

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**“Revisión y análisis del nivel de concentración de Material
particulado en tres ciudades representativas del Perú”**

Por:

Fiorela Correa Haro

Sandy Carolina Mora Ihuaquari

Asesor:

Ing. Carmelino Almestar Villegas

Tarapoto, agosto del 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Carmelino Almestar Villegas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “REVISIÓN Y ANÁLISIS DEL NIVEL DE CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN TRES CIUDADES REPRESENTATIVAS DEL PERÚ” constituye la memoria que presenta(n) el(la)(los) Bachiller(es) Correa Haro, Fiorela y Mora Ihuaraqui, Sandy Carolina; para aspirar al Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Morales, a los 10 días del mes de agosto del año 2020.



Asesor

Ing. Carmelino Almestar Villegas

Revisión y análisis del nivel de concentración de Material
particulado en tres ciudades representativas del Perú

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

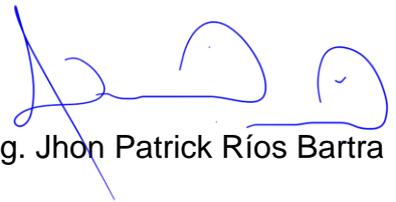
Presentado para optar el Grado de Bachiller de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR



Mtra. Betsabeth Teresaacedo Padilla

Presidente



Ing. Jhon Patrick Ríos Bartra

Secretario



Mtra. Kátterin Jina Luz Pinedo Gómez

Vocal



Ing. Carmelino Almestar Villegas

Asesor

Tarapoto, agosto del 2020

Resumen

Existen contaminantes que alteran el equilibrio atmosférico y producen efectos negativos, el Perú no está exento a esto, pues la contaminación atmosférica se incrementó en los últimos años por el mal uso de las tecnologías, así mismo por el tránsito vehicular que ha aumentado considerablemente y por otras actividades realizadas por el hombre. Es así como la presencia de sustancias no deseables en la atmósfera genera la contaminación y si se concentra en un tiempo y espacio afectará la salud y el bienestar de las personas. El objetivo del presente artículo es analizar la concentración de material particulado en tres ciudades representativas del Perú, mediante la búsqueda de información en diferentes revistas y repositorios, para lo cual se contempló la revisión de 3 trabajos de investigación de pregrado, relacionado con la calidad de aire, concentración de PM_{2.5} de tres ciudades del Perú (Juliaca, Lima y Tarapoto). La mayor concentración de PM_{2.5} se encontró en Tarapoto, alcanzando un valor de 30.91 µg.m³. La ciudad de Juliaca presentó un valor de 19.80 µg.m³, mientras que la ciudad de Lima, presentó la concentración más baja de este contaminante, cuyo valor fue 14.58 µg.m³. En las tres ciudades, se encontró valores menores al ECA (50 µg.m³). Sin embargo, en las ciudades de Lima y Juliaca, la calidad del aire es aceptable; mientras que en ciudad de Tarapoto la calidad de aire fue mala, por ello se recomienda tener cuidado con el desarrollo de actividades al aire libre por parte de la población vulnerable.

Palabras claves: Calidad de aire, Material Particulado (PM_{2.5}); Concentración de PM_{2.5}; Monitoreo; Salubridad.

Abstract

There are pollutants that alter the atmospheric balance and produce negative effects, Peru is not exempt from this, as air pollution increased in recent years due to the misuse of technologies, likewise due to vehicular traffic that has increased considerably and due to other man-made activities. This is how the presence of undesirable substances in the atmosphere generates pollution and if it is concentrated in a time and space it will affect the health and well-being of people. The objective of this article is to analyze the concentration of particulate matter in three representative cities of Peru, by searching for information in different journals and repositories, for which the review of 3 undergraduate research papers, related to the quality of air, PM_{2.5} concentration of three cities in Peru (Juliaca, Lima and Tarapoto). The highest concentration of PM_{2.5} was found in Tarapoto, reaching a value of 30.91 µg.m³. The city of Juliaca presented a value of 19.80 µg.m³, while the city of Lima, and presented the lowest concentration of this pollutant, whose value was 14.58 µg.m³. In the three cities, values lower than the RCT (50 µg.m³) were found. However, in the cities of Lima and Juliaca, the air quality is acceptable; while in the city of Tarapoto the air quality was poor, it is therefore recommended to be careful with the development of outdoor activities by the vulnerable population.

Keywords: Air quality, Particulate Material (PM_{2.5}); PM_{2.5} concentration; Monitoring; Health.

1. Introducción

Se denomina material particulado a una mezcla de líquidos sólidos, partículas y otras sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran suspendidas en el aire y contaminan. Están compuestas por los principales componentes, sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el hollín, los polvos minerales, cenizas metálicas y agua (Instituto para la Salud Geoambiental, 2013). El material particulado menor de 2.5 micras son los contaminantes atmosféricos más relevantes para la salud, pues pueden penetrar profundamente en los pulmones e inducir la reacción de la superficie y las células de defensa (Cortez, 2013). La Organización Mundial de la Salud estimó que en todo el mundo una de cada nueve muertes es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación del aire. (OMS, 2018). En América Latina y el Caribe por lo menos 100 millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire por encima de los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los grupos más vulnerables a los efectos dañinos de una mala calidad del aire incluyen a niños, adultos mayores, personas con previos problemas de salud y población de bajos estratos socioeconómicos (E. Sánchez, Ortiz, & Godínez, 2014).

De igual modo, un reporte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), que se adelanta al año 2050 para estimar el impacto en el medio ambiente, menciona que, si el mundo no adopta políticas verdes más ambiciosas, la mala calidad del aire tendrá un impacto negativo en el desarrollo social y económico, afectando la competitividad económica de los países ya que las enfermedades resultantes de la contaminación del aire cuesta billones de dólares anualmente en costos médicos y pérdida de productividad. Los contaminantes atmosféricos son producidos por fuentes fijas y móviles, que pueden generar problemas a lo largo de su desplazamiento y generar contaminantes secundarios (lluvia ácida u ozono), puede causar efectos adversos en la salud y el ambiente. (DIGESA, 2005). Uno de los problemas que no permite monitorear la calidad de aire, es el alto costo de los equipos para su monitoreo según indica el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM. El PM 2.5

El objetivo del presente artículo es analizar la concentración de material particulado en tres ciudades representativas del Perú, mediante la búsqueda de información en diferentes revistas y repositorios.

2. Marco teórico.

2.1. Contaminación atmosférica

Se define como la presencia en la atmosfera de uno o más contaminantes o la combinación de estos en cantidades o de tal duración que podrían afectar a la salud de las personas, animales o plantas a la contaminación atmosférica (Pinto & Mendez, 2015).

2.2. Material particulado

Es la mezcla o combinación de las partículas sólidas y líquidas que se encuentran en suspensión en la atmosfera, las cuales se caracterizan por variar o ser cambiantes en su composición, tamaño, origen de un lugar a otro, esta concentración de material particulado es expresada en microgramos por metro cubico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Arciniégas, 2012)

2.3. Material particulado menor a 2.5 micras.

Incluyen a las partículas con diámetro aerodinámico menor a 2,5 micras. Son consideradas indicadores de exposición relativa a la salud debido a que pueden penetrar en el sistema respiratorio y llegar hasta los conductos más bajos del pulmón (alveolos). También son denominadas partículas finas (Flor, 2016).



Figura 1. Material particulado (PM)

Figure 1. Particulate Matter (PM)

Fuente: EPA (2012)

2.4. Afección a la salud

Después de muchos años de estudios epidemiológicos, los científicos han revelado una correlación significativa entre los contaminantes de partículas finas y la morbilidad y mortalidad respiratoria. Debido a que se realizó un informe de años anteriores donde muestra que el aumento de la concentración de PM en el aire puede conducir directamente a una elevada causa de muertes de una población. En los países de la Unión Europea, PM2.5 disminuyó el promedio de vida.

El estudio también informó que los contaminantes elevados de partículas de aire se asociaron directamente con síntomas más graves de enfermedades del tracto respiratorio, debilitando la función pulmonar y aumentaron las enfermedades cardiopulmonares (Xing, Xu, Shi, & Lian, 2016).

Marco teórico

2.5. Estándar de calidad ambiental

Debido al incremento de la polución atmosférica ha impulsado el diseño de instrumentos normativos en materia de emisiones e inmisiones dirigidos a regular la calidad del aire. Su principal objetivo es garantizar niveles de condensación de contaminantes capaces de preservar la vida y salud humana, tomando en cuenta a la población vulnerable (Morantes, Pérez, Santana, & Rincón, 2016).

2.6. Índice Nacional de Calidad de Aire

La Resolución Ministerial N°-181-2016-MINAM, establece el índice de calidad de aire, conocido como INCA. Para ello, califica el estado de la calidad del aire de una determinada zona y presenta la información en números y colores. Los valores del INCA fueron calculados tomando como referencia los Estándares de Calidad Ambiental.

3. Materiales y Métodos

3.1. Materiales

Tabla 1

Materiales y Equipos para monitoreo de Calidad de aire

Materiales y Equipos	Cantidad
Fichas de Recolección de datos	3
Computadora portátil	2
Lapicero	2
Cuaderno	2

Fuente: Elaboración propia (2020)

3.2. Descripción del lugar de ejecución

La presente investigación se realizará comparando las tres tesis realizadas durante el año 2018, en tres ciudades de nuestro país, ubicadas en la costa, sierra y selva.

3.3. Metodología

Para desarrollar la presente investigación se consideró la revisión de los resultados de 3 trabajos de investigación de pregrado, relacionado con la calidad de aire, concentración de PM2.5 de tres ciudades del Perú (Juliaca, Lima y Tarapoto), siendo los autores respectivos, Huanca (2016); Velarde (2017) y Sánchez y Bautista (2019). Para ello, se diseñó fichas de recolección de datos para la comparación de las metodologías, concentración de material particulado y valores del índice de calidad de aire por PM2.5. Asimismo, para la revisión sistemática se consideraron artículos científicos en bases de datos como Redalyc, Scielo, DOAJ, Dialnet y LatinDex Scopus, Google académico y repositorio de universidades públicas y privadas del Perú. Para el desarrollo de la investigación se utilizó la técnica documental, la cual nos permitió analizar las publicaciones

más actualizadas con respecto a fechas de las investigaciones, sobre la línea de investigación en estudio.

3.4. Diseño de investigación

La investigación tiene por objetivo lograr la identificación de diferencias o semejanzas con respecto a la aparición de un evento entre dos o más contextos. En la que el investigador pretende saber si un evento es diferente de dos o más contextos, pero no pretende ni está condicionado de afirmar nada acerca del por qué o las causas de estas diferencias (Jaqueline, 2000).

Nuestra investigación es no experimental analítica crítica y comparativa.

4. Resultados y Discusión

4.1. Resultados 1. Comparación de las metodologías

En la tabla 1, Sánchez y Bautista (2019) Mencionan que su metodología de monitoreo fue de acuerdo a la EPA, el que equipo que usaron para la respectiva medición fue el E-Ban, sin embargo, es importante notar que la ubicación del equipo lo hicieron a criterio por motivos razonables; Huanca (2016) menciona que su metodología fue de acuerdo a la EPA, el equipo de medición que usó no especifica si es HI- VOL de alto o bajo volumen considerando que la medición fue de un solo parámetro PM2.5. Por su parte, Velarde (2017) menciona en su metodología que tomó todos los criterios establecidos por la EPA (2006), el equipo de medición que usó para su investigación fue el muestreador de alto volumen Hivol 3000 – Ecotech y el muestreador de bajo volumen marca BGI PQ20, sabiendo que sus parámetros evaluados fueron material particulado 10 y 2.5 micras.

Cuadro 1. Comparación de metodologías utilizadas.

Table 1. Comparison of methodologies used

Ciudades	Autor/Año	Metodologías	Equipo de medición
Tarapoto	Sánchez & Bautista (2019)	Protocolo de monitoreo de calidad de aire" elaborado por EPA, método automático	Monitor de masa de atenuación beta ambiental portátil E-BAM
Juliaca	Huanca (2016)	Código de Regulaciones Federales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (CFR 40)	Hi-Vol
Lima	Velarde (2017)	US EPA 2006	Muestreador de alto volumen Hivol 3000 – Ecotech y el muestreador de bajo volumen marca BGI PQ20

Fuente: Adaptado de Sánchez & Bautista (2019), Huanca (2016) y Velarde (2017)

4.2. Resultado 2. Comparación de la concentración de PM_{2.5} en las tres ciudades

En la figura 3 se muestra la concentración de material particulado menor 2.5 micras en tres ciudades del Perú (Juliaca, Lima y Tarapoto). La mayor concentración de material particulado se encontró en la ciudad Tarapoto (Sánchez & Bautista, 2019), alcanzando un valor de 30.91 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Asimismo, la ciudad de Juliaca presentó un valor de 19.80 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, ubicándose en el segundo lugar (Huanca, 2016); mientras que la ciudad de Lima, presentó la concentración más baja de este contaminante, cuyo valor fue 14.58 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Velarde, 2017).

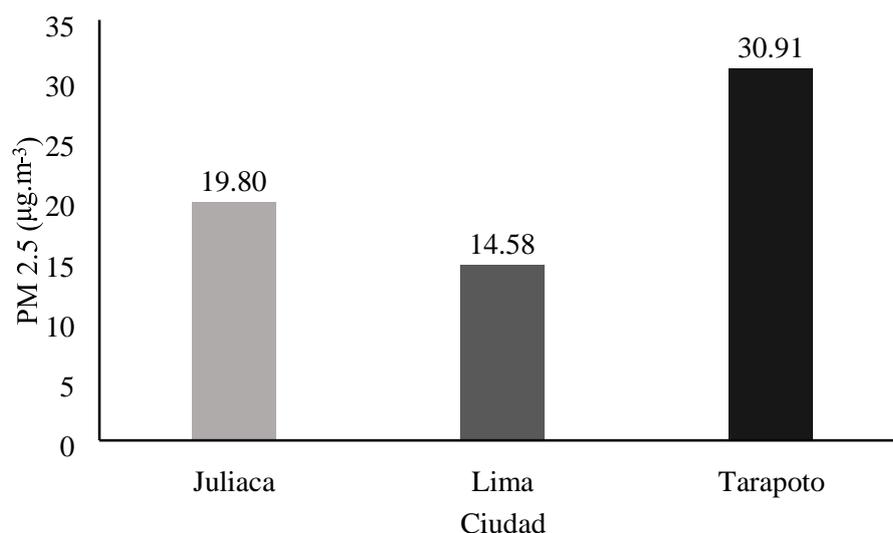


Figura 2. Comparación de la concentración PM2.5 en tres ciudades del Perú.

Figure 2. Comparison of PM2.5 concentration in three cities in Peru.

Fuente: Adaptado de Huanca (2016); Velarde (2017) y Sánchez & Bautista (2019)

4.3. Resultados 3. Comparación del índice de calidad de aire en las tres ciudades

En la figura 4 se muestra los valores del índice de calidad de aire en tres ciudades del Perú (Juliaca, Lima y Tarapoto). Se encontró una calificación moderada de la calidad del aire por PM2.5, para las ciudades de Juliaca y Lima, cuyos valores respectivos del INCA fueron 79 y 58 (Huanca, 2016; Velarde, 2017); es decir la calidad del aire es aceptable y se pueden desarrollar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población vulnerable. Sin embargo, para la ciudad de Tarapoto se obtuvo una calificación de la calidad de aire mala, con un valor INCA de 124 (Sánchez & Bautista, 2019); por ello se recomienda tener cuidado con la realización de actividades al aire libre por parte de la población vulnerable.

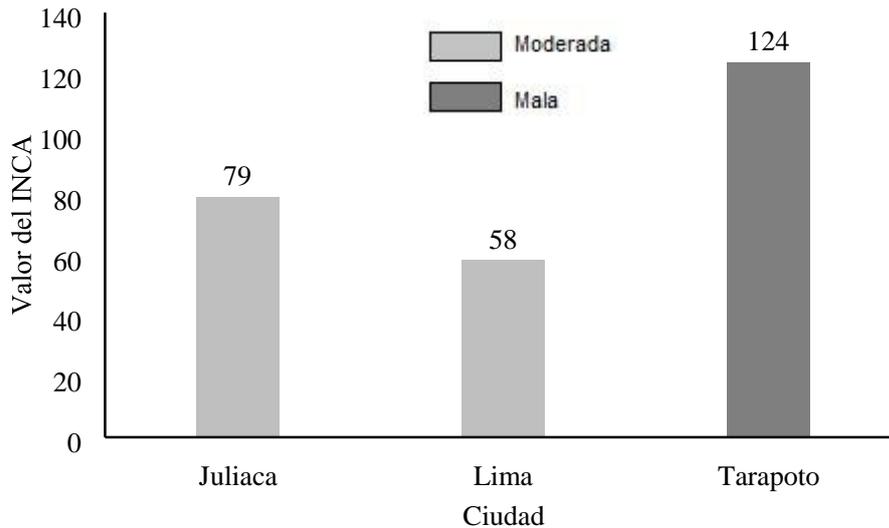


Figura 3. Comparación del INCA en tres ciudades del Perú

Figure 3. Comparison of INCA in three cities in Peru

Fuente: Adaptado de Huanca (2016); Velarde (2017) y Sánchez & Bautista (2019)

5. Discusiones

En la actualidad es prioritario monitorear la calidad del aire (Lincona, 2017), principalmente de las partículas más finas del aire, las cuales se asocian con los indicadores de morbilidad y mortalidad de la población (Tejado, 2018). La inhalación de estas partículas trae como consecuencia enfermedades, entre las más comunes según Sun & Zhu (2019), el asma. La diferencia en la concentración de material particulado PM2.5 en las tres ciudades evaluadas en el Perú, se debe a los contaminantes que provienen de diferentes fuentes; entre ellas, según (Elf et al., 2018) las fuentes móviles (buses, automóviles, aviones, camionetas) y fuentes fijas (fábricas, fundiciones, plantas de energía, entre otros).

La concentración de PM2.5 más elevada se encontró en la ciudad de Tarapoto con 30.91 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (Sánchez y Bautista, 2019), seguido, de Juliaca con 19.80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (Huanca, 2016), mientras que para la ciudad de Lima se encontró valores de 14.58 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (Velarde, 2017). En las tres ciudades se encontró valores menores al ECA (50 $\mu\text{g.m}^{-3}$) del D.S. 0032017 MINAM. En cuanto a la ciudad de Lima, las evaluaciones se realizaron en un determinado distrito, por esta razón los resultados no se podrían generalizar para toda la ciudad. Ya que según Romero (2018), menciona que en Lima existe desorden poblacional y

la actividad del parque automotor agitada, teniendo como consecuencia el efecto crítico en el medio ambiente y por ende la calidad de aire es perjudicial para la población (Davidson, Phalen & Solomon, 2005), lo cual puede generar enfermedades respiratorias, ya que el PM2.5 puede atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. Resulta conveniente revisar los monitoreos realizados por SENAMHI en las estaciones en diferentes distritos de la ciudad de Lima. Las actividades antropogénicas, el déficit de áreas verdes que presenta la ciudad Juliaca, la inadecuada planificación urbana contribuye a la pobre calidad del aire, principalmente por material particulado PM2.5 (Córdova, 2019). Por ello es importante considerar acciones preventivas a través de monitoreos del contaminante PM2.5 para no llegar a niveles alarmantes (Condori & Herrera, 2019).

Por otro lado, de acuerdo con Romero (2018), las variables meteorológicas temperatura, humedad relativa y velocidad de viento, influyen en la dispersión de los contaminantes del aire, además, menciona que, a mayor velocidad del viento, menor será la concentración de material particulado, es decir será inversamente proporcional, debido a la dispersión. Los valores elevados de PM2.5 en la ciudad de Tarapoto se deben a la presencia de industrias, de vehículos motorizados y la ocupación desordenada del espacio urbano (Díaz, 2018), que trae consecuencias en el medio ambiente y la salubridad, razón por la cual Sánchez y Bautista (2019) encontraron valores de calidad de aire, INCA de 124, calificado como aire de mala calidad. por ello se recomienda tener cuidado con el desarrollo de actividades al aire libre por parte de la población vulnerable. Este efecto pernicioso se puede mitigar con una mayor cantidad de áreas verdes por habitante (Tejado, 2018). Asimismo, el aumento del tráfico vehicular puede ser el causante del elevado valor del PM2.5 en la ciudad de Tarapoto, ya que contribuye con el 25% de la contaminación del aire urbano por PM2.5 (Karagulian et al. (2015).

6. Conclusiones

La concentración más elevada de PM_{2.5} se encontró en la ciudad de Tarapoto, seguido, de Juliaca, mientras que para la ciudad de Lima se encontró valores más bajos de este contaminante. En las tres ciudades, se encontró valores menores al ECA (50 µg.m⁻³). Por otro lado, en las ciudades de Lima y Juliaca, la calidad del aire es aceptable; mientras que en ciudad de Tarapoto la calidad de aire fue mala, por ello se recomienda tener cuidado con el desarrollo de actividades al aire libre por parte de la población vulnerable.

De acuerdo a las tres investigaciones analizadas y usando otras investigaciones como sustento para el análisis, notamos que la ciudad de Tarapoto es la que indica que existe mayor concentración de material particulado de 2.5 micras. De la información recolectada durante la investigación, se identificó que la población más susceptible que pueden ser afectada son aquellas que con frecuencia, casi diaria de exposición a concentraciones altas de material particulado PM_{2.5}, siendo los más peligrosos para las personas. Por último, se ha obtenido que, del estudio, la relativa presencia de material particulado en las ciudades de Juliaca, Lima y Tarapoto, no superando los estándares de la calidad de aire para 24 horas, además se identificó las fuentes de contaminación de acuerdo a actividad que realiza, considerando los diferentes climas existentes en cada ciudad.

7. Recomendaciones

- Juliaca y Lima: Se puede realizar actividades al aire libre.
- Tarapoto: Evitar actividades al aire libre por parte de la población vulnerable.
- Se recomienda trabajar con todos los datos de todas las estaciones de los diez distritos de la ciudad de Lima, recurriendo a SENAMHI, o tomando de manera personal.

8. Referencias

- Condori, M., & Herrera, V. (2019). Evaluación de los niveles de dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y la densidad total del polvo con sensores de calidad de aire en la ciudad de Juliaca, Puno, 2018 Autores:, 40–70.
- Córdova, J. (2019). Índice de la calidad de aire de combustión del monóxido de carbono y dióxido de azufre del flujo vehicular en Pariachi y Huaycan, 20–80.
- Davidson, C. I., Phalen, R. F., & Solomon, P. A. (2005). Airborne particulate matter and human health: A review. *Aerosol Science and Technology*, 39(8), 737–749. <https://doi.org/10.1080/02786820500191348>
- Diaz, D. (2018). Reinterpretación de la arquitectura de reclusión y su impacto en el contexto: Complejo preventivo y de rehabilitación para menores en Shilcayo Tarapoto. Retrieved from <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1909>
- Elf, J. L., Kinikar, A., Khadse, S., Mave, V., Suryavanshi, N., Gupte, N., ... Golub, J. E. (2018). Sources of household air pollution and their association with fine particulate matter in low-income urban homes in India article. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 28(4), 400–410. <https://doi.org/10.1038/s41370-0180024-2>
- Flor, H. (2016). Facultad De Ciencias E Ingenieria Escuela Académico Profesional De Ingeniería Electrónica Con Mención En Telecomunicaciones, 144. Retrieved from <http://repositorio.uch.edu.pe/bitstream/handle/uch/47/lopez-poloelliot.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Instituto para la Salud Geoambiental. (2013). Material particulado | Fundacion para la Salud Geoambiental. Retrieved from <https://www.saludgeoambiental.org/material-particulado>
- Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. *Atmospheric Environment*, 120, 475–483. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087> Lincona,
- M. E. V. (2017). Universidad nacional san agustin de arequipa - y su.
- Morantes, G., Pérez, N., Santana, R., & Rincón, G. (2016). Revisión de instrumentos normativos de la calidad del aire y sistemas de monitoreo atmosférico: América Latina y el Caribe. *Interciencia*, 41(4), 235–242.
- Romero, W. R. (2018). “Estimación de la concentración de material particulado de PM10Y PM 2.5 en el area metropolitana de Lima utilizando un modelo Euleriano.”
- Sánchez, C., & Bautista, M. (2019). Evaluación de la calidad del aire (PM10 y PM2.5) en relación a los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad de viento) en el sector Cercado- Tarapoto, 2018.
- Sánchez, E., Ortiz, L., & Godínez, L. M. (2014). *Contaminación urbana del aire Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales*. Morelia. Retrieved from https://www.uaem.mx/progau/archivos/libros/2014_LIBRO_CONTAMINACIÓN_URBANA_DEL_AIRE_ASPECTOS_FISICOQUÍMICOS%2C_MICROBIOLÓGICOS_Y_SOCIALES.pdf
- States United Protection, E. (2012). List of designated reference and equivalent methods. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2005(16), 726–737. <https://doi.org/10.2175/193864705783867675>

- Sun, Z., & Zhu, D. (2019). Exposure to outdoor air pollution and its human-related health outcomes: An evidence gap map. *BMJ Open*, *9*(12), 1–18. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-031312>
- Tejado, C. (2018). “Evaluación de la Afectación en la Población y el Ambiente por la Generación de Material Particulado (PM2.5) en el Barrio Huayco – Distrito de Tarapoto – Provincia de San Martín – 2018,” 30–50.
- Xing, Y. F., Xu, Y. H., Shi, M. H., & Lian, Y. X. (2016). The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *Journal of Thoracic Disease*, *8*(1), E69–E74. <https://doi.org/10.3978/j.issn.20721439.2016.01.19>