



Universidad
Mariana

Estudio de la correlación de la dinámica de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) con las condiciones meteorológicas en el municipio de Pasto utilizando estaciones meteorológicas portátiles.

Edwin Camilo Ruiz Goyes
Mayerli Katherine Ruiz Goyes

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2024

Estudio de la correlación de la dinámica de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) con las condiciones meteorológicas en el municipio de Pasto utilizando estaciones meteorológicas portátiles

Edwin Camilo Ruiz Goyes
Mayerli Katherine Ruiz Goyes

Informe de investigación para optar al título de: Ingenieros Ambientales

Mg Luis Gabriel Lafaurie Ponce
Asesor

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a Dios y a nuestros padres que siempre nos han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos nuestros objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño nos han impulsado siempre a perseguir nuestras metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que nos han brindado el soporte material y económico para poder concentrarnos en los estudios y nunca abandonarlos.

Le agradecemos muy profundamente a nuestro tutor Msc. Luis Gabriel Lafaurie por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiésemos podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

Son muchos los docentes que han sido parte de nuestro camino universitario en especial agradecemos al Ing. Juan Carlos Narváez Burgos quien con su compromiso para con sus estudiantes nos brindó su conocimiento y su ayuda incondicional durante esta etapa de investigación, de él nos llevamos un aprendizaje muy bonito en cuanto a la formación de sus estudiantes, y a todos ellos les queremos agradecer por transmitirnos los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras, y las palabras ya sabemos quién se las lleva, el viento.

Agradecerles a todos nuestros compañeros los cuales muchos de ellos se han convertido en nuestros amigos, cómplices y hermanos. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas

Por último, agradecer a la universidad que nos ha exigido tanto, pero al mismo tiempo nos ha permitido obtener nuestro tan ansiado título. Agradecemos a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estarían las bases ni las condiciones para aprender conocimientos

Dedicatoria

Primeramente, quiero dedicarle este trabajo a DIOS, fuente de inspiración en mis momentos de angustia, dedicación, alegrías y tristezas que caracterizaron al transitar por este camino que hoy veo realizado, sin él no hubiera sido posible.

A mi padre Guillermo Ruiz que siempre ha estado en el momento preciso para extenderme su mano, para convertir los malos pasos en momentos de reflexión, por escucharme y aconsejarme, por nunca dejarme sola, por su gran apoyo en este proceso que sin duda alguna sin él no hubiera sido posible. También a mi Madre Patricia Goyes que su demostración de una madre ejemplar, por su cariño, su amor y sus grandes manifestaciones de afecto, y agradecerle por sus consejos en cada paso, que Dios la bendiga y le de mucha salud para poder retribuirle todo lo que me ha brindado, para ustedes este logro y todos los que me faltan alcanzar. Finalmente sepan que valió la pena cada lagrima, cada preocupación, todo su arduo trabajo al sol y al agua, cada segundo de sacrificio, los amo infinitamente y lo logramos.

A mi Hermano, gracias por estar siempre a mi lado y por haber compartido esta etapa de mi vida tan importante, por acompañarme en cada paso, con tu apoyo, lograremos mucho y demostraremos que podemos a pesar de los obstáculos. El amor, perdón y paciencia siempre prevalecerán.

A mi novio, para ti mi amor, gracias por ese apoyo incondicional durante estos 6 años juntos, por brindarme todo lo que necesito para alcanzar este logro, gracias por acompañarme y darme fuerzas cuando me sentía triste y sentía que no podía más, esto es para ti para que te sientas orgulloso de mí, y que tantos días de esfuerzo y lucha valieron la pena, eres el mejor compañero de mi vida.

A toda mi familia y amigos que me ayudaron con su granito de arena para poder cumplir este sueño tan esperado y por último a todos los que no creyeron en mí, con su actitud lograron que tomara más impulso.

Mayerli Katherine Ruiz Goyes

Dedico principalmente este trabajo a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre Patricia Goyes por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y su amor incondicional, sin importar nuestras diferencias de opiniones. Por su apoyo Incondicional en el transcurso de mi vida, por esas noches en las que mi único apoyo eran sus llamadas en la distancia en las que me decía que era capaz de todo lo que me proponga.

A mi padre Guillermo Ruiz, por ser un ejemplo de vida para mí, por su arduo trabajo, por su persistencia y resistencia, por ser un héroe para mí en muchos momentos difíciles que atravesamos, porque este camino no fue fácil, pero al final se logró.

A mi hermana, mi compañera de tesis, por todas las noches que nos desvelamos tratando de entender y solucionar los imprevistos que se presentaron, por apoyarme y darme moral cuando más lo necesitaba.

A mis amigos, por hacer más amena esta etapa de mi vida, por los momentos compartidos que se vuelven únicos e inolvidables, no alcanzaría a mencionarlos, pero a todos ustedes que están leyendo esto, gracias.

Finalmente, sin dejar atrás a toda mi familia por confiar en mí, a mis abuelitos, tíos y primos, gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de su orgullo.

Edwin Camilo Ruiz Goyes

Contenido

Introducción	13
1. Resumen del proyecto	14
1.1. Descripción del problema	16
1.1.1. Formulación del problema	17
1.2. Justificación.....	18
1.3. Objetivos	19
1.3.1. Objetivo general.....	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos.....	20
1.4.1. Antecedentes	20
1.4.1.1. Internacionales	20
1.4.1.2. Nacionales.....	20
1.4.1.3. Regionales.....	21
1.4.2. Marco teórico	22
1.4.3. Marco conceptual.....	23
1.4.4. Marco contextual	24
1.4.5. Marco legal	26
1.5. Metodología	27
1.5.1. Enfoque de investigación.....	30
1.5.2. Tipo de investigación.....	30
1.5.3. Población y muestra / Unidad de trabajo y unidad de análisis	31
2. Presentación de resultados	32
2.1. Resultados y análisis del primer Objetivo.....	32
2.1.1. Procesamiento de la información	32
2.1.2. Análisis de la revisión sistemática	39

2.2. Resultados y análisis del Segundo Objetivo.	41
2.2.1. Procesamiento de la información	41
2.2.2. Ajustes de Datos	43
2.2.3. Estadísticas	48
2.2.4. Histograma de frecuencias	50
2.2.5. Comparación de cuantiles	51
2.2.6. Test de Normalidad	53
2.2.7. Matriz de Correlación.....	58
2.2.8. Comportamiento de los datos y comparativa con la normativa vigente de calidad de aire. 63	
2.3. Análisis y resultado del tercer objetivo	68
2.3.1. Modelo de regresión multivariado.	68
2.3.2. Estadísticas, análisis de componentes principales y ranqueo.....	68
2.3.3. Modelo de autocorrelación cruzada ARIMA.	72
2.3.4. Análisis de tendencia y auto correlación.....	73
2.3.5. Resultado Prueba de Dickey-Fuller.....	75
2.4. Discusión	81
3. Conclusiones	83
4. Recomendaciones.....	85
Referências bibliográficas	86
Anexos.....	93

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Metodología de la investigación</i>	27
Tabla 2 <i>Diseño experimental</i>	29
Tabla 3 <i>Metodología de muestreo, tiempo de muestreo, frecuencia y numero de muestras por hora</i>	30
Tabla 4 <i>Resultados datos ecuación de ajuste</i>	43
Tabla 5 <i>Resultados datos ecuación de ajuste HR</i>	45
Tabla 6 <i>Ecuación para conversión de datos de CO sensor a Ppm de Co</i>	45
Tabla 7 <i>Resultados datos ecuación de ajuste Material Particulado PM10</i>	46
Tabla 8 <i>Resúmenes estadísticos de Variables Meteorológicas.</i>	48
Tabla 9 <i>Visualización gráfica de resúmenes estadísticos de contaminantes.</i>	49
Tabla 10 <i>Matriz de Covarianza</i>	55
Tabla 11 <i>Covarianza y Correlación de Pearson Para material particulado y Velocidad del viento</i>	60
Tabla 12 <i>Covarianza y Correlación de Pearson Para material particulado y precipitación</i> ...61	
Tabla 13 <i>Niveles Máximos Permisibles de contaminantes criterio en el Aire</i>	63
Tabla 14 <i>Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para los niveles de prevención, Alerta o Emergencia.</i>	64
Tabla 15 <i>Niveles Máximos Permisibles de contaminantes criterio en el Aire</i>	64
Tabla 16 <i>Tabla de coeficientes del modelo</i>	72
Tabla 17 <i>Valores predichos por el modelo ARIMA con niveles de confianza del 80 y 95%</i>	80

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Mapa de ubicación de la zona de estudio Pasto</i>	25
Figura 2 <i>Resultado de ecuación de búsqueda 1.</i>	32
Figura 3 <i>Mapa Bibliométrico de la revisión sistemática.</i>	33
Figura 4 <i>Mapa densidad de la revisión sistemática.</i>	33
Figura 5 <i>Mapa densidad de impacto de la revisión sistemática.</i>	35
Figura 6 <i>Resultado de ecuación de búsqueda 2</i>	35
Figura 7 <i>Mapa bibliométrico de la revisión sistemática 2.</i>	36
Figura 8 <i>Mapa densidad de la revisión sistemática 2.</i>	37
Figura 9 <i>Mapa densidad de impacto de la revisión sistemática 2</i>	37
Figura 10 <i>Resultados por región de la revisión sistemática.</i>	38
Figura 11 <i>Revisión sistemática documentos por año.</i>	38
Figura 12 <i>Formato de recolección de Datos</i>	41
Figura 13 <i>Formato de pre procesamiento de datos.</i>	42
Figura 14 <i>Ecuación de Ajuste de temperatura.</i>	43
Figura 15 <i>Ecuación de Ajuste de Humedad Relativa</i>	44
Figura 16 <i>Ecuación de Ajuste de Material Particulado PM10</i>	46
Figura 17 <i>Calibración de Material Particulado PM10</i>	47
Figura 18 <i>Histogramas de frecuencias</i>	51
Figura 19 <i>Gráficos de comparación de Cuantiles</i>	52
Figura 20 <i>Matriz de correlación de Pearson</i>	58
Figura 21 <i>Tendencias de frecuencias de dirección de viento</i>	60
Figura 22 <i>Relación de precipitación y Material Particulado.</i>	62
Figura 23 <i>Concentración de material particulado en Hora pico de Medio Día y Tarde</i>	66
Figura 24 <i>Mediciones de PM10 Alvernia y Calle 17 en Horas Pico</i>	67
Figura 25 <i>Resumen estadístico en Orange de variables de interés</i>	69
Figura 26 <i>Análisis de componentes principales</i>	70
Figura 27 <i>Tabla de resultado aplicación de técnica estadística Rank</i>	70
Figura 28 <i>R² de modelo de regresión</i>	71
Figura 29 <i>Grafica de serie de tiempo de datos tomados en campo y el modelo creado.</i>	71
Figura 30 <i>Tendencia y ACF para la serie estacionaria y no estacionaria</i>	74

Figura 31 <i>Grafica de auto correlación parcial para la serie de PM10</i>	75
Figura 32 <i>Grafica de coeficientes y error de modelo ARIMA</i>	76
Figura 33 <i>Grafica de series temporales de los residuales, histograma de los residuales con una superposición de una distribución normal y gráfico de cuantiles normales para evaluar la normalidad de los residuales.</i>	77
Figura 34 <i>Grafica de comportamiento de la serie de datos del modelo y datos reales</i>	78
Figura 35 <i>Predicción del modelo ARIMA para PM10</i>	79

Índice de Anexos

Anexo A. Matriz de revisión y comparación sistemática.....	93
Anexo B. Estación Meteorológica utilizada en la investigación.....	98
Anexo C. Código ejecuta Rstudio.....	99
Anexo D. Modelo de auto correlación cruzada.....	103
Anexo H. Ajuste de datos concentración calibrada del Hi-Vol.	106
Anexo J. Registro Fotográfico.	107

Introducción

La calidad del aire es un aspecto crucial para la salud pública y el bienestar ambiental, especialmente en entornos urbanos como el municipio de Pasto. La presencia de contaminantes atmosféricos, como el material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), plantea desafíos significativos debido a su impacto en la salud humana y el medio ambiente. En este contexto, es fundamental comprender la dinámica del material particulado y su relación con las condiciones meteorológicas locales.

El presente estudio se enfocó en investigar la correlación entre la dinámica del material particulado y las condiciones meteorológicas en el municipio de Pasto específicamente en la Calle 17, el cual es un punto estratégico debido a que hay alto tráfico vehicular y actividad comercial. Utilizando una estación meteorológica portátil calibrada, se registraron datos en tiempo real sobre la concentración de material particulado y variables meteorológicas clave, como temperatura, humedad y presión. Este enfoque permitió analizar cómo las condiciones meteorológicas influyen en la dispersión y concentración de material particulado en el aire.

Comprender esta relación es esencial para desarrollar estrategias efectivas de gestión ambiental y salud pública que contribuyan a mejorar la calidad del aire y proteger la salud de los habitantes de Pasto. Identificar los factores que afectan la dinámica del material particulado, es una base sólida y punto de interés para investigaciones e instituciones puedan implementar medidas preventivas y políticas adecuadas para mitigar los riesgos asociados con la contaminación atmosférica en la región.

En este contexto, el estudio busca proporcionar una contribución significativa al conocimiento científico sobre la calidad del aire y su relación con las condiciones meteorológicas en entornos urbanos, específicamente en el municipio de Pasto.

1. Resumen del proyecto

El presente estudio se enfocó en investigar la correlación entre la dinámica del material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) y CO con las condiciones meteorológicas locales en Pasto, utilizando una estación portátil meteorológica, a la cual se le realizó un proceso de ajuste de datos utilizando como base las mediciones de material particulado realizadas mediante un muestreador de alto volumen (Hi-Vol) simultáneamente con el sistema del sensor construido para la investigación, teniendo en cuenta que el Hi-Vol es un instrumento que se encuentra certificado por la corporación autónoma de Cundinamarca y hace parte de los equipos de la universidad Mariana; el valor obtenido del monóxido de carbono mediante el sensor que se utilizó en la estación meteorológica portátil (ESM) se sometieron a un ajuste y conversión del dato en crudo a una concentración en partes por millón (ppm), los sensores de humedad relativa, temperatura y presión, se sometieron a un ajuste utilizando como datos patrón la estación meteorológica de la universidad Mariana Vantage Pro 2.

El objetivo fue analizar cómo las condiciones meteorológicas influyen en la dispersión y concentración de material particulado en el aire, en la calle 17, específicamente en la dirección CL 17 No. 20-107, Pasto, Nariño; a un lado del Mister Pollo del centro y Almacén el Gran Calzado, se realizó el muestreo durante 20 días de 10 de la mañana a 6 de la tarde, con un promedio de 8 horas, y un periodo de muestreo de 5 segundos, se realizó un pre procesamiento de datos para realizar un resumen estadístico y obtener una visualización gráfica de los datos, de la cual se concluyó que los datos no tenían un comportamiento normal y se procedió a realizar un análisis de covarianza y finalmente se realiza la matriz de correlación de Pearson donde responde a nuestra hipótesis en la cual se acepta parcialmente la hipótesis Ho: Existe correlación estadísticamente significativa entre las variables meteorológicas y las concentraciones de Material Particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en el municipio de Pasto. Mediante la matriz de correlación de Pearson se evidenció que el material particulado no tiene correlación positiva con la temperatura, y grado de correlación débil con la presión, la correlación entre el PM y humedad fue de una correlación positiva, la humedad puede afectar la capacidad del aire para sostener partículas en suspensión. Cuando la humedad aumenta, el aire se vuelve más denso y pesado, lo que puede hacer que las partículas se mantengan en el aire durante más tiempo antes de sedimentarse. Esto puede resultar en niveles más altos de partículas en el aire. El monóxido de Carbono (CO) con la temperatura tiene una correlación positiva con un

valor de 0.41 lo que significa que, a temperaturas más altas, las moléculas de CO pueden moverse más rápidamente debido a la mayor energía cinética de las partículas. Esto puede aumentar la difusión del CO desde fuentes de emisión hacia la atmósfera, lo que resulta en una mayor concentración de CO; el CO con la humedad tiene una correlación positiva, que, aunque no son muy fuerte estas variables dependen la una de la otra de tal manera que La humedad puede actuar como un mecanismo de "lavado" para eliminar el CO de la atmósfera mediante la formación de lluvia o la absorción en gotas de agua, lo que podría reducir su concentración; y finalmente el CO con la presión que también en este caso es nula. Finalmente se determina que existe parcialmente correlación estadística entre las variables meteorológicas y las concentraciones de Material Particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en el municipio de Pasto. Con respecto a los niveles máximos permisibles de contaminación de material particulado según la norma 2254 de 2017, se determina que en horas pico de medio día y tarde exceden los niveles permisibles.

Por último, se realizó un modelo de regresión multivariado a través de Orange y se hace un análisis de los componentes principales, la cual estableció que las variables de mayor significancia eran PM₁₀, PM₁, CO y Humedad. El modelo de regresión obtuvo un valor de confianza de 0,98 para calcular los valores de la variable independiente, posteriormente se realizó el modelo de auto correlación cruzada ARIMA este modelo se lo utilizo para analizar y predecir series temporales, el cual utiliza un modelo autor regresivo que solo requiere de una serie de datos de la variable de interés, para identificar patrones predecibles en el tiempo. El modelo ARIMA tras realizar las diferentes pruebas que dieron viabilidad de aplicación arrojó un modelo de predicción con certezas de hasta el 95%.

1.1. Descripción del problema

Las condiciones atmosféricas se pueden definir como los cambios en la variabilidad climática y los agentes que en él se dan. Estas se describen utilizando la información extraída de la medición de los denominados factores climático-ambientales como presión barométrica, temperatura, humedad, viento, nubosidad, y en general, fenómenos meteorológicos presentes. Las propiedades físicas convencionales de la atmósfera, como su movimiento (viento), temperatura del aire, humedad o presión atmosférica, se denominan "factores del tiempo", mientras que los fenómenos especiales, por ejemplo, la lluvia, el rayo, la calima, la cenecñada, etc..., se denominan como "meteoro" (San Gil, L, & Gonzales, 1986, pág. 2)

Los problemas por contaminación atmosférica en el mundo están incrementando diariamente lo cual ha conllevado serias consecuencias en la población, la Organización Mundial de Salud (OMS) en el año 2018 afirmó: "Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado, y confirmaba que 4.2 millones de muertes habían sido atribuidas a la contaminación del aire en 2016". Actualmente existe poca información que contemple un análisis y evaluación de la dinámica de contaminantes espacio temporales para crear estrategias de prevención dentro de un sector afectado. La poca información disponible es un limitante para que las personas del común en el municipio de Pasto tomen acción preventiva a los posibles daños que estos contaminantes pueda causar a una corta o larga exposición. Esto causa que muchas personas estén propensas a diversas afectaciones al entrar en contacto con aire contaminado.

En este orden de ideas la confiabilidad de muchos datos meteorológicos proporcionados por las estaciones principales puede no brindar información de una dinámica detallada o confiable de contaminantes para algunos sitios específicos. Por este motivo para realizar el análisis de los datos meteorológicos, se regirá mediante la normatividad de la calidad del Aire resolución 2254 del 1 noviembre de 2017, y también con datos proporcionados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) el cual tiene como función primordial ejercer como la autoridad científica y técnica designada para recopilar datos ambientales y supervisar la condición de los recursos naturales que conforman el legado ambiental de la nación. Así como

también se tendrá en cuenta las disposiciones relacionadas con la calidad de aire recomendadas por la Organización Mundial de la Salud.

Dentro del municipio de Pasto hay poca información de escala espacio-temporal detallado en cuanto a contaminantes, su dinámica y el grado de correlación con las variables meteorológicas. Lo anterior tiene efectos en el día a día debido a la exposición temporal y crónica de las personas dentro del municipio y aún más en la calle 17 donde se encuentra la zona de estudio. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante mencionar que “las estaciones meteorológicas son una solución tecnológica que nos permite monitorear y realizar acciones preventivas en cuanto a las variaciones de factores como la temperatura, la lluvia, la velocidad del viento entre otras, todas muy importantes para las comunidades, industrias y sectores del país y el mundo. A través de estas se pueden identificar variaciones y comportamientos de variables como la temperatura, humedad del aire, la velocidad y dirección del viento, la presión atmosférica, la humedad, la intensidad y acumulación de la lluvia, radiación solar y otras condiciones meteorológicas, con el fin de predecir y prevenir posibles riesgos” (Pacsi Valdivia, 2016, pág. 10).

1.1.1. Formulación del problema

¿Cuál es el grado de correlación de las variables dinámicas de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) con las variables meteorológicas y/o atmosféricas en el municipio de Pasto?

Ho: Existe correlación estadísticamente significativa entre las variables meteorológicas y las concentraciones de Material Particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en el municipio de Pasto

1.2. Justificación

La presencia de partículas pequeñas o subproductos gaseosos en la atmósfera puede representar un riesgo para la salud, causar daño o incomodidad a las personas o animales expuestos a ciertas concentraciones en estos entornos. Considerando lo anterior, esta investigación lograra determinar cuáles son las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} en el sitio de investigación en el Municipio de Pasto y su correlación con algunas condiciones meteorológicas.

Esta investigación contempla la necesidad de este estudio teniendo en cuenta que los principales medios por los cuales se produce contaminación atmosférica se concentran en los procesos industriales o comerciales en donde se realizan procesos de combustión. Incluyendo también la combustión y gases generados por fuentes móviles tales como los automóviles. Resaltando un estudio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) acerca de la calidad del aire donde se afirma que “cerca de la mitad de la población que se encontraba monitoreada para el año 2014, estaba expuesta concentraciones 2,5 niveles más altos de los niveles recomendados por la misma institución” (OMS, 2014). Así mismo es necesario considerar que los niveles actuales de contaminación son aún mayores que en el momento de la investigación realizada por la OMS.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el grado de correlación entre la dinámica de material particulado en el municipio de Pasto y las condiciones meteorológicas, mediante el registro y procesamiento de variables con un sistema de estaciones meteorológicas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sistemática sobre investigaciones y dispositivos, en los que se realicen tanto registros de contaminantes y/o variables meteorológicas, como descripciones de la dinámica de los contaminantes en una región.
- Registrar datos espacio-temporales de concentración de material particulado y de variables meteorológicas en las zonas de estudio del municipio de Pasto (Calle 17, Centro y Universidad Mariana).
- Analizar mediante técnicas de interpolación, análisis dinámico y estadístico el grado de correlación entre las variables medidas.

1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos

1.4.1. Antecedentes

1.4.1.1. Internacionales. Para el año 2017 en Chochabamba-Bolivia se realizó un estudio sobre la dinámica temporal de PM₁₀ emitido en este lugar, donde se presenta un estudio de series temporales de PM₁₀ que muestran la mala calidad del aire en Cochabamba, mediante parámetros estadísticos usados en estudios sobre dinámica no lineal. El promedio diario de partículas PM₁₀ sigue pautas similares a las observadas en grandes ciudades con altos niveles de contaminación ambiental. Uno de los parámetros mostró una tendencia y características comparables a las encontradas en investigaciones previas sobre la evaluación de la variabilidad en la contaminación por ozono, PM_{2.5} y CO, lo que evidencia la naturaleza caótica de estos datos (Salini Calderon & Medina Mitma, 2017).

1.4.1.2. Nacionales. Cortes Duarte et al (2021), presentan una relación entre estratificación socioeconómica y exposición al material particulado en el área urbana de Bogotá (Colombia). Este estudio determinó mediante la aplicación de diversas metodologías de análisis, la relación entre los niveles de contaminación por partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) en la ciudad de Bogotá y su estratificación socioeconómica. El propósito de esta investigación fue identificar la correlación espacial entre los niveles de partículas registrados por las estaciones meteorológicas de Bogotá, con tamaños de diámetro de 2,5 y 10 micrómetros, y varios aspectos del entorno, como la composición demográfica, la salud pública, la actividad económica y la educación. Como resultado, se encontraron asociaciones significativas entre ciertas variables sociodemográficas y ambientales y la exposición a partículas contaminantes en las 19 localidades que componen el área metropolitana de Bogotá.

Otro estudio que se realizó en Bogotá, Colombia, titulado “Distribución espacial de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} y su relación con la mortalidad cardiopulmonar en Bogotá, Colombia”, tuvo como objetivo principal establecer las zonas de riesgo por mortalidad cardiopulmonar derivada de la exposición a PM₁₀ y PM_{2.5} en Bogotá para el periodo

2014 – 2015. Para ello se utilizaron los datos horarios de PM₁₀ y PM_{2.5} de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) Los resultados que se obtuvieron mostraron que la localidad de Kennedy presentó un mayor riesgo por mortalidad cardiopulmonar; registrando un promedio de 25 µg/m³ en la franja de 6:00 a.m. a 12:00 p.m. Que al ser comparada con los valores guía de la organización mundial de la salud en relación al promedio anual, el cual establece que estos niveles aumentan el riesgo de mortalidad prematura aproximadamente en un 9%. (Rodriguez Camargo, 2015)

1.4.1.3.Regionales. Moncayo Riascos; et al (2002). En su trabajo de grado diseño de la red de monitoreo calidad de la calidad del aire para la ciudad de pasto, determinaron los niveles calidad del aire dentro del perímetro urbano de la Ciudad de San Juan de Pasto. Dentro de sus capítulos se encuentra el paso a paso que se siguió para obtener resultados factibles dentro de la misma, como conclusión final de esta investigación destacaron que, conforme al registro de emisores en la ciudad de San Juan de Pasto, las áreas con una mayor concentración industrial se ubican en las comunas 1, 2 y 9, representando el 28%, 20% y 18% respectivamente del total de industrias. En cuanto al sector productivo, las fábricas de alimentos, asaderos de pollos y panaderías son los que tienen una mayor presencia, abarcando el 8%, 23% y 32% respectivamente del conjunto de industrias encuestadas en el inventario de fuentes de emisión. La estimación de emisiones provenientes de fuentes fijas, calculada mediante los factores de emisión EPA AP-42, indica que los asaderos de pollos y las fábricas de alimentos son los principales contribuyentes de contaminantes atmosféricos, con 106,7 toneladas/año y 35,5 toneladas/año respectivamente. En cuanto al tráfico vehicular, se identifica que la mayor intensidad se registra en la zona central de la ciudad, específicamente en las avenidas Boyacá y Panamericana, con aportes de contaminantes de 206 g/s y 179 g/s respectivamente. El mayor flujo de vehículos se observa entre las 1:30 y las 2:30 pm, representando el 43%, y entre las 6:30 y las 7:30 pm, con un 29%, horas que corresponden al desplazamiento masivo de la población en la ciudad

1.4.2. Marco teórico

Estaciones meteorológicas (EM): “Una estación meteorológica es un equipo electrónico automatizado que opera con autonomía energética y se encarga de medir y registrar las condiciones atmosféricas utilizando una serie de sensores electrónicos” (Medina-García et al., 2008).

Calidad del aire: “Se define la inmisión o calidad del aire como la concentración de contaminantes que llega a un receptor, más o menos lejano de la fuente de emisión, una vez transportado y difundido por la atmósfera”. (Troposfera, s.f.)

Material particulado (PM): “PM, que significa material particulado, se refiere a la contaminación por partículas que consiste en una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas presentes en el aire. Algunas de estas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para ser visibles a simple vista, mientras que otras son tan diminutas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico. La contaminación por partículas abarca dos categorías principales: PM₁₀, que son partículas inhalables con diámetros generalmente de 10 micrómetros o menos, y PM_{2,5}, que son partículas inhalables finas con diámetros generalmente de 2,5 micrómetros o menos.” (EPA, 2022).

ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) es un modelo estadístico utilizado para analizar y predecir series temporales. Este modelo combina componentes de autor regresión (AR), integración (I) y media móvil (MA) para modelar patrones y tendencias en datos temporales.

Métodos de correlación: La técnica a la que se refiere es un análisis de información basado en estadísticas y, por tanto, en principios matemáticos. Este método implica examinar la relación entre al menos dos variables, como por ejemplo, dos campos de una base de datos o datos brutos. El resultado de este análisis debe indicar la fuerza y la dirección de la relación entre las variables. Para investigar esta relación, se emplean coeficientes de correlación. Este tipo de análisis se lleva a cabo tanto en variables cuantitativas como cualitativas. (R Suarez, 2015)

1.4.3. Marco conceptual

La creciente preocupación por la calidad del aire y sus efectos en la salud humana y el medio ambiente ha impulsado investigaciones en la interacción entre la dinámica de material particulado (**PM₁₀ y PM_{2.5}**) y las condiciones meteorológicas. Este estudio se enfoca en el municipio de Pasto, donde las particularidades geográficas y climáticas pueden influir significativamente en esta interacción.

Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}): El material particulado se compone de partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, clasificadas según su diámetro aerodinámico. Las partículas con diámetros menores a 10 micrómetros (PM₁₀) y 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) son de particular interés debido a su capacidad para penetrar profundamente en el sistema respiratorio humano. Investigaciones previas han demostrado que la concentración de estas partículas está relacionada con problemas de salud y daños al medio ambiente.

Condiciones Meteorológicas: Las condiciones meteorológicas, como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad y dirección del viento, y la inversión térmica, influyen en la dispersión, transporte y deposición de partículas en la atmósfera. La relación entre estas variables y la concentración de material particulado es fundamental para comprender la dinámica atmosférica y los posibles impactos en la salud pública.

Correlación y Causas: El estudio se centra en analizar la correlación entre la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} y las condiciones meteorológicas en Pasto. Se espera que ciertos patrones emerjan, como incrementos en la concentración de partículas durante condiciones de inversión térmica, baja velocidad del viento y alta humedad relativa. Estos patrones pueden ayudar a identificar las causas subyacentes de las variaciones en la concentración de material particulado.

Influencia Geográfica y Climática: Pasto, ubicado en una región montañosa, experimenta variaciones climáticas notables debido a su altitud. El análisis debe considerar cómo la topografía y el clima local afectan las condiciones meteorológicas y, por ende, la dispersión de partículas en

la atmósfera. La interacción entre los factores geográficos y climáticos desempeñará un papel crucial en las observaciones y conclusiones del estudio.

En resumen, este marco conceptual establece las bases teóricas y conceptuales para el estudio de la correlación entre la dinámica de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) y las condiciones meteorológicas en el municipio de Pasto. La relación entre estos dos factores es de gran importancia para comprender cómo las condiciones atmosféricas locales influyen en la calidad del aire y, por ende, en la salud pública y el medio ambiente. Mediante la recopilación de datos de estaciones meteorológicas portátiles y su análisis en relación con la concentración de partículas, se espera obtener un mayor conocimiento sobre esta interacción compleja y sus implicaciones.

1.4.4. Marco contextual

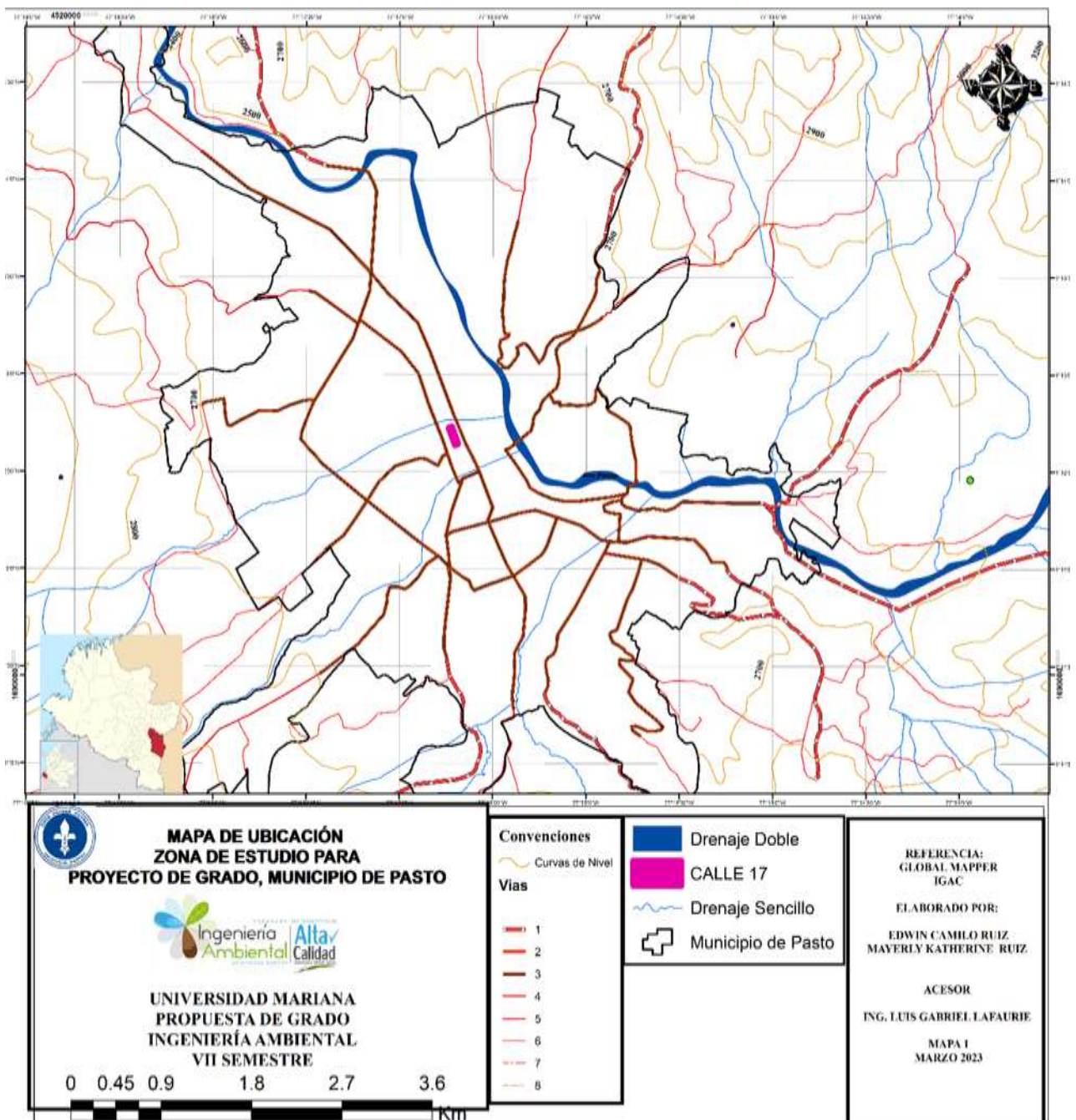
Este proyecto de investigación se realizó en un marco contextual que se ubica en la capital nariñense, la ciudad de San Juan de Pasto, ubicada al suroccidente colombiano, que cuenta con una altitud de 2525 m.s.n.m. El centro de la ciudad alberga numerosas tiendas, restaurantes y cafeterías que contribuyen a su actividad económica. Es relevante destacar que esta área experimenta una alta tasa de flujo vehicular debido a su dinámica económica, lo cual resulta en una significativa emisión de contaminantes. De las actividades comerciales nombradas anteriormente el sitio de la investigación se encuentra ubicado en uno de los lugares más transitados tanto vehicular como peatonalmente justo al respaldo de la Iglesia La Merced por la calle 17, donde la actividad comercial es distintiva en ese punto con una alta congestión en las horas pico tanto vehicular como peatonal. Además, cabe recalcar que esta congestión y tráfico siempre es mayor entre las carreras 21, 22 y 23 que interceptan esta calle. Es de recalcar también, que la zona del centro también es conocida por su animada vida nocturna, con muchos bares y discotecas que atraen a los jóvenes de la ciudad.

La temperatura en Pasto varía según la época del año y la hora del día. Debido a su ubicación, la temperatura en la ciudad es generalmente fresca durante todo el año, con una temperatura promedio anual de alrededor de 14 °C. Durante el día, la temperatura en Pasto puede ser bastante agradable, con temperaturas que oscilan entre los 18 y 25 °C, dependiendo de la época del año. Sin

embargo, durante la noche, las temperaturas pueden bajar considerablemente, especialmente en los meses más fríos, cuando las temperaturas nocturnas pueden descender por debajo de los 5 °C.

Figura 1

Mapa de ubicación de la zona de estudio Pasto



Nota: *El mapa muestra una base cartográfica del municipio de Pasto y en él una ubicación de la zona de estudio dentro de la ciudad, que es la calle 17 comprendida entre las carreras 21, 22 y 23.*

Aunque la zona específica de estudio se encuentra en la calle 17 centro, donde se ubicó una estación meteorológica, también se localizó una zona control que está ubicada dentro de las instalaciones de la Universidad Mariana. Estados dos puntos de muestreo estarán aproximadamente a una distancia de 1.37 km entre sí. Una zona de control se refiere a un área designada donde se monitorean y registran los niveles de contaminantes atmosféricos como parte de la investigación. Esta zona se selecciona estratégicamente para representar un entorno no expuesto o con una exposición mínima a la contaminación del aire. Esta zona control recopilara datos de contaminantes y variables atmosféricas simultáneamente con la zona de estudio de exposición de la calle 17-Centro.

En este orden de ideas, al seleccionar la zona de estudio e incluida la zona de control y las áreas en las que se sospecha una mayor concentración de contaminantes permitirá un análisis de los datos recopilados en diferentes puntos, donde se identificaron patrones y determino la dispersión de los contaminantes.

1.4.5. Marco legal

“Las emisiones por fuentes móviles se producen por la quema de combustibles fósiles utilizados por el parque automotor ya que los vehículos automotores son los principales emisores de contaminantes como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, dióxidos de azufre y compuestos orgánicos volátiles” (Gomez Duque, 2019, pág. 21).

Basándose en el marco legal de este proyecto teniendo en cuenta la normatividad actual vigente adoptada por el IDEAM, que se decretó por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible en la resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017, donde “se adopta la norma de calidad de aire y otras disposiciones” (pág. 2), se pudo hacer una evaluación de cómo se desarrolla la contaminación por material particulado y como esta puede afectar en la salud de las personas. De esta manera, en vista de todo lo anterior, esta investigación contribuirá directamente o indirectamente con la

población que a diario se ve expuesta en el sitio de investigación, de la misma manera, a las personas transeúntes o que visitan dicho lugar. Esto permitirá realizar las recomendaciones necesarias para afrontar y crear estrategias de prevención a la exposición de estos contaminantes y el horario de mayor exposición de las personas.

1.5. Metodología

En la **Tabla 1** se presenta el diseño metodológico de la investigación, el cual proporciona la estructura y el enfoque necesarios para abordar los objetivos de investigación de manera sistemática y rigurosa. Un diseño metodológico bien planificado permite en una investigación recolectar y analizar datos de manera eficiente, minimizando los sesgos y maximizando la precisión de los resultados.

Tabla 1

Metodología de la investigación

Título	Estudio de la Correlación de la Dinámica de Material Particulado (PM₁₀ Y PM_{2.5}) con las Condiciones Meteorológicas en el Municipio de Pasto Utilizando Estaciones Meteorológicas Portátiles	
Objetivo General	Evaluar el grado de correlación entre la dinámica de material particulado en el municipio de Pasto y las condiciones meteorológicas, mediante el registro y procesamiento de variables con un sistema de estaciones meteorológicas.	
Objetivos específicos	Actividad	Producto o Resultado

<p>• Realizar una revisión bibliográfica sistemática sobre investigaciones y dispositivos, en los que se realicen tanto registros de contaminantes y/o variables meteorológicas, como descripciones de la dinámica de los contaminantes en una región.</p>	<p>Revisión sistemática.</p>	<p>Base de Datos.</p>
<p>• Registrar datos espacio-temporales de concentración de material particulado y de variables meteorológicas en una zona de estudio del municipio de Pasto.</p>	<p>Visita de campo para determinar el lugar de muestreo</p> <hr/> <p>Ubicar la distribución de estaciones meteorológicas</p> <hr/> <p>Recolección de datos a través de estaciones meteorológicas.</p>	<p>Presentación de datos recolectados mediante gráficos estadísticos.</p>
<p>• Procesar los datos obtenidos, mediante técnicas de interpolación, análisis dinámico y estadístico, que permitan evaluar el grado de correlación de las variables medidas.</p>	<p>Organizar los datos de campo recolectados</p> <hr/> <p>Procesamiento de Datos mediante software</p> <hr/> <p>Análisis de los resultados finales.</p>	<p>Resultados finales mediante gráficos donde se evidencia el logro del objetivo general.</p>

En la **Tabla 2** se presenta la tabla de diseño experimental, la cual permitió, y es fundamental en un estudio para obtener resultados válidos y confiables. Mediante la siguiente tabla de diseño experimental se proporciona una estructura clara y organizada para la manipulación de variables y la recopilación de datos,

Tabla 2

Diseño experimental

Diseño de Experimentos	
OBJETIVO	Evaluar el grado de correlación entre la dinámica de material particulado en el municipio de Pasto y las condiciones meteorológicas, mediante el registro y procesamiento de variables con un sistema de estaciones meteorológicas portátiles.
VARIABLE DE RESPUESTA	Grado de correlación de PM ₁₀ y PM _{2.5} con condiciones meteorológicas
FACTORES	Temperatura, humedad, presión atmosférica, concentraciones de PM ₁₀ y PM _{2.5} , concentración de monóxido de carbono.
CONFUSING FACTORS	<ul style="list-style-type: none"> ○ Frecuencia de muestreo ○ Tiempo de muestreo ○ Espaciamiento entre ESM ○ Calibración
NIVELES DE FACTORES	Señales de: temperatura, humedad, presión atmosférica, concentraciones de PM ₁₀ y PM _{2.5} , concentración de monóxido de carbono.
UNIDAD EXPERIMENTAL	Contaminantes y condiciones meteorológicas de un sitio dentro del municipio de Pasto con conocimiento a priori de alto grado de contaminación en la atmósfera.
REPETICIONES	20 repeticiones
TRATAMIENTOS	Mediciones espacio-temporales en el mismo lugar y hora por cada repetición

DURACION DEL ESTUDIO 20 días.

Teniendo en cuenta los factores propuestos anteriormente, se presenta en la **Tabla 3** de diseño de metodología de muestreo para los dos puntos seleccionados. Mediante la siguiente tabla se presenta de manera organizada y clara la aplicación de la metodología de muestreo.

Tabla 3

Metodología de muestreo, tiempo de muestreo, frecuencia y numero de muestras por hora

DIAS	HORARIO DE MEDICION	PERIODO DE MUESTREO (5 Seg)	NUMERO DE MUESTRAS POR HORA
DIA 1 a 20	10:00 AM- 6:00PM	5	720

La **Tabla 3** presenta la metodología de muestreo, la cual se realizó de en un tiempo de 8 horas por día, durante 20 días. Mediante este muestreo se obtuvo una serie de datos significativos a medida que avanzó el día y de acuerdo a las condiciones meteorológicas.

1.5.1. Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación es mixto ya que se cuenta con enfoques cualitativos como cuantitativos en la parte de recolección y posteriormente análisis de los datos.

1.5.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo Aplicada, teniendo en cuenta su profundidad en el tema es de tipo exploratoria y correlacional, además según los datos esperados se puede decir que es cuantitativa

ya que contamos con datos primarios y secundarios obtenidos a través de pruebas de Campo, y según las variables que manejamos es experimental, utilizando el método Analítico y en función del tiempo es tipo Diacrónica con un periodo de duración de 12 meses.

1.5.3. Población y muestra / Unidad de trabajo y unidad de análisis

- **Población:** contaminantes y condiciones meteorológicas de un sitio dentro del municipio de Pasto con conocimiento a priori de alto grado de contaminación en la calle 17-Centro y la zona control en la Universidad Mariana.
- **Muestra:** las mediciones de contaminantes como PM₁₀ y PM_{2.5} y de las variables meteorológicas: Para la muestra, registros temporales con una frecuencia de muestreo adecuada, y registros espaciales de la calle 17- Centro y la zona control en la Universidad Mariana.

2. Presentación de resultados

2.1. Resultados y análisis del primer Objetivo.

2.1.1. *Procesamiento de la información*

El primer objetivo tuvo como finalidad hacer una revisión sistemática. En primer lugar, se hace uso de la herramienta Science Direct para hacer una búsqueda de bibliografía y tecnologías relacionadas con la investigación. A continuación, se presenta las ecuaciones de búsqueda:

- **Weather Station AND meteorological variables AND PM₁₀ AND PM_{2.5}**

Figura 2

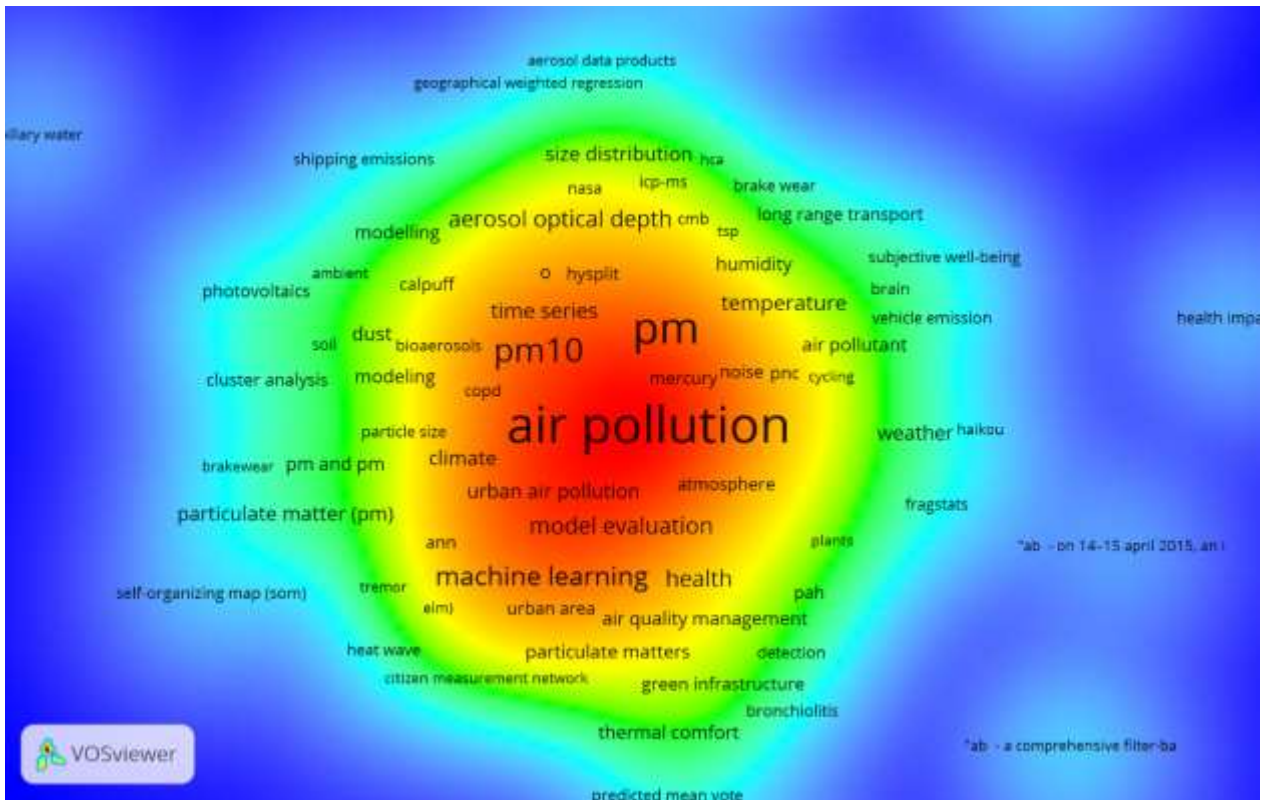
Resultado de ecuación de búsqueda 1.



Como resultado de la ecuación se obtuvieron 896 documentos, los cuales se procesaron mediante la herramienta de VOSviewer del cual se obtuvieron diferentes mapas y figuras que permiten evaluar el grado de correlación de los artículos entre sí.

Figura 5

Mapa densidad de impacto de la revisión sistemática.

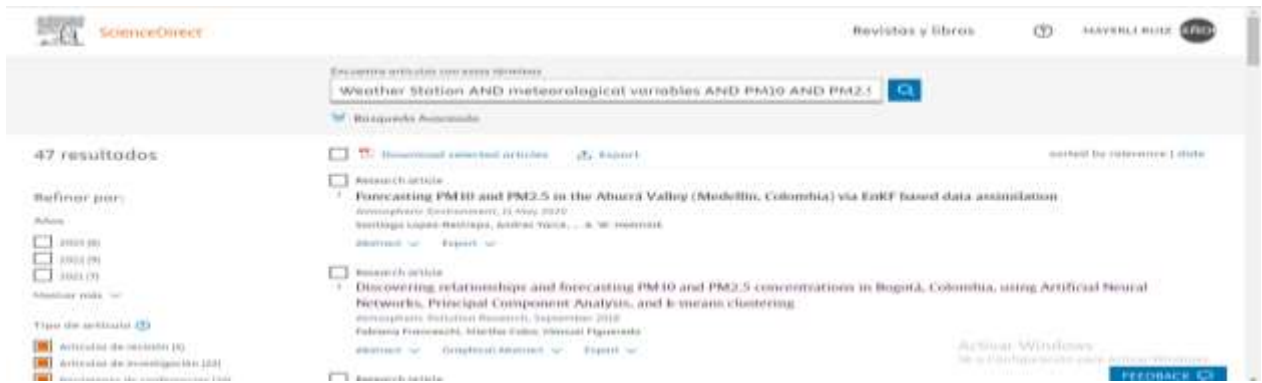


Finalmente, lo que indica el mapa de densidad (**Figura 5**), es el impacto donde se centran los temas de mayor interés dentro de la revisión sistemática, y de la cual se puede deducir que existe una gran lógica dentro de lo que se presenta en el área de mayor impacto con respecto a la ecuación de búsqueda, sin embargo, existen ideas las cuales no hacen parte de la misma por lo cual a continuación se hace un breve análisis y se presenta una nueva ecuación de búsqueda.

- **Weather Station And Meteorological Variables And PM₁₀ And Pm_{2.5}, Not Pm, Not Covid 19, Not Machine Learning, Not Aerosol, Not Source Apportionment.**

Figura 6

Resultado de ecuación de búsqueda 2



De la anterior ecuación de búsqueda se obtuvieron 47 resultados, teniendo en cuenta la información que se brindó en la primera revisión se identifican ideas de palabras que no tiene relevancia dentro de nuestra investigación y se ejecuta nuevamente ecuación de búsqueda modificada, se hace una revisión dentro de la cual efectivamente la información es valiosa para el estudio, hay información muy importante el cual aclara las ideas principales del objetivo.

Figura 7

Mapa bibliométrico de la revisión sistemática 2.

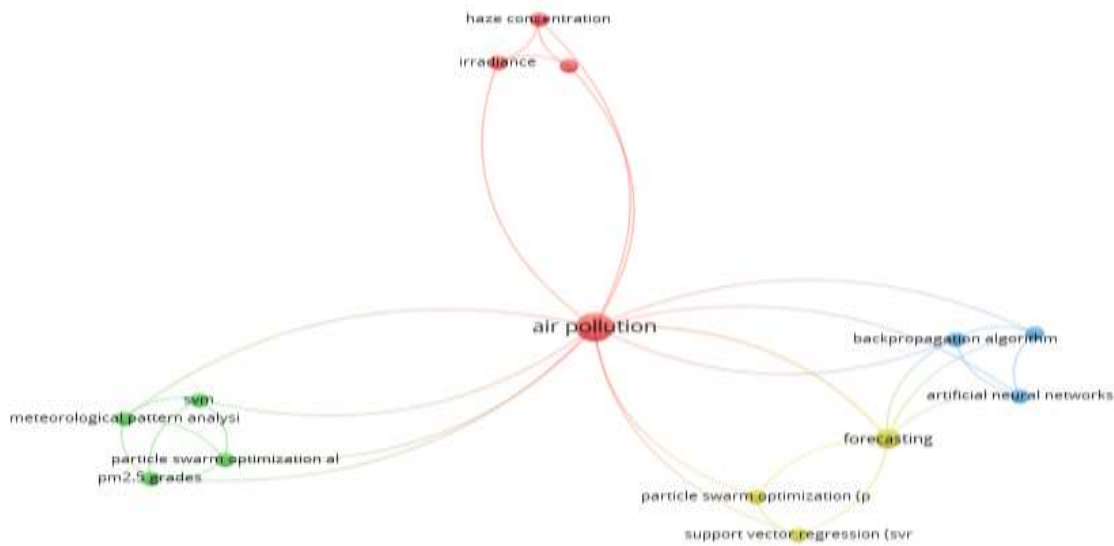


Figura 8

Mapa densidad de la revisión sistemática 2.

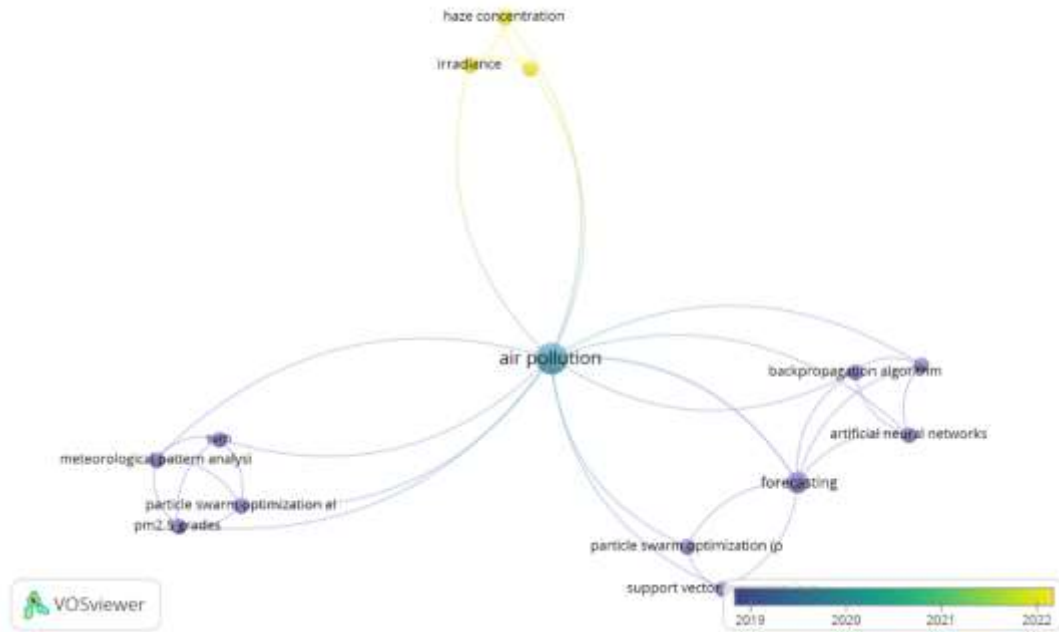
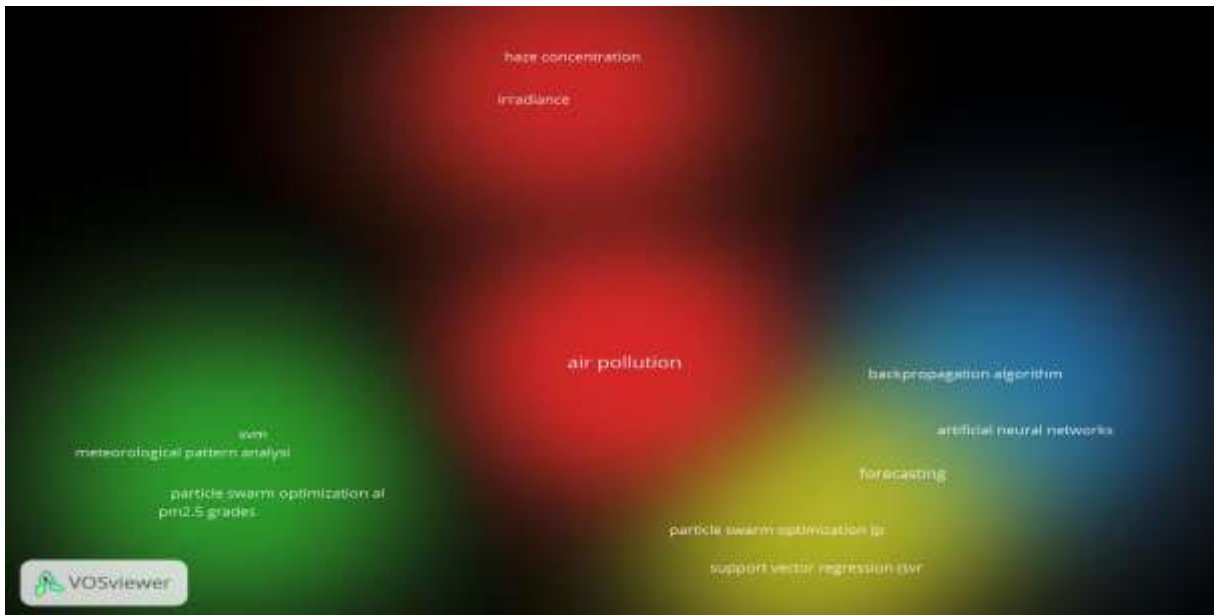


Figura 9

Mapa densidad de impacto de la revisión sistemática 2



Después de identificar los artículos que tienen relevancia en nuestra investigación finalmente se obtienen un desglose de palabras claves, su concentración de impacto y demás por lo cual a continuación se procede hacer una revisión sistemática por región de los artículos y revistas consultados.

Figura 10

Resultados por región de la revisión sistemática.

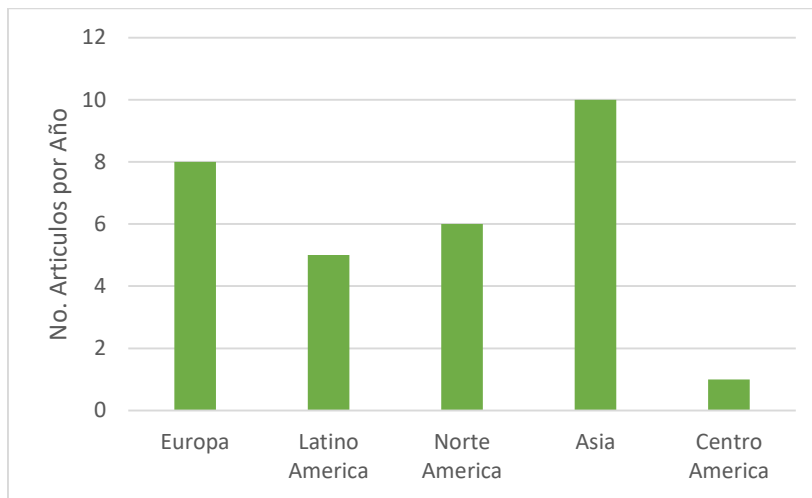
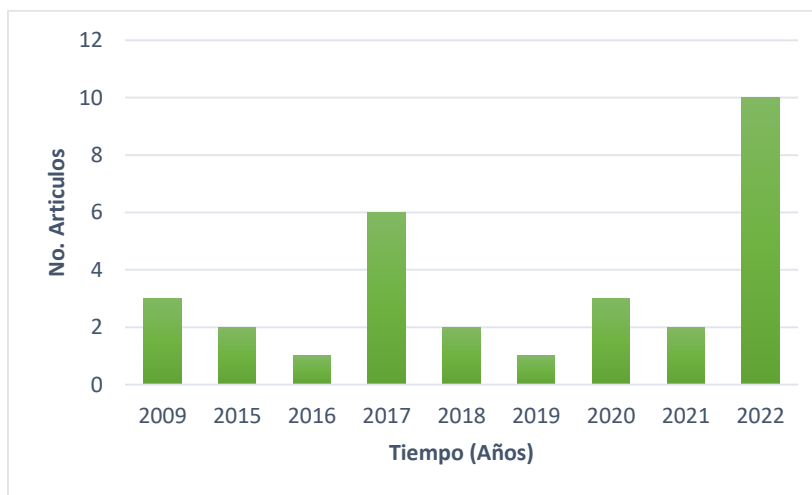


Figura 11

Revisión sistemática documentos por año.



El análisis de las **Figuras 10 y 11** de representación de documentos por año y regiones permite identificar tendencias y patrones en la producción y distribución de información a lo largo del tiempo y en diferentes áreas geográficas. Este análisis proporciona una visión panorámica de cómo la generación de documentos ha evolucionado y se ha distribuido en distintas partes del mundo como lo son América latina, Norte América y Europa los cuales tienen información relevante para la investigación. Son especialmente útil para comprender la dinámica global de la producción y distribución de conocimiento, así como también para identificar áreas geográficas o períodos de tiempo que requieren mayor atención en términos de investigación, acceso a la información o políticas de promoción cultural y educativa.

En el anexo A se muestran las tablas de revisión y comparación bibliográfica con los diferentes artículos revisados y sus principales características de medición de variables de contaminantes y/o climáticas.

2.1.2. Análisis de la revisión sistemática

Uno de los factores que más se tuvo en cuenta a la hora de realizar la revisión, teniendo en cuenta el objetivo general es como influían las variables meteorológicas con respecto al material particulado, encontrando que el PM y temperatura tienen una relación inversa, varios estudios han encontrado que a medida que la temperatura aumenta, la concentración de PM tiende a disminuir. Esto puede ser debido a una mayor dispersión del material particulado en la atmósfera debido a la mayor actividad térmica y a la mayor velocidad del viento. Guo et al. (2019) encontraron una relación inversa significativa entre PM₁₀ y temperatura en su estudio sobre la calidad del aire en áreas urbanas.

El PM y humedad tiene una relación inversa y existen evidencias de que la humedad alta está asociada con concentraciones más bajas de PM₁₀. Esto puede ser debido a la capacidad de la humedad para absorber partículas en el aire, lo que reduce su concentración. Li et al. (2017) observaron una relación inversa entre la humedad y PM_{2.5} en su investigación sobre la calidad del aire.

La relación entre PM₁₀ y la presión atmosférica es menos clara y puede variar dependiendo de otros factores. Algunos estudios han encontrado una correlación inversa, mientras que otros no han encontrado una relación significativa. Wang et al. (2018) realizaron un análisis de la relación entre la presión atmosférica y PM₁₀ en su estudio sobre la contaminación del aire en áreas urbanas.

Según la revisión la relación entre monóxido de carbono (CO) y los parámetros meteorológicos puede variar según la ubicación geográfica y las fuentes de emisión de CO. Por lo general, se espera una relación inversa entre CO y temperatura, y una relación directa entre CO y humedad, aunque estas relaciones pueden ser modificadas por otros factores como la estacionalidad y la topografía. Por ejemplo, Kim et al. (2016) estudiaron la relación entre CO y varios parámetros meteorológicos en áreas urbanas y encontraron una relación inversa con la temperatura y una relación directa con la humedad.

Es importante tener en cuenta que estas relaciones pueden variar según la ubicación geográfica, el período de estudio y otros factores locales. Además, la comprensión de estas relaciones es fundamental para mejorar la gestión de la calidad del aire y para entender los impactos de la contaminación atmosférica en los fenómenos climáticos y en la salud humana.

De esta manera la revisión bibliográfica permitió identificar otros factores como métodos de análisis para la dinámica de correlación más comunes, como la regresión lineal y no lineal, el análisis de series temporales y modelos de dispersión atmosférica, que se aplicaron según nuestra necesidad.

En general se encontró que el material particulado es un contaminante atmosférico cuyo comportamiento no está influenciado por variables meteorológicas. Las estaciones meteorológicas son herramientas esenciales para la medición y el monitoreo de estas partículas, es por esto que la revisión bibliográfica muestra sensores, métodos de programación, métodos de predicción y hardware utilizados dentro de las investigaciones demostrando la importancia de hacer una adecuada selección de estación a la hora de realizar una investigación. La consideración adecuada de estas variables en el análisis es crucial para comprender y abordar eficazmente los problemas de calidad del aire y sus impactos en la salud pública y el medio ambiente.

2.2. Resultados y análisis del Segundo Objetivo.

2.2.1. Procesamiento de la información

Siguiendo el orden de ideas y las actividades planteadas dentro del cronograma se estableció como lugar de muestreo la calle 17, específicamente en la dirección CL 17 No. 20-107, Pasto, Nariño; a un lado del restaurante Mister Pollo del centro y Almacén el Gran Calzado. Se realizó un muestreo durante 20 días desde las 10 de la mañana hasta las 6 de la tarde, con un promedio horario de 8 horas y con un periodo de muestreo de 5 segundos. Los datos recolectados corresponden a tiempo (s) temperatura en °C del sensor DHT22, humedad en % del sensor DHT22 (HUM_DH(%)), presión atmosférica en milibares LP_Presion(mbar), temperatura en °C del sensor LP (LP_Temp(°C)), concentración de monóxido de carbono en unidades de conversión análogo digital (MQ(ADC)), concentración de material particulado Pm₁, Pm_{2.5} y PM₁₀ en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pm₁($\mu\text{g}/\text{m}^3$), pm_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En la **Figura 12** se muestra el formato de recolección de datos el cual se guardó mediante programación en formato de bloc de notas, un archivo delimitado por comas donde están las columnas de las diferentes mediciones.

Figura 12

Formato de recolección de Datos

```

23-12-2023 SABADO: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Tiempo(s), TEMP_DH(°C), HUM_DH(%), LP_Presion(mbar), LP_Temp(°C), MQ(ADC), pm1(ug/m3), pm2_5(ug/m3), pm10(ug/m3)
0.00,23.40,47.80,755.00,22.50,34,25,41,41
5.00,23.50,50.00,755.00,23.50,64,35,49,54
10.00,23.50,50.40,755.00,23.50,67,33,47,51
15.00,23.50,50.50,755.00,23.50,51,26,36,39
20.00,23.60,50.90,755.00,23.50,39,25,35,39
25.00,23.70,50.30,755.00,23.50,29,25,38,43
30.00,23.70,50.00,755.00,23.50,20,24,38,43
35.00,23.80,49.50,755.00,23.50,15,24,37,41
40.00,23.90,49.20,755.00,23.50,10,25,37,44
45.00,23.90,48.70,755.00,23.50,5,26,38,45
50.00,24.00,48.50,755.00,23.50,2,26,37,44
    
```

Posteriormente se procede a organizar los datos en formato Excel y teniendo en cuenta el total de ellos es difícil representarlos gráficamente para realizar un análisis, por lo tanto, se procede hacer

un pre procesamiento y se organiza los datos de la manera que sea más cómodo hacer un análisis estadístico, los datos son organizados cada 5 y 15 minutos y cada hora.

En el **Anexo C** se presenta el código que se ejecutó en Rstudio para el análisis estadístico de las variables recolectadas en campo. Previo al procesamiento de los datos, en la **Figura 13** se muestra el formato del pre procesamiento de datos recolectados antes de haberles realizado los diferentes análisis estadísticos, para ello se calcularon los promedios cada 5 y 15 minutos; y, cada hora. Además, se organizaron datos en intervalos cortos de tiempo correspondientes a las horas pico.

Figura 13

Formato de pre procesamiento de datos.

	A	B	C	D	E	F	G	H
	TEMP_DH(°C)	HUM_DH(%)	LP_Presion(m bar)	LP_Temp(°C)	MQ(ADC)	pm1(ug/m3)	pm2_5(ug/m3)	pm10(ug/m3)
1								
2	19.3	71.5	753.0	22.5	55.2	19.7	25.0	26.7
3	18.0	73.0	753.0	22.5	26.8	36.2	35.9	38.6
4	18.8	73.9	753.1	22.5	18.0	68.1	91.7	98.8
5	18.9	74.0	753.0	22.9	14.5	59.4	61.6	65.3
6	18.7	74.6	753.0	23.7	19.5	46.2	55.3	59.0
7	18.6	75.0	753.1	24.2	26.2	14.3	20.0	22.6
8	19.0	73.1	753.9	23.6	42.1	44.4	60.0	65.1
9	18.2	75.9	754.0	23.4	32.3	23.7	32.1	35.4
10	17.8	80.3	754.0	22.4	72.6	27.4	36.1	38.7
11	18.2	78.7	754.0	22.5	54.7	39.2	50.0	53.5
12	17.5	80.0	754.1	22.5	34.5	16.8	20.5	21.3
13	17.3	81.2	754.3	22.5	30.3	39.8	49.1	51.0
14	18.2	78.5	753.9	22.5	48.0	19.5	25.9	27.5
15	18.7	70.7	753.0	22.5	39.5	40.8	41.2	43.7
16	18.4	74.8	753.0	22.5	23.3	23.3	29.9	33.2
17	18.8	73.7	753.1	22.5	19.3	95.6	112.4	119.5
18	18.9	74.0	753.0	23.3	5.7	39.5	50.2	54.2

5 minutos 1 Hora Dts 20 dias 15 Minutos

2.2.2. Ajustes de Datos

Previo a la ejecución del algoritmo de análisis estadístico, se aplicaron ecuaciones de ajuste de acuerdo a una calibración realizada entre los diferentes sensores de las estación meteorológica propuesta y equipos semejantes de los laboratorios de la sede Alvernia de la Universidad Mariana, considerando que estos últimos presentan una calibración previa obtenida por parte del proveedor que garantiza su trazabilidad.

Para la ecuación de ajuste de temperatura se utilizó una serie temporal simultánea con la estación meteorológica de la universidad mariana y el sensor lo cual permitió establecer una ecuación ($y = 0.7201x + 4.8578$) de ajuste para los datos recolectados en el punto de control y calle 17 (**Figura 14**)

Figura 14

Ecuación de Ajuste de temperatura.

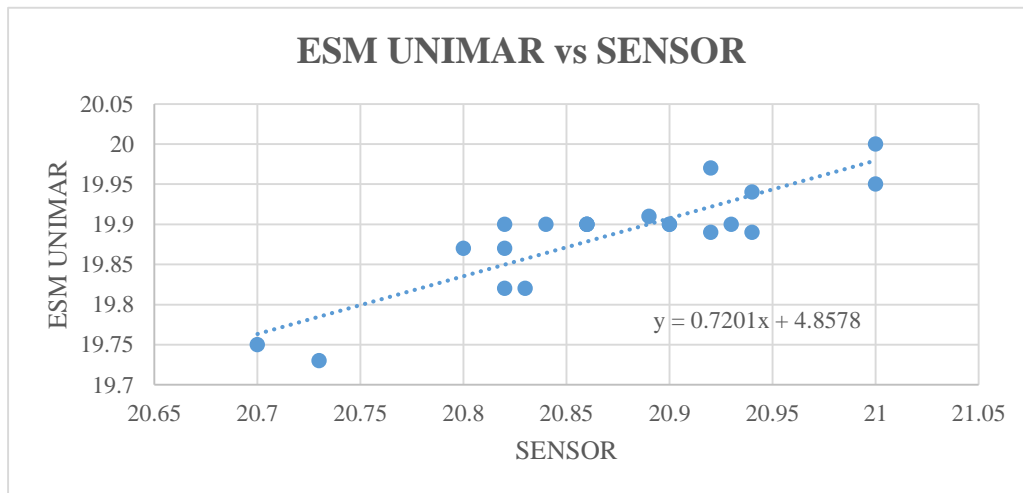


Tabla 4

Resultados datos ecuación de ajuste

SENSOR	UNIMAR	Ecuación de ajuste temperatura.
20.7	19.75	19.76
20.73	19.7	19.79
20.8	19.87	19.84
20.82	19.82	19.85

Teniendo en cuenta la cercanía que existe entre los datos de ajuste de temperatura y el sensor podemos concluir que el modelo de la temperatura es preciso para representar la relación entre las variables.

Para el ajuste de datos de la estación meteorológica de la humedad relativa se realizó el ajuste de datos utilizando como base los datos de la estación meteorológica de la universidad mariana y los datos arrojados del sensor de estudio

Figura 15

Ecuación de Ajuste de Humedad Relativa

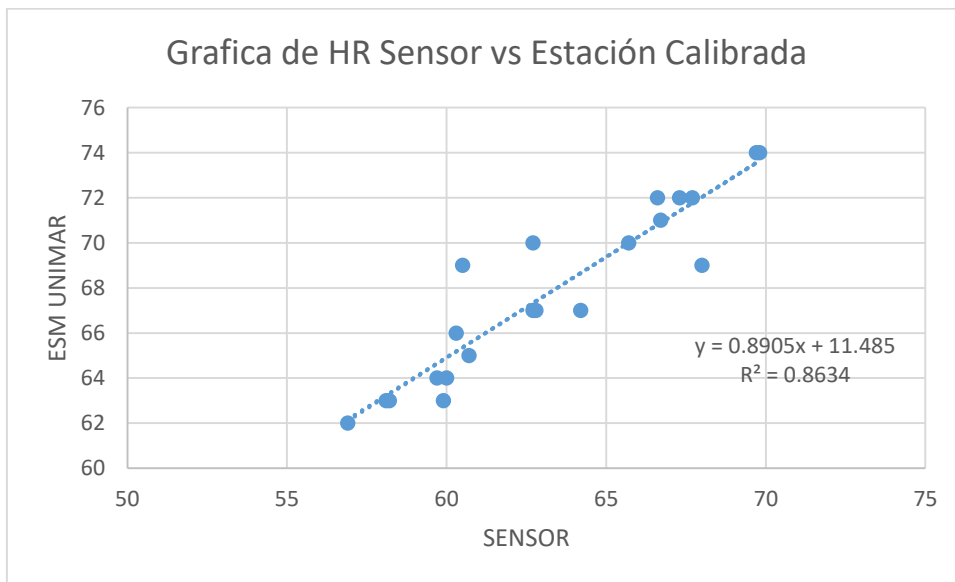


Tabla 5

Resultados datos ecuación de ajuste HR

SENSOR	ESM UNIMAR	Ecuación de ajuste HR
56.9	62	62.15445
59.9	63	64.82595
58.2	63	63.3121
58.1	63	63.22305

Estos son datos elegidos al azar para realizar la ecuación de ajuste, la cercanía entre la ecuación de ajuste y los datos indican la validez del modelo en capturar la verdadera relación entre las variables. La cercanía y el porcentaje de confiabilidad mayor a 85% demuestran la importancia de estos parámetros para garantizar que las conclusiones y las decisiones basadas en el modelo sean sólidas y confiables.

Tabla 6

Ecuación para conversión de datos de CO sensor a Ppm de Co

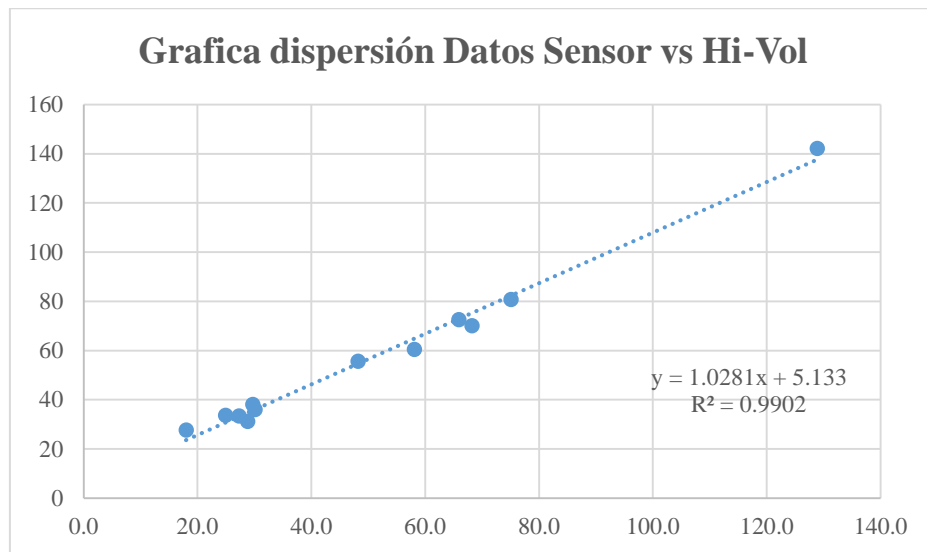
Conversión de Datos Co Sensor A Ppm De Co			
Datos Monóxido Sensor (Vdac)	Vrl (1.3601/4095)* 4.28*Dsensor	X (0.918/Vrl)*((4.28- Vrl)/(4.18-0.918))	Y(Concentración En Ppm) 103.3478*(X)^- 1.4808
11.5	0.01635	73.39762	0.2
79.4	0.11287	10.38997	3.2
230	0.32696	3.40253	16.9
208	0.29568	3.79218	14.4

La calibración de datos de materia particulado para esta investigación se realizó utilizando como referencia el Muestreador de alto volumen Hi-Vol, realizando mediciones simultáneas con la estación meteorológica portátil empleada en la misma. En este orden de ideas la metodología fue someter los dos dispositivos de medición de material particulado a diferentes condiciones exposiciones de material particulado en el punto de control. Al terminar las mediciones las

mediciones se obtuvo 12 mediciones del Hi Vol a diferentes tiempos de exposición y una serie de datos significativa correspondientes a las mismas condiciones de exposición del Hi Vol, se realizó la comparación de los datos y finalmente encontró la ecuación de ajuste como se muestra en la **Figura 16**

Figura 16

Ecuación de Ajuste de Material Particulado PM10



La ecuación de ajuste de material particulado tiene una relación de 0.99 lo cual permite tener una confiabilidad en las datos, mediante la gráfica podemos observar que estos datos no se alejan de la media.

Tabla 7

Resultados datos ecuación de ajuste Material Particulado PM10

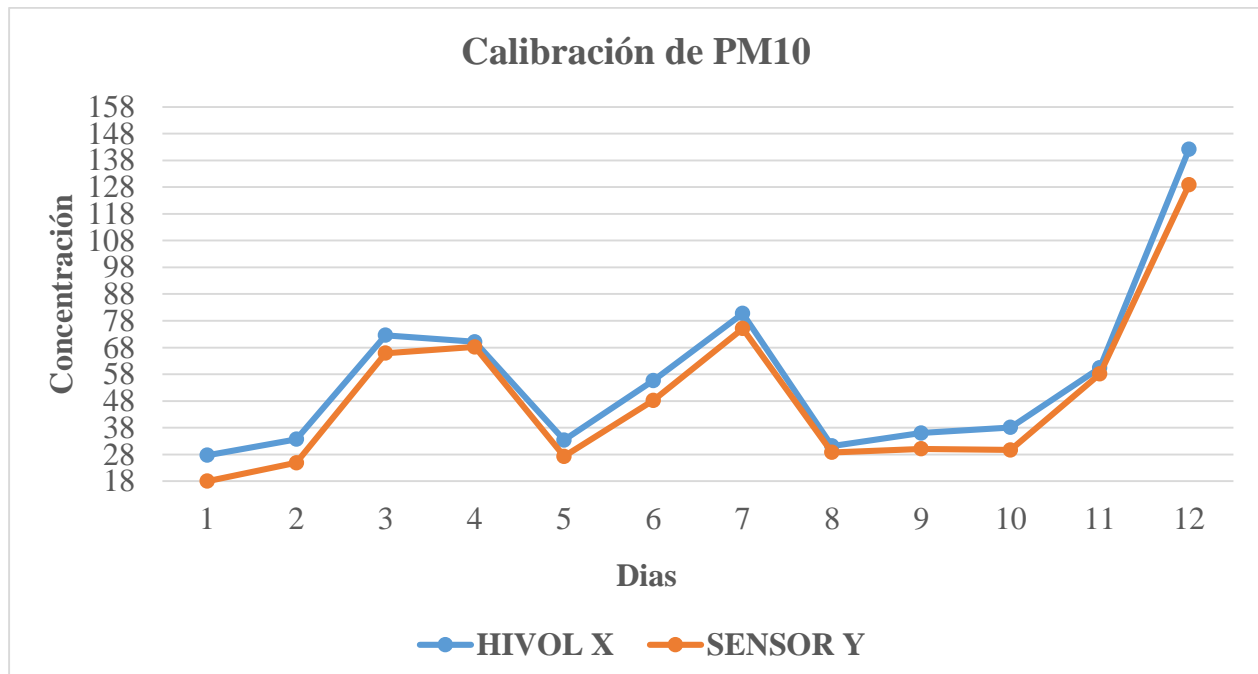
Día de muestreo	Datos HIVOL X	Datos SENSOR Y	Ecuación de ajuste
			$1.0281*(Y)+5.133$
Día 1	27.7	18.0	23.64
Día 2	33.7	24.9	30.73
Día 3	33.4	27.3	33.20

Día 4	31.2	28.8	34.74
Día 5	38.1	29.7	35.67
Día 6	36	30.1	36.08
Día 7	55.65	48.2	54.69
Día 8	60.4	58.1	64.87
Día 9	72.6	65.9	72.88
Día 10	70.1	68.2	75.25
Día 11	80.7	75.1	82.34
Día 12	142.2	128.89	137.64

La **figura 17** de calibración de material particulado permite tener una visualización grafica de los resultados, concluyendo que los datos arrojados por el sensor aunque no tenga la misma certeza que el Vi-Vol tiene un margen de error muy pequeño de 0.1%

Figura 17

Calibración de Material Particulado PM₁₀



Cabe aclarar que se realizaron también registros de las diferentes variables en el sitio control (Universidad Mariana sede Alvernia) con los mismos dispositivos ajustados.

2.2.3. Estadísticas

El objetivo principal es proporcionar herramientas y métodos para entender los fenómenos a través de la descripción cuantitativa y el análisis de la variabilidad, a continuación, se presenta la estadística descriptiva la cual se centra en resumir y describir características esenciales de un conjunto de datos. Las medidas descriptivas incluyen la media, la mediana, la moda, la desviación estándar, el rango y otros resúmenes numéricos o gráficos que ayudan a comprender la distribución y la estructura de los datos. La **Tabla 8** muestra los resúmenes estadísticos correspondientes a los 20 días de muestreo por cada índice de medición tenido en cuenta y a continuación se presentan una representación gráfica.

Tabla 8

Resúmenes estadísticos de Variables Meteorológicas.

HUM_DH(%)		Presión(mbar)		Temp (°C) Out		Temp (°C) In		Velocidad viento (m/s)	
Min.	28.93	Min.	746	Min.	16.3794	Min.	22.2	Min.	0
1st Qu.	57.23	1st Qu.	752	1st Qu.	17.0995	1st Qu.	25.5	Des Est	1.19
Median	65.12	Median	753	Median	19.40382	Median	26.5	Median	2.7
Mean	64.67	Mean	752.9	Mean	19.69186	Mean	26.9	Mean	2.88
3rd Qu.	74.28	3rd Qu.	753.1	3rd Qu.	22.28422	3rd Qu.	24.9	Varianza	1.41
Max.	95.02	Max.	756	Max.	24.07633	Max.	27.9	Max.	7.2

La **tabla 8** proporciona una estadística descriptiva y proporcionan una descripción resumida del conjunto de datos de las variables meteorológicas. En cuanto a temperatura podemos resaltar que la media es 19,6 °C, La mediana es 19,4 °C. La mediana representa el valor central cuando los datos están ordenados de menor a mayor. En este caso, la mitad de los días tuvieron temperaturas por debajo de 19,4 °C y la otra mitad por encima. La temperatura mínima registrada es 16,3 °C. La

temperatura máxima registrada es 24.07 °C, este valor representa la temperatura más alta registrada durante el período. Finalmente, la presión con una media de 752.9 mbar la cual se considera normal.

La Humedad obtuvo una media de 64,7% lo cual significa las humedades se mantuvieron alrededor de este valor durante los 20 días de muestreo, este valor es relativamente alto por lo cual las personas experimentaron en algunos de esos días sensación de bochorno y pegajosidad en el ambiente. Esto puede afectar negativamente el confort y hacer que la temperatura se sienta más elevada de lo que realmente está.

Con respecto a la velocidad del viento tiene una media de 2.88 m/s indica una velocidad de viento moderada la cual puede ayudar en la dispersión de contaminantes atmosféricos al mezclar y diluir los contaminantes en la atmósfera.

Tabla 9

Visualización gráfica de resúmenes estadísticos de contaminantes.

PM₁₀(ug/m3)		pm_{2_5}(ug/3)		pm₁(ug/m3)		CO(ug/m3)	
Min. :	7.528473	Min. :	7.1038677	Min. :	5.133	Min. :	148.832258
1st Qu.:	34.27963	1st Qu.:	31.8636	1st Qu.:	5.133	1st Qu.:	552.045523
Median :	49.45439	Median :	45.999975	Median :	9.2114727	Median :	352.752173
Mean :	52.32279	Mean :	49.084275	Mean :	16.54491	Mean :	678.707313
3rd Qu.:	70.1	3rd Qu.:	60.897144	3rd Qu.:	26.92872	3rd Qu.:	2567.0348
Max. :	155.4412	Max. :	128.40219	Max. :1	86.86695	Max. :2	12643.2086

En cuanto a la estadística del PM₁₀ (**tabla 9**) la media de 52.32 (µg/m³). Este valor proporciona una referencia central para la contaminación atmosférica. Con una mediana de 49,45 (µg/m³). El valor mínimo de 7. El máximo de 155,4 µg/m³ indica el pico más alto de concentración de durante el período de medición. La media del Pm_{2,5} tiene un valor de 49,08 µg/m³, el máximo 128.4 µg/m³ y el valor de la media del Pm₁ de 16.5 µg/m³ Según la norma de calidad del aire en Colombia

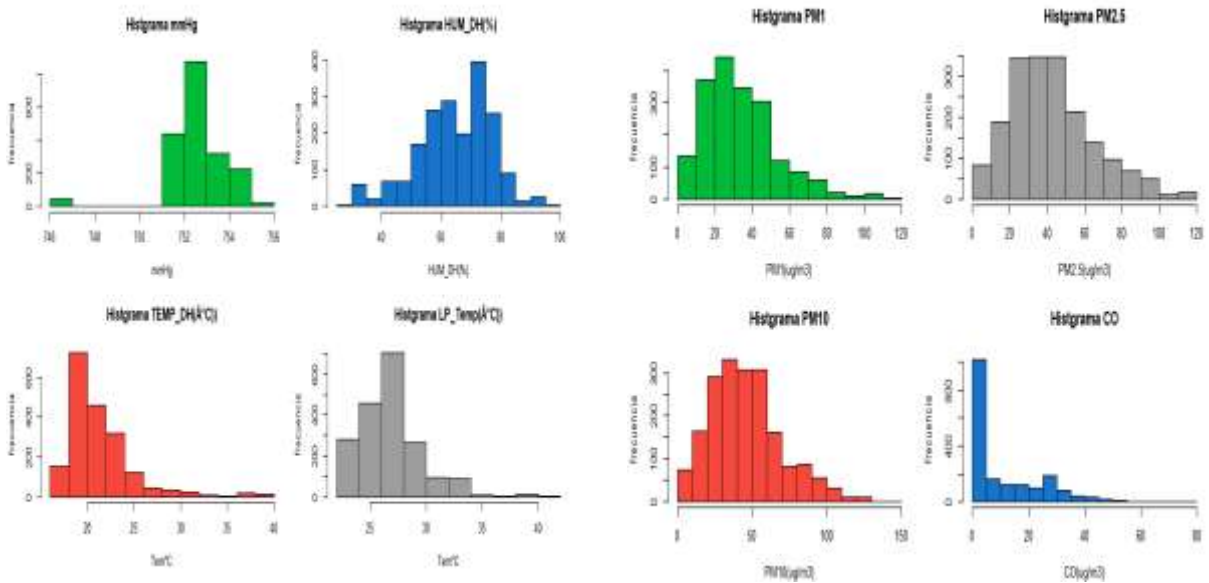
decretada en el 2017 se determina los niveles máximos de concentración de PM₁₀ con un valor de 100 µg/m³ y para Pm_{2.5} 50 µg/m³ durante 24 horas, según los datos recolectados se evidencia que las concentraciones exceden estos niveles. Estos valores destacan la importancia de monitorear y gestionar la calidad del aire, especialmente en días con niveles elevados. La amplia diferencia entre el mínimo y el máximo (142,8 µg/m³) sugiere una variabilidad significativa en los niveles de PM₁₀, lo que puede tener implicaciones para la salud y el medio ambiente.

Finalmente, el Monóxido de Carbono tiene una media de 352.5 µg/m³ lo cual significa que los valores suelen estar alrededor de este, pero cabe resaltar que tuvo un máximo de 12.643µg/m³ lo cual es relativamente alto y peligroso según la normativa que establece los niveles máximos permisibles del decreto 2254 de 2017

2.2.4. Histograma de frecuencias

Los histogramas de frecuencias son gráficos que representan la distribución de datos en intervalos o clases. Fueron útiles para visualizar la forma y la dispersión de un conjunto de datos, proporcionando una representación gráfica de la frecuencia con la que ocurren los diferentes valores.

Figura 18
Histogramas de frecuencias



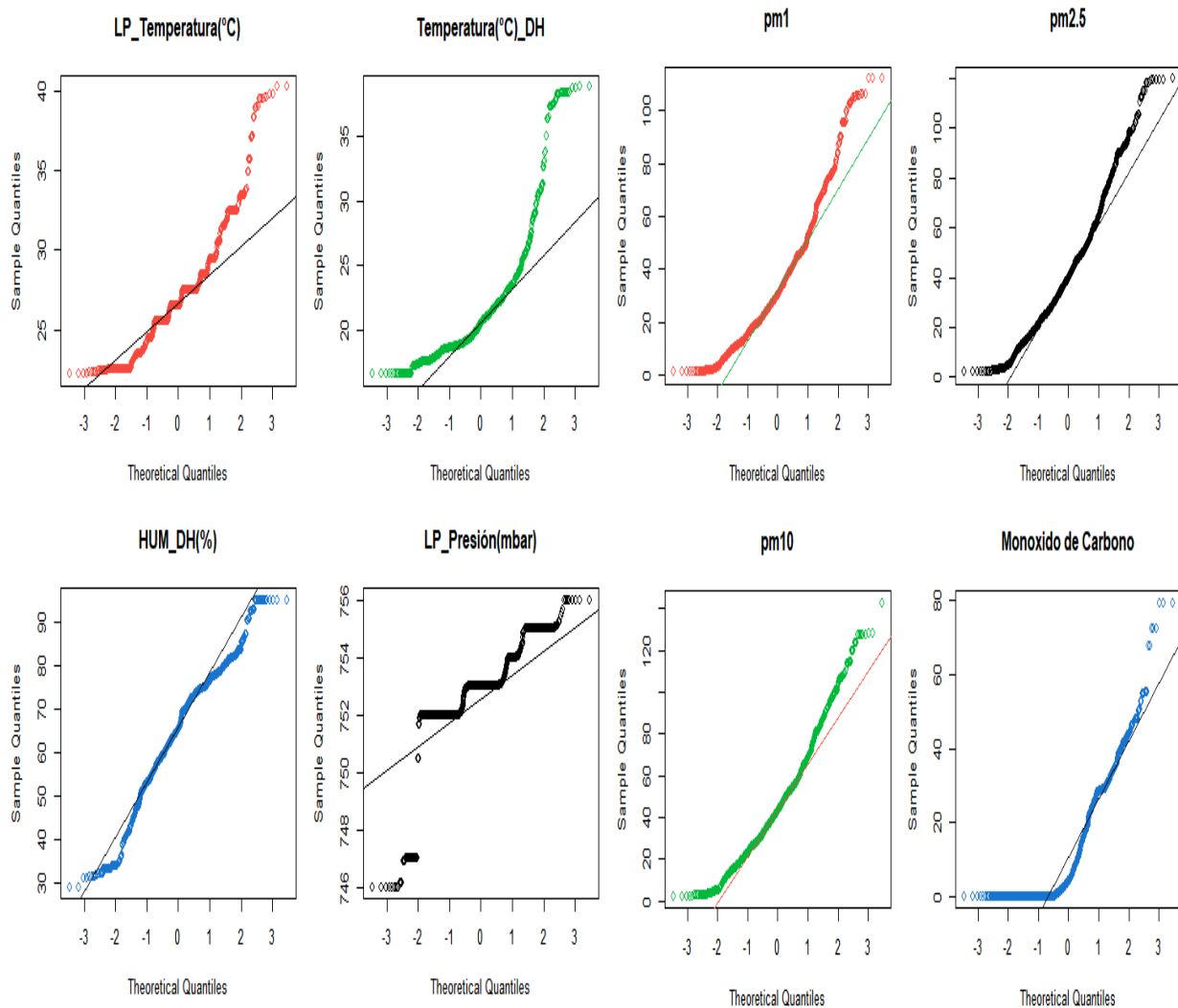
De estas graficas vamos a resaltar las modas, empezamos por la presión los valores varían en su mayoría de 752 a 753 milibares, el porcentaje de húmeda se presenta mayormente del 70 al 75%, El Pm₁ tiene la moda de concentración de 20 a 30 (µg/m³), el Pm_{2,5} tiene una tendencia lineal de 20 a 50 (µg/m³), el histograma de PM₁₀ presenta un tendencia lineal del 30 a 50 (µg/m³) pero siendo la moda 40 (µg/m³), la temperatura tiene una moda de 10 a 20 °C.

2.2.5. Comparación de cuantiles

La comparación de cuantiles en una serie de tiempo puede proporcionar información valiosa sobre la distribución de los datos y cómo ha evolucionado a lo largo del tiempo. Los cuantiles son puntos que dividen una distribución de datos en partes iguales

Figura 19

Gráficos de comparación de Cuantiles



Para el análisis de esta graficas se lo hace de una manera general ya que toda ellas tienen algo en común y es que tienen datos que no son normales y cómo podemos observar, se alejan mucho de la media o como los llamaríamos normalmente tienen valores atípicos.

2.2.6. Test de Normalidad

Se realizó un test de normalidad tipo para las variables TEMP_DH(°C), HUM_DH(%), LP_Presion(mbar), LP_Temp(°C), MQ(ADC), Pm₁(ug/m³), Pm_{2.5}(ug/m³), PM₁₀(ug/m³), arrojando los siguientes resultados:

- Variable: TEMP_DH(°C)
- Estadística de prueba: 0.1317716
- Valor p: 1.056981e-91

La temperatura (TEMP_DH) muestra una estadística de prueba significativa (0.1317716), con un valor p extremadamente bajo (1.056981e-91), los datos no son normales.

- Variable: HUM_DH(%)
- Estadística de prueba: 0.08607961
- Valor p: 7.087028e-38

La humedad (HUM_DH) exhibe una estadística de prueba de 0.08607961 y un valor p muy bajo (7.087028e-38), sugiriendo que los datos no son normales.

- Variable: LP_Presion(mbar)
- Estadística de prueba: 0.2102323
- Valor p: 2.576858e-239

La presión (LP_Presion) muestra una estadística de prueba significativa (0.2102323), con un valor p extremadamente bajo (2.576858e-239), sugiriendo que los datos no son normales.

- Variable: LP_Temp(°C)
- Estadística de prueba: 0.1430496
- Valor p: 1.254156e-108

La temperatura (LP_Temp) presenta una estadística de prueba significativa (0.1430496) y un valor p muy bajo (1.254156e-108), sugiriendo que los datos no son normales.

- Variable: MQ(ADC)
- Estadística de prueba: 0.2109616
- Valor p: 5.149438e-241

La variable MQ(ADC) revela una estadística de prueba importante (0.2109616), con un valor p extremadamente bajo (5.149438e-241), sugiriendo que los datos no son normales.

- Variable: Pm₁(µg/m³)
- Estadística de prueba: 0.08443212
- Valor p: 2.235752e-36

Pm₁(µg/m³) muestra una estadística de prueba de 0.08443212 y un valor p bajo (2.235752e-36), sugiriendo que los datos no son normales.

- Variable: Pm_{2.5} (µg/m³)
- Estadística de prueba: 0.06699837
- Valor p: 2.122887e-22

Pm_{2.5}(µg/m³) presenta una estadística de prueba de 0.06699837 y un valor p bajo (2.122887e-22), sugiriendo que los datos no son normales.

- Variable: PM₁₀(µg/m³)
- Estadística de prueba: 0.06273476
- Valor p: 1.664212e-19

PM₁₀ (µg/m³) tiene una estadística de prueba significativa (0.06273476) y un valor p bajo (1.664212e-19), sugiriendo que los datos no son normales

Cabe resaltar Pm₁ (µg/m³), Pm_{2.5} (µg/m³), Pm₁₀ (µg/m³): Todas estas partículas en suspensión muestran estadísticas de prueba bajas y valores p extremadamente bajos (2.235752e-36, 2.122887e-22, 1.664212e-19, respectivamente), destacando asociaciones significativas con las concentraciones de partículas en el aire.

Adicional al test de normalidad, se realizó el cálculo de la matriz de covarianza, con el fin de cuantificar la relación lineal entre las variables registradas, indicando si tienden a aumentar o disminuir juntos.

Tabla 10

Matriz de Covarianza

COV	TEMP_D H(°C)	HUM_D H(%)	LP_Presio n(mbar)	LP_Tem p(°C)	MQ(ADC)	PM1(U G/M3)	PM2_5(U G/M3)	PM10(U G/M3)
TEMP_DH	12.96	-34.25	-0.37	7.89	-20.3	-14.2	-16.87	-17.9
HUM_DH(%))	-34.25	154.58	0.29	-22.95	82.69	77.38	88.94	93.32
LP_PRESIO N(MBAR)	-0.37	0.29	1.64	-0.35	-0.08	0.88	1.66	1.77
LP_TEMP(° C)	7.89	-22.95	-0.35	7.95	-19.27	-10.07	-10.91	-11.6
MQ(ADC)	-20.3	82.69	-0.08	-19.27	189.3 1	95.62	100.67	103.8
PM1(UG/M3)	-14.2	77.38	0.88	-10.07	95.62	401.6	439.61	45.7
PM2_5(UG/ M3)	-16.87	88.94	1.66	-10.9	100.6 7	439.6	518.83	53.7
PM10(UG/M 3)	-17.85	93.32	1.77	-11.55	103.7 8	457.9	536.95	572.3

La fuerte relación positiva entre las variables PM₁(ug/m³), PM_{2.5} (partículas de menos de 2.5 ug/m³) y PM₁₀ (ug/m³) (Tabla 8) puede atribuirse a su origen común y a las características compartidas, estas partículas tienen fuentes de origen similar, como la combustión de combustibles,

tráfico vehicular y actividades humanas. La fuerte relación puede deberse a que las partículas más grandes (PM₁₀) contienen a las más pequeñas (PM_{2.5} y PM₁) en su composición.

Teniendo en cuenta la relación de CO y Humedad a pesar de que no tienen una fuerte covarianza esto se le atribuye a la combustión incompleta, el CO se produce principalmente por la combustión incompleta de materiales orgánicos. Por lo tanto “En condiciones de alta humedad, la presencia de vapor de agua podría competir con el oxígeno necesario para una combustión completa, potencialmente aumentando la producción de CO, también se atribuye este fenómeno a las fuentes comunes de CO, como vehículos y aparatos de calefacción, pueden no estar directamente vinculadas a la humedad, sin embargo, en condiciones atmosféricas extremas, como inundaciones o lluvias intensas, podrían afectar indirectamente la emisión de CO al afectar la operación de fuentes de emisión”. Smith, J. (2020). Esto explica por que la correlación no es tan fuerte.

Basándose en la correlación entre temperatura y humedad, podemos concluir que hay una asociación negativa, lo que indica que a medida que la temperatura aumenta, la humedad tiende a disminuir, y viceversa donde las temperaturas más altas suelen estar acompañadas de una menor humedad en el aire.

En el municipio de Pasto, específicamente en la Calle 17 con alto tráfico vehicular y flujo de personas, la correlación entre el material particulado (PM) y el monóxido de carbono (CO) está influenciada por diversas fuentes de emisión y factores locales. Ambos contaminantes son comúnmente producidos debido a actividades humanas, como el intenso tráfico vehicular y la presencia de personas en la zona. Estas actividades dan lugar a la emisión simultánea de PM y CO. Además, el transporte vehicular representa una fuente importante de emisiones tanto de PM como de CO en áreas urbanas como esta. Los vehículos emiten partículas finas durante la combustión y también liberan CO como subproducto de la quema de combustibles, lo que contribuye a una correlación positiva entre estos contaminantes en esta área específica de estudio.

La correlación entre la humedad y el material particulado exhibe una correlación de magnitud intermedia, lo que se explica por la influencia de factores como la formación de partículas. “La presencia de humedad puede desempeñar un papel en la formación y crecimiento de partículas en

el aire. En áreas urbanas, las partículas pueden retener agua, especialmente cuando la humedad relativa es alta. Además, la humedad puede impactar la dispersión de partículas atmosféricas” (Zhang, Y et.al 2016).

Se analizan diferentes temperaturas en relación con la concentración de material particulado, se puede deducir que existe una correlación negativa entre ambas variables. Este fenómeno se atribuye a diversos factores que influyen en esta relación. “Por ejemplo, la temperatura afecta la estabilidad atmosférica, donde una capa de aire frío cerca del suelo puede atrapar partículas, lo que potencialmente aumentaría las concentraciones de material particulado. Las emisiones de material particulado suelen estar asociadas con la combustión de diversos materiales, ya sea en vehículos, procesos industriales o fuentes de calefacción” (Zhang, Y et.al 2016). La demanda de calefacción en climas más fríos podría aumentar las emisiones de PM lo cual es el caso del área donde se recolecto los datos.

Según Smith, B, 2019 menciona que la ley de los gases perfectos establece que, en una masa constante de aire seco, la presión atmosférica disminuye a medida que aumenta la altura, y la temperatura disminuye aproximadamente 6.5 °C por cada 1000 metros de elevación en la altitud. Esto se denomina tasa de variación vertical de la temperatura, o tasa de gradiente adiabático seco. En resumen, la relación entre la presión y la temperatura, se describe de manera general mediante la Ley de los Gases Ideales y, en el contexto atmosférico, se complementa con la Ley del Gas Perfecto para explicar las variaciones en presión y temperatura con respecto a la altitud en la atmósfera terrestre. Por lo tanto, se puede inferir que existe una relación positiva según los datos recopilados.

Finalmente, la presión con respecto a las variables Humedad y material particulado tiene una covarianza positiva esto puede estar relacionado, debido a que a medida que la presión aumenta se presenta dificultad para la dispersión de partículas, se evidencia que las partículas más pesadas alcanzan un nivel alto de presión y humedad es relativamente igual, por tanto, tienen una correlación positiva; y con respecto a las demás variables no existe una covarianza positiva.

2.2.7. Matriz de Correlación

Figura 20

Matriz de correlación de Pearson



Teniendo en cuenta que el objetivo principal es determinar si hay dependencia entre el material particulado y CO con las variables atmosféricas (temperatura, humedad y presión), se realizó el cálculo de la matriz de correlación de Pearson. En la **Figura 20** se evidencia que el material particulado tiene una correlación negativa con la temperatura, esto puede darse debido a que es posible que en el lugar donde se realizó la medición existan condiciones para que ocurra el fenómeno de inversión térmica, la inversión térmica es un fenómeno atmosférico que se produce cuando una capa de aire cálido se asienta sobre una capa de aire frío cerca de la superficie de la tierra, lo que invierte el gradiente de temperatura normal. Esto puede ocurrir en condiciones específicas, como durante la noche o en áreas geográficas específicas, aunque hay que hacer un estudio detallado para saber si este fenómeno se da, por el momento teniendo en cuenta que la

ciudad de Pasto se encuentra en un valle rodeado de montañas, puede contribuir a la formación de inversiones térmicas debido a que las montañas pueden actuar como barreras naturales que limitan el movimiento del aire, lo que facilita la acumulación de aire frío en el valle, por otra parte esto pudo deberse a que cuando se realizó la toma de los datos fue temporada de fin de año por ende había muchas actividad comercial, tráfico vehicular, entre otras, las cuales pudieron contribuir aún más a la formación de inversiones térmicas al liberar contaminantes que atrapan el calor cerca de la superficie y limitan la dispersión vertical del aire.

La correlación entre el PM y humedad fue positiva, lo cual quiere decir que las variables aumentan juntas. El CO con la temperatura tiene una correlación negativa con un valor de 0.41; el CO con la humedad tiene una correlación positiva, que, aunque no son muy fuerte estas variables dependen la una de la otra, estos es un resultado esperado según los resultados del primer objetivo donde Kim et al. (2016) menciona que existe correlación positiva entre el CO y la humedad relativa del aire debido al resultado de una combinación de factores relacionados con la combustión, las condiciones atmosféricas y la actividad humana.

Estos resultados son semejantes a los presentados por la matriz de covarianza, que su vez, guardan coherencia con resultados obtenidos de la literatura. Particularmente tanto la correlación inversa entre el CO y la temperatura, como la correlación directa entre el CO y la humedad, muestran que la dinámica de los contaminantes frente a la variación de las variables climáticas como humedad y temperatura es la esperada a pesar de los valores relativamente bajos del coeficiente de Pearson calculado. De esta forma se considera que para valores del coeficiente de Pearson que cumplan con la siguiente relación:

$$|\text{Coeficiente de Pearson}| \geq 0.3$$

Las variables presentan una correlación significativa. Así, como conclusión general de este objetivo se determina que no hay dependencia significativa entre el material particulado con las variables atmosféricas temperatura y presión; sin embargo, si existe dependencia significativa entre el material particulado y la humedad. Por otro lado, la concentración de CO exhibe una dependencia significativa con la temperatura y la humedad; por tanto, se acepta parcialmente la hipótesis Ho.

Tabla 11

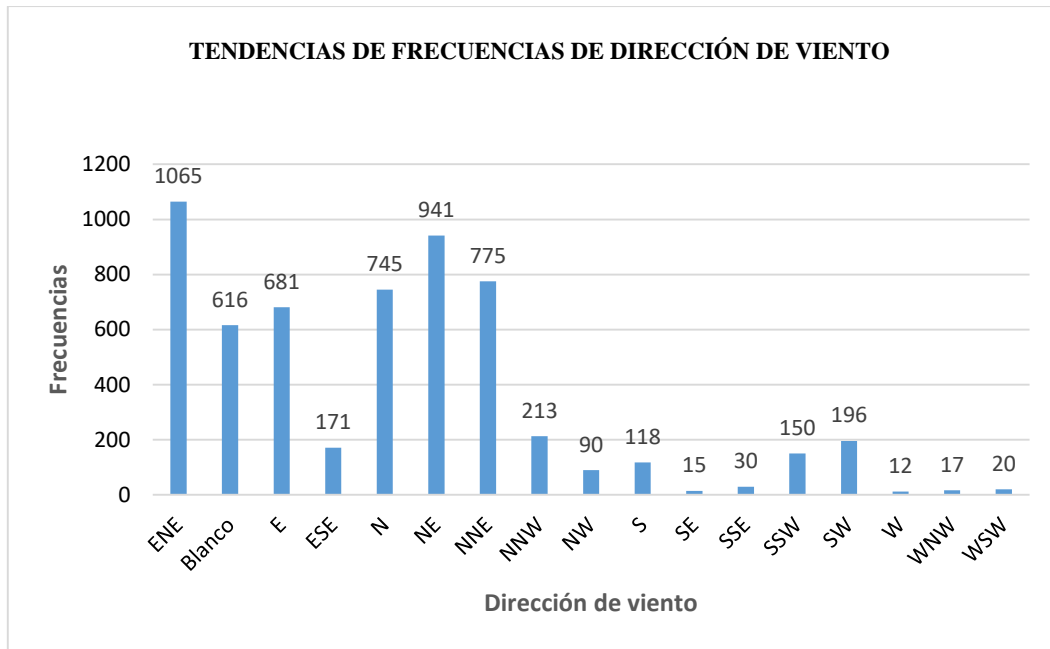
Covarianza y Correlación de Pearson Para material particulado y Velocidad del viento

Prueba Viento	Variable	Valor
Covarianza	PM ₁₀	0.696
	PM _{2.5}	0.602
	PM ₁	0.164
Correlación Pearson	PM ₁₀	0.087
	PM _{2.5}	0.084
	PM ₁	0.037

Los resultados de correlación de Pearson indican que la velocidad del viento tiene una correlación muy débil con las concentraciones de material particulado, lo que sugiere que la velocidad del viento no fue una variable que influyó de manera significativa las concentraciones de PM en este contexto, esta condición se dio debido a que se realizó la correlación con los datos de contaminantes del sensor simultáneamente con la estación meteorológica de la universidad mariana.

Figura 21

Tendencias de frecuencias de dirección de viento



La **figura 21** determina que las direcciones de viento más predominantes en la zona control fueron para Este Noreste, es importante conocer estos datos debido a que se conoce a donde se transportan los contaminantes, las direcciones más relevantes fueron para Este, Norte, Noreste, Norte Noreste. El viento puede transportar contaminantes atmosféricos a largas distancias, especialmente si es constante en una dirección particular, en esta investigación esta variable no es relevante debido a que el dispositivo de medición no cuenta con un sensor de velocidad y dirección de viento, por lo tanto no se pudo establecer una relación directa sobre la dispersión de los contaminantes en el punto de muestreo más sin embargo es importante mencionarlo ya que puede tener implicaciones tanto locales como regionales en términos de calidad del aire y exposición a contaminantes.

Tabla 12

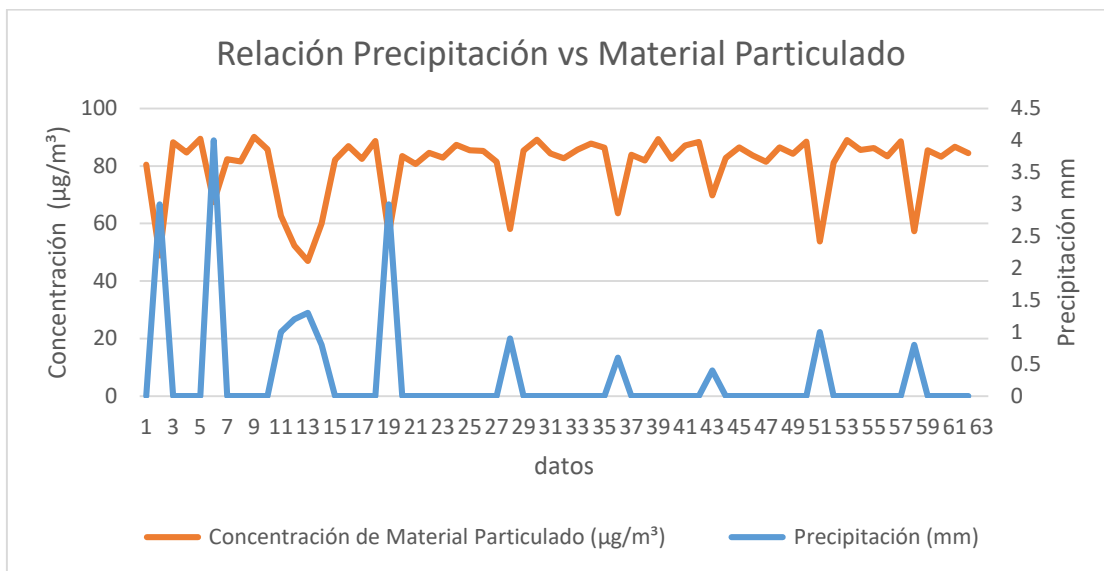
Covarianza y Correlación de Pearson Para material particulado y precipitación.

Prueba Lluvia	Variable	Valor
Covarianza	PM ₁₀	-6.45
	PM _{2.5}	-4.225
	PM ₁	-9.675

Correlación Pearson	PM ₁₀	-0.743
	PM _{2.5}	-0.645
	PM ₁	-0.743

Figura 22

Relación de precipitación y Material Particulado.



Estos valores de correlación negativa indican una relación inversa entre las concentraciones de material particulado y la precipitación. Es decir, a medida que aumenta la precipitación, las concentraciones de PM tienden a disminuir, en la **figura 22** se puede visualizar de manera gráfica como es el comportamiento de estos, corroborando el coeficiente de correlación. Esta relación negativa es consistente con la comprensión común de que la precipitación puede ayudar a limpiar el aire al eliminar partículas en suspensión y reducir la concentración de contaminantes atmosféricos.

Los resultados sugieren que la precipitación tiene una fuerte influencia en las concentraciones de material particulado, con una correlación negativa significativa. Esto destaca la importancia de considerar las condiciones climáticas, como la precipitación, al analizar y predecir la calidad del aire y las concentraciones de contaminantes atmosféricos.

2.2.8. Comportamiento de los datos y comparativa con la normativa vigente de calidad de aire.

La resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017 por medio de la cual se adopta la norma de la calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones y que de acuerdo a la OMG, considera que el aire es un requisito básico para la salud y el bienestar humano. Sin embargo, la contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Por tanto, en el Capítulo 1, Art 2 se definen los niveles máximos permisibles de contaminantes en el aire.

Tabla 13

Niveles Máximos Permisibles de contaminantes criterio en el Aire

CONTAMINANTE	NIVEL MAXIMO PERMISIBLE (µg/m³)	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
Pm 10	50	Anual
	75	24 horas
Pm 2.5	25	Anual
	37	24 horas
Co2	5000	8 horas
	35000	1 hora

Fuente: Resolución 2254 de 2017

En el Capítulo II en el Art 10 pág. 5 encontramos los rangos de concentración para la declaración de los niveles de prevención alerta o emergencia como se mencionan en la Tabla 12

Tabla 14

Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para los niveles de prevención, Alerta o Emergencia.

CONTAMINANTE	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	PREVENCION $\mu\text{g}/\text{m}^3$	ALERTA $\mu\text{g}/\text{m}^3$	EMERGENCIA $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Pm₁₀	24 Horas	155-254	255-354	>355
Pm_{2.5}	24 Horas	38-55	56-150	151
CO	8 Horas	10820-14254	14255-17688	17689

Fuente: Resolución 2254 de 2017

Según los datos recolectados en campo de PM₁₀, Pm_{2.5}, y CO, teniendo en cuenta la norma de la calidad del aire se establece lo siguiente:

Tabla 15

Niveles Máximos Permisibles de contaminantes criterio en el Aire

NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES "2254 DE 2017"							
Contaminantes	Valor maximo permitido (ug/m^3)	Concentraciones para los niveles de prevencion, alerta o emergencia (ug/m^3)			Tiempo de exposición (Hr)	Datos Sensor (ug/m^3)	Datos Punto Control (ug/m^3)
		Prevencion	Alerta	Emergencia			
Pm10(ug/m^3)	75	155-254	155-254	>355	24	155.44	39.2
Pm2_5(ug/m^3)	37	38-55	56-150	>151	24	128.40
CO(ug/m^3)	5000	10820-14254	14255-17688	>17689	8	12643.21

La media del Pm₁₀ fue de 52.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, podemos decir que este valor se encuentra dentro de los límites; sin embargo, hay valores extremos de 155.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que se encuentra dentro de los

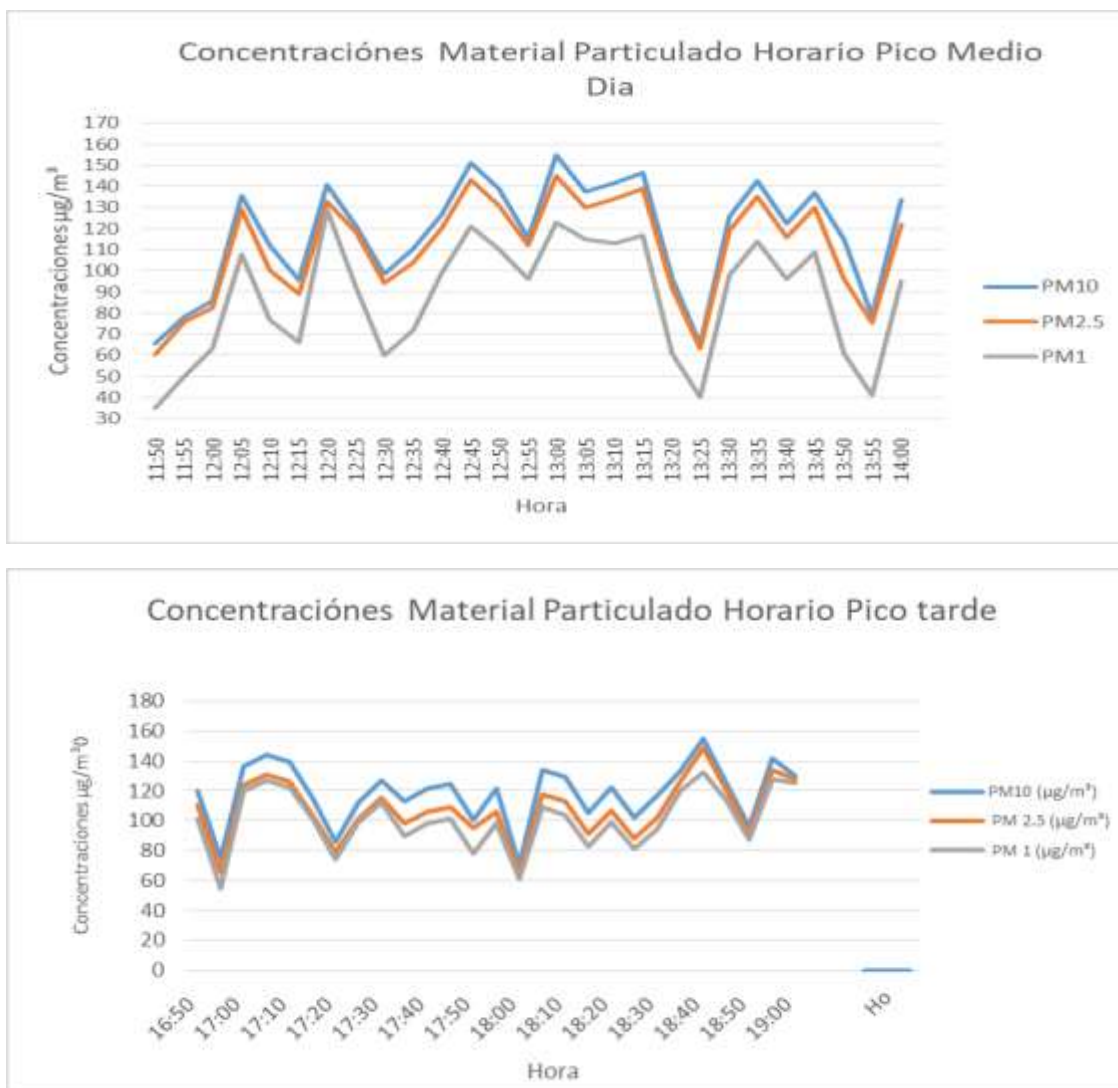
niveles de prevención, para determinar finalmente la declaratoria de prevención se deberá realizar un estudio durante las 24 horas para de esta manera verificar si existe este nivel de prevención. Para los datos de punto de control se puede evidenciar que si cumple con la norma y no tiene ningún estado de prevención, alerta o emergencia.

Para el Pm_{2.5} el nivel máximo permisible es de 37 µg/m³; sin embargo, dentro de los datos recopilados se obtuvo que la mediana fue de 45.99 µg/m³ lo cual significa que el 50% de los datos estuvieron por encima de este valor, donde se encontraron picos máximos con valores hasta 128.40 µg/m³, donde en primer lugar no cumplen con la norma y se encuentra en estado de prevención, mas sin embargo hay que hacer un nuevo seguimiento para determinar que no se encuentre en estado de alerta.

Para el Contaminante de Monóxido de carbono se determina que la media es de 352.75 µg/m³, se encuentra dentro de los niveles permisibles más sin embargo hay picos de 12.643 µg/m³, esto permite definir que se encuentra en estado de prevención basándonos en los picos máximos que ha tenido este contaminante, para saber con exactitud es importante realizar un estudio más exhaustivo para identificar cuáles son las posibles causas de este fenómeno.

Figura 23

Concentración de material particulado en Hora pico de Medio Día y Tarde



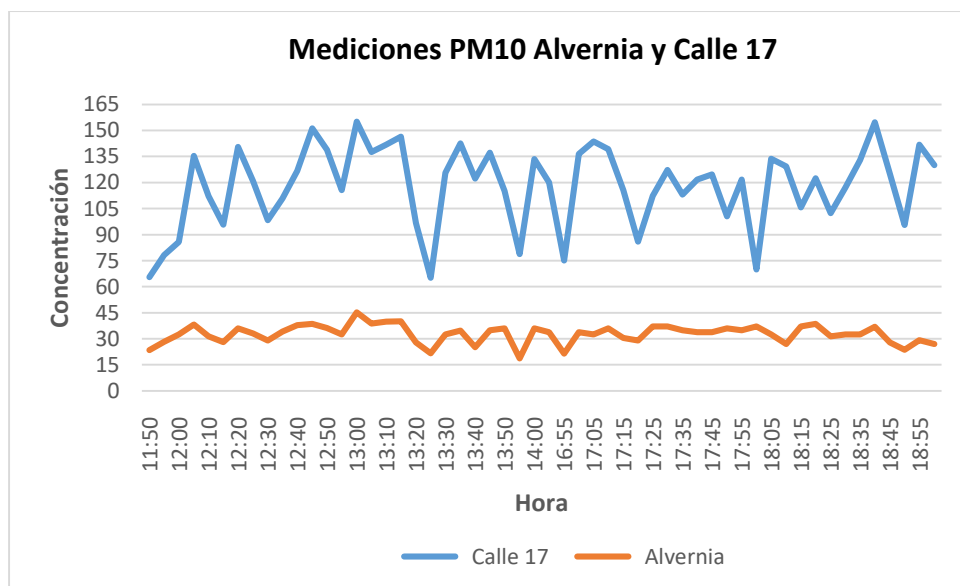
Se realizó una relación de concentración de material particulado en horas pico de mañana y tarde, donde se evidencia que a partir de las 12 del mediodía se presenta un incremento de material particulado desde $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para cada contaminante, el cual no cumple con la normativa, a la 1 de la tarde se evidencia una disminución considerada de contaminantes esto puede deberse a que en esta hora las personas están en su hora de almuerzo y desde la 1 y 30 de la tarde los valores incrementan considerablemente esto puede deberse ya que el horario laboral es de 8 de la mañana a 12 del mediodía y de 2 de la tarde a 6 de la tarde. Finalmente, las concentraciones de material particulado en horas de la tarde oscilan desde $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con pico máximos de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante

las horas de salida de trabajo que son desde las 5:00 pm hasta las 7:00 pm los cuales no cumplen con la normativa y además es importante tener en cuenta que los niveles siempre están en los rangos que se muestran en las gráficas ya que es calle principal, de alto flujo vehicular y comercio.

Finalmente, en la **figura 24** observamos los comportamientos del PM₁₀ en la sede Alvernia como punto de control y en la calle 17 como punto de muestreo, donde claramente se evidencia que los límites de contaminación en horas pico de la sede Alvernia de la universidad mariana no exceden los 45 µg/m³ en horas pico, mientras que en la calle 17 hay muchos picos de contaminación que exceden los niveles permisibles.

Figura 24

Mediciones de PM₁₀ Alvernia y Calle 17 en Horas Pico



Tener una zona de control y una zona de medición de contaminantes fue importante para garantizar la precisión de los datos, comparar los niveles de contaminación, y de alguna manera identificar fuentes de contaminación locales y en caso de que se implementara un control en la zona de medición poder evaluar la eficacia de las medidas de control de la contaminación. Esto es esencial para proteger la salud pública y el medio ambiente al garantizar una mejor comprensión y gestión de la calidad del aire.

2.3. Análisis y resultado del tercer objetivo

2.3.1. Modelo de regresión multivariado.

Para realizar un análisis del comportamiento de las variables se planteó un modelo de regresión multivariado teniendo como variable dependiente a Material particulado 2.5. Se hace necesario realizar esta regresión utilizando como variable predecible PM_{2.5} debido a que normalmente existe limitada información y acceso a sensores capaces de medir PM_{2.5} e inferiores este tamaño, en este orden de ideas teniendo como base las variables meteorológicas y mediciones de PM₁₀ se precisó de un modelo que se ajuste a predecir de la manera más precisa posible las concentraciones de PM_{2.5}. De acuerdo a esto es importante destacar que las diferentes afecciones a la salud se dan de manera inversa al tamaño de las partículas, esto quiere decir que entre más pequeñas las partículas tienen mayor efecto en la salud de las personas. Para la realización de este modelo se utilizó Orange, mediante su interfaz gráfica, facilita la construcción y análisis de estos modelos, permitiendo explorar las interacciones complejas entre diversas variables. Este modelo de regresión multivariado es una herramienta estadística que examina la relación entre múltiples variables independientes y una variable dependiente. Este enfoque permite analizar interacciones complejas y obtener una comprensión más completa de los factores que afectan a la variable dependiente.

2.3.2. Estadísticas, análisis de componentes principales y ranqueo.

La **figura 25** muestra un resumen estadístico auto organizado de las variables de interés es importante analizar las variables cuentan con una dispersión baja, además previamente en los análisis estadísticos de las variables se tuvo en cuenta que no hay correlación estadísticamente significativas entre las variables lo que hace viable utilizar esta técnica estadística para un modelo que permita predecir la concentración de PM_{2.5} en la zona de estudio.

Figura 25

Resumen estadístico en Orange de variables de interés

	Name	istributio	Mean	Mode	Median	Dispersion	Min.	Max.	Missing
N	TEMP_DH(Å°C)		21.2569	17.6	20.5033	0.169295	16.6	38.845	0 (0 %)
N	HUM_DH(%)		64.6655	72.5283	65.1175	0.192216	28.9333	95.0217	0 (0 %)
N	LP_Presion(mb...		752.913	753	753	0.00170299	746	756	0 (0 %)
N	LP_Temp(Å°C)		26.8979	27.5	26.5	0.104791	22.2	40.2667	0 (0 %)
N	MQ(ADC)		11.0498	0.00	3.96667	1.24487	0.00	79.45	0 (0 %)
N	pm1(ug/m3)		33.9783	35.8	30.1167	0.589666	1.2	111.933	0 (0 %)
N	pm10(ug/m3)		45.9	51.3	43.1083	0.521045	2.23333	142.833	0 (0 %)
N	pm2_5(ug/m3)		42.7473	90	39.75	0.532709	1.91667	119.917	0 (0 %)

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta los anteriores datos se procede a realizar un análisis de componentes principales. El Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés) en Orange constituye una técnica empleada para disminuir la complejidad de conjuntos de datos, lo cual se logra mediante la transformación de las variables originales en un conjunto de nuevas variables no correlacionadas, denominadas componentes principales. En Orange, el PCA se implementa como una herramienta que permite explorar la variabilidad de los datos y simplificar su interpretación.

Mediante la **Figura 26** de análisis de componentes principales se tiene que hay cuatro componentes principales de las 8 variables en la data, las cuales se tiene en cuenta para llegar a tener un modelo con una confiabilidad de 92%. Teniendo en cuenta esto se procede a realizar un ranqueó mediante la herramienta Rank, la cual se utiliza para evaluar y clasificar la importancia de las variables en un conjunto de datos. Esta función es valiosa en la investigación y el modelo al identificar qué variables tienen el mayor impacto en la concentración de PM_{2.5}. Teniendo en cuenta el PCA y el Rank se tiene una base sólida para la toma de decisiones al ingresar las variables más necesarias para el modelo.

Figura 26

Análisis de componentes principales

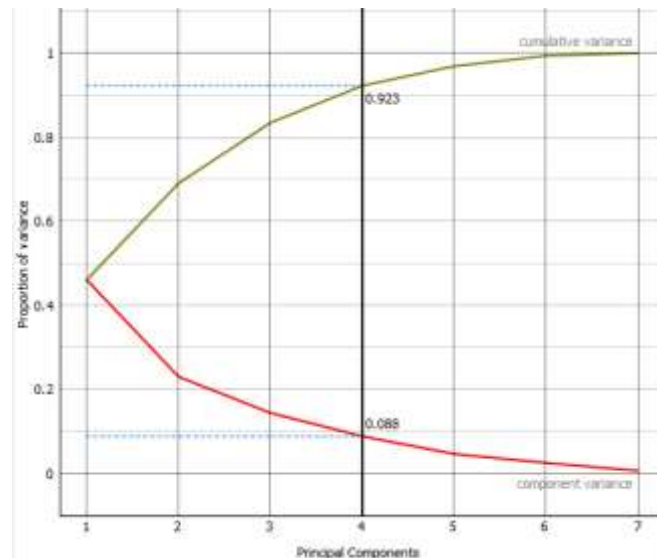


Figura 27

Tabla de resultado aplicación de técnica estadística Rank

	#	Univar. reg.
1 N pm10(ug/m3)		64322.484
2 N pm1(ug/m3)		24509.129
3 N MQ(ADC)		220.686
4 N HUM_DH(%)		209.893
5 N TEMP_DH(°C)		84.748
6 N LP_Temp(°C)		57.021
7 N LP_Presion(mbar)		6.195

En la **Figura 27** se muestra los resultados de la significancia de las variables independientes y la variable dependiente por lo cual se confirma que las 4 primeras variables son las que más influyen en la concentración de PM_{2.5}.

En la **Figura 28** se determina el resultado del R2 del modelo de regresión el cual tiene un valor de 0.98 lo cual nos dice que tiene una confiabilidad alta para calcular los valores de la variable dependiente.

Figura 28

R2 de modelo de regresión

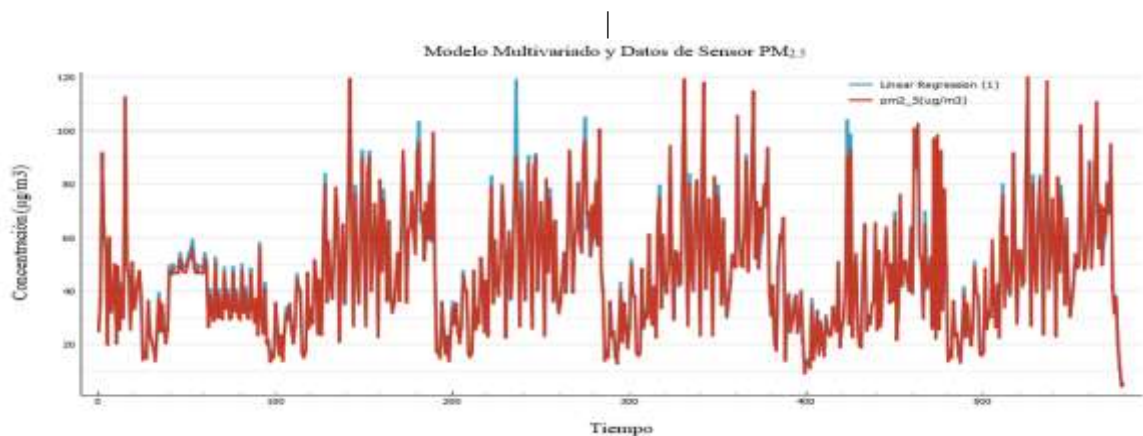
	Linear Regression (1)	error	pm2_5(ug/m3)	pm10(ug/m3)	pm1(ug/m3)
1	24.8852	-0.09...	24.9833	26.6833	19.7
2	38.1307	2.28...	35.85	38.55	36.1667
3	90.1205	-1.54...	91.6667	98.8	68.05
4	63.797	2.18...	61.6167	65.2833	59.3667
5	55.5307	0.26...	55.2667	58.95	46.1667
6	20.6239	0.65...	19.9667	22.6333	14.3333
7	59.2799	-0.73...	60.0167	65.0833	44.35

Model	MSE	RMSE	MAE	R2
Linear Regression (1)	10.510	3.242	1.320	0.980

La **Figura 29** muestra la concentración a través del tiempo de datos reales de PM_{2.5} en color rojo y el resultado del modelo aplicado, de esta manera se puede realizar un análisis visual del comportamiento de esta a través del tiempo.

Figura 29

Grafica de serie de tiempo de datos tomados en campo y el modelo creado.



Al observar la **Figura 29**, se puede notar que el modelo se ajusta dentro de los límites de los datos reales, lo que indica que los datos predichos por el modelo están en línea con las concentraciones reales. El R2 proporciona una medida de certeza al modelo con un valor del 0.98. En la **tabla 16** se presentan los coeficientes utilizados en la ecuación del modelo.

Tabla 16

Tabla de coeficientes del modelo

Nombre	Coficiente
Intercepto	0.496
Pm₁₀	0.712
Pm₁	0.282
MQ(ADC)	-0.004
Hum_DH(%)	0.000094

Mediante los coeficientes del anterior modelo se logra correr el respectivo modelo para la predicción adecuada de la concentración de PM_{2.5}.

2.3.3. Modelo de autocorrelación cruzada ARIMA.

Posteriormente se procede a crear un código en Rstudio para el Modelo ARIMA, (Autoregressive Integrated Moving Average) es un modelo estadístico utilizado para analizar y predecir series temporales. Este modelo combina componentes de autorregresión (AR), integración (I) y media móvil (MA) para modelar patrones y tendencias en datos temporales.

Para la auto regresión se tuvo en cuenta la dependencia lineal de una observación actual en observaciones anteriores en la serie temporal. La idea es que el valor actual de la serie temporal está relacionado con sus valores pasados. Posteriormente la Integración indica la cantidad de diferenciación necesaria para hacer que la serie temporal sea estacionaria. Una serie temporal estacionaria es aquella cuyas propiedades estadísticas, como media y varianza, son

constantes a lo largo del tiempo. Y finalmente la media móvil implica que la dependencia entre una observación actual y un término de error residual de observaciones pasadas esta se utiliza para capturar patrones de media móvil en la serie temporal.

Para la ejecución de este modelo se realizó análisis y visualización de datos para comprender la estructura de la serie temporal, identificar patrones y tendencias visualmente. Posteriormente se procede a hacer la diferenciación, como la serie temporal no es estacionaria se aplica diferenciación (restar observaciones sucesivas) hasta lograr la estacionariedad, después se identificaron parámetros para determinar los valores de p, d y q mediante el análisis de la función de auto correlación (ACF) y la función de auto correlación parcial (PACF) de la serie temporal diferenciada. Finalmente se realiza un ajuste del modelo donde se utiliza los parámetros identificados para ajustar el modelo ARIMA a los datos y la evaluación del modelo utilizando métricas como el error cuadrático medio (MSE) en datos de prueba para utilizar el modelo ajustado para realizar predicciones futuras.

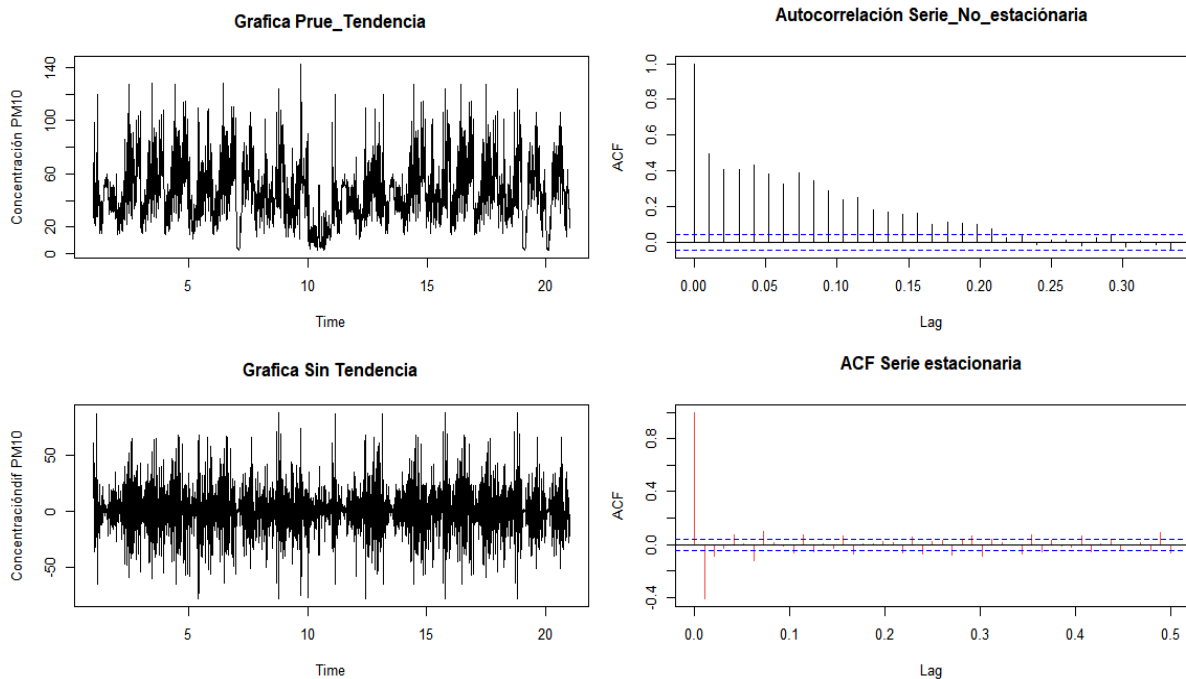
Para ver el código en Estudio del modelo ARIMA dirigirse al **Anexo D**.

2.3.4. Análisis de tendencia y auto correlación.

Para el análisis de los resultados de procedió a aplicar el modelo auto regresivo a la serie de datos de PM₁₀, teniendo en cuenta que esta variable es esencial para el comportamiento de PM_{2.5} y PM₁, de esta manera se puede relacionar la concentración de PM₁₀, cuando no se cuenta con información de otras variables. La **figura 30** muestra la comparación de las gráficas de acuerdo al comportamiento de los datos de una serie estacionaria y una no estacionara. En el eje vertical de la gráfica, se representa el coeficiente de correlación. Este coeficiente mide la relación lineal entre la serie temporal y sus rezagos. Un valor cercano a 1 indica una fuerte correlación positiva, mientras que un valor cercano a -1 indica una fuerte correlación negativa. En el eje horizontal se encuentran los rezagos, que representan el número de períodos de tiempo entre las observaciones. El rezago 0 representa la correlación de la serie consigo misma en el mismo período, el rezago 1 la correlación con un período de retardo, y así sucesivamente.

Figura 30

Tendencia y ACF para la serie estacionaria y no estacionaria

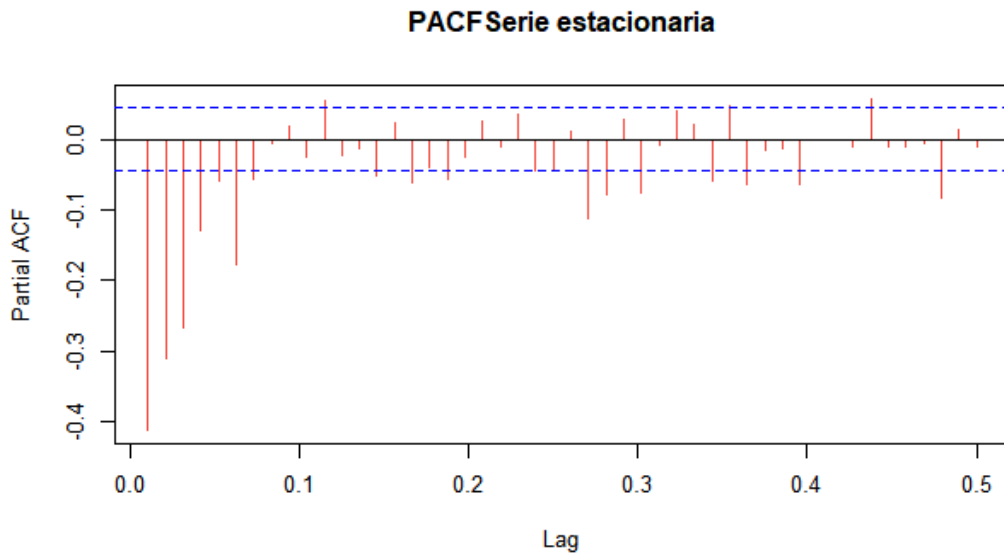


En este orden de ideas la primera grafica de la **figura 30**, la gráfica de la serie sin estandarizar a simple vista no muestra tendencias y muestra el comportamiento de la serie en el tiempo, y el modelo de grafica de auto correlación muestra tendencias positivas en los primeros rezagos en los lag visualizadas. Al analizar la gráfica de tendencia de la serie estandarizada se muestra una mayor estacionariedad en los datos y un log positivo con alta significancia en el primer rezago lo que muestra una auto correlación fuerte entre sí en la serie de tiempo.

La auto correlación parcial (PACF) diferencia de la ACF, que muestra la correlación total en cada rezago, la PACF muestra solo la correlación parcial entre una observación y sus rezagos, eliminando la influencia de los rezagos intermedios. Las caídas abruptas después de un rezago indican la contribución específica de ese rezago a la serie temporal.

Figura 31

Grafica de auto correlación parcial para la serie de PM10



La grafica de PACF muestra una significancia importante en los primeros rezagos de la serie, y muestra una estacionariedad desde el log 0.1, esto indica una importante significancia para el modelo los primeros datos de la auto correlación. Sin embargo, el análisis visual de la estacionariedad en los datos no es suficiente, para lo cual es necesario realizar una prueba estadística. La Prueba de Dickey-Fuller es una prueba estadística utilizada para evaluar la presencia de raíces unitarias en una serie temporal. La presencia de raíces unitarias indica no estacionariedad, lo que significa que la media y la varianza de la serie temporal pueden cambiar con el tiempo.

Para ello se debe tener en cuenta los siguientes supuestos.

- Si es mayor a 0.05 la serie no es estacionaria(Tiene tendencia)
- Si es menor a 0.05 la serie es estacionaria(No hay tendencia)

2.3.5. Resultado Prueba de Dickey-Fuller.

P.value = 0.01 means p.value <= 0.01

Teniendo en cuenta que el P.value es menor a 0.05 se confirma el supuesto de que la serie no tiene tendencia, por lo cual no se hace necesario una diferenciación, ya que la serie se comporta d

e una forma estacionaria lo cual es el primer condicional para correr el modelo ARIMA. Posterior a estas pruebas se procedió a correr el modelo mediante la función “autoarima” la cual nos da el valor de los coeficientes del modelo.

Figura 32

Grafica de coeficientes y error de modelo ARIMA

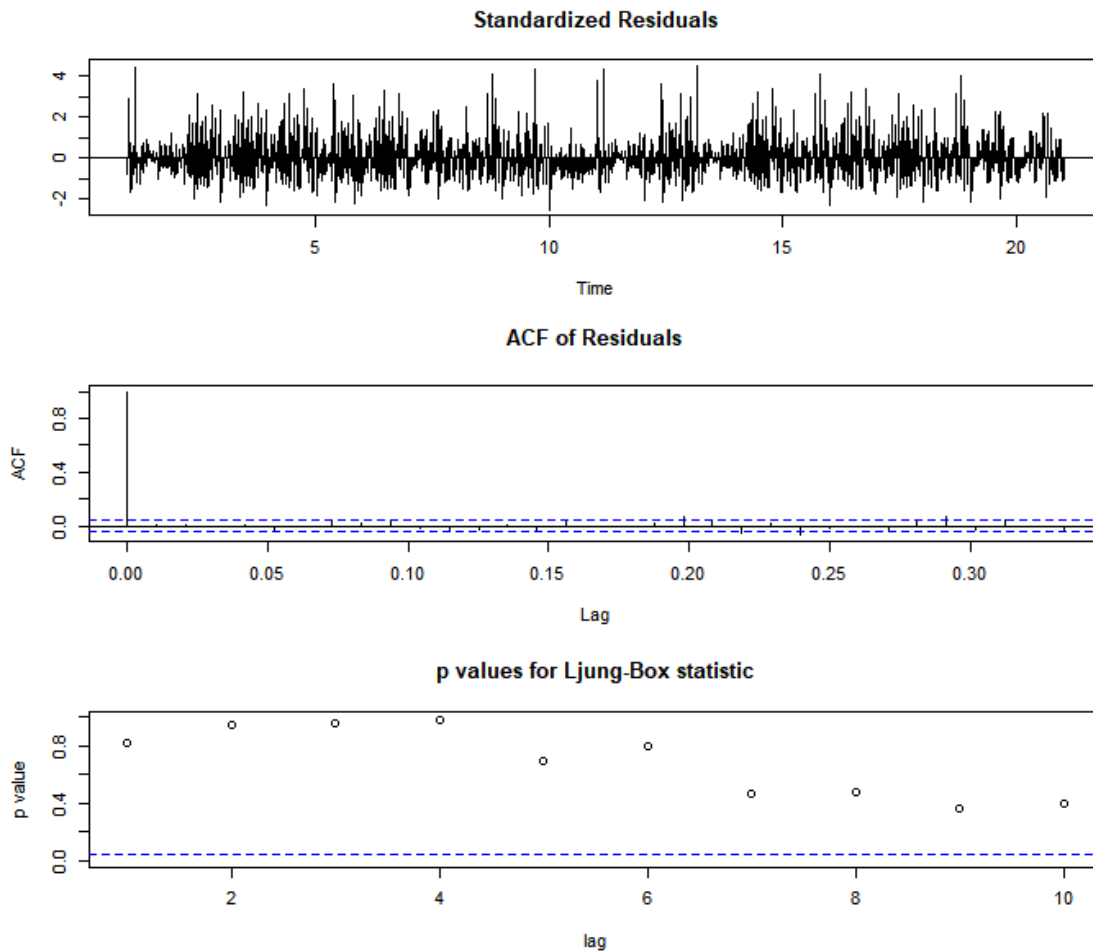
```
ARIMA(5,0,5)(0,0,1)[96] with non-zero mean
Coefficients:
      ar1      ar2      ar3      ar4      ar5      ma1      ma2      ma3
s.e.  0.0843  0.0754  0.0652  0.0706  0.0707  0.0785  0.0728  0.0599
      ma4      ma5      sma1      mean
s.e.  -0.3248  0.5718  0.0369  45.8587
      0.0523  0.0486  0.0212  1.8683

sigma^2 = 367: log likelihood = -8388.14
AIC=16802.29  AICC=16802.48  BIC=16874.57
~ |
```

Posteriormente se realizó un diagnóstico de residuales del modelo el cual se lo observa los resultados en la siguiente figura 33 .

Figura 33

Grafica de series temporales de los residuales, histograma de los residuales con una superposición de una distribución normal y gráfico de cuantiles normales para evaluar la normalidad de los residuales.



La **Figura 33** muestra las tres graficas donde se observa la estacionariedad de los residuales, los residuales son las diferencias entre los valores observados y los valores predichos por el modelo. Estos residuales representan el error del modelo, es decir, la parte de la variabilidad en los datos que el modelo no ha explicado.

Box-Ljung test

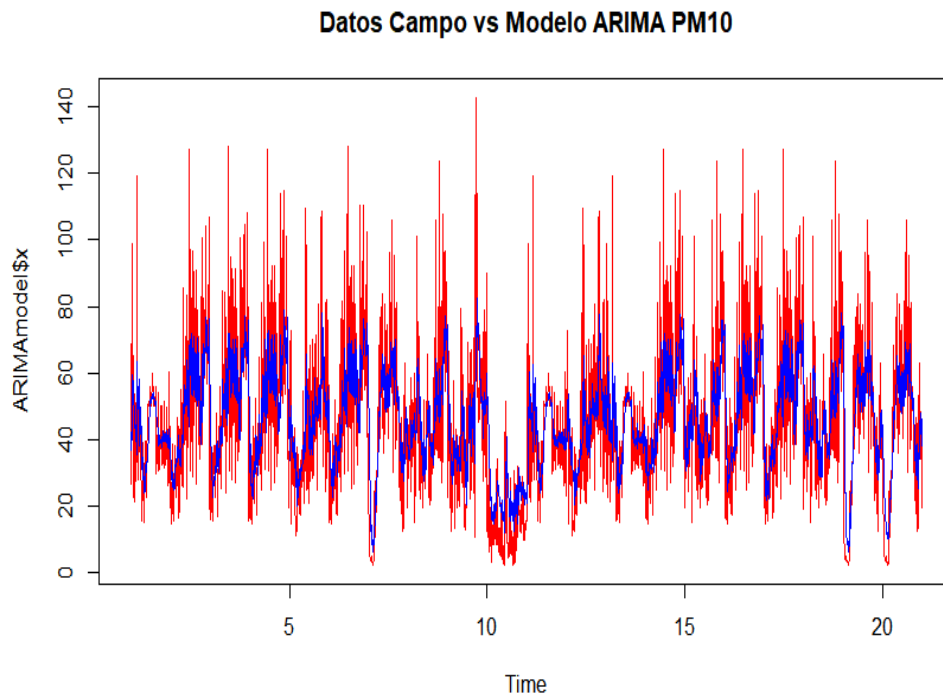
```
data: ARIMAmodel$residuals  
X-squared = 99.541, df = 45, p-value = 5.346
```

Teniendo en cuenta que el p-valor es mayor que el nivel de significancia como 0.05, se acepta la hipótesis nula y concluir que no hay auto correlación significativa en los rezagos evaluados, por lo cual el modelo es adecuado

Después de realizar los chequeos se procede a correr los datos reales recolectados en campo y los datos calculados por auto correlación mediante el modelo ARIMA. La **figura 34** muestra en color rojo los datos reales y el color azul los datos del modelo.

Figura 34

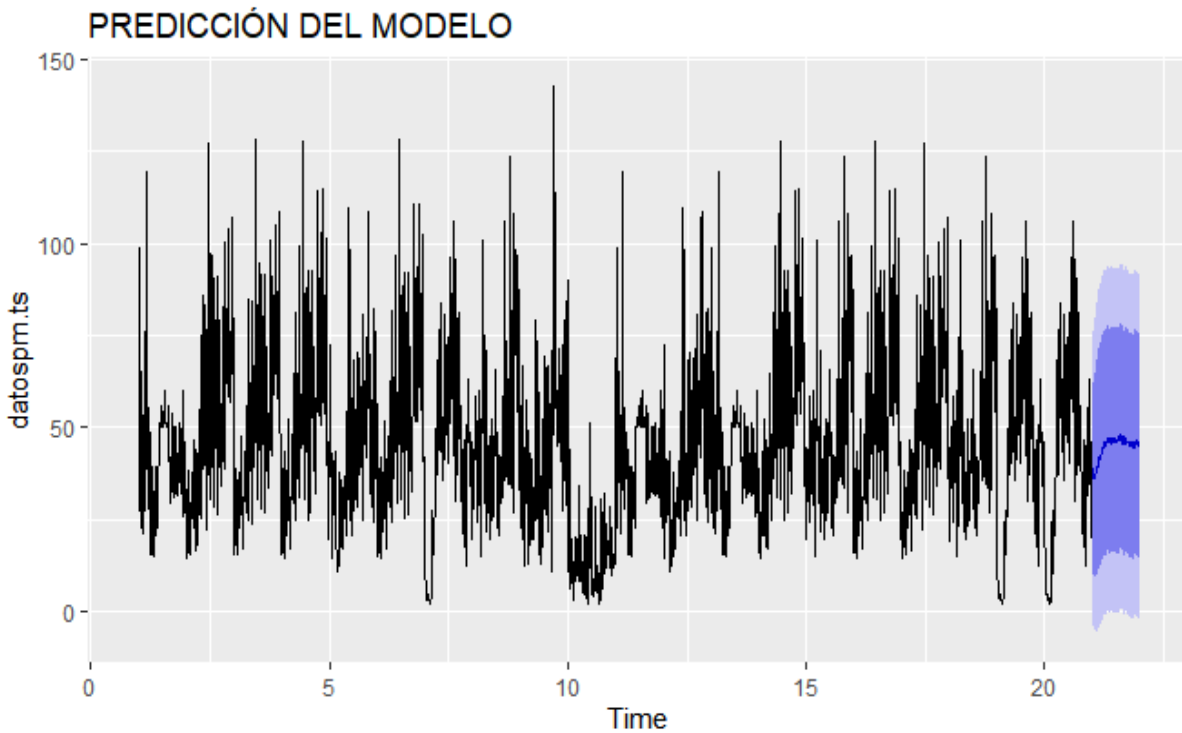
Grafica de comportamiento de la serie de datos del modelo y datos reales



Finalmente se realiza la gráfica de predicción del modelo la cual se muestra en la **figura 35** proyectado a dos días. La proyección muestra la gráfica en color azul para los datos calculados mediante el modelo.

Figura 35

Predicción del modelo ARIMA para PM₁₀



Analizando la **figura 35** se tiene que el modelo gráficamente y de acuerdo a los test realizados es adecuado para predecir la contaminación de PM₁₀ mediante este modelo autorregresivo. Este modelo tiene gran importancia debido a que en ausencia de diferentes variables que puedan ayudar a predecir este contaminante se tiene este modelo con niveles de confianza del 80 y 95%. Los cuales se los puede descargar desde el programa de Rstudio y se visualizarían como se muestra en la siguiente tabla la cual muestra algunos de los valores predichos por el modelo corrido.

Tabla 17

Valores predichos por el modelo ARIMA con niveles de confianza del 80 y 95%

DIA	Nivel de Certeza	
	80%	95%
21.0	70.2	83.5
21.0	69.1	83.1
21.0	71.1	85.7
21.1	70.6	85.5
21.1	71.7	86.8
21.1	72.9	88.2
21.1	74.0	89.6
21.1	75.5	91.3
21.1	76.6	92.8
21.1	77.2	93.4
21.1	79.2	95.5
21.2	78.7	95.1
21.2	79.8	96.2
21.2	80.1	96.6
21.2	80.7	97.2
21.2	82.4	99.0
21.3	83.8	100.4
21.3	84.0	100.6
21.3	83.4	100.0

2.4. Discusión

La investigación sobre la correlación de la dinámica de material particulado y las condiciones meteorológicas se llevó a cabo en la calle 17 en el centro de la ciudad de San Juan de Pasto, capital Nariñense. Esta zona cuenta con una alta tasa de flujo vehicular y una alta actividad económica, lo cual resulta en una significativa emisión de contaminantes. La medición de la concentración de PM₁₀ y PM_{2.5}, así como la evaluación de las condiciones meteorológicas, permitió obtener información valiosa sobre la correlación entre estos factores.

El objetivo principal de la investigación fue evaluar el grado de correlación entre la dinámica de material particulado y las condiciones meteorológicas, mediante el registro y procesamiento de variables con un sistema de estaciones meteorológicas equipadas con sensores de medición de contaminantes. Se buscó comprender cómo las condiciones meteorológicas influyen en la calidad del aire en áreas urbanas, afectada por múltiples factores, entre ellos las emisiones vehiculares y las condiciones atmosféricas.

Como resultado final se rechazó la hipótesis de que existe correlación estadísticamente significativa entre las variables meteorológicas y contaminantes, donde principalmente esto se puede deber a un factor muy importante que se identificó en los resultados, la inversión térmica, un estudio que aborda esta relación es el trabajo de Schneider et al. (2015) titulado "Meteorological conditions associated with increased summer urban air pollution in São Paulo, Brazil". Este estudio examinó las condiciones meteorológicas asociadas con la contaminación del aire urbano en São Paulo, Brasil, y encontró que las inversiones térmicas jugaron un papel importante en el atrapamiento de contaminantes en la atmósfera. Si bien este estudio no se centra específicamente en la correlación entre la temperatura y el CO, proporciona evidencia de cómo las condiciones meteorológicas, incluida la inversión térmica, pueden influir en la concentración de contaminantes en el aire urbano

Los datos recopilados muestran que, si bien la media del PM₁₀ cumple con los límites establecidos, se han registrado valores extremos que están dentro de los niveles de prevención, lo que sugiere la necesidad de realizar un estudio exhaustivo durante 24 horas para confirmar la

existencia de este nivel de prevención. En cuanto al PM_{2.5}, se evidencia que la mediana supera el nivel máximo permisible, con picos máximos que incluso colocan al contaminante en estado de prevención, por lo que se requiere un seguimiento continuo para determinar si se alcanza el estado de alerta. Respecto al monóxido de carbono, aunque la media está dentro de los niveles permisibles, se han observado picos máximos significativos que lo sitúan en estado de prevención, lo que sugiere la necesidad de realizar un estudio exhaustivo para identificar las posibles causas de estos picos

En base a los niveles máximos de contaminación de Material Particulado que se generan en horas pico del día, para abordar estos problemas, es necesario implementar medidas de mitigación efectivas. La promoción del transporte público, la implementación de políticas de control de emisiones vehiculares y la mejora de la infraestructura para fomentar formas alternativas de movilidad son estrategias clave (Zhang et al., 2018). La implementación de estas estrategias se puede reducir exposiciones a límites permisibles superados de hasta 140 µg/m³. Además, aumentar la conciencia pública sobre los riesgos para la salud asociados con la exposición a altas concentraciones de material particulado durante las horas pico es fundamental para impulsar cambios de comportamiento y políticas (Kelly & Fussell, 2015)

3. Conclusiones

La revisión sistemática de la bibliografía, se ha consolidado un conocimiento profundo acerca de la relación entre material particulado y condiciones atmosféricas. Esta revisión no solo ha proporcionado una comprensión integral de los factores que influyen en la concentración de material particulado, sino que también ayudo a comprender como la síntesis de información proveniente de diversas fuentes respalda la base teórica necesaria para abordar los objetivos de esta investigación y logro encontrar una línea adecuada para los análisis

En base a la calibración realizada a los d sensores de la estación meteorológica portátil para temperatura, humedad relativa, y material particulado se contó con una precisión confiable de los datos que permitieron el análisis adecuado de los datos según la norma de calidad del aire.

La recopilación de datos meteorológicos mediante la estación meteorológica portátil ha brindado una visión detallada de las condiciones atmosféricas locales en la calle 17 en el centro de la ciudad de Pasto. Estos datos son esenciales para comprender el contexto ambiental en el que se desarrolla la concentración de material particulado. La información obtenida, proporciono una base sólida para el análisis posterior y contribuyo significativamente a la validez y fiabilidad de los resultados.

El análisis de correlación entre los datos meteorológicos y la concentración de material particulado revelaron patrones o relaciones significativas entre CO, temperatura y humedad; además de, PM con humedad; tomando como base resultados de trabajos previos. Por lo tanto, se aceptó parcialmente la hipótesis de que existía correlación significativa entre todas las variables meteorológicas y contaminantes de material particulado y monóxido de carbono. Además, la creación de dos modelos de regresión, el modelo de auto correlación cruzado ARIMA y el modelo de regresión lineal, ha permitido no solo cuantificar estas relaciones, sino también prever de manera más precisa la concentración de material particulado en función de las variables obtenidas en las mediciones.

Las concentraciones de material particulado mantienen una media por debajo de la normatividad permisible, sin embargo, existes picos de contaminación durante el día los cuales superan el límite de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, llegando a superar los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lo que supone posibles afecciones en las personas que transitan y aún más en los diferentes comerciantes ambulantes que trabajan en la zona. Hubo cambios significativos en la concentración de Material Particulado en horas pico durante el día aumentando la concentración y superando los límites permisibles de contaminación en la norma. La concentración de material particulado durante las horas pico es el resultado de la interacción compleja entre el tráfico vehicular y algunas condiciones meteorológicas como la humedad relativa. Estos cambios tienen importantes implicaciones para la salud pública y requieren medidas de mitigación urgentes y coordinadas a nivel local, nacional e internacional.

Se realizó un modelo de regresión multivariado a través de Orange y se hace un análisis de los componentes principales, la cual estableció que las variables de mayor significancia eran PM₁₀, PM₁, CO y Humedad. El modelo de regresión obtuvo un valor de confianza de 0,98 para calcular los valores de la variable independiente, posteriormente se realizó el modelo de auto correlación cruzada ARIMA este modelo se lo utilizo para analizar y predecir series temporales, el cual utiliza un modelo autor regresivo que solo requiere de una serie de datos de la variable de interés, para identificar patrones predecibles en el tiempo. El modelo ARIMA tras realizar las diferentes pruebas que dieron viabilidad de aplicación arrojó un modelo de predicción con certezas de hasta el 95%.

4. Recomendaciones

Antes de comenzar la búsqueda de literatura, es importante tener una comprensión clara de los temas específicos que deseas investigar. Define tus objetivos de investigación y las preguntas clave que deseas responder. Esto te ayudará a enfocar tu búsqueda y a identificar la literatura relevante de manera más eficiente y finalmente evalúa críticamente la calidad y relevancia de la literatura encontrada.

Analizar los resultados de las mediciones de contaminantes atmosféricos en relación con los estándares y límites establecidos por la normativa de calidad del aire. Esto permitirá determinar si los niveles de contaminación están dentro de los rangos aceptables o si se exceden los límites permitidos.

Establecer puntos de control de medición para poder realizar un análisis de comportamiento con respecto a la norma, se debe tener en cuenta la normativa que aplican para cada región ya que los valores suelen ser diferentes.

Referências bibliográficas

Cortes Duarte, M. C., Cremades Oliver, L. V., & Gomez Yopez, M. (2021). *Relationship Between Socioeconomic Stratification And Exposure To. Actas del congreso internacional de gestion e ingenierias de proyecto.*, 15.

EPA. (14 de Julio de 2022). *Agencia de protección ambiental de estados unidos*. Obtenido de Conceptos Básicos del PM:

<https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>

Gómez Duque, D. C. (2019). *Diagnóstico de impactos ambientales generados por la expansión urbana en el municipio de. UNAD*, 97.

Medina García, G., Ruiz Coral, J., & Báez Gonzales, A. (2008). *Uso de estaciones meteorológicas en la agricultura*. Zacatecas: Centro de investigación regional norte centro campo experimental zacatecas.

Minambiente.gov.co. (1 de noviembre de 2017). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Resolución 2254:

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-2254-de-2017.pdf>

OMS. (7 de mayo de 2014). *Organización Panamericana de la Salud*. Obtenido de OPS:

https://www3.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=9558:2014-air-quality-is-deteriorating-in-many-of-the-worlds-cities&Itemid=0&lang=es#gsc.tab=0

OMS. (2 de mayo de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado:

<https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

Pacsi Valdivia, S. A. (2016). *Análisis Temporal Y Espacial De La Calidad Del Aire Determinado Por Material Particulado PM₁₀ Y Pm_{2,5} en Lima Metropolitana*. Universidad Nacional Agraria La Molina-Anales Científicos, 11.

R Suarez, H. (9 de agosto de 2015). *Incibe-Cert*. Obtenido de Incibe-Cert: <https://www.incibe-cert.es/blog/correlacion-herramientas-analisis-datos#:~:text=Es%20una%20t%C3%A9cnica%20de%20an%C3%A1lisis,el%20sentido%20de%20la%20relaci%C3%B3n>.

Salini Calderon, G. A., & Medina Mitma, E. J. (2017). *Study On The Temporal Dynamics Of Coarse Particulate Matter (Pm 10) Concentrations Emitted At Cochabamba, Bolivia*. *Revista internacional de contaminación ambiental.*, 12.

San Gil, J., L, G. J., & Gonzales, J. (1986). *Tiempo Atmosférico, Clima Y Psicopatología*. Madrid: Novamedia.

Troposfera. (s.f.). *Portal temático de la contaminación atmosférica*. Obtenido de Portal temático de la contaminación atmosférica: <https://www.troposfera.org/conceptos/calidad-aire/>

Upo.es. (s.f.). *TEMA 2. "Modelos De Concentración De Contaminantes Atmosféricos"*. Obtenido de https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/CA_old/php/apuntesCA0607_Tema2.pdf

Rodriguez Camargo, L. A. (2015). *Spatial Distribution Of The Concentrations Of Pm_{2.5} And Its Relationship To Cardiopulmonary Mortality In Bogotá, Colombia*. Bogota.

Roberto Rojano, Alejandra M. Vengoechea, Heli A. Arregocés, *Indoor/outdoor relationship of particulate matter (PM₁₀) and its chemical composition in a coastal region of Colombia, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, Volume 8, 2023.

Saroj Kanta Behera, Abhisek Mudgal, Ankit Kumar Singh, *Spatiotemporal exposure of motorcyclists to particulate matter in a densely populated urban area: A case study of Varanasi, India, Atmospheric Pollution Research*, Volume 14, Issue 8, 2023.

Santiago Lopez-Restrepo, Andres Yarce, Nicolas Pinel, O.L. Quintero, Arjo Segers, A.W. Heemink, *Forecasting PM₁₀ and PM_{2.5} in the Aburrá Valley (Medellín, Colombia) via EnKF based data assimilation*, Atmospheric Environment, Volume 232, 2020.

Heli A. Arregocés, Roberto Rojano, Gloria Restrepo, *Impact of lockdown on particulate matter concentrations in Colombia during the COVID-19 pandemic*, Science of The Total Environment, Volume 764, 2021

Figueredo Luna, John & Chica Garcia, Juan & Rodriguez Aya, Angel & Vargas, Carlos. (2016). *Selección e implementación de un prototipo de estación meteorológica aplicando IoT y herramientas Google*. 10.5281/zenodo.2613946.

"Rosa Lara, Laura Megido, Beatriz Suárez-Peña, Luis Negral, Yolanda Fernández-Nava, Jesús Rodríguez-Iglesias, Elena Marañón, Leonor Castrillón, *Impact of COVID-19 restrictions on hourly levels of PM₁₀, PM_{2.5} and black carbon at an industrial suburban site in northern Spain*, Atmospheric Environment, Volume 304, 2023"

J. Xiong, R. Yao, W. Wang, W. Yu, y B. Li, «*A spatial-and-temporal-based method for rapid particle concentration estimations in an urban environment*», *J. Clean. Prod.*, vol. 256, p. 120331, may 2020.

H.-D. He, W.-Z. Lu, y. Xue, «*Prediction of particulate matters at urban intersection by using multilayer perceptron model based on principal components*», *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, vol. 29, n.o 8, pp. 2107-2114, dic. 2015

E. Gladkova y L. Saychenko, «*Applying machine learning techniques in air quality prediction*», *Transp. Res. Procedia*, vol. 63, pp. 1999-2006, 2022

- Z. Zeng et al., «*Estimating hourly surface PM_{2.5} concentrations across China from high-density meteorological observations by machine learning*», *Atmospheric Res.*, vol. 254, p. 105516, jun. 2021
- T. D. Akinosho, L. O. Oyedele, M. Bilal, A. Y. Barrera-Animas, A.-Q. Gbadamosi, y O. A. Olawale, «*A scalable deep learning system for monitoring and forecasting pollutant concentration levels on UK highways*», *Ecol. Inform.*, vol. 69, p. 101609, jul. 2022,
- John Tatarko, Matthew Kucharski, Hongli Li, Huiru Li, *PM_{2.5} and PM₁₀ emissions by breakage during saltation of agricultural soils*, *Soil and Tillage Research*, Volume 208, 2021
- J.-H. Jeong et al., «*A novel statistical-dynamical method for a seasonal forecast of particular matter in South Korea*», *Sci. Total Environ.*, vol. 848, p. 157699, nov. 2022
- S. Agarwal et al., «*Air quality forecasting using artificial neural networks with real time dynamic error correction in highly polluted regions*», *Sci. Total Environ.*, vol. 735, p. 139454, sep. 2020,
- C.-Y. Lin, Y.-S. Chang, y S. Abimannan, «*Ensemble multifeatured deep learning models for air quality forecasting*», *Atmospheric Pollut. Res.*, vol. 12, n.o 5, p. 101045, may 2021, doi: 10.1016/j.apr.2021.03.008.
- Zimmerman, N., Presto, AA, Kumar, SPN, Gu, J., Hauryliuk, A., Robinson, ES, Robinson, AL y R. Subramanian: *un modelo de calibración de aprendizaje automático que usa bosques aleatorios para mejorar el rendimiento del sensor para menores -Monitoreo de la calidad del aire*, *Atmos. medida Tech.*, 11, 291–313, 2018
- R. Espinosa, F. Jiménez, y J. Palma, «*Multi-objective evolutionary spatio-temporal forecasting of air pollution*», *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 136, pp. 15-33, nov. 2022,

D. Pruthi y. Liu, «*Low-cost nature-inspired deep learning system for PM_{2.5} forecast over Delhi, India*», *Environ. Int.*, vol. 166, p. 107373, ago. 2022

Md. Arfan Ali, Muhammad Bilal, Yu Wang, Janet E. Nichol, Alaa Mhawish, Zhongfeng Qiu, Gerrit de Leeuw, Yuanzhi Zhang, Yating Zhan, Kuo Liao, Mansour Almazroui, Ramzah Dambul, Shamsuddin Shahid, M. Nazrul Islam, *Accuracy assessment of CAMS and MERRA-2 reanalysis PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations over China, Atmospheric Environment*, Volume 288, 2022

Abdelfettah Benchrif, Ali Wheida, Mounia Tahri, Ramiz M. Shubbar, Biplab Biswas, *Air quality during three covid-19 lockdown phases: AQI, PM_{2.5} and NO₂ assessment in cities with more than 1 million inhabitants*, *Sustainable Cities and Society*, Volume 74

Rodrigo Troncoso, Louis de Grange, Luis A. Cifuentes, *Effects of environmental alerts and pre-emergencies on pollutant concentrations in Santiago, Chile, Atmospheric Environment*, Volume 61, 2012.

R. Espinosa, F. Jiménez, y J. Palma, «*Multi-objective evolutionary spatio-temporal forecasting of air pollution*», *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 136, pp. 15-33, nov. 2022

Ricardo Manuel Arias Velásquez, Jennifer Vanessa Mejía Lara, *Gaussian approach for probability and correlation between the number of COVID-19 cases and the air pollution in Lima*, *Urban Climate*, Volume 33, 2020

Pablo A. Garcia-Chevesich, Sergio Alvarado, Daniel G. Neary, Rodrigo Valdes, Juan Valdes, Juan José Aguirre, Marcelo Mena, Roberto Pizarro, Paola Jofré, Mauricio Vera, Claudio Olivares, *Respiratory disease and particulate air pollution in Santiago Chile: Contribution of erosion particles from fine sediments, Environmental Pollution*, Volume 187, 2014

M.A. Becerra, Y. Uribe, D.H. Peluffo-Ordóñez, Karla C. Álvarez-Uribe, C. Tobón, *Information fusion and information quality assessment for environmental forecasting*, Urban Climate, Volume 39,2021

Moncayo Riascos, M. C., & Garzon Barrero, N. M. (2002). *Diseño de la red de monitoreo calidad del aire para la ciudad de Pasto*. 2002

Mingyun Gao, Honglin Yang, Qinzi Xiao, Mark Goh, COVID-19 lockdowns and air quality: Evidence from grey spatiotemporal forecasts, *Socio-Economic Planning Sciences*, Volume 83, 2022

L. Fernandez, M. Huerta, G. Sagbay, R. Clotet, and A. Soto, “Sensing climatic variables in a orchid greenhouse,” in Proc Int. Caribbean Conf. Devices, Circuits Syst. (ICCDACS), 2017, pp. 101–104.

T. Cao-hoang and C. N. Duy, “Environment monitoring system for agricultural application based on wireless sensor network,” in Proc. 7th Conf. Inf. Sci. Technol. (ICIST), 2017, pp. 99–102.

Benghanem, M. (2009). Measurement of meteorological data based on wireless data acquisition system monitoring. *Applied Energy*, 86(12), 2651–2660.

J.T. Devaraju, K.R. Suhas, H.K. Mohana, Vijaykumar A. Patil, *Wireless Portable Microcontroller based Weather Monitoring Station, Measurement*, Volume 76, 2015, Pages 189-200, ISSN 0263-2241

Smith, J. A. (2018). *Fundamentos de Termodinámica Atmosférica*. Editorial Acme.

Guo, X., Wei, S., Liu, C., & Deng, Z. (2019). Effects of meteorological factors on PM_{2.5} and PM₁₀ pollution in urban area of Wuhan, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(28), 29109-29121.

- Li, X., Zhang, C., Li, W., & Bi, J. (2017). Relationship between PM10 concentration and meteorological factors in coastal cities, China. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(4), 1553-1560.
- Wang, J., Li, X., & Zhang, H. (2018). Study on the influence factors of PM10 concentration based on correlation analysis: a case study of Zhengzhou City. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2095.
- Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. (2016). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment international*, 74, 136-143.

Anexos

Anexo A. Matriz de revisión y comparación sistemática

- *Matriz de revisión bibliográfica.*

#	Asignad	REVISION BIBLIOGRAFICA
1		Roberto Rojano, Alejandra M. Vengoechea, Heli A. Arregocés, Indoor/outdoor relationship of particulate matter (PM10) and its chemical composition in a coastal region of Colombia, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Volume 8, 2023.
2		Saroj Kanta Behera, Abhisek Mudgal, Ankit Kumar Singh, Spatiotemporal exposure of motorcyclists to particulate matter in a densely populated urban area: A case study of Varanasi, India, Atmospheric Pollution Research, Volume 14, Issue 8, 2023.
3		Santiago Lopez-Restrepo, Andres Yarce, Nicolas Pinel, O.L. Quintero, Arjo Segers, A.W. Heemink, Forecasting PM10 and PM2.5 in the Aburrá Valley (Medellín, Colombia) via EnKF based data assimilation, Atmospheric Environment, Volume 232, 2020.
4		Heli A. Arregocés, Roberto Rojano, Gloria Restrepo, Impact of lockdown on particulate matter concentrations in Colombia during the COVID-19 pandemic, Science of The Total Environment, Volume 764, 2021
5		Figueredo Luna, John & Chica Garcia, Juan & Rodriguez Aya, Angel & Vargas, Carlos. (2016). Selección e implementación de un prototipo de estación meteorológica aplicando IoT y herramientas Google. 10.5281/zenodo.2613946.
6		Rosa Lara, Laura Megido, Beatriz Suárez-Peña, Luis Negral, Yolanda Fernández-Nava, Jesús Rodríguez-Iglesias, Elena Marañón, Leonor Castrillón, Impact of COVID-19 restrictions on hourly levels of PM10, PM2.5 and black carbon at an industrial suburban site in northern Spain, Atmospheric Environment, Volume 304, 2023

-
- 7** J. Xiong, R. Yao, W. Wang, W. Yu, y B. Li, «A spatial-and-temporal-based method for rapid particle concentration estimations in an urban environment», *J. Clean. Prod.*, vol. 256, p. 120331, may 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120331.
-
- 8** H.-D. He, W.-Z. Lu, y. Xue, «Prediction of particulate matters at urban intersection by using multilayer perceptron model based on principal components», *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, vol. 29, n.o 8, pp. 2107-2114, dic. 2015, doi: 10.1007/s00477-014-0989-x
-
- 9** E. Gladkova y L. Saychenko, «Applying machine learning techniques in air quality prediction», *Transp. Res. Procedia*, vol. 63, pp. 1999-2006, 2022, doi: 10.1016/j.trpro.2022.06.222.
-
- 10** Z. Zeng et al., «Estimating hourly surface PM_{2.5} concentrations across China from high-density meteorological observations by machine learning», *Atmospheric Res.*, vol. 254, p. 105516, jun. 2021, doi: 10.1016/j.atmosres.2021.105516
-
- 11** T. D. Akinosho, L. O. Oyedele, M. Bilal, A. Y. Barrera-Animas, A.-Q. Gbadamosi, y O. A. Olawale, «A scalable deep learning system for monitoring and forecasting pollutant concentration levels on UK highways», *Ecol. Inform.*, vol. 69, p. 101609, jul. 2022, doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101609
-
- 12** ohn Tatarko, Matthew Kucharski, Hongli Li, Huiru Li, PM_{2.5} and PM₁₀ emissions by breakage during saltation of agricultural soils, *Soil and Tillage Research*, Volume 208, 2021
-
- 13** J.-H. Jeong et al., «A novel statistical-dynamical method for a seasonal forecast of particular matter in South Korea», *Sci. Total Environ.*, vol. 848, p. 157699, nov. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157699.
-
- 14** S. Agarwal et al., «Air quality forecasting using artificial neural networks with real time dynamic error correction in highly polluted regions», *Sci. Total Environ.*, vol. 735, p. 139454, sep. 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139454.
-
- 15** C.-Y. Lin, Y.-S. Chang, y S. Abimannan, «Ensemble multifeatured deep learning models for air quality forecasting», *Atmospheric Pollut. Res.*, vol. 12, n.o 5, p. 101045, may 2021, doi: 10.1016/j.apr.2021.03.008.
-
- Zimmerman, N., Presto, AA, Kumar, SPN, Gu, J., Hauryliuk, A., Robinson, ES, Robinson, AL y R. Subramanian: un modelo de calibración de aprendizaje
-

-
- 16** automático que usa bosques aleatorios para mejorar el rendimiento del sensor para menores -Monitoreo de la calidad del aire, *Atmos. medida Tech.*, 11, 291–313, <https://doi.org/10.5194/amt-11-291-2018>, 2018.
-
- 17** R. Espinosa, F. Jiménez, y J. Palma, «Multi-objective evolutionary spatio-temporal forecasting of air pollution», *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 136, pp. 15-33, nov. 2022, doi: 10.1016/j.future.2022.05.020
-
- 18** D. Pruthi y. Liu, «Low-cost nature-inspired deep learning system for PM_{2.5} forecast over Delhi, India», *Environ. Int.*, vol. 166, p. 107373, ago. 2022, doi: 10.1016/j.envint.2022.107373
-
- 19** Md. Arfan Ali, Muhammad Bilal, Yu Wang, Janet E. Nichol, Alaa Mhawish, Zhongfeng Qiu, Gerrit de Leeuw, Yuanzhi Zhang, Yating Zhan, Kuo Liao, Mansour Almazroui, Ramzah Dambul, Shamsuddin Shahid, M. Nazrul Islam, Accuracy assessment of CAMS and MERRA-2 reanalysis PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations over China, *Atmospheric Environment*, Volume 288,
-
- 20** Abdelfettah Benchrif, Ali Wheida, Mounia Tahri, Ramiz M. Shubbar, Biplab Biswas, Air quality during three covid-19 lockdown phases: AQI, PM_{2.5} and NO₂ assessment in cities with more than 1 million inhabitants, *Sustainable Cities and Society*, Volume 74
-
- 21** Rodrigo Troncoso, Louis de Grange, Luis A. Cifuentes, Effects of environmental alerts and pre-emergencies on pollutant concentrations in Santiago, Chile, *Atmospheric Environment*, Volume 61, 2012.
-
- 22** R. Espinosa, F. Jiménez, y J. Palma, «Multi-objective evolutionary spatio-temporal forecasting of air pollution», *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 136, pp. 15-33, nov. 2022, doi: 10.1016/j.future.2022.05.020
-
- 23** Ricardo Manuel Arias Velásquez, Jennifer Vanessa Mejía Lara, Gaussian approach for probability and correlation between the number of COVID-19 cases and the air pollution in Lima, *Urban Climate*, Volume 33, 2020
-
- 24** Pablo A. Garcia-Chevesich, Sergio Alvarado, Daniel G. Neary, Rodrigo Valdes, Juan Valdes, Juan José Aguirre, Marcelo Mena, Roberto Pizarro, Paola Jofré, Mauricio Vera, Claudio Olivares, Respiratory disease and particulate air pollution
-

in Santiago Chile: Contribution of erosion particles from fine sediments, Environmental Pollution, Volume 187, 2014

25 M.A. Becerra, Y. Uribe, D.H. Peluffo-Ordóñez, Karla C. Álvarez-Uribe, C. Tobón, Information fusion and information quality assessment for environmental forecasting, Urban Climate, Volume 39, 2021

26 Mingyun Gao, Honglin Yang, Qinzi Xiao, Mark Goh, COVID-19 lockdowns and air quality: Evidence from grey spatiotemporal forecasts, Socio-Economic Planning Sciences, Volume 83, 2022

27 L. Fernandez, M. Huerta, G. Sagbay, R. Clotet, and A. Soto, “Sensing climatic variables in a orchid greenhouse,” in Proc Int. Caribbean Conf. Devices, Circuits Syst. (ICCDSCS), 2017, pp. 101–104. doi: 10.1109/ICCDSCS.2017.7959719.

28 T. Cao-hoang and C. N. Duy, “Environment monitoring system for agricultural application based on wireless sensor network,” in Proc. 7th Conf. Inf. Sci. Technol. (ICIST), 2017, pp. 99–102.

29 Benghanem, M. (2009). Measurement of meteorological data based on wireless data acquisition system monitoring. Applied Energy, 86(12), 2651–2660. doi:10.1016/j.apenergy.2009.03.026 10.1016/j.apenergy.2009.03.026

30 J.T. Devaraju, K.R. Suhas, H.K. Mohana, Vijaykumar A. Patil, Wireless Portable Microcontroller based Weather Monitoring Station, Measurement, Volume 76, 2015, Pages 189-200, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.08.027>.

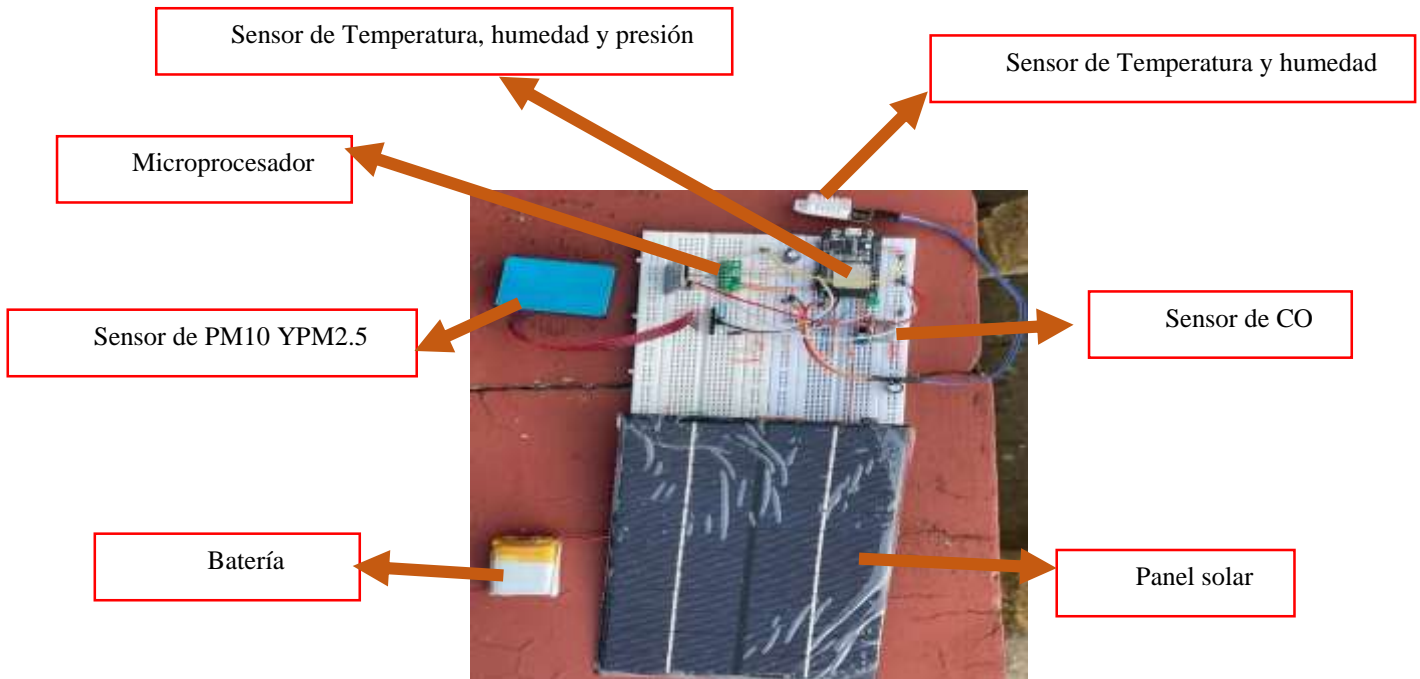
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1tXG18R5L0iBSi9Dndnm1Nyg57YxQIwge/edit?usp=sharing&ouid=114349834504885681168&rtpof=true&sd=true>

- *Matriz de comparación de revisión bibliográfica.*

22	23	24	16
Tipo_ Estación	Tipo_ Estación	Tipo_ Estación	Tipo_ Estación
Meteorologica	Meteorologica	Meteorologica	Metereologica
Sensores	Sensores	Sensores	Sensores
PM2.5	PM2.5	PM2.5	CO

PM10	PM10	PM10	NO2
NOX	CO		CO2
NO	NO2		O3
SO2	O3		
	SO2		
Hardware	Hardware	Hardware	Hardware
No aplica	No aplica	No aplica	No Aplica
Met_Programación	Met_Programación	Met_Programación	Met_Programación
MACAM II	Alg PSO	No aplica	No Aplica
Sist_Comunicación	Sist_Comunicación	Sist_Comunicación	Sist_Comunicación
No aplica	No aplica	No aplica	GSM
			Micro SD
Met_Predicción	Met_Predicción	Met_Predicción	Met_Predicción
			Random Forest
Comparacion	Regresion Gaussiano	Comparacion	Regresión lineal univariante de laboratorio
			Regresión lineal múltiple empírica
Año	Año	Año	Año
2017	2015	2017	2018
Región	Región	Región	Región
Asia	Europa	Asia	Norte America

Anexo B. Estación Meteorológica utilizada en la investigación.



Anexo C. Código ejecuta Rstudio.

```
#MEDIAS ESTADISTICAS_____  
summary(DATOS_FINALES_)  
# Seleccionar la variable de interés (reemplace 'variable' con el nombre de su variable)  
variable<-DATOS_FINALES_$$MQ(ADC)  
  
# Calcular estadísticas  
variable  
media <- mean(variable)  
mediana <- median(variable)  
minimo <- min(variable)  
maximo <- max(variable)  
  
media <- signif(media, digits = 4)  
mediana <- signif(mediana, digits = 4)  
minimo <- signif(minimo, digits = 4)  
maximo <- signif(maximo, digits = 4)  
  
# Crear un vector con las estadísticas  
estadisticas <- c(media, mediana, minimo, maximo)  
  
# Etiquetas para las barras  
nombres_estadisticas <- c("Media", "Mediana", "Mínimo", "Máximo")  
  
# Crear el gráfico de barras  
barplot(estadisticas, names.arg = nombres_estadisticas, col = rainbow(length(estadisticas)),  
main = "Estadísticas CO(ug/m3)", ylab = "CO(ug/m3)")  
# Agregar etiquetas de los valores sobre las barras  
text(seq_along(estadisticas), estadisticas, labels = estadisticas, pos = 3, cex = 0.7, col = "black")
```

```
# Agregar leyenda
#legend("topright", legend = nombres_estadisticas, fill = rainbow(length(estadisticas)))
#-----
airdata<-DATOS_FINALS_

par(mfrow=c(2,2), mar=c(4,4,4,1)+.1)
hist(airdata$pm1(ug/m3), col=3, main="Histgrama PM1", xlab="PM1(ug/m3)",
ylab="frecuencia")
hist(airdata$pm2_5(ug/m3), col=8, main="Histgrama PM2.5", xlab="PM2.5(ug/m3)",
ylab="frecuencia")
hist(airdata$PM10(ug/m3), col=2, main="Histgrama PM10", xlab="PM10(ug/m3)",
ylab="frecuencia")
hist(airdata$MQ(ADC), col=4, main="Histgrama CO", xlab="CO(ug/m3)", ylab="frecuencia")
hist(airdata$Lp_Presion(mbar), col=3, main="Histgrama mmHg", xlab="mmHg",
ylab="frecuencia")
hist(airdata$HUM_DH(%), col=4, main="Histgrama HUM_DH(%)", xlab="HUM_DH(%)",
ylab="frecuencia")
hist(airdata$TEMP_DH(°C), col=2, main="Histgrama TEMP_DH(°C)", xlab="Tem°C",
ylab="frecuencia")
hist(airdata$Lp_Temp(°C), col=8, main="Histgrama LP_Temp(°C)", xlab="Tem°C",
ylab="frecuencia")

#GRAFIAS QQ
qqnorm(airdata$pm1(ug/m3), main="pm1", col=2)
qqline(airdata$pm1(ug/m3), main="pm1", col=3)

qqnorm(airdata$pm2_5(ug/m3), main="pm2.5")
qqline(airdata$pm2_5(ug/m3), main="pm2.5")

qqnorm(airdata$PM10(ug/m3), main="PM10",col=3)
qqline(airdata$PM10(ug/m3), main="PM10",col=2)
```

```
qqnorm(airdata$MQ(ADC), main="Monoxido de Carbono",col=4)
```

```
qqline(airdata$MQ(ADC), main="Monoxido de Carbono")
```

```
qqnorm(airdata$LP_Temp(Â°C), main="LP_Temperatura(°C)", col=2)
```

```
qqline(airdata$LP_Temp(Â°C), main="LP_Tempertaura(°C)")
```

```
qqnorm(airdata$TEMP_DH(Â°C), main="Temperatura(°C)_DH", col=3)
```

```
qqline(airdata$TEMP_DH(Â°C), main="Tempertaura(°C)_DH")
```

```
qqnorm(airdata$HUM_DH(%), main="HUM_DH(%)",col=4)
```

```
qqline(airdata$HUM_DH(%), main="HUM_DH(%)")
```

```
qqnorm(airdata$LP_Presion(mbar), main="LP_Presión(mbar)")
```

```
qqline(airdata$LP_Presion(mbar), main="LP_Presión(mbar)")
```

```
#TEST DE NORMALIDAD _____
```

```
#Ho:mayor a 0.05 los dato siguen un adistribución normal
```

```
#H1:menor a 0.05
```

```
#Shapiro-wilk(n<50) y kolmogorov-smirnov(n>50)
```

```
#Shapiro-Wilk
```

```
library(nortest)
```

```
shapiro.test(airdata$PM10(ug/m3))
```

```
#CODIGO PARA AVRIA VARIABLES
```

```
library(corrplot)
```

```
resultados_pruebas <- lapply(airdata,qqnorm)
```

```
# Aplicar la prueba de kolmogorov-smirnov a cada variable
```

```
resultados_pruebas <- lapply(airdata,lillie.test)
```

```
# Mostrar los resultados
for (i in seq_along(resultados_pruebas)) {
  cat("Variable:", names(resultados_pruebas)[i], "\n")
  cat("Estadística de prueba:", resultados_pruebas[[i]]$statistic, "\n")
  cat("Valor p:", resultados_pruebas[[i]]$p.value, "\n")
  cat("\n")
}

#_____
#MATRIZ DE COVARIANZA
# Calcular la matriz de covarianza
matriz_covarianza <- cov(airdata)

# Mostrar la matriz de covarianza
print("Matriz de Covarianza:")
print(matriz_covarianza)

#MATRIZ DE CORRELACIÓN_____

# Instalar y cargar las bibliotecas necesarias (si aún no lo has hecho)
# install.packages("corrplot")
# install.packages("reshape2")
library(corrplot)
library(reshape)
# Cargar los datos (reemplaza 'datos.csv' con el nombre de tu archivo)
datos <- airdata
# Calcular la matriz de correlación
matriz_correlacion <- cor(datos)
# Crear una visualización de matriz de correlación con números
corrplot(
```

```
matriz_correlacion,  
method = "number", # Muestra los números dentro de las celdas  
diag = FALSE, # No muestra los valores en la diagonal  
tl.col = "black", # Color de valores  
tl.srt = 45 # Ángulo de inclinación del texto  
)
```

Anexo D. Modelo de auto correlación cruzada

```
#MODELO DE AUTOCORRELACIÓN CRUZADA  
#Especificar periodo de tiempo  
datospm <- DATOS_FINALES_  
datospm.ts=ts(datospm$`PM10(ug/m3)`, start=c(1,1), frequency = 96)  
start(datospm.ts); end(datospm.ts)  
datospm.ts  
class(datospm.ts)  
plot(datospm.ts, ylab="pma", main="Concentración PM10")  
  
#PRIMER PLOT LINEAS SIN COLOR PARA POSIBLES PATRONES  
plot(datospm.ts, type="o", xlab="tiempo", ylab="concentración", main="Concentración  
PM10")  
  
#SEGUNDO PLOT LINEAS COLOR PARA POSIBLES PATRONES  
seasonplot(datospm.ts, col=rainbow (20), day.labels=TRUE, xlab="tiempo",  
ylab="concentración", main="Concentración PM10")
```

***#GRAFICAR DE AUTOCORRELACIÓN NORMAL Y A COLOR NOMBRADA SERIE
NORMAL***

acf(datospm.ts)

acf(datospm.ts, lag=30, col="2", main="", xlab="lag", ylab="ACF")

#GRAFICAR AUTOCORRELACIÓN PARCIAL SERIE NORMAL

pacf(datospm.ts, lag=30, col="2", main="", xlab="lag", ylab="PACF")

#Verificación para tendencias y soportar estacionaridad en los datos

ndiffs(datospm.ts)

#Usar diferenciación (primera diferencia)

#modo1

plot(diff(datospm.ts), xlab="Tiempo", ylab="seriedif")

#modo2

seriedif=diff(datospm.ts)

plot(seriedif)

acf(seriedif)

ndiffs(seriedif)

***#ANALISIS VISUAL DE LAS GRAFICAS DE AUTOCORRELACIÓN SERIE
ESTACIONARIA Y NO ESTACIONARIA***

par(mfrow=c(2,2), mar=c(4,4,4,1)+.1)

plot(datospm.ts, main="Grafica Prue_Tendencia", ylab="Concentración PM10")

acf(datospm.ts, main="Autocorrelación Serie_No_estacionaria")

plot(seriedif, main="Grafica Sin Tendencia", ylab="Concentración dif PM10")

acf(seriedif, lag=48, col="2", main="ACF Serie estacionaria")

pacf(seriedif, lag=48, col="2", main="PACF Serie estacionaria")

#Ajuste de Dikey-Fuller test para ver estacionaridad

#decuelve la probabilidad de no ser estacionaria

#Si es mayor a 0.05 la serie no es estacionaria(tiene tendencia)

#Si es menor a 0.05 la serie es estacionaria(No hay tendencia)

adf.test(datospm.ts)

seriedif

#Ajuste automatico de los coeficientes seriedif


```
ARIMAmodel<- auto.arima(datospm.ts)
ARIMAmodel
#Diagnostico del modelo_METODO 1
tsdiag(ARIMAmodel)
Box.test(ARIMAmodel$residuals, lag=45, type="Ljung-Box")
#Diagnostico del modelo_METODO 2
checkresiduals(ARIMAmodel)
#Observados vs esperados del modelo
plot(ARIMAmodel$x,col="red", main="Datos Campo vs Modelo ARIMA PM10")
lines(fitted(ARIMAmodel), col="blue")
#Predicción
library(astsa)
forecast::forecast(ARIMAmodel,h=192)
autoplot(forecast::forecast(ARIMAmodel, h=192), main="PREDICCIÓN DEL
MODELO")
proyecpm<-as.data.frame(forecast::forecast(ARIMAmodel, h=192))
exp(proyecpm$`Point Forecast`)
```


Anexo H. Ajuste de datos concentración calibrada del Hi-Vol.

Puntos	Succión	Vacio	Pf	Po/Pa	Qa (Look up flow)	Qa std	Qa	Diferencia			
	Pulg H2O	Cm H2O	mm Hg		m3/min	std m3/min	m3/min	%			
Drif. Libre	3.1	10.3	7.5762577	0.98632938	1.283790805	0.9516419	1.3895739	-7.61262589			
18	3	23.6	17.359192	0.96867703	1.259273647	0.9334679	1.3670399	-7.88318562	Promedio Q	0.8678262	m3/min
13	2.9	30	22.06677	0.96018266	1.247475916	0.9247226	1.3441272	-7.19063656	Tiempo	18	h
10	2.8	48.2	35.453944	0.93602681	1.21392612	0.899853	1.3208159	-8.09271013	Tiempo	1080	min
7	2.7	65.7	48.326226	0.91280002	1.181666701	0.8759399	1.2970845	-8.89824858			
5	2.2	122.5	90.105978	0.83741253	1.076961843	0.7983248	1.1712133	-8.04733109			
Filtro Limpio	x	59.8	43.986428	0.92063077	1.192542734						
Filtro Sucio	x	61.8	45.457546	0.91797628	1.188855943						
			44.721987	0.91930352	1.190699338	0.8678262					
Pa	554.2	mmHg									
Ta	20	°C									
	293.15	°K							Volumen (m3)	937.25231	
									Masa (gr)	0.0358	
									Concentración (mg/m3)	38.196758	
Datos generales del equipo											
Pendiente	0.92408										
Intercepto	-0.00383										

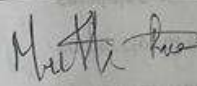

Anexo J. Registro Fotográfico.






	UNIVERSIDAD MARIANA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE FLUIDOS		
	REVISIÓN DE APOYO PARA INVESTIGACIONES Y PROYECTOS ADICIONALES		
	CÓDIGO: F-LF-03	VERSIÓN: 01	PÁGINA 1 de 2

FECHA:	04 - 12 - 2023	FICHA NUMERO:	23
COORDINADOR:	Harold Santacruz		
LABORATORIO:	Calidad Aire.		
MONITORES:			
NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN:	Estudio de la correlación de PM ₁₀ y PM _{2.5} con variables Meteorológicas.		
NOMBRE DEL INVESTIGADOR	Edwin Pat		
NOMBRE DEL ASESOR:	Meryeli Ruiz		
PROCEDIMIENTOS:	Reconexión de cableado averiado en los sensores de la estación - Descarga de datos y reconfiguración de estación Santiago p102		
	EQUIPO ENTREGADO	CANTIDAD	CONDICIONES DEVOLUCIÓN
	Estacion Meteorologica Vantage pro 2		
HORA DE INICIO:	1:00 PM	HORA DE FINALIZACIÓN:	3:30 PM

OBSERVACIONES INVESTIGADOR	
OBSERVACIONES COORDINADOR DE LABORATORIO	
 FIRMA INVESTIGADOR	 FIRMA COORDINADOR DE LABORATORIO



Elaboró: Harold Santacruz Ortega Coordinador laboratorio de Fluidos	Revisó: Magda Martinez Ramos Director de laboratorios	Aprobó: Robinson A. Jiménez T. Decano facultad de Ingeniería
Firma:	Firma:	Firma:
Fecha: 04 - 12 - 2023	Fecha:	Fecha:

	UNIVERSIDAD MARIANA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE FLUIDOS		
	REVISIÓN DE APOYO PARA INVESTIGACIONES Y PROYECTOS ADICIONALES		
	CÓDIGO: F-LF-03	VERSIÓN: 01	PÁGINA 1 de 2


FECHA:	30 - 11 - 2023	FICHA NUMERO:	22
COORDINADOR:	Harold Santacruz		
LABORATORIO:	Ciudad Arie		
MONITORES:			
NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN:	Estado de la Confección de Duro y Paletis con variables Meteorológicas.		
NOMBRE DEL INVESTIGADOR	Edwin Ruiz Mayra Ruiz		
NOMBRE DEL ASESOR:	Luis Gabriel Cepeda		
PROCEDIMIENTOS:	Se reviso falla en la estación y guardado de datos.		

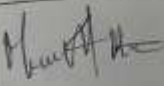

EQUIPO ENTREGADO	CANTIDAD	CONDICIONES DEVOLUCIÓN
Estacion Meteorologica Vantage No 2		

HORA DE INICIO: 2:00 PM	HORA DE FINALIZACIÓN: 4:00 PM.
OBSERVACIONES INVESTIGADOR	
OBSERVACIONES COORDINADOR DE LABORATORIO	


 FIRMA INVESTIGADOR	 FIRMA COORDINADOR DE LABORATORIO
---	--

Elaboró: Harold Santacruz Ortega Coordinador laboratorio de Fluidos	Revisó: Magda Martínez Ramos Director de laboratorios	Aprobó: : Robinson A. Jiménez T. Decano facultad de Ingeniería
Firma:	Firma:	Firma:
Fecha: 30-11-2023	Fecha:	Fecha:

	UNIVERSIDAD MARIANA FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIO DE FLUIDOS		
	REVISIÓN DE APOYO PARA INVESTIGACIONES Y PROYECTOS ADICIONALES		
	CÓDIGO: F-LF-03	VERSIÓN: 01	PÁGINA 1 de 2

FECHA:	20-11-2023	FICHA NUMERO:	21
COORDINADOR:	Harold Santacruz		
LABORATORIO:	Calidad de Aire		
MONITORES:			
NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN:	Estudio de la correlación de PM ₁₀ y TSP con variables Meteorológicas		
NOMBRE DEL INVESTIGADOR	Edwin Ruiz Magdali Ruiz		
NOMBRE DEL ASESOR:	Luis Gabriel Laguarda		
PROCEDIMIENTOS:	Configuración de software y mantenimiento - revisión de consola Data por el Decano de datos		
EQUIPO ENTREGADO	CANTIDAD	CONDICIONES DEVOLUCIÓN	
Estación Meteorológica Vanilaga pto 2			
HORA DE INICIO: 8:30 am		HORA DE FINALIZACIÓN:	2:00 PM
OBSERVACIONES INVESTIGADOR			
OBSERVACIONES COORDINADOR DE LABORATORIO			
 FIRMA INVESTIGADOR		 FIRMA COORDINADOR DE LABORATORIO	

Elaboró: Harold Santacruz Ortega Coordinador laboratorio de Fluidos	Revisó: Magda Martínez Ramos Director de laboratorios	Aprobó: : Robinson A. Jiménez T. Decano facultad de Ingeniería
Firma:	Firma:	Firma:
Fecha:	Fecha:	Fecha:

	Docencia y Procesos Formativos	Código	DPF-F-014
	SOLICITUD DE USO DE LABORATORIOS PARA TRABAJOS DE GRADO E INVESTIGACIONES	Versión	01
		Vigencia	26/09/2023
		Página	1 de 1

Recuerde que el horario de laboratorio es de 7 am -12 m y 1 -4 pm lunes a viernes y sábados de 8-12.

NOTA: ANTES DE DILIGENCIAR ESTA SOLICITUD DEBE ASEGURARSE QUE HAYA DISPONIBILIDAD EN EL LABORATORIO.

VoBo Laboratorista: HAROLD G. SANTACRUZ ORTEGA

Nombres y apellidos	Documento de identidad
Edwin Camilo Ruiz	CC - 1089031961
Mayerli Katherine Ruiz	CC - 1088728024
Fecha de solicitud:	31 - 01 -2024
Facultad:	Ingeniería Ambiental
Programa académico:	Laboratorio de Calidad del Aire

Descripción de Solicitud				
Fecha	Hora	Laboratorio	Material/accesorios	Equipo
01-02-2024	08:00 - 16:00	Laboratorio de Calidad del Aire	Computador de la estación	Estación meteorológica, Equipo Hivol
15-02-2024	08:00 - 16:00	Laboratorio de Calidad del Aire	Computador de la estación	Estación meteorológica, Equipo Hivol

Nota de descargos de responsabilidad: El/los solicitantes(s) debe(n) hacer uso de: Bata blanca, gafas, guantes y demás indumentaria necesaria con el fin de salvaguardar su integridad de cualquier evento que llegase a suceder, igualmente se hace (n) responsable (s) del espacio con el orden y los equipos que se utilice, ya que serian el/ los directos responsable(s) de cualquier daño o pérdida tanto de accesorios o equipos utilizados.

Observaciones: El rango de fechas que se registran en la tabla anterior es de días continuos de asistencia es decir que los estudiantes empiezan el día 01/02/2024 y terminan el día 15/02/2024.
 Cel. Contacto 3147484157

Firma solicitante No. 1 [Firma] Firma solicitante No. 2 Mayerli Ruiz

VoBo Asesor/Investigador [Firma] M. Luis Gabriel J...

Vo.Bo. Director del programa [Firma] Vo.Bo. Director de laboratorios [Firma]



Nota: Se requiere en al menos 10 Filtros Hi-Vol de Dobra.