

**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA SELVA
CENTRAL JUAN SANTOS ATAHUALPA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“Distribución del tamaño de partículas atmosféricas y su relación con la quema de vegetación en periodo de estiaje en La Merced – 2023”

INFORME DE TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR

Bach. Moreno Alvarado Erick Raulito

ASESOR

Dr. Daniel Martín Álvarez Tolentino

Chanchamayo, Perú

2024

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo de personas e instituciones a las que agradezco de corazón:

Al Dr. Daniel Martín Álvarez Tolentino, mi asesor de la presente tesis, por la ayuda, colaboración y ajustes para poder terminar la presente tesis, fue un excelente docente e investigador y sobre todo un buen ser humano.

Al Dr. Ronald Panduro Durand, por su asesoría, recomendaciones y su buena amistad durante la elaboración del presente estudio.

Al Msc. Roger Franco Aguilar Rojas, Por su apoyo, preguntas e indicaciones que ayudaron a la mejoría del presente estudio.

Al Dr. José Miguel Rutti Marín, por las observaciones y las sencillas de explicarlas para el mejoramiento del presente estudio.

A mi madre Elizabeth Alvarado Muñoz y a mi padre Jaime Moreno Aburto, por apoyarme en todas las etapas académicas de mi vida y a incentivar me a culminar este trabajo como parte del proceso.

Al proyecto “Efecto de los incendios forestales en el material particulado atmosférico de la selva central de Junín para implementar un sistema de vigilancia on-line de la calidad del aire en un contexto de cambio climático” y su financiamiento canon de la vicepresidencia de Investigación.

Al Personal administrativo de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa y dar las facilidades para el desarrollo de la presente investigación.

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada a toda mi familia y amigos que de alguna forma me apoyó con los ánimos e impulsándome a llegar hasta aquí, realizando esta presente investigación. De manera calurosa, la dedico a mi señora madre Elizabeth alvarado Muños, a mi Padre Jaime Raul Moreno Aburto por todo el soporte emocional, económico y fortalecimiento en este instante que definimos como vida.

RESUMEN

La mayoría de los trabajos de investigación en ciencias atmosféricas. se realizan en la sierra y la costa del Perú, mientras que en la selva son escasos o casi inexistentes. El objetivo de esta investigación fue analizar la relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en periodo de estiaje en La Merced-2023. La metodología empleada consistió en el uso del método automático, lo que permitió medir las partículas de manera continua. Además, el tamaño de las partículas fue medido por un contador de partículas óptico (OPC) este equipo registró ocho rangos de tamaño de 0.3; >0.3-0.5; >0.5-0.7; >0.7-1.0; >1.0-2.0; >2.0-3.0; >3.0-5.0 y >5.0-10 micrómetros, para la detección de quemas se realizó gracias a la identificación de puntos de calor mediante el producto VIIRS. Para identificar las fuentes de los episodios de material particulado, se utilizó el paquete `splitr` en RStudio con el modelo HYSPLIT. una alta correlación entre los rangos de partículas menores a 0.7 μm con todas las direcciones, siendo el norte, este y noreste las que presentaron los valores más altos ($r = 0.50, 0.51$ y 0.37 , respectivamente). Las partículas en el rango de 5 a 10 μm mostraron significancia con las direcciones oeste, sur y suroeste. también se observó una alta correlación entre las direcciones norte y este con las partículas del grupo de rangos G1 (0.3 – 1 μm), mientras que las partículas del grupo G2 (5 – 10 μm) mostraron una correlación moderada con el sureste, oeste y sur. En conclusión, mostró que las partículas de menor tamaño provenían de la Amazonía, mientras que las partículas más grandes provendrían de las zonas sureste, oeste y sur. Los desarrollos específicos de esta tesis podrían derivar en estudios sobre modelos de alertas tempranas y en la gestión de recursos forestales. Además, estos hallazgos refuerzan la importancia de monitorear y controlar las emisiones de material particulado en la región.

Palabras Claves: Tamaño de partícula atmosféricas, focos de calor, incendios forestales, contador de partículas óptico, La Merced, Hysplit.

ABSTRACT

Most of the research work in atmospheric sciences is carried out in the mountains and the coast of Peru, while in the jungle they are scarce or almost non-existent. The objective of this research was to analyze the relationship between the size distribution of atmospheric particles with the burning of vegetation during the dry season in La Merced-2023. The methodology used consisted of the automatic one, which allowed the particles to be measured continuously. In addition, the size of the particles was measured by an optical particle counter (OPC). This equipment recorded eight size ranges of 0.3; >0.3-0.5; >0.5-0.7; >0.7-1.0; >1.0-2.0; >2.0-3.0; >3.0-5.0 and >5.0-10 micrometers, for the detection of burns it was carried out thanks to the identification of hot spots using the VIIRS product. To identify the sources of the particulate matter episodes, the `splitr` package in RStudio was used with the HYSPLIT model. A high correlation was observed between the ranges of particles smaller than 0.7 μm with all directions, with the north, east and northeast showing the highest values ($r = 0.50, 0.51$ and 0.37 , respectively). Particles in the 5 to 10 μm range showed significance with the west, south and southwest directions. A high correlation was also observed between the north and east directions with particles in the G1 range group (0.3 – 1 μm), while particles in the G2 group (5 – 10 μm) showed a moderate correlation with the southeast, west and south. In conclusion, it showed that the smallest particles came from the Amazon, while the largest particles would come from the southeast, west and south areas. Specific developments in this thesis could lead to studies on early warning models and forest resource management. Furthermore, these findings reinforce the importance of monitoring and controlling particulate matter emissions in the region.

Keywords: Atmospheric particle size, heat sources, forest fires, optical particle counter, La Merced, Hysplit.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los incendios forestales representan una preocupación ambiental de alta importancia en diversas regiones del mundo, incluido el territorio peruano, debido a su capacidad para devastar extensas áreas de vegetación y afectar negativamente la calidad del aire. La comprensión de los factores que influían en la frecuencia y severidad de estos eventos es crucial para desarrollar estrategias efectivas de manejo y mitigación. Entre estos factores, la distribución y características de las partículas atmosféricas habían emergido como un campo de estudio relevante, especialmente en relación con su posible influencia en la dinámica de los incendios forestales (Martínez et al., 2024).

En el contexto atmosférico, las partículas finas ($PM_{2.5}$) y gruesas (PM_{10}) provenientes de diversas fuentes, incluidos los incendios forestales mismos, pueden afectar de manera significativa la calidad de aire y severidad de enfermedades respiratorias. La interacción entre las partículas atmosféricas y los incendios forestales no solo modifican la composición química y física del aire, sino que también puede alterar las condiciones meteorológicas locales, como la inestabilidad en la atmósfera y la dispersión de calor. Estos cambios, a su vez, pueden influir en la intensidad y extensión de los incendios, creando un ciclo complejo (Porta et al., 2018).

En el caso específico del Perú, un país con una gran diversidad de ecosistemas y condiciones climáticas variables, los incendios forestales son una preocupación estacional recurrente, especialmente durante los periodos de sequía o estiaje. La fragilidad de estos ecosistemas ante los incendios se ven exacerbada por factores como la deforestación, el cambio climático y las prácticas agrícolas y ganaderas no sostenibles. Además, la propia distribución geográfica del país, que abarcaba desde la costa desértica hasta la selva amazónica, presenta desafíos adicionales en términos de gestión y respuesta ante incendios (Hurtado & Montaña, 2023).

Este estudio se centró en encontrar la relación entre la distribución de tamaños de partículas atmosféricas y la quema de biomasa durante el periodo de estiaje. Particularmente, se analizó cómo las variaciones en el número de focos de calor podían influir en la dinámica del tamaño de partículas atmosféricas en la ciudad de La Merced en el año 2023. Comprender esta relación era esencial para desarrollar estrategias de gestión que no solo mitigaran los efectos de los incendios forestales, sino que también minimizaran el impacto negativo en la salud humana y en los ecosistemas locales. El objetivo de la investigación propuesta no solo contribuye al entendimiento científico de la relación entre las partículas atmosféricas y los incendios forestales en Perú, sino que también

ofreció herramientas y conocimientos que pudieron ser aplicados para fortalecer la resiliencia frente a este importante desafío ambiental y socioeconómico.

Índice General

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN	vi
CAPÍTULO I	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Fundamentación del problema	9
3.2. Formulación del problema.....	11
3.2.1. Problema general.....	11
3.2.2. Problemas específicos	11
3.3. Objetivos.....	11
3.3.1. Objetivo general.....	11
3.3.2. Objetivos específicos	11
3.4. Definición y operacionalización de variables.....	12
3.5. Hipótesis.....	13
3.5.1. Hipótesis general.....	13
3.5.2. Hipótesis específicas	13
3.6. Justificación.....	13
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO	15
4.1. Antecedentes.....	15
4.2. Bases teóricas	17
4.2.1. Cambio climático	17
4.2.2. Causas del cambio climático.....	17
4.2.3. Contaminación atmosférica.....	18

4.2.4. Contaminantes atmosféricos	18
4.2.5. Aerosoles atmosféricos	19
4.2.6. Propiedades de los aerosoles.....	19
4.2.7. Tipos de aerosoles.....	21
4.2.8. Material particulado	23
4.2.9. Distribución de partículas atmosféricas	24
4.2.10. Tecnologías utilizadas para medir el tamaño de partículas.....	26
4.2.11. Impactación sólida.	26
4.2.12. Material particulado en a la salud humana.....	27
4.2.13. Fuentes de emisión de material particulado.....	28
4.2.14. ¿Como se miden las quemas?	28
4.2.15. Focos de calor	29
4.2.16. Parque Automotor.....	29
4.2.17. Pollerías.....	30
4.3. Definición conceptual de términos básicos	31
4.3.1. Distribución.....	31
4.3.2. Emisión	31
4.3.3. Focos de calor	31
4.3.4. Partícula	31
4.3.5. Monitoreo.....	31
4.3.6. Periodo de estiaje	32
4.3.7. Roza	32
CAPÍTULO III.....	33
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	33
5.1. Área de estudio.....	33
5.2. Nivel, tipo y diseño de investigación	33
5.2.1. Nivel de la investigación.....	33

5.2.2. Tipo de la investigación	33
5.2.3. Diseño de la investigación	33
5.3. Población y muestra	33
5.3.1. Población.....	33
5.3.2. Muestra.....	33
5.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	34
5.4.1. Técnicas e instrumentos	34
5.4.2. Instrumentos.....	34
5.4.3. Técnicas de recolección de datos	35
5.5. Análisis de datos.....	37
5.6. Consideraciones éticas.....	39
CAPÍTULO IV	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
6.1. Presentación de resultados y discusión.....	40
6.2. Prueba de hipótesis.....	60
6.2.1. Objetivo general.....	60
6.2.2. Objetivo específico 1	60
6.2.3. Objetivo específico 2	62
6.2.1. Objetivo específico 3	62
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES.....	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	90

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Dimensiones de partículas</i>	20
Figura 2. <i>Distribución de partículas según su diámetro</i>	23
Figura 3. <i>Distribución de los tamaños de partículas atmosféricas</i>	25
Figura 4. <i>Punto de muestreo de los tamaños de partículas</i>	34
Figura 5. <i>Fotografía del Met One 212-2 instalado en la escuela profesional de ingeniería civil, 2023</i>	36
Figura 6. <i>Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de julio registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	40
Figura 7. <i>Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de agosto registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	42
Figura 8. <i>Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de septiembre registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	43
Figura 9. <i>Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de octubre registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	45
Figura 10. <i>Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de noviembre registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	46
Figura 11. <i>Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de julio registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	48
Figura 12. <i>Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de agosto registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	50
Figura 13. <i>Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de septiembre registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	51
Figura 14. <i>Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de octubre registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	53
Figura 15. <i>Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de noviembre registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	54

Figura 16. <i>Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de julio del 2023.</i>	64
Figura 17. <i>Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de agosto del 2023.</i>	65
Figura 18. <i>Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de septiembre del 2023.</i>	68
Figura 19. <i>Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de octubre del 2023.</i>	70
Figura 20. <i>Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de noviembre del 2023.</i>	72
Figura 21. <i>Imagen registrada en el 2023 donde se observa el efecto de las partículas suspendidas.</i>	74
Figura 22. <i>Imagen registrada en el 2023 donde se observa quemas locales en el cultivo de Jengibre.</i>	74
Figura 23. <i>Cluster de los episodios de retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del 2023.</i>	75
Figura 24. <i>Representación de las zonas con mayor significancia respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del 2023.</i>	76
Figura 25. <i>Análisis de la topografía de la ciudad de la Merced a través de dos cortes que muestran el perfil de elevación. A) corte transversal en dirección al este, B) corte transversal en dirección al norte y C) La ciudad de La Merced con los cortes realizados.</i>	78

Índice de Tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	12
Tabla 2. <i>Fuentes de recolección de datos para el periodo de estiaje del año 2023 en La Merced.</i>	35
Tabla 3. <i>Promedio diario de partículas/ m³ por rangos de tamaño para el mes de julio en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	40
Tabla 4. <i>Promedio diario de partículas/ m³ por rangos de tamaño para el mes de agosto en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	42
Tabla 5. <i>Promedio diario de partículas/ m³ por rangos de tamaño para el mes de septiembre en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	44
Tabla 6. <i>Promedio diario de partículas/ m³ para el mes de octubre en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	45
Tabla 7. <i>Promedio diario de partículas/ m³ para el mes de noviembre en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.</i>	46
Tabla 8. <i>Grado de correlación y significancia entre los rangos de tamaños de partículas y las direcciones de focos de calor para el periodo de estiaje del año 2023.</i>	57
Tabla 9. <i>Prueba de normalidad de los rangosa de tamaño.</i>	61
Tabla 10. <i>Episodios registrados de los tamaños de partículas durante los 5 meses de monitoreo para el año 2023.</i>	63

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Fundamentación del problema

Los aerosoles son un problema mundial que, con sus efectos, agravaban cada vez más el cambio climático y la salud de las personas. Una de las principales fuentes de emisiones fueron los incendios forestales o las conocidas quemadas de vegetación (López, 2021). Los bosques cubren el 31% de la superficie terrestre mundial, y el 9% de estos bosques se encuentran fragmentados con poca o nula conectividad entre ellos, según la FAO & PNUMA (2020). En los últimos años desde 1990, la superficie de bosques primarios había disminuido en gran medida; más de 100 millones de hectáreas de bosques fueron afectadas por especies invasivas, fenómenos meteorológicos, sequías y, sobre todo, por incendios forestales.

A nivel mundial se atribuía a los incendios forestales los cambios en los factores climáticos y las sequías que afectaban a las especies forestales (Vasco et al., 2022). En la opinión de Ávila & González (2019), estos incendios presentaban un gran problema en lo que respecta a la emisión de gases de efecto invernadero, la modificación del flujo hídrico y la disminución de la biodiversidad. Sus principales efectos eran el incremento de la temperatura y una alta frecuencia de tormentas; esta última hacía que los contaminantes tendieran a transportarse con mayor frecuencia, lo que llevaba las amenazas a la salud a distintos lugares (Augusto et al., 2020).

En Sudamérica, la Amazonía registra focos de incendios frecuentes en el trimestre de agosto a octubre, según lo experimentado en Brasil por Soto (2019). Sin embargo, Zubieta et al. (2019) mencionaba que estos incendios se presentan con mayor frecuencia al finalizar el periodo de estiaje, a inicios de la temporada de lluvias (octubre-noviembre) en el caso de Perú. Un estudio realizado por Rocha y Huacho (2022) aclara sobre la influencia que ejercía el material particulado en el incremento del AOD (espesor óptico atmosférico), debido a las emisiones de partículas por incendios forestales generados en las regiones amazónicas del Perú y en países vecinos.

Los tamaños de material particulado más conocidos son el PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PM_1 , también llamadas fracciones gruesas, fina y ultrafina (Rojas & Garibay, 2003; Rosales, 2019). Citando a Navarro et al. (2020), en el ámbito nacional las áreas más grandes con presencia de PM_{10} eran las zonas de selva alta. En la región Junín, los valores más altos oscilaban entre 2.5 y $10 \mu\text{g}/\text{m}^{-3}$ para el Mantaro y la selva central, respectivamente, debido a actividades agrícolas.

La principal actividad económica en la selva central es la agricultura, también es la causante de la mayor cantidad de quemadas e incendios forestales. El maíz híbrido un grano muy usado en la selva central; se utiliza desde alimento después de ser molido o cocido, hasta derivados del grano

seco, como la harina de maíz, El grano en seco es el alimento principal de las aves de corral en las fincas, con el fin de abastecerse durante todo el año los agricultores siembran varias hectáreas durante los meses de agosto a septiembre. Para ello, se inician las actividades de “roza” talando arbustos, árboles y toda la vegetación existente en el área designada para sembrar, posterior a eso se realiza la quema para proceder a sembrar en los siguientes días. Este sistema agrícola tradicional de “roza” y quema, al ser practicado indiscriminadamente por la mayoría de los agricultores durante los meses mencionados, da como resultado una densa cortina de humo durante esos meses, llegando al punto de nublar la visibilidad.

Otro cultivo en el que se aplica el mismo sistema es el jengibre, Esta planta para ser sembrada requiriere de un área libre de ramas y troncos; la quema es usada para reducir a cenizas y carbón las ramas y troncos. Muchos agricultores con el objetivo de tener una mayor producción, siembran en suelos de bosques primarios, deforestando y quemando varias hectáreas de bosque que nunca volverán a restaurarse por completo.

Existen reportes de incendios ocurridos cerca de la ciudad de La Merced; en ocasiones se desconoce el origen y motivo de estos episodios. Algunos llegan a durar alrededor de 5 horas sin apagarse otros más de un día, generando preocupación y liberando contaminantes desconocidos. La población es consciente de que la densidad del humo en el aire proviene de las quemas en la agricultura; sin embargo, la agricultura no es la única actividad que aporta a la generación de partículas atmosféricas, la ciudad también emite un porcentaje de partículas, es así que no se conocía a ciencia cierta qué tamaños de partículas eran los más abundantes, el área de procedencia y mucho menos las consecuencias que conllevaba su inhalación.

Las emisiones de los incendios generan una variedad de tamaños de partículas atmosféricas (Pascual, 2019), pero se desconocía la variabilidad de las mismas y su afectación a la salud de las personas en lo que respecta a enfermedades respiratorias, así como la afectación a los ecosistemas, dejando como consecuencia a muchas especies sin espacios adecuados para sobrevivir, En la selva central, donde no se cuenta con una red de vigilancia con equipos capaces de medir los distintos tamaños de material particulado, es importante el estudio del material particulado para conocer la gravedad de sus efectos según las actividades originadoras (Buffone & Romano, 2023).

Es así como el presente trabajo buscó responder a la siguiente interrogante:

¿Cuál es la relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en periodo de estiaje en La Merced-2023?

3.2. Formulación del problema

3.2.1. Problema general

¿Cuál es la relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en periodo de estiaje en la Merced-2023?

3.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la variabilidad temporal de las partículas por rangos de tamaño en el periodo de estiaje en La Merced - 2023?
- ¿Cuál es la variabilidad temporal de la ocurrencia de focos de calor en el periodo de estiajes en La Merced - 2023?
- ¿Cuál es la correlación de las cantidades de partículas de los ocho rangos de tamaño con los focos de calor en el periodo de estiaje en La Merced - 2023?
- ¿Cuáles son las zonas de focos de calor más importantes en episodios del aumento significativo de partículas en el periodo de estiaje en La Merced - 2023?

3.3. Objetivos

3.3.1. Objetivo general

Analizar la relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en periodo de estiaje en La Merced-2023

3.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la variabilidad temporal de las partículas por rangos de tamaño en periodo de estiaje en La Merced - 2023.
- Determinar la variabilidad temporal de la frecuencia de focos de calor en periodo de estiaje en La Merced - 2023.
- Determinar la correlación de las cantidades de partículas de los 8 rangos de tamaño con los focos de calor en periodo de estiaje en La Merced - 2023.
- Identificar las zonas de focos de calor más importantes en episodios del aumento significativo de partículas en el periodo de estiaje en La Merced – 2023.

3.4. Definición y operacionalización de variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables

Variable	Definición	Indicadores	Unidad de medida
Variable 1: Distribución de partículas atmosféricas	Permite la caracterización de procesos dependientes del tamaño que rigen el transporte, transformación y el destino de una partícula en la atmosfera (Wu & Boor, 2021).	Cantidad de partículas < 0.3 μm Cantidad de partículas comprendidas entre 0.3–0.5 μm . Cantidad de partículas comprendidas entre 0,5 - 0,7 μm . Cantidad de partículas comprendidas entre 0,7-1,0 μm . Cantidad de partículas comprendidas entre 1,0-2,0 μm . Cantidad de partículas comprendidas entre 2,0-3,0 μm . Cantidad de partículas comprendidas entre 3,0-5,0 μm . Cantidad de partículas comprendidas entre 5.0-10. 0 μm .	partículas/ m^3
Variable 2: Número de focos de calor	Detección de valor temperatura elevado comparado con los calores de los pixeles colindantes (Torinjano et al, 2023).	Frecuencia de focos de calor	Unidad

3.5. Hipótesis

3.5.1. Hipótesis general

La relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en el periodo de estiaje en La Merced es directa y Alta debido a la quema de biomasa influenciada por las corrientes de viento.

3.5.2. Hipótesis específicas

- Los niveles más altos de partículas son registrados en el mes de septiembre y los valores más bajos para noviembre.
- Las frecuencias de focos de calor más altas son registradas en el mes de agosto y octubre del año 2023.
- Existe una correlación directa y alta entre la cantidad de partículas y la frecuencia de los focos de calor.

3.6. Justificación

El estudio de la distribución del tamaño de partículas atmosféricas y su interacción con la quema de vegetación durante el periodo de estiaje fue de suma importancia en un contexto de cambio climático y deterioro de la calidad del aire. Esta investigación se justifica por diversas razones fundamentales: la exposición prolongada a partículas atmosféricas tanto finas ($PM_{2.5}$) como gruesas (PM_{10}), que provienen de la quema de vegetación, pueden tener consecuencias graves para la salud de las personas. Estudios previos demostraban que el aumento en enfermedades respiratorias y cardiovasculares, e incluso un mayor riesgo de mortalidad prematura, están asociados con la inhalación de estas partículas.

Las partículas atmosféricas también tienen un rol crucial en el cambio climático. Dependiendo de su composición y tamaño, pueden influir en los procesos de radiación solar, en la formación de nubes y su precipitación. Comprender cómo la quema de vegetación influye la distribución de estas partículas es necesario para evaluar su contribución al cambio climático regional y global. El aumento de incendios forestales durante el periodo de estiaje ha contribuido al incremento de la emisión de partículas a la atmósfera. Estas partículas pueden depositarse en ecosistemas acuáticos y terrestres, afectando la calidad del suelo y del agua, así como la salud de la flora y fauna.

Comprender la relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas y la quema de vegetación es esencial para desarrollar estrategias efectivas de gestión y prevención de incendios forestales. Esto incluye la identificación de áreas de alto riesgo y la implementación de medidas para mitigar el impacto ambiental.

Los incendios forestales tienen un costo económico significativo en términos de pérdida de ecosistemas. Comprender la distribución de partículas atmosféricas emitidas por las quemadas es crucial para evaluar el impacto económico y desarrollar políticas de respuesta efectivas.

Dada la complejidad de los efectos de la quema de vegetación en la distribución de partículas atmosféricas, esta investigación se presentó como una contribución valiosa para el entendimiento integral de los procesos interrelacionados entre la actividad humana, la calidad del aire y el medio ambiente. Los resultados de este estudio tendrán implicaciones significativas tanto a nivel científico como en términos de políticas de gestión ambiental y salud pública.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes

En el trabajo de investigación de Gillies et al. (2022) sobre "The role of off-highway vehicle activity in augmenting dust emissions at the Oceano Dunes State Vehicular Recreation Area, Oceano, CA", realizado en los EE. UU. en el Instituto de Investigación del Desierto de Nevada, se buscó examinar tres fuentes de datos para determinar si la actividad recreativa vehicular todoterreno incrementaba las emisiones de polvo arrastrado por el viento. Las mediciones de la emisividad de PM se realizaron utilizando el instrumento PI-SWERL desde 2013 hasta 2020. Los resultados indican que la emisividad media del área era de dos a tres veces mayor que la de las áreas sin conducción. En 2020, la actividad vehicular todoterreno se prohibió debido a la pandemia, y las mediciones de PM mostraron una disminución del 12 % en las concentraciones de PM, lo que indica claramente que el cese de actividades hace que las dunas sean menos emisivas.

Ruprecht et al. (2022), en su estudio de investigación titulado "Measurements of Particulate Matter from Electronic and Conventional Cigarettes: A Comparative Analysis of Methods", realizado en el laboratorio de la Fondazione Instituto Nacional de Tumori, Milán, Italia, abordan la creciente necesidad de monitorear las emisiones de estos nuevos dispositivos. Los cigarrillos electrónicos generan concentraciones significativas de PM, un componente importante de los aerosoles, por lo que fue necesario medirlo. Los contadores ópticos de partículas (OPC) permitieron la medición en tiempo real. El estudio muestra las limitaciones asociadas con la medición de la masa de los cigarrillos electrónicos utilizando la tecnología OPC y la necesidad de un factor de corrección (factor k) correspondiente, no solo para cada fuente específica de PM, sino también para el tamaño deseado. Finalmente, este estudio demuestra que esta configuración podría no ser aplicable debido a la volatilidad externa de los aerosoles, lo que dificulta la medición del factor k en los cigarrillos electrónicos.

En su trabajo de investigación, Wang et al. (2022) sobre "Impacts on urban VOCs and $PM_{2.5}$ during a wildfire episode" se llevó a cabo en la Bahía de San Francisco. Este estudio se enfocó en el impacto de las emisiones de humo de incendios forestales. Para el monitoreo, se utilizó un monitor de atenuación beta, muestreadores pasivos de carbón y tubos de adsorción térmica. El valor máximo diario durante el periodo de incendios fue cerca de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor pico por hora de $PM_{2.5}$ fue de aproximadamente $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el promedio diario fue de $102 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Al final, se concluyó que las concentraciones de tolueno, benceno y p-xileno fueron más altas durante los incendios.

En el trabajo de investigación de Dattamudi et al. (2020) sobre "Mass concentration and size distribution of particles released from harvesting and biomass burning of sugarcane", realizado en los campos de caña de azúcar en la estación de investigación de la Universidad Estatal de Luisiana en New Iberia durante 2012-2014, se evaluaron la distribución de tamaños y las concentraciones de masa de partículas finas menores a $2,5 \mu\text{m}$ ($PM_{2.5}$) y partículas gruesas de $2,5-10 \mu\text{m}$ ($PM_{2.5-PM_{10}}$). Estas partículas se liberaron durante la quema de la caña de azúcar. El estudio dividió en fases las operaciones de cosecha, como el corte de caña verde (GH), la quema de caña en pie (SB), el corte de caña después de SB (BH) y la quema de residuos en el suelo (GB). Para la recolección de datos, se utilizó un perfilador de partículas ópticas Met One 212, así como un muestreador de aire de alto volumen Tisch TE-6070. Para el análisis estadístico, se empleó SAS 9.4, con análisis de varianza (ANOVA) y una separación de medias de Tukey-Kramer a un nivel de $\alpha = 0,05$. En conclusión, la quema de biomasa liberó una cantidad significativamente mayor de PM en comparación con el corte y la cosecha.

Un trabajo de investigación regional realizado por Camayo & Canturín (2021) sobre la "Evaluación de la concentración de las partículas atmosféricas PM_{10} y $PM_{2.5}$ para la formulación de su plan de acción en Huancayo metropolitano" evaluó las concentraciones de PM utilizando un sensor PurpleAir, colocado en tres puntos de muestreo (Universidad Nacional del Centro del Perú, Municipalidad Provincial y Municipalidad Distrital de Chilca). Para el PM_{10} registrado por día, se obtuvieron valores con mayor significancia desde el 29/12/2018 al 04/01/2019, siendo el día con mayor concentración el 1 de enero de 2019, con un valor de $110,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasando los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del ECA. En el muestreo por horas, se tomó como referencia el día 1 de enero de 2019, donde el valor más alto fue a las 5 AM, con un registro de $309,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se concluyó que el 1 de enero fue el día en que los valores superaron los EC-aire por 24 horas para ambas concentraciones, donde la humedad no jugó ningún papel importante

Arratea (2021), en su estudio sobre el "Análisis de la variación temporal del espesor óptico y la distribución del tamaño del aerosol atmosférico en la ciudad de Huancayo en el año 2016", analizó los datos obtenidos por el fotómetro, los cuales fueron correlacionados con las estimaciones de los satélites AQUA y TERRA, obteniéndose un coeficiente de 0,44 y 0,62, respectivamente. También se realizaron análisis diarios, mensuales y estacionales del espesor óptico, fundamentados con los inventarios de focos activos de quema de biomasa dentro de la Amazonía Peruana. En cuanto a los resultados, la distribución de los tamaños del aerosol fue representada gráficamente en función de su volumen y su tamaño, con el fin de identificar los tipos de partículas en el periodo estudiado. Se obtuvo un valor de 0,33 para los valores medios de espesor óptico el 14 de

septiembre, el mismo día en que se originó una gran quema de biomasa. Gracias al análisis de las retrotrayectorias, se infirió que estas partículas provinieron de Ucayali, Loreto, Huánuco y Pasco. Se concluyó con el hallazgo de una ligera predominancia del modo grueso sobre el fino en el periodo de estudio.

En el estudio realizado por Vásquez & Suazo (2019) sobre el "Impacto del transporte transfronterizo de aerosoles atmosféricos debido a la quema de vegetación en la Amazonía sobre la región andina del Perú", se cuantificaron los posibles orígenes de emisión de los aerosoles producidos en la Amazonía. En este estudio se utilizó el modelo HYSPLIT, que permitió mostrar el transporte de los contaminantes desde la Amazonía brasileña hacia la región andina peruana. Para la obtención de los focos de calor, se accedió al IMPE, específicamente al programa de quemadas. Los resultados de la variabilidad temporal mostraron que en el mes de septiembre se registró la mayor cantidad de focos de calor. Además, se analizó la variación temporal del índice de aerosol para las provincias de Cuiabá y Huancayo, siendo los índices más altos en los meses comprendidos entre agosto y septiembre. En conclusión, este estudio demostró que el espesor óptico de aerosol es mayor en comparación con otras provincias mencionadas en el estudio, e indicó que la emisión de aerosoles es más significativa en la época húmeda en comparación con la época seca.

4.2. Bases teóricas

4.2.1. Cambio climático

Para Mora et al. (2021), el cambio climático es uno de los principales problemas que aquejan a la humanidad. Los efectos medioambientales, y principalmente ciertas acciones determinantes como el aumento de los Gases de Efecto Invernadero en adelante (GEI), son resultado principalmente de la actividad antropogénica. El clima, en términos generales, es la interacción entre la órbita terrestre, la radiación solar, la composición atmosférica (presión, temperatura, precipitación y viento), la latitud, las corrientes oceánicas y, sobre todo, las actividades antropogénicas.

4.2.2. Causas del cambio climático.

El clima también evoluciona con el tiempo producto de factores distintos al mismo como son la altitud, la distancia al mar, la altitud geográfica, los relieves terrestres en función al sol, los vientos y su dirección y las corrientes oceánicas. También depende de los efectos de la suma de los que originen naturales y de los derivados de la actividad humana, o antropogénicos, y especialmente los denominados GEI. Para hablar de las causas se debe iniciar hablando de los orígenes del cambio climático, con énfasis en los GEI los que tienen

mucho que ver con una serie de acontecimientos, el aumento de los mismos en la atmósfera luego bien el forzamiento radiactivo y sus consecuencias en formas de variación climática (Fernández, 2012).

En la opinión de autor mencionado las actividades hechas por el hombre son las principales responsables del incremento de la presencia de los (GEI) en la atmosfera, entre los principales gases están el dióxido de carbono, vapor de agua, óxido de nitrógeno, metano, y halocarbonados. También el cambio de uso de la corteza terrestre como son la agricultura y ganadería, estas actividades condicionan las emisiones y dispersiones de la radiación causando un desequilibrio en el balance energético del sistema climático.

4.2.3. Contaminación atmosférica

Es el resultado de una mezcla compleja de contaminantes provenientes de fuentes antrópicas, como el tráfico automovilístico, el transporte aéreo o marítimo, la producción de energía, las industrias, las fábricas de incineración y la agricultura. Sin embargo, también puede originarse a partir de fuentes naturales (Raheison, 2020). Según Ballester et al. (1999), se conoce como contaminación atmosférica al fenómeno que ha sido estudiado desde la antigüedad. En el mundo contemporáneo, adquiere mayor importancia debido a episodios que han tenido lugar en los países industrializados.

4.2.4. Contaminantes atmosféricos

La variabilidad en la concentración de los contaminantes presentes en la atmósfera depende de la distribución y la ubicación de las fuentes de contaminación. Algunas de las principales fuentes de contaminantes antropogénicos son las plantas de calefacción, las incineradoras de residuos sólidos, las centrales térmicas, el parque automotor, la minería a cielo abierto y las plantas de energía nuclear. La exposición a los contaminantes emitidos por estas fuentes, que llegan a ambientes interiores y exteriores, está asociada con efectos adversos agudos en la salud de los seres humanos, así como con el deterioro de los ecosistemas (Mora et al., 2021).

4.2.4.1. Tipos de contaminantes atmosféricos

Como menciona Barrantes (2020), los principales contaminantes son de origen antropogénico, ya que el ser humano es considerado el principal responsable de su origen. Estos contaminantes se clasifican en los siguientes grupos:

Fuentes móviles: automóviles, aviones, barcos, trenes, los combustibles de origen fósil (petróleo)

Fuente fijas: Chimeneas domiciliarias, tubos de escape de los establecimientos comerciales, la generación de energía para el uso industrial, las centrales termoeléctricas donde se lleva a cabo la quema de combustibles para la generación de energía.

Sistemas productivos en la industria: Procesos químicos, actividades relacionadas a la metalurgia, el refinado de gases y petróleo, la fábrica de papel entre otros procesos en las diversas industrias.

Fuentes de área: Quemadas de residuos agrícolas, emisión de basura, incendios forestales, fugas de gases inflamables, derrames de compuestos tóxicos entre otros parecidos

4.2.5. Aerosoles atmosféricos

Según Rocha y Huacho (2022), los aerosoles atmosféricos son un conjunto de partículas líquidas y sólidas presentes y suspendidas en el aire, con tamaños que oscilan entre 0,01 y 100 micrómetros. Cabe mencionar que los aerosoles tienen una gran influencia en el clima a través de dos efectos: el efecto directo, relacionado con la dispersión y absorción de la radiación solar, y el efecto indirecto, que está relacionado con la formación de núcleos de condensación de nubes.

4.2.6. Propiedades de los aerosoles

4.2.6.1. Propiedades físicas

4.2.6.1.1. Forma

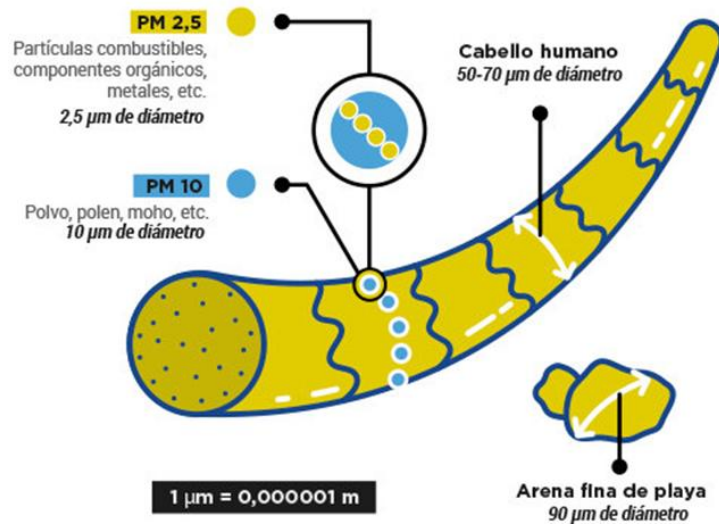
Los aerosoles cuentan con una diversidad de formas entre las principales según Aragón (2011) están la esfera sólida, esfera hueca, sólido irregular, Hojuela, fibra, flóculos condensados y agregados.

4.2.6.1.2. Distribución de tamaño

El tamaño es una de las propiedades físicas más importantes de los aerosoles desde la perspectiva de la contaminación del aire. Cabe mencionar que los aerosoles se encuentran en un amplio intervalo de dimensiones, desde 0,001 μm hasta 100 μm . Es importante tener en cuenta que existe una relación directa entre los efectos en la salud humana y el tamaño de las partículas de aerosoles, siendo las que más afectan aquellas que se encuentran en el intervalo de 0,1 a 10 μm (Echeverri, 2022).

Figura 1.

Dimensiones de partículas



Nota. Se muestran las dimensiones de las partículas de distintos tamaños. Pertenece a este sitio: Gobernanza del aire <https://governanzadelaire.uniandes.edu.co/>

4.2.7. Tipos de aerosoles

4.2.7.1. Según su fuente

4.2.7.1.1. Aerosoles primarios

Menares (2020) menciona que los aerosoles emitidos desde la superficie del suelo hacia la atmósfera se denominan aerosoles primarios.

Los aerosoles primarios de origen natural son producidos por:

- Océanos, a través de la descarga de sal del océano, lo que produce una gran cantidad de aerosoles salinos. Solo las emisiones de polvo mineral superan este valor a escala global.
- Desiertos, que producen polvo mineral cuando el viento mueve estas partículas; se encuentran principalmente en regiones tropicales o subtropicales, como el desierto del Sahara.
- Volcanes, que liberan aerosoles de sulfato durante las erupciones.
- Quema de bosques (bosques, sabanas y otros tipos de vegetación), que genera emisiones de biomasa consistentes en aerosoles como el carbono elemental (EC) y el carbono orgánico (OC), así como gases como óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4).
- Bio aerosoles, que son partículas sólidas o líquidas liberadas por plantas o animales, como fragmentos de hojas, partículas microbianas, coloides marinos, etc.

Una parte importante de los aerosoles que se encuentran en la troposfera es emitida por fuentes primarias de origen antrópico.

4.2.7.1.2. Aerosoles secundarios

Menares (2020) también menciona que los aerosoles secundarios son producidos a partir de partículas aéreas que fueron originadas por una fuente primaria, como el polvo suspendido del suelo. Estos aerosoles se forman cuando las partículas originales reaccionan químicamente con gases atmosféricos u otras partículas con distintas propiedades. Además, señala que en el caso de los aerosoles secundarios es mucho más difícil asociarlos con una fuente específica.

4.2.7.2. Según su tamaño

Menares (2020) menciona que las partículas de aerosoles pueden variar en su tamaño de nanómetros hasta decenas de micras (radios $> 100 \mu\text{m}$)

4.2.7.2.1. Partículas finas

Las partículas con un diámetro aerodinámico de $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ($PM_{2,5}$) son uno de los principales componentes del humo en los incendios forestales, lo que afecta significativamente la salud pública. Estas partículas pueden ser inhaladas profundamente en los pulmones y son capaces de ingresar al torrente sanguíneo, causando daños importantes en los órganos vitales, principalmente en los pulmones (Aguilera et al., 2021).

4.2.7.2.2. Partículas gruesas

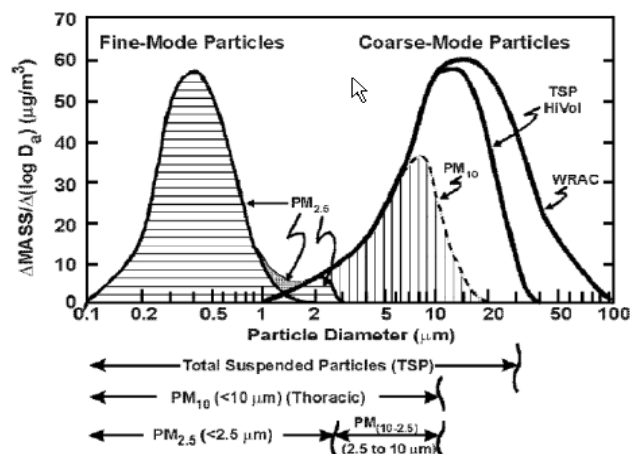
El material particulado procedente de la quema de combustibles fósiles por fuentes móviles o actividades industriales, así como la erosión eólica, también es generador de partículas gruesas cuyo diámetro aerodinámico está comprendido entre 2.5 y 10 μm (Martínez et al., 2019). Figueruelo & Marino (2019) sostienen que las partículas consideradas de tamaño grande se depositan en la mucosa, son transportadas fuera del sistema respiratorio hasta la garganta, penetran hasta los pulmones, pero no llegan más allá de los bronquios, y luego son expulsadas por la acción ciliar.

4.2.8. Material particulado

Conocido como polvo en suspensión, es decir aquella partícula que está suspendida en el ambiente por un largo tiempo, también es clasificada principalmente por su tamaño, dividida en fracciones gruesas o respirables con diámetros de partículas menores a 10 μm y mayores a 20.5 μm , definida como PM_{10} y una fracción fina con diámetro de partícula inferior a 2.5 μm , esta es definida como $PM_{2.5}$ (Arrieta, 2016).

Figura 2.

Distribución de partículas según su diámetro



Nota. El gráfico representa las distribuciones continuas del número, superficie y volumen de las partículas versus el rango de diámetros. Tomado de (Vargas, 2011). https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/Efectos_en_la_salud_particulado_Claudio_Vargas_2011_MINSAL.pdf

4.2.8.1. PM_{10}

Es la fracción respirable, aquella parte del aire que inhalamos y que pasa a través de la tráquea e ingresa al tracto respiratorio; el tamaño de estas partículas es de 10 micras. Aún se omiten evidencias de que el material particulado mayor o igual a 10 micras presente efectos graves en la salud y el medio ambiente (Carranza et al., 2021). Según Mejia (2016), este tamaño de partículas proviene principalmente de fuentes naturales, como incendios forestales, erupciones volcánicas y el transporte de polvo en el desierto a causa del viento.

4.2.8.2. $PM_{2.5}$

Son partículas cuya principal fuente es la antropogénica, normalmente estas provienen de las emisiones de vehículos diésel o la combustión de los diferentes tipos de aceites, gasolinas o combustibles en general (Mejia, 2016).

4.2.9. Distribución de partículas atmosféricas

La distribución de partículas atmosféricas es el resultado de emisiones directas de partículas, de procesos en formación in situ, interacciones atmosféricas entre partículas, entre partículas y compuestos gaseosos o entre partículas y procesos de disposición. Su medición brinda la base la evaluar en profundidad los procesos de transporte y la transformación de aerosoles, así como la distribución de fuentes de contaminación, la deposición de las partículas en el sistema respiratorio humano así como los efectos toxicológicos asociados al cuerpo humano (Wu & Boor, 2021). La distribución de partículas atmosféricas tiene una alta importancia para la evolución del cambio climático a nivel mundial, puesto que, el tamaño de partículas afecta con gravedad la interacción entre la radiación solar con las partículas y su capacidad de formar gotas de nubes y formar niebla (Calessio & Migliavacca, 1999).

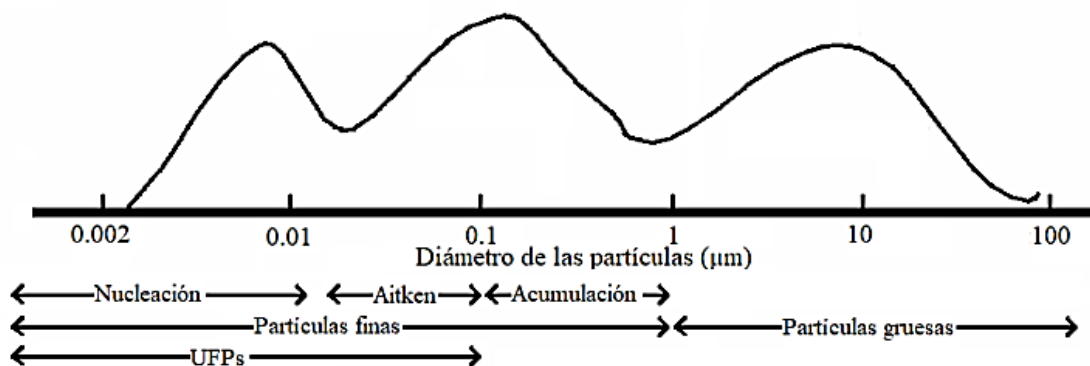
Según lo revisado por Wu & Boor (2021) existen rangos reconocidos como:

- a. Partículas en modo nucleación.** Comprendidas entre 3-20 nm, se forman por medio de la nucleación de moléculas en estado gaseoso e iones, estas partículas pueden ser eliminadas con una relativa rapidez por medio de la nucleación esto gracias a la alta difusividad, también pueden incrementar su tamaño hasta alcanzar el modo Aitken por medio de eventos de formación de partículas nuevas.
- b. Partículas de Aitken.** Comprendidas de 20 a 100 nm, pueden dar origen a partículas en modo acumulación gracias a la coagulación y condensación.

- c. **Modo acumulación.** comprenden de 100-1000 nm es frecuente que se les asocie con emisiones primarias como son fuentes de combustión, estas partículas pueden tener una mayor vida útil debido las bajas velocidades de sedimentación gravitacional y a sus bajas velocidad de coagulación entre sí.
- d. **Partículas de modo grueso.** Comprendidas por partículas mayores a 1000 nm es frecuente que sean generados por procesos mecánicos, como suelen ser Re suspensión aerodinámica y la abrasión.

Figura 3.

Distribución de los tamaños de partículas atmosféricas



Nota. Gráfico que muestra la distribución de las partículas según su diámetro en micrómetros y sus respectivas clasificaciones. Tomado de: Universidad de Granada, 2020. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/63723/MARTA%20ALONSO%20TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García et al. (2006) sostienen que la medición y caracterización de la distribución del tamaño de partículas es de vital importancia para comprender la calidad del aire y sus efectos en la salud humana y en el medio ambiente. Para medir la distribución del tamaño de partículas, se utilizan técnicas que incluyen el uso de equipos como el espectrómetro de masas, sensores ópticos, microscopía electrónica y difracción láser.

Así mismo se explican la amplia variación de las partículas, desde partículas ultrafinas con diámetros inferiores a 0,1 micrómetros hasta partículas más grandes con diámetros superiores a 10 micrómetros. Estas partículas pueden transportarse a largas distancias y tener efectos significativos en la calidad del aire, la visibilidad y el clima.

4.2.10. Tecnologías utilizadas para medir el tamaño de partículas

Citando a Gralton et al. (2011) nos menciona las siguientes tecnologías usadas en la actualidad.

4.2.11. Impactación sólida.

Se utiliza el principio de medición basado en un impacto mecánico sobre una superficie sólida. Estos dispositivos son capaces de separar partículas gracias a un diferencial inercial, lo cual está relacionado con el tamaño de las partículas y es causado por este. En algunos casos, también puede ser necesario el uso de microscopía posterior para determinar el tamaño. El parámetro de salida de estos equipos es el diámetro aerodinámico. Algunos equipos que emplean esta tecnología son los muestreadores Seive y Andersen.

4.2.11.1. Impactación líquida.

Cuenta con el principio de impacto de manera mecánica, pero en líquido, estos dispositivos son capaces de realizar separaciones de partículas que al igual que el anterior principio mediante la inercia inicial, también el diámetro aerodinámico es su parámetro de salida un equipo representativo es el impactador líquido.

4.2.11.2. Impactación eléctrica.

La carga de partículas para la creación de un diferencial inercial. Las partículas son impactadas en diferentes placas impactantes dependiendo de su carga, después se hace la enumeración de las partículas en cada una de las placas, es ese el principio de funcionamiento de esta tecnología.

4.2.11.3. Óptico.

Su principio de funcionamiento es basado en las propiedades de la luz al dispersarse una vez impactadas las partículas para así cambiar en función del tamaño. El diámetro óptico es el parámetro de salida los equipos más usados que funcionan bajo este principio son, los contadores ópticos de partículas (Met One 212 – 2) y las imágenes interferónicas de Mie.

4.2.11.4. Fotografía de alta velocidad.

El parámetro de salida es el diámetro de la imagen y está bajo el principio de medir partículas capturadas con un enfoque con alta nitidez a una alta velocidad.

4.2.11.5. Tiempo de vuelo.

Para el funcionamiento el principio inicia con la emisión de un rayo láser por el que las partículas pasan y es así como se detectan la obstrucción del láser que es causada por las partículas.

4.2.11.6. Separación de carga.

Las partículas son cargadas luego son separadas en función a la rapidez con la que se da su movimiento por medio del campo eléctrico, los medidores de partículas de movilidad por escaneo son de los equipos más conocidos que funcionan bajo este principio.

4.2.12. Material particulado en a la salud humana

El material particulado emitido por incendios tiende a contener elementos más tóxicos en comparación con el particulado ambiental habitual, incluso cuando tienen la misma masa. En otro estudio realizado por Happo, se concluyó que el particulado grueso tiene mayor

actividad inflamatoria que el fino, mientras que el ultrafino solo causa un nivel de inflamación muy bajo. La variabilidad de los efectos fue mayor para el material particulado fino que para el grueso (Vargas, 2011).

4.2.13. Fuentes de emisión de material particulado

4.2.13.1. Quemadas de vegetación.

Son significativos los hallazgos etnológicos y arqueológicos que sustentan que el fuego ha sido usado por el hombre desde tiempos remotos. A lo largo de la historia, las quemadas se han empleado en sistemas socioeconómicos como un medio para regenerar el crecimiento de los pastos, eliminar especies invasoras, suprimir la vegetación natural para la implementación de cultivos y para otros usos. En distintas partes del planeta, especialmente en áreas tropicales, las quemadas siguen siendo utilizadas por campesinos, productores y pueblos indígenas para obtener nuevos espacios aptos para la agricultura (Martínez et al., 2004).

4.2.13.2. Consecuencias de las quemadas.

La pérdida de biodiversidad es una de las consecuencias adversas de este tipo de prácticas, junto con la contribución al efecto invernadero y la contaminación atmosférica. Estos efectos adquieren dimensiones globales, lo que ha generado preocupación en toda la comunidad científica, que se ha encargado de movilizar programas de investigación para evaluar la magnitud del problema (Martínez et al., 2004).

4.2.14. ¿Cómo se miden las quemadas?

Según la revisión por parte de Reid et al., (2005) para medir las quemadas, es requerido usar una combinación de métodos y tecnologías, también menciona las más comunes formas de medir las quemadas:

4.2.14.1. Observación en el terreno.

La inspección visual es utilizada por los investigadores para realizar visitas al área donde ocurrió la quemada, con el objetivo de evaluar el tamaño, la intensidad y la extensión que abarcó el fuego. Otra forma de análisis es el muestreo de material quemado, que se lleva a cabo para recopilar muestras de biomasa después de la quemada, las cuales son analizadas posteriormente en laboratorio. Este proceso proporciona información sobre la composición y la cantidad de material quemado. Por último, los registros fotográficos y de multimedia ayudan a capturar imágenes y videos del

incendio o quema, proporcionando datos visuales que pueden ser útiles para evaluaciones posteriores.

4.2.14.2. Sensores remotos y teledetección.

Las observaciones en terreno son realizadas por bomberos forestales o equipos de respuesta a incendios, quienes evalúan visualmente la intensidad, dirección y propagación del fuego. En el uso de satélites, se emplean satélites de observación terrestre, como los del Sistema de Satélites de Observación de la Tierra (EOS) de la NASA o el programa Copernicus de la Unión Europea. Aunque no son los únicos, estos satélites, con la ayuda de sensores, capturan imágenes de alta resolución que permiten rastrear y mapear los focos de calor.

4.2.15. Focos de calor

También se conocen como anomalías térmicas, las cuales se localizan a partir de imágenes satelitales asociadas a incendios. Los focos de calor se representan como valores de temperatura elevados en comparación con los píxeles circundantes, lo que activa los umbrales preestablecidos en el algoritmo especializado. Los eventos que pueden causar la activación del segmento incluyen quemas agrícolas, incendios, fuegos industriales, volcanes en actividad, entre otros (Toriniano et al., 2023).

La presencia de fuego activo se detecta a través de un algoritmo contextual que utiliza la fuente de emisiones infrarrojas promedio de los incendios. Muchos focos de incendio se alinean cerca de las carreteras y están relacionados con el uso de la tierra; muchos de estos presentan un período de retorno anual, principalmente durante la época seca. Durante este periodo, la temperatura aumenta y, junto con prácticas agrícolas que incluyen quemas, como el cultivo de caña de azúcar y maíz, se observa un incremento en la actividad de incendios (Barreto et al., 2017).

4.2.16. Parque Automotor

El parque automotor es el conjunto de vehículos con motor que están registrados y circulan en un espacio geográfico determinado. Los vehículos incluidos en esta categoría son automóviles, camiones, motocicletas, entre otros. La influencia en las emisiones de contaminantes atmosféricos está determinada por el tipo de tecnología del vehículo, los años de uso y el tipo de combustible que se utiliza (Agosto, 2016).

Según lo recopilado por Gaviria et al. (2011), la contribución del parque automotor al aumento del material particulado se debe a las emisiones de partículas finas ($PM_{2.5}$) y partículas gruesas (PM_{10}) liberadas durante la combustión de combustibles fósiles,

principalmente en motores de combustión interna. A continuación, se detallan las principales formas en que el parque automotor contribuye a este problema:

- Emisiones de Escape: Los motores de combustión interna de vehículos emiten partículas durante la quema de combustibles fósiles. Los escapes de automóviles, camiones y motocicletas liberan partículas finas y gruesas directamente al aire.
- Desgaste de Neumáticos y Frenos: El desgaste de neumáticos y frenos durante la conducción genera partículas finas que se liberan en forma de polvo en suspensión.
- Suspensión de Polvo de las Carreteras: El tráfico vehicular perturba el polvo y las partículas finas en las superficies de las carreteras, especialmente en áreas urbanas, contribuyendo a la carga de partículas en el aire.
- Re-suspensión de Partículas: Las partículas depositadas en las superficies de las carreteras pueden ser levantadas nuevamente al aire por el tráfico vehicular, especialmente en condiciones de viento o durante maniobras de vehículos.
- Procesos de Combustión Ineficiente: En vehículos viejos o mal mantenidos, la combustión puede ser ineficiente, lo que aumenta la liberación de partículas y otros contaminantes.
- Contaminantes Asociados: Además de partículas sólidas, los vehículos también emiten gases y compuestos químicos que pueden contribuir a la formación de aerosoles y partículas finas en el aire.
- Concentración en Áreas Urbanas: Debido a la alta densidad de tráfico en áreas urbanas, la concentración de partículas en el aire puede ser significativamente mayor en comparación con zonas menos urbanizadas.

González (2018) aclara que los factores combinados hacen que el parque automotor sea una fuente importante de emisiones de material particulado en entornos urbanos y áreas con alta densidad de tráfico. Estas partículas pueden tener graves efectos en la salud humana, ya que son lo suficientemente pequeñas como para penetrar en los pulmones y, en algunos casos, llegar a la circulación sanguínea, lo que puede contribuir a problemas respiratorios y cardiovasculares. Por lo tanto, reducir las emisiones de material particulado del parque automotor es esencial para mejorar la calidad del aire y proteger la salud pública.

4.2.17. Pollerías

Las pollerías son establecimientos de comida que se especializan en la preparación y venta de pollo, generalmente frito o asado, así como otros platos relacionados con el pollo

como guarniciones y salsas. Son comunes en muchas culturas alrededor del mundo y a menudo ofrecen opciones para comer en el local o llevar (Posada, 2017).

Asimismo sostiene que, en relación con las emisiones de material particulado atmosférico, las pollerías contribuyen con el fenómeno de las siguientes maneras:

- Cocción y Fritura: Al cocinar el pollo la mayoría de veces se involucra procesos de fritura y cocción a temperaturas elevadas. En el transcurso de estos procesos, son liberados en forma de aerosoles o partículas finas de grasa, aceite y otros compuestos.
- Emisiones de Humo y Vapores: Al utilizarse altas temperaturas en la cocción, especialmente al momento de freír, es cuando se produce vapores y humo que contienen partículas finas y otros contaminantes. Estos pueden escapar del área de cocina y ser liberados al ambiente.

4.3. Definición conceptual de términos básicos

4.3.1. Distribución

La distribución de partículas atmosféricas es el resultado de emisiones directas de partículas, de procesos en formación in situ, interacciones atmosféricas entre partículas, entre partículas y compuestos gaseosos o entre partículas y procesos de disposición.

4.3.2. Emisión

Expulsión de materia al aire, puede ser por un foco determinado o como consecuencia de las reacciones fotoquímicas o cadena de reacciones iniciadas por un proceso fotoquímico (emisión secundaria).

4.3.3. Focos de calor

Un foco de calor es simplemente una anomalía termal que detecta un satélite en la tierra. Puede ser que haya fuego o simplemente puede ser un cuerpo rocoso, espejos de agua, construcciones aglomeradas en un solo lugar, etc. Estos sitios emiten temperaturas más elevadas que en su entorno. Ejemplo, es como si en un grupo de personas, una tenga fiebre.

4.3.4. Partícula

Término que se utiliza para referirse a cualquier material sólido o líquido dividido finamente, que es diseminado y arrastrado por el aire y que tiene un volumen que varía entre $0.0002 \mu\text{m}$ y $500 \mu\text{m}$.

4.3.5. Monitoreo

Actividad que requiere de la medición para la obtención de datos en forma sistematizada de los parámetros que recaen o transforma la calidad del entorno.

4.3.6. Periodo de estiaje

Denominada también estación seca, barítia o estación de sol, este período es más corto en comparación con el período de lluvias y se extiende de junio a septiembre. Los Shipibo-Conibo, quienes denominan al período de estiaje como estación de sol, retoman sus actividades agrícolas. Este período es aprovechado por los agricultores y comunidades nativas para la siembra de frijol, maíz, maní y yuca en las playas de los ríos.

4.3.7. Roza

Termino coloquial atribuido a la acción de deforestar dejar secar y quemar los restos de árboles y arbustos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

5.1. Área de estudio

La importancia del presente estudio residió en la generación de nuevos conocimientos sobre el comportamiento del tamaño de las partículas en la provincia de Chanchamayo. El alcance de la investigación no solo se limitó al distrito de La Merced, sino que también ayudó a tener una idea de cuál de los tamaños de partícula era el más emitido con la quema de biomasa en toda la selva central.

5.2. Nivel, tipo y diseño de investigación

5.2.1. Nivel de la investigación

El nivel fue descriptivo-correlacional, ya que, de acuerdo con González et al. (2022), fue correlacional porque se buscó medir la relación de asociatividad entre ciertas variables estudiadas. Fue descriptivo porque se buscó apreciar la variabilidad, de modo que se observó cómo cambiaron los niveles del número de partículas y del número de focos a lo largo del tiempo.

5.2.2. Tipo de la investigación

De acuerdo con Chávez (2019), el estudio fue de tipo básico porque se estudió un problema con la finalidad de buscar nuevos conocimientos, con el objetivo de incrementar el conocimiento científico respecto a la contaminación del aire en la selva central. Normalmente, los estudios exploratorios buscan examinar problemas de investigación que son poco estudiados o que no habían sido abordados antes.

5.2.3. Diseño de la investigación

Teniendo en cuenta a Chávez (2019), el diseño de investigación fue no experimental longitudinal. Las variables estudiadas (material particulado y episodios de focos de calor) no fueron manipulables durante el periodo planteado en el problema de investigación.

5.3. Población y muestra

5.3.1. Población

La población para este estudio fueron las partículas atmosféricas monitoreadas que provienen de las quemas registradas en La merced dentro de la región Junín.

5.3.2. Muestra

El tamaño de partículas que fue monitoreado en una estación de monitoreo estableciendo criterios técnicos normados durante el periodo de estiaje, fue comprendido entre

los meses de julio, agosto, septiembre y octubre del año 2023. Los datos se registraron de manera continua a una tasa de 1 L/min (litro por minuto).

El tipo de muestreo fue no probabilístico dirigido. Se eligió este tipo de muestreo porque se seleccionaron los meses de julio a septiembre, ya que eran una época de estiaje, periodo durante el cual aumentaban las emisiones de material particulado y disminución de lluvias.

Figura 4.

Punto de muestreo de los tamaños de partículas



Nota. De las infraestructuras con las que cuenta la UNISCJSA se estableció la sede de La Merced de la escuela profesional de Ingeniería Civil.

Fuente: La imagen fue obtenida del software (Google Earth Pro).

5.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

5.4.1. Técnicas e instrumentos

La observación fue la técnica que se complementó con los instrumentos de recolección de datos.

5.4.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron para el siguiente estudio son:

- a. Hojas de campo, se usaron como registro de hora y fecha de la descarga de datos así mismo se anotaron las condiciones ambientales como son los días de fuerte viento o fuertes lluvias.
- b. Protocolo de aire contemplado en el D.S N° 010-1019-MINAM, se usó de guía y orientación al momento de descargar y proceso de datos.
- c. Bitácora de registros de descarga de datos, en la bitácora se registraron los días o el lapso que no hubo registro de datos o si hubo anomalías.

Tabla 2.

Fuentes de recolección de datos para el periodo de estiaje del año 2023 en La Merced.

Instrumentos	Periodo de tiempo de muestreo
El programa FIRMS de la NASA	24 horas
Perfilador de partículas Met One 212-2	1 minuto

5.4.3. Técnicas de recolección de datos

- a) Determinación de la variación temporal de las partículas por rangos de tamaño en periodo de estiaje.

Los datos fueron recolectados mediante un contador de partículas óptico (OPC) para monitorear la densidad de partículas en el aire, así como el perfil de tamaño de aplicaciones de interior o exterior. Mide y reporta ocho canales de partículas diferentes de manera simultánea por medio de con ocho canales que midieron los rangos de tamaño: 0,3; >0,3-0,5; >0,5-0,7; >0,7-1,0; >1,0-2,0; >2,0-3,0; >3,0-5,0; y >5,0-10 micras. El instrumento tomó muestras de aire de forma continua a 1 l/min (litro por minuto) para cada canal. Con la utilidad del software que provee se pudieron visualizar y registrar los recuentos.

El método utilizado para medir los tamaños de partículas fue el método automático, que permitió medir las partículas de manera continua iniciándose tan solo con conectar la unidad a la energía eléctrica. El equipo ya viene calibrado con esferas de poliestireno rastreables de acuerdo a los estándares aceptados de la industria.

Según Met One Instrument (2007), el principio de funcionamiento del equipo fue el siguiente: cuando una partícula en el aire cruza el rayo láser, dispersa la luz proporcionalmente a su sección transversal. La luz dispersada se recoge en un gran ángulo perpendicular al flujo de aire y al rayo láser, y se enfoca en un fotodiodo. El

fotodiodo convierte la señal de luz dispersada en un pulso con un voltaje proporcional al tamaño de la partícula. Luego, la salida del fotodiodo es analizada según dos criterios.

- El número de partículas que dispersan la luz.
- La cantidad de luz dispersada.

La altura del pulso se comparó con ocho niveles de voltajes programables. Si la altura del pulso era mayor que el nivel de voltaje, se incrementaba el contador para ese canal. Una vez que se completó el tiempo de muestreo, se informó el número de partículas en cada canal.

Figura 5.

Fotografía del Met One 212-2 instalado en la escuela profesional de ingeniería civil, 2023



Nota. Equipo utilizado para obtener el número de partículas por tamaños. Pertenece a: (Arroyo, 2024)

Los datos fueron registrados en una laptop mediante un conector DB-9 gracias al software del Perfilador llamado del mismo modo. Los datos se guardaron en formato CSV, y las lecturas realizadas se añadieron minuto a minuto en un mismo archivo.

- b) Obtención de datos para la determinar variabilidad temporal de la frecuencia de focos de calor con el programa FIRMS de la NASA.

La detección de las posibles quemas se efectuó al identificar los puntos de calor gracias al producto VIIRS (<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@-74.30,-10.83,9.73z>), que estaba conformado por un conjunto de radiómetros que detectaban anomalías de 375 m de fuego en actividad. El sensor encargado de detectar esto era el VIIRS a bordo del satélite NASA/NOAA Suomi NPP y NOAA-20 (Schroeder et al., 2014).

Para obtener estos datos, se ingresó al sitio de Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Se realizó la solicitud de los puntos de calor mediante la herramienta Archive Download Tool, delimitando la zona de estudio. Para este estudio, se descargaron todos los datos registrados para Perú, ingresando las fechas del periodo de inicio del Met One, que fue el segundo semestre del año 2023 (06/07/2023 - 30/10/2023). Este intervalo de tiempo se eligió en función de la ausencia de precipitaciones en la selva central. Finalmente, se eligió el formato en que se deseaba obtener la información (Shapefile.shp) para procesarla en QGIS. Con la información descargada, se efectuaron los conteos diarios para el periodo de estudio establecido.

5.5. Análisis de datos

- a) Determinación de la variación temporal de las partículas por rangos de tamaño en periodo de estiaje.

Para apreciar la variación temporal, se representaron gráficamente los 4 meses de monitoreo (julio, agosto, septiembre y octubre) y se filtraron los valores más altos para identificar el mes y la fecha del episodio.

Primero, se determinó el promedio diario y horario en la que los niveles de material particulado se plasmaron en el eje vertical (Y), mientras que los días monitoreados se ubicaron en el eje horizontal (X). Este proceso se repitió para los ocho rangos de tamaño de PM, así como para los 7 días de la semana.

En segundo lugar, se determinó la variabilidad mensual a través de promedios, en la que los niveles de material particulado se plasmaron en el eje vertical (Y), mientras que los días monitoreados para cada mes se ubicaron en el eje horizontal (X). Este proceso se repitió

para los ocho rangos de tamaño de PM, así como para los 4 meses en los que se realizó el monitoreo.

b) Determinación de la variabilidad temporal de la frecuencia de focos de calor.

Para la sectorización de los focos de calor se realizó la división del mapa del Perú en 8 sectores que corresponden a los puntos cardinales Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Oeste, Suroeste Noroeste; en el Software ArcGIS se realizó Clips a los puntos registrados en el periodo de muestro con cada dirección, se exportó las tablas de atributos de cada dirección para que en una tabla Excel se sumara los focos de calor por cada día.

La variabilidad se determinó en el software RStudio mediante observaciones con frecuencia mensual, en las que se tomaron los valores diarios durante todo el mes. Este proceso se repitió para los 5 meses muestreados. Estos valores se graficaron para analizar los eventos más importantes del número de focos de calor. Posteriormente, se ordenó el número de focos por día con el promedio de partículas por día para hallar la correlación entre estas dos variables en RStudio.

c) Identificación las zonas de focos de calor más importantes en episodios de aumento significativo de partículas.

Para identificar las fuentes que dieron origen a los episodios de material particulado, se utilizó el paquete “splitr” en RStudio con el modelo HYSPLIT. Este modelo simuló la dispersión y las sustancias transportadas y dispersadas en nuestra atmósfera, tanto para escalas globales como locales (NOAA, 2023). Este modelo ayudó a analizar las trayectorias de masas de aire a 500, 1000 y 2000 metros sobre el nivel de la superficie de monitoreo para los días que presentaron altos episodios.

d) Analizar la correlación de las cantidades de partículas de los 8 rangos de tamaño con la quema de vegetación en periodo de estiaje.

Primero, con los datos de focos de calor se realizó un filtrado de los atributos para quedarse con dos columnas: una que contenía las fechas y otra el número de focos de calor por cada 24 horas. El número de partículas por día de los tamaños inferiores llegó a los cinco dígitos, por lo que se siguieron los siguientes pasos para la conversión.

Los datos de densidad numérica registrados por el Met One 212-2 en formato CSV estaban en la unidad de número de partículas por volumen. Se promediaron los valores a un día para poder efectuar la prueba de correlación, y el promedio se sometió a una conversión de concentración de masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para que los datos fueran comparables (Brattich et al., 2020).

La prueba de normalidad se realizó en el software Past para determinar si los datos tenían una distribución normal o no. Para ello, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk con nivel de confianza 95% ($\alpha = 0.05$). Dado que la mayoría de los datos atmosféricos no contaban con una distribución normal, se optó por un análisis no paramétrico. Para la prueba de correlación se usó el coeficiente de Rho de Spearman.

Esta prueba se realizó en el software RStudio usando principalmente el paquete PerformanceAnalytics, así como los paquetes openair y ggplot2, para obtener el p-value y el valor de R entre las direcciones con los tamaños de partículas, así como su respectivo gráfico de correlación.

esta prueba que también es llamada Correlación r Pearson's, mide la fuerza y naturaleza a dos variables cuantitativas, nos ayuda a conocer la relación entre estas dos variables, Filiallos nos dice que debemos tener en cuenta lo siguiente en cuanto al valor de r.

- Si $r = 0$ = significa que no hay asociación o correlación entre las dos variables.
- Si $0 < r < 0.25$ = débil correlación.
- Si $0.25 \leq r < 0.75$ = correlación intermedia.
- Si $0.75 \leq r < 1$ = fuerte correlación.
- Si $r = \pm 1$ = perfecta correlación

5.6. Consideraciones éticas

El propósito del estudio fue beneficiar a la población de la provincia de Chanchamayo mediante la difusión de información importante para la prevención de enfermedades respiratorias causadas por la polución atmosférica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Presentación de resultados y discusión

Figura 6.

Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de julio registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

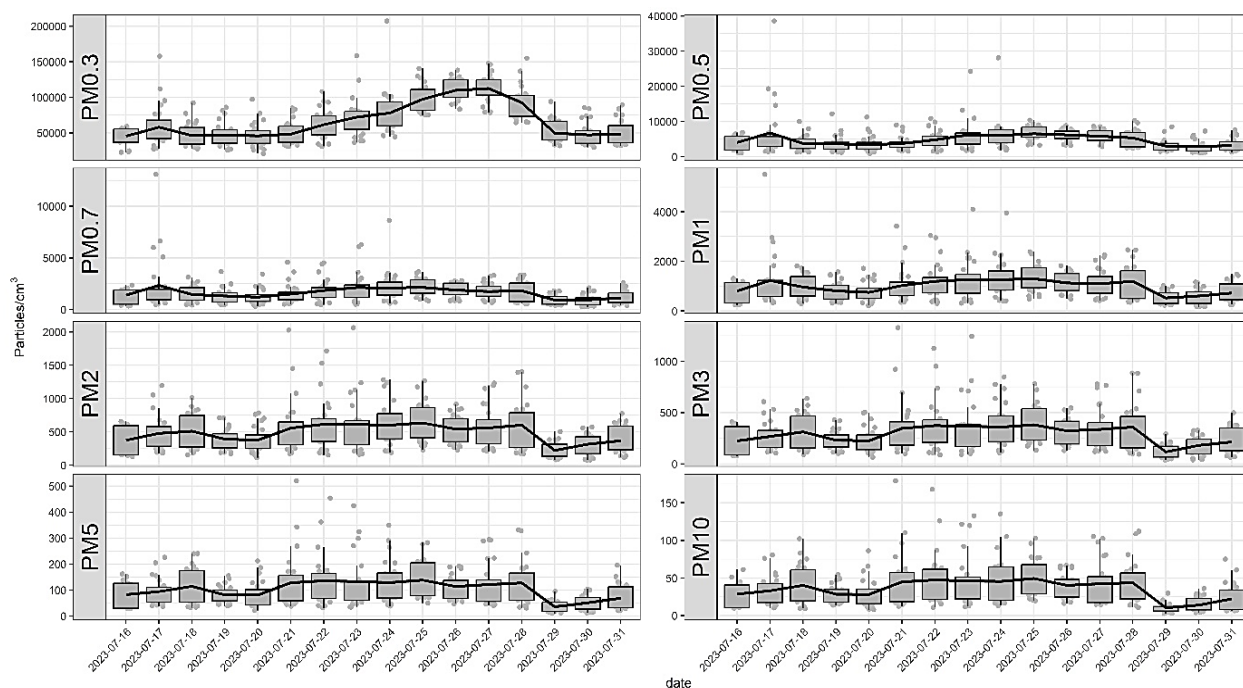


Tabla 3.

Promedio diario de partículas/ m³ por rangos de tamaño para el mes de julio en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

Rangos de tamaño	Promedios diarios de partículas/m ³
(< 0.3 μm)	66205.6 ± 24315.7
(0.3 - 0.5 μm)	4694.5 ± 1344.6
(0.3 - 0.5 μm)	1620.7 ± 435.9
(0.7 - 1.0 μm)	993.2 ± 248.3
(1.0 - 2.0 μm)	483.7 ± 123.0
(2.0 - 3.0 μm)	288.6 ± 78.2
(3.0 - 5.0 μm)	102.2 ± 31.2
(5.0 - 10 μm)	35.3 ± 11.8

La Figura 6 nos muestra que el rango $< 0.3 \mu\text{m}$ (112470.3) muestran los valores máximos el 27 de julio, para los rangos $0.3 - 0.5\mu\text{m}$ (6732.4) y $0.5 - 0.7\mu\text{m}$ (2343.1) presentaron valores máximos el día 17, para los rangos $0.7 - 1.0\mu\text{m}$ (1301.3), $1.0 - 2.0\mu\text{m}$ (632.5), $2.0 - 3.0\mu\text{m}$ (381.1), $3.0 - 5.0\mu\text{m}$ (138.3) y $5.0 - 10\mu\text{m}$ (49.4) sus valores más altos fueron registrados el día 25. Los valores mínimos para el rango $< 0.3 \mu\text{m}$ (45305.3) se registraron el día 16, para el rango $0.3 - 0.5\mu\text{m}$ (2798.7) registrados el día 30, para los rangos $0.5 - 0.7\mu\text{m}$ (914.6), $0.7 - 1.0 \mu\text{m}$ (525.8), $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ (219.4), $2.0 - 3.0 \mu\text{m}$ (117), $3.0 - 5.0 \mu\text{m}$ (35.9) y $5.0 - 10 \mu\text{m}$ (10.4) presentaron su valor mínimo el día 29.

Como se observó en la figura 6, la más alta concentración fue para el rango $< 0.3 \mu\text{m}$ los días 26 y 27 así mismo, en la tabla 3 cuenta con promedio diario más alto 66205.6 ± 24315.7 partículas/ m^3 . Los valores mínimos fueron registrados los días 16 ($0 - 0.3 \mu\text{m}$), 30 ($0.3 - 0.5 \mu\text{m}$) y 29 ($0.7 - 1.0 \mu\text{m}$), ($1.0 - 2.0 \mu\text{m}$), ($2.0 - 3.0 \mu\text{m}$), ($3.0 - 5.0 \mu\text{m}$) y ($5.0 - 10 \mu\text{m}$).

Figura 7.

Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de agosto registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

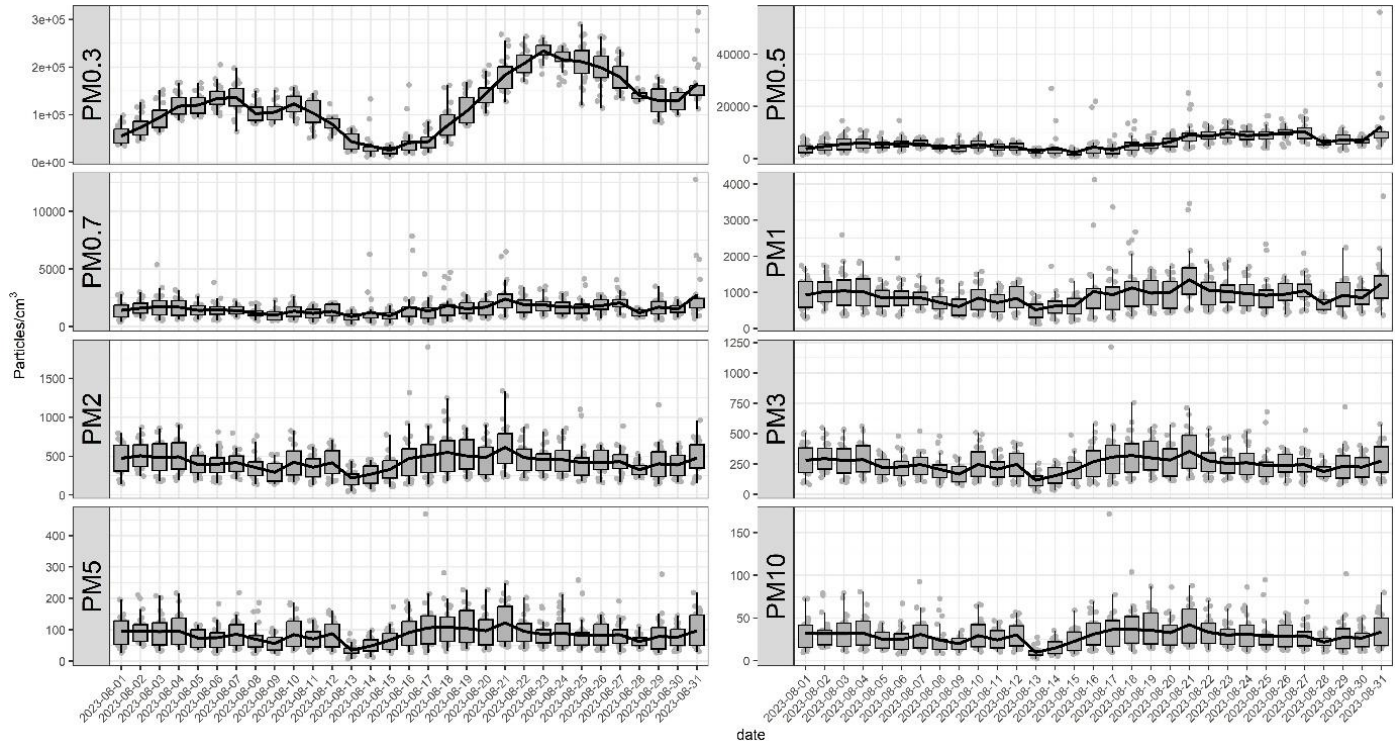


Tabla 4.

Promedio diario de partículas/ m³ por rangos de tamaño para el mes de agosto en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

Rangos de tamaño	Promedios diarios de partículas/m³
(< 0.3 μm)	121274.3 ± 57106.3
(0.3 - 0.5 μm)	6205.8 ± 2419.4
(0.5 - 0.7 μm)	1572.6 ± 393.9
(0.7 - 1.0 μm)	908.6 ± 182.9
(1.0 - 2.0 μm)	426.5 ± 82.5
(2.0 - 3.0 μm)	246.9 ± 49.3
(3.0 - 5.0 μm)	83.7 ± 17.9
(5.0 – 10 μm)	28.7 ± 6.4

En la figura 7 se puede apreciar que para el rango $< 0.3 \mu\text{m}$ (234171.5) muestran los valores máximos el 23 de agosto, el rango de $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$ presentó dos máximos valores los días 31(12372.8) y 27(10311.7), $0.7 - 1.0 \mu\text{m}$ (2744.7) muestran sus valores máximos el día 31, $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ (1351.4), $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ (615.6), $2.0 - 3.0 \mu\text{m}$ (353.5), $3.0 - 5.0 \mu\text{m}$ (122.1) y $5.0 - 10 \mu\text{m}$ (42.3) presentaron sus valores máximos el día 21. Los valores mínimos se presentaron el día 15 para $< 0.3 \mu\text{m}$ (25136.5) y $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$ (2309.8), el día 13 para $0.5 - 0.7 \mu\text{m}$ (875), $0.7 - 1.0 \mu\text{m}$ (519.1), $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ (220.7), $2.0 - 3.0 \mu\text{m}$ (117.7), $3.0 - 5.0 \mu\text{m}$ (35.1) y $5.0 - 10 \mu\text{m}$ (9.9)

El rango con mayores cantidades de material particulado para el mes de agosto fue $< 0.3 \mu\text{m}$ (234171.6) con un promedio diario de 121274.3 ± 57106.3 . El menor número de partículas fue registrado para el rango $5.0 - 10 \mu\text{m}$ (9.9) en el día 15.

Figura 8.

Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de septiembre registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

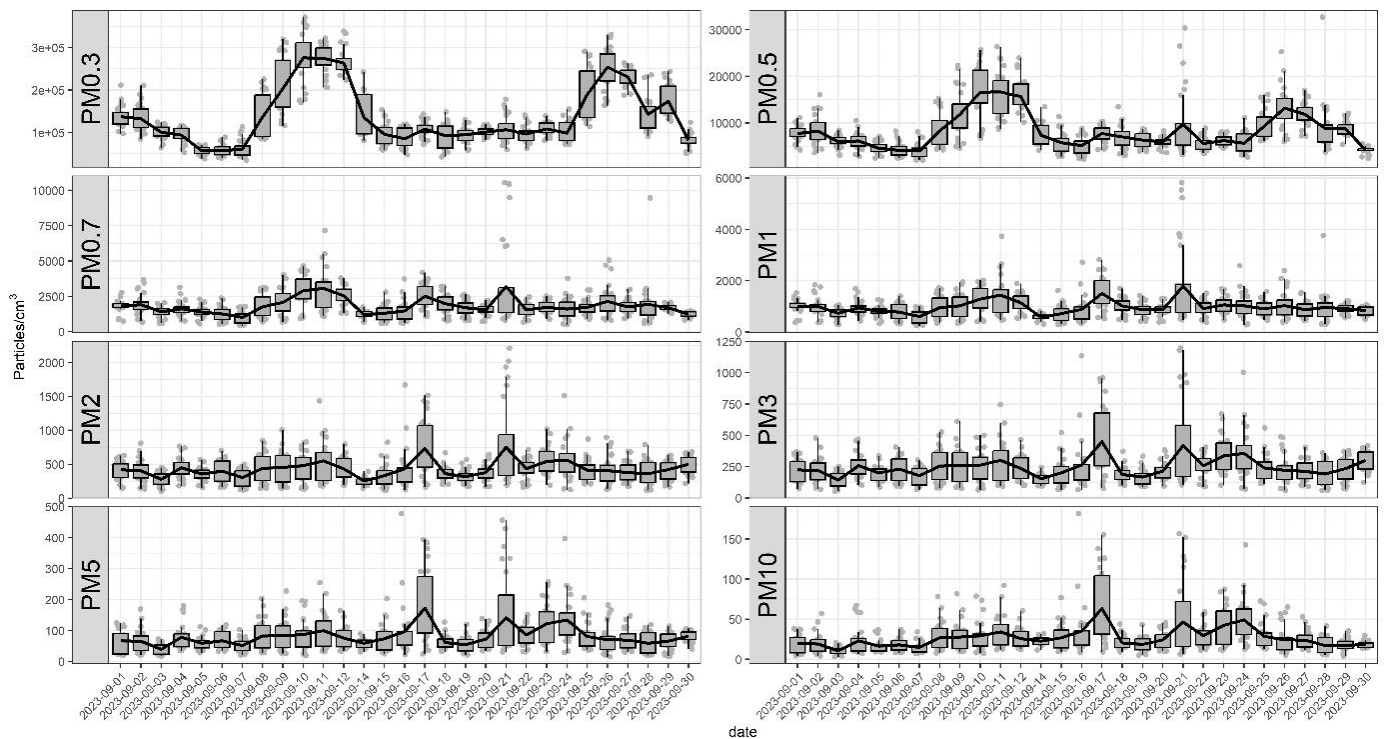


Tabla 5.

Promedio diario de partículas/ m³ por rangos de tamaño para el mes de septiembre en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

Rangos de tamaño	Promedios diarios de partículas/m ³
(< 0.3 μm)	137736.8 ± 65772.3
(0.3 - 0.5 μm)	8226.6 ± 3570.3
(0.5 - 0.7 μm)	1829.4 ± 541.4
(0.7 - 1.0 μm)	983.1 ± 253.6
(1.0 - 2.0 μm)	433.4 ± 111.6
(2.0 - 3.0 μm)	247.7 ± 70.3
(3.0 - 5.0 μm)	81.3 ± 28.5
(5.0 - 10 μm)	26.7 ± 11.3

En la figura 8 se muestran que para el rango < 0.3 μm (276056.7) su máximo valor fue el día 10, para 0.3 - 0.5 μm (16646.6) su valor más alto fue registrado el día 11, para los rangos 0.5 - 0.7 μm (3186.5), 0.7 - 1.0 μm (1794.7) y 1.0 - 2.0 μm (751.8) mostraron sus máximos valores el día 21, mientras que para las partículas 2.0 - 3.0 μm (450.1), 3.0 - 5.0 μm (172.2) y 5.0 - 10 μm (63.3). Los valores mínimos se presentaron el día 5 para < 0.3 μm (56825.6), para los tamaños 0.3 - 0.5 μm (3992.5) y 0.5 - 0.7 μm (1020.9) sus valores mínimos se registraron el día 7, para 0.7 - 1.0 μm (578) y 1.0 - 2.0 μm (254.9) presentaron los valores mínimos el día 14, por ultimo los tamaños 1.0 - 2.0 μm (144.3), 3.0 - 5.0 μm (39.5) y 5.0 - 10 μm (10.5) presentaron sus valores mínimos el día 3.

Como se observó en la figura 8, la mayor concentración de material particulado para el mes de septiembre fue producida por partículas del tamaño < 0.3 μm en el día 10 mientras que el rango con menores partículas fue 5.0 - 10 μm (10.5) el día 3. En el grafico no se muestra el registro del día 13 debido a lluvias fuertes fue que se perdieron datos para dicho día.

Figura 9.

Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de octubre registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

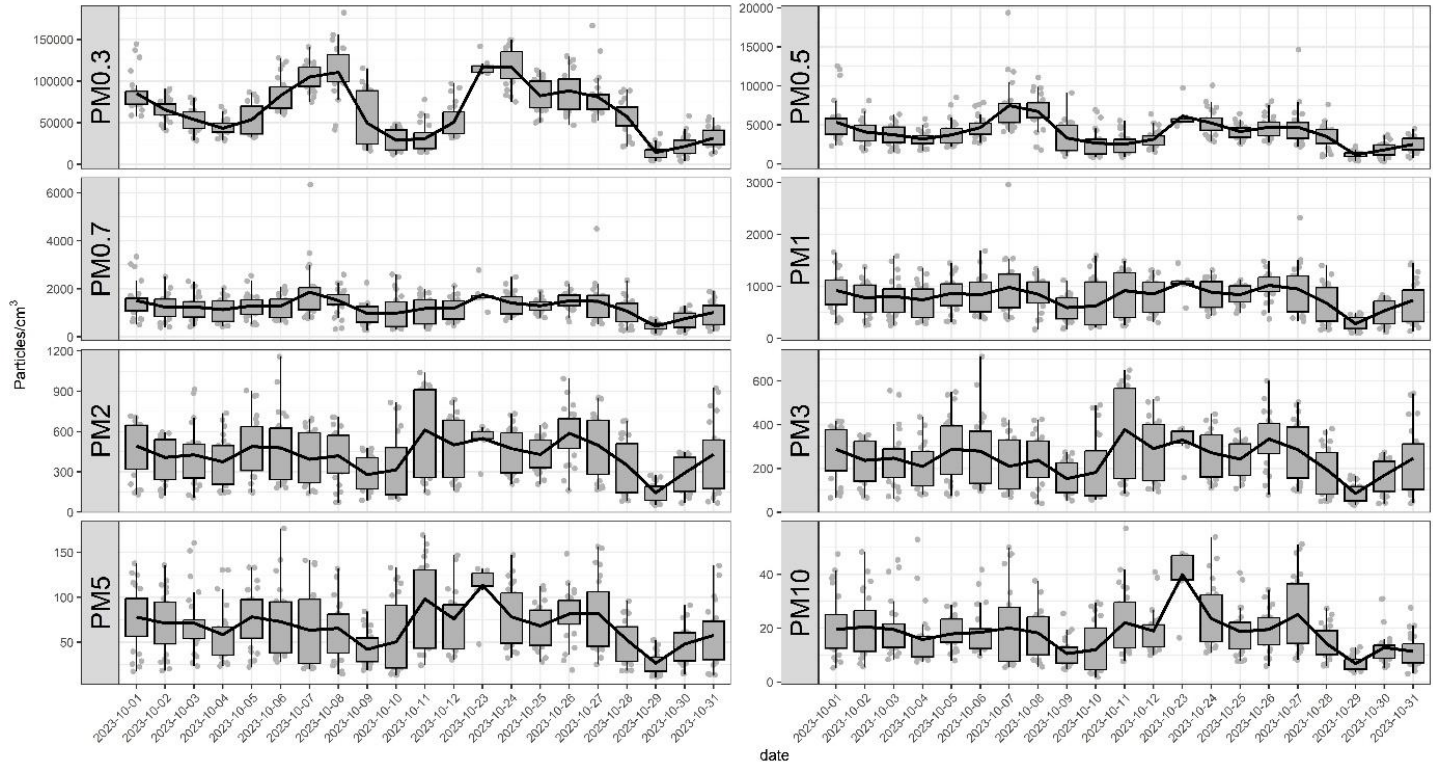


Tabla 6.

Promedio diario de partículas/m³ para el mes de octubre en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

Rangos de tamaño	Promedios diarios de partículas/m ³
(< 0.3 μm)	65347.6 ± 30945
(0.3 - 0.5 μm)	4038 ± 1542.5
(0.5 - 0.7 μm)	1243.4 ± 314.7
(0.7 - 1.0 μm)	799.2 ± 178.5
(1.0 - 2.0 μm)	426.1 ± 106.9
(2.0 - 3.0 μm)	245.9 ± 65.8
(3.0 - 5.0 μm)	68.3 ± 18.7
(5.0 - 10 μm)	18.4 ± 6.5

Los rangos en la Figura 9 muestran $< 0.3 \mu\text{m}$ (117315.7), $0.7 - 1.0 \mu\text{m}$ (1075.8), $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$ (113.6) y $5.0 - 10 \mu\text{m}$ (39.9) sus valores máximos se registraron el día 23, para el $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$ (7477.8) y $0.5 - 0.7 \mu\text{m}$ (1,863.6) presentan sus máximos valores el día 7, el día 23 se registró los valores máximos para los tamaños $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ (611.9) y $2.0 - 3.0 \mu\text{m}$ (377.8). Los valores mínimos para todos los tamaños $0 - 0.3 \mu\text{m}$ (14423.8), $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$ (1171.1), $0.5 - 0.7 \mu\text{m}$ (437.9), $0.7 - 1.0 \mu\text{m}$ (282.1), $1.0 - 2.0 \mu\text{m}$ (145.4), $2.0 - 3.0 \mu\text{m}$ (86.2), $3.0 - 5.0 \mu\text{m}$ (26.7), $5.0 - 10 \mu\text{m}$ (6.9)

El rango de partículas más abundante para el mes de octubre fue $< 0.3 \mu\text{m}$ en el día 23, el rango menos abundante fue $5.0 - 10 \mu\text{m}$. El salto desde el día 12 hasta el día 23 en la figura 9 donde no se consideraron 10 días fue por fallas técnicas del equipo.

Figura 10.

Variación diaria de las partículas atmosféricas por rangos de tamaño para el mes de noviembre registradas en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

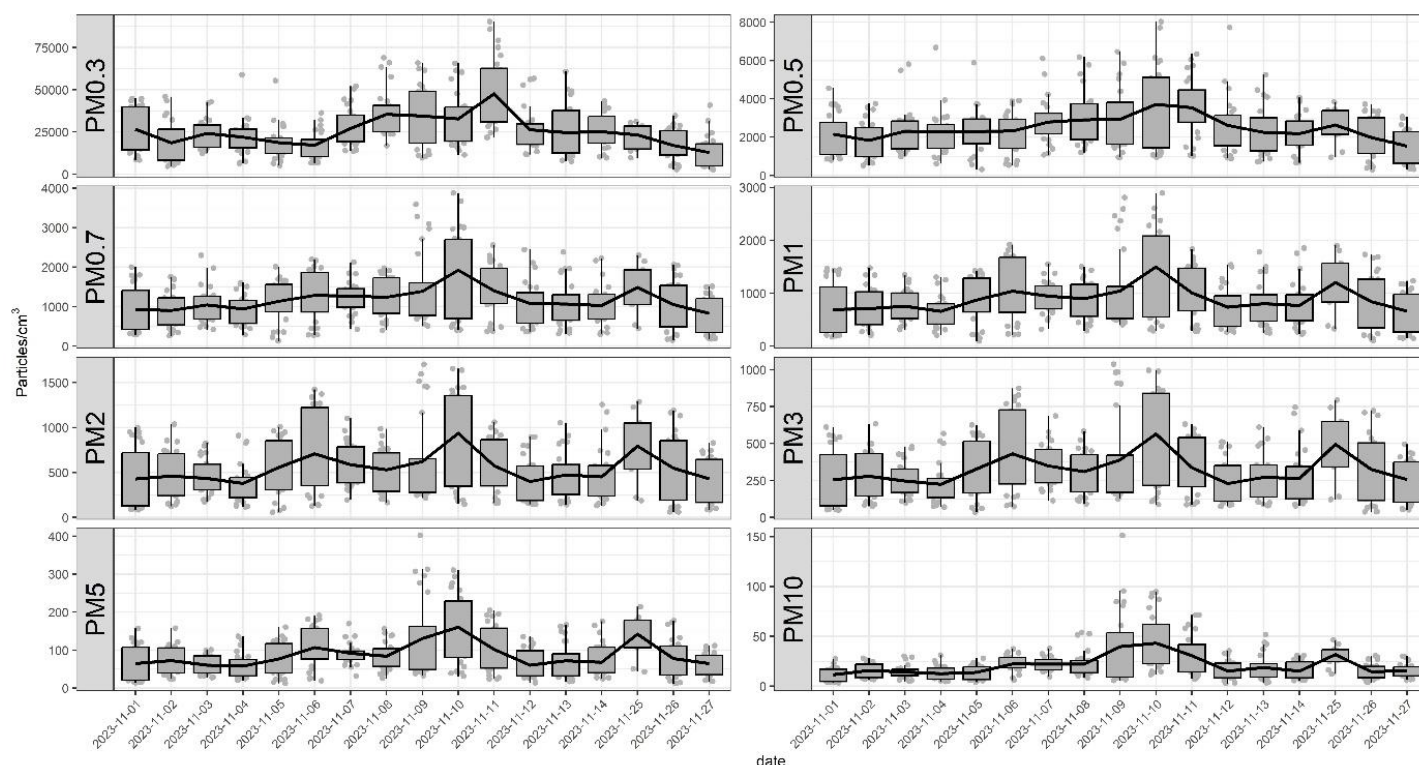


Tabla 7.

Promedio diario de partículas/ m³ para el mes de noviembre en la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.

Rangos de tamaño	Promedios diarios de partículas/m ³
------------------	---

(< 0.3 μm)	25481.9 \pm 221.5
(0.3 - 0.5 μm)	2486.9 \pm 549.1
(0.5 - 0.7 μm)	1176.5 \pm 261.2
(0.7 - 1.0 μm)	888.8 \pm 213.9
(1.0 - 2.0 μm)	547.9 \pm 145.4
(2.0 - 3.0 μm)	326.8 \pm 92.9
(3.0 - 5.0 μm)	87.8 \pm 29.9
(5.0 - 10 μm)	21.1 \pm 9.3

La Figura 10 muestra que para el rango < 0.3 μm (47685.3) el valor máximo fue el día 11, mientras que para los demás rangos 0.3 - 0.5 μm (3716.5), 0.5 - 0.7 μm (1921.8), 0.7 - 1.0 μm (1497.6), 1.0 - 2.0 μm (936.8), 2.0 - 3.0 μm (565), 3.0 - 5.0 μm (160.7), 5.0 - 10 μm (39.9) se registraron sus máximos valores el día 10. Los valores mínimos para los rangos < 0.3 μm (12713.8), 0.3 - 0.5 μm (1529.4) y 0.5 - 0.7 μm (828.6) mostraron sus valores más bajos el día 27, los rangos 0.7 - 1.0 μm (655.3), 1.0 - 2.0 μm (378.9), 2.0 - 3.0 μm (223.7), 3.0 - 5.0 μm (58) mostraron valores mínimos el día 4, para el rango 5.0 - 10 μm (11.5) su mínimo valor se registró el día 1.

El más abundante para el mes de noviembre fue producida por el rango < 0.3 μm en el día 11, mientras que el rango y 5.0 - 10 μm (11.5) fueron los menos abundantes, con las máximas concentraciones promedio en el día 10. Al igual que el mes anterior se cuenta con un vacío de datos desde el día 14 hasta el día 25 perdiéndose 10 días de información, se cree que el motivo fue una inestabilidad en la conectividad a internet.

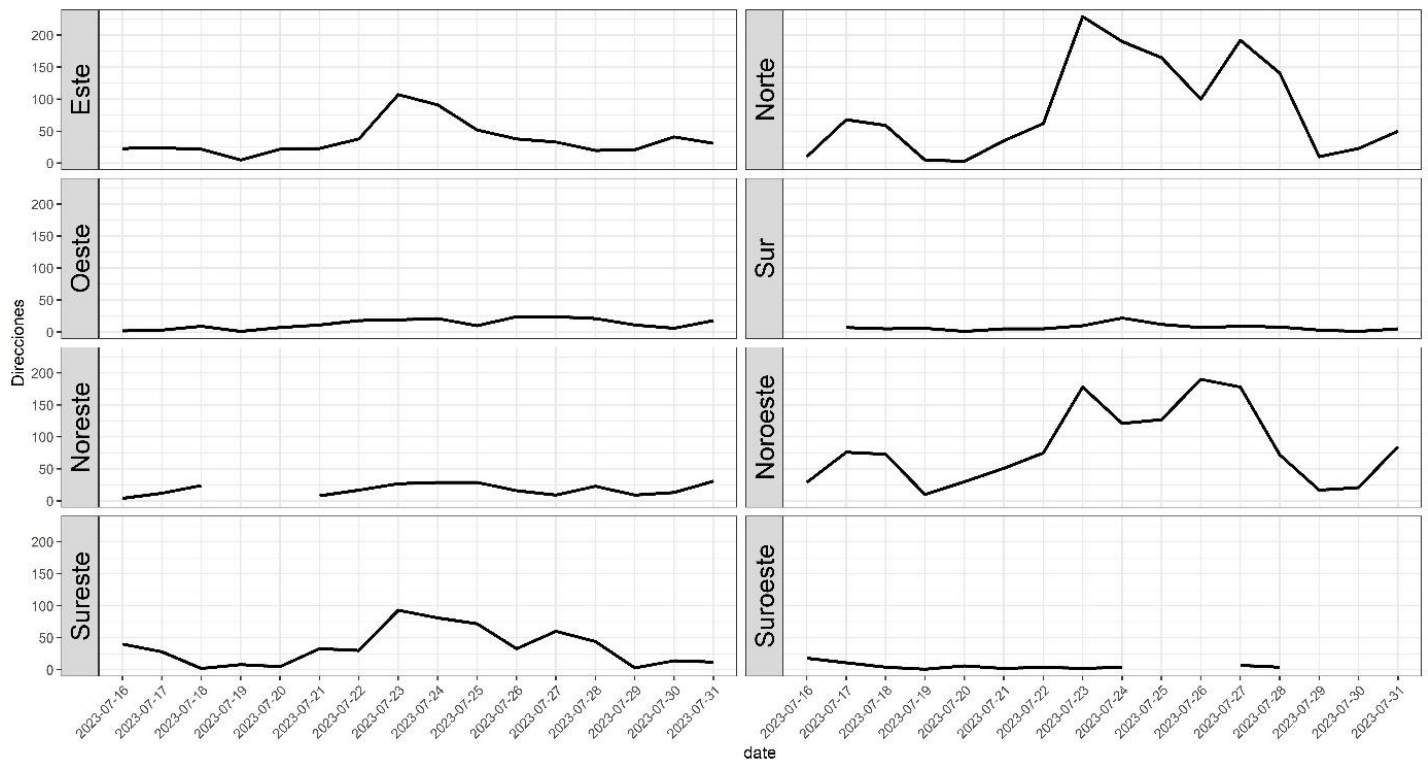
Los meses con mayores concentraciones de partículas fueron agosto y septiembre, de manera similar a los resultados en la investigación realizada por Vásquez & Suazo (2019) en su estudio, se evidenció que el índice de aerosoles era más alto en el mes de septiembre para la ciudad de Huancayo, al igual que, en la ciudad de Cuiabá (Brasil), el aumento se produjo en septiembre con valores de 0.13 y 1.2 de espesor óptico del mismo modo en septiembre el rango de < 0.3 μm (276056.7) presentó el valor máximo a diferencia de los otros meses. Esto se debió a que esos meses se encuentran a mitad de la época de estiaje, que se inicia en junio y se extiende hasta octubre. Durante este período, se realizan más quemas como resultado del retraso en otras actividades agrícolas en distintas partes del Perú y Sudamérica (Aguilera et al., 2021).

El rango de < 0.3 μm presentó la mayor variabilidad temporal, así como los más altos valores durante el periodo de estiaje en comparación con los demás tamaños. Esto se debió a que

estas partículas permanecieron suspendidas en el aire durante más tiempo gracias a su reducido peso (Daly & cognuck, 2021). Estos hallazgos están en concordancia con investigaciones anteriores, como las de Dattamudi et al. (2020), que también destacaron que las partículas de mayor tamaño viajan solo una corta distancia. Los resultados de esta investigación reafirmaron el comportamiento de las partículas según su tamaño.

Figura 11.

Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de julio registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.



En la figura 11 se mostró la variación diaria de los focos de calor distribuidos en ocho direcciones para el mes de julio, registrados por el satélite NOAA, tomando como punto de referencia la estación de monitoreo en La Merced, Chanchamayo. Se consideraron los datos desde el día 16 hasta el día 31 para analizar la distribución temporal.

Para la dirección del Este, el promedio diario de focos de calor fue 36.9 ± 25.8 focos de calor, con un máximo de 107 focos de calor en el día 23 y un mínimo de 5 focos de calor en el día 19. Para la dirección del Norte, el promedio diario de focos de calor fue 83.9 ± 73.5 focos de calor, con un máximo de 229 focos de calor en el día 23 y un mínimo de 3 focos de calor en el día 20. Para la dirección del Oeste, el promedio diario de focos de calor fue 12.8 ± 7.7 , con un máximo de

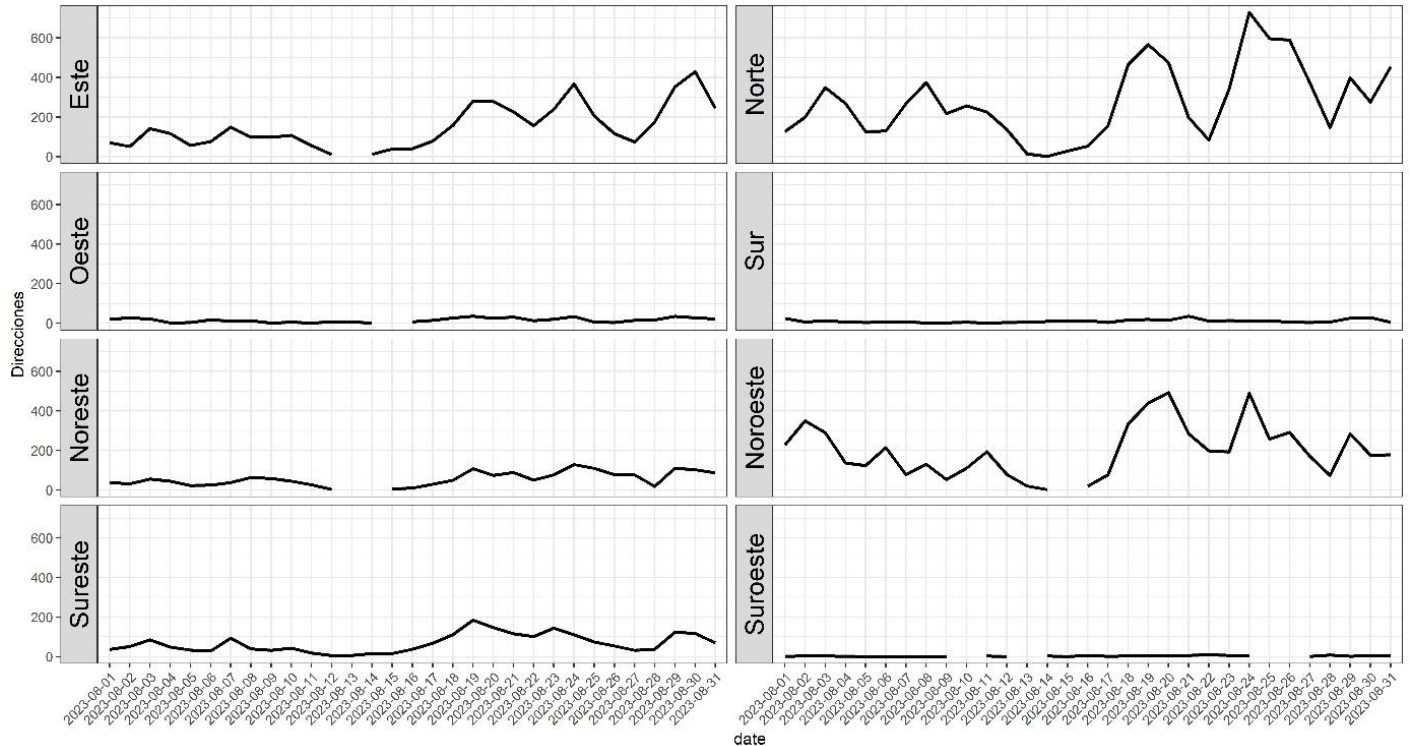
24 focos de calor en los días 26 y 27 y un mínimo de 1 foco de calor en el día 19. Para la dirección del Sur, el promedio diario de focos de calor fue 7.1 ± 5 , con un máximo de 22 focos de calor en el día 24 y un mínimo de 1 foco de calor en el día 20. En la dirección Noreste, los días 19 y 20 no se registraron focos de calor; el promedio diario fue 17.9 ± 8.8 , con un máximo de 31 focos de calor en el día 31 y un mínimo de 4 focos de calor en el día 16. Para la dirección del Noroeste, el promedio diario de focos de calor fue 83.3 ± 57.8 , con un máximo de 190 focos de calor en el día 26 y un mínimo de 10 focos de calor en el día 19. En la dirección del Sureste, el promedio diario de focos de calor fue 34.9 ± 27.8 , con un máximo de 93 focos de calor en el día 23 y un mínimo de 2 focos de calor en el día 18. Para la dirección del Suroeste, el promedio diario de focos de calor fue 5.3 ± 4.7 , con un máximo de 18 focos de calor en el día 16 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 19 y 31.

Cabe mencionar que los días 19 y 20 para la dirección Noreste, el día 18 para el Sur y los días 25, 26, 29, 30 y 31 para el Suroeste fueron días en los que los sensores que proporcionan los datos al programa FIRS de la NASA no se registraron focos de calor.

Se puede concluir que, la dirección que cuenta con un mayor número de focos de calor es el Norte (229) el día 23, mientras que, en las direcciones Oeste, Sur y Suroeste están el menor número de focos de calor, en la figura 11 se observó que no se registraron focos de calor en la dirección Noreste los días 19 y 20, al igual que en el sector Sur el día 16 y en el sector Suroeste los días 25, 26, 29 y 30.

Figura 12.

Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de agosto registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.



En la figura 12 se muestra la variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes registradas como punto La Merced, Chanchamayo, 2023.

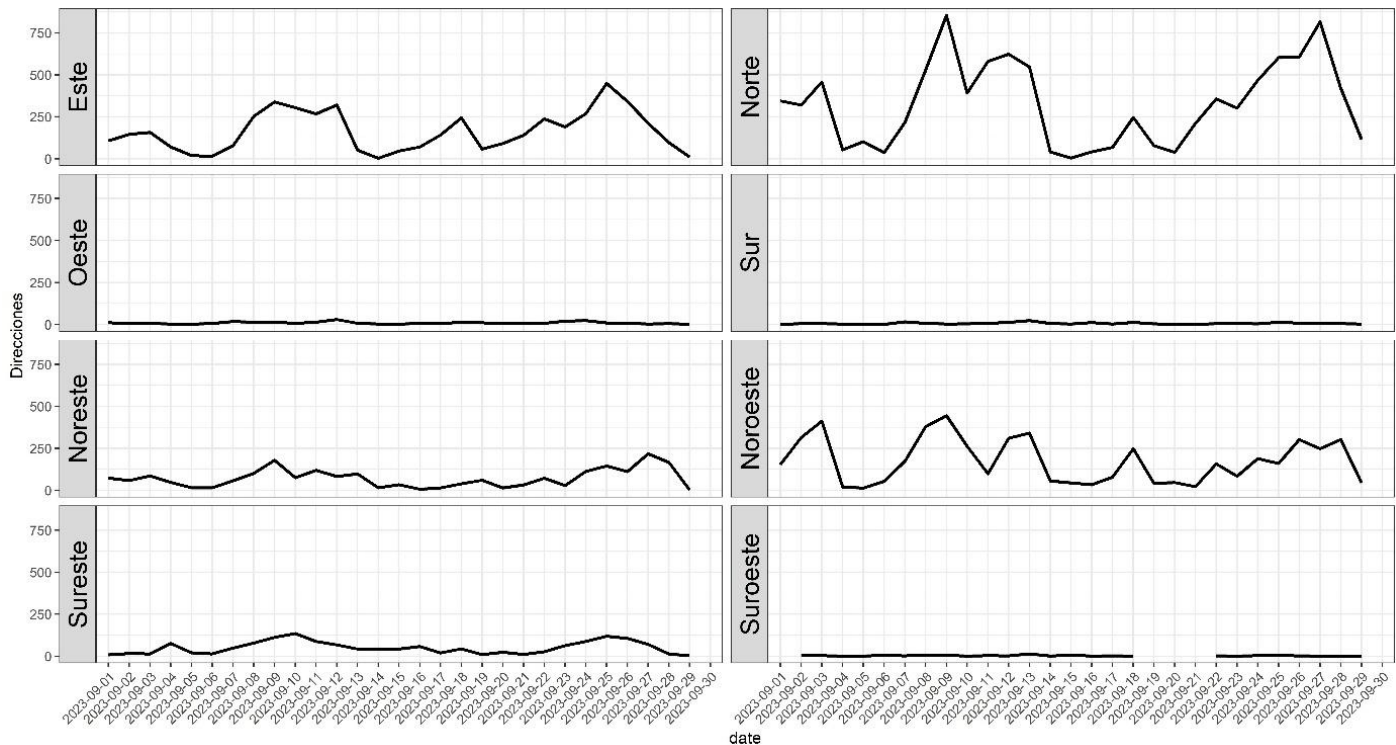
Para la dirección del Este el promedio diario de focos de calor es 150.2 ± 107.8 focos de calor diario, con un máximo de 429 focos de calor en el día 30 y un mínimo de 10 focos de calor en el día 12, para la dirección del Norte el promedio diario de focos de calor es 278.1 ± 185.7 focos de calor diario, con un máximo de 729 focos de calor en el día 24 y un mínimo de 1 foco de calor en el día 14, para la dirección del Oeste el promedio diario de focos de calor es 15.9 ± 10.8 , con un máximo de 36 focos de calor en los día 19 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 9 y 11, para la dirección del Sur el promedio diario de focos de calor es 11.1 ± 8.3 , con un máximo de 36 focos de calor en el día 21 y un mínimo de 2 focos de calor los días 08 y 11, para la dirección del Noreste el promedio diario de focos de calor es 56.5 ± 34.1 , con un máximo de 128 focos de calor en el día 24 y un mínimo de 2 focos de calor en el día 12, para la dirección del Noroeste el promedio diario de focos de calor es 198.4 ± 130.7 , con un máximo de 492 focos de calor en el día 20 y un mínimo de 1 foco de calor en el día 14, para la dirección del Sureste el promedio diario de focos de calor es 66.8 ± 45.9 , con un máximo de 184 focos de calor en el día 19 y un mínimo de 5 focos de calor

en el día 12, para la dirección del Suroeste el promedio diario de focos de calor es 3.3 ± 2.3 , con un máximo de 9 focos de calor en el día 22 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 5, 6, 7, 8, 9, 12, 15, y 27.

La mayor cantidad de focos de calor para el mes de agosto son registrados en el Norte, Noroeste y Este los días 24, 20 y 30 con valores máximos de 729, 492 y 429 focos de calor respectivamente, los sectores Oeste, Sur y Suroeste presentan los mínimos valores promedio de 1 foco de calor y para el caso de sur 2 focos de calor. También se puede observar que el día 13 no se registraron focos de calor en la dirección del Este, el día 15 para el Oeste, el día 15 para el Noroeste, al igual que para día 13 y 14 en el sector Noreste y para los días 10, 13, 25 y 26 en el sector Suroeste.

Figura 13

Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de septiembre registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.



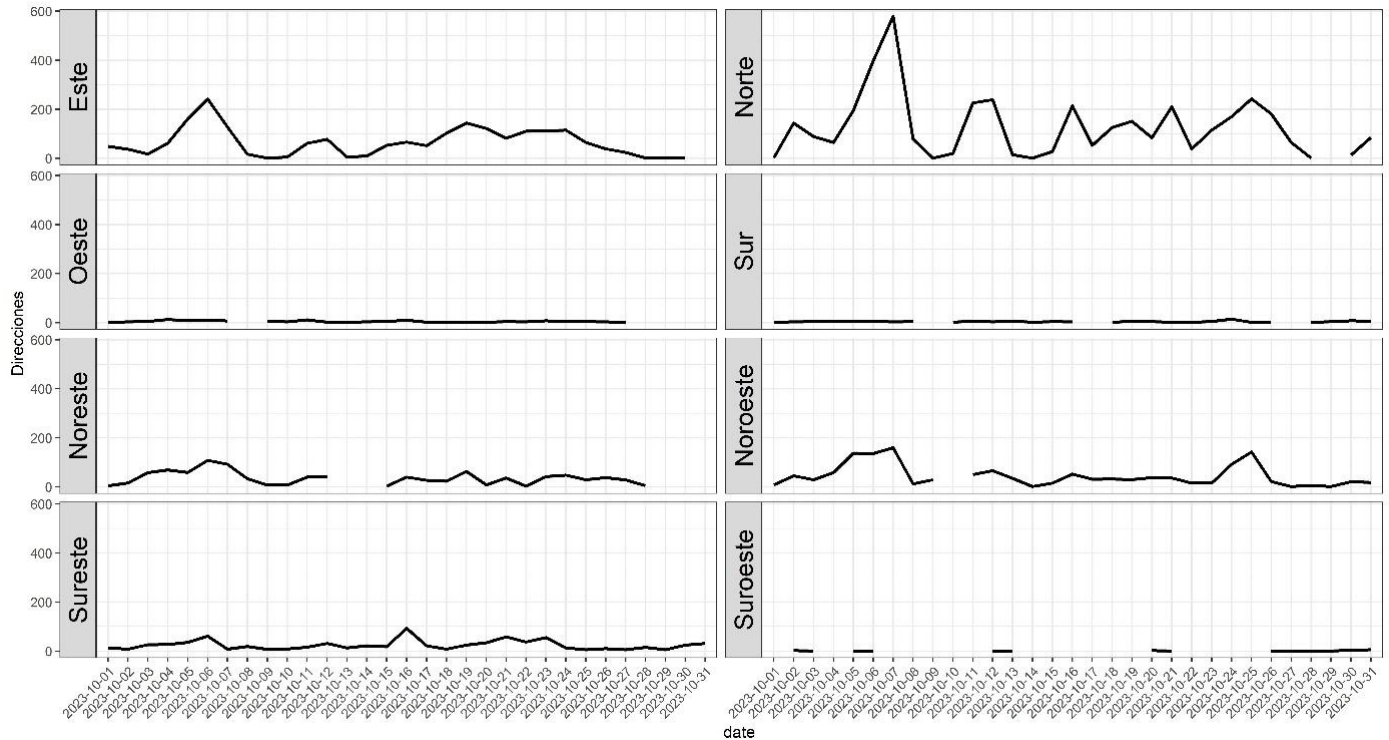
Se puede observar en la figura 13 que en la dirección del Este el promedio diario de focos de calor es 162.7 ± 117.5 con un máximo de 448 focos de calor en el día 25 y un mínimo de 3 focos de calor en el día 14, para la dirección del Norte el promedio diario de focos de calor es 326.4 ± 244.3 , con un máximo de 854 focos de calor en el día 09 y un mínimo de 4 focos de calor en el día

15, para la dirección del Oeste el promedio diario de focos de calor es 9.7 ± 6.6 , con un máximo de 30 focos de calor en los días 12 y un mínimo de 2 focos de calor en los días 05, 15, y 29, para la dirección del Sur el promedio diario de focos de calor es 6.5 ± 5.3 , con un máximo de 24 focos de calor en el día 13 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 01, 05, 06, 20 y 21, para la dirección del Noreste el promedio diario de focos de calor es 71.7 ± 54.8 con un máximo de 218 focos de calor en el día 27 y un mínimo de 3 focos de calor en el día 29, para la dirección del Noroeste el promedio diario de focos de calor es 173.6 ± 131.5 , con un máximo de 445 focos de calor en el día 09 y un mínimo de 13 focos de calor en el día 05, para la dirección del Sureste el promedio diario de focos de calor es 49.7 ± 37.1 , con un máximo de 134 focos de calor en el día 10 y un mínimo de 3 focos de calor en el día 29, para la dirección del Suroeste el promedio diario de focos de calor es 2.8 ± 2.8 , con un máximo de 14 focos de calor en el día 13 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 04, 05, 10, 14, 16, 18, 20, 23, 27, 28 y 29.

Se puede concluir que en la figura 13 la mayor cantidad de focos de calor para el mes de septiembre son registrados en el Norte, Este y Noroeste los días 09, 25 y 27 con valores máximos de 254, 448 y 445 focos de calor, los sectores Oeste, Sur y Suroeste presentan los mínimos valores promedio de focos de calor. También se puede observar que los días 19 y 21 no se registraron focos de calor en la dirección del Suroeste asimismo se puede observar que para el día 30 no se registraron focos de calor por ninguna dirección.

Figura 14.

Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de octubre registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.



En la figura 14 se muestra la variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de octubre registradas tomando como punto de referencia la estación de la merced, Chanchamayo, 2023.

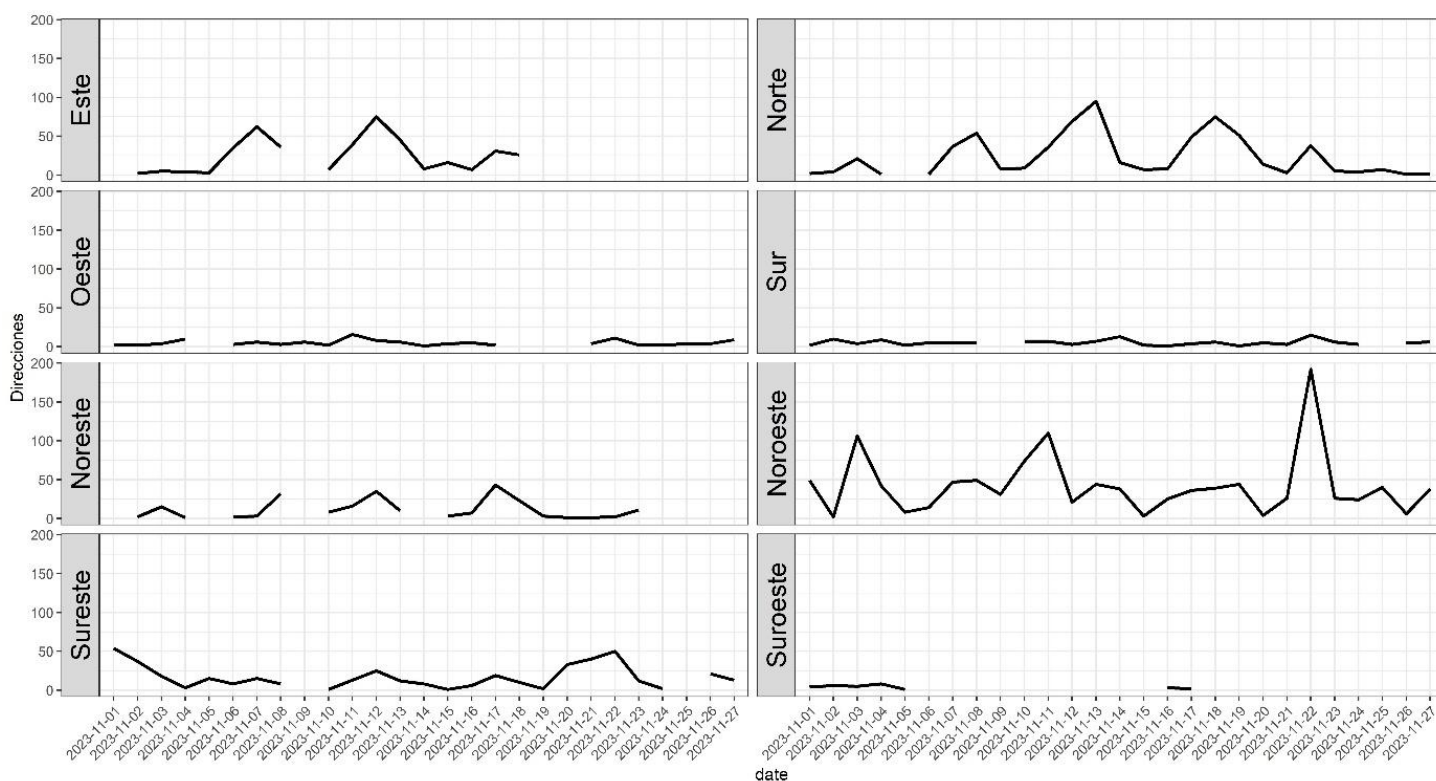
Se puede observar en la figura 14 que en la dirección del Este el promedio diario de focos de calor es 65.6 ± 57 , con un máximo de 242 focos de calor en el día 06 y un mínimo de 1 focos de calor en los días 09 y 30, para la dirección del Norte el promedio diario de focos de calor es 129.2 ± 128.1 , con un máximo de 580 focos de calor en el día 07 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 09, 14 y 28, para la dirección del Oeste el promedio diario de focos de calor es 4.7 ± 3.3 , con un máximo de 13 focos de calor en los día 04 y un mínimo de 1 foco de calor en los día 01, 19, y 27, para la dirección del Sur el promedio diario de focos de calor es 3.9 ± 2.7 , con un máximo de 14 focos de calor en el día 24 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 18, 22, 25, 26 y 28, para la dirección del Noreste el promedio diario de focos de calor es 35.7 ± 26.9 con un máximo de 108 focos de calor en el día 06 y un mínimo de 3 focos de calor en los días 15 y 22, para la dirección del Noroeste el promedio diario de focos de calor es 45.3 ± 44.4 , con un máximo de 160 focos de calor en el día 07 y un mínimo de 01 foco de calor en los días 14, 27 y 29, para la

dirección del Sureste el promedio diario de focos de calor es 24.2 ± 19.8 con un máximo de 93 focos de calor en el día 16 y un mínimo de 06 focos de calor en los días 25, 27 y 29, para la dirección del Suroeste el promedio diario de focos de calor es 1.5 ± 0.9 , con un máximo de 06 focos de calor en el día 31 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 03, 05, 06, 12, 13, 15, 21, 26, 27, 28 y 29.

Se puede concluir que en la figura 14 la mayor cantidad de focos de calor para el mes de octubre son registrados en el Norte, Este y Noroeste los días 07, 06 y 06 con valores máximos de 580, 242 y 108 focos de calor respectivamente, los sectores Oeste, Sur y Suroeste presentan los mínimos valores promedio de foco de calor. También se puede observar que en el día 29 no se registró ningún foco de calor en el sector Norte, los días 08, 28, 29 y 31 no se registraron focos de calor en la dirección del Oeste, los días 09, 17 y 27 no se registraron focos de calor en el sector Sur, asimismo se puede observar que para los días 13, 14, y 30 no se registraron focos de calor para el Noreste, el día 10 tampoco se registró ningún foco de calor para el sector Noroeste mientras que en el sector Suroeste no se registraron focos de calor los días 01, 04, 07, 08, 09, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 22, 24 y 25.

Figura 15.

Variación diaria de los focos de calor distribuidas en ocho direcciones para el mes de noviembre registradas tomando como punto de referencia la estación de La Merced, Chanchamayo, 2023.



Se puede observar en la figura 15 que en la dirección del Este el promedio diario de focos de calor es 22.3889 ± 21.8890 , con un máximo de 75 focos de calor en el día 12 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 22 y 27, para la dirección del Norte el promedio diario de focos de calor es 23.7 ± 26.4 , con un máximo de 95 focos de calor en el día 13 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 04, 06, 26 y 27, para la dirección del Oeste el promedio diario de focos de calor es 4.9 ± 3.6 , con un máximo de 16 focos de calor en los día 11 y un mínimo de 1 foco de calor en los día 14 y 19, para la dirección del Sur el promedio diario de focos de calor es 5.4 ± 3.4 , con un máximo de 15 focos de calor en el día 22 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 16 y 1, para la dirección del Noreste el promedio diario de focos de calor es 11 ± 12.4 con un máximo de 43 focos de calor en el día 17 y un mínimo de 01 foco de calor en los días 04, 20 y 21, para la dirección del Noroeste el promedio diario de focos de calor es 42.1 ± 39.4 , con un máximo de 192 focos de calor en el día 22 y un mínimo de 02 foco de calor en el día 02, para la dirección del Sureste el promedio diario de focos de calor es 17 ± 14.7 con un máximo de 54 focos de calor en el día 01 y un mínimo de 1 foco de calor en los días 10 y 15, para la dirección del Suroeste el promedio diario de focos de calor es 3.4 ± 2 , con un máximo de 08 focos de calor en el día 04 y un mínimo de 1 foco de calor en el día 05.

En la figura 15 la mayor cantidad de focos de calor para el mes de noviembre son registrados en el Noroeste, Norte y Este los días 22, 13 y 12 con valores máximos de 192, 95 y 75 focos de calor respectivamente, los sectores Oeste, Sur y Suroeste presentan los más bajos valores máximos de foco de calor en comparación a los demás sectores con valores de 6, 15 y 8 respectivamente. Cabe aclarar que en el día 01, 09 y del 19 al 27 no se registró ningún foco de calor en el sector Este sin embargo los días 22 y 27 presentan 1 solo foco de calor para ambos días, pero estos datos no son visualizados en la figura 05, el día 05 no se registraron focos de calor en la dirección del Norte, los días 05, 18 y 20 no se registraron focos de calor en el sector Oeste, los días 09 y 25, tampoco no se registraron focos de calor en el sector Sur, asimismo se puede observar que para los días 05, 09, 14, 24, 26, y 27 no se registraron focos de calor para el Noreste, los días 09 y 25 tampoco se registró ningún foco de calor para el sector Noroeste mientras que en el sector Suroeste visualmente no se registraron focos de calor desde el 06 hasta 27 al igual que en el sector Este existen días puntuales que presentan valores pero que no se visualizan en la figura 15 estos días son los siguientes 08, 11, 13, 16, 17, 22 y 27 cuyos número de focos de calor son 2, 2, 2, 3, 2, 4 y 2 de manera respectiva.

Se encontró que los meses con mayores concentraciones para todas las partículas son agosto y septiembre y octubre, también se encontró que las direcciones con mayor cantidad de focos de

calor a diferencia de las demás son el Este, Norte y Noreste, estos hallazgos están en línea con las investigaciones anteriores, como la de Arratea (2021), que también hallaron un aumento de focos de calor desde el mes de julio disminuyendo en el mes de octubre, en las retro trayectorias se puede apreciar que los contaminantes provienen de la parte Norte del Perú. Los resultados de esta investigación coinciden con la temporada de mayor frecuencia de focos de calor al igual que las direcciones. Cabe aclarar que el mes en el que se presentan mayor cantidad de focos de calor es el mes de septiembre coincidiendo con los resultados de la investigación realizada por Vásquez & Suazo (2019) donde también se registró el mayor número de focos de calor en el mes de septiembre, comprobándose así que la actividad de quema por parte de los agricultores es más activa en este mes.

Tabla 8.

Grado de correlación y significancia entre los rangos de tamaños de partículas y las direcciones de focos de calor para el periodo de estiaje del año 2023.

	ESTE	NORTE	OESTE	SUR	NORESTE	NOROESTE	SURESTE	SUROESTE
<i>< 0.3μm</i>	0.7131***	0.7494***	0.3223***	0.2156*	0.6688***	0.6011***	0.6035***	-0.0031
<i>0.3-0.5μm</i>	0.6762***	0.7157***	0.2893**	0.1750*	0.6334***	0.5435***	0.5351***	0.0010
<i>0.5-0.7μm</i>	0.5102***	0.4992***	0.3312***	0.2175*	0.3734***	0.4243***	0.4487***	0.0793
<i>0.7-1.0μm</i>	0.3288***	0.2811**	0.2930**	0.2104*	0.1345	0.2696**	0.3427***	0.0815
<i>1.0- 2.0μm</i>	0.0667	-0.0197	0.1354	0.1300	-0.1353	0.0058	0.1561	0.0475
<i>2.0-3.0μm</i>	0.0305	-0.0652	0.1297	0.1263	-0.1734	-0.0306	0.1459	0.0570
<i>3.0-5.0μm</i>	0.1421	0.0442	0.2909**	0.2238*	-0.0928	0.1001	0.3050**	0.1142
<i>5.0-10μm</i>	0.2470*	0.1710	0.4047***	0.2850**	0.0222	0.2229*	0.4118***	0.1293

Nota:

*** = P < 0.001

** = P < 0.01

* = P < 0.05

Para rango $< 0.3 \mu\text{m}$ se presentó una correlación fuerte positiva con el sector Norte ($p < 0.001$) con $r = 0.75$ lo que sugirió una fuerte relación entre las variables. Para los sectores Este, Oeste, Noreste, Noroeste y Sureste, se observó una correlación intermedia ($p < 0.001$) con $r = 0.71$, $r = 0.32$, $r = 0.67$, $r = 0.60$ y $r = 0.60$, respectivamente, lo que sugirió una fuerte relación entre las variables. En el sector Sur, se presentó una correlación débil pero significativa ($p < 0.05$) con $r = 0.22$, lo que significó que existió una significancia, aunque no tan fuerte como en los demás sectores. Mientras tanto, el sector Sureste presentó una correlación débil negativa con $r = -0.01$.

Para el rango $0.3 - 0.5 \mu\text{m}$ presentó una correlación intermedia positiva con el sector Norte, Este, Norestes, Noroeste y Sureste ($p < 0.001$) con $r = 0.72$, $r = 0.68$, $r = 0.63$, $r = 0.54$ y $r = 0.54$ respectivamente, lo que sugiere una relación intermedia entre las variable, el sector Oeste ($p < 0.01$) con $r = 0.29$ lo que sugiere una relación intermedia con una significancia media entre las variable, el sector Sur ($p < 0.05$) con $r = 0.18$ lo que significa que existe una correlación débil con una baja significancia, mientras que el sector Suroeste presenta una correlación casi nula con un $r = 0.001$ sin ningún valor para p .

En el caso del rango $0.5 - 0.7 \mu\text{m}$ presentó una correlación intermedia positiva con el sector Este, Norte, Oeste, Norestes, Noroeste y Sureste ($p < 0.001$) con $r = 0.51$, $r = 0.50$, $r = 0.33$, $r = 0.37$, $r = 0.42$ y $r = 0.45$ respectivamente, lo que sugiere una relación intermedia con una alta significancia entre las variable, el sector Sur ($p < 0.05$) con $r = 0.22$ lo que significa que existe una correlación débil con una baja significancia, mientras que el sector Suroeste presenta una correlación casi nula con un $r = 0.08$ sin ningún valor para p .

Este rango $0.7 - 1 \mu\text{m}$ mostró una correlación intermedia positiva con el sector Este y Sureste ($p < 0.001$) con $r = 0.33$ y $r = 0.34$, lo que sugiere una relación intermedia con alta significancia entre las variable, mientras que los sectores Norte, Oeste y Noroeste ($p < 0.01$) con $r = 0.28$, $r = 0.29$ y $r = 0.27$ lo que sugiere una relación intermedia con una significancia media entre las variable, el sector Sur presenta una correlación débil significativa ($p < 0.05$) con $r = 0.21$ lo que significa que existe una correlación débil con una baja significancia, mientras que el sector Noreste y Suroeste presenta una correlación sin significancia con un $r = 0.13$ y $r = 0.08$.

Este rango $1 - 2 \mu\text{m}$ presenta una correlación débil positiva con el sector Este, Oeste, Sur, Noroeste, Sureste y Suroeste sin significancia con $r = 0.07$, $r = 0.14$, $r = 0.13$, $r = 0.01$, $r = 0.16$ y $r = 0.05$ respectivamente, lo que sugiere una relación débil sin significancia entre las variables, mientras que los sectores Norte y Noroeste presenta valores $r = -0.02$ y $r = -0.14$ lo que sugiere una relación débil sin ninguna significancia.

El rango 2 - 3 μm obtuvo valores bajos positivos en los sectores Este, Oeste, Sur, Sureste y Suroeste con $r = 0.03$, $r = 0.13$, $r = 0.13$, $r = 0.15$ y $r = 0.06$ respectivamente, lo que sugiere una relación débil sin significancia entre las variables, mientras que los sectores Norte, Noroeste, Suroeste presenta valores $r = -0.07$, $r = -0.17$ y $r = -0.03$ lo que sugiere una relación débil negativa sin ninguna significancia.

Para el caso del rango 3 - 5 μm presenta una correlación intermedia positiva con el sector Oeste y Sureste ($p < 0.01$) con $r = 0.29$ y $r = 0.31$ respectivamente, lo que muestra una relación intermedia con media significancia entre las variables, mientras que el sector Sur presenta una correlación débil ($p < 0.05$) con $r = 0.22$, esto sugiere una relación débil con una baja significancia entre las variable, los sectores Este, Norte, Noroeste y Suroeste no presentan significancia con $r = 0.14$, $r = 0.04$, $r = 0.10$ y $r = 0.11$ lo que significa que existe una correlación débil sin ninguna significancia, mientras que el sector Noreste presenta un valor negativo sin significancia $r = -0.09$.

Este rango 5 - 10 μm evidenció una correlación fuerte positiva con el sector Oeste y Sureste ($p < 0.001$) con $r = 0.40$ y $r = 0.41$ respectivamente, esto muestra que existe una relación intermedia con una alta significancia entre las variables, mientras que el sector Sur presenta una significancia ($p < 0.01$) con $r = 0.29$, obteniéndose una relación intermedia con una significancia intermedia entre las variable, los sectores Este y Noroeste presentan una significancia ($p < 0.05$) con $r = 0.25$ y $r = 0.22$ esto da a entender que existe una correlación débil con una baja significancia, mientras que los sectores Norte, Noreste y Suroeste no presentan significancia con $r = 0.17$, $r = 0.22$ y $r = 0.13$, estos valores sugieren una correlación débil.

En este estudio, los rangos $< 1 \mu\text{m}$ obtenidos en la estación de monitoreo de La Merced presentan correlaciones con todas las direcciones, sin embargo, el rango 0 - 0.3 μm mostró los valores más altos con el Norte, Este y Noreste (valores máximos para el coeficiente $r = 0.75$, $r = 0.71$ y $r = 0.67$), estos valores fueron similares a los reportados por Arratea (2021) en la región de Huancayo (valor máximo para el coeficiente $r = 0.62$). Esta concordancia en los valores podría explicarse por la influencia común de actividades antropogénicas, como la quema de biomasa, que afecta a ambas regiones de manera similar debido a las condiciones climáticas y la proximidad geográfica. No obstante, la diferencia en los coeficientes podría estar relacionada con factores locales, como la densidad poblacional o la topografía, que influyen en la dispersión de los contaminantes. Estos resultados sugieren que ambos lugares presentan características ambientales comparables en términos de exposición a partículas finas, lo cual resalta la necesidad de políticas regionales coordinadas para mitigar estos niveles de contaminación.

En el estudio mencionado en el anterior párrafo también se observó que las trayectorias del viento durante un periodo con un alto número de focos de calor provenían principalmente de los departamentos de Ucayali y Huánuco, de manera coincidente estos departamentos se localizan al noreste y norte del punto de monitoreo en La Merced, Chanchamayo.

Se evidenció que las partículas de menor densidad tenían un mayor potencial para permanecer en la atmósfera por más tiempo y recorrer largas distancias, como lo sugieren Montalvão y Vasquez (2022), quienes describieron el impacto de un fuerte frente frío proveniente del Atlántico Sur. Este frente contribuyó al fenómeno de la 'lluvia negra' en São Paulo, alterando el flujo natural de las corrientes de aire. Las columnas de partículas finas que pasaron por el sur de Brasil fueron transportadas hacia la región sureste, mientras que las partículas más grandes, como aquellas superiores a 5 μm , tendían a desplazarse distancias cortas, lo que sugiere que eran de origen cercano al punto de monitoreo (Dattamudi et al., 2020). Este comportamiento apoya la idea de que, en términos de contaminantes atmosféricos, las partículas mayores a 5 μm se ajustan mejor a una escala urbana, según lo propuesto por Aragón (2011).

6.2. Prueba de hipótesis

6.2.1. Objetivo general

H0: La relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en el periodo de estiaje en La Merced no es directa ni Alta debido a la quema de biomasa influenciada por las corrientes de viento.

H1: La relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en el periodo de estiaje en La Merced es directa y Alta debido a la quema de biomasa influenciada por las corrientes de viento.

6.2.2. Objetivo específico 1

6.2.2.1. Hipótesis de investigación

H0: Los niveles más altos de partículas no son registrados en el mes de septiembre y los valores más bajos en noviembre.

H1: Los niveles más altos de partículas son registrados en el mes de septiembre y los valores más bajos para noviembre.

6.2.2.1. Hipótesis Estadística

H₀ = $\mu_{\text{Julio}} = \mu_{\text{Agosto}} = \mu_{\text{septiembre}} = \mu_{\text{Octubre}}$

H₁ = $\mu_{\text{Julio}} \neq \mu_{\text{Agosto}} \neq \mu_{\text{septiembre}} \neq \mu_{\text{Octubre}}$

2. Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$ (5%)

3. Regla de decisión
4. $p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1
5. $p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0

Tabla 9.

Prueba de normalidad de los rangosa de tamaño.

Tamaño de Partícula	Normalidad	p-valor	Decisión		
< 0.3 μm	No tienen distribución normal J(P=0.003); A (P=0.)	$3.40 \cdot 10^{-12}$	Acepto H_1	Y	
			Rechazo H_0		
0.3-0.5 μm	No tienen distribución normal O (P= 0.1154)	$6.22 \cdot 10^{-12}$	Acepto H_1	Y	
			Rechazo H_0		
0.5-0.7 μm	No tienen distribución normal S (P= 0.01058)	$3.751 \cdot 10^{-6}$	Acepto H_1	Y	
			Rechazo H_0		
0.7-1.0 μm	No tienen distribución normal S (P= 0.003088); N (0.02671)	0.05274	Acepto H_0	Y	
			Rechazo H_1		
1.0-2.0 μm	No tienen distribución normal S (P= 0.007901); N (0.03033)	0.01954	Acepto H_1	Y	
			Rechazo H_0		
2.0-3.0 μm	No tienen distribución normal S (P= 0.009745); N (0.02573)	0.00699	Acepto H_1	Y	
			Rechazo H_0		
3.0-5.0 μm	No tienen distribución normal S (P= 0.000775); N (0.00807)	0.004024	Acepto H_1	Y	
			Rechazo H_0		
5.0-10 μm	No tienen distribución normal S (P= 0.001656); N (0.004383)	$1.628 \cdot 10^{-6}$	Acepto H_1	Y	
			Rechazo H_0		

- Para el caso del < 0.3 μm , agosto y setiembre fueron los meses con mayor concentración significativa de partículas del tamaño menor a 0.3 micras.
- Para el caso del 0.3-0.5 μm , agosto y setiembre fueron los meses con mayor concentración significativa de partículas del tamaño menor a 0.5 micras.

- Para el caso del 0.5-0.7 μm , agosto y setiembre fueron los meses con mayor concentración significativa de partículas del tamaño menor a 0.7 micras.
- Para el caso del 0.7-1.0 μm , julio, septiembre y noviembre fueron los meses con mayor concentración significativa de partículas del tamaño menor a 1.0 micras.
- Para el caso del 1.0-2.0 μm , julio y noviembre fueron los meses con mayor concentración significativa de partículas del tamaño menor a 2.0 micras.
- Para el caso del 2.0-3.0 μm , julio y noviembre fueron los meses con mayor concentración significativa de partículas del tamaño menor a 3.0 micras.
- Para el caso del 3.0-5.0 μm , julio y noviembre fueron los meses con mayor concentración significativa de partículas del tamaño menor a 5.0 micras.
- Para el caso del 5.0-10 μm , julio y agosto fueron los meses con mayor concentración significativa de partículas del tamaño menor a 10.0 micras.

6.2.3. Objetivo específico 2

6.2.3.1. Hipótesis de investigación

H0: Las frecuencias de focos de calor más altas no son registradas en el mes de agosto y octubre del año 2023

H1: Las frecuencias de focos de calor más altas son registradas en el mes de agosto y octubre del año 2023.

6.2.3.1. Hipótesis Estadística

$$H_0 = \mu_{\text{Julio}} = \mu_{\text{Agosto}} = \mu_{\text{setiembre}} = \mu_{\text{Octubre}}$$

$$H_1 = \mu_{\text{Julio}} \neq \mu_{\text{Agosto}} \neq \mu_{\text{setiembre}} \neq \mu_{\text{Octubre}}$$

2. Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$ (5%)
3. Regla de decisión
4. $p\text{-value} < \alpha$, se rechaza la H0, se acepta la H1
5. $p\text{-value} > \alpha$, se rechaza la H1, se acepta la H0

6.2.1. Objetivo específico 3

6.2.1.1. Hipótesis de investigación.

H0: No existe una correlación directa y alta entre la cantidad de partículas y la frecuencia de los focos de calor.

H1: Existe una correlación directa y alta entre la cantidad de partículas y la frecuencia de los focos de calor.

6.2.1.1. Hipótesis Estadística

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta \neq 0$$

1. Nivel de confianza 95%, $\alpha = 0.05$ (5%)
2. Regla de decisión
 - p-value $< \alpha$, se rechaza la H_0 , se acepta la H_1
 - p-value $> \alpha$, se rechaza la H_1 , se acepta la H_0
 - sí son mayores a 0.05 se dice que tienen normalidad

Según la prueba de normalidad de los focos de los meses de julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre tienen normalidad ($p=0.214$, $p=0.1609$, $p=0.2365$, $p=0.1774$ y $p=0.1994$) los datos tienen una distribución normal porque se empleó la prueba de ANOVA se tiene un p-value < 0.001 ($6.193 \cdot 10^{-6}$), el cual es menor que el valor del alfa ($\alpha = 0.05$) se acepta la H_1 , por lo tanto, las frecuencias de focos de calor más altas son registradas en los meses de agosto y octubre del año 2023.

Tabla 10.

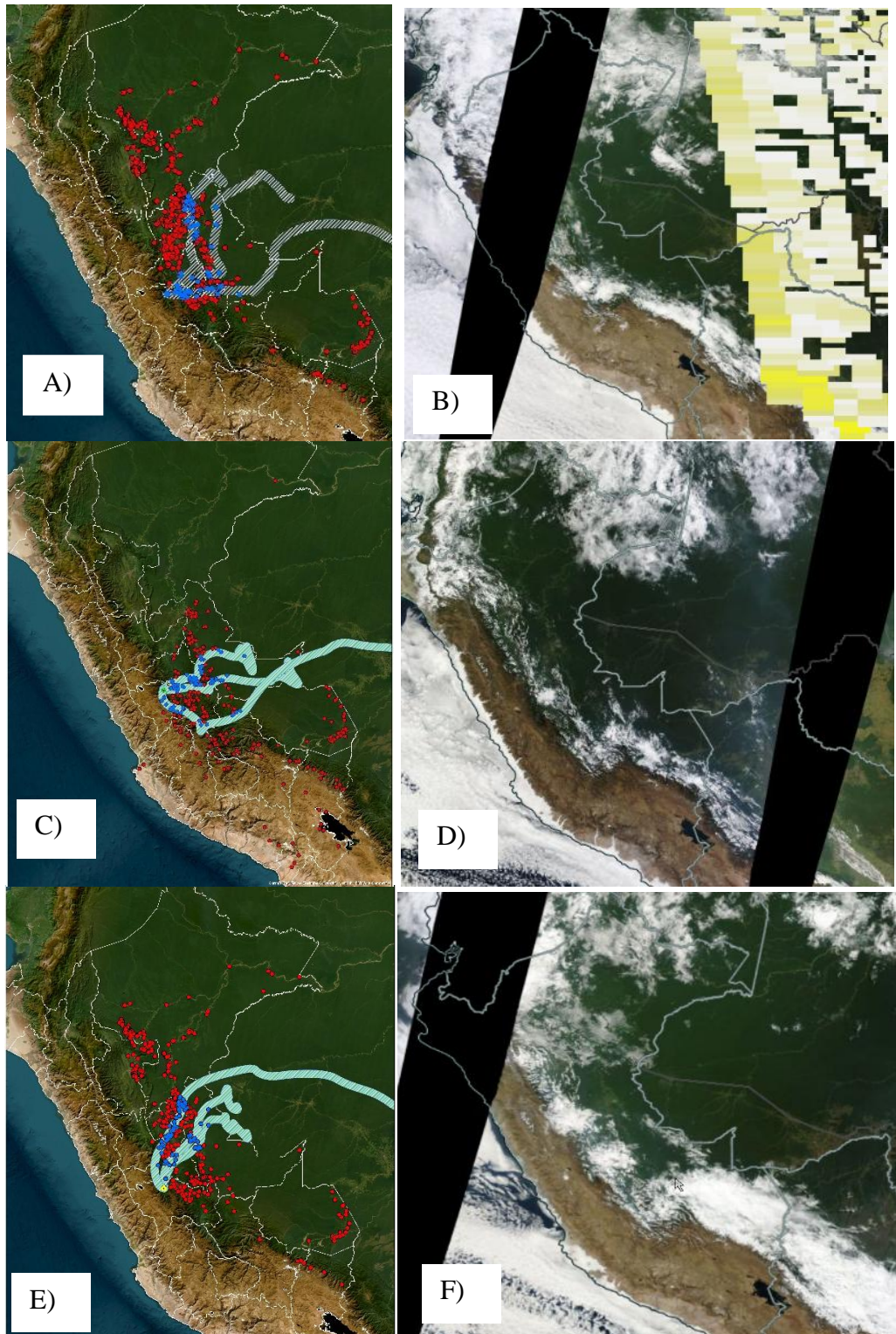
Episodios registrados de los tamaños de partículas durante los 5 meses de monitoreo para el año 2023.

	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
$< 0.3 \mu\text{m}$	27/07/2023	23/08/2023	10/09/2023	23/10/2023	11/11/2023
$0.3-0.5\mu\text{m}$	17/07/2023	31/08/2023	11/09/2023	07/10/2023	12/11/2023
$0.5-0.7 \mu\text{m}$	17/07/2023	31/08/2023	21/09/2023	07/10/2023	10/11/2023
$0.7-1.0 \mu\text{m}$	25/07/2023	21/08/2023	21/09/2023	23/10/2023	10/11/2023
$1.0-2.0 \mu\text{m}$	25/07/2023	21/08/2023	21/09/2023	11/10/2023	10/11/2023
$2.0-3.0 \mu\text{m}$	25/08/2023	21/08/2023	17/09/2023	11/10/2023	10/11/2023
$3.0-5.0 \mu\text{m}$	25/08/2023	21/08/2023	17/09/2023	23/10/2023	10/11/2023
$5.0-10 \mu\text{m}$	25/08/2023	21/08/2023	17/09/2023	23/10/2023	10/11/2023

En la tabla 9 se muestran los días en que los rangos presentaron sus picos más importantes, para luego ser sometidos a un análisis de retro trayectorias.

Figura 16.

Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de julio del 2023.



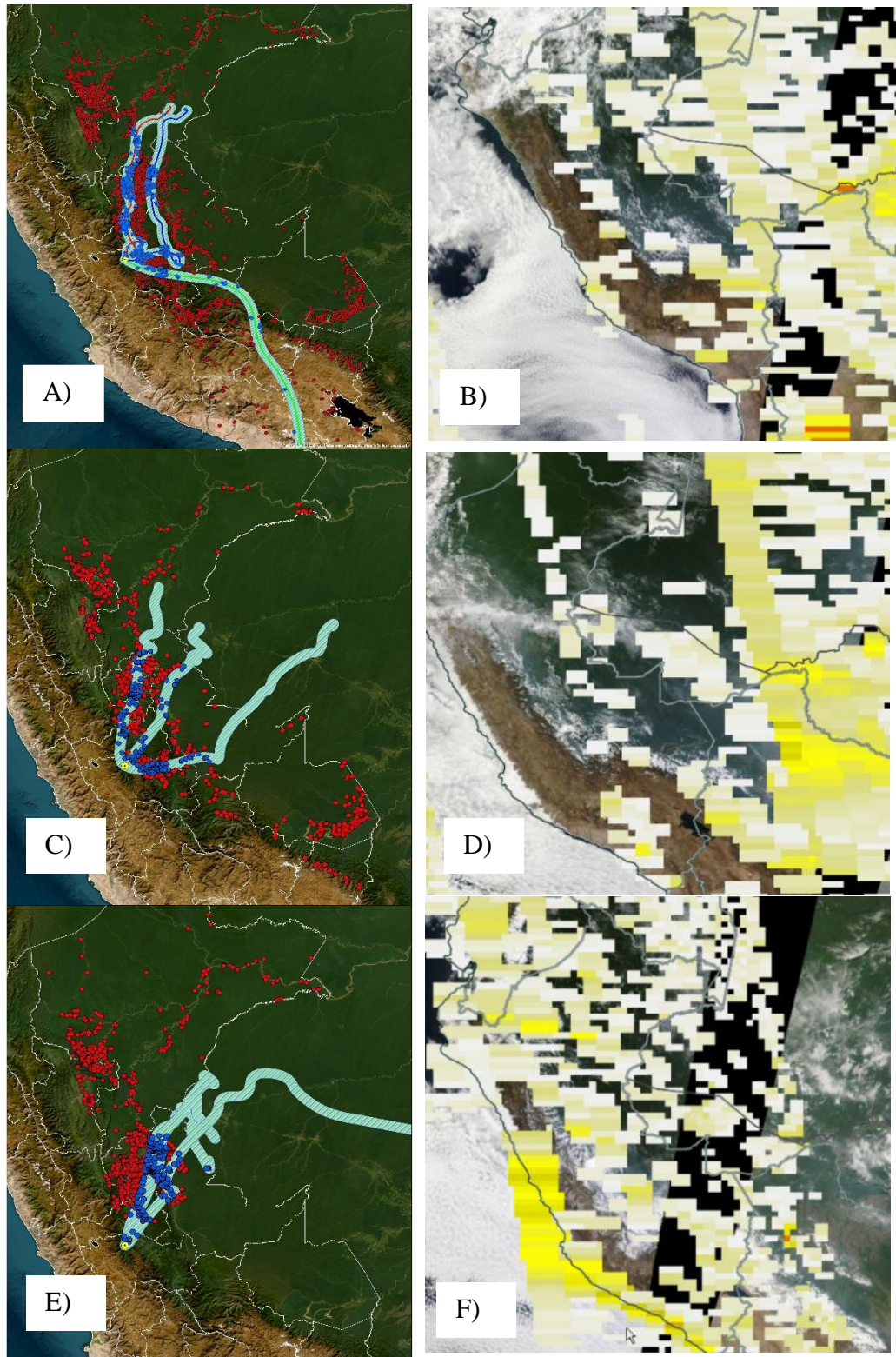
En la figura 16 A) se muestra la trayectoria del día 17 de julio, cuando se produjeron valores máximos de (0.3 - 0.5 μm) y (0.5 - 0.7 μm) en La Merced. Para ese día, se registraron 217 focos de calor en las direcciones Norte y Noreste de las trayectorias de viento de los cuatro días anteriores (se mostraron de color rojo) lo mencionado coincide con los valores de la Tabla 8 en donde el (0.3 - 0.5 μm) tiene sus valores más altos con las direcciones Norte y Noreste. De este registro, se observó que 110 focos coincidieron con la ruta de las masas de aire que llegaron al punto de estudio (se mostraron de color azul), representando un 51 % del total. En la figura 16 B) se observó el índice de aerosoles producido por las quemas; mientras la tendencia de los píxeles tendía a colores cálidos, esto indicaba una mayor presencia de incendios.

La figura 16 C) mostró la trayectoria del día 25 de julio, cuando se produjeron valores máximos de (0.7 - 1.0 μm), (1.0 - 2.0 μm), (2.0 - 3.0 μm), (3.0 - 5.0 μm) y (5.0 - 10 μm) en La Merced. Se registraron 666 focos de calor en las direcciones Norte y Este de las trayectorias de viento de los cuatro días anteriores (se mostraron de color rojo). De este registro, se observó que 130 focos coincidieron con la ruta de las masas de aire que llegaron al punto de estudio (se mostraron de color azul), representando un 20 % del total lo mencionado no coincide con los valores de la Tabla 8 puesto que estos rangos tuvieron valores bajos con respecto al Norte y Este. En la figura 16 D) se observó el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 25 de julio en donde se observa una humareda en la intersección entre los países de Brasil y Bolivia.

La figura 16 E) mostró la trayectoria del día 27 de julio, cuando se produjeron valores máximos de < 0.3 μm en La Merced. Se registraron 730 focos de calor en la dirección Noreste de las trayectorias de viento de los cuatro días anteriores (se mostraron de color rojo). De este registro, se observó que 163 focos coincidieron con la ruta de las masas de aire que llegaron al punto de estudio (se mostraron de color azul), representando un 22 % del total es así como este episodio coincide con lo mostrado en la tabla 8 donde se muestra que el rango < 0.3 μm tiene un valor alto de relación respecto al Noroeste. En la figura 16 F) se observó el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 27 de julio.

Figura 17.

Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de agosto del 2023.



En la figura 17 A) se muestra la trayectoria del día 21 de agosto donde se produjo valores máximos (0.7 - 1.0 μm), (1.0 - 2.0 μm), (2.0 - 3.0 μm), (3.0 - 5.0 μm) y (5.0 - 10 μm) en La Merced, se registraron 3524 focos de calor en las direcciones Norte, Noreste, Este y Sureste de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 682 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) un 19% del total. En figura 17 B) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 21 de agosto.

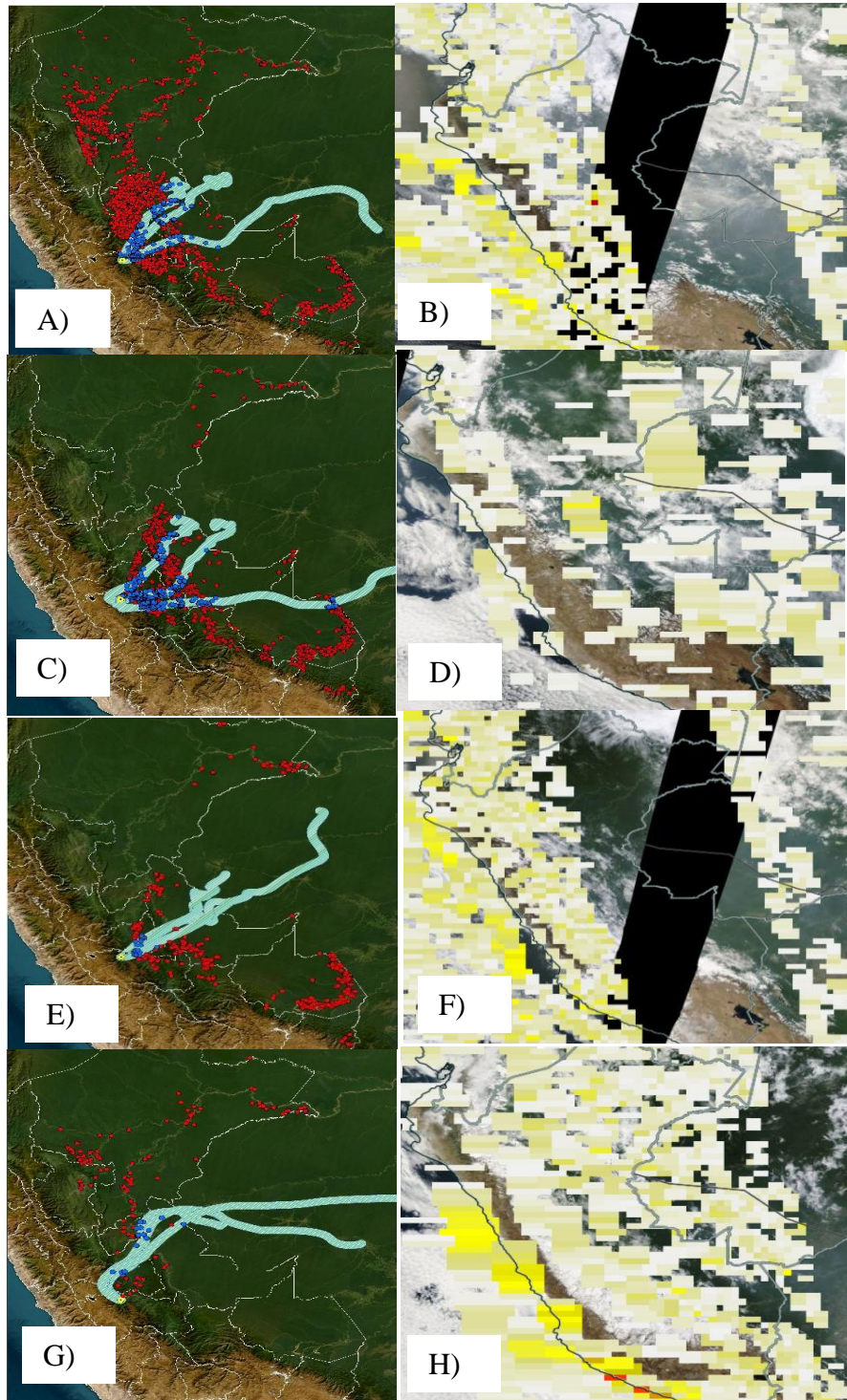
La figura 17 C) se muestra la trayectoria del día 23 de agosto donde se produjo valores máximos de 0 - 0.3 μm con un registro de 1774 focos de calor en las direcciones Este, Norte y Noreste de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 437 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) un 25% del total. En figura 17 D) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 23 de agosto.

La figura 17 E) se muestra la trayectoria del día 31 de agosto donde se produjo valores máximos de 0.3 - 0.5 μm y 0.5 - 0.7 μm en la merced, se registraron 1591 focos de calor en las direcciones Norte y Noroeste de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 381 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) un 24% del total. En figura 17 F) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 31 de agosto.

El día 21 no coincide con lo mostrado en la tabla 8 porque tienen índices de correlación bajos, mientras que los días 23 y 31 en los que se registraron los valores más altos de los rangos 0 - 0.3 μm , 0.3 - 0.5 μm y 0.5 - 0.7 μm estos coinciden con lo mostrado en la tabla 8 donde se puede ver que es alto el índice de correlación con el Noreste y Noroeste, por otra parte, estos rangos tienen su máximo índice con el Norte.

Figura 18.

Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de septiembre del 2023.



En la figura 18 A) se muestra la trayectoria del día 10 de septiembre donde se produjo valores máximos $< 0.3 \mu\text{m}$, se registraron 3376 focos de calor en las direcciones Este, Norte y Noreste de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 279 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio el 8% del total. En figura 18 B) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 10 de septiembre.

La figura 18 C) se muestra la trayectoria del día 11 de septiembre donde se produjo valores máximos ($0.3 - 0.5 \mu\text{m}$) en la merced, se registraron 1635 focos de calor en las direcciones Este y Noreste de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 436 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 27% del total. En figura 18 D) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 11 de septiembre.

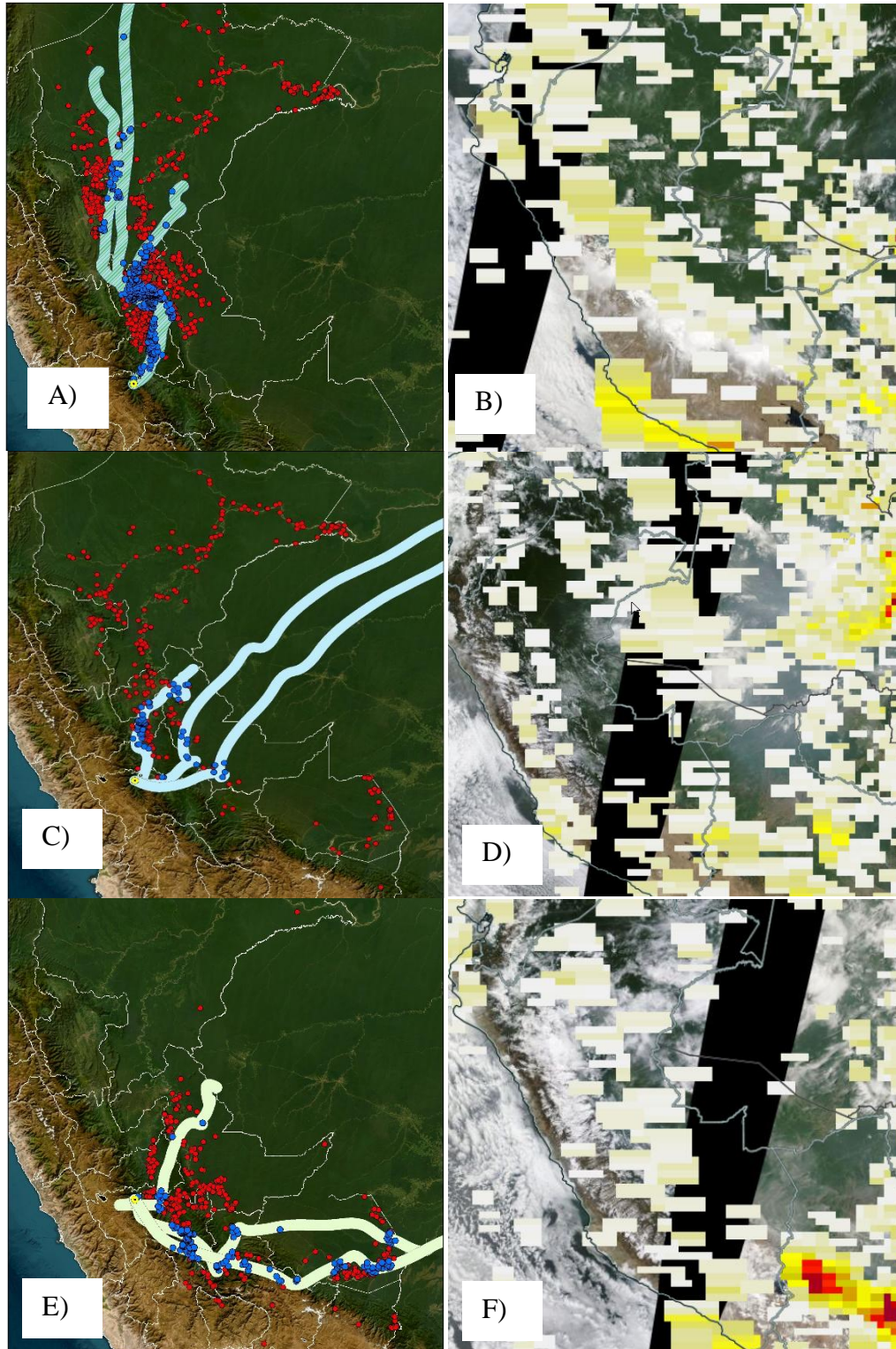
La figura 18 E) se muestra la trayectoria del día 17 de septiembre donde se produjo valores máximos de ($2.0 - 3.0 \mu\text{m}$), ($3.0 - 5.0 \mu\text{m}$) y ($5.0 - 10 \mu\text{m}$) en la merced, se registraron 223 focos de calor en las direcciones Noreste y Norte de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 30 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 13% del total. En figura 18 F) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 17 de septiembre.

La figura 18 G) se muestra la trayectoria del día 21 de septiembre donde se produjo valores máximos de ($0.5 - 0.7 \mu\text{m}$), ($0.7 - 1.0 \mu\text{m}$) y ($1.0 - 2.0 \mu\text{m}$) en la merced, se registraron 678 focos de calor en las direcciones Este y Norte de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 55 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 8% del total. En figura 18 H) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 21 de septiembre.

Estos episodios coinciden con lo mostrado en la tabla 8 puesto que estas fechas tienen orígenes en el Este y Norte mayormente.

Figura 19.

Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de octubre del 2023.



En la figura 19 A) se muestra la trayectoria del día 07 de octubre donde se produjo valores máximos ($0.3 - 0.5 \mu\text{m}$) y ($0.5 - 0.7 \mu\text{m}$), se registraron 1566 focos de calor en las direcciones Norte y Noreste de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 456 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 29% del total. En figura 19 B) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 07 de octubre.

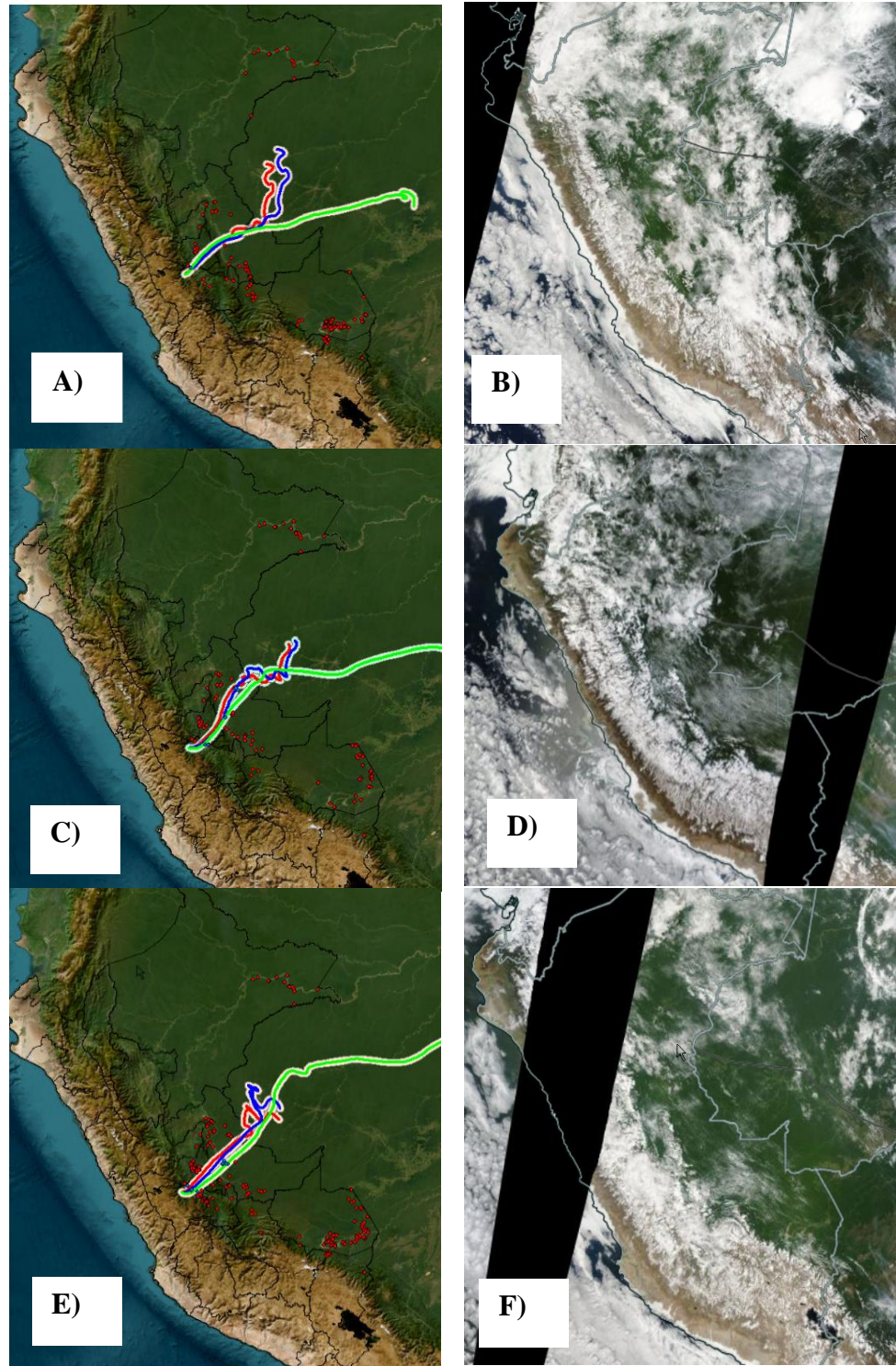
La figura 19 C) se muestra la trayectoria del día 11 de octubre donde se produjo valores máximos ($1.0 - 2.0 \mu\text{m}$) y ($2.0 - 3.0 \mu\text{m}$), se registraron 497 focos de calor en las direcciones Norte, Este y Noreste de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 96 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 19% del total. En figura 19 D) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 11 de octubre.

La figura 19 E) se muestra la trayectoria del día 23 de octubre donde se produjo valores máximos de ($< 0.3 \mu\text{m}$), ($0.7 - 1.0 \mu\text{m}$), ($3.0 - 5.0 \mu\text{m}$) y ($5.0 - 10 \mu\text{m}$), se registraron 700 focos de calor en las direcciones Noreste y Sureste de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 213 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 30% del total. En figura 19 F) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 23 de octubre.

Se puede observar coincidencia entre las 3 figuras y tabla 8, la figura 19 muestra las trayectorias de los rangos de mayor tamaño con trayectorias de viento que vienen del Sureste esta misma dirección es la que presenta los más altos valores de correlación con respecto a los rangos de partículas de mayor tamaño.

Figura 20.

Retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del mes de noviembre del 2023.



En la figura 20 A) se muestra la trayectoria del día 10 de noviembre donde se produjo valores máximos (0.5 - 0.7 μm), (0.7 - 1.0 μm), (1.0 - 2.0 μm), (2.0 - 3.0 μm), (3.0 - 5.0 μm) y (5.0 - 10 μm) en la merced, se registraron 148 focos de calor en las direcciones Noreste y Este de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 3 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 2% del total. En figura 20 B) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 10 de noviembre.

La figura 20 C) se muestra la trayectoria del día 11 de noviembre donde se produjo valores máximos ($< 0.3 \mu\text{m}$) en la merced, se registraron 140 focos de calor en las direcciones Noreste y Este de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 13 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 9% del total. En figura 20 D) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 11 de noviembre.

La figura 20 E) se muestra la trayectoria del día 12 de noviembre donde se produjo valores máximos de (3.0 - 5.0 μm) en La Merced, se registraron 248 focos de calor en las direcciones Noreste y Este de las trayectorias de viento por cuatro días atrás (se muestran de color rojo), de este registro se observa que 17 focos coinciden con la ruta de las masas de vientos que llegaron a punto de estudio (se muestran de color azul) el 7% del total. En figura 20 F) se observa el índice de aerosoles producido por las quemas para el día 12 de noviembre.

Estas tres figuras coinciden con los valores que se muestran en la tabla 8, a pesar del bajo porcentaje se intercesión entre los focos de calor y las trayectorias de viento.

Figura 21.

Imagen registrada en el 2023 donde se observa el efecto de las partículas suspendidas.



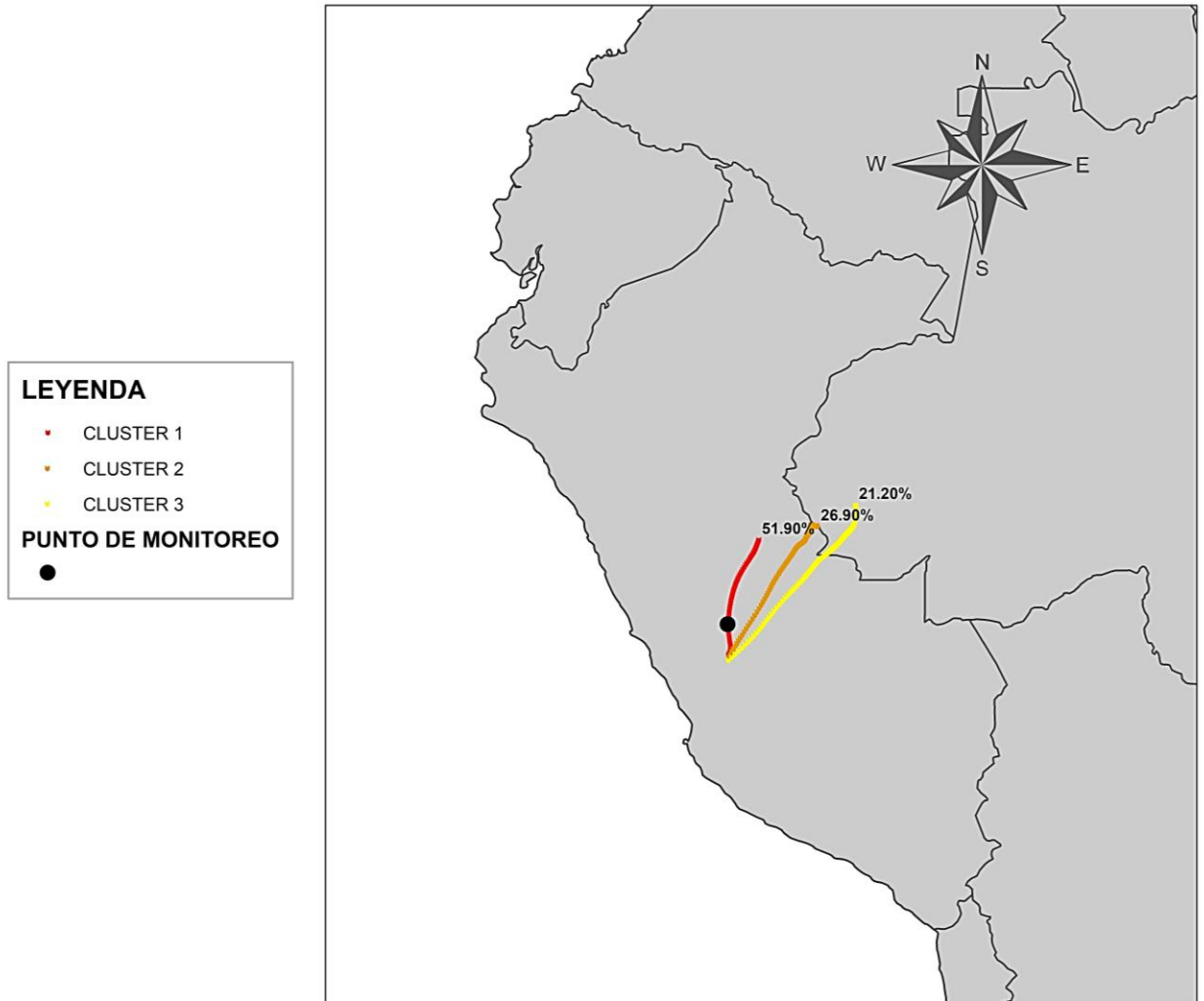
Figura 22.

Imagen registrada en el 2023 donde se observa quemas locales en el cultivo de Jengibre.



Figura 23.

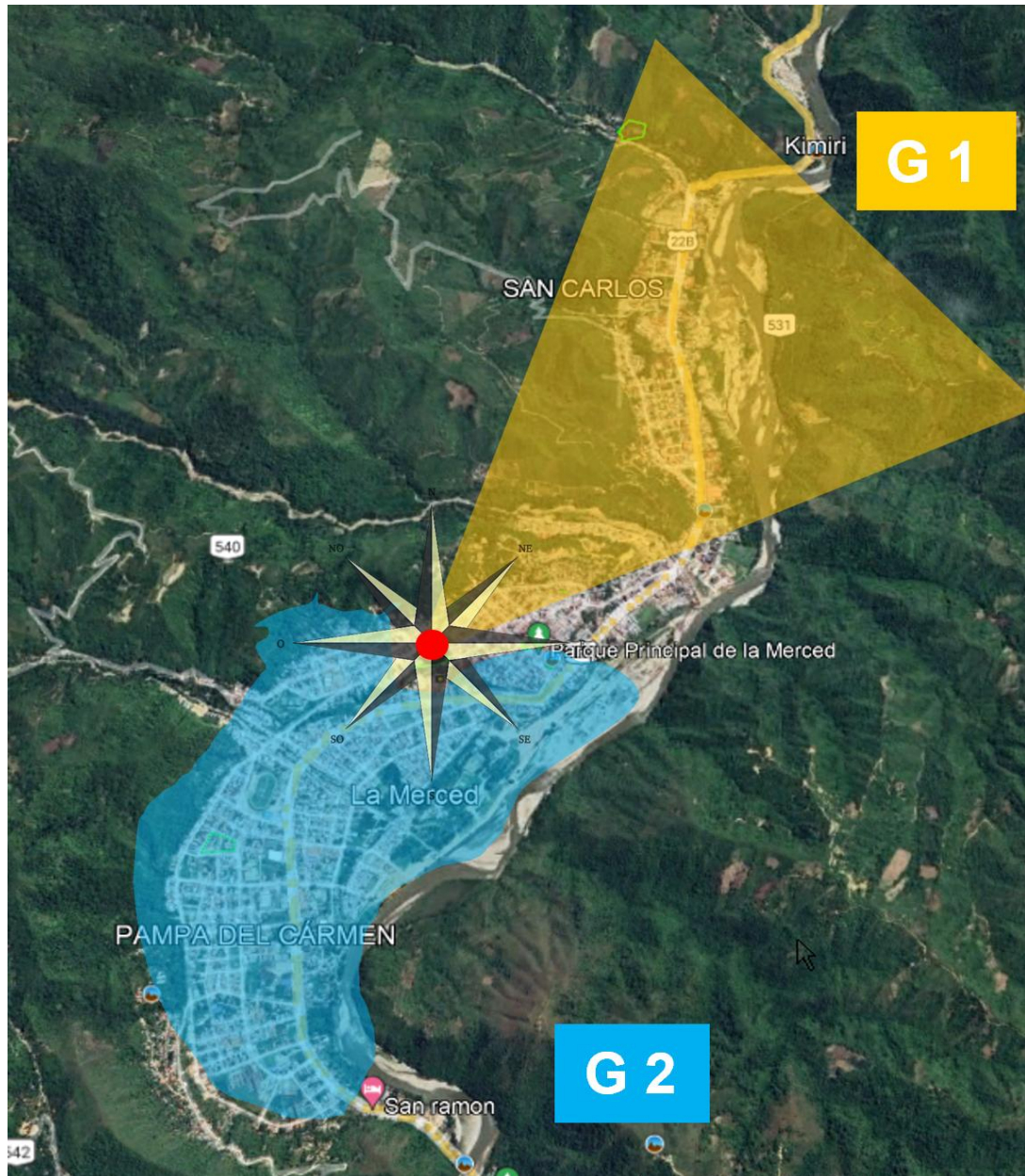
Cluster de los episodios de retro trayectorias de masas de vientos de 96 horas respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del 2023.



En la figura 22 se mostró un clúster de los 16 episodios registrados y sus respectivas trayectorias de viento de 96 horas anteriores respecto al punto de monitoreo ubicado en La Merced. Las 16 trayectorias fueron agrupadas en solo 3 direcciones, dando los siguientes resultados: el 51.9 % se encontró en la dirección Noreste, mientras que el 26.9 % y el 21.2 % se encontraron en la dirección Este. Esto indicó el movimiento de partículas provenientes de la parte Noreste de la selva del Perú. Asimismo, Las figuras 16, 17, 18, 19 y 20 muestran en su retro trayectoria de mayor altitud (1500 m s.n.m.) se desplazan de la parte oeste de Brasil hacia el centro del Perú, entonces se deduce que un porcentaje considerable de las partículas provenía de la selva de Brasil.

Figura 24.

Representación de las zonas con mayor significancia respecto a punto de monitoreo ubicado en La Merced del 2023.



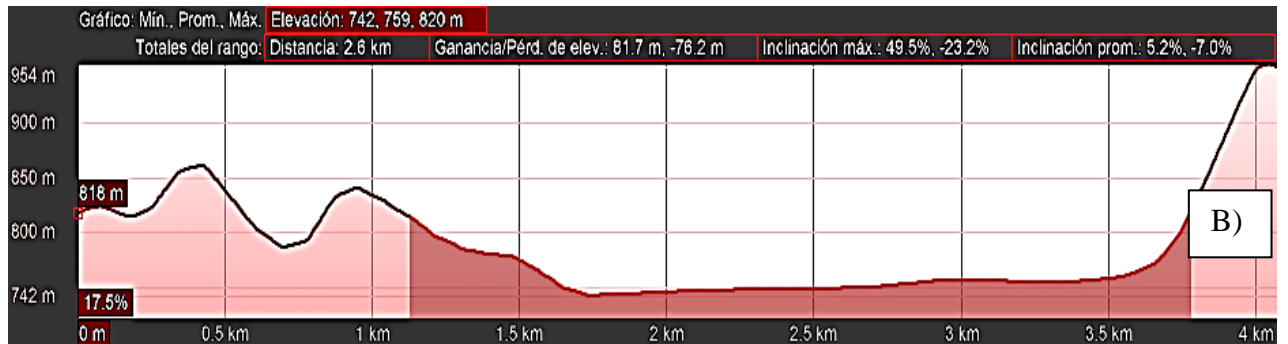
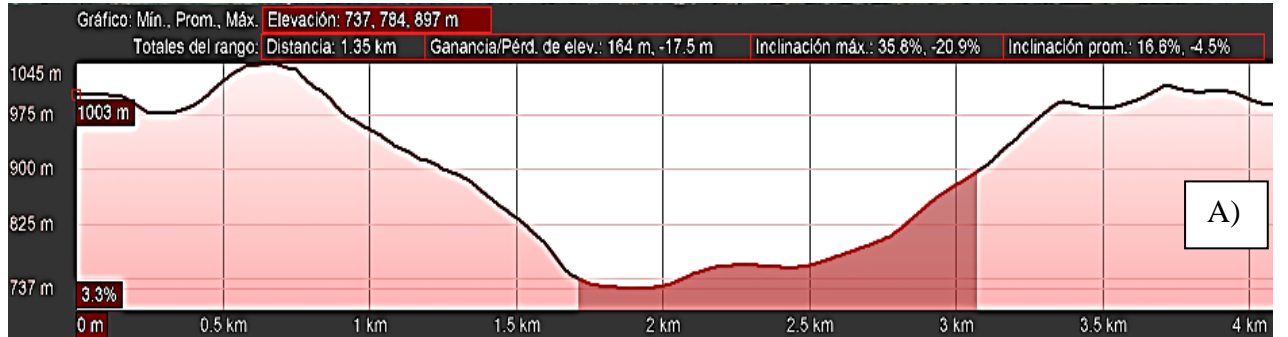
En la tabla 8 se mostraron los valores de significancia de la correlación entre los tamaños de partículas y las direcciones, donde se identificaron dos grupos de correlación que presentaron significancias pronunciadas. El primero fue el grupo de los rangos menores, comprendidos por ($< 0.3 \mu\text{m}$), ($0.3 - 0.5 \mu\text{m}$), ($0.5 - 0.7 \mu\text{m}$) y ($0.7 - 1.0 \mu\text{m}$) con todas las direcciones excepto el Suroeste. Las direcciones Suroeste y Este presentaron una correlación fuerte ($p < 0.001$) con el primer grupo, sin excepciones. El Norte también presentó una correlación fuerte ($p < 0.001$) con el primer grupo, a excepción del rango ($0.7 - 1.0 \mu\text{m}$) ($p < 0.01$) que mostró una relación media.

El Oeste presentó una relación fuerte ($p < 0.001$) para ($1.0 - 2.0 \mu\text{m}$) y ($0.5 - 0.7 \mu\text{m}$), mientras que para ($0.3 - 0.5 \mu\text{m}$) y ($0.7 - 1.0 \mu\text{m}$) mostró una relación intermedia ($p < 0.01$), en el caso del Sur, con todos los rangos del primer grupo presentó una relación débil ($p < 0.05$). El Noroeste presentó una correlación fuerte ($p < 0.001$) con el primer grupo, a excepción del ($0.7 - 1.0 \mu\text{m}$), el cual mostró una significancia nula. Por último, el primer grupo presentó un nivel de correlación con fuerte significancia ($p < 0.001$) con el Suroeste, a excepción del ($0.7 - 1.0 \mu\text{m}$), para el cual esta dirección mostró una significancia intermedia ($p < 0.01$).

El segundo grupo estuvo comprendido por ($3.0 - 5.0 \mu\text{m}$) y ($5.0 - 10 \mu\text{m}$), que fueron los rangos de partículas de mayor tamaño. El ($3.0 - 5.0 \mu\text{m}$) presentó un nivel de correlación con significancia intermedia ($p < 0.01$) con el Oeste y Sureste, mientras que con el Sur mostró un nivel de correlación débil ($p < 0.05$). El ($5.0 - 10 \mu\text{m}$) mostró un nivel de correlación con fuerte significancia ($p < 0.001$) para el Oeste y Sureste, y con una significancia intermedia ($p < 0.01$) para el Sur. Finalmente, el ($5.0 - 10 \mu\text{m}$) presentó un nivel de correlación con débil significancia para el Este y el Noroeste. Estos dos grupos fueron representados de una mejor manera en la siguiente imagen.

Figura 25.

Análisis de la topografía de la ciudad de la Merced a través de dos cortes que muestran el perfil de elevación. A) corte transversal en dirección al este, B) corte transversal en dirección al norte y C) La ciudad de La Merced con los cortes realizados.



En La Merced se registraron 16 episodios con mayores concentraciones de partículas $< 0.3 \mu\text{m}$, ya que este rango fue el que presentó mayor variación. En las figuras 16, 17, 18 y 19 se mostró el análisis de las frecuencias de retro trayectorias de masas de aire con 96 horas de antelación, incluyendo puntos que indicaban la ubicación de los focos de calor para esas fechas, así como imágenes satelitales del Worldview (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>). En estas imágenes se observó que los focos de calor registrados en la selva peruana y brasileña estaban muy relacionados con la quema de biomasa. Se pudo concluir que las principales zonas por las que ingresaron las corrientes de aire fueron las zonas Este, Noreste y Norte del Perú, estas direcciones coincidieron con la mayoría de las retro trayectorias, en las figuras 16, 17, 18 y 19 se muestra una clara tendencia de las retro trayectorias en sus tres distintas altitudes con respecto al punto de monitoreo ubicado en La Merced, la tendencia muestra que provienen del Este, Norte y Noreste con ligeras variaciones.

Estos hallazgos estuvieron apoyados por investigaciones anteriores, como la de Montalvão et al. (2022), que mencionó la existencia de un corredor con altas concentraciones de material particulado, en el cual parte de la zona occidental de Brasil se dirigió hacia la zona Oeste de este país, ingresando al Perú por la zona Este. Igualmente, en lo encontrado por Moran (2021), los focos de calor más densos se ubicaron en la zona norte del Perú, en la Figura 23 muestra con claridad que la mayoría de las partículas procedían del Norte, pero con una tendencia hacia el Este, específicamente hacia el límite de la frontera entre Perú y Brasil, los focos de calor coinciden con las corrientes de viento que arrastraron partículas generadas por quemas de biomasa, también conocidas como "roza", esta actividad es muy común en toda la amazonia, encabezada por Brasil seguida por Bolivia y el Perú, uno de los efectos visibles es la densa capa de partículas que se puede apreciar al visualizar las montañas al punto de dificultar la visión a los lejos esto se evidencia en la figura 21 que fue capturada el 27 de agosto del 2023, coincidiendo con uno de los picos del rango de $3.0 - 5.0 \mu\text{m}$ (10311.7) esto evidencia que este tamaño de partícula está estrechamente relacionada con el fenómeno visible a su vez es el rango que puede viajar largas distancias.

Perú, al ser un país con una topografía muy accidentada, tendió a causar desviaciones en las corrientes de viento (Graz & Manrique, 2023) Con respecto a la zona más cercana de la que provinieron partículas del rango ($3.0 - 5.0 \mu\text{m}$) y ($5.0 - 10 \mu\text{m}$). La Merced, al ser una ciudad situada en una hoyada y rodeada por montañas como se muestra en la figura 22, la topografía ayudo a que los contaminantes generados en la ciudad no se movilizaran con facilidad, lo que llevó a un grado de acumulación, lo mencionado fue evidenciado en la Figura 24 A) y 24 B). La escala urbana,

en promedio, se dimensionó de 5 a 50 km. En las zonas urbanas, las partículas emitidas fueron sumamente diversas. Entre las actividades que más generaron emisiones se encontraron el tránsito vehicular, que incluyó gases generados por la combustión interna de combustibles, partículas desprendidas de los motores, frenos desgastados y partes de las ruedas; y las emisiones residenciales, que fueron importantes generadores con actividades como la demolición y construcción, así como las emisiones industriales o de generación eléctrica (Aragón, 2011). Se pudo deducir que las partículas de mayores tamaños fueron emitidas por la población de Pampa del Carmen (la parte suroeste de La Merced). Los resultados de estas investigaciones reafirmaron la existencia de un corredor de contaminantes proveniente de Brasil que pasó por la parte este y norte de la selva del Perú, y confirmaron que las emisiones de partículas de $(2-5\mu\text{m})-(5-10\mu\text{m})$, consideradas más grandes, medidas en el presente estudio provinieron de la zona suroeste de la ciudad de La Merced, llamada Pampa del Carmen, que se convirtió en una zona urbana importante y que creció año tras año.

CONCLUSIONES

Los tamaños de partículas fueron una característica que ayudó a identificar el origen y el trayecto que siguieron para llegar al lugar de estudio. Las actividades que más generaron partículas de menor tamaño fueron la "roza y quema", realizadas con frecuencia para convertir los bosques en nuevas áreas de cultivo. En el presente estudio, se comprobó que los tamaños de partículas y los focos de calor procesados de manera correcta pudieron ayudar a identificar las zonas de origen.

1. Se encontró que las mayores concentraciones de material particulado se dieron en los meses de agosto (234,171.5 partículas/m³) y septiembre (276,056.7 partículas/m³), con las partículas de mayor predominancia del rango $< 0.3 \mu\text{m}$, la cual presentó un comportamiento más pronunciado.
2. Las direcciones de los focos de calor más importantes para el periodo de estiaje del año 2023 fueron:
 - Norte, con un máximo de 278 focos el día 24 de agosto, un día posterior al episodio del tamaño de ($< 0.3 \mu\text{m}$). De igual modo, se registró un máximo de 854 focos el día 09 de septiembre, un día antes del episodio registrado para el tamaño de ($< 0.3 \mu\text{m}$).
 - Noroeste, con un máximo de 492 focos el día 20 de agosto, tres días antes del episodio del tamaño de ($< 0.3 \mu\text{m}$). De igual manera, se registró un máximo de 445 focos el día 10 de septiembre, coincidiendo con el día del episodio registrado para el tamaño de ($< 0.3 \mu\text{m}$).
3. Se estableció una correlación entre el tamaño de las partículas y las direcciones de los focos de calor, notándose con claridad dos grupos de tamaños de partículas que se relacionaron con las direcciones de focos de calor. Estos grupos fueron:
 - G1 (0.3 – 1 μm), donde los tres primeros rangos de menor tamaño ($< 0.3 \mu\text{m}$), (0.3 - 0.5 μm) y (0.3 - 0.5 μm) presentaron una significancia ($p < 0.001$) con el Este ($r = 0.71, 0.68$ y 0.51 , respectivamente), el Norte ($r = 0.75, 0.72$ y 0.50 , respectivamente) y el Noreste ($r = 0.67, 0.63$ y 0.37 , respectivamente).
 - G2 (5 y 10 μm), donde estas partículas de mayor tamaño presentaron una significancia media ($p < 0.01$) para (3.0 - 5.0 μm) y una significancia alta ($p < 0.001$) para (5.0 – 10 μm). El Sureste mostró una significancia de ($r = 0.31$ y 0.41 , respectivamente), el Oeste ($r = 0.29$ y 0.40 , respectivamente) y el Sur ($r = 0.22$ y 0.29 , respectivamente). Este último presentó una significancia baja ($p < 0.05$) para (3.0 - 5.0 μm) y una significancia media ($p < 0.01$) para (5.0 – 10 μm).

4. Se determinó que las zonas más significativas de ingreso de partículas a La Merced fueron las zonas Este (21.2%), Noreste (26.92%) y Norte (51.90%), lo que dio evidencia de que las partículas de menor tamaño provenían de Brasil. Asimismo, se sospecha que las zonas Sureste, Oeste y Sur podrían estar asociadas con partículas más grandes provenientes de la zona urbana de La Merced. Estos hallazgos reforzaron la importancia de monitorear y controlar las emisiones de material particulado en la región

RECOMENDACIONES

- Se recomienda estudios de continuidad respecto a la distribución de partículas atmosféricas en la selva central.
- Para poder tener un panorama más claro de la variación el comportamiento de los tamaños de partículas un monitoreo de todo un año y sin inconvenientes sería lo ideal.
- Para un Análisis más minucioso con respecto a la distribución temporal de focos de calor debe utilizarse un programa que registre focos de calor cada dos o tres horas, también tener en consideración la ampliación del Área de descarga de datos para un conteo por direcciones acertado.
- Hablando de forma general, mientras se cuente con una mayor cantidad de datos y espacios de estudios a distintas escalas podremos tener resultados claros claro que con un mayor tiempo de monitoreo y de procesamiento de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, R., Corringham, T., Gershunov, A., & Benmarhnia, T. (2021). Wildfire smoke impacts respiratory health more than fine particles from other sources: observational evidence from Southern California. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21708-0>
- Agusto, J. (2016). *Bases para inventario de emisiones del parque automotor en la ciudad de Guayaquil*. [Escuela superior politécnica del litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/49677/1/D-76531%20Sagnay.pdf>
- Alonso, M. (2020). *Relaciones entre el ozono troposférico, las partículas ultrafinas y los episodios de formación de partículas en Granada* [Universidad de Granada]. <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/63723/MARTA%20ALONSO%20TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aragon Piña, A. (2011). *Cmosonlasparticulasatmosfricas...* [Universidad Autónoma de San Luis Potosí Instituto de Metalurgia]. <https://www.researchgate.net/publication/260178331>
- Aragón, A. (2011). *¿Como son las partículas atmosféricas antropogénicas y cuál es su relación con los diversos tipos de Fuentes Contaminantes?* Groppe Libros. https://www.researchgate.net/publication/260178331_Como_son_las_particulas_atmosfericas_antropogenicas_y_cual_es_su_relacion_con_los_diversos_tipos_de_fuentes_contaminantes#fullTextFileContent
- Arratea, J. (2021). Análisis de la variación temporal del espesor óptico y la distribución del tamaño del aerosol atmosférico en la ciudad de Huancayo el año 2016. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Tecnología de Lima Sur]. Repositorio Dspace. <https://repositorio.untels.edu.pe/xmlui/handle/123456789/732>
- Arrieta, A. (2016). Vista de Dispersión de material particulado (PM 10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. *Revista Ingeniería*, 16. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5445/4515
- Agusto, S., Ratola, N., Tarín-Carrasco, P., Jiménez-Guerrero, P., Turco, M., Schuhmacher, M., Costa, S., Teixeira, J. P., & Costa, C. (2020). Population exposure to particulate-matter and related mortality due to the Portuguese wildfires in October 2017 driven by

- storm Ophelia. *Environment International*, 144.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2020.106056>
- Ávila, V. & Gómez, T. (2019). *Biodiversidad, servicios ecosistémicos y los objetivos del desarrollo sostenible en México*. Independent Publisher.
https://www.google.com/books/edition/Biodiversidad_Servicios_Ecosist%C3%A9micos_y/hIgjvgEACAAJ?hl=es-419
- Ballester, F., Tenías, J. M., & Pérez, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. *Scielo*, 73.
https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1135-5727199900020000
- Barreto, J., González, T., & Armenteras, D. (2017). Dinámica espacio temporal de ocurrencia de incendios en zonas con diferentes tipos de manejo del noroeste de la Amazonia: ¿Barrera efectiva? *Facultad de Ciencias Básicas*.
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2009/2444>
- Brattich, E., Bracci, A., Zappi, A., Morozzi, P., Sabatino, S. Di, Porcù, F., Nicola, F. Di, & Tositti, L. (2020). How to get the best from low-cost particulate matter sensors: Guidelines and practical recommendations. *Sensors (Switzerland)*, 20(11), 1–33.
<https://doi.org/10.3390/s20113073>
- Buffone, I., & Romano, H. (2023). Consultas por enfermedades respiratorias agudas en la población pediátrica y su relación con el material particulado atmosférico en Bahía Blanca: un estudio ecológico.
<https://www.sap.org.ar/docs/publicaciones/archivosarg/2023/v121n1a08.pdf>
- Camayo, A., & Canturin, C. (2021). Evaluación de la Concentración de las Partículas Atmosféricas PM10 y PM2,5 para la Formulación de su Plan de acción en huancayo metropolitano [Universidad Nacional del Centro del Perú].
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7479/T010_71245513_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Carranza, J., Choque, K., Mallea, M., Rojas, A., & Vlaverde, S. (2021). *Proyecto de Investigación para la Fiscalización Ambiental* (pp. 1–28).
<https://repositorio.oefa.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12788/153/Grupo%20Nro%204-Carranza%20J%3b%20Choque%20K%3b%20Mallea%20M%3b%20Rojas%20A%3b%20Valverde%20S.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chávez, C. (2019). *Metodología Investigación así de Fácil*.
<http://bibliotecainvestigacion.blogspot.com/2021/08/antologia-metodologia-de-la.html>
- Daly, A. y Cognuck González, S. (2021). Calidad del aire : ¿es el momento de actuar! Panamá: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF).
<https://bvearmb.do/handle/123456789/1574>
- Dattamudi, S., Wang, J., Dodla, S. K., DeLaune, R., Hiscox, A., Viator, H., & Jeong, C. (2020). Mass concentration and size distribution of particles released from harvesting and biomass burning of sugarcane. *Agricultural and Environmental Letters*, 5(1), 1–6.
<https://doi.org/10.1002/ael2.20028>
- Echeverri, C. (2022). *Control de contaminación Atmosférica (1er edición)*. Ediciones de la U.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=nRp_EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA468&dq=Echeverri,+2022&ots=S2oRAyWHQM&sig=326VZTchDr1U43osS8qphF8kAyY#v=onepage&q&f=false
- FAO, & PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020 los bosques, la biodiversidad y las personas. <https://doi.org/10.4060/ca8642es>
- Fernández, J. (2012, noviembre 22). El Cambio Climático: Sus Causas y Efectos Medioambientales. Académico de Número, Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid Consejería de Sanidad de La Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Fiallos, G. (202). *La correlación de Pearson y el y el proceso de regresión por el Método de Mínimos cuadrado*. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*. 5(3), 1-19.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.466
- Figueruelo, J., & Marino, M. (2019). *Química Física del Ambiental y de los Procesos Medioambiental*. Reverté, S. A.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=SYfyDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Figueruelo+%26+Marino,+2019&ots=T_RYOcxW8&sig=HEJn2IqvbVrwngOXf fhnVYbEjP4#v=onepage&q&f=false
- García, F., Agudelo, R., & Jiménez, K. (2006). Distribución espacial y temporal de la concentración de material particulado. *Dialnet*. 24(2). 1-10.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5079655>
- Gaviria, C., Benavides, P., & Tangarife, C. (2011). Contaminación por material particulado (PM_{2,5} y PM₁₀) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009).

Revista Facultad Nacional de Salud Pública.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v29n3/v29n3a04.pdf>

- Gillies, J. A., Furtak, E., Nikolich, G., & Etyemezian, V. (2022). The role of off-highway vehicle activity in augmenting dust emissions at the Oceano Dunes State Vehicular Recreation Area, Oceano, CA. *Atmospheric Environment*, 13, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100146>
- González, J., León, A., & Peñalba, M. (2022). *Como escribir un trabajo de fin de grado*. (SÍNTESIS, S. A., Vol. 1). <http://bibliotecainvestigacion.blogspot.com/2022/>
- González, L. (2018). Caracterización Química y morfológica del material particulado suspendido del área metropolitana de Monterrey y sus posibles fuentes de emisión [Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio académico digital UANL. <http://eprints.uanl.mx/16800/1/1080290345.pdf>
- Granlton, J., Toveyc, E., McLaws, M., & Rawlinson, W. (2011). The role of particle size in aerosolised pathogen transmisión: a reviw. *Diario de infección*. 62(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2010.11.010>
- Hernández, A., Ramos, M., Placencia, B., Indacochea, B., Quimis, A., & Moreno, L. (2018). Metodología de la investigación científica. In *Metodología de la investigación científica* (Vol. 17). Editorial Científica 3Ciencias. <https://doi.org/10.17993/ccyll.2018.15>
- Hurtado, J & Montaña, F. (2023). *Los incendios forestales se duplican en Perú y no existe un plan de prevención*. <https://ojo-publico.com/4725/incendios-forestales-se-duplican-y-no-existe-un-plan-prevencion>
- López, E. (2021). Estimación del espesor óptico de aerosoles a partir del aporte de quemas de biomasa medidos con fotómetros de la red mundial aeronet sobre la ciudad de Asunción (PARAGUAY). <http://repositorio.conacyt.gov.py/handle/20.500.14066/3073>
- Martínez, A., Hurtado, M., Cruz, J. C., & Riojas, H. (2019). Mortalidad aguda asociada con partículas suspendidas finas y gruesas en habitantes de la Zona Metropolitana de Monterrey. *Salud Publica de México*, 62, 468–476. <https://doi.org/10.21149/11184>
- Martínez, J., & Ferdandez, A. (2004). *Cambio climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología. https://www.google.com.pe/books/edition/Cambio_clim%C3%A1tico_una_visi%C3%B3n_desde_M%C3%A9xico/2N46Q0HQmzkC?hl=es-419&gbpv=1

- Martínez, J., Soliveres, S., & Maestre, F. (2024). Ecología y retos de las zonas áridas en un mundo cambiante, *215*(147), 1–215. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bVwFEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA147&dq=la+distribuci%C3%B3n+y+caracter%C3%ADsticas+de+las+part%C3%ADculas+atmosf%C3%A9ricas+han+emergido+como+un+campo+de+estudio+relevante,+especialmente+en+relaci%C3%B3n+con+su+posible+influencia+en+la+din%C3%A1mica+de+los+incendios+forestales&ots=BI3VsPJTez&sig=30HPwN5NTctkLbMOt7le7aL1us#v=onepage&q&f=false>
- Mejia, D. (2016). *Estandarización del método de ensayo para material particulado PM10 y PM 2.5 con base en la ntc- ISO/IEC 17025:2005* [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/288e5020-a34d-4132-be5a-f5f3ac88fe55/content>
- Menares, C. (2020). *Aerosoles secundarios en Santiago de Chile: estado y tendencias* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176992>
- Met One Instrument, Inc. (2007). *Model 212 Profiler Operatio Manual*. <https://www.yumpu.com/en/document/view/45539445/model-212-profiler-met-one-instruments>
- Montalvão, R., Carolina, A., & Freitas, V. (2022). Análisis de la Dispersión de Humos de Quemaduras e Incendios Forestales en AMAZONAS. *Simpósio de Iniciação Científica Ciência, Tecnologia e Inovacao No Brasil*, 1–4. www.onlinedoctranslator.com
- Mora, J., Sibaja, J., & Borbón, H. (2021). Fuentes antropogénicas y naturales de contaminación atmosférica: estado del arte de su impacto en la calidad fisicoquímica en el agua de lluvia y de niebla. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i1.4806>
- Navarro, H., Moya, A., & Fashér, O. (2020). Influence evaluation of PM10 produced by the burning of biomass in Peru on AOD, using the WRF-Chem. *Atmósfera*. *33*(1), 71-86. DOI: 10.20937/ATM.52711
- NOAA. (2023). *HYSPLIT – Laboratorio de Recursos del Aire*. <https://www.arl.noaa.gov/hysplit/>
- Pascual, R. (2019). Impacto de las emisiones de aerosoles sobre las precipitaciones de los Andes Centrales. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/81222>

- Porta, A., Sanchez, E., & Colman, E. (2018).: Calidad del aire *Monitoreo y modelado de contaminantes atmosféricos, efectos en la salud pública*, 303(35), 1–303. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73756>
- Quispe Monroy, K. F. (2023). Evaluación de la Contaminación Atmosférica por Material Particulado menor a 10 micras, Metales y Metaloides en las zonas de alto Tránsito Vehicular - Juliaca, 2021 [Universidad Nacional de Juliaca]. <http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/7132>
- Raherison Semjen, C. (2020). Contaminación atmosférica y medioambiental y patología respiratoria. *EMC - Tratado de Medicina*, 24(3), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S1636-5410\(20\)44024-3](https://doi.org/10.1016/S1636-5410(20)44024-3)
- Reid, J., Koppmann, R., Eck, T., & Eleuteño, D. (2005). A review of biomass burning emissions part II: intensive physical properties of biomass burning particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*. <https://acp.copernicus.org/articles/5/799/2005/acp-5-799-2005.pdf>
- Rocha, A., & Huacho, J. (2022). Análisis del espesor óptico de aerosol debido a incendios forestales en la Amazonia de Perú, Ecuador, Colombia, Brasil y Bolivia. *Perfiles*, 1(28), 83–94. <https://doi.org/10.47187/perf.v1i28.189>
- Rojas, L., & Garibay, V. (2003). Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud?;¿podemos hacer algo? 1–16.
- Ruprecht, A., Borgini, A., Veronese, C., Tittarelli, A., Boffi, R., Bertoldi, M., Fernández, E., & De Marco, C. (2022). Measurements of Particulate Matter from Electronic and Conventional Cigarettes: A Comparative Analysis of Methods. *Atmosphere*, 13(9), 1–15. <https://doi.org/10.3390/atmos13091393>
- Sánchez, C. (2023). *Las pruebas de normalidad*. https://www.researchgate.net/publication/366922523_Las_pruebas_de_normalidad
- Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., & Csiszar, I. A. (2014). The New VIIRS 375m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85–96. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2013.12.008>
- Soto, F. (2019). “Un llamado para la mitigación y adaptación al cambio climático.” http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_paises/
- Torinjano, D., Osorio, A., & Marulanda, A. (2023). Comparativo de incendios forestales en Colombia a través de instrumentos de teledetección: caso de estudio en la región de la Orinoquia. En Comisión Nacional Asesora de Investigación de Gestión del Riesgo de

- Desastres (Eds.), Investigaciones en gestión del riesgo de desastres para Colombia (pp. 120–139).
https://www.google.com.pe/books/edition/Investigaciones_en_gesti%C3%B3n_del_riesgo_d/5kjAEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Vargas, C. (2011). Efectos de la fracción gruesa (PM10-2.5) de material particulado sobre la salud humana. *MINSAL*.
https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2016/proyectos/Efectos_en_la_salud_particulado_Claudio_Vargas_2011_MINSAL.pdf
- Vasco, M., Orna, L. M., Ati, G., & Lara, N. (2022). Detección de la severidad de los incendios que afectan la biodiversidad de los ecosistemas del área protegida “Ichubamba Yasepan” mediante análisis geoestadístico. *Polo Del Conocimiento*, 7(12), 209–228.
<https://doi.org/10.23857/PC.V7I12.4990>
- Vásquez, A., & Suazo, Á. (2019). Impacto del transporte transfronterizo de aerosoles atmosféricos debido a la quema de vegetación en la Amazonía sobre la región andina del Perú. <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1034/1269>
- Wang, Z.-M., Wang, P., Wagner, J., & Kumagai, K. (2022). *Impacts on urban VOCs and PM2.5 during a wildfire episode*. <https://ssrn.com/abstract=4213480>
- Yataco, C. F. G. (2023). Evaluación espacio-temporal de las precipitaciones estimadas por satélite en el Perú (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Mayor de San Marcos).
- Zubieta, R., Prudencio, F., Alarco, G., & Reupo, J. (2019). *Ocurrencia de incendios forestales en el Perú durante eventos El Niño*. https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12816/4704/Zubieta_etal_2019_Ocurrencia-de-incendios-forestales-en-el-Peru-durante-eventos-El-Nino.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables dimensiones e Indicadores	Metodología de la investigación
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	a) Variable 1	<p>- Nivel, tipo y diseño de investigación</p> <p>Tipo: Investigación Básico Nivel: Descriptivo Correlacional diseño: No experimental Método: Analítico inductivo</p> <p>- Población y muestra</p> <p>Población: Partículas atmosféricas contaminación atmosférica Muestra: 04 meses de monitoreo de partículas atmosféricas en periodo de estiaje 2023</p> <p>c) Técnicas e instrumentos de recolección de datos</p> <p>Para obtener la cantidad de partículas se utilizó la técnica del Método automático que permite mediciones de forma continua, el instrumento para la obtención de datos fue Met One 212-2 En el caso de la obtención de la frecuencia de focos de calor se utilizó la técnica de la Teledetección y como instrumento al Programa FIRMS de la NASA.</p> <p>d) Análisis de datos</p> <p>Los datos obtenidos por el Met One ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se filtraron los valores más altos para identificar el mes y la fecha del episodio.</p> <p>Para la sectorización de los focos de calor se realizó la división del mapa del Perú en 8 sectores en el Software ArcGIS, se exportó las tablas de atributos de cada dirección para que en una tabla Excel se sumara los focos de calor por cada día.</p> <p>Para identificar las fuentes que dieron origen a los episodios de material particulado, se utilizó el paquete <code>splitr</code> en RStudio con el modelo HYSPLIT.</p> <p>Para ello, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk con nivel de confianza 95% ($\alpha = 0.5$). Para la prueba de correlación se usó el coeficiente de Rho de Spearman.</p>
¿Cuál es la relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en periodo de estiaje en La Merced-2023?	Analizar la relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en periodo de estiaje en La Merced-2023	La relación entre la distribución del tamaño de partículas atmosféricas con la quema de vegetación en el periodo de estiaje en La Merced es directa y Alta debido a la quema de biomasa influenciada por las corrientes de viento.	Tamaño de partículas Indicadores Cantidad de partículas menor a 0.3 micras <i>Cantidad de partículas comprendidas entre 0,3 - 0,5 micras.</i> <i>Cantidad de partículas comprendidas entre 0,5 - 0,7 micras.</i> <i>Cantidad de partículas comprendidas entre 0,7-1,0 micras.</i> <i>Cantidad de partículas comprendidas entre 1,0-2,0 micras.</i> <i>Cantidad de partículas comprendidas entre 2,0-3,0 micras.</i> <i>Cantidad de partículas comprendidas entre 3,0-5,0 micras.</i> <i>Cantidad de partículas comprendidas entre 5.0-10.0 micras.</i>	
Problemas específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis específicas	b) Variable 2	
¿Cuál es la variabilidad temporal de las partículas por rangos de tamaño en el periodo de estiaje en La Merced - 2023?	Determinar la variabilidad temporal de las partículas por rangos de tamaño en periodo de estiaje en La Merced – 2023	- Los niveles más altos de partículas son registrados en el mes de septiembre y los valores más bajos para noviembre	Quema de vegetación Indicadores Frecuencia de focos de calor	
¿Cuál es la variabilidad temporal de la ocurrencia de focos de calor en el periodo de estiajes en La Merced - 2023?	Determinar la variabilidad temporal de la frecuencia de focos de calor en periodo de estiaje en La Merced – 2023	- Las frecuencias de focos de calor más altas son registradas en el mes de agosto y octubre del año 2023.		
¿Cuál es la correlación de las cantidades de partículas de los ocho rangos de tamaño con los focos de calor en el periodo de estiaje en La Merced - 2023?	Determinar la correlación de las cantidades de partículas de los 8 rangos de tamaño con los focos de calor en periodo de estiaje en La Merced - 2023.	- Existe una correlación directa y alta entre la cantidad de partículas y la frecuencia de los focos de calor.		
¿Cuáles son las zonas de focos de calor más importantes en episodios del aumento significativo de partículas en el periodo de estiaje en La Merced – 2023?	Identificar las zonas de focos de calor más importantes en episodios del aumento significativo de partículas en el periodo de estiaje en La Merced – 2023.			