabla 15 Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2021	49
Tabla 16 Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2021	50
Tabla 17 Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2021	50

Tabla 18 Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2022	51
Tabla 19 Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2022	51
Tabla 20 Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2022	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseño de investigación	28
Figura 2 Ubicación de la Estación de monitoreo Santa Anita.....	29
Figura 3 Evolución de las concentraciones de PM_{10}	34
Figura 4 Evolución de la temperatura	36
Figura 5 Evolución de la humedad.....	37
Figura 6 Variación anual de la temperatura y la concentración del PM_{10}	38
Figura 7 Variación anual de la humedad y la concentración del PM_{10}	39
Figura 8 Comparación de ECA anual.....	40
Figura 9 Concentración diaria de PM_{10} en setiembre del 2018.....	41
Figura 10 Concentración diaria de PM_{10} en setiembre del 2019.....	42
Figura 11 Concentración diaria de PM_{10} en setiembre del 2020.....	42
Figura 12 Concentración diaria de PM_{10} en setiembre del 2021.....	43
Figura 13 Concentración diaria de PM_{10} en setiembre del 2022.....	44

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la calidad del aire por PM_{10} y su relación con los factores meteorológicos de humedad y temperatura en el distrito de Santa Anita en Lima durante los años 2018 al 2022 mediante métodos cuantitativos, descriptivos y diseño no experimental. Los resultados revelaron que en el 2021 presentaron concentraciones superiores de $85,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Respecto a los factores meteorológicos, se encontró que temperatura superior fue $19,54 \text{ }^\circ\text{C}$ y mayor humedad fue $84,18\%$, las cuales sucedieron en el año 2020 y 2018 respectivamente. Por otro lado, el INCA determinó un estado bueno para todos los períodos, a excepción de 2019 y 2021, sin embargo, según el ECA se registró que todos los periodos anuales superaron el estándar de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a excepción de 2020. Por otro lado, las condiciones elevadas de humedad presentaron concentraciones inferiores de PM_{10} en 2018 y 2020, mientras que una humedad inferior condicionó mayores concentraciones de PM_{10} durante los periodos 2019, 2021 y 2022. Se concluye que, a menor temperatura hubo mayor cantidad de PM_{10} durante el 2018, y en 2019 y 2022 se encontró que a mayor temperatura, mayor cantidad de PM_{10} , lo cual puede relacionarse al contexto de pandemia.

PALABRAS CLAVES: Calidad, aire, meteorológicos, humedad, temperatura, contaminación, PM_{10}

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Desde años anteriores y a la actualidad el planeta viene atravesando una crisis ambiental alarmante, pues la polución del aire incorpora un peligro ambiental para la salud de acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS, 2020) contaminación del aire exterior ocasiona alrededor de 249 mil defunciones prematuras; además el 88% de estas defunciones provienen de países de bajos ingresos. Es así como la contaminación atmosférica asume reconocimiento en las agendas mundiales.

La declaración global sobre la calidad atmosférica por IQAir (2020) reveló cambios sustanciales debido al efecto del COVID-19, el 84% de las naciones han evidenciado progresos en la calidad atmosférica, es así como en el 2020 las ciudades de la India experimentaron el 63% de mejoras en comparación del 2019; además el 83% de las ciudad de China percibieron mejoras en la calidad del aire; mientras que Estados Unidos percibió márgenes medios de polución por partículas que incrementaron un 6,7% durante el período 2020 a pesar de la implementación de las medidas por la pandemia del nuevo coronavirus.

La contaminación atmosférica es responsable del cambio climático, sin embargo, las condiciones climáticas como temperatura y humedad también son un factor incontrolable que influye en las cantidades de contaminantes del aire. Por lo tanto, en el contexto del cambio climático, la correlación entre los factores meteorológicos y los contaminantes del aire ha suscitado una preocupación crucial (Dung et al., 2019), debido a los efectos del PM_{10} en la salud son más fuertes en los días de alta temperatura para la mortalidad (Chen et al., 2017).

En cuanto a la mortalidad, los estudios epidemiológicos han vinculado incluso pequeños aumentos en las temperaturas máximas o medias diarias con aumentos en la muerte prematura. A nivel mundial, se estimó que durante el año 2012, ocurrieron tres millones de decesos prematuras, donde el 72% fallecieron por cardiopatías isquémicas y accidentes cardiovasculares, y un 14% falleció por neumonías obstructivas crónicas o infecciones agudas de las vías respiratorias, y otro 14% falleció por cáncer en los pulmones, causado por la exposición a material particulado PM₁₀ (Rojas et al., 2022).

Mientras tanto, en España se ha estimado que durante el periodo comprendido entre 1983 y 2006, hubo un aumento del 19,0% en la mortalidad diaria total durante tres días consecutivos de calor extremo (Pinheiro et al., 2014). Además, en Sudáfrica se observó una asociación entre la temperatura ambiente diaria aparente y la mortalidad diaria por cualquier causa entre 2006 y 2010 con casi medio millón de muertes de una población de aproximadamente 12 millones (Olutola y Wichmann, 2021).

Respecto a la problemática relacionada con los factores meteorológicos de humedad y temperatura se conciben como variables que tienen impacto en la presencia de PM₁₀ en el ambiente. Por ejemplo, los cambios son impulsados por variaciones en la precipitación, ya que la deposición húmeda representa el principal sumidero de PM. De esta manera, Kraus y Šenitková (2017) observaron niveles más altos de partículas para valores bajos de humedad relativa, pues la disminución de la humedad relativa del aire en un 10% provocó un aumento de la concentración de PM₁₀ de 10 µg/m³.

Por otro lado, algunas fuentes naturales de PM_{10} incluyen las tormentas de polvo y el polen liberado por las plantas, mientras que una fuente antropogénica común es el cultivo de la tierra. A diferencia del PM_{10} , el $PM_{2.5}$ es un contaminante secundario, lo que significa que fórmula por reacciones químicas entre otros gases, por lo tanto, se considera la fracción más dañina en comparación que PM_{10} (Zhao et al., 2018). Sin embargo, este último presenta mayores concentraciones en el ambiente, por lo que se asume como el principal contaminante indicador de las condiciones generales de calidad del aire.

En ese sentido, los reglamentos de la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente) y de la OMS (Organización Mundial de la Salud) establecieron un valor de Sudáfrica PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como límite medios diarios (Barlik, 2020). Sin embargo, se estimaron valores de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 h en Tailandia (Kliengchuay et al., 2021).

De acuerdo con Cantú (2020), algunas eventualidades ambientales progresan rápidamente así como las enfermedades nuevas, sin embargo los hechos ambientales exteriorizan las conductas irracionales de las personas, en el que predominan las determinaciones para llevar a cabo alteraciones en el contexto natural, consiguiendo sólo alteraciones en el equilibrio del ambiente; es decir, las actividades que las personas han desarrollado para sobrevivir, han modificado el orden natural de los ecosistemas.

De igual manera Cárdenas et al. (2020), expone que la problemática ambiental es un reto que viene acaeciendo a las ciudades cuyos procesos de urbanización y crecimiento poblacional ocurren aceleradamente sin planificación. A modo de ejemplo, Bogotá y Medellín son dos ciudades que han demostrado la prevalencia de problemas respiratorios en niños

expuestos a la contaminación atmosférica, así como los peligros de sobrepasar los límites máximos aceptables de la OMS (Moreno et al., 2021).

En el caso de Perú, a pesar de que no es un emisor significativo de gases comparado con otras naciones, es vulnerable a las variaciones climáticas drásticas que provocan una frecuencia de precipitación ordinaria, y a su vez, produce avenidas tardías con oleadas de corta duración pero intensas y alternándose con días secos. Por otro lado, las heladas y el exceso de irradiaciones solares altera el funcionamiento de los ecosistemas (Canales, 2018).

En este contexto, en el año 2009, Lima se consideró la ciudad con mayor contaminación, con un más de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , según el Banco Mundial. Asimismo, la Dirección de Salud aseveró que la morbilidad en Lima Metropolitana en el año 2006 y 2007 se debió en 25% a padecimientos respiratorios (Rojas et al., 2022).

Asimismo, la IQAir (2021) precisó que en el 2021 el Perú alcanzó el puesto número 33 del ranking mundial de los países con mayor contaminación, donde Lima, ocupó el puesto 15 a nivel de Sudamérica, obteniendo una concentración promedio anual de PM_{10} ascendente a $19,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual expone a su población al desarrollo de diferentes enfermedades cerebro-cardiovasculares, respiratorias y oncológicas.

En este sentido, los estudios precedentes en el ámbito internacional son los siguientes: Castro (2021) en su investigación analizó la concentración de material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} como función del lugar y el tiempo en la ciudad de Esmeralda. El estudio es aplicado con un enfoque cuantitativo. Los análisis de los resultados, indican que el 95% de las mediciones de $PM_{2.5}$ se hallan por debajo de $12 \text{ mg}/\text{m}^3$, por lo que un 5% de las medidas pasaron el nivel de contaminación, y el 100% de las mediciones de PM_{10} se hallaron dentro del rango permitido

de $0 - 54 \text{ mg/m}^3$ con un valor de 34 mg/m^3 . Se concluyó que el análisis los cálculos de $PM_{2.5}$ y PM_{10} se califican de buena según el ICA.

Orlandoni et al. (2021), en su trabajo publicado, comparó el nivel de material de tipo PM_{10} con el nivel de ozono troposférico, y evaluó como afecta la calidad atmosférica mediante métodos aplicados. Los resultados de las mediciones hechas para el esquema de circulación del tipo PP2 del material particulado PM_{10} dieron un valor de $47,67 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ veinte puntos debajo del valor mínimo permitido. Se concluyó que el esquema de circulación vial PP1 permite un 48% de ganancia ambiental, en comparación con el PP1 cuya ganancia es inferior al 3%.

Dung et al. (2019), en su artículo examinó como influyen los factores meteorológicos como, la humedad, la temperatura y velocidad el viento en la concentración de PM_{10} en el entorno urbano de Hanoi. El estudio es correlacional, con un enfoque cuantitativo. Los resultados indican que la concentración de PM_{10} tiene a variar estacionalmente, con una mayor concentración en el invierno, asimismo se observó una correlación entre la contaminación del aire y factores meteorológicos con una significancia de $<0,5$. Por tanto, los resultados concluyen que los factores meteorológicos afectan directamente en la cantidad de PM_{10} presente en el ambiente.

Barlik (2020), en su estudio, determinó el impacto de los parámetros meteorológicos como la temperatura del ambiente, presión del aire, humedad y velocidad de las corrientes de aire en las concentraciones de PM_{10} , la cual se desarrolló con métodos correlacionales. Los resultados del estudio, señalan que los parámetros seleccionados influyen de manera diferentes en la concentración de PM_{10} , siendo la presión del aire y la humedad las que generan mayor

concentración de PM_{10} , con un valor de correlación alto para la temperatura con 0,18470 y más bajo para a la presión del aire, con 0,00018 de correlación. Se concluye que las concentraciones de material particulado son más altas en invierno y otoño, debido al alto uso de calefacción a gas natural de las viviendas.

Di y Li (2019) en su artículo de investigación, realizaron el análisis del índice de calidad del aire en China durante la temporada de calefacción en Xián en un trienio. Se aplicaron métodos correlacionales para establecer la dependencia entre los factores de estudio. Los resultados de la investigación indican que enero presenta el grado de contaminación más alta con material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, asimismo se evidenció un incremento de NO_2 y O_3 . Se concluyó que las precipitaciones tienen cierto impacto en la calidad atmosférica en la ciudad de Xian, además de otros parámetros meteorológicos.

En el ámbito nacional, Picoy (2022) en su trabajo de grado, tuvieron como propósito principal, valorar la difusión de partículas tipo PM_{10} y $PM_{2.5}$ y su correlación con condiciones meteorológicas en Champamarca. La investigación es de tipo correlacional. Los resultados del estudio determinaron que existe una correlación del material particulado PM_{10} con componentes como temperatura, viento y humedad con coeficientes de relación de 0,07, 0,0 y 0,41 individualmente. Se concluye que la temperatura influye enfáticamente en la concentración de material particulado dentro del ambiente.

Durand y Burga (2021) en su investigación desarrollada en Cajamarca, evaluaron la cantidad existente de PM_{10} y $PM_{2.5}$ y su comparación con medidas de calidad natural desde 2012 hasta 2018, los métodos empleados correspondió formas descriptivo-explicativos con niveles aplicativos y diseños no experimentales. Los hallazgos más resaltantes concerniente que

la conglomeración promedio de PM_{10} más altas fueron 75,58 y 64,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el periodo 2014-2015; además la densidad de $PM_{2.5}$ se registraron cantidades elevadas en los años 2012 y 2016 con 65,91 y 57,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sin embargo, los resultados más bajos fueron 49,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2018. Es así como concluyeron que las concentraciones de PM_{10} no sobrepasan el ECA, sin embargo, las aglomeraciones de $PM_{2.5}$ superan el ECA, excepto el año 2018.

Cuadros (2021) en su trabajo de investigación de grado, determinó la relación existente de las condiciones meteorológicas y la calidad del aire producido por partículas 10 debido a la fabricación de ladrillos. La investigación es de tipo exploratoria. Los hallazgos indicaron que la concentración de PM_{10} exceden al mínimo permitido con un valor de 199,4425 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, asimismo el análisis estadístico señala que existe relación entre los parámetros meteorológico como la temperatura y la calidad atmosférica según el estadístico de RHO de Spearman con una significancia de 0,6, de igual manera la relación de otros parámetros, siendo la humedad, el parámetro con mayor relación, con una correlación de 0,806. Se concluyó que la baja calidad atmosférica se debe a la fabricación de ladrillos artesanales en la comunidad de Cullpa Baja.

Sánchez y Bautista (2019), en su tesis de grado, evaluaron calidad del aire de material PM_{10} y $PM_{2.5}$ y su interdependencia con la temperatura, humedad y velocidad de las corrientes de aire. La investigación es de tipo descriptiva. Los hallazgos demuestran que guardan una relación con las variables meteorológicas como el viento, humedad y temperatura, no obstante, no es significativa, asimismo los PM_{10} y $PM_{2.5}$ guardan una correlación inversa con la velocidad del viento, es decir a velocidades superiores del viento existe menor cantidad de estas partículas. Se concluye que, debido a la falta de investigaciones en la materia en la ciudad de Tarapoto, la investigación servirá como un referente para futuros estudios.

Oscategui (2020), en trabajo de grado, tuvo por objetivo, analizar las concentraciones de material particulado PM_{10} y su relación con agentes meteorológicos en el distrito de Ate en el periodo 2014-2018. La investigación es de tipo aplicada y descriptiva. Los resultados indicaron que la variación de las cantidades de PM_{10} desde el 2014 hasta 2018 han incrementado, representando el 2018 el 82% de los días de alta concentración. Se concluyó que los parámetros como la velocidad del viento, humedad relativa tienen correlación negativa, no obstante, la temperatura tiene una correlación positiva con la concentración de PM_{10} con un coeficiente centesimal de 22.

La contaminación del aire ambiental, la contaminación es uno de los tres principales factores de riesgo naturales desde la década de 1990 y se ha mantenido crítico para hombres y mujeres, especialmente enfermedades cardiovasculares y respiratorias y mortalidad, mientras que en 2010, la contaminación ambiental por PM representó 3,1 millones de defunciones mundiales, además en 2016, esta cifra aumentó a aproximadamente 4 millones de muertes (Petrowski et al., 2021).

Asociado con las diferentes condiciones meteorológicas, el tamaño y la composición de PM en la atmósfera varían ampliamente y podrían causar diversos peligros para la salud y efectos meteorológicos y climáticos en diferentes lugares (Fan et al., 2021). El cambio climático también tiene influencia en la producción de ozono y partículas finas ($PM_{2.5}$) al aumentar las tasas de reacción química en la atmósfera (Keswani et al., 2022).

En este sentido, en Beijing de 2006 a 2009 las estimaciones del efecto de PM_{10} fueron más fuertes en el nivel de temperatura alta para la mortalidad no accidental, cardiovascular y respiratoria que en el nivel de temperatura baja (Tian et al., 2018). Mientras que en Argentina,

el rango de temperatura es un fuerte factor de riesgo para ingresos por infecciones de las vías respiratorias superiores e inferiores, particularmente en personas de edad avanzada relacionada con la contaminación atmosférica por PM_{10} (Carreras et al., 2015).

En el caso del Perú, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) indica que las condiciones meteorológicas favorecer en la acumulación de contaminantes particulados y gaseosos en el aire afectando la calidad del aire, particularmente en el área metropolitana de Lima y Callao (SENAMHI, 2018).

El PM se clasifica principalmente de acuerdo con la distancia aerodinámica, por ejemplo, $PM_{2.5}$ y PM_{10} son partículas con anchos aerodinámicos menores o mayores a 2,5 y 10 μm , individualmente. Las partículas de entre 10 μm proceden básicamente de fuentes naturales, aunque también pueden ser provocadas por actividades humanas como la combustión de rellenos fósiles, la combustión mecánica de carbón, el debilitamiento del motor del vehículo, entre otros (Fan et al., 2021).

Con respecto a la deposición de estos contaminantes en el cuerpo, el PM_{10} generalmente se acumula en las vías respiratorias superiores, lo que puede provocar alteraciones en las membranas mucosas oculares y nasales. Mientras que, $PM_{2.5}$ puede viajar a las vías respiratorias pequeñas y ejercer su influencia en el espacio alveolar, así como a través de la membrana alvéolo-capilar, causando translocación sistémica a órganos extrapulmonares (Keswani et al., 2022).

Las mediciones en zonas urbanas indican que, más del 80% de los residentes están expuestos a niveles de calidad del aire que superan los límites de las pautas de la OMS, y los países de ingresos bajos y medianos sufren los niveles de exposición más altos, tanto en

interiores como en exteriores. Las fuentes de estos contaminantes del aire suelen estar más concentradas en las áreas urbanas, aunque los contaminantes pueden ser arrastrados por el viento de las fuentes urbanas y contribuir a los niveles de contaminación en las áreas circundantes (Sirithian y Thanatrakolsri, 2022).

Es así como la polución del aire ha tomado relevancia y realce dentro de las políticas ambientales en el mundo, por ello, en setiembre del año 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas, adoptó nuevas políticas para el desarrollo sostenible con proyección al 2030, teniendo como finalidad reducir el número de muertes y enfermedades respiratorias, así como la disminución del impacto ambiental negativo en las ciudades.

Sin embargo, se observó una reducción repentina de la concentración de contaminantes atmosféricos en muchos países entre fines del año 2020 y 2021. Durante este período, la mayoría de las actividades productivas en todo el mundo tuvieron que detenerse inesperadamente debido a la epidemia provocada por la reciente toxina SARS-CoV-2, y la enfermedad relacionada de COVID-19 (Pala et al., 2022).

Asimismo, las condiciones meteorológicas peculiares como la alta concentración de sal marina y arena traída por los vientos del este en el comienzo del confinamiento y un aumento coincidente de la velocidad del viento durante varios días podrían haber contribuido a este fenómeno. Se sabe que los factores meteorológicos desempeñan un papel importante en la modulación de la concentración de partículas y otros contaminantes debido a que el viento tiende a dispersarlos, mientras que temperaturas más bajas o más altas pueden crear condiciones favorables para concentraciones más altas (Pala et al., 2022).

Si bien es cierto, las medidas aplicadas de confinamiento por el coronavirus evidenciaron hasta un 17% de reducciones de emisiones de carbón (Organización de las Naciones Unidas, 2020), sin embargo, la reactivación de las economías y la nueva normalidad aportó consigo mayor acentuación de la contaminación atmosférica, por lo tanto, el presente estudio sobre el cambio climático frente a la COVID-19 en el sector del parque automotor y en la industria en Perú, permitirá comprender profundamente estos fenómenos para proyectar nuevas transformaciones sociales enfocadas en la responsabilidad ambiental y nuevas políticas ambientales más consistentes que garanticen el desarrollo sostenible para construir una sociedad fuerte que pueda adaptarse a las pandemias modernas (Begoña, 2020).

De acuerdo con el Centro Tyndall de Gran Bretaña, Perú es la tercera nación más vulnerable al cambio climático, debido a la geología y biodiversidad climática, pues posee 27 de los 32 climas en todo el mundo (Obando, 2021). Además, el INDC señala que se presentan siete de las nueve características necesarias para mencionada clasificación, por lo que, para el año 2050, se espera un aumento de la variabilidad de precipitación en 20% y una temperatura elevada en 2 °C (Avilez et al., 2017).

Al respecto, el reciente crecimiento económico en el Perú ha hecho necesario consumir más energía, además de recursos y servicios por personas y empresas, que producen la salida de toxinas y gases que modifican la calidad ambiental y afectan la salud de las personas, y perjudican el medio ambiente. En ese sentido, el Ministerio del ambiente (MINAM) se encarga de gestionar la calidad el aire teniendo en cuenta los contaminantes atmosféricos, químicos y físicos.

El Gobierno Peruano junto con el MINAM y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2022a) señalan que los índices de calidad del aire (INCA) estimados a Ministerio partir de las mediciones de las cantidades horarias de seis toxinas, de acuerdo con las estaciones de control de calidad discutidas, se incluyen parámetros como PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO, SO_2 , NO_2 y O_3 .

Es así como Carrión (2021) señala que el MINAM autorizó el plan de acción para la mejora de la calidad del aire en Lima y Callao (2021-2025) mismo que tiene como metas la disminución de los contaminantes atmosféricos para lograr un avance de los sistemas de monitoreo meteorológico y la calidad del aire en las áreas metropolitanas de los distritos; además de promover herramientas económicas para el fomento de tecnologías limpias y mejorar la competencia técnica de los funcionarios encargados de discutir la gestión de calidad en los gobiernos a nivel nacional. Debido al aumento de la polución de la atmósfera en Lima Metropolitana, los adultos mayores, adolescentes y niños con afecciones cardiacas y problemas respiratorios son los más afectados, por ello es importante calcular la calidad del aire, ya que es la solución para que los especialistas actualicen planes para anticipar daños al bienestar de miles de personas.

Desde la perspectiva del Ministerio del Ambiente (2022), las personas respiramos aire que tiene una estructura compleja, compuesto alrededor de mil sustancias distintas, donde destacan el oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, pues sin estos tres compuestos no sería posible la vida en la tierra. Así, la calidad del aire está relacionada directamente con su composición, donde la presencia y concentración de diversas sustancias determinan la calidad del aire, la cual

está indicada por la intensidad o concentración de contaminantes, la presencia o apariencia física de microorganismos.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI] (2018), la calidad del aire se refiere a la ausencia de contaminantes atmosféricos en el aire, lo cual es un indicador apto para respirar; porque un ambiente sin aire de calidad puede poner en peligro o dañar la salud humana. Además, el índice de calidad del aire (INCA) se calcula de las concentraciones por hora de seis parámetros y toma en consideración las estimaciones de las estaciones de control de calidad. Por tanto, se basa en un punto de adecuación según los umbrales de alerta, peligro y urgencia establecidos por los países (Medina, 2022).

Tabla 1

Índice de Calidad del Aire para partículas PM_{10}

Material Particulado (PM_{10}) Promedio 24 Horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentración	Ecuación
0 – 50	0 – 75	
51 – 100	76 - 150	$I (PM_{10}) = [PM_{10}] * 100 / 150$
101 – 167	151 - 250	
>167	>250	

CLASIFICACIÓN	VALORES DEL INCA	COLORES
Buena	0 - 50	Verde
Moderada	51 - 100	Amarillo
Mala	101 - 167	Anaranjado
VUEC*	>VUEC*	Rojo

Nota. Adaptado de Peralta (2017)

Por otro lado, el **estándar de calidad ambiental** (ECA) de aire es la medición que determina la cantidad de elementos, compuestos o factores físicos, biológicos y químicos que están presentes en el aire y que no representan una amenaza seria para el medio ambiente o la salud; a continuación, se enlistan las mediciones de contaminantes gaseosos del SENAMHI:

- **Material particulado con diámetro inferior a 10 micras (PM_{10}):** son diminutas partículas fuertes o fluidas transportadas de restos ordenados y ardientes, sedimentos, metales, cemento o polvo con una distancia aerodinámica más baja a través a $10\ \mu m$. Están compuestas principalmente por sustancias inorgánicas como silicatos y aluminatos, así como por metales pesados o materiales orgánicos unidos a partículas de carbono.
- **Material particulado con un diámetro inferior a 2.5 micras ($PM_{2.5}$):** se trata de partículas con un diámetro inferior a 2.5 micras; estas son tan diminutas que un microscopio electrónico es el único instrumento que puede detectarlas; todas las formas de combustión, incluidas las de los automóviles, las centrales eléctricas, los hogares donde se quema madera, los incendios forestales y otras actividades industriales, son fuentes de partículas finas.
- **Monóxido de carbono (CO):** es un gas incoloro y extremadamente tóxico, llegando a tener una frecuencia de monitoreo de una hora diaria.
- **Dióxido de azufre (SO_2):** conocido como óxido de azufre, es un gas inodoro de olor penetrante; también, es un material reductor que acaba convirtiéndose en trióxido de azufre durante la unión con la humedad, el cual, en circunstancias típicas, no produce reacciones inmediatas.

- **Dióxido de nitrógeno (NO_2):** conocido como óxido de nitrógeno, esta es una molécula química creada por los elementos de nitrógeno y oxígeno, cuyo color es marrón amarillento, en los procesos de combustión a alta temperatura, como los de los autos y centrales eléctricas, se produce como un subproducto, por ello su contaminación es frecuente en zonas urbanas.
- **Ozono (O_3):** puede ser un oxidante efectivo que produce impactos desfavorables en el bienestar de las personas, por lo que es fundamental observarlo ocho horas al día.

1.2. Formulación del problema

Problema general:

¿Cuál es la relación de la calidad del aire por PM_{10} con los factores meteorológicos de humedad y temperatura en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022?

Problemas específicos

¿Cuál es la información de SENAMHI sobre los factores meteorológicos de humedad y temperatura durante los años 2018 - 2022 en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima?

¿Cuál es el índice de la calidad del aire (INCA) en el distrito de Santa Anita de los parámetros PM_{10} durante los años 2018 al 2022?

¿Cuál es la comparación de los resultados obtenidos con los estándares de calidad ambiental del aire (ECA) en el distrito de Santa Anita durante los años 2018 al 2022?

1.3. Objetivos

Objetivo general

Determinar la calidad del aire por PM_{10} y su relación con los factores meteorológicos de humedad y temperatura en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022.

Objetivos específicos

Recopilar información de SENAMHI sobre los factores meteorológicos de humedad y temperatura durante los años 2018 - 2022 en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima.

Determinar el índice de la calidad del aire (INCA) en el distrito de Santa Anita de los parámetros PM_{10} durante los años 2018 al 2022.

Comparar los resultados obtenidos con los estándares de calidad ambiental del aire (ECA) en el distrito de Santa Anita durante los años 2018 al 2022.

1.4. Hipótesis

Existe relación de la calidad del aire por PM_{10} con los factores meteorológicos de humedad y temperatura en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de investigación

El estudio presentó un enfoque cuantitativo, según Ñaupas et al. (2018), empleando métodos y técnicas que permitieron medir las variables en estudio; es decir, este enfoque utilizó la recolección y análisis de datos hasta la comprobación de las hipótesis; al respecto, para la obtención de la información se utilizó un instrumento que permitió recabar datos que fueron cuantificados para comprobar la posible relación entre la temperatura y humedad relativa con la contaminación por partículas PM_{10} en el distrito de Santa Anita.

Nivel de investigación

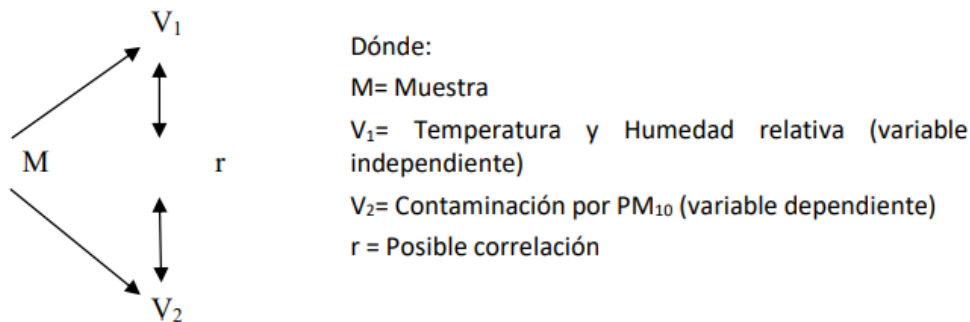
Además, el nivel descriptivo de acuerdo con Gallardo y Calderon (2017) comprendió el registro, análisis, descripción e interpretación de la naturaleza actual; también busca describir los datos y caracterizar el fenómeno de estudio; en ese sentido, el investigador midió la presencia de los fenómenos dentro de la población, a su vez, la investigación fue transversal, ya que, a que implicó la recopilación de información durante un período de tiempo comprendido durante los años 2018 al 2022.

Diseño experimental de investigación

El diseño no experimental según Arias y Covinos (2021), no admite que las variables sean manipulados, por el contrario, se consideraron la evaluación de las variables en su contexto natural; al respecto, el investigador se limitó a evaluar el comportamiento de los fenómenos (variables) en su contexto natural, sin ejercer manipulación alguna, evitando la alteración de las situaciones. Por otro lado, se aplicaron métodos correccionales entre los factores meteorológicos y la calidad del aire en el distrito de Santa Anita.

Figura 1

Diseño de investigación



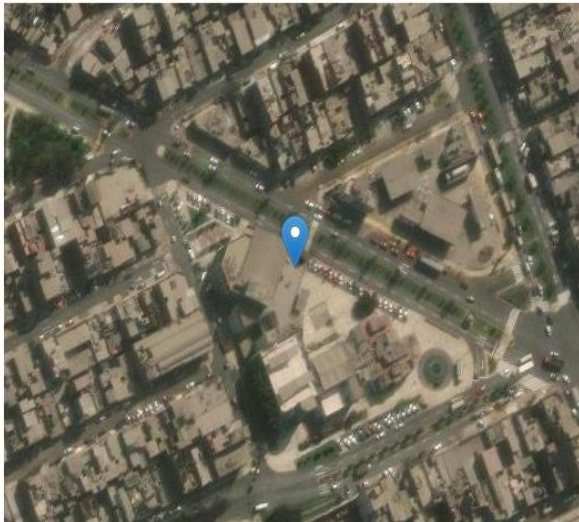
Nota. (Galloza & Ponce, 2022)

Población y muestra

La población definida por Ñaupas et al. (2018) como el número total de elementos que disponen de características necesarias para ser consideradas parte de una investigación; en ese sentido la población estuvo compuesta por la información que maneja el SENAMHI sobre los factores meteorológicos de humedad y temperatura, así como el contaminante de PM_{10} en el distrito de Santa Anita durante todo el período de operación desde el 2011 hasta la actualidad. Mientras que la muestra, es una parte significativa de la población, estos elementos deben poseer características similares y necesarias; en ese sentido, la muestra estuvo conformada por los datos sobre los factores meteorológicos de humedad y temperatura, así como el contaminante de PM_{10} en el distrito de Santa Anita comprendido entre los años 2018 al 2022.

Figura 2

Ubicación de la Estación de monitoreo Santa Anita



Inforación general

PROPIETARIO	SENAMHI
OPERADOR	Dirección de Redes de Observación y Datos
PROVINCIA	LIMA
DISTRITO	SANTA ANITA
COORDENADAS	-12.04302 -76.97144
RECEPCIÓN DE DATOS	En Línea
INICIO DE OPERACIÓN	14/06/2011

Nota. Adaptado de SENAMHI (2022b).

Técnica e instrumento de recolección de datos

La técnica a emplear fue el análisis documental como expresa Arias y Covinos (2021), este se guía en un proceso de revisión que se emplea para obtener datos del contenido; en ese sentido, los registros de monitoreo en la base de datos del SENAMHI fueron las fuentes principales que permitieron al investigador adquirir datos necesarios para el desarrollo de sus resultados. Siendo la ficha de análisis documental, el cual permitió recopilar información y datos de las fuentes que se consultaron, se ordenaron y planificaron las fichas tomando en consideración los datos que se buscaban para la presente investigación.

Sin embargo, es importante destacar que la estación de monitoreo Santa Anita se sitúa en la azotea del Palacio Municipal a una altura de la toma de muestra 13 metros, donde los instrumentos utilizados por el organismo técnico especializado para el monitoreo de las

variables corresponden a una microbalanza oscilatoria Monitor TEOM 1405 de marca THERMO SCIENTIFIC para medir el material particulado menor a 10 micras (PM_{10}), un sensor de transductor de temperatura del aire de marca SIAP+MICROS para medir la humedad y temperatura, ambos equipos operan con una técnica de medición automática.

La calibración de los equipos de medición se llevaba a cabo en la instalaciones de Laboratorio de Instrumental Hidrometeorológico, el cual cambio de denominación a Centro de diagnóstico, mantenimiento, y calibración de instrumentos y equipos de estaciones meteorológicas, hidrológicas y de vigilancia atmosférica (CEDIMAC) en el 2022, en donde se gestiona el diagnóstico, mantenimiento, comprobación y calibración de instrumentos, equipos y estaciones meteorológicas, hidrológicas y de vigilancia atmosférica según sea necesario para asegurar la provisión datos de manera oportuna y confiable (SENAMHI, 2022c).

Además, la validación de los datos, la validación de los datos horarios y la identificación de la confiabilidad es registrado por el organismo técnico especializado con una frecuencia anual, considerando datos inválidos cuando superan los límites superiores e inferiores fijados en el equipo de medición. De esta manera, en la Estación Santa Anita, el desempeño de los equipos automáticos de PM_{10} fue regular porque sus porcentajes de captura de datos válidos horarios durante el año estuvieron entre el 50 % y 75 % (Sánchez et al., 2015).

Esta situación condicionó la ausencia de datos en algunos monitoreos diarios, lo cual puede ser ocasionado por diversas razones que incluyen días de mantenimiento o averías del equipo o sistema eléctrico, inasistencia del personal, entre otros. Además, se pueden presentar datos no consistentes por motivo de la mala calibración del equipo, ausencia de mantenimiento del equipo, cambio inoportuno de filtros para la toma de muestras (Oscategui, 2020).

Procedimientos

Los procedimientos de la investigación incluyeron la recopilación de los datos brindados por el SENAMHI, donde se tomó en cuenta los contaminantes gaseosos obtenidos de las estaciones de monitoreo del distrito de Santa Anita durante los años 2018 al 2022, también se obtuvieron datos secundarios de los parámetros meteorológicos incluida la temperatura atmosférica (T) y la humedad relativa (RH). Esta base contiene valores por hora y diaria, por ello se realizaron algunos ajustes, logrando obtener información en base al promedio mensual y anual.

Además, los datos obtenidos se compararon con los valores determinados en los Estándares de Calidad del Aire (ECA) y el Índice de Calidad del Aire (INCA) para determinar la calidad del aire en el distrito de Santa Anita. Al final, se presentó la información en forma de tablas y figuras, las cuales fueron interpretados, tratando de concretar cada objetivo, a partir de las cuales, además de contrastar hipótesis, se podrán realizar discusiones de investigación y conclusiones.

Procesamiento de datos

Se utilizó la herramienta estadística SPSS para evaluar la relación entre la concentración de PM_{10} y los factores meteorológicos mediante el coeficiente de correlación de Spearman (r). Además, los aspectos éticos, de la investigación fueron el uso de información y datos proporcionada por fuentes confiables como el SENAMHI la cual concentra información diaria y mensual de los contaminantes gaseosos de la provincia de Lima; así mismo, la investigación consideró fundamental respetar el derecho de autor, en donde se consignaron los lineamientos establecidos por las normas APA séptima edición.

Aspectos éticos

El estudio se desarrolló en base a la metodología y reglas propuestas por la Institución educativa superior, además se garantiza los principios de honestidad, originalidad y autenticidad de los datos. Por otro lado, se considera el respeto en la autoría y los derechos de los autores que contribuyeron a este trabajo con su investigación mediante el citado correcto a fin de evitar plagio.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

La obtención de los resultados en la presente investigación conforme al primer objetivo planteado se muestra sobre la recopilación de información de SENAMHI en relación con las concentraciones de PM_{10} durante los años 2018 - 2022 en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima.

Tabla 2

Concentración de PM_{10} por año

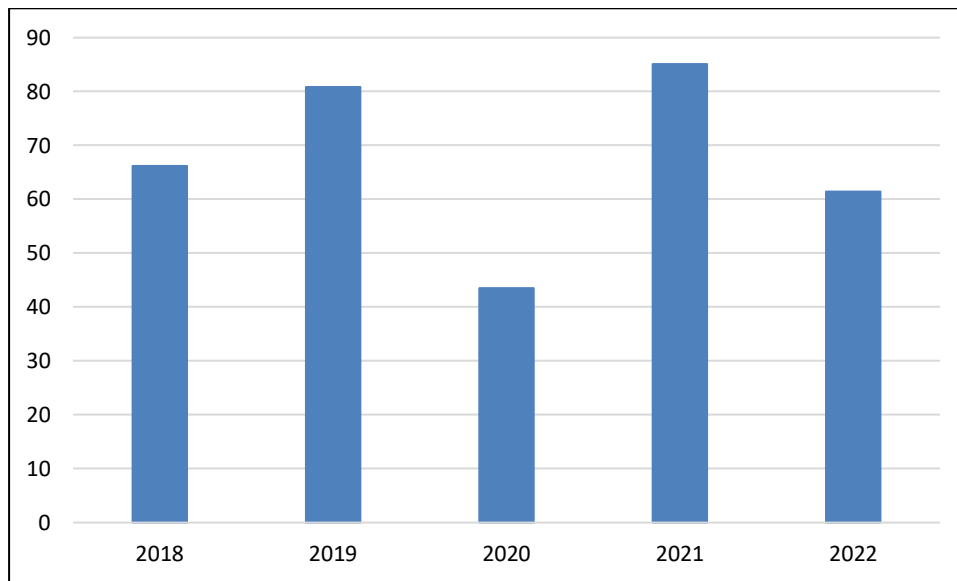
MESES	PM_{10} $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por año					Promedio mensual
	2018	2019	2020	2021	2022	
Enero	64,69	52,31	52,89	73,17	40,36	56,69
Febrero	S/D	55,10	34,51	92,46	43,34	56,35
Marzo	S/D	73,47	24,66	72,34	38,40	52,22
Abril	64,40	81,33	22,20	99,47	49,49	63,38
Mayo	73,60	85,98	25,25	110,01	81,08	75,18
Junio	53,18	58,63	26,55	56,73	77,84	54,59
Julio	61,26	S/D	31,30	50,46	66,71	52,43
Agosto	62,30	S/D	32,52	103,08	77,88	68,95
Setiembre	84,64	105,22	66,61	122,76	70,31	89,91
Octubre	67,51	106,54	68,70	96,15	68,06	81,39
Noviembre	66,24	76,01	38,63	S/D	55,36	59,06
Diciembre	64,05	113,63	98,73	59,50	68,64	80,91
Promedio anual	66,19	80,82	43,55	85,10	61,46	

En la Tabla 2 y Figura 3 se puede observar que el período anual de 2021 presentó mayor significancia con concentraciones de PM_{10} en $85,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras en relación con el periodo

mensual se obtuvo que el mes de setiembre presentó mayor significancia con concentraciones de PM_{10} en $89,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 3

Evolución de las concentraciones de PM_{10}



Por otro lado, la recopilación de información de SENAMHI en relación con los factores meteorológicos durante los años 2018 - 2022 en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3

Temperatura por año

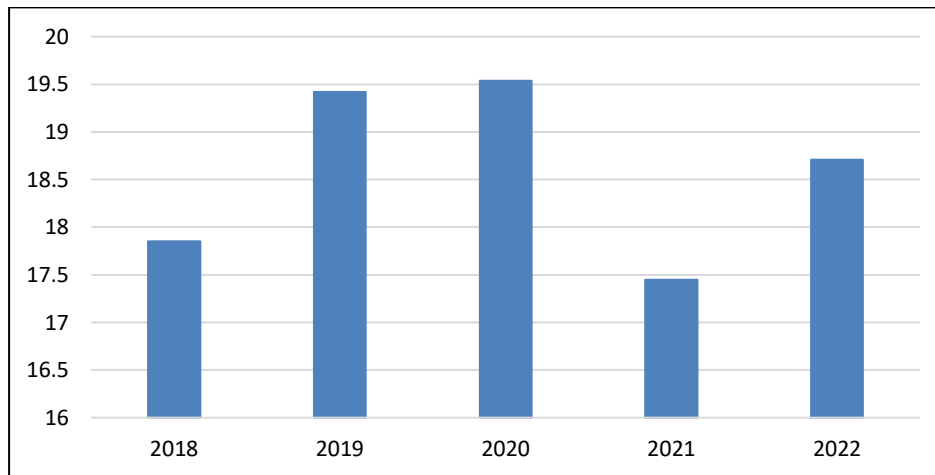
MESES	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) por año					Promedio mensual
	2018	2019	2020	2021	2022	
Enero	22,15	23,34	23,05	S/D	22,76	22,83
Febrero	S/D	25,49	24,51	S/D	23,73	24,58

Marzo	S/D	24,48	25,04	S/D	24,09	24,54
Abril	S/D	22,58	23,06	21,17	20,79	21,90
Mayo	18,56	S/D	19,70	18,34	17,88	18,62
Junio	15,89	15,86	16,89	16,73	15,99	16,27
Julio	15,62	15,01	15,47	15,87	14,95	15,38
Agosto	15,12	14,75	15,44	15,49	14,68	15,10
Setiembre	15,99	15,67	16,06	15,76	15,04	15,70
Octubre	17,33	16,66	17,65	16,04	15,71	16,68
Noviembre	18,86	18,89	18,06	17,90	18,18	18,38
Diciembre	21,17	20,93	S/D	19,79	20,67	20,64
Promedio anual	17,85	19,42	19,54	17,45	18,71	

En la Tabla 3 y Figura 4 se puede observar que el período anual de 2020 presentó mayor significancia con valores de temperatura en 19,54 °C, mientras en relación con el periodo mensual se obtuvo que el mes de febrero presentó mayor significancia con valores de temperatura en 24,58 °C.

Figura 4

Evolución de la temperatura



En la Tabla 4 y Figura 5 se puede observar que el período anual de 2018 presentó mayor significancia con valores de humedad en 84,18%, mientras en relación con el periodo mensual se obtuvo que el mes de julio presentó mayor significancia con valores de humedad en 86,93%.

Tabla 4

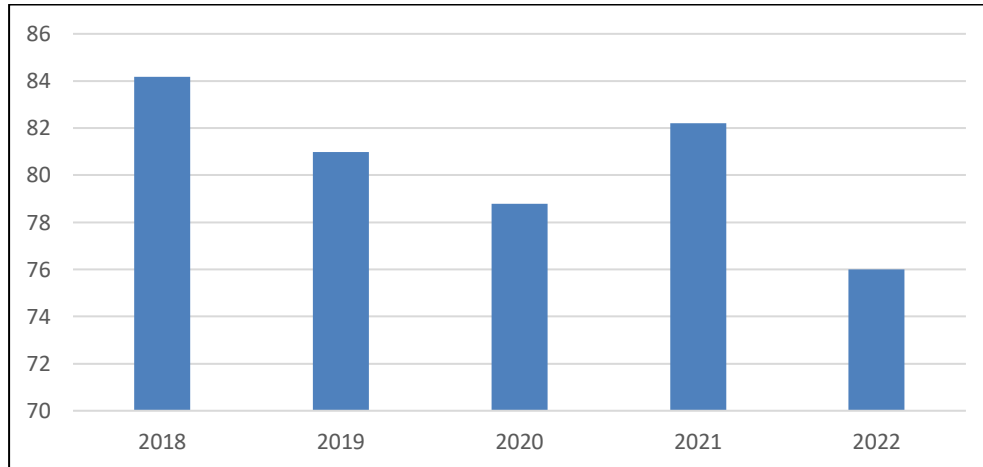
Humedad por año

MESES	Humedad (%) por año					Promedio mensual
	2018	2019	2020	2021	2022	
Enero	80,86	75,39	77,97	S/D	71,45	76,42
Febrero	S/D	70,90	74,80	S/D	65,05	70,25
Marzo	S/D	68,64	69,40	S/D	63,07	67,04
Abril	S/D	76,40	71,68	71,50	71,70	72,82
Mayo	86,29	S/D	78,47	82,45	77,25	81,12

Junio	87,04	88,43	84,07	87,31	80,71	85,51
Julio	89,14	90,89	84,33	86,08	84,22	86,93
Agosto	88,27	88,55	84,09	86,47	85,22	86,52
Setiembre	85,68	87,30	82,82	83,37	82,66	84,37
Octubre	83,03	83,28	80,42	83,81	80,12	82,13
Noviembre	80,01	81,25	78,66	80,58	77,03	79,51
Diciembre	77,27	79,91	S/D	78,25	73,41	77,21
Promedio anual	84,18	80,99	78,79	82,20	75,99	

Figura 5

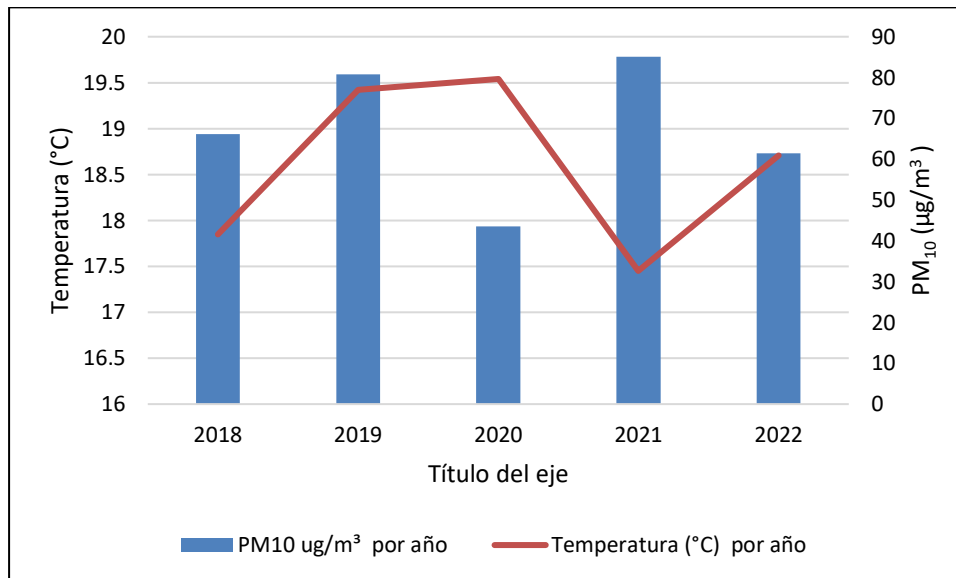
Evolución de la humedad



En el caso de la relación de la temperatura y la concentración del PM_{10} , según la figura 6, se evidencia que cuando la temperatura fue menor hubo mayor cantidad de material particulado durante el 2018, por el contrario, en los períodos de 2019 y 2022 se encontró que, a mayor temperatura, mayor cantidad de material particulado.

Figura 6

Variación anual de la temperatura y la concentración del PM_{10}

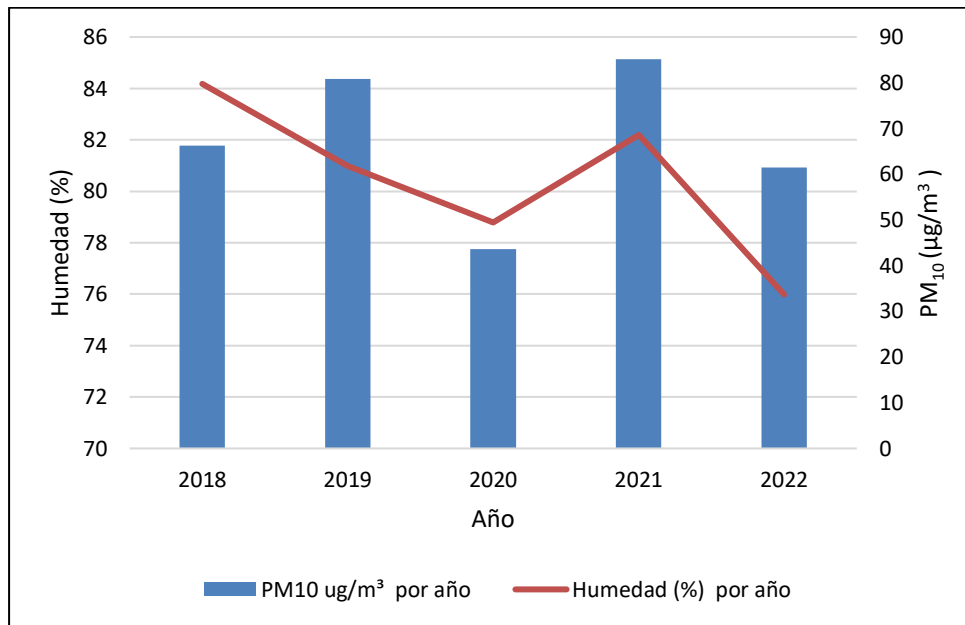


Sin embargo, sucedió una variación anómala en el año 2020 que presentó una elevada temperatura, pero bajas concentraciones de PM_{10} , mientras que el año 2021 se observó una baja temperatura, pero altas concentraciones de PM_{10} , lo cual puede deberse al contexto de la pandemia.

Por otro lado, la relación de la humedad y la concentración del PM_{10} , según la figura 7, se evidencia que las condiciones elevadas de humedad presentaron concentraciones inferiores de materiales particulados en los años de 2018 y 2020, mientras que una humedad inferior condicionó mayores concentraciones de materiales particulados durante los periodos de 2019, 2021 y 2022.

Figura 7

Variación anual de la humedad y la concentración del PM_{10}



Referente al índice de la calidad del aire (INCA) en el distrito de Santa Anita de los parámetros PM_{10} durante los años 2018 al 2022, en donde se obtuvo los valores de $44,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $53,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $29,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $56,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $40,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para todos 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 respectivamente, lo cual significa que el nivel de contaminación de aire se encuentra en estado bueno para todos los períodos, debido la concentración de PM_{10} se incluye en el intervalo de relación 0 a 50, a excepción de 2019 y 2021 que presentaron valores entre 51 – 100, como se detalla en la tabla 5.

Tabla 5

Calculo del índice de la calidad del aire anual

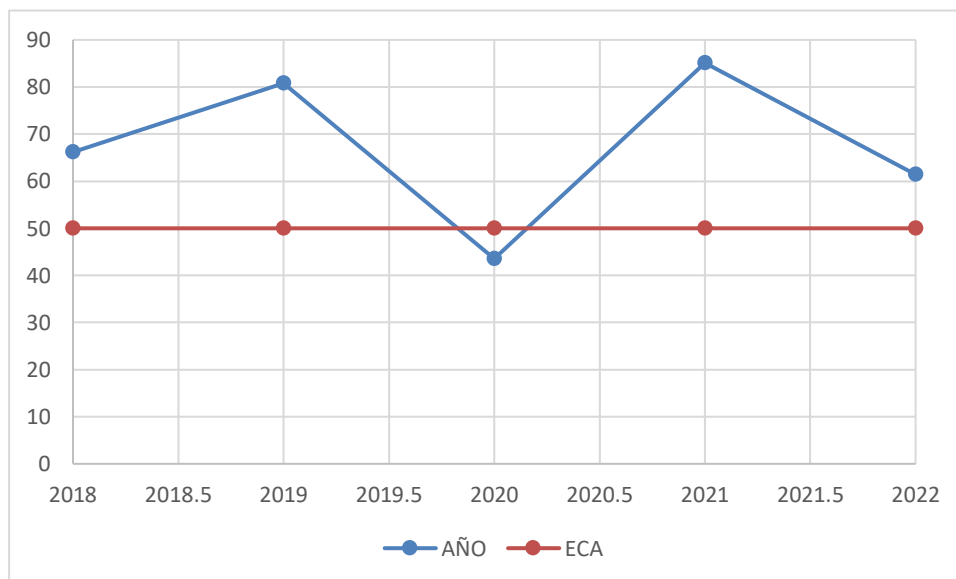
Período	Concentración de PM_{10}	INCA	Intervalo de concentración PM_{10}	Intervalo de INCA	Nivel de contaminación de aire
---------	----------------------------	------	--------------------------------------	-------------------	--------------------------------

2018	66,19	44,13	0 - 75	0 - 50	Buena
2019	80,82	53,88	0 - 75	51 - 100	Moderada
2020	43,55	29,03	0 - 75	0 - 50	Buena
2021	85,10	56,73	0 - 75	51 - 100	Moderada
2022	61,46	40,97	0 - 75	0 - 50	Buena

Los resultados obtenidos se comparan en relación con los estándares de calidad ambiental del aire (ECA) en el distrito de Santa Anita tanto a escala anual como escala diaria. En primer lugar, los estándares anuales demostraron que el año 2020 tuvo una concentración menor que el ECA, sin embargo, los demás períodos superaron el ECA.

Figura 8

Comparación de ECA anual

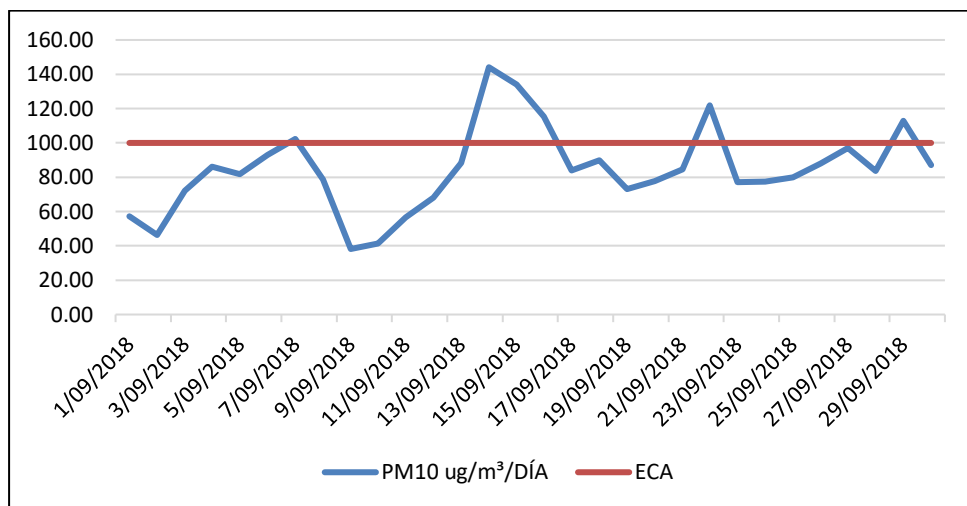


Por otro lado, en relación con los estándares de calidad diaria en base al valor de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se realizó la comparación con el mes que resultó en mayor contaminación del aire por

materiales particulados PM₁₀, de esta manera se analizó el mes de setiembre durante los años 2018 al 2022.

Figura 9

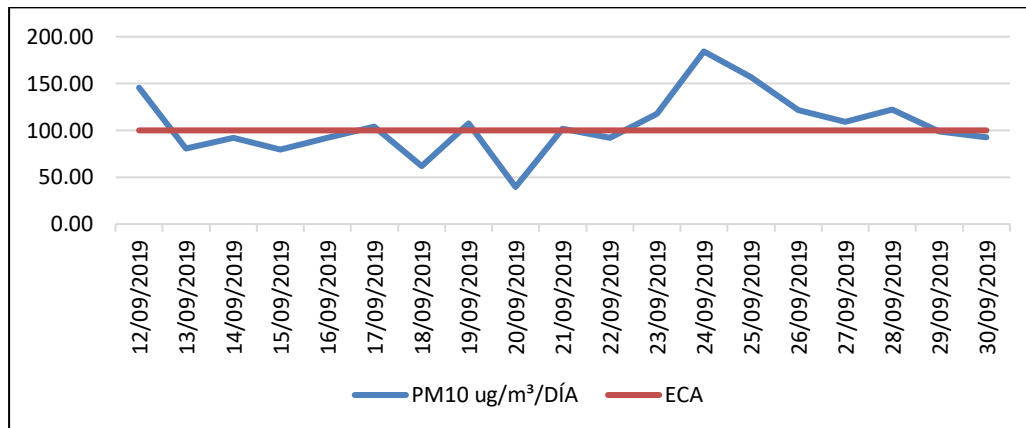
Concentración diaria de PM₁₀ en setiembre del 2018



La figura 9 presenta las estimaciones del material particulado PM₁₀ con mayor significancia obtenida el 14/09/2018 que presentó valores de 144,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que exceden el ECA-aire cuyo límite de cuantificación establece una concentración de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 10

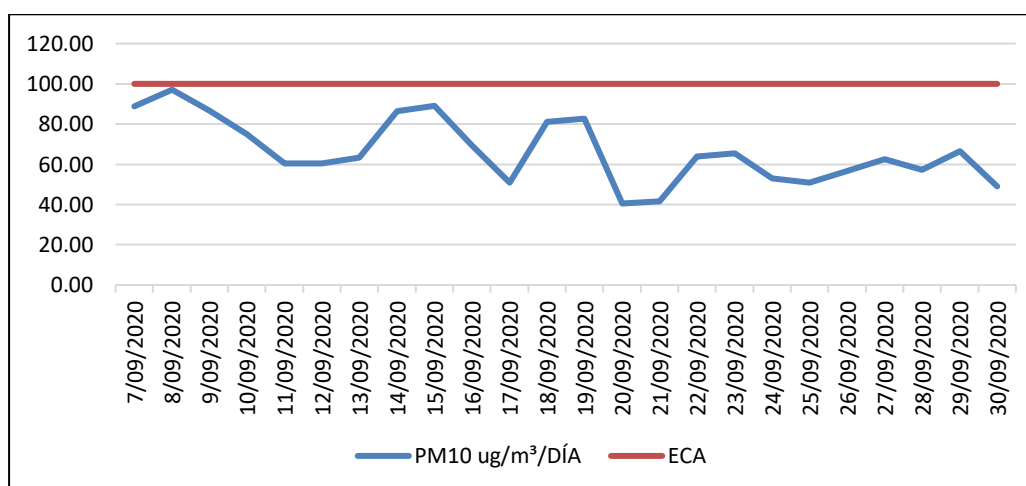
Concentración diaria de PM₁₀ en setiembre del 2019



La figura 10 presenta las estimaciones del material particulado PM₁₀ con mayor significancia obtenida el 24/09/2019 que presentó valores de 184,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que exceden el ECA-aire cuyo límite de cuantificación establece una concentración de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 11

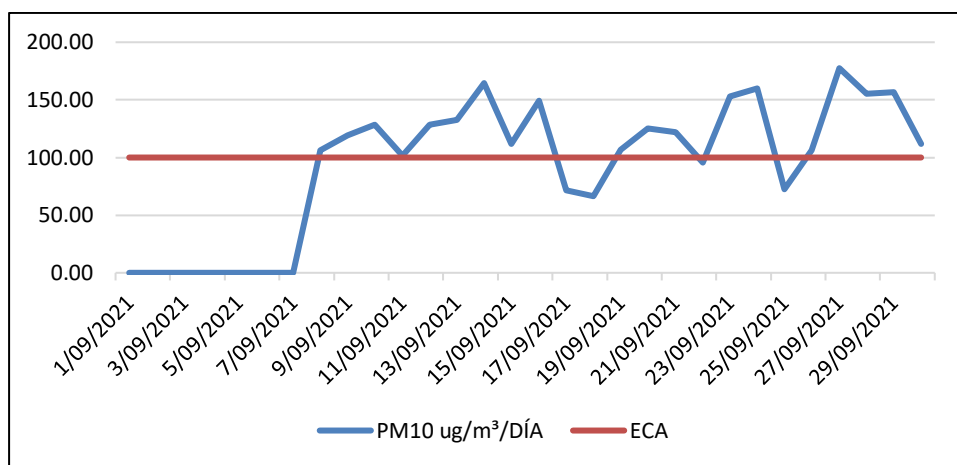
Concentración diaria de PM₁₀ en setiembre del 2020



La figura 11 presenta las estimaciones del material particulado PM₁₀ con mayor significancia obtenida el 08/09/2020 que presentó valores de 97,10 µg/m³, que es inferior al ECA-aire cuyo límite de cuantificación establece una concentración de 100 µg/m³.

Figura 12

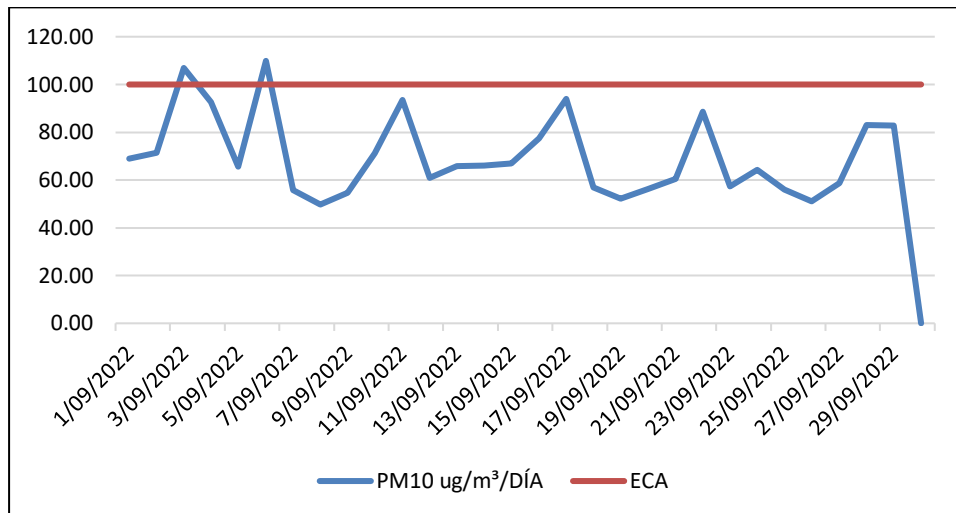
Concentración diaria de PM₁₀ en setiembre del 2021



La figura 12 presenta las estimaciones del material particulado PM₁₀ con mayor significancia obtenida el 27/09/2021 que presentó valores de 177,50 µg/m³, que exceden el ECA-aire cuyo límite de cuantificación establece una concentración de 100 µg/m³.

Figura 13

Concentración diaria de PM₁₀ en setiembre del 2022



La figura 13 presenta las estimaciones del material particulado PM₁₀ con mayor significancia obtenida el 06/09/2022 que presentó valores de 109,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que exceden el ECA-aire cuyo límite de cuantificación establece una concentración de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Análisis estadístico

Tabla 6

Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2018

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2018	.714	12	.001
TEMPERATURA (°C) 2018	.768	12	.004
HUMEDAD (%) 2018	.629	12	.000

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 6 se observa que al aplicar la prueba de Shapiro – Wilk, se obtiene una significancia menor a 0.05 para la calidad de viento, temperatura y humedad durante el año 2018, es decir, no siguen una distribución normal, por lo tanto, se utilizara la prueba no paramétrica Rho de Spearman.

Tabla 7

Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2018

			PM ₁₀ µg/m ³ 2018	TEMPERATURA (°C) 2018
Rho de Spearman	PM ₁₀ µg/m ³ 2018	Coefficiente de correlación	1.000	.607
		Sig. (bilateral)	.	.036
		N	12	12
	TEMPERATURA (°C) 2018	Coefficiente de correlación	.607	1.000
		Sig. (bilateral)	.036	.
		N	12	12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 7, luego de aplicar la prueba no paramétrica Rho de Spearman, se obtuvo una significancia menor a 0.05 (sig. = 0.036), por lo que existe relación entre la calidad del aire y la temperatura, asimismo se puede observar un coeficiente de correlación igual a 0.607, lo que determina que la relación existente es positiva y moderada.

Tabla 8

Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2018

			PM ₁₀ µg/m ³ 2018	HUMEDAD (%) 2018
Rho de Spearman	PM ₁₀ µg/m ³ 2018	Coefficiente de correlación	1.000	.198

	Sig. (bilateral)	.	.538
	N	12	12
HUMEDAD (%) 2018	Coefficiente de correlación	.198	1.000
	Sig. (bilateral)	.538	.
	N	12	12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 8, luego de aplicar la prueba no paramétrica Rho de Spearman, se obtuvo una significancia mayor a 0.05 (sig. = 0.538), por lo que no existe relación entre la calidad del aire y la humedad.

Tabla 9

Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2019

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
PM ₁₀ µg/m ³ 2019	.897	12	.146
TEMPERATURA (°C) 2019	.843	12	.031
HUMEDAD (%) 2019	.605	12	.000

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 9 se observa que al aplicar la prueba de Shapiro – Wilk, se obtiene una significancia mayor a 0.05 para la calidad de viento, pero menor a 0.05 para la temperatura y humedad, por ello, al no existir un comportamiento no paramétrico, se utilizara la prueba no paramétrica Rho de Spearman.

Tabla 10

Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2019

		PM ₁₀ µg/m ³ 2019		TEMPERATURA (°C) 2019
Rho de Spearman	PM ₁₀ µg/m ³ 2019	Coefficiente de correlación	1.000	.011
		Sig. (bilateral)	.	.974
		N	12	12
		TEMPERATURA (°C) 2019		Coefficiente de correlación
		Sig. (bilateral)	.974	.
		N	12	12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 10, luego de aplicar la prueba no paramétrica Rho de Spearman, se obtuvo una significancia mayor a 0.05 (sig. = 0.974), por lo que no existe relación entre la calidad del aire y la temperatura.

Tabla 11

Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2019

		PM ₁₀ µg/m ³ 2019		HUMEDAD (%) 2019
Rho de Spearman	PM ₁₀ µg/m ³ 2019	Coefficiente de correlación	1.000	-.270
		Sig. (bilateral)	.	.397
		N	12	12
		HUMEDAD (%) 2019		Coefficiente de correlación
		Sig. (bilateral)	.397	.
		N	12	12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 11, luego de aplicar la prueba no paramétrica Rho de Spearman, se obtuvo una significancia mayor a 0.05 (sig. = 0.397), por lo que no existe relación entre la calidad del aire y la humedad.

Tabla 12

Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2020

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
PM ₁₀ µg/m ³ 2020	.829	12	.020
TEMPERATURA (°C) 2020	.811	12	.012
HUMEDAD (%) 2020	.517	12	.000

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 12 se observa que al aplicar la prueba de Shapiro – Wilk, se obtiene una significancia menor a 0,05 para la calidad de viento, temperatura y humedad durante el año 2020, es decir, no siguen una distribución normal, por lo tanto, se utilizara la prueba no paramétrica Rho de Spearman.

Tabla 13

Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2020

		PM10 µg/m ³ 2020		TEMPERATURA (°C) 2020
Rho de Spearman	de PM ₁₀ µg/m ³ 2020	Coefficiente de correlación	de 1.000	-.490
		Sig. (bilateral)	.	.106
		N	12	12
	TEMPERATURA (°C) 2020	Coefficiente de correlación	de -.490	1.000
		Sig. (bilateral)	.106	.

N 12 | 12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 13, luego de aplicar la prueba no paramétrica Rho de Spearman, se obtuvo una significancia mayor a 0,05 (sig. = 0,106), por lo que no existe relación entre la calidad del aire y la temperatura.

Tabla 14

Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2020

		PM ₁₀ µg/m ³ 2020	HUMEDAD (%) 2020
Rho de Spearman	PM ₁₀ µg/m ³ 2020	1.000	.021
	Sig. (bilateral)	.	.948
	N	12	12
HUMEDA D (%) 2020	Coefficiente de correlación	.021	1.000
	Sig. (bilateral)	.948	.
	N	12	12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 14, luego de aplicar la prueba no paramétrica Rho de Spearman, se obtuvo una significancia mayor a 0,05 (sig. = 0,948), por lo que no existe relación entre la calidad del aire y la humedad.

Tabla 15

Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2021

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
PM ₁₀ µg/m ³ 2021	.927	12	.353
TEMPERATURA (°C) 2021	.734	12	.002
HUMEDAD (%) 2021	.639	12	.000

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 15 se observa que al aplicar la prueba de Shapiro – Wilk, se obtiene una significancia mayor a 0,05 para la calidad de viento, pero menor a 0,05 para la temperatura y humedad para el año 2021, por ello, al no existir un comportamiento no paramétrico, se utilizara la prueba no paramétrica Rho de Spearman.

Tabla 16

Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2021

			$PM_{10} \mu g/m^3$ 2021	TEMPERATURA (°C) 2021
Rho Spearman	de $PM_{10} \mu g/m^3$ 2021	Coefficiente de correlación	1.000	-.056
		Sig. (bilateral)	.	.862
		N	12	12
	TEMPERATURA (°C) 2021	Coefficiente de correlación	-.056	1.000
		Sig. (bilateral)	.862	.
		N	12	12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 16, luego de aplicar la prueba no paramétrica Rho de Spearman, se obtuvo una significancia mayor a 0.05 (sig. = 0.862), por lo que no existe relación entre la calidad del aire y la temperatura.

Tabla 17

Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2021

			$PM_{10} \mu g/m^3$ 2021	HUMEDAD (%) 2021
Rho de Spearman	$PM_{10} \mu g/m^3$ 2021	Coefficiente de correlación	1.000	.014
		Sig. (bilateral)	.	.965
		N	12	12
	HUMEDAD (%) 2021	Coefficiente de correlación	.014	1.000
		Sig. (bilateral)	.965	.

	N	12	12
--	---	----	----

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 17, luego de aplicar la prueba no paramétrica Rho de Spearman, se obtuvo una significancia mayor a 0.05 (sig. = 0.965), por lo que no existe relación entre la calidad del aire y la humedad.

Tabla 18

Prueba de normalidad de calidad del viento, temperatura y humedad en 2022

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
PM ₁₀ µg/m ³ 2022	.902	12	.167
TEMPERATURA (°C) 2022	.885	12	.103
HUMEDAD (%) 2022	.941	12	.505

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 18 se observa que al aplicar la prueba de Shapiro – Wilk, se obtiene una significancia mayor a 0.05 para la calidad de viento, temperatura y humedad durante el año 2022, es decir, siguen una distribución normal, por lo tanto, se utilizara la prueba paramétrica de Pearson.

Tabla 19

Relación entre la calidad del viento y la temperatura en el año 2022

		PM ₁₀ µg/m ³ 2022	TEMPERATURA (°C) 2022
		PM ₁₀ µg/m ³ 2022	Correlación de Pearson
	Sig. (bilateral)		.001
	N	12	12
TEMPERATURA (°C) 2022	Correlación de Pearson	-.839	1
	Sig. (bilateral)	.001	
	N	12	12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 19, luego de aplicar la prueba de Pearson, se obtuvo una significancia menor a 0.05 (sig. = 0.001), por lo que existe relación entre la calidad del aire y la temperatura, asimismo se obtuvo un coeficiente de correlación igual a -0.839, por lo tanto, la relación es negativa y considerable.

Tabla 20

Relación entre la calidad del viento y la humedad en el año 2022

		PM ₁₀ µg/m ³ 2022	HUMEDAD (%) 2022
PM ₁₀ µg/m ³ 2022	Correlación de Pearson	1	.820
	Sig. (bilateral)		.001
	N	12	12
HUMEDAD (%) 2022	Correlación de Pearson	.820	1
	Sig. (bilateral)	.001	
	N	12	12

Nota: IBM SPSS 27

En la tabla 20, luego de aplicar la prueba de Pearson, se obtuvo una significancia menor a 0.05 (sig. = 0.001), por lo que existe relación entre la calidad del aire y la humedad, asimismo se obtuvo un coeficiente de correlación igual a 0.820, por lo tanto, la relación es positiva y considerable.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

La calidad del aire por PM_{10} y su relación con los factores meteorológicos de humedad y temperatura en el distrito de Santa Anita, se encontró que la mayor temperatura en $19,54\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la mayor humedad en 84.18% , resultando que a mayor temperatura, mayor cantidad de PM_{10} , mientras que la menor humedad condicionó mayores concentraciones de PM_{10} . De esta manera, el coeficiente de correlación de la calidad de aire con la temperatura es -0.839 , y con la humedad se obtuvo un coeficiente de correlación igual a 0.820 .

En cambio, Dung et al (2019) indica que la concentración de PM_{10} tiene a variar estacionalmente, con una mayor concentración en el invierno, asimismo se observó una correlación entre la contaminación del aire y factores meteorológicos con una significancia de <0.5 . Además, Barlik (2021) determina que la presión del aire y la humedad que generan mayor concentración de PM_{10} , con un valor de correlación alto para la temperatura con 0.18470 y más bajo para a la presión del aire, con 0.00018 de correlación.

Por otro lado, Picoy y Cuyubamba (2022) detalló una correlación de PM_{10} con los factores meteorológicos como la temperatura, la humedad relativa y el viento con coeficientes de correlación de 0.07 , 0.0 y 0.41 respectivamente. Mientras que, Oscarategui (2020) demuestra que la variación de las concentraciones de PM_{10} desde el 2014 hasta 2018 han incrementado, representando el 2018 el 82% de los días de alta concentración. Asimismo, los parámetros como la velocidad del viento, humedad relativa tienen correlación negativa, no obstante, la

temperatura si tuvo una correlación positiva con la concentración de PM_{10} con un coeficiente centesimal de 22.

La recopilación de información de SENAMHI durante los años 2018 - 2022 en el distrito de Santa Anita, revelaron que el período anual de 2021 presentó mayor significancia con concentraciones de PM_{10} en $85,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras en relación con el periodo mensual se obtuvo que el mes de setiembre presentó mayor significancia con concentraciones de PM_{10} en $89,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por su parte, Di y Li (2019) indican que enero presentó el grado de contaminación más alta con material particulado PM_{10} . Mientras que, Durand y Burga (2021) obtuvieron una concentración promedio de PM_{10} más altas de $75,58$ y $64,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el periodo 2014-2015.

El índice de la calidad del aire (INCA) en el distrito de Santa Anita de los parámetros PM_{10} durante los años 2018 al 2022 determinó que el nivel de contaminación de aire se encuentra en estado bueno para todos los períodos, a excepción de 2019 y 2021. Mientras que los estándares de calidad ambiental del aire (ECA) en el distrito de Santa Anita, demostró que todos los periodos superaron el estándar de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a excepción de 2020, mientras el análisis en base a 24 horas, el mes de setiembre presentó valores de PM_{10} que superaron diariamente los ECA.

Por su parte, Castro (2021) señala que el 95% de las medidas de $PM_{2,5}$ se hallan por debajo de $12 \text{mg}/\text{m}^3$, por lo que un 5% de las medidas pasaron el nivel de contaminación, y el 100% de las mediciones de PM_{10} se hallaron dentro del rango permitido de $0 - 54 \text{mg}/\text{m}^3$ con un valor de $34 \text{mg}/\text{m}^3$. Asimismo, Orlandoni et al (2021) obtuvo material particulado PM_{10} en un valor de $47,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ veinte puntos debajo del valor mínimo permitido.

Similarmente, Cuadros (2021) indican que la concentración de PM₁₀ exceden al mínimo permitido con un valor de 199,44 µg/m³.

Limitaciones

El desarrollo de la presente investigación ha encontrado limitaciones en torno a la dificultad de la recopilación de los datos del área de estudio debido a que la data en la plataforma web se encuentra incompleta en ciertos períodos de tiempo donde se realizaron el registro de las condiciones meteorológicas en la estación de monitoreo. Además, es preciso recalcar que en ese caso, los promedios se estimaron de manera generalizada, sin embargo, la información faltante puede representar un sesgo de error en los resultados finales.

Implicancias

Por otro lado, las implicancias están orientados a los efectos o alcances evidentes del desarrollo de la investigación, donde se manifiesta la compresión de los conocimientos relacionados con la contaminación del aire por partículas de PM₁₀, resaltando que son causantes de diversos problemas de salud en la población, por lo tanto, los resultados de las investigación sirven como referencia para aportar conocimientos en la toma de decisiones para el establecimiento de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en la distrito de Santa Anita.

Conclusiones

En conclusión, referente a la recopilación de la información de los PM₁₀ del año 2018 al 2022 del SENAMHI - Perú se logró calcular promedios mensuales y anuales de PM₁₀, donde

se obtuvo que el período anual de 2021 presentó mayor significancia con concentraciones de PM_{10} en $85,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras en relación con el periodo mensual se obtuvo que el mes de setiembre presentó mayor significancia con concentraciones de PM_{10} en $89,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mientras que respecto a los factores meteorológicos, se encontró que la mayor temperatura en $19,54 \text{ }^\circ\text{C}$ y la mayor humedad en 84.18% sucedieron en el período de 2020 y 2018 respectivamente.

Además, la relación entre las concentraciones de PM_{10} y los factores meteorológicos, se observó que cuando la temperatura fue menor hubo mayor cantidad de PM_{10} durante el 2018, por el contrario, en 2019 y 2022 se encontró que, a mayor temperatura, mayor cantidad de PM_{10} . Sin embargo, sucedió una variación anómala en el año 2020 que presentó una elevada temperatura, pero bajas concentraciones de PM_{10} , mientras que el año 2021 se observó una baja temperatura, pero altas concentraciones de PM_{10} , lo cual puede deberse al contexto de la pandemia. Por otro lado, las condiciones elevadas de humedad presentaron concentraciones inferiores de PM_{10} en 2018 y 2020, mientras que una humedad inferior condicionó mayores concentraciones de PM_{10} durante los periodos de 2019, 2021 y 2022.

Referente al índice de la calidad del aire (INCA) se obtuvo los valores de $44,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $53,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $29,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $56,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $40,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para todos 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 respectivamente, lo cual significa que el nivel de contaminación de aire se encuentra en estado bueno para todos los períodos, debido la concentración de PM_{10} se incluye en el intervalo de relación 0 a 50, a excepción de 2019 y 2021 que presentaron valores entre 51 – 100, nivel de contaminación de aire en estado moderada.

En relación con los estándares de calidad ambiental del aire (ECA) del monitoreo anual resultó que todos los periodos superaron el estándar de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a excepción de 2020, mientras el análisis en base a 24 horas, según el análisis del mes con mayor contaminación que fue setiembre, se determinó que el valor límite establecido en el ECA con $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en su mayoría fue superado diariamente en todos los años, sin embargo, en el año 2020, se observó que todas las concentraciones fueron inferiores que el ECA, incluso el día de 08/09/2020 con más cantidad de PM_{10} resultó en $97,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

REFERENCIAS

- Arias, J. L., & Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL. <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/2260>
- Avilez, J. L., Bazalar, J., Azañedo, D., & Miranda, J. J. (2016). Perú, cambio climático y enfermedades no transmisibles: ¿Dónde estamos y a dónde vamos? *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 33(1), 143-148. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2016.331.2016>
- Barlik, N. (2020). Effect of Meteorological Parameters on PM10 Concentrations in Ardahan by Wavelet Coherence Analysis. *Celal Bayar University Journal of Science*, 17(1), Art. 1. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.738596>
- Begoña. (2020). COVID-19 y cambio climático: Cinco lecciones. *Ayuda en Acción*. <https://ayudaenaccion.org/blog/sostenibilidad/covid-19-cambio-climatico/>
- Canales, Á. (2018). Planificación local frente al cambio climático en Arequipa. *Economía y sociedad*, 22-29.
- Cantú-Martínez, P. C. (2020). Preocupación y deterioro de la calidad ambiental. Apreciación de los estudiantes universitarios. *Ambiente y Desarrollo*, 24(46), Art. 46. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd24-46.pdca>

- Cárdenas, M. F., Escobar, J. F., & Gutiérrez, K. (2020). Equidad territorial en Medellín: Espacio público, amenazas naturales y calidad del aire: Array. *Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía*, 27, Art. 27. <https://doi.org/10.37838/unicen/est.27-046>
- Carreras, H. A., Zanobetti, A., & Koutrakis, P. (2015). *Effect of daily temperature range on respiratory health in Argentina and its modification by impaired socio-economic conditions and PM10 exposures*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.06.037>
- Carrión, S. (2021). Lima Metropolitana: Ciudad de Latinoamérica con peor calidad de aire, según estudio. *Clima de cambios*. <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/lima-metropolitana-ciudad-de-latinoamerica-con-peor-calidad-de-aire-segun-estudio/>
- Castro, A. (2021). *Análisis De La Calidad Del Aire Determinado Por Material Particulado Pm10 Y Pm2,5 En El Cantón De Esmeraldas* [Thesis, Ecuador - PUCESE - Escuela de Gestión Ambiental]. <http://localhost/xmlui/handle/123456789/2835>
- Chen, F., Fan, Z., Qiao, Z., Cui, Y., Zhang, M., Zhao, X., & Li, X. (2017). Does temperature modify the effect of PM10 on mortality? A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 224, 326-335. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.012>
- Cuadros, E. H. (2021). Factores meteorológicos y su relación con la calidad del aire producido por PM 10 generado en la fabricación de ladrillo artesanal en Cullpa Baja, 2017. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/9782>

- Di, Y., & Li, R. (2019). Correlation analysis of AQI characteristics and meteorological conditions in heating season. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 242(2), 022067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/242/2/022067>
- Dung, N. A., Son, D. H., Hanh, N. T. D., & Tri, D. Q. (2019). Effect of Meteorological Factors on PM10 Concentration in Hanoi, Vietnam. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7(11), Art. 11. <https://doi.org/10.4236/gep.2019.711010>
- Durand, J. A., & Burga, V. B. (2021). Evaluación del comportamiento de la concentración de PM10 y PM2.5 y su comparación con los estándares de calidad ambiental en la ciudad de Cajamarca en el período 2012 – 2018. *Universidad Privada del Norte*. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4724573>
- Fan, H., Zhao, C., Yang, Y., & Yang, X. (2021). Spatio-Temporal Variations of the PM2.5/PM10 Ratios and Its Application to Air Pollution Type Classification in China. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.692440>
- Gallardo, E., & Calderon, C. (2017). Metodología de Investigación: Manuales autoformativos interactivo. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4278>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2018). *Estadísticas Ambientales [INFORME TÉCNICO]*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe-tecnico-n05_estadisticas-ambientalesabril2018.pdf

- IQAir. (2020). *El Informe Mundial sobre la Calidad del Aire 2020 revela cambios sustanciales en la calidad del aire*. <https://www.iqair.com/es/newsroom/covid-19-reduces-air-pollution-in-most-countries>
- IQAir. (2021). *Índice de calidad del aire (ICA) e Información sobre la contaminación del aire en Perú*. <https://www.iqair.com/es/peru>
- Keswani, A., Akselrod, H., & Anenberg, S. C. (2022). Health and Clinical Impacts of Air Pollution and Linkages with Climate Change. *NEJM Evidence*, 1(7), EVIDra2200068. <https://doi.org/10.1056/EVIDra2200068>
- Kliengchuay, W., Worakhunpiset, S., Limpanont, Y., Meeyai, A. C., & Tantrakarnapa, K. (2021). Influence of the meteorological conditions and some pollutants on PM10 concentrations in Lamphun, Thailand. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19(1), 237-249. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00598-2>
- Kraus, M., & Šenitková, I. J. (2017). Particulate Matter Mass Concentration in Residential Prefabricated Buildings Related to Temperature and Moisture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245(4), 042068. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/4/042068>
- Medina, E. G. (2022). *Manual de salud ocupacional*. Editorial El Manual Moderno.
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y Disposiciones Complementarias, Decreto Supremo, 003-2017-MINAM (2017). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones>

- Ministerio del Ambiente. (2022). *Calidad de aire*. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/calidad-de-aire/>
- Moreno, D. B., Rios, L. F. R., Galvez, L. F. P., Sanabria, C. H. O., & Ovalles, M. V. N. (2021). Relación entre la Calidad del Aire y la Incidencia de Enfermedades Respiratorias en el Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 23(2), Art. 2. <https://doi.org/10.25100/iyc.v23i2.9698>
- Ñaupas, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). *Metodología de la investigación: Cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*.
- Obando Flores, D. J. (2021). Análisis de riesgo de desastres y vulnerabilidad por cambio climático en el distrito Alto de la Alianza, Tacna. *Universidad Privada de Tacna*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1827>
- Olutola, B. G., & Wichmann, J. (2021). Does apparent temperature modify the effects of air pollution on respiratory disease hospital admissions in an industrial area of South Africa? *Clean Air Journal*, 31(2), 1-11. <https://doi.org/10.17159/caj/2021/31/2.11366>
- OPS/OMS. (2020). *Calidad del aire*. Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Organización de las Naciones Unidas. (2020). *El cambio climático avanza implacablemente a pesar de la pandemia COVID-19, advierten los científicos*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2020/09/1480142>
- Orlandoni, G., Ramoni, J., & Pérez, M. O. (2021). Calidad del Aire y Enfermedades Respiratorias bajo Diversos Esquemas de Circulación Vial en Bucaramanga (Santander,

- Colombia). *Revista Lasallista de Investigación*, 18(1), 100-113.
<https://doi.org/10.22507/rli.v18n1a7>
- Oscategui Barzola, A. H. (2020). 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. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2115>
- Pala, D., Casella, V., Larizza, C., Malovini, A., & Bellazzi, R. (2022). Impact of COVID-19 lockdown on PM concentrations in an Italian Northern City: A year-by-year assessment. *PLOS ONE*, 17(3), e0263265. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263265>
- Peralta, J. L. (2017). Determinación del nivel de riesgo de la calidad de aire por material particulado PM10 en los 5 sectores del distrito de Morales—San Martín 2017. *Universidad Peruana Unión*.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1188>
- Petrowski, K., Bühner, S., Strauß, B., Decker, O., & Brähler, E. (2021). Examining air pollution (PM10), mental health and well-being in a representative German sample. *Scientific Reports*, 11(1), Art. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93773-w>
- Picoy, J. A. (2022). Dispersión del material particulado (PM10 Y PM2,5), con interrelación a los factores meteorológicos en el centro poblado de Champamarca, distrito de Simón Bolívar, Provincia de Pasco – 2018. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2513>

- Pinheiro, S. de L. L. de A., Saldiva, P. H. N., Schwartz, J., & Zanobetti, A. (2014). Isolated and synergistic effects of PM₁₀ and average temperature on cardiovascular and respiratory mortality. *Revista de Saúde Pública*, 48(6), 881-888. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2014048005218>
- Rojas, F. J., Pacsi-Valdivia, S., Sánchez-Ccoyllo, O. R., Rojas, F. J., Pacsi-Valdivia, S., & Sánchez-Ccoyllo, O. R. (2022). Simulación computacional e influencia de las variables meteorológicas en las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} en Lima Metropolitana. *Información tecnológica*, 33(3), 223-238. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000300223>
- Sánchez, C. L., & Bautista, M. Y. (2019). Evaluación de la calidad del aire (PM₁₀ y PM_{2.5}) en relación a los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad de viento) en el sector Cercado- Tarapoto, 2018. *Universidad Peruana Unión*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2012>
- SENAMHI. (2018). *Condiciones meteorológicas desfavorables contribuirán al incremento de concentraciones de contaminantes del aire en Lima y Callao*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=prensa&n=891>
- SENAMHI. (2022a). *Conocer la calidad del aire en Lima Metropolitana*. Indicadores meteorológicos e hidrológicos. <https://www.gob.pe/fi/9433-conocer-la-calidad-del-aire-en-lima-metropolitana>
- SENAMHI. (2022b). *ESTACION SANTA ANITA*. Monitoreo de la Calidad de Aire, para Lima Metropolitana. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=calidad-del-aire-estacion&e=112208>

- SENAMHI. (2022c). *RESOLUCIÓN DE PRESIDENCIA EJECUTIVA N° 103-2022-SENAMHI/PREJ*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-1522.pdf>
- Sirithian, D., & Thanatrakolsri, P. (2022). Relationships between Meteorological and Particulate Matter Concentrations (PM_{2.5} and PM₁₀) during the Haze Period in Urban and Rural Areas, Northern Thailand. *Air, Soil and Water Research*, 15, 11786221221117264. <https://doi.org/10.1177/11786221221117264>
- Tian, L., Liang, F., Guo, Q., Chen, S., Xiao, S., Wu, Z., Jin, X., & Pan, X. (2018). The effects of interaction between particulate matter and temperature on mortality in Beijing, China. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20(2), 395-405. <https://doi.org/10.1039/C7EM00414A>
- Zhao, Y., Chen, C., & Zhao, B. (2018). Is oil temperature a key factor influencing air pollutant emissions from Chinese cooking? *Atmospheric Environment*, 193, 190-197. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.09.012>

ANEXOS

ANEXO N°1. Matriz de operacionalización

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Unidad de medida	Escala de medición
Calidad del aire	la calidad del aire es una indicación de que el aire no contiene contaminantes atmosféricos es decir que está apto para ser respirado; pues el no disponer de un ambiente con aire de calidad es un problema que pone en riesgo o daña la salud de las personas (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018)	Se obtendrás datos del SENAMHI para conocer la calidad el aire, y se categorizará según el índice de la calidad del aire y los estándares de calidad ambiental.	Índices de calidad del aire	μg/m ³	Escala razón
			Estándares de calidad ambiental	0 – 50	Escala intervalo
				51- 100	
				101 - 167	
> 167					
Factores meteorológicos	Son condiciones atmosféricas que caracterizan el estado físico del clima de un lugar y periodo de tiempo determinado (Cuadros, 2021)	Se obtendrás datos del SENAMHI sobre temperatura y humedad para correlacionar con la presencia de PM10 en el aire.	Temperatura	°C	Escala razón
			Humedad	%	Escala razón

Título: Determinación de la calidad del aire en los distritos de la provincia de Lima durante los años 2015-2022.

Problema General	Objetivo General	Hipótesis general	Dimensiones	Metodología	Estadísticas
¿Cuál es la relación de la calidad del aire por PM ₁₀ con los factores meteorológicos en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022?	Determinar la calidad del aire por PM ₁₀ y su relación con los factores meteorológicos en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022.	Existe relación de la calidad del aire por pm ₁₀ con los factores meteorológicos en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022.	Índices de calidad del aire	Enfoque: Cuantitativo Nivel: Descriptivo Diseño: No experimental Población y muestra: Distrito de Santa Anita durante los años 2018 -2022	Descriptiva e inferencial
Problemas específicos	Objetivos específicos				

¿Cuál es la información de SENAMHI durante los años 2018 - 2022 en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima?

¿Cuál es el índice de la calidad del aire (INCA) en el distrito de Santa Anita de los parámetros PM_{10} durante los años 2018 al 2022?

¿Cuál es la comparación de los resultados obtenidos con los estándares de calidad ambiental del aire (ECA) en el distrito de Santa Anita durante los años 2018 al 2022?

Recopilar información de SENAMHI durante los años 2018 - 2022 en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima.

Determinar el índice de la calidad del aire (INCA) en el distrito de Santa Anita de los parámetros PM_{10} durante los años 2018 al 2022.

Comparar los resultados obtenidos con los estándares de calidad ambiental del aire (ECA) en el distrito de Santa Anita durante los años 2018 al 2022.

Estándares de calidad ambiental

Calidad del aire según contaminantes

Contaminante	2018		2019		2020		2021		2022	
	INCA	ECA	INCA	ECA	INCA	ECA	INCA	ECA	INCA	ECA
PM_{10}										

ANEXO N°4. ECA para aire

Parámetros	Periodo	Valor [µg/m ³]	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)

Nota. Recuperado de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire (2017)

ANEXO N°5. Estación de monitoreo de Santa Anita



Nota. Cortesía de (Sánchez et al., 2015).

ANEXO N°6. Método y técnica utilizados en la estación de monitoreo de Santa Anita

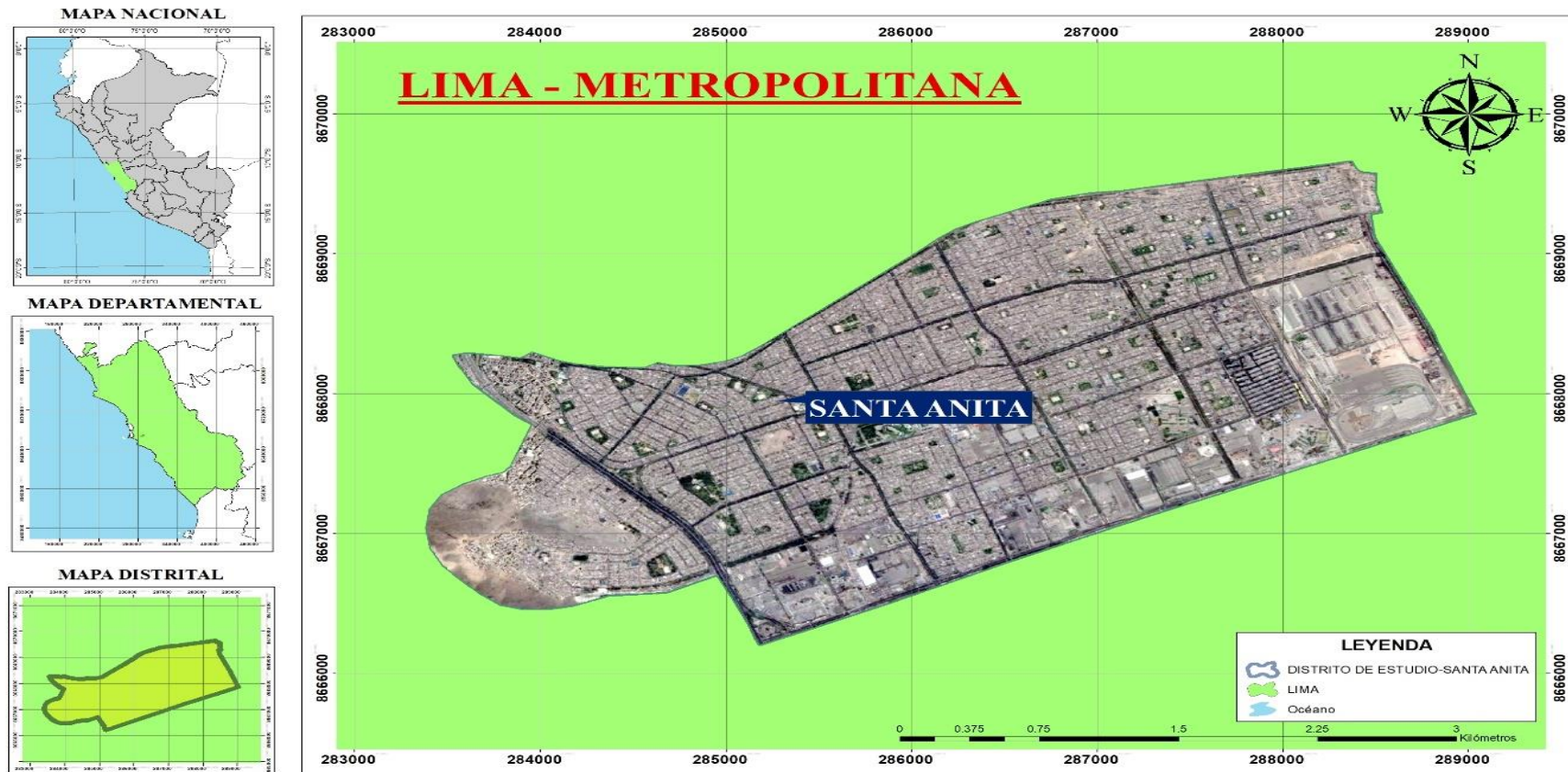
Parámetros contaminantes

Parámetro	Fecha primer registro	Fecha último registro	Método	Técnica	Marca
Material Particulado menor a 10 micras (PM ₁₀)	14/06/2011	04/03/2023	Automatico	Microbalanza oscilatoria Monitor TEOM 1405	THERMO SCIENTIFIC
Material Particulado menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	14/06/2011	04/03/2023	Automatico	Atenuacion de Rayos Beta Monitor 5014i	THERMO SCIENTIFIC
Dioxido de Azufre SO ₂	14/06/2011	04/03/2023	Automatico	Fluorescencia UV Analizador 100E	TELEDYNE
Oxidos de Nitrogeno NO ₂	14/06/2011	04/03/2023	Automatico	Quimioluminiscencia Analizador 200E	TELEDYNE
Monoxido de Carbono CO	14/06/2011	04/03/2023	Automatico	Infrarrojo No Dispersivo Analizador T300	TELEDYNE
Ozono Troposferico O ₃	14/06/2011		Automatico	Fotometria UVAnalizador 400E	TELEDYNE

Parámetros meteorológicos

Parámetro	Frecuencia	Altura de medición	Fecha primer registro	Fecha último registro	Técnica de medición	Marca
Temperatura ambiente (Temperatura - °C)	Horario	1 m.		04/03/2023	Automatico	SIAP+MICROS
Velocidad del viento (Vel. viento - m/s)	Horario	1 m.		04/03/2023	Automatico	SIAP+MICROS
Dirección del viento (Dir. viento - °)	Horario	1 m.		04/03/2023	Automatico	SIAP+MICROS
Humedad relativa del aire (Humedad relativa - %)	Horario	1 m.		04/03/2023	Automatico	SIAP+MICROS
Precipitación	Horario	1 m.		04/03/2023	Automatico	SIAP+MICROS

Nota. Cortesía de SENAMHI (2022b)

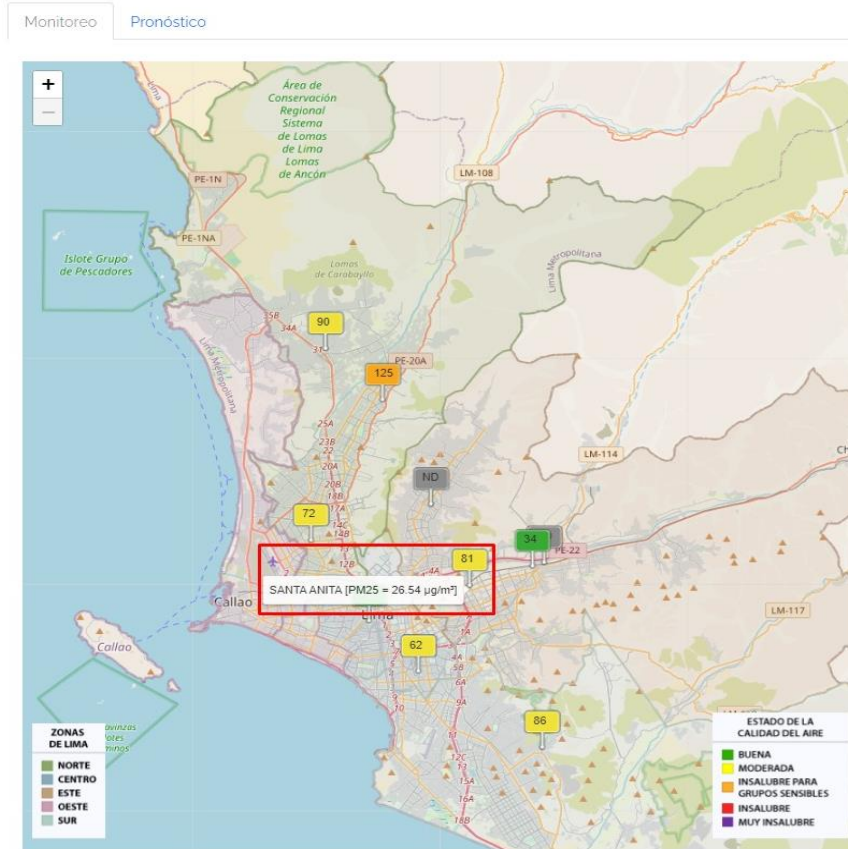


NOMBRE DEL PROYECTO: ZONA DE ESTUDIO DISTRITO DE SANTA ANITA - LIMA METROPOLITANA	UBICACIÓN DISTRITO: CAJAMARCA PROVINCIA: CAJAMARCA REGIÓN: CAJAMARCA	AUTOR: CHÁVEZ LIMAY, MAO VLADIMIR	PLANO: PLANO DE UBICACIÓN	SISTEMA DE COORDENADAS PROYECCIÓN: UTM ZONA: 18 Sur COORDENADAS: UTM-84	ESCALA 1/1,000,000 FECHA: ENERO-2023
--	--	---	-------------------------------------	---	---

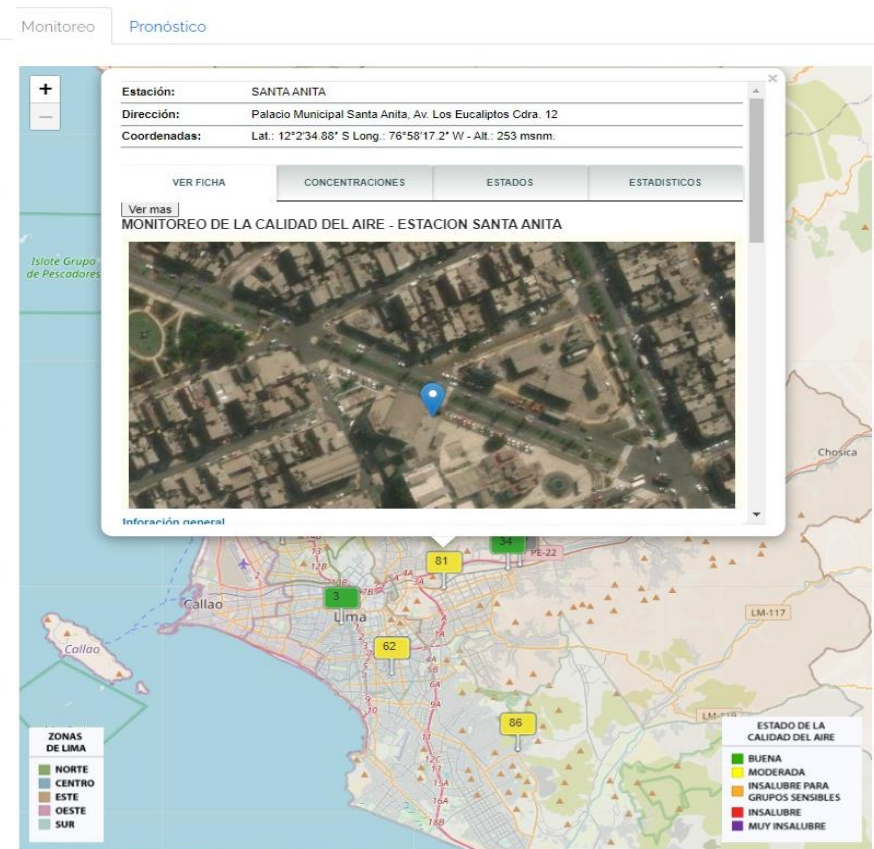
Nota. Elaboración propia.

ANEXO N° 8. Método recopilación de información en la base de datos de SENAMHI

Monitoreo de la Calidad de Aire, para Lima Metropolitana

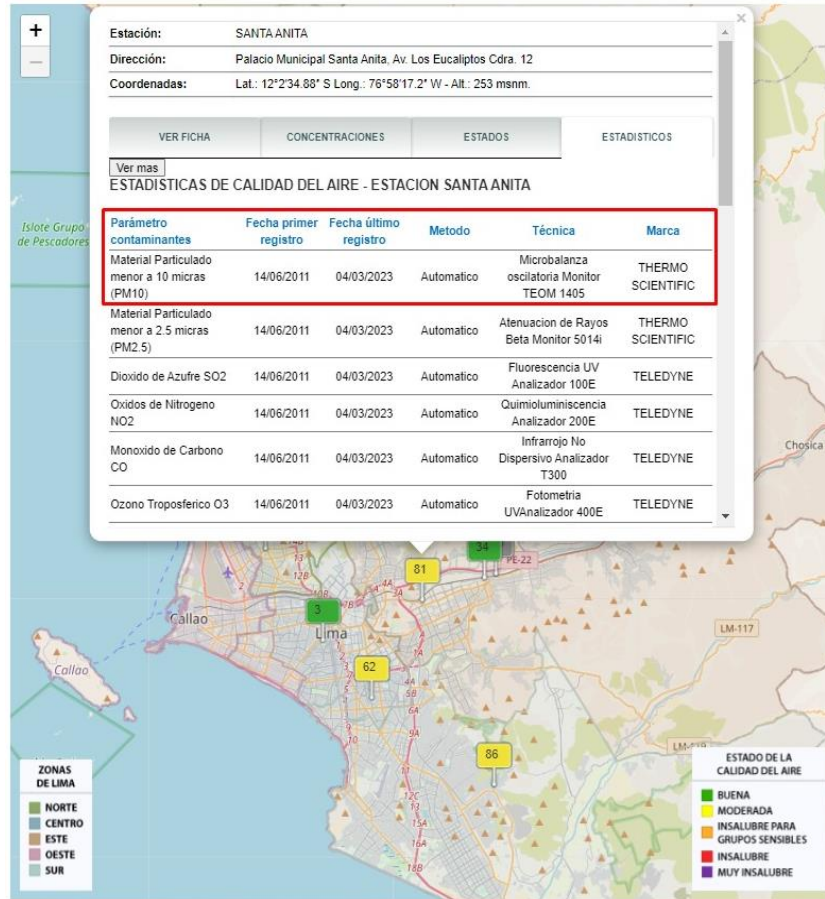


Monitoreo de la Calidad de Aire, para Lima Metropolitana



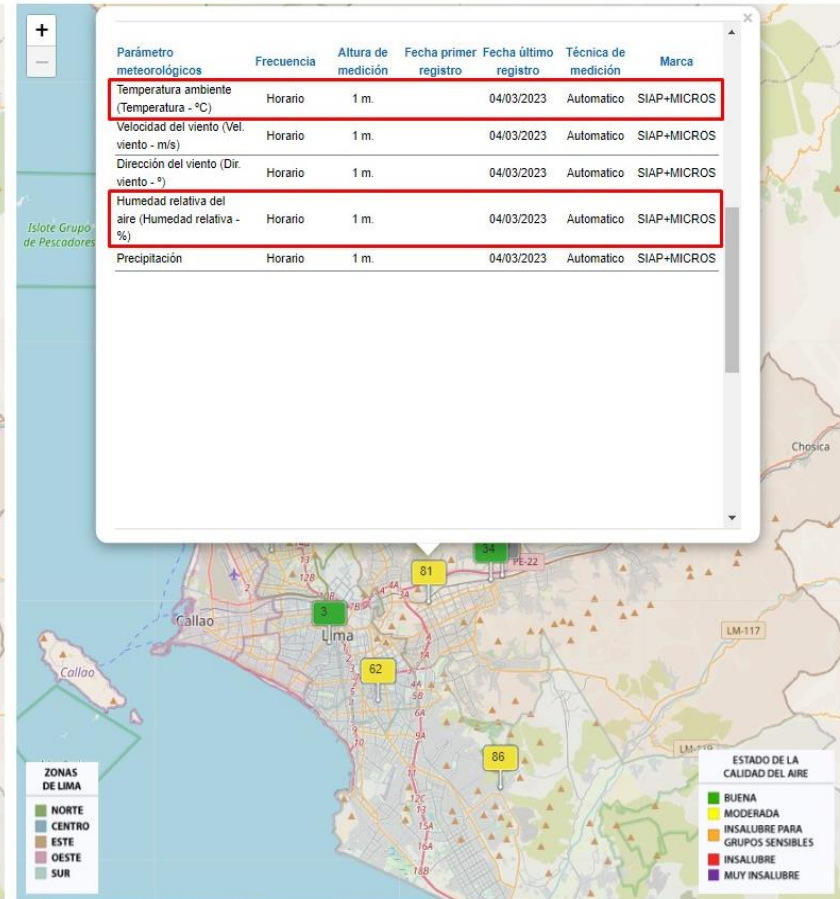
Monitoreo de la Calidad de Aire, para Lima Metropolitana

Monitoreo Pronóstico

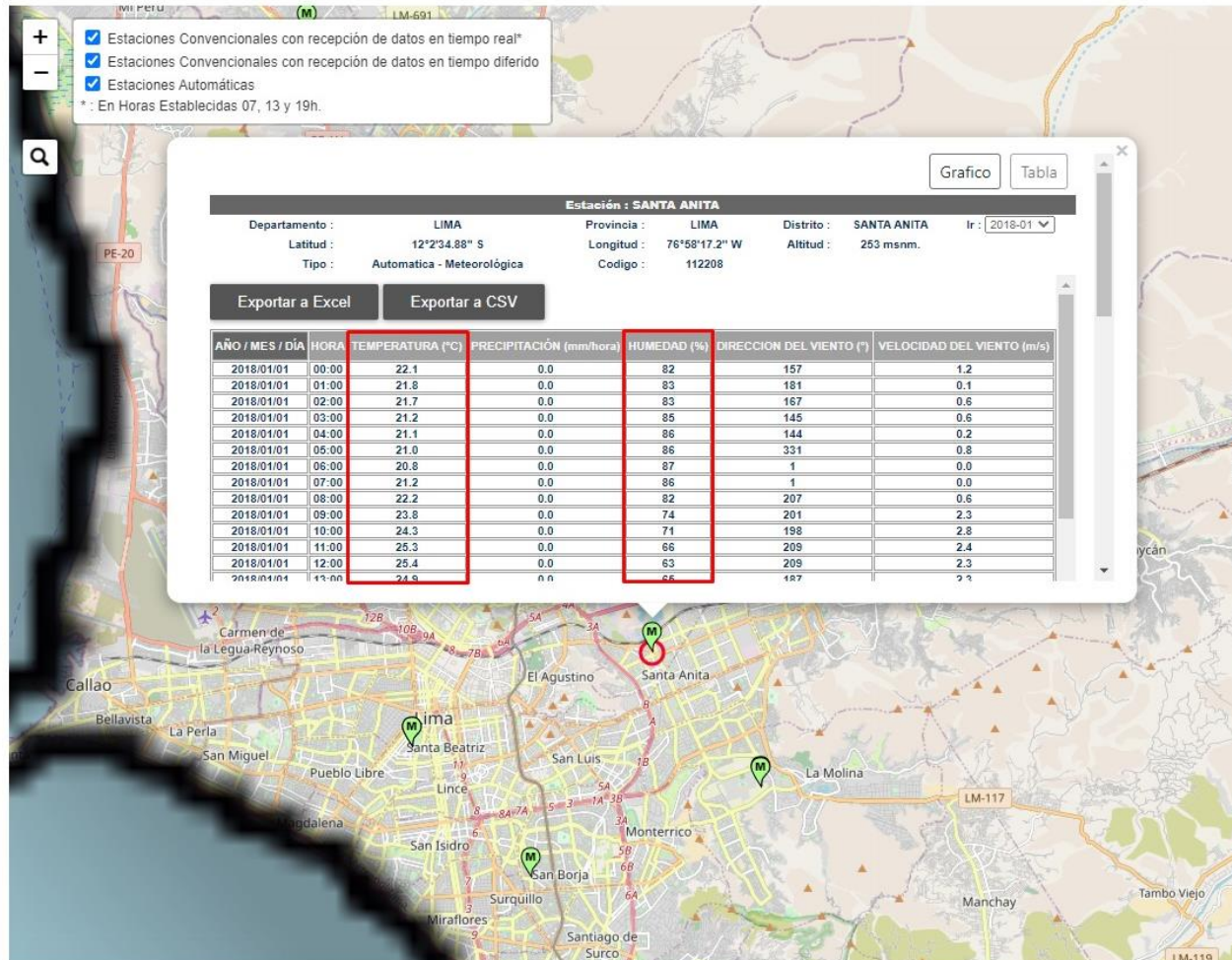


Monitoreo de la Calidad de Aire, para Lima Metropolitana

Monitoreo Pronóstico

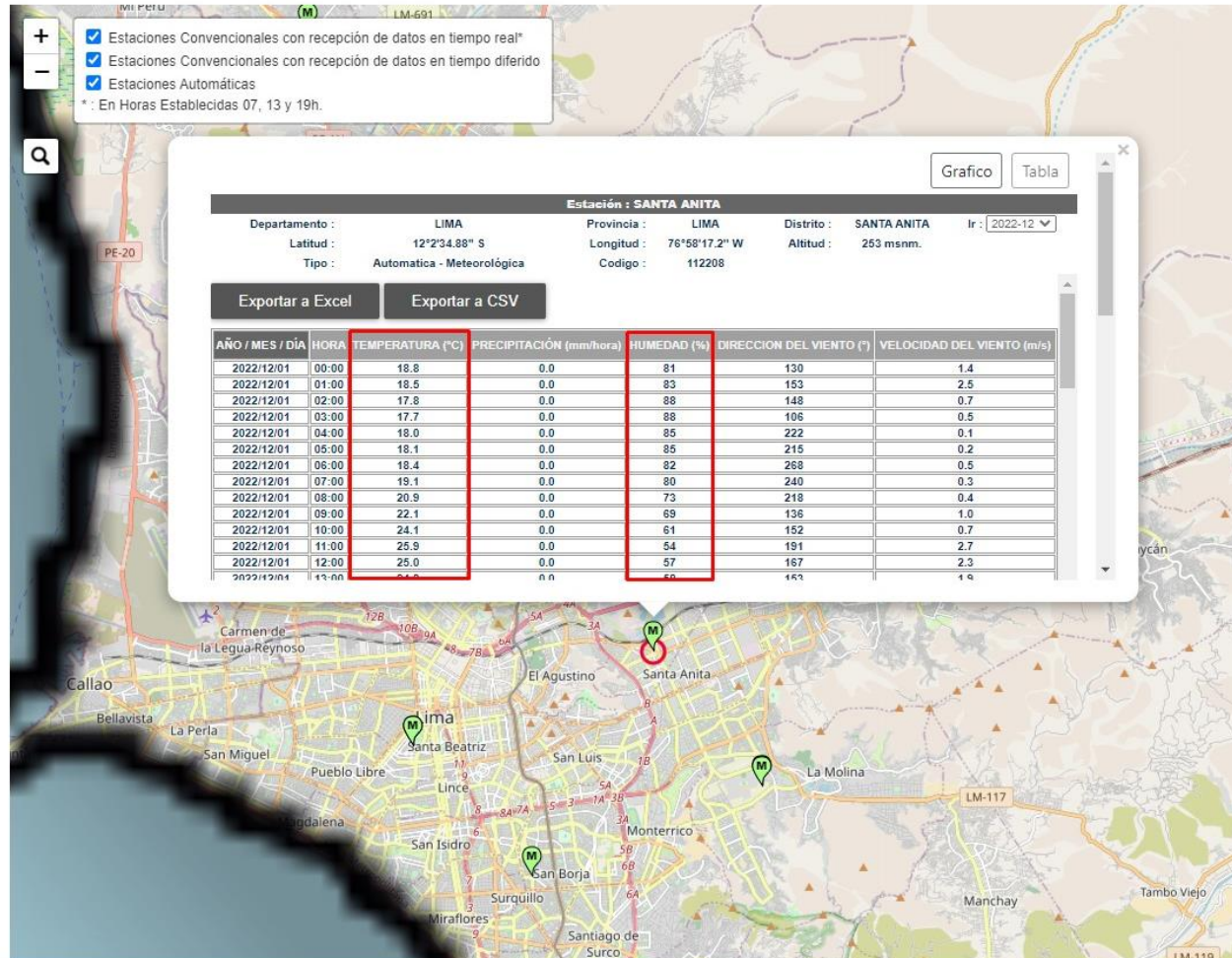


Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional



Determinación de la calidad del aire por PM_{10} y su relación con los factores meteorológicos de humedad y temperatura en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022.

Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional

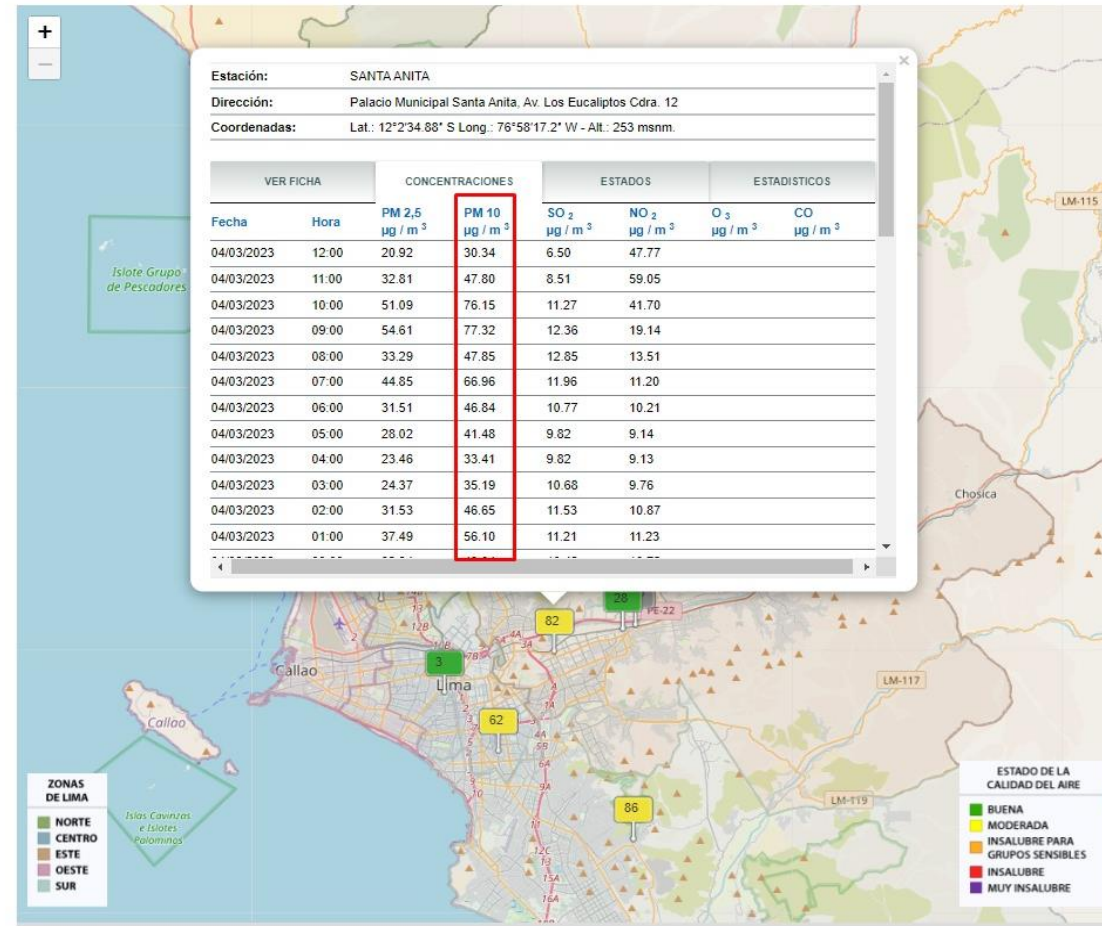


Determinación de la calidad del aire por PM_{10} y su relación con los factores meteorológicos de humedad y temperatura en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022.

Monitoreo de la Calidad de Aire, para Lima Metropolitana

Monitoreo

Pronóstico



Determinación de la calidad del aire por PM_{10} y su relación con los factores meteorológicos de humedad y temperatura en el distrito de Santa Anita - provincia de Lima durante los años 2018 al 2022.

Estación:
SANTA ANITA

Parametro Contaminante
N_PM10

Tipo de Evolución:
Evolucion Diaria

Desde:
01/01/2018

Hasta:
31/12/2022

Consultar



Datos crudos sin control de calidad.