

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“CONTAMINACIÓN POR PARTÍCULAS PM_{10} Y SU RELACIÓN CON LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD RELATIVA EN LA CIUDAD DE TRUJILLO, LA LIBERTAD 2021.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Diego Alonso Galloza Romero
Lizbeth Paola Ponce Gamboa

Asesor:

Ing. Danny Sorel Mejía Pardo

Trujillo - Perú

2022

DEDICATORIA

A mis padres, por haberme formado con valores que me han hecho la persona que soy hoy en día, a mis hermanos por ser mi motivación y a mis seres queridos más cercanos que me han brindado su apoyo y acompañado en mi carrera profesional.

Diego Alonso Galloza Romero.

A mis padres por haberme forjado como la persona que hoy en día soy, por brindarme su apoyo incondicional durante todos estos años y por ser la más grande razón aliciente para el cumplimiento de todos y cada uno de mis objetivos y en memoria de mi tía Dalila Ponce.

Lizbeth Paola Ponce Gamboa.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestras asesoras Nancy López Rodríguez y Alicia Calvanapon Alva por guiarnos en el desarrollo de esta investigación y sugerencias para una mejora.

Así mismo, quiero agradecer a Dios por los logros obtenidos y la experiencia adquirida durante el tiempo de desarrollo de mi tesis. Finalmente, dar las gracias a mi compañera de tesis y mejor amiga por acompañarme durante mi trayecto universitario.

Diego Alonso Galloza Romero

A mi mejor amigo y a la vez compañero de tesis por su paciencia y esfuerzo durante todo el proceso, a mi enamorado por su apoyo y motivación para cumplir cada uno de mis objetivos planteados.

Lizbeth Paola Ponce Gamboa

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
TABLA DE CONTENIDOS	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. MÉTODO	22
CAPÍTULO III. RESULTADOS	26
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	32
REFERENCIAS	39
ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de monitoreo de cada avenida	23
Tabla 2: Relación entre la concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la Av. América Sur de la ciudad de Trujillo.	29
Tabla 3: Relación entre la concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la Av. España de la ciudad de Trujillo.	30
Tabla 4: Relación entre la concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la Av. Jesús de Nazareth de la ciudad de Trujillo.....	30
Tabla 5: Relación entre la concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la Av. César Vallejo de la ciudad de Trujillo.	31

ÍNDICE DE FÍGURAS

Figura 1: Mapa de los puntos de monitoreo de cada avenida.	25
Figura 2: La figura muestra el resultado del promedio de las horas de monitoreo realizado durante 7 días de la Av. América Sur.	26
Figura 3: La figura muestra el resultado del promedio de las horas de monitoreo realizado durante 7 días de la Av. España.	27
Figura 4: La figura muestra el resultado del promedio de las horas de monitoreo realizado durante 7 días de la Av. Jesús de Nazareth.	28
Figura 5: La figura muestra el resultado del promedio de las horas de monitoreo realizado durante 7 días de la Av. Cesar Vallejo.	28

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como principal objetivo establecer la relación entre la contaminación de partículas PM₁₀ con la temperatura y la humedad relativa en las Avenidas América Sur, España, Jesús de Nazareth y Cesar Vallejo de la ciudad de Trujillo. La recolección de información se realizó mediante un sensor de partículas PM₁₀ y otro para temperatura y humedad relativa; adicionalmente se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov y Spearman a un nivel de significancia del 5%. El nivel de significancia en Av. América Sur arrojó un valor de 0.00 con un coeficiente de correlación de 0.152 y 0.009 demostrando la existencia de una relación directa entre el PM₁₀ y las variables climatológicas. Sin embargo, en Av. España no existe relación entre la Temperatura y PM₁₀ puesto que su nivel de significancia fue de 0.073 caso contrario al valor de la humedad relativa el cual fue de 0.00 con un coeficiente de correlación -0.058 el cual se define como relación inversa. Finalmente, en las Av. Jesús de Nazareth y Cesar Vallejo se halló una relación inversa con la humedad relativa y una relación directa con la temperatura; ambas avenidas obtuvieron una significancia de 0.00 con un coeficiente de correlación de 0.260 y -0.248 para la Av. Jesús de Nazareth y en la Av. Cesar Vallejo un coeficiente de correlación de -0.243 y 0.293.

Palabras clave: Humedad relativa, Temperatura, Concentración de partículas PM₁₀, Contaminación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es un gran riesgo para la salud humana, especialmente en países que aún están en desarrollo, perjudicando a comunidades en el aspecto socioeconómico y ambiental (Rivas, López, Rivas y Mendoza, 2019). El control sobre la contaminación del aire va dirigido especialmente al material particulado, el cual se ubica en zonas urbanas y proviene de distintas actividades antropogénicas; la exposición a estos contaminantes y sus efectos en la salud varía según su diámetro ya que es una característica de la que depende su impacto (Ormeño y Quevedo, 2020). Cada año la tasa de mortalidad prematura en Europa se acerca a las 400 000 personas, debido al gran incremento de partículas de polvo, ozono y dióxido de carbono. Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA) durante el año 2015 el 96% de las zonas urbanas estaba comprometida a una fuerte contaminación atmosférica las cuales estaban por encima de las normas de calidad de aire de la Unión Europea. (Tribunal de cuentas europeo, 2018).

Cabe resaltar, que Latinoamérica no es ajeno a esta problemática que sufre el viejo continente, en el año 2004 se registró un alto nivel de contaminación por material particulado (PM₁₀) durante seis meses en la ciudad chilena de Talca las cuales fueron superiores a las guías emitidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Oyarzún, 2010). Asimismo, en las principales ciudades de Ecuador como son el caso de Cuenca, Quito y Guayaquil, existe un gran incremento de contaminación por partículas cuyas causas principales son la combustión industrial, residencial y el parque automotor (Peña, 2018).

El constante incremento de parque automotor y la existencia de fábricas aún en funcionamiento son motivos suficientes para considerar a la ciudad de Bogotá como una de las más críticas del país colombiano, un caso parecido es el de la ciudad de Cali donde dos estaciones de monitoreo obtuvieron valores que superaron el promedio anual de PM₁₀ (Guerrero, 2017). El Perú cuenta con un reglamento de los Niveles de Estados de Alerta Nacionales para contaminantes del Aire el cual fue aprobado en el año 2003 mediante el Decreto Supremo N°009-2003-SA, pero luego fue modificado por el D.S. 003-2017-MINAM (Rojas, Pacsi, Sánchez y Perales, 2019). Sin embargo, en la ciudad de Cerro de Pasco debido a la explotación minera se generó partículas PM₁₀ que transportaban materiales pesados hacia la población. A pesar de los esfuerzos de la empresa minera por mitigar la contaminación no fue suficiente puesto que los casos por enfermedades respiratorias agudas (IRA's) aumentaron especialmente en niños y ancianos (Robles, Medina y Medina, 2018).

En el año 2012 el Ministerio del Ambiente (MINAM) estableció que Trujillo es una de las ciudades que tiene el aire más contaminado a causa del transporte urbano. Durante el año 2005 la Dirección Nacional de Salud Ambiental (DIGESA) determinó que las fuentes fijas que generan la mayor cantidad de material particulado corresponden a la industria azucarera y la quema de cultivos, por otro lado, las panaderías y grifos son las principales fuentes fijas contribuyentes de los compuestos orgánicos volátiles (Diestra, 2017). Finalmente, es importante ahondar en estudios orientados desde distintos puntos de vista que expliquen la importancia de conocer la correlación de la temperatura y humedad relativa con la contaminación por PM₁₀.

Existen diversas investigaciones sobre la contaminación por partículas PM₁₀ y su relación con los factores climáticos como es el caso de la Temperatura y la Humedad relativa, por tal motivo se menciona antecedentes internacionales, nacionales y locales que van a proporcionar información para la presente investigación.

Samarak (2019) en su estudio de investigación se planteó hacer un análisis comparativo de la concentración interior y exterior de PM₁₀ en el centro de la ciudad de Cracovia, el cual se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre enero y marzo, los resultados mostraron que durante los periodos de tiempo con una concentración extremadamente alta de material particulado suspendido en el aire exterior, la calidad del aire interior también era mala y superaba el valor de 250 µg/m³, durante las noches el valor era mayor en el interior más que en el exterior y cuanto más baja sea la temperatura el aire exterior, más intenso será el calentamiento de las casas y como resultado, mayor será la emisión de polvos.

Montoya, Zapata y Correa (2013) en su estudio denominado "Contaminación ambiental por PM₁₀ dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Nare, Colombia" el cual tuvo como objetivo explorar la relación entre niveles de PM₁₀ intra y extra domiciliario y la función pulmonar de los habitantes de La Sierra, obtuvieron como resultado que el 50% de las viviendas tienen una concentración de 0.05mg/m³ de PM₁₀ en el interior, mientras en el exterior 0,06mg/m³ y de humedad relativa 79,08 % , con estos resultados se puede sugerir que la contaminación interior de las viviendas proviene de las emisiones de automotores, combustión industrial y vías destapadas, así mismo que el PM₁₀ disminuyó con el aumento de la lluvia , la humedad relativa y el viento.

Inchaouh y Tahiri (2017), sobre la contaminación atmosférica debida al transporte por carretera en Marruecos, comentan que esta ciudad está experimentando un gran crecimiento demográfico y socioeconómico que repercute negativamente al medio ambiente y la salud de la población, el transporte contribuye en un 15% al porcentaje de las emisiones totales, entre otros factores también está el parque vehicular, infraestructuras viales, los combustibles y medidas inadecuadas de reducción de los niveles de contaminación. La situación es realmente alarmante en algunas de las ciudades marroquíes es por ello que en esta investigación se evaluó los efectos de la contaminación del aire en la salud humana utilizando una gran cohorte extraído de diferentes áreas de estudio para evaluar la relación entre la contaminación del aire del tráfico y los problemas de salud.

La investigación realizada por Rojano, Pérez y Freyle (2012) tuvo como objetivo determinar la concentración de PM₁₀ en la zona urbana de Riohacha-Colombia, utilizando un Data RAM el cual es un monitor en tiempo real con almacenamiento de datos y estudiar el efecto de la humedad relativa sobre la concentración de PM₁₀, se tomó datos durante 3 meses en 2 sitios (Salud y el Bienestar), los resultados de las 28 muestras mostraron que el promedio de concentración de PM₁₀ fue 23,64 μg/m³ en el punto de salud y en el de bienestar fue 36,86 μg/m³ lo que tuvo una débil correlación cuando la humedad relativa fue menor al 70% , pero cuando la humedad superó el 70% la correlación fue mayor existiendo diferencias significativas entre la HR y PM₁₀.

Campo, Fernández y Gentili (2017) en su estudio se plantearon como objetivo analizar la variabilidad temporal del PM₁₀ de la ciudad de Bahía Blanca (Argentina) estableciendo posibles relaciones entre dicho comportamiento y las variables físicas y antropogénicas. Se observó una alta concentración de PM₁₀ que se vio afectada por la presencia de vientos de componente Norte y de altas velocidades que pueden estar acompañados de nubes de polvo y humo, así mismo esto hizo notar que a medida que las temperaturas medias diarias aumentan lo hacen los valores medios de PM₁₀, cuando la temperatura era de 0 -10°C el valor de PM₁₀ era de 54,17 µg/m³, de 10,1 - 20°C era de 56,70 µg/m³ y cuando la temperatura superaba los 20°C el valor estaba alrededor de las 65,4 µg/m³.

Lara, Gómez y Zamorategui (2017) en su investigación tuvieron como objetivo realizar un monitoreo de contaminantes atmosféricos (PM_{2.5}, PM₁₀ y CO₂) y variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) en la ciudad de Guanajuato-México, se establecieron tres puntos de monitoreo La Venada, Mina de Rayas y Casa Colorada, se utilizaron equipos portátiles para la determinación de CO₂ y Material Particulado, donde los puntos dieron valores dentro del límite siendo 45µg/m³ de PM_{2.5} y de PM₁₀ es 75µg/m³, asimismo se observó una estrecha relación del aumento de material particulado y CO₂ con la disminución de la temperatura y el aumento de la humedad relativa.

Alonso y Loor (2019) determinaron la incidencia de las condiciones climáticas en el material particulado mediante datos recolectados durante siete meses del año 2018 (marzo-septiembre). obtuvieron como resultados que la temperatura con el material particulado según el índice de Pearson no tiene una relación estadística ya que se obtuvo un valor de -0.0169 al igual que la humedad ya que presenta un valor estadístico de 0.1684. finalmente, las condiciones climáticas no tienen una relación significativa con las concentraciones de material particulado.

Buitrago y Tejeiro (2019) en su investigación se plantearon como objetivo determinar el grado de influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de PST y PM₁₀ mediante diagramas de correlación arrojados por SPSS con datos recolectados durante 2 meses utilizando un HI-VOL , los niveles de contaminación de PM₁₀ presentaron intervalos de 16.65 a 47.58 µg/m³ mostrando asociación negativa baja con la precipitación (r=0.21) y la velocidad del viento (r=0.2) y positiva muy baja con la temperatura (r=0.002) así mismo los niveles se presentaron en intervalos de 4.15 a 71.01 µg/m³ mostrando asociación negativa baja con la precipitación con la precipitación, positiva muy baja con la temperatura, se llegó a la conclusión que las variables meteorológicas no tienen influencia significativa porque el grado de correlación fue muy bajo.

Tavares, Costa, Basílio, Nóbrega, Vieira, y Silva (2018) en su trabajo tuvo como objetivo analizar temporalmente las condiciones meteorológicas y concentración de Material particulado (PM₁₀) en la Región Metropolitana de Sao Paulo - SP, se hizo análisis en 2 estaciones de monitoreo de calidad de aire con el fin de relacionar las condiciones climáticas (velocidad del viento, humedad relativa, temperatura y precipitación pluvial) con la concentración de PM₁₀ para lo cual se utilizó metodologías como correlación lineal y regresión lineal.

Los resultados demostraron que la concentración de PM_{10} en el aire es el resultado final de los procesos complejos que se dan por distintos factores que comprenden la emisión de fuentes, sino también las interacciones físicas y químicas, a mayor humedad relativa y velocidad del viento menor es la concentración de PM_{10} .

Zegarra, Andrade, Parra, Mejía y Rodas (2020) en su estudio analizaron la relación entre factores ambientales y la concentración de PM_{10} , así como también de metales pesados en muestras recolectadas en centros educativos de nivel inicial en la ciudad de Cuenca, los resultados obtenidos mostraron una baja relación entre los factores climatológicos y los contaminantes. Sin embargo, determinaron que las más altas concentraciones de PM_{10} y metales se dan en el centro de la ciudad o zonas colindantes puesto que hay mayor actividad peatonal y vehicular.

Espinosa, Tzuc, Pantí, Reyes, Pérez y Bassam (2017). En su investigación desarrollaron una metodología computacional en base a redes neuronales artificiales(ANN) con el fin de estimar el índice de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire de la ciudad de San Francisco de Campeche-México, se usó una arquitectura ANN de tres capas utilizando una base de datos experimental compuesta por días de la semana, hora del día, temperatura, presión atmosférica, velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar, los resultados dieron 93.01% y 90.10% de coeficiente de determinación para $PM_{2.5}$ y PM_{10} respectivamente, así mismo esto concuerda con el comportamiento de las partículas suspendidas durante el periodo caliente en los meses Marzo - Junio, donde se observa mayores niveles de partículas atmosféricas debido a las altas temperaturas que permiten la re-suspensión de material particulado por tiempos prolongados en la atmosfera.

Regalado, Paccha, Álvarez y Montaña (2019). Tuvieron como objetivo en su investigación determinar las concentraciones de PM_{10} en la ciudad de Loja - Ecuador y su relación con variables meteorológicas, se utilizó un muestreador de alto volumen el cual fue ubicado en una estación de monitoreo en el centro de la ciudad, los resultados que hay una mejor correlación múltiple entre las variables humedad relativa, la precipitación, temperatura de punto rocío y la temperatura media, con un coeficiente de determinación (R^2) del 99,1394%. , así mismo se puede observar que el rango de los valores de HR en los cuales el valor de PM_{10} máximo, se encuentra entre 70 y 80%. de humedad relativa.

Pérez, Lunagómez y Acosta (2010) en su trabajo de investigación tuvieron como objetivo analizar las partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM_{10}) en Cunduacán, Tabasco (México), para obtener las muestras fue a través de filtros de fibra de vidrio colocados en equipos muestreadores de alto volumen siguiendo la normativa mexicana, la relación entre la concentración de PM_{10} y los valores promedios de los parámetros meteorológicos tales como la temperatura media, humedad relativa, velocidad y dirección del viento se estimó a partir se estimó partir del coeficiente d correlación lineal con un porcentaje de confianza del 95% encontrando que la concentración de PST ($r=0.54$) y PM_{10} ($=0.41$) se incrementa conforme aumenta la temperatura, esto quiere decir que es en la temporada de seca donde se registra concentraciones elevadas de material particulado y en la temporada de lluvia disminuye concentración.

Hernández y Méndez (2020) en su trabajo de investigación tuvieron como principal objetivo programar el medidor de aire mediante el principio de dispersión laser de calidad de aire para el monitoreo de material particulado PM_{10} , $PM_{2.5}$ y variables meteorológicas en la ciudad de Trujillo. Se programaron los sensores de calidad de aire y variables meteorológicas para su monitoreo durante 10 días y determinar la relación entre estas variables, Finalmente los valores captados cada 30 minutos fueron promediados y se comprobó mediante los valores establecidos por la teoría de Karl Pearson que ambas variables presentan correlaciones altas y muy altas.

Sánchez y Bautista (2019) en su trabajo de investigación “Evaluación de la calidad del aire (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en relación a los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad de viento) en el sector Cercado- Tarapoto, 2018”. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del aire de material particulado y su relación con los factores climáticos para lo cual se monitoreo por 9 días hábiles por 24 horas, en la cual concluye que existe relación entre el material particulado y las variables climatológicas, del mismo modo la relación con la velocidad del viento fue inversa debido a que al existir un incremento en la velocidad existe una menor concentración de material particulado.

Huamán (2018) en su trabajo denominado “Relación de las variables meteorológicas y la concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el distrito de puente piedra en el mes de diciembre 2017” en la ciudad de Lima-Perú tuvo como finalidad evaluar la relación de las variables meteorológicas y la concentración de los parámetros de la calidad de aire PM_{10} y $PM_{2.5}$ utilizando datos proporcionados por SENAMHI concluyó que la asociación de la temperatura con el PM_{10} es de 0.419 con un nivel de significancia de 0.01, asimismo la humedad relativa tiene un grado de asociación de -0.456 y un nivel de significancia de 0.01,

es decir, si la humedad relativa disminuye la concentración de material particulado aumenta y viceversa.

La investigación realizada por Aguilar (2015) tuvo como objetivo evaluar la variación temporal de las concentraciones del PM_{10} y su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate, Lima-Perú. Los datos de concentración de material particulado fueron recolectados por el SENAMHI a través de Hi-Vol y la estación meteorológica para las variables climáticas durante el periodo 2010-2014 respectivamente, se concluyó que el PM_{10} tuvo una correlación negativa en los 5 años con la humedad relativa con un máximo coeficiente centesimal de Pearson de -17 y una correlación positiva con la temperatura obteniendo un coeficiente centesimal de 22.

Cuadros (2021) determinó la relación entre factores climatológicos y el PM_{10} a través de cuatro muestras de material particulado recolectadas por un Hi-Vol. se realizó la prueba de Spearman para determinar la significancia obteniendo un valor de 0.6 y el estadístico de Pearson para determinar la relación entre variables dando un valor de significancia de 0.194 y una correlación de 0.806. finalmente, se llegó a la conclusión que no existe relación directa entre los factores climáticos y el PM_{10} .

Espinoza (2018) en su trabajo de investigación tuvo como finalidad evaluar y analizar la distribución espacial y temporal la concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en Lima Metropolitana (Perú), para el cual se usó información proporcionada por DIGESA y SENAMHI durante los tres años monitoreados. Finalmente, concluyó su investigación determinando que la distribución de la dirección de viento y la temperatura transportan el material particulado desde el Sur hacia el Norte y Este de Lima, los valores de $PM_{2.5}/PM_{10}$ se encuentran en el rango de 0.40 (Zona Este) y 0.20 (Zona Sur) con un promedio para la ciudad de 0.33.

La tesis realizada por Zelada y Vásquez (2011) denominada Variación de la calidad de aire en el distrito de Trujillo durante el año 2007 tuvo como objetivo principal determinar la concentración de PM_{10} , dióxido de nitrógeno, ozono y monóxido de carbono en el distrito de Trujillo utilizando métodos de monitoreo pasivo, activo y automático. Halló distintas relaciones entre gases y partículas con respecto a las variables meteorológicas, de tal modo que la dispersión de los contaminantes coincide con los resultados de velocidad de viento, temperatura, humedad relativa y radiación solar.

El trabajo realizado por Ríos (2020) denominado “Correlación entre las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos, en el distrito de villa maría del triunfo, en mayo de 2018” en la ciudad de Lima-Perú tuvo como objetivo determinar dicha correlación entre las variables ya mencionadas anteriormente. Estableció que la correlación de la temperatura y el PM_{10} es una correlación significativa y tiene una relación inversa, es decir, conforme la temperatura del aire es baja la concentración de PM_{10} aumentará obteniendo un valor bilateral de $0.003 < 0.05$, del mismo modo para la humedad relativa presenta relación inversa, es decir, a medida que la humedad relativa presenta valores altos la concentración de PM_{10} disminuye.

El presente trabajo está asociado a la línea de investigación Salud Pública y poblaciones vulnerables admitida por la Universidad Privada del Norte, en base a esta línea y presente realidad problemática es necesario realizar esta investigación partiendo de la siguiente pregunta: ¿Existe relación entre la contaminación por partículas PM_{10} con la temperatura y humedad relativa en la ciudad de Trujillo, La Libertad 2021?

Utilizando como base previas investigaciones, podemos considerar que existe una atribución de los factores climáticos en la dispersión o presencia de material particulado menor a 10 micras de tal forma que se puede apreciar la estrecha relación que existe entre estas dos variables de estudio. Por lo cual, es importante manejar los conceptos básicos para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

La contaminación del aire es generada por la emisión, acumulación y mezcla de contaminantes en el aire provenientes tanto de fuentes naturales como antropogénicos (Coronel, 2020). Asimismo, el mismo autor define contaminantes como sustancias, elementos o fenómenos físicos en distintos estados como líquido, sólido o gaseoso ocasionando efectos adversos en la salud de las personas, medio ambiente y los recursos naturales los cuales reaccionan en contacto con otros productos o por sí mismo y se emiten al aire. El material particulado menor a 10 micras o mejor conocido como PM₁₀, son partículas líquidas y sólidas de sustancias que pueden ser de origen orgánico e inorgánico las cuales se encuentran suspendidas en el aire, pueden estar compuestas de sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales, cenizas metálicas y agua (Coronel, 2020).

Todo lo ocasionado por la contaminación antropogénica la cual se define como actividades humanas cotidianas ya sean artesanales, agropecuarias, mineras, industriales, domésticas, etc (Valdivieso y Cano, 2019). Asu vez, Porras (2019) clasifica las actividades antropogénicas de acuerdo a su carga tóxica como las industrias que producen metales tóxicos, desagües ya sean los asentamientos humanos o actividades domésticas y finalmente los residuos sólidos generados por la agricultura, ganadería entre otros.

En la normativa peruana se contempla en el Decreto Supremo N°003 – 2017 – MINAM los estándares de calidad ambiental para aire los cuales son establecidos por el Ministerio del ambiente (MINAM), en el que se precisa los valores máximos permitidos de contaminantes en el aire tanto para sustancias como para parámetros físicos, químicos y biológicos (ver anexo 2). Además, se hace uso del Decreto Supremo 010-2019-MINAM el cual aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del aire cuya finalidad es asegurar el desarrollo correcto del monitoreo basado en los métodos y aspectos que se consideran al momento de la medición; uno de los procedimientos de medición alternativos es el uso de sensores de bajo costo (Low Cost Sensors) los cuales son dispositivos sensibles a cualquier tipo de energía proveniente del ambiente las cuales se relacionan con la cantidad física que se mide con presión velocidad corriente, aceleración y posición. Estos equipos de medición pueden funcionar mediante un sistema eléctrico o mediante programación antes de la toma de datos, para la cual es necesario un interfaz para que se pueda controlar y en algunos casos se usa arduinos (Wendling, 2010).

Sued y Cordero (2020) definen la temperatura como la magnitud que mide el nivel térmico o calor que un cuerpo posee. Cualquier sustancia que se encuentre en estado sólido, gaseoso o líquido se constituye de moléculas que se encuentran en constante movimiento y la suma de estas energías de todas las moléculas del cuerpo se conoce como energía térmica y la temperatura es la medida de esta energía. Además, los autores ya mencionados definen la humedad relativa como la cantidad de vapor de agua que se encuentra en la atmosfera el cual ayuda a la formación de las nubes, esto se da porque el vapor de agua tiene una menor densidad que la del aire. El aire húmedo, es decir, la mezcla de aire y vapor de agua es menos denso que el aire seco.

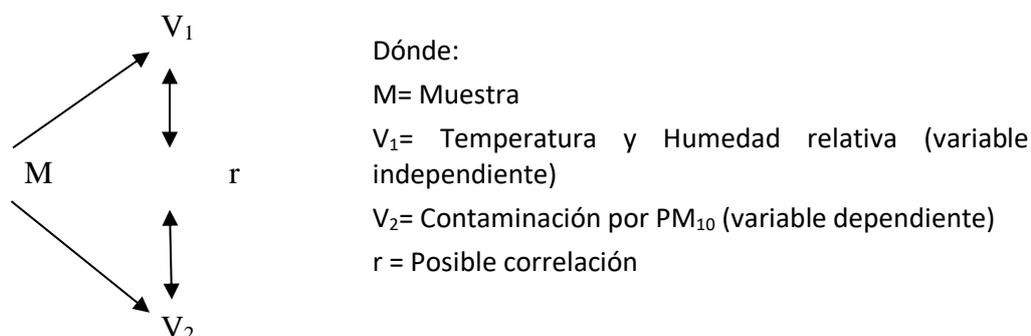
SPSS es un software el cual ofrece un rápido entorno de modelación, estadístico visual, que va desde lo más simple hasta lo más complejo, permite sacar el máximo provecho a los datos por medio de una completa gama de herramientas estadísticas, tiene una potente interfaz gráfica el cual es sencillo de utilizar, no sólo ayudar con el análisis sino también con la administración de datos capaz de producir gráficos y reportes (Quezada, 2014). Este software permite realizar la prueba de Kolmogorov - Smirnov la cual se basa en la diferencia máxima entre una distribución acumulativa empírica y una hipotética. Se tabulan los puntos porcentuales y se grafica un límite inferior para la función de potencia. Se describen los límites de confianza para una distribución acumulativa (Massey y Frank, 1951).

Así como también el coeficiente de Spearman, que es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos. Existen dos métodos para calcular el coeficiente de correlación de los rangos: uno, señalado por Spearman y otro, por Kendall. El r de Spearman llamado también rho de Spearman es más fácil de calcular que el de Kendall (Martínez et al, 2009).

La continua contaminación del aire es un fenómeno que con el pasar de los años sigue en aumento en especial en Perú, ya que si bien existe una normativa ambiental para disminuir y prevenir la contaminación se ha tomado muy poca consideración al respecto; es por eso, que la presente investigación busca establecer la relación entre la contaminación de partículas PM_{10} con la temperatura y la humedad relativa en la ciudad de Trujillo. Teniendo como objetivos específicos: Analizar la concentración de PM_{10} , temperatura y humedad relativa en las Av. América Sur, Av. Jesús de Nazareth, Av. Cesar Vallejo y Av. España; además se busca determinar si existe una relación y su tipo entre la variable dependiente e independiente.

CAPÍTULO II. MÉTODO

El trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo pues se recolectó datos para probar la posible relación entre la temperatura y humedad relativa con la contaminación por partículas PM₁₀ en la ciudad de Trujillo a través de un análisis estadístico. Además, presenta un diseño no experimental ya que identificará el comportamiento natural de cada variable; a su vez es transversal porque se recolectará datos durante un tiempo determinado.



Al mismo tiempo, el estudio es de tipo correlacional ya que se recogerá información con respecto a las variables mencionadas con anterioridad y dará a conocer la relación entre ellas. Se consideró una población finita, la cual está compuesta por las avenidas de la ciudad de Trujillo; de las cuales se tomó como muestra cuatro avenidas siendo: Av. España, Av. América Sur, Av. Jesús de Nazareth y Av. Cesar Vallejo.

Tabla 1

Coordenadas de los puntos de monitoreo de cada avenida.

Punto de monitoreo	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17S	
	Este	Norte
P-1	719193.00	9103830.00
P-2	718576.00	9102280.00
P-3	716203.00	9103020.00
P-4	717713.00	9103480.00

Nota: Cada punto fue ubicado a 2 metros de cada avenida

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante la observación y medición en campo, cuyos instrumentos para la obtención de datos fueron el sensor de PM₁₀ 6P2Y1010AUOF y el sensor de temperatura y humedad relativa DHT11. Los sensores fueron instalados en las azoteas de casas situadas en la propia avenida a monitorear tomando en cuenta el Protocolo Nacional del Monitoreo de Calidad Ambiental del Aire el cual menciona que los sensores deben estar ubicados a una altura mínima de 1.5m. La toma de datos de las cuatro avenidas se realizó en simultaneo las veinticuatro horas del día durante una semana tomando como referencia el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) 003-2017-MINAM para el monitoreo de PM₁₀. Se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov a un nivel de significancia del 5% en el cual se demostró que las variables de estudio siguen una distribución normal, por lo cual para medir la correlación entre ellas se utilizó el coeficiente de Spearman.

Para definir si existe una correlación entre la temperatura y humedad relativa con el PM_{10} , se efectuó una prueba de hipótesis utilizando un enfoque probabilístico; para decidir si rechazar o aceptar la hipótesis nula se comparó con un nivel de significancia del 5%. Así mismo, para determinar el comportamiento directo o inverso entre las variables se determinó a través del coeficiente de correlación de Spearman. La recopilación de datos durante el monitoreo se almacenó en una memoria Micro SD de 32Gb el cual fue descargado y procesado para el desarrollo de estas pruebas estadísticas a través del Software IBM SPSS 22. Finalmente, se utilizó el programa Microsoft Excel 2019 para la elaboración de gráficos que puedan representar el análisis de temperatura, humedad relativa y la concentración de PM_{10} . Se utilizó la opinión de expertos en el tema de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de nuestra sede de Trujillo y del Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo (SEGAT) para la validez y confiabilidad de los instrumentos. El trabajo de investigación se llevó a cabo con honestidad, respetando los principios éticos y morales, con el objetivo de obtener datos reales que puedan ser empleados para futuras investigaciones.

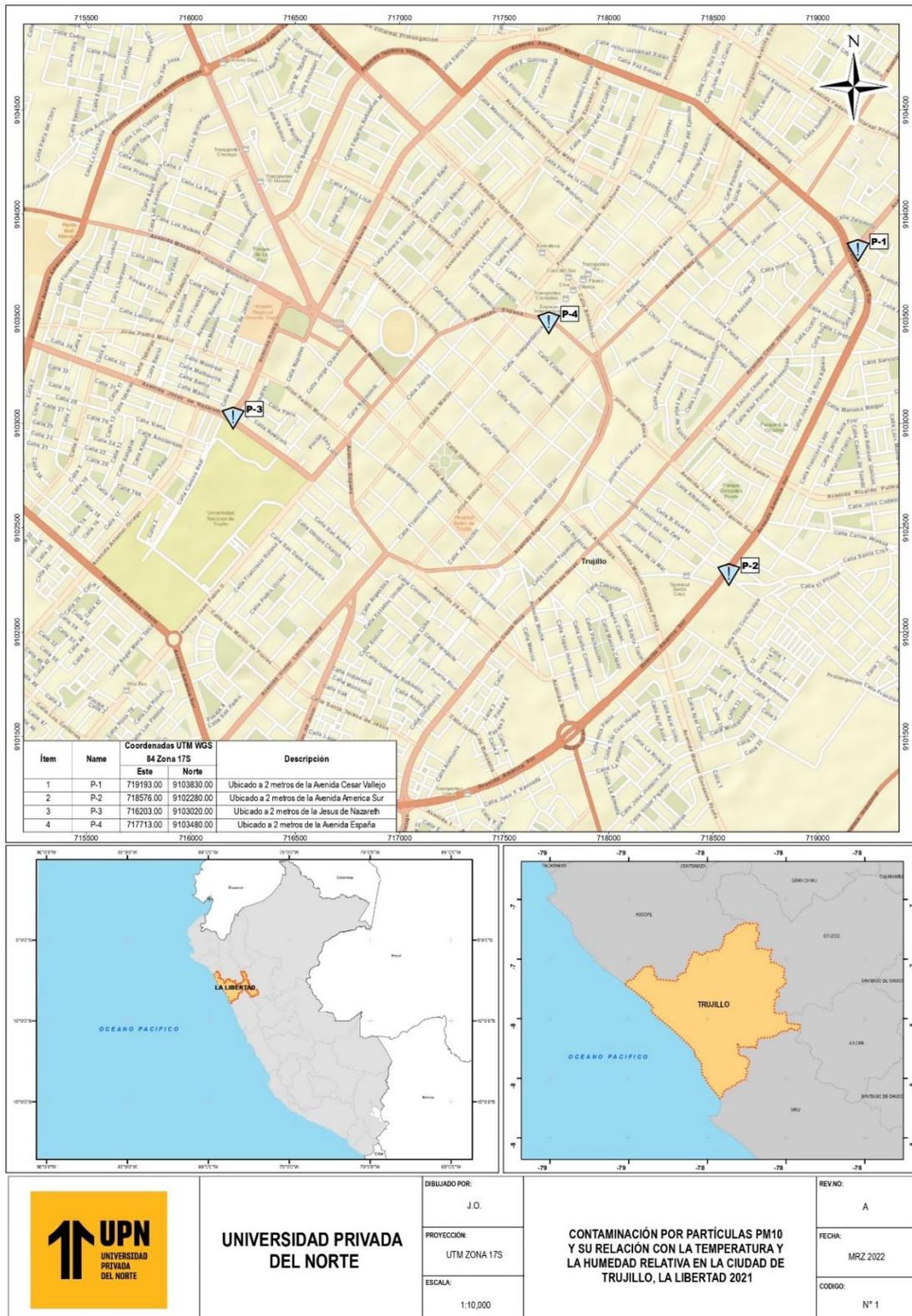


Figura 1: Mapa de los puntos de monitoreo de cada avenida.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación de acuerdo al primer objetivo planteado se muestran en las Figuras 2, 3, 4 y 5 el análisis de la temperatura, humedad relativa y PM₁₀ de las avenidas muestreadas. En la Av. América Sur se registró un mínimo de temperatura de 17.14 °C y un máximo de 24.82 °C con una media de 19.52 °C al día. Asimismo, se registró un mínimo de 75.56% de humedad relativa y un máximo de 92.29% con un promedio diario de 85.04%. Por último, los valores registrados de la concentración de PM₁₀ fue un mínimo de 65.56 µg/m³ y un máximo de 91.53 µg/m³ con un promedio de 75.69 µg/m³ al día.

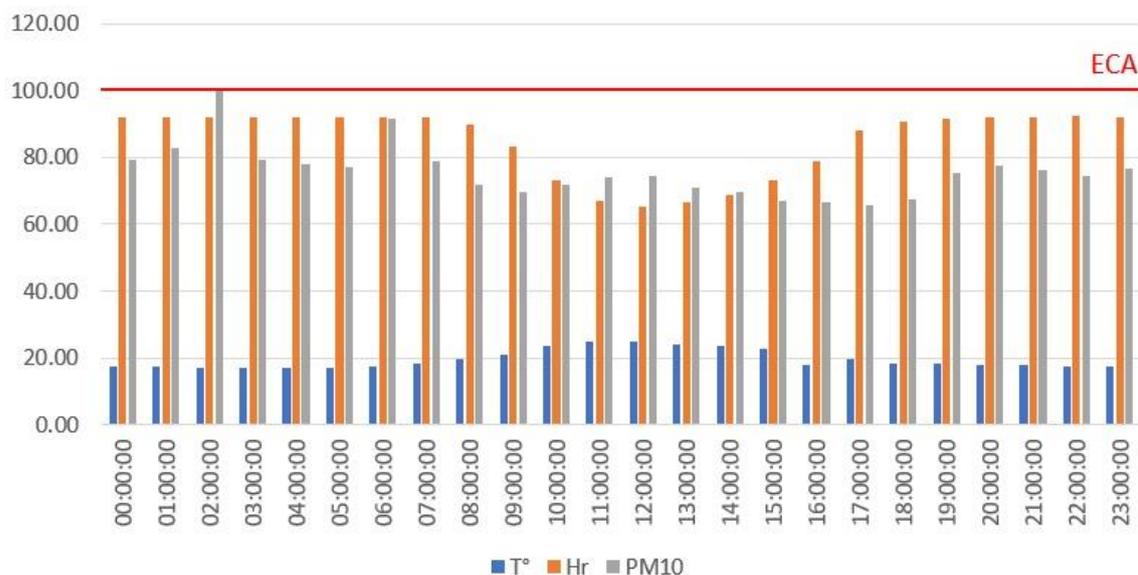


Figura 2: La figura muestra el resultado del promedio de las horas de monitoreo realizado durante 7 días de la Av. América Sur.

En la Av. España se registró un mínimo de temperatura de 15.37 °C y un máximo de 22.79 °C con una media de 17.71 °C al día. Asimismo, se registró un mínimo de 68.95% de humedad relativa y un máximo de 91.86% con un promedio diario de 86.68%. Por último, los valores registrados de la concentración de PM₁₀ fue un mínimo de 56.06 µg/m³ y un máximo de 67.95µg/m³ con un promedio de 60.94 µg/m³ al día.

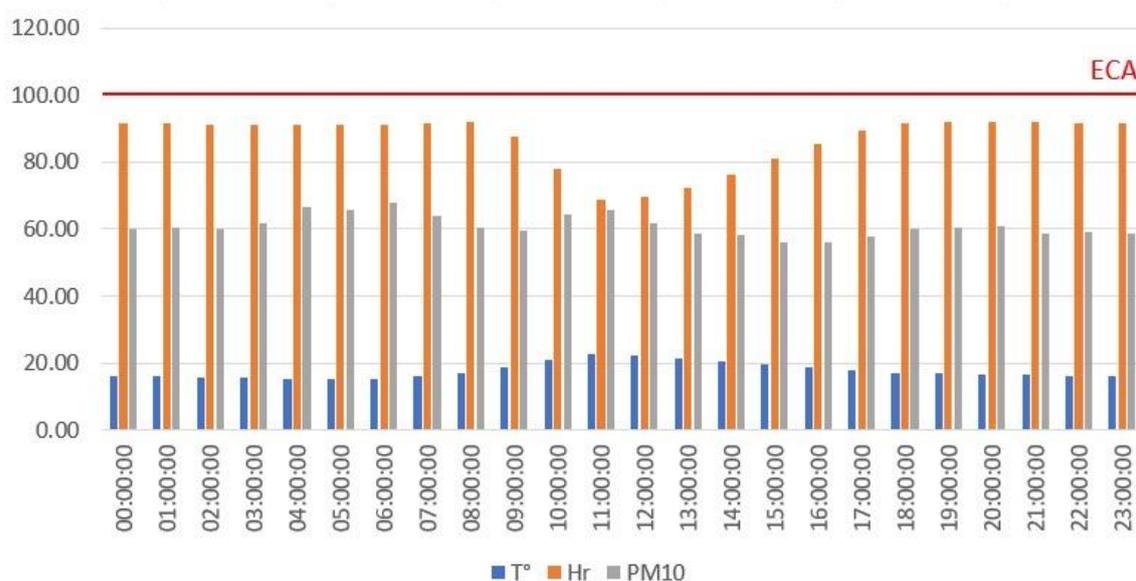


Figura 3: La figura muestra el resultado del promedio de las horas de monitoreo realizado durante 7 días de la Av. España.

En la Av. Jesús de Nazaret se registró un mínimo de temperatura de 19°C y un máximo de 25°C con una media de 21°C al día. Asimismo, se registró un mínimo de 73% de humedad relativa y un máximo de 93% con un promedio diario de 87%. Por último, los valores registrados de la concentración de PM₁₀ fue un mínimo de 51 µg/m³ y un máximo de 60µg/m³ con un promedio de 57µg/m³ al día.

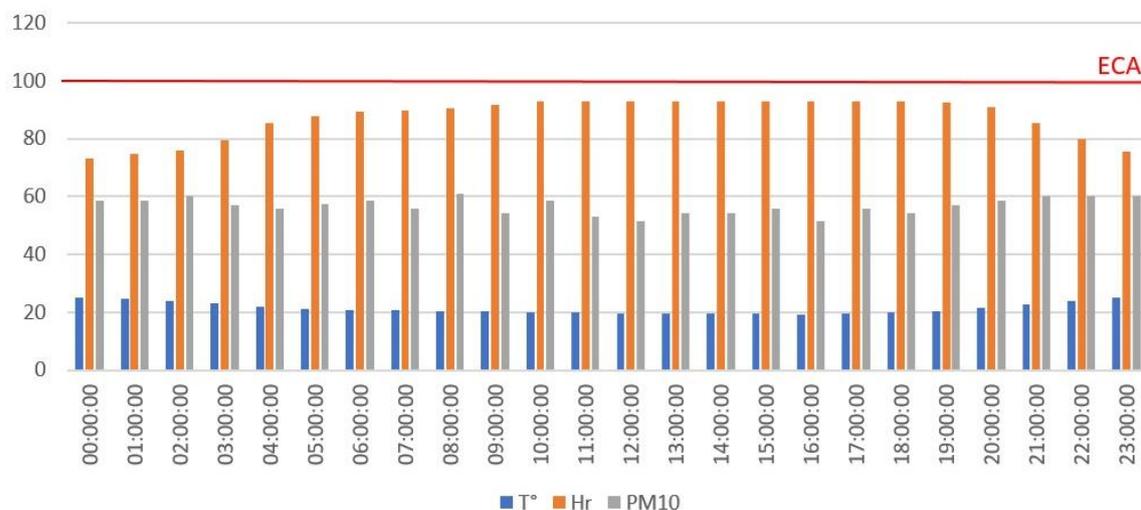


Figura 4: La figura muestra el resultado del promedio de las horas de monitoreo realizado durante 7 días de la Av. Jesús de Nazareth.

En la Av. César Vallejo se registró un mínimo de temperatura de 16.8°C y un máximo de 30.9°C con una media de 20°C al día. Asimismo, se registró un mínimo de 49% de humedad relativa y un máximo de 93% con un promedio diario de 85.4%. Por último, los valores registrados de la concentración de PM₁₀ fue un mínimo de 57 µg/m³ y un máximo de 70 µg/m³ con un promedio de 61.2 µg/m³ al día.

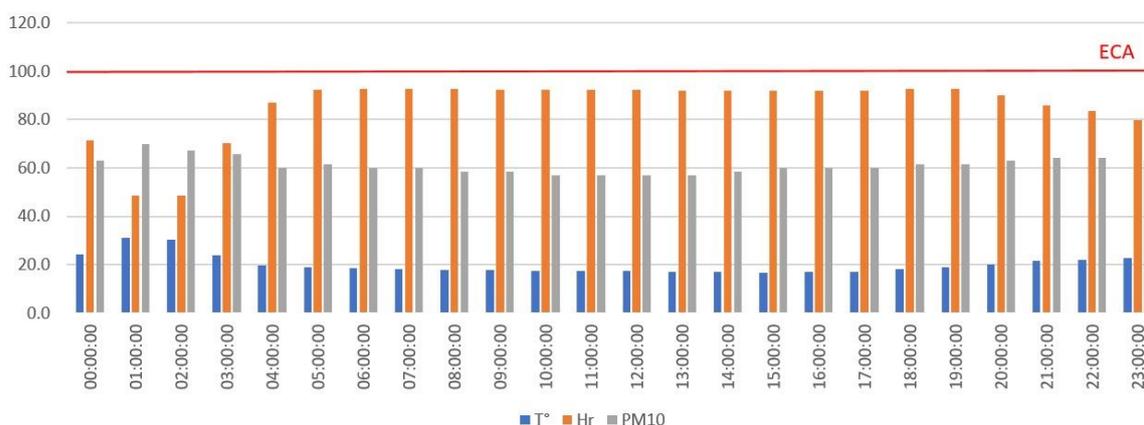


Figura 5: La figura muestra el resultado del promedio de las horas de monitoreo realizado durante 7 días de la Av. Cesar Vallejo.

De acuerdo al segundo objetivo se muestran los resultados de la relación entre la concentración de PM₁₀ con la temperatura y humedad relativa en cada avenida. En la Tabla 2 se puede afirmar con un nivel de significación del 5% que la concentración de PM₁₀ (µg/m³) tiene una relación directa con las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la zona de monitoreo Av. América Sur de la ciudad de Trujillo (p<0.05).

Tabla 2

Relación entre la concentración de PM10 (µg/m3) y las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la Av. América Sur de la ciudad de Trujillo.

Zona de Monitoreo: Av. América Sur		Temperatura	Humedad relativa
PM ₁₀ (ug/m ³)	Coef. Correlación	0.152**	0.030**
	Sig (bilateral)	0.000	0.000

Nota: Coeficiente de correlación de Spearman

Ho: Las variables no tienen relación, es decir, son independientes (p>0.05).

Hi: La variable si tienen relación, es decir, son dependientes (p<0.05).

En la Tabla 3 se puede afirmar con un nivel de significación del 5% que la concentración de PM₁₀ (µg/m³) no tiene relación con las variaciones de la temperatura (p>0.05), sin embargo, tiene una relación inversa con la humedad relativa en la zona de monitoreo Av. España de la ciudad de Trujillo (p<0.05).

Tabla 3

Relación entre la concentración de PM₁₀ (µg/m³) y las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la Av. España de la ciudad de Trujillo.

Zona de Monitoreo: Av. España		Temperatura	Humedad relativa
PM ₁₀ (ug/m ³)	Coef. Correlación	-0.009	-0.058**
	Sig (bilateral)	0.073	0.000

Nota: Coeficiente de correlación de Spearman

H₀: Las variables no tienen relación, es decir, son independientes (p>0.05).

H_i: La variable si tienen relación, es decir, son dependientes (p<0.05).

En los resultados de Tabla 4 Se puede afirmar con un nivel de significación del 5% que la concentración de PM₁₀ (µg/m³) tiene una relación directa con las variaciones de la temperatura (p<0.05) y una relación inversa con la humedad relativa en la zona de monitoreo Av. Jesús de Nazareth de la ciudad de Trujillo (p<0.05).

Tabla 4

Relación entre la concentración de PM₁₀ (µg/m³) y las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la Av. Jesús de Nazareth de la ciudad de Trujillo.

Zona de Monitoreo: Av. Jesús de Nazareth		Temperatura	Humedad relativa
PM ₁₀ (ug/m ³)	Coef. Correlación	0.260**	-0.248**
	Sig (bilateral)	0.000	0.000

Nota: Coeficiente de correlación de Spearman

H₀: Las variables no tienen relación, es decir, son independientes (p>0.05).

Hi: La variable si tienen relación, es decir, son dependientes ($p < 0.05$).

En la Tabla 5 se puede afirmar con un nivel de significación del 5% que la concentración de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) tiene una relación directa con las variaciones de la temperatura ($p < 0.05$) y una relación inversa con la humedad relativa en la zona de monitoreo Av. César Vallejo de la ciudad de Trujillo ($p < 0.05$).

Tabla 5

Relación entre la concentración de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y las variaciones de la temperatura y humedad relativa en la Av. César Vallejo de la ciudad de Trujillo.

Zona de Monitoreo: Av. César Vallejo		Temperatura	Humedad relativa
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Coef. Correlación	0.293**	-0.243**
	Sig (bilateral)	0.000	0.000

Nota: Coeficiente de correlación de Spearman

Ho: Las variables no tienen relación, es decir, son independientes ($p > 0.05$).

Hi: La variable si tienen relación, es decir, son dependientes ($p < 0.05$).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los objetivos planteados anteriormente y tras haberse examinado en los resultados obtenidos; a continuación, se describirán los fundamentos y comparaciones de las semejanzas encontradas. Como primer objetivo se analizó durante una semana la temperatura, humedad relativa y la concentración de PM₁₀ en las Avenidas América Sur, España, Cesar Vallejo y Jesús de Nazareth. Para ello se empleó la metodología utilizada por Hernández y Méndez (2020) en la cual emplearon sensores para medir temperatura, humedad relativa y concentración de PM₁₀ durante un día; del mismo modo Rojano et al. (2012) utilizó un monitor de DataRam4 que consta de una configuración de sensores que mide las concentraciones en tiempo real.

En base a esto, durante la presente investigación se observó que en la Av. América Sur se registró un promedio mínimo de temperatura de 17.14 °C y un máximo de 24.82°C al día, así como también se registró un porcentaje máximo de humedad relativa de 92.29% y un mínimo de 75.56%. Además, se hallaron valores mínimos y máximos de PM₁₀ de 65.56 y 91.53 µg/m³ respectivamente. Asimismo, en Av. España se aprecia un mínimo de temperatura de 15.37°C y un máximo de 22.79°C, los porcentajes de humedad relativa fueron 68.95% y 91.86% y las concentraciones de PM₁₀ variaron entre 56.06 y 67.95 µg/m³.

En Av. Jesús de Nazareth se estimaron valores de PM₁₀ entre 51 y 60 µg/m³ respectivamente, con respecto a la temperatura de halló un valor mínimo diario de 19°C y un máximo de 25°C; así mismo, la humedad relativa presentó un porcentaje mínimo y máximo de 73% y 93%. La Av. Cesar Vallejo registró un mínimo de temperatura de 16.8°C y un máximo de 30.9°C al día, del mismo modo los porcentajes de humedad relativa estuvieron entre 49% y 93%; finalmente, la concentración de PM₁₀ fue de 57 µg/m³ como mínimo y 70 µg/m³ como máximo promedio diario.

Estos resultados coinciden con lo hallado en la investigación realizada por Aguilar (2015) quien infiere que la mayor concentración de material particulado menor a 10 micras se presenta en horas diurnas debido al aumento de flujo vehicular y actividad antropogénica, así también, Inchaouh y Tahiri (2017) concluyó en su investigación que el crecimiento demográfico y socioeconómico implica negativamente en el medio ambiente, además afirma que el transporte es la principal fuente diurna que favorece con casi el 15% de las emisiones, resultado que es similar con los obtenidos en la investigación hecha por Rojano, et al (2012) quien demostró que las concentraciones de PM₁₀ aumenta con la influencia de fuentes móviles en las zonas de alto tráfico.

Sin embargo, Samarak (2019) encontró que la concentración más alta de partículas se da en otoño e invierno por el uso diurno y nocturno de hornos domésticos que son alimentados por combustibles de baja calidad e incluso basura; además, considera que el transporte por carretera es una fuente de contaminación tanto secundaria como directa. Hernández y Méndez (2020) al igual que Ríos (2020) en sus resultados de monitoreo demostraron la fluctuación diurna y nocturna de la concentración de PM₁₀ existente en el aire.

Estos resultados permiten concluir que, el flujo o tránsito vehicular es la fuente diurna que genera mayor concentración de partículas PM₁₀ en zonas urbanas como lo presentado en la investigación de Inchaouh y Tahiri (2017) y Rojano (2012). Sin embargo, la alta concentración de PM₁₀ no solo se da durante horas del día, sino que también existe una fluctuación diurna y nocturna de material particulado como lo sostuvo Samarak (2019), Ríos (2020) y Hernández y Méndez (2020) en sus investigaciones.

Como segundo objetivo se planteó determinar la relación que existe ente la temperatura y la humedad relativa con el PM_{10} en las zonas de monitoreo: América Sur, España, Jesús de Nazareth y César Vallejo para ello fue necesario investigar sobre la prueba de Kolmogórov-Smirnov la cual consiste en la diferencia máxima que existe entre una distribución acumulativa y una hipotética (Massey y Frank, 1951). Así mismo, se indagó sobre la prueba de correlación de Spearman que según Martínez et al. (2009) es una medida de asociación lineal que utiliza los rangos y los números de orden de cada grupo de sujetos para su comparación.

En la investigación se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov a un nivel de significancia del 5% para hallar la prueba de normalidad de las variables a través de dos hipótesis supuestas en la cual se aceptó la hipótesis alterna indicando que los datos no provienen de una distribución normal debido a que el nivel de significancia fue de 0.00 siendo este menor al 5%; debido a esto, se utilizó la prueba de coeficiente de correlación de Spearman al 5% para determinar la relación que existe entre la temperatura y humedad relativa con la concentración de PM_{10} .

En la Av. América Sur el coeficiente de correlación tuvo como resultado 0.152** con respecto a la temperatura y 0.030** para la relación de la humedad con la concentración de PM_{10} y un nivel de significancia de 0.00, esto quiere decir que existe una relación directa entre las variables. Sin embargo, en la Av. España la temperatura no tiene relación con el PM_{10} puesto que su coeficiente de correlación es de -0.009 y su nivel de significancia tiene un valor de 0.073; caso contrario sucede con la humedad relativa donde existe una relación inversa con un coeficiente de correlación de -0.058* y un nivel de significancia de 0.00.

Por otro lado, en la Av. Jesús de Nazareth la concentración de PM₁₀ tiene una relación directa con las variaciones de temperatura y una relación inversa con la humedad relativa puesto que sus coeficientes de correlación tienen un valor de 0.260 y -0.248* respectivamente y un nivel de significancia de 0.00 para ambas variables, resultados que son similares a los obtenidos en la Av. Cesar Vallejo con respecto a la correlación de variables debido a que el coeficiente de correlación de la humedad relativa y la temperatura fueron de -0.243 y 0.293 respectivamente y el nivel de significancia de las dos variables es de 0.00 valor.

Los resultados de la avenida américa coinciden con los encontrados en la investigación de Buitrago y Tejeiro (2019) donde concluyeron en su investigación que la temperatura tiene relación directa con las concentraciones de PM₁₀ debido a que su correlación tuvo un valor de 0.002, pues a medida que una aumentaba la otra lo hacía también. Lara et al. (2017) en su estudio llegó a la misma conclusión puesto que halló una estrecha relación entre el aumento de material particulado y el aumento de humedad relativa en la ciudad de Guanajuato-México.

Los resultados de la avenida España tuvieron relación con lo encontrado por Huamán (2018) donde la humedad relativa tuvo una relación inversa con el PM₁₀ y concluyó que la asociación de la temperatura con el PM₁₀ es de 0.419 con un nivel de significancia de 0.01, asimismo la humedad relativa tiene un grado de asociación de -0.456 y un nivel de significancia de 0.01, de igual manera Rojano et al. (2012) en su estudio obtuvo valores de 23.64 µg/m³ y 36.86 µg/m³ en el punto 1 y en el punto 2 de monitoreo respectivamente teniendo una ligera relación cuando la humedad relativa cuando fue de 70%, al incrementar este porcentaje de humedad la correlación fue mayor; por lo cual concluyó y demostró que existe una relación inversa entre estas dos variables.

Finalmente, los resultados de la avenida César Vallejo y Jesús de Nazaret coinciden con los encontrados por Huaman (2018) en su estudio donde halló la asociación directa de la temperatura con el PM₁₀ con un valor de 0.419 con un nivel de significancia de 0.01 y un grado de asociación inversa de -0.456 con un nivel de significancia de 0.01 para la humedad relativa. Ríos (2020) y Tavares et al. (2018) confirman esta correlación inversa entre la concentración de PM₁₀ y humedad relativa en sus investigaciones; así como también fue demostrada la relación directa que existe entre la temperatura y las partículas PM₁₀ en el trabajo realizado por Campo et al. (2017).

Estos resultados nos permiten concluir que las altas temperaturas permiten que se dé la resuspensión de material particulado por tiempos prolongados obteniendo mayores niveles de partículas atmosférica (Espinosa et al., 2017); del mismo modo Pérez et al, (2010) menciona que conforme aumenta la temperatura se incrementa las concentraciones de PM₁₀ y en temporadas de lluvia donde existe un incremento de humedad relativa las concentraciones de PM₁₀ disminuyen.

El análisis de las cuatro avenidas estudiadas las cuales mostraron valores mínimos y máximos, deduciendo de esta forma que el mayor valor de temperatura se registró en la Av. Cesar Vallejo y el mínimo fue en Av. España; del mismo modo, el valor más alto con respecto a la humedad relativa fue en la Av. Cesar Vallejo y Av. Jesús de Nazareth; sin embargo, el mínimo también se dio en esta última avenida. Finalmente, el valor máximo de PM₁₀ fue registrado en la Av. América Sur y el mínimo valor fue en la Av. Jesús de Nazareth.

La variación de concentración de PM₁₀ varía de acuerdo a las distintas actividades antropogénicas que se realicen ya sea tránsito peatonal, negocios locales o el tráfico vehicular.

Asimismo, la temperatura y humedad varía de acuerdo a la zona donde se encuentre ubicada la avenida que se ha estudiado, ya que si bien se encuentra en la ciudad de Trujillo los valores registrados por los sensores demuestran la existencia de ligeras variaciones en los datos que influyen en la relación con la concentración de PM_{10} .

La relación entre las variables dependiente e independiente se determinó mediante el coeficiente de correlación Spearman; en la Av. América Sur existe una relación directa entre la temperatura y humedad relativa con el nivel de concentración de PM_{10} , por otro lado, en la Av. España no existe relación entre la temperatura y la concentración de PM_{10} ; sin embargo, existe una relación inversa entre la humedad relativa y dicha concentración de partículas. Finalmente, en las avenidas Jesús de Nazareth y César Vallejo la concentración de PM_{10} tiene una relación directa con la temperatura y una relación inversa con la humedad relativa.

La presente investigación demostró la estrecha relación que existe entre las variables de temperatura y humedad relativa con el PM_{10} . Por lo tanto, se recomienda que en un futuro se realice estudios similares y comparativos con datos históricos en las diferentes zonas de la ciudad de Trujillo, ya que esto ayudará a entender con más precisión la relación existente entre los contaminantes atmosféricos y las variables climatológicas en las distintas estaciones del año, de esta manera se obtendrá patrones de comportamiento entre ellos y determinar que otros factores se ven involucrados en la relación de estos, promoviendo de esta manera investigaciones de nivel causa – efecto.

Del mismo modo, se recomienda a las autoridades de la Municipalidad de Trujillo en específico al SEGAT que tomen en cuenta instrumentos de gestión como es el plan anual de fiscalización ambiental (PLANEFA) cumpliendo los lineamientos prácticos para la planificación y seguimiento de las acciones que se desarrollan para promover el cumplimiento ambiental y tomar decisiones respecto a la gestión de calidad de aire en el distrito de Trujillo ayudando a disminuir la contaminación del aire de esta forma previniendo daños en la salud de las personas y el ambiente. Finalmente, se recomienda implementar más estaciones de monitoreo de calidad de aire y meteorológicos, para tener un mayor control de lo que ocurre en los distritos colindantes a Trujillo ya que cada distrito tiene su propio contexto y problemas ambientales.

REFERENCIAS

Aguilar, L. (2015). Variación temporal de las concentraciones del PM₁₀ y su interacción con los factores meteorológicos en el distrito de Ate en el periodo 2010-2014. https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/EVOLUTION%20TEMPORAL%20DE%20LAS%20CONCENTRACIONES%20DEL%20PM10%20Y%20SU%20INTERACCION%20CON%20LOS%20FACTORES%20METEOROLOGICOS%20EN%20EL%20DISTRITO%20DE%20ATE%20EN%20EL%20PERIODO%202010-2014.pdf

Alonso, E. y Loor, A. (2019). Incidencia de las condiciones meteorológicas en las concentraciones de material particulado (PM₁₀) en la ciudad de Manta. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/3109/1/ULEAM-RNA-0075.pdf>

Buitrago, A. y Tejeiro, J. (2019). Influencia de las condiciones meteorológicas de la concentración de PST y PM₁₀ en inmediaciones de la universidad Santo Tomás sede Loma Linda. (Tesis de pregrado). Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.

Campo, A., Fernández, M. y Gentili, J. (2017) Variabilidad temporal del PM₁₀ en Bahía Blanca (Argentina) y su relación con variables climáticas. Cuadernos Geográficos, 56(3), 6 - 25. Recuperado de: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/43841>

Cano, A. (2019). Detección de genes bacterianos como biomarcadores moleculares asociados a la contaminación antropogénica de un cuerpo de agua superficial (Tesis de Pregrado). Universidad de Santander, Colombia.

Cano, A. (2019). Detección de genes bacterianos como biomarcadores moleculares asociados a la contaminación antropogénica de un cuerpo de agua superficial (Tesis de Pregrado). Universidad de Santander, Colombia.

Coronel, Y. (2020). Incidencia de las áreas verdes urbanas en captación de CO₂ y PM₁₀ en dos puntos críticos del municipio de Ocaña Norte de Santander. (Tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

Cuadros, E. (2021). Factores meteorológicos y su relación con la calidad del aire producido por PM₁₀ generado en la fabricación de ladrillo artesanal en Cullpa Baja, 2017. (Tesis de pregrado). Universidad continental, Huancayo, Perú.

Decreto Supremo N° 003-2017- MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones complementarias. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 07 de junio de 2017.

Decreto Supremo N° 010-2019- Decreto Supremo que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 02 de diciembre de 2019.

Diestra, N. (2017) La contaminación ambiental y su influencia en la salud de la población del distrito de Trujillo- la Libertad. Revista Ciencia y Tecnología, 13(3): 93-102. Recuperado de: <https://revistas2.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1881>

Espinosa, A., Tzuc, O., Pantí, I., Reyes, J., Pérez, I. y Bassam, A. (2017). Modelado de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} mediante redes neuronales artificiales sobre clima tropical de San Francisco de Campeche, México. Química Nova, 40, 1025-1034. doi: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170115>

Espinoza, J. (2018). Evaluación espacial y temporal del material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en Lima metropolitana para el periodo 2015-2017. (tesis de pregrado). Lima, Perú.

Guerrero, O. (2017). Una oportunidad para mejorar la calidad del aire en Colombia. Revisa Universidad EAFIT.
<https://www.eafit.edu.co/investigacion/revistacientifica/edicion-170/Paginas/colombia-aire-oportunidades.aspx>

Hernández, E. y Méndez, G. (2020). Concentración de material particulado y su relación con la temperatura del aire en los distritos de Trujillo y Víctor Larco Herrera. (Tesis de pregrado). Trujillo, Perú.

Huamán, C. (2018). Relación de las variables meteorológicas y la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} en el distrito de puente piedra en el mes de diciembre 2017. (Tesis de pregrado). Lima, Perú.

Inchaouh, M. y Tahiri, M. (2017). Contaminación atmosférica debida al transporte por carretera en Marruecos: evolución e impactos. Revista de ingeniería Multidisciplinaria Ciencia y Tecnología, 4(6), 2458 – 9403. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/321361272_Air_pollution_due_to_road_transportation_in_Morocco_evolution_and_impacts

Lara, K., Gómez, Z. y Zamorategui, A. (2017). Monitoreo de contaminantes atmosféricos (PM_{2.5}, PM₁₀ y CO₂) y variables meteorológicas (Temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) en la ciudad de Guanajuato. Jóvenes en la ciencia, 3(2); 347-352. Recuperado de: <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1733/1237>

Martínez, M., Tuya L., Martínez, M., Pérez, A., & Cánovas, A. (2009). El coeficiente de concreciones de los rangos de caracterización de Spearman. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8 (2), 0-0. Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-519X2009000200017

Massey, J. y Frank, J. (1951). La prueba de Kolmogorov-Smirnov para la bondad de ajuste. *Revista de la Asociación Estadounidense de Estadística*, 46 (253), 68-78. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1951.10500769>

Montoya, M., Zapata, P. y Correa, M. (2013). Contaminación ambiental por PM₁₀ dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Nare, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 15, 103-115. Recuperado de: <https://www.scielosp.org/article/rsap/2013.v15n1/103-115/es/#ModalArticles>

Ormeño, J. y Quevedo, E. (2020). Calidad del aire e incidencia de fractura osteoporótica de cadera en Chile. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 11(4), 87-91. doi: <https://dx.doi.org/10.4321/s1889-836x2019000400002>

Oyarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 26(1), 16-25. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482010000100004>

Peña, S. (2018). Impacto de la contaminación atmosférica en dos principales ciudades del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(2), 289-293. Recuperado de: <https://biblat.unam.mx/es/revista/universidad-y-sociedad-cienfuegos/articulo/impacto-de-la-contaminacion-atmosferica-en-dos-principales-ciudades-del-ecuador>

Pérez, H., Lunagómez, M. y Acosta, LL. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (PST) y partículas fracción respirable (PM₁₀), en Cunduacán, Tabasco. *Universidad y ciencia*, 26(2), 151-162. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792010000200003&script=sci_arttext

Porras, G. (2019). Efecto de actividades antropogénicas sobre la comunidad liquénica del distrito de Matucana (Tesis de Pregrado). Universidad Ricardo Palma, Perú.

Quezada, N. (2014). SPSS 22. Editorial Macro. Recuperado de: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=hg0wDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=spss+software&ots=Xd0d1YqPpS&sig=V8mFxSmfGf01_A7XVagpNLI59XM#v=onepage&q=spss%20software&f=false

Regalado, A., Paccha, E., Álvarez, O. y Montaña, T. (2019). Comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ en la ciudad de Loja - Ecuador y su relación con variables meteorológicas. *Revista Ciencia e Investigación*, 5(1), 137-148. Recuperado de: <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/755/608>

Ríos, L. (2020). Correlación entre las variables meteorológicas y concentración de los contaminantes atmosféricos, en el distrito de villa maría del triunfo, en mayo de 2018. (Tesis de pregrado). Lima, Perú.

Rivas, B., López, Y., Rivas, C. y Mendoza, G. (2019). Efecto de la contaminación del aire atmosférico en la respuesta inmune innata antimicrobiana. *Salud(i)Ciencia*, 23(5), 10-19. doi: <http://www.dx.doi.org/10.21840/siic/159560>

Robles, E., Medina, A., Medina, C. (2018). La contaminación del aire por el material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco (2010 y 2016). *Revista Industria Data* 22 (1). Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/816/81661270010/html/>

Rojano, R., Pérez, J. y Freyle, E. (2012). "Efecto de la humedad relativa en la determinación de PM_{10} usando un DataRam 4 en la región costera de Colombia." *Revista Técnica Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(2), 1-9. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0254-07702012000200010&script=sci_arttext

Rojas, F., Pacsi, S., Sánchez, R., y Perales, M. (2019). Pronóstico de Reducción de Emisiones, de Enfermos y de Gastos Asociados al incluir el Gas Natural dentro de la Matriz Energética en Perú. *Información tecnológica*, 30(3), 117-126. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300117>

Samarak, A. (2019). Comparative analysis of indoor and outdoor concentration of PM_{10} particulate matter on example of Cracow City Center. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 16, 6609–6616. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02250-5>

Sánchez, C. y Bautista, M. (2019). Evaluación de la calidad del aire (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en relación a los parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa y velocidad de viento) en el sector Cercado- Tarapoto, 2018. (Tesis de pregrado). Tarapoto, Perú.

Sued, D. y Cordero, O. (2020). Estudio Comparativo Sobre el Cumplimiento de la Declaración de Temperatura y Humedad Relativa en las Etiquetas de los Envases Primarios y Secundarios de Productos Farmacéuticos en Farmacias Comunitarias Privadas del Ensanche Naco, Distrito Nacional y el Sector La Toronja, Santo Domingo Este. Período junio 2019-enero 2020. (tesis de postgrado). Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, Santo Domingo, República dominicana.

Tavares, M., Costa, C., Basílio, M., Nóbrega, B. Vieira, J. y Silva, E. (2018). Análise temporal das condições meteorológicas e concentração de Material Particulado (MP10) na Região Metropolitana de São Paulo - SP. Revista Brasileira de Geografia Física, 11(4); 1226-2240. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Madson-Silva/publication/326654382_Analise_temporal_das_condicoes_meteorologicas_e_concentracao_de_Material_Partikulado_MP10_na_Regiao_Metropolitana_de_Sao_Paulo-SP/links/5be348fd4585150b2ba6c287/Analise-temporal-das-condicoes-meteorologicas-e-concentracao-de-Material-Partikulado-MP10-na-Regiao-Metropolitana-de-Sao-Paulo-SP.pdf

Tribunal de cuentas europeo. (2018). Contaminación atmosférica: nuestra salud no tiene todavía la suficiente protección. <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/air-quality-23-2018/es/>

Valdivieso, W. & Cano, A. (2019). Detección de genes bacterianos como biomarcadores moleculares asociados a la contaminación antropogénica de un cuerpo de agua superficial (Tesis de Pregrado). Universidad de Santander, Colombia.

Wendling, M. (2010). Sensores. (Tesis de postgrado). Universidad Estadual Paulista, Brasil.

Zegarra, R., Andrade, S., Parra, M., Mejía, D. y Rodas, C. (2020). Análisis espacial de PM_{10} en el aire y su composición de metales con relación a factores ambientales alrededor de centros de educación preescolar en Cuenca. *Revista Maskana*, 11(1), 57–68. Recuperado de: <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/3036>

ANEXOS

ANEXO N°1: Prueba de normalidad de variables

Zona de Monitoreo	Variable	Kolmogorov-Smirnov ¹		
		Estadístico	gl	Sig.
Av. América Sur	Temperatura	0.183	39916	0.00
	Humedad relativa	0.321	39916	0.00
	PM ₁₀ (ug/m ³)	0.188	39916	0.00
Av. España	Temperatura	0.169	39916	0.00
	Humedad relativa	0.365	39916	0.00
	PM ₁₀ (ug/m ³)	0.252	39916	0.00
Av. Jesús de Nazareth	Temperatura	0.179	39916	0.00
	Humedad relativa	0.233	39916	0.00
	PM ₁₀ (ug/m ³)	0.321	39916	0.00
Av. Vallejo	Temperatura	0.206	39916	0.00
	Humedad relativa	0.322	39916	0.00
	PM ₁₀ (ug/m ³)	0.263	39916	0.00
Promedio	Temperatura	0.141	39916	0.00
	Humedad relativa	0.257	39916	0.00
	PM₁₀ (ug/m³)	0.168	39916	0.00

Nota: Kolmogorov-Smirnov¹ – Prueba de normalidad para muestras grandes (n>50)

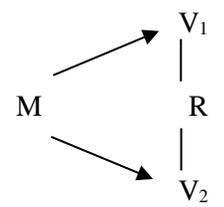
ANEXO N°2: Estándares de calidad de aire

Parámetros	Período	Valor [ug/m ³]	Criterio de evaluación	Método de análisis
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)	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. (Método automático)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 7 veces al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética anual	

Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría no dispersiva (NDIR) (Método automático)
Plomo en (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)

Fuente: D.S. N°003-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para aire

ANEXO N°3. Matriz de consistencia

TÍTULO: “Contaminación por partículas PM ₁₀ y su relación con la temperatura y la humedad relativa en la ciudad de Trujillo, La Libertad 2021.”					
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Existe relación entre la contaminación por partículas PM ₁₀ con la temperatura y humedad relativa en la ciudad de Trujillo, La Libertad 2021?	Implícita	<p>General: Establecer la relación entre la contaminación de partículas de PM₁₀ con la temperatura y la humedad relativa de la ciudad de Trujillo, La Libertad 2020.</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Analizar la temperatura y humedad relativa en las zonas de monitoreo: España, América Sur, Cesar Vallejo y Jesús de Nazareth. Analizar las concentraciones de PM₁₀ en las zonas de monitoreo: España, América Sur, Cesar Vallejo y Jesús de Nazareth. Determinar la relación entre el PM₁₀ y las variaciones de temperatura en las zonas de monitoreo: España, América Sur, Cesar Vallejo y Jesús de Nazareth 	<p>Variable 1: Temperatura y Humedad Relativa</p> <p>Variable 2: Contaminación por PM₁₀.</p>	<p>Tipo de investigación: Descriptiva - Correlación</p> <p>Diseño:</p>  <p>M = muestra V₁ = Variable independiente V₂ = Variable dependiente R = relación de las variables de estudio</p> <p>Técnica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Registro de datos. 	<p>Población: Avenidas de la Ciudad de Trujillo</p> <p>Muestra: Av. César Vallejo, Av. Jesús de Nazareth, Av. España, Av. América Sur de la ciudad de Trujillo.</p>

Instrumento:

- Base de datos.

Método de análisis de datos:

Prueba de Normalidad de Kolmogorov-Smirnov, coeficiente de correlación Spearman. IBM SPSS 22.

ANEXO N°4. Matriz de Operacionalización de variables

TÍTULO: “Contaminación por partículas PM ₁₀ y su relación con la temperatura y la humedad relativa en la ciudad de Trujillo, La Libertad 2021.”					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
VARIABLE DEPENDIENTE: PM ₁₀	Son partículas líquidas y sólidas de sustancias que pueden ser de origen orgánico e inorgánico las cuales se encuentran suspendidas en el aire, pueden estar compuestas de sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro sódico, carbón, polvo de minerales, cenizas metálicas y agua (Coronel, 2020).	Se llevó a cabo la medición de la concentración de PM ₁₀ a través del sensor 6P2Y1010AUOF conectado a un Arduino para su correcta funcionalidad y precisión.	Concentración de PM ₁₀ Material particulado	ug/m ³	Intervalo - Ordinal
VARIABLE INDEPENDIENTE: Humedad Relativa	Es la cantidad de vapor de agua que se encuentra en la atmósfera el cual ayuda a la formación de las nubes, esto se da porque el vapor de agua tiene una menor densidad que la del aire. El aire húmedo, es decir, la mezcla de aire y vapor de agua es menos denso que el aire seco (Sued y Cordero, 2020).	Se llevó a cabo la medición de humedad relativa y temperatura a través del sensor DHT11 conectado a un arduino para su correcta funcionalidad y precisión.	Variable meteorológica	Porcentaje de Humedad (%)	Intervalo – Ordinal

Temperatura	<p>Es la magnitud que mide el nivel térmico o calor que un cuerpo posee. Cualquier sustancia que se encuentre en estado sólido, gaseoso o líquido se constituye de moléculas que se encuentran en constante movimiento y la suma de estas energías de todas las moléculas del cuerpo se conoce como energía térmica y la temperatura es la medida de esta energía (Sued y Cordero, 2020)</p>	Variable meteorológica	T° (°C)	Intervalo - Ordinal
-------------	--	------------------------	---------	---------------------

ANEXO N°5. Toma de datos con los sensores

