

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA



ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO Y LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO 10 Y 2,5 EN LA ATMOSFERA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA, PERIODO 2016-2018.

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentada por:

ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE

Asesor:

Dr. GILBERTO CRUZADO VÁSQUEZ

Cajamarca, Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Licenciada con Resolución de Consejo Directivo N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
Resolución Rectoral N° 22056-90 UNC



El Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca expide, la siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD:

Al Bach. en Ciencias de la Ingeniería de Minas **Elmer Ovidio Luque Luque**, quien ha sustentado la tesis de maestría titulada: **“ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO Y LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO 10 Y 2,5 EN LA ATMÓSFERA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA, PERIODO 2016-2018;** de manera presencial, acto que se realizó con fecha 04 de octubre de 2023.

Que, el Dr. Gilberto Cruzado Vásquez en su calidad de Asesor del sustentante, ha adjuntado el Informe antiplagio de la tesis, ha adjuntado el Informe antiplagio donde se indica que, según el reporte del programa **TURNITIN**, existe un **18%** de coincidencia de la tesis antes mencionada.

Es todo cuanto se cumple con establecer para los fines pertinentes.

Cajamarca, 09 de febrero de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Dr. Juan B. Chávez Robando
DIRECTOR

COPYRIGHT © 2023 by
ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE
Todos los derechos reservados



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

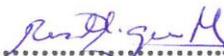
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 15:00 horas, del día 04 de octubre de dos mil veintitrés, reunidos en el Centro de Idiomas de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por la **Dra. ROSA HAYDEE LLIQUE MONDRAGÓN**, **Dr. MIGUEL ANGEL MOSQUEIRA MORENO**, **Dr. ALEJANDRO CLAUDIO LAGOS MANRIQUE**, y en calidad de Asesor el **Dr. GILBERTO CRUZADO VÁSQUEZ**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **“ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO Y LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO 10 Y 2,5 EN LA ATMÓSFERA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA, PERIODO 2016-2018”**, presentada por el **Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE**

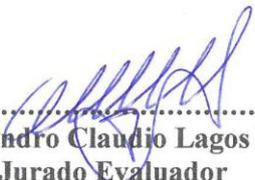
Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó... APROBAR... con la calificación de 0.0 (15) - Bueno... la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bachiller en Ciencias de la Ingeniería de Minas ELMER OVIDIO LUQUE LUQUE**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**

Siendo las 16:30 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.


.....
Dr. Gilberto Cruzado Vásquez
Asesor


.....
Dr. Rosa Haydee Llique Mondragón
Jurado Evaluador


.....
Dr. Miguel Angel Mosqueira Moreno
Jurado Evaluador


.....
Dr. Alejandro Claudio Lagos Manrique
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios por darme salud, sabiduría e inteligencia.

A mi padre Ramón Luque Paz por motivarme permanentemente a destacar académicamente.

A mi madre Julia Luque Palli haberme inculcado los principios de responsabilidad y superación; en este momento debe estar muy orgullosa en el cielo.

A mis hijos Aissa Verenise, Harlam Ovidio y Amir Ovidio por su comprensión y paciencia, como ejemplo a seguir para ellos.

AGRADECIMIENTO

Agradecido con Dios por brindarme conocimiento, talento y salud.

A mis progenitores Ramón y Julia por haberme educado con cariño y paciencia.

A todas las personas que contribuyeron con sus aportes valiosos en la culminación del presente estudio.

Al Dr. Gilberto Cruzado Vásquez por guiarme en el desarrollo de esta tesis.

No quedara sin recompensa lo que, con amor y cariño

me dieron en mi infancia.

Elmer Ovidio.

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	vi
LISTA DE ABREVIACIONES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Formulación del problema.....	3
1.3 Delimitación de la investigación	3
1.4 Limitaciones	4
1.5 Objetivos de investigación	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos específicos	5
1.6 Planteamiento de la hipótesis	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEORICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación	6
2.2 Bases Teóricas.....	9
2.3 Marco legal.....	20
2.4 Términos básicos.....	23
CAPÍTULO III	24
MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1 Ubicación de la investigación.....	24
3.2 Diseño de la investigación.....	27
3.2.1 Tipo de la investigación	27
3.2.2 Parámetros de estudio.....	27
3.3 Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación.....	27
3.4 Equipos y materiales	27

3.5	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	28
3.5.1	Técnicas de recolección de datos	28
3.5.2	Procedimiento de recolección de datos	29
3.5.3	Procedimiento de análisis de datos.....	30
CAPÍTULO IV		31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		31
4.1	Concentración de material particulado 10 en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca.....	31
4.1.1	Concentración de material particulado 10 en el año 2016	31
4.1.2	Concentración de material particulado 10 en el año 2017	32
4.1.3	Concentración de material particulado 10 en el año 2018	33
4.2	Concentración de material particulado 2.5 en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca.....	33
4.2.1	Concentración de material particulado 2.5 en el año 2016	33
4.2.2	Concentración de material particulado 2.5 en el año 2017	34
4.2.3	Concentración de material particulado 2.5 en el año 2018	35
4.3	Correlación de la dirección y velocidad del viento con el material particulado 10 y 2.5 en la atmosfera de Cajamarca.....	36
4.3.1	Dirección y velocidad del viento del año 2016	36
4.3.2	Dirección y velocidad del viento del año 2017	41
4.3.3	Dirección y velocidad del viento del año 2018	46
CAPÍTULO V		51
CONCLUSIONES.....		51
5.1	Conclusiones	51
REFERENCIAS		52
ANEXOS.....		54

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Clasificación de contaminantes atmosféricos</i>	11
Tabla 2. <i>Escala de medición Beaufort</i>	18
Tabla 3. <i>Estándares de Calidad Ambiental para Aire</i>	22

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. <i>Ciclo de un contaminante atmosférico</i>	9
Figura 2. <i>Tamaño de algunos tipos de partículas</i>	12
Figura 3. <i>Representación gráfica del proceso de dispersión atmosférica</i>	14
Figura 4. <i>Rosa de vientos</i>	16
Figura 5. <i>Rosa de vientos de velocidad</i>	17
Figura 6. <i>Curva de frecuencia de velocidades</i>	18
Figura 7. <i>Ubicación de la estación de Calidad del Aire - Cajamarca</i>	25
Figura 8. <i>Ubicación de la estación meteorológica “Augusto Weberbauer”</i>	26
Figura 9. <i>Concentración de material particulado PM_{10} del año 2016</i>	31
Figura 10. <i>Concentración de material particulado PM_{10} del año 2017</i>	32
Figura 11. <i>Concentración de material particulado PM_{10} del año 2018</i>	33
Figura 12. <i>Concentración de material particulado $PM_{2.5}$ del año 2016</i>	34
Figura 13. <i>Concentración de material particulado $PM_{2.5}$ del año 2017</i>	35
Figura 14. <i>Concentración de material particulado $PM_{2.5}$ del año 2018</i>	35
Figura 15. <i>Distribución de frecuencias de las clases de vientos en la ciudad de Cajamarca – 2016</i>	36
Figura 16. <i>Dirección de donde proceden los vientos en la ciudad de Cajamarca – 2016</i>	37
Figura 17. <i>Dirección a donde se dirigen los vientos en la ciudad de Cajamarca – 2016</i>	38
Figura 18. <i>Dirección de donde procede el viento en la ciudad de Cajamarca - 2016</i> ..	39
Figura 19. <i>Dirección a donde se dirige el viento en la ciudad de Cajamarca - 2016</i> ..	40
Figura 20. <i>Distribución de frecuencia de las clases de los vientos en la ciudad de Cajamarca - 2017</i>	41
Figura 21. <i>Dirección de dónde procede los vientos en la ciudad de Cajamarca -2017</i>	42
Figura 22. <i>Dirección a donde se dirigen los vientos de la ciudad de Cajamarca – 2017</i>	43
Figura 23. <i>Dirección a donde se dirige el viento en la ciudad de Cajamarca en la ciudad de Cajamarca - 2017</i>	44
Figura 24. <i>Dirección de donde procede el viento en la ciudad de Cajamarca - 2017</i> ..	45

Figura 25. <i>Distribución de frecuencia de las clases de los vientos en la ciudad de Cajamarca</i>	46
Figura 26. <i>Dirección de dónde vienen los vientos en la ciudad de Cajamarca – 2018</i>	47
Figura 27. <i>Dirección a dónde se dirigen los vientos en la ciudad de Cajamarca – 2018</i>	48
Figura 28. <i>Dirección a dónde se dirigen los vientos en la ciudad de Cajamarca -2018</i>	49
Figura 29. <i>Dirección de dónde vienen los vientos en la ciudad de Cajamarca - 2018.</i>	50
Figura 30. <i>Muestreador de partículas alto volumen - Estación de monitoreo La Colmena</i>	55
Figura 31. <i>Colocado de filtro de aire en el muestreador de aire</i>	56
Figura 32. <i>Estación de monitoreo de aire - Augusto Weber Weberbauer</i>	57

LISTA DE ABREVIACIONES

OMS	: Organización Mundial de la Salud
PNUMA	: Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente
EPA	: Agencia de protección Ambiental
MINAM	: Ministerio del Ambiente
DIGESA	: Dirección General de Salud
MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MPC	: Municipalidad Provincial de Cajamarca
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
ECA	: Estándar de Calidad Ambiental
nm	: Nanómetros
PM 2,5	: Material Particulado menor de 2,5 micras
PM 10	: Material Particulado menor de 10 micras
$\mu\text{m}/\text{m}^3$: micras por metro cúbico
$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramos por metro cúbico

RESUMEN

La investigación permite determinar la correlación existente entre el comportamiento del viento y la dispersión de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca en el periodo 2016 al 2018. El material particulado (PM) se registró empleando el dispositivo muestreador de partículas de la Municipalidad Provincial de Cajamarca; la velocidad y dirección del viento se registró las lecturas en el centro de observación Augusto Weberbauer del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. El material particulado PM_{10} se mantuvo en su mayoría dentro de los límites legales durante el período de estudio, las partículas $PM_{2.5}$ en la zona de estudio superaba los estándares ambientales. Los vientos preponderantes en Cajamarca fueron suaves y ligeros durante los tres años analizados, lo que corresponde al nivel 2 de acuerdo con la escala de Beaufort. La orientación del viento predomina este – oeste, la dispersión del material particulado se dirige al mirador de Santa Apolonia, los barrios Urubamba y Chontapaccha, con mayor exposición a la concentración de contaminantes debido a la dispersión del viento, lo que incide en la calidad del aire en estas zonas.

Palabras clave: Contaminación del aire, material particulado, $PM_{2.5}$, PM_{10} ; velocidad del viento, dirección del viento.

ABSTRACT

The research allows us to determine the correlation between the behavior of the wind and the dispersion of particulate matter PM10 and PM2.5 in the atmosphere of the city of Cajamarca in the period 2016 to 2018. The particulate matter (PM) was recorded using the sampling device of particles from the Provincial Municipality of Cajamarca; Wind speed and direction readings were recorded at the Augusto Weberbauer observation center of the National Meteorology and Hydrology Service. PM10 particulate matter remained mostly within legal limits during the study period, PM2.5 particles in the study area exceeded environmental quality standards. The prevailing winds in Cajamarca were soft and light during the three years analyzed, which corresponds to level 2 according to the Beaufort scale. The orientation of the wind predominates east – west, the dispersion of particulate matter is directed to the Santa Apolonia viewpoint, the Urubamba and Chontapaccha neighborhoods, with greater exposure to the concentration of pollutants due to the dispersion of the wind, which affects the quality of the air in these areas.

Keywords: Air pollution, particulate material, PM2.5, PM10; wind speed, wind direction.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El medio ambiente constituye un sistema complejo de extraordinaria importancia para el bienestar de las sociedades actuales y para las generaciones futuras. Su conservación y equilibrio, se enfrenta a todo tipo de problemas y retos, que deben abordarse desde los distintos niveles de responsabilidad en materia ambiental, por lo tanto, es importante apoyar el conocimiento científico tecnológico y fomentar la participación de la sociedad en la puesta en marcha de soluciones, promover comportamientos sostenibles, y prácticas respetuosas para la salud de las personas y la protección del medio ambiente. (Molina, 2019).

El uso intensivo de combustibles fósiles, el uso de tecnologías ineficientes, el uso excesivo de las reservas naturales, el aire contaminado que respiramos, la falsa percepción del medio ambiente y la mala comunicación sobre cuestiones ambientales; todo lo cual enfatiza sus efectos en el medio ambiente y en la salud de las personas (Molina, 2019).

Desde la conferencia de las Naciones Unidas en Estocolmo en 1972, la contaminación del aire ha sido objeto de regulaciones internacionales. Esto incluye la solución de problemas globales como la contaminación del aire y del mar o la pérdida de diversidad biológica, se presta especial atención al deterioro de la atmósfera y se plantea la cuestión del desarrollo económico respetuoso con el medio ambiente. (Faccioli, 2018).

El problema de la contaminación del aire está relacionado con el cambio climático y los efectos nocivos locales y globales de diversos contaminantes

atmosféricos. Para controlar los efectos nocivos de la contaminación atmosférica sobre las personas, los seres vivos y el patrimonio cultural, se han fijado normas de calidad del aire que no deben superarse en ningún caso. (Muñoz et al., 2018).

Es importante destacar que los vehículos automotores son la principal fuente de emisión de gases y partículas, que afectan la calidad del aire en las zonas urbanas de todo el mundo. Es necesario destacar que en las áreas donde circulan cientos de miles de vehículos al día, se alcanzan niveles de concentración de contaminantes críticos para la salud humana y para el medio ambiente. Plan de Acción para la Calidad del Aire. (MPC, 2013).

1.1 Planteamiento del problema

La localidad de Cajamarca se encuentra actualmente enfrentando desafíos ambientales relacionados con la presencia de aire contaminado en su atmósfera. Diversas instituciones abordan esta problemática en Cajamarca, la falta de un análisis detallado sobre la dispersión de las partículas dificulta la implementación de estrategias efectivas. La complejidad de las fuentes de emisión y la variedad de factores que afectan la dispersión hacen que sea crucial comprender la dinámica específica del aire contaminado en esta ciudad. Existen diversas investigaciones y publicaciones que abordan la contaminación atmosférica en nuestra ciudad.

Según, Araujo (2016) en su tesis de maestría sostiene que, los lugares más contaminados de Cajamarca son: Plazuela Bolognesi, cruce de las calles Junín y Cruz de Piedra, cruce de las calles Guillermo Urrelo y Mario Urteaga (ex hospital Regional), Avenida Independencia (salida a la costa), cruce de Jesús y alrededores de los mercados. Según la Subgerencia de protección y control ambiental de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, las partículas han excedido los límites

debido a la presencia de mototaxis y automóviles; cada vez emiten más gases y partículas debido al consumo de combustibles fósiles.

La investigación nos permitirá determinar qué zonas son susceptibles a la dispersión de partículas, la velocidad y orientación del viento afecta la atmósfera en la ciudad de Cajamarca, cuyos resultados contribuirán al conocimiento científico local y regional, promoviendo un enfoque integrado para la gestión sostenible de la calidad del aire.

1.2 Formulación del problema

¿Cuál es la correlación entre el comportamiento del viento y el material particulado 2,5 ($PM_{2,5}$) y 10 (PM_{10}) en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca durante el período 2016-2018?

1.3 Delimitación de la investigación

El estudio se centrará en la ciudad de Cajamarca y sus áreas circundantes inmediatas.

El estudio abarcará un período específico de tiempo. Se recopilarán datos y se analizarán eventos relacionados con la calidad de aire en el periodo 2016 - 2018.

La investigación se enfocará en el análisis de material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} en la atmósfera de Cajamarca.

La investigación incluye mediciones de las partículas en un punto específico de la ciudad y la utilización de datos de estaciones de monitoreo existentes.

1.4 Limitaciones

Al realizar un análisis de la calidad del aire en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca, es necesario considerar las siguientes limitaciones:

Disponibilidad de Datos: La falta de series de datos completos dificulta un análisis exhaustivo.

Distribución de Estaciones de Monitoreo: El lugar y cantidad de muestreos es insuficiente para obtener una representación completa de la ciudad. Esto resulta en una falta de datos en áreas específicas.

Factores Climáticos: El clima de Cajamarca puede experimentar variaciones significativas a lo largo del año, esto incide en la dispersión del aire en la atmósfera. Las condiciones climáticas, como la dirección y velocidad del viento, pueden afectar la concentración de material particulado y deben ser consideradas.

Factores Geográficos: La topografía de Cajamarca influye en la dispersión de contaminantes. Las zonas de valles y montañas pueden crear patrones de flujo de aire complicados que afectan la distribución del aire.

Cambios Temporales: Los patrones de distribución de material particulado pueden variar con el tiempo. Factores estacionales, así como cambios en la actividad industrial y el tráfico, pueden influir en los resultados del análisis.

1.5 Objetivos de investigación

1.5.1 Objetivo General

Correlacionar el comportamiento del viento y el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca.

1.5.2 Objetivos específicos

- Establecer la concentración del material particulado PM_{10} en la atmosfera de Cajamarca.
- Determinar la concentración del material particulado $PM_{2.5}$ en la atmosfera de Cajamarca.
- Establecer la relación existente entre la velocidad y la orientación del viento con el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca.

1.6 Planteamiento de la hipótesis

Se plantea que el material particulado PM_{10} en la atmósfera de Cajamarca varía de manera significativa en función de las características geográficas, actividades humanas y factores climáticos locales.

Se postula que el material particulado $PM_{2.5}$ en la atmósfera de Cajamarca exhibe variaciones notables influenciadas por la actividad antropogénica, especialmente la industrial, así como por las condiciones climáticas y geográficas particulares de la región.

Se plantea que existe una relación significativa entre la velocidad y orientación del viento y las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca. Se espera que los patrones de dispersión estén influenciados de manera directa por las condiciones atmosféricas, afectando la distribución de partículas en la zona urbana.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Según la ONU (2023) las partículas especialmente $PM_{2.5}$, ingresan en los alvéolos pulmonares y sistema circulatorio causando problemas cardiovasculares, cerebrovasculares (derrame cerebral) y respiratorios.

Según IQAir (2023) reporta que en el año 2022 el Perú ocupa el 38 lugar de países contaminados, siendo la ciudad de Lima con reportes de concentración de $27,3 \mu/m^3$ en $PM_{2.5}$ y velocidad promedio del viento 13 km/h.

Según Becerra et al., (2021) en su artículo científico concluye que las enfermedades respiratorias presentan el 40% de la población, estas se deben al tráfico de vehículos pesados como origen de la contaminación (carreteras principales).

Para Bravo (2018) en su tesis de maestria concluye que las concentraciones medias de PM_{10} oscilan entre 9 y $51 \mu/m^3$ cumpliendo con la normativa chilena.

Solís (2021) señala en su investigación que el material particulado incrementa en los meses frigidios (otoño e invierno) debido a la quema de leña para calentar sus hogares y de esta forma aumenta las emisiones de particulas.

En su estudio, Castro (2021) determinó que las emisiones de partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} varían de acuerdo con la ubicación y el tiempo. El 95% de los monitoreos

de PM_{2.5} presentan niveles menores a 12 mg/m³, el 5% de los monitoreos superan los estándares.

En su investigación, Durand y Burga (2021) determinaron en el periodo de 2012 al 2018, que las concentraciones más altas de PM₁₀ fueron 75,58 y 64,63 µg/m³ en 2014-2015. Así mismo, el material particulado PM_{2.5} registró valores de 65.91 y 57.10 µg/m³ en 2012 y 2016, superando los estándares de calidad.

En su tesis, Sánchez y Bautista (2019) evaluaron las emisiones de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} y su relación con las variables meteorológicas. Cuyos resultados muestran que están relacionadas con el viento, la temperatura y la humedad; el PM₁₀ y el PM_{2.5} son inversamente proporcionales a la velocidad del viento, ya que las velocidades más altas del viento producen menor cantidad de partículas.

Según Briones y Malaver (2015) en su investigación determinaron que las emisiones de partículas PM_{2.5} superan los estándares de calidad en el periodo 2014 y 2015, en consecuencia, son indicadores que permiten afirmar contaminación en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca. La mayoría de estos indicadores es de origen antrópico producto del empleo de vehículos diésel.

Vargas (2022) en su estudio sobre modelos climáticos para determinar la velocidad del viento en la provincia de Chimborazo concluyó que utilizó un modelo de interpolación para predecir el comportamiento del viento utilizando los métodos de interpolación global ArcGIS y Kriging - Normal e IDW, donde los mapas brindan capacidades predictivas.

Según Faccioli (2018) la contaminación procedente de vehículos se ha convertido en un problema creciente en las últimas décadas a medida que se ha extendido por todo el mundo, convirtiendo el transporte en una de las principales causas de la mala calidad del aire. La cantidad de emisiones contaminantes depende del tipo de motor del vehículo: si se utiliza gasolina como combustible, se liberan a la atmósfera principalmente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos de plomo; Si se utiliza diésel como combustible, se libera principalmente monóxido de carbono a la atmósfera.

Gómez (2017) determino grupos vulnerables, como ancianos y las personas con factores de riesgo de enfermedad pulmonar, estas pueden correr un mayor riesgo porque son más sensibles a la contaminación por neblina, smog y partículas finas $PM_{2.5}$ en el aire. El aire aparentemente limpio puede presentar material particulado; motivo por el cual, recomienda evitar hacer ejercicio en vías transitadas o zonas industriales, seguir las recomendaciones de las autoridades de protección ambiental para protegerse de sus efectos en la salud.

Camacho y Villegas (2017) en su trabajo analizó la relación entre la velocidad del viento y la concentración de partículas PM_{10} en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca del 2012 al 2015 y concluyó que el viento afecta directamente la difusión y concentración de PM_{10} en la atmósfera de la ciudad de Cajamarca La velocidad del viento es inversamente proporcional a la concentración de PM_{10} , cuanto menor es la velocidad del viento, mayor es la concentración; es directamente proporcional a la dispersión, cuanto mayor es la velocidad del viento, mayor es la dispersión.

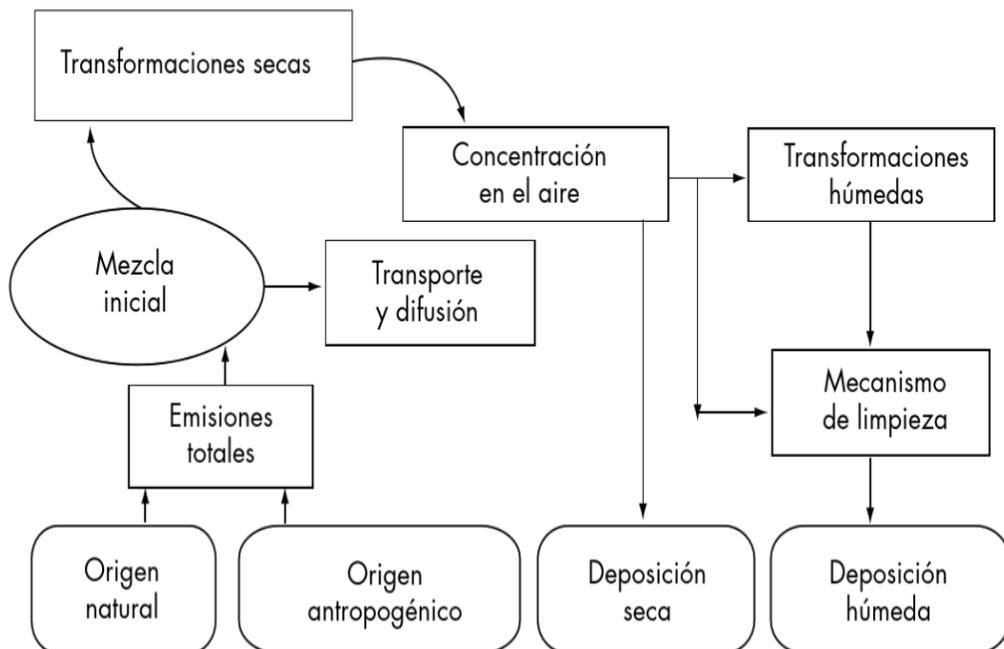
2.2 Bases Teóricas.

Contaminación atmosférica

Muñoz et al. (2018) señala que el problema de la contaminación del aire está relacionado, por un lado, con el cambio climático que puede provocar y, por otro, con los efectos nocivos locales o globales de diversos contaminantes atmosféricos. La Figura 1 muestra un ciclo típico de contaminantes atmosféricos.

Asimismo, su origen es una combinación de tres motivos diferentes, a saber: la concentración de contaminantes en la atmósfera, las condiciones meteorológicas desfavorables y determinadas condiciones topográficas de la zona.

Figura 1. *Ciclo de un contaminante atmosférico*



Fuente: Muñoz et al. (2018)

Contaminantes atmosféricos

La ASTM (American Society for Testing and Materials) indica que la contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera de sustancias no deseables, en concentraciones, tiempo y circunstancias tales que pueda afectar significativamente al confort, salud y bienestar de las personas o al uso y disfrute de sus propiedades.

ASTM (American Society for Testing and Materials) afirma que la contaminación del aire significa la presencia de sustancias indeseables en la atmósfera, cuya concentración, tiempo y entorno pueden afectar significativamente la salud y el bienestar humanos. (Muñoz et al, 2018).

Jorquera (2018) señala que la contaminación atmosférica es una mezcla compleja de sustancias resultantes de la combustión incompleta de procesos provocados por el hombre, pero también de fuentes naturales. En la Tabla 1 se observa una clasificación basada en las propiedades físicas y químicas de las diversas sustancias y componentes químicos que se han identificado.

Tabla 1. Clasificación de contaminantes atmosféricos

Atributo	Tipos	Ejemplos
Composición química	Inorgánico	Sulfatos, nitratos, amoníaco, óxidos de azufre, carbono elemental
	Orgánico	COV ¹ en general, benceno, 1 – 3 butadieno, hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), dioxinas, CO y CO ₂
Fuente de Origen	Primarios	Se emiten directamente en la atmosfera: CO ₂ , SO ₂ , partículas de hollín, polvo de calle, etc.
	Secundarios	Se producen por reacciones entre otros contaminantes presentes (caso del ozono) o se condensan una vez que se enfrían en el ambiente (semivolátiles, sobresaturados).
Naturaleza física	Polvo	Partículas producidas por la desintegración mecánica de materiales sólidos.
	Aerosol	Suspensión de sólidos en el aire, partículas de 1 nm a 2 µm de diámetro, capaces de permanecer suspendidas en el aire y de transporte fácilmente con el viento.
	Humo	Material producido por la combustión incompleta de sustancias orgánicas, generalmente de tamaño menos a 15 µm.
Tamaño de partícula	Ultrafinas (0,01-0,1 µm)	Producto de la condensación de gases sobresaturados, tales como SO ₂ , NH ₃ y NO _x y directamente emitidas en proceso de combustión
	Finas (0,1- 2,5 µm)	Compuestas generalmente por sulfatos y nitratos de amonio y carbono orgánico secundario; sedimentan lentamente y se transportan a largas distancias
	Partículas gruesas (3- 20 µm) y grandes (> 20 µm)	Partículas del suelo; contienen Al, Si, Fe, Mn, Ti, Ca y K. También se incluyen los restos vegetales y el material producido en actividades de construcción.

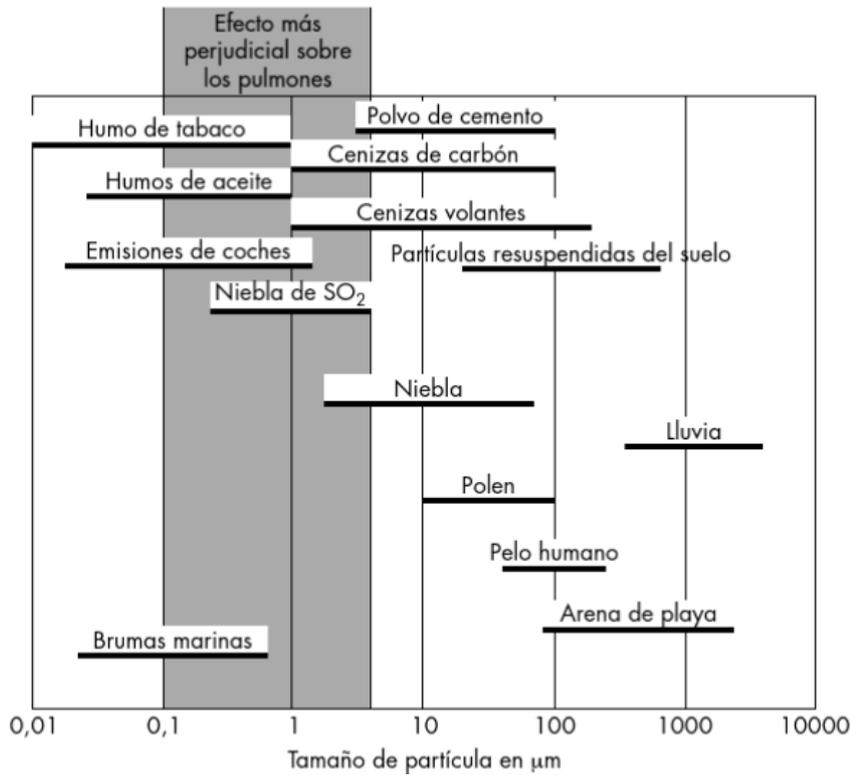
Fuente: Jorquera (2018)

Material particulado

Muñoz et al. (2018), señala que las partículas se clasifican según sus propiedades físicas, químicas o biológicas. Las propiedades físicas consideran el tamaño, el modo de formación y sedimentación y las propiedades ópticas, las propiedades químicas se refieren principalmente a sus componentes orgánicos e inorgánicos, y las propiedades biológicas se refieren a la probabilidad de ser clasificados como bacterias, virus, esporas y polen. En la Figura 2 se observa el tamaño de partículas.

¹ COV compuestos orgánicos volátiles, tales como vapores de combustibles, solventes industriales, comerciales y residenciales, etcétera.

Figura 2. *Tamaño de algunos tipos de partículas*



Fuente: Jorquera (2018).

Según Jorquera (2018), las partículas en el aire son una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas de varios tamaños. Las partículas más pequeñas incluyen partículas de combustión (carbono elemental y carbono orgánico) formadas por la condensación de vapores metálicos y orgánicos, así como partículas secundarias formadas por la neutralización de gases ácidos (ácido sulfúrico y ácido nítrico, respectivamente, provenientes de la oxidación de SOX y emisiones de NOX) en forma de sulfatos y nitratos inorgánicos.

Las partículas, principalmente madera o combustibles como el diésel, se liberan directamente al aire o pueden resultar de reacciones fotoquímicas con contaminantes del aire y pueden causar muchos problemas de salud. Sin embargo, lo más importante es que está relacionado con las propiedades de estas partículas

cuando ingresan al cuerpo humano. Al ser pequeños pueden filtrarse fácilmente a través del sistema respiratorio. (Jorquera, 2018)

Según Gallego et al. (2012) considera que las partículas son un grupo de sustancias sólidas y líquidas suspendidas en la atmósfera o, en el caso de moléculas grandes, que se depositan lentamente en las superficies. También afirma que las partículas suspendidas ultrafinas y las partículas suspendidas finas son partículas con un diámetro inferior a 1 mm o inferior a 2,5 micrómetros, respectivamente. Las partículas finas en suspensión, conocidas como PM_{2.5}, se consideran más perjudiciales para la salud humana porque pueden ingresar directamente a los alvéolos pulmonares y afectar negativamente al sistema respiratorio. Al ser tan pequeños, permanecen suspendidos en la atmósfera durante largos periodos de tiempo y pueden ser transportados a miles de kilómetros desde su punto de origen.

Efectos del material particulado

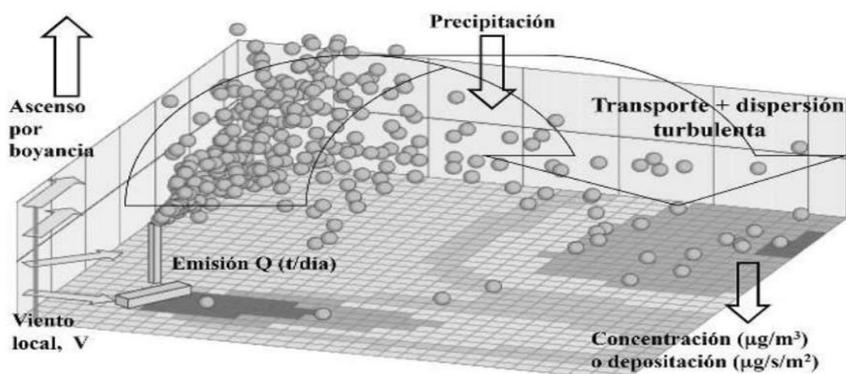
Según Jorquera (2018) afirma que las partículas finas causan numerosos efectos negativos en la salud humana, en el clima, en los materiales, en los vegetales y en la visibilidad. Efectos en el clima, afecta debido a la capacidad de absorber y diseminar la radiación solar, afectando el balance de energía radioactiva de la tierra. Efectos en los materiales, es causante en las ciudades del ennegrecimiento de los edificios y monumentos. En los vegetales, se afecta al presentarse partículas finas. Estas recubren las hojas tapando las estomas, lo que produce una disminución en la absorción de anhídrido carbónico y la reducción de la luz recibida; por lo tanto, detiene del crecimiento de las plantas y el bajo rendimiento de las cosechas.

Dispersión de contaminantes

Muñoz et al. (2018), señala que el movimiento del aire en la atmósfera puede ser horizontal o vertical. El movimiento horizontal del aire está controlado principalmente por el viento predominante; cuanto mayor es la velocidad del viento, más fácil es que los contaminantes se dispersen. A bajas velocidades del viento, el factor que afecta la dispersión de contaminantes es el movimiento vertical del aire, que se ve afectado por los cambios de temperatura con la altura.

Jorquera (2018) plantea que los contaminantes se eliminan de la atmósfera mediante procesos de deposición como la sedimentación gravitacional, la interacción con objetos de la superficie como plantas y edificios o el lavado por la lluvia (Figura 3). Estos procesos están claramente modelados en el caso de las partículas, donde se muestra cómo construir un modelo aproximado de la relación de concentración de emisión de partículas.

Figura 3. Representación gráfica del proceso de dispersión atmosférica



Fuente: Jorquera (2018)

Viento

Según Cucó (2017), el viento se define como el movimiento de masas de aire provocado por las diferencias de presión atmosférica y la fuerza de Coriolis provocada por la rotación de la Tierra sobre su eje.

Zúñiga y Crespo (2015), establece que la detección del viento es una cantidad vectorial y se debe medir su dirección y magnitud para caracterizarla. El viento en superficie se mide a una altura estándar de 10 metros utilizando un anemómetro para medir la velocidad y un anemómetro para medir la dirección. La velocidad del viento, también llamada intensidad o fuerza, se mide en metros por segundo en el SI, pero normalmente se mide en nudos. Un nudo equivale a una milla náutica por hora, lo que corresponde a $1850 \text{ m/h} = 0,5 \text{ m/s}$. De igual forma, considera el viento como un movimiento horizontal del aire con respecto a la superficie terrestre, es una cantidad vectorial, y se debe medir su dirección para describirla. La dirección la indica la brújula y el viento lleva el nombre del punto cardinal desde el que sopla. Por lo tanto, un viento del norte se entiende como un viento dirigido de norte a sur. La dirección se indica en el diagrama de la rosa de los vientos y se llama viento y el punto base desde el que sopla. Por tanto, se entiende por viento del norte un viento dirigido de norte a sur.

Cucó (2017), señala que la velocidad del viento se suele utilizar como unidad de medida, m/s. Los valores de la velocidad del viento se suelen encontrar en nudos.

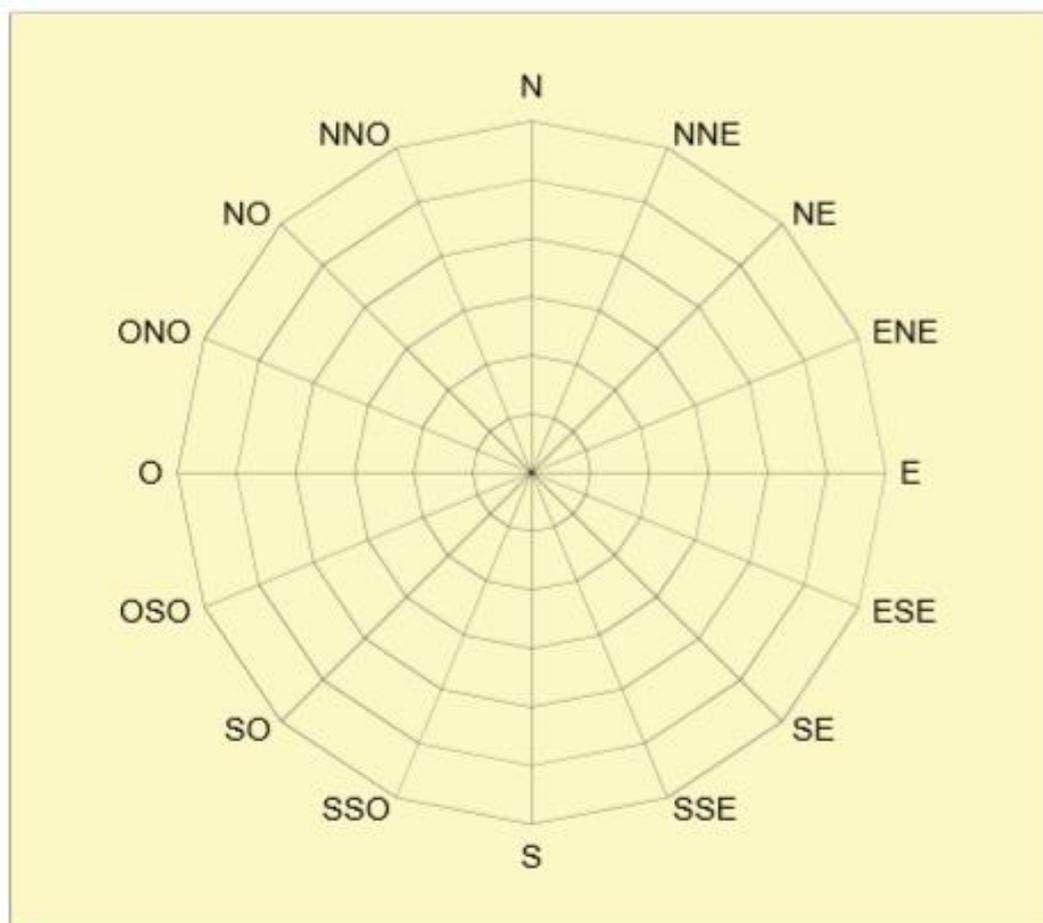
El registro de medición: Data-Loger

Los anemómetros y las veletas son dispositivos que miden dos variables esenciales del viento: la velocidad y la dirección del viento. Estos valores son registrados mediante registradores de datos, que se pueden encontrar en varios modelos y marcas. Cucó (2017).

Rosa de vientos

Los registros de la velocidad y dirección del viento permiten comprender las características locales del viento en cada lugar. Cucó (2017).

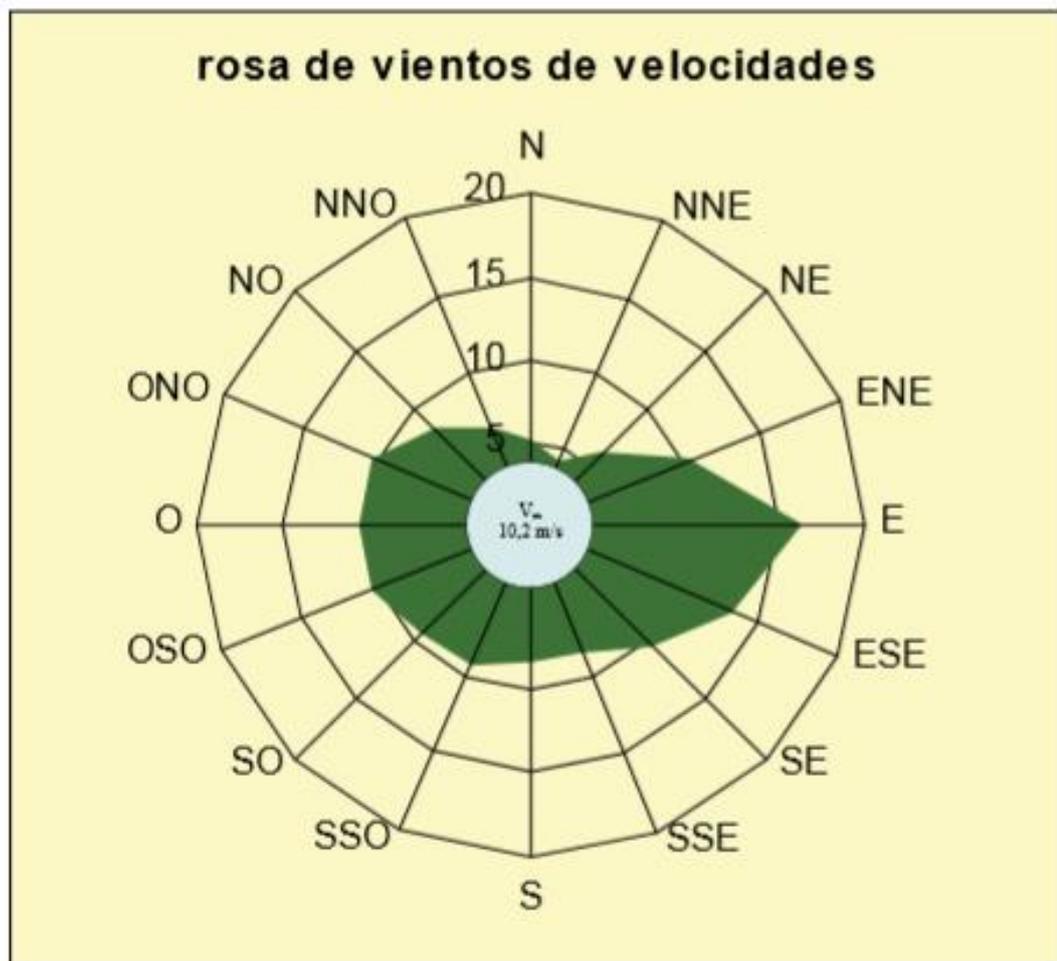
Figura 4. Rosa de vientos



Fuente: Cucó (2017)

Según Cucó (2017), el viento se muestra en forma de diagrama de rosa de los vientos es una velocidad que representa la velocidad promedio en cada dirección. En figura siguiente, que corresponde a la misma posición que la imagen anterior, se puede observar que cuando el viento sopla del este (15% de probabilidad de ocurrir), su velocidad promedio del viento es de 16 m/s; su escala para medir la velocidad del viento utilice la escala de viento de Beaufort.

Figura 5. Rosa de vientos de velocidad

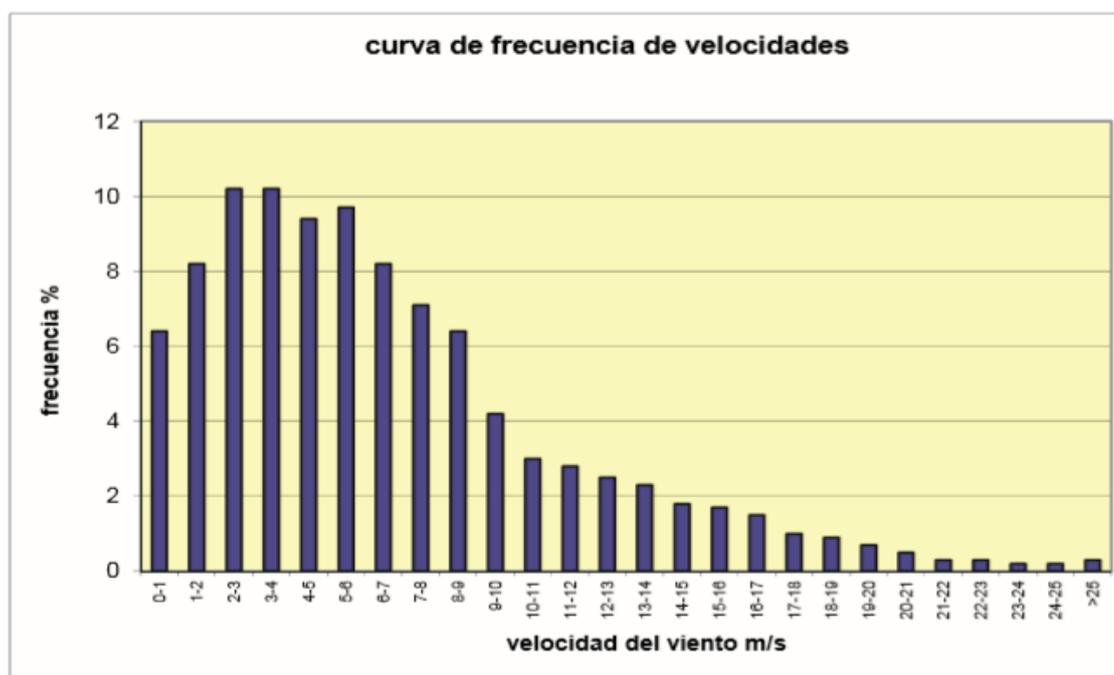


Fuente: Cucó (2017)

Distribución de frecuencias

Para Cucó (2017), la distribución de frecuencia de la velocidad representa el valor de la velocidad independientemente de su dirección. Las curvas de distribución de frecuencia generalmente se representan como gráficos de barras y se calculan utilizando tablas como se muestra a continuación.

Figura 6. Curva de frecuencia de velocidades



Fuente: Cucó (2017)

Tabla 2. Escala de medición Beaufort

Escala	Nombre	Velocidad del viento m/s	Velocidad del viento km/h	Efectos del viento en alta mar	observaciones en la tierra
0	Calma	0 a 0.2	Menos de 1	Mar como un espejo	El humo asciende verticalmente
1	Ventolina (aire ligero)	0.3 a 1.5	1 a 5	Pequeñas olas, sin espuma	La dirección del viento se reconoce por el humo, pero no por las banderas.
2	Flojito	1.6 a 3.3	6 a 11	Pequeñas olas con crestas de apariencia	Se mueven las hojas de los árboles.

	(brisa ligera)			vítrea, sin romperse	
3	Flojo (brisa suave)	3.4 a 5.4	12 a 19	Pequeñas olas con crestas rompientes, espuma de aspecto vítreo que surge de forma aislada	Las hojas de los árboles se agitan constantemente.
4	Bonancible (brisa moderada)	5.5 a 7.9	20 a 28	Pequeñas olas creciendo	Se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	Fresquito (brisa moderada)	8 a 10.7	29 a 38	Olas medianas alargadas	Se mueven los árboles pequeños.
6	Fresco (brisa fuerte)	10.8 a 13.8	39 a 49	Se forman olas grandes y crestas de espuma blanca	Se mueven las ramas grandes; los paraguas se usan con dificultad.
7	Frescachón (viento fuerte)	13.9 a 17.1	50 a 61	Mar gruesa, con espuma blanca procedente de las olas arrastradas por el viento.	Es difícil caminar contra el viento; todos los árboles están en movimiento.
8	Temporal (viento duro)	17.2 a 20.7	62 a 74	Olas de altura media y mas alargadas; en el borde superior de las mismas ya se perciben torbellinos.	Es difícil caminar contra el viento; todos los árboles, se rompen las ramas delgadas de los arboles
9	Temporal fuerte (viento muy duro)	20. 8 a 24.4	75 a 88	Grandes Olas; las crestas de las olas rompen reduciéndose la visibilidad con las salpicaduras	Se derriban chimeneas y se levantas las tejas.
10	Temporal duro	24.5 a 28.4	89 a 102	Olas muy grandes con largas crestas; la espuma se aglomera en grandes bancos; visibilidad reducida.	La fuerza del viento arranca los árboles.
11	Temporal muy duro (Borrasca)	28.5 a 32.6	103 a 117	Olas de altura excepcional; mar cubierta de espuma y visibilidad reducida	Daños abundantes en construcciones, tejados y árboles.
12	Temporal huracanado (Huracán)	> 32.7	> 118	Aire lleno de espuma, salpicaduras, mar cubierto de espuma; visibilidad muy reducida.	Destrucciones abundantes, daños y lluvias.

Fuente: Cucó (2017)

2.3 Marco legal.

Constitución política del Perú

El artículo 2, inciso 22 instituye que toda persona tiene derecho a un medio ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida.

En ese contexto, debemos precisar que el medio ambiente es un bien o valor, cuya protección y promoción debe garantizar nuestra sociedad al más alto nivel legal. Esto significa que la protección ambiental en la práctica es una obligación y un derecho que informa e implementa los demás actos regulatorios, y se debe desarrollar un conjunto de reglas que garanticen estos principios. (Derecho Ambiental, 2010)

Ley General del Ambiente (LGA)

El artículo 9 de la LGA establece que la política ambiental nacional tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de la población y el desarrollo sostenible del país, utilizando los recursos de manera responsable y respetando los derechos fundamentales. Es necesario señalar que LGA ha otorgado a los ciudadanos varios derechos en materia ambiental. En ese contexto, debe existir un medio ambiente sano, equilibrado y suficiente para asegurar el desarrollo multifacético de la vida; por otro lado, también tienen la responsabilidad de proteger las cuestiones medioambientales. Todos tenemos la responsabilidad de contribuir a una gestión y protección ambiental efectivas. En este sentido, entender el medio ambiente o las características del mismo como un derecho permite a cada uno elegir defenderlo y defenderlo frente a otros que lo atacan o generen riesgos graves. El artículo IV del título preliminar de la LGA establece que toda persona tiene derecho a emprender acciones rápidas, sencillas y eficaces contra las

autoridades administrativas y judiciales para proteger el medio ambiente y sus componentes y garantizar el debido cuidado de la salud pública, el medio ambiente y su protección. (Derecho Ambiental, 2010).

Considero importante señalar que el artículo 31 en el numeral 1, prescribe que los estándares de calidad ambiental (ECA) son medidas que determinan la concentración o volumen de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos en el aire, agua y suelo en las condiciones del cuerpo receptor, que no suponen un riesgo significativo para la salud humana y al ambiente.

Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

Mediante el D.S. 003-2017-MINAM se aprueban los estándares calidad del aire (ECA), que determinan los niveles de concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo que actúan como receptores y no suponen una amenaza para el medio ambiente.

Los ECA consta de diez parámetros, cuatro de los cuales son actualizados por el MINAM; Las partículas PM_{10} disminuyen de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 24 horas seguidas, y se refuerza el control de las partículas en el aire; El valor de $PM_{2,5}$ de 24 horas es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ determinado mediante la revisión de PM_{10} .

También se ha añadido un nuevo valor anual de $PM_{2,5}$ de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 3. Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Parámetros	Período	Valor (µg /m ³)	Criterios de Evaluación	Método de Análisis
Benceno (C₆H₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM_{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación Inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación Inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)	24 horas	2	No exceder	Espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	10000	Media aritmética móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método Automático)
	1 hora	30000	NE más de 1 vez/año	
Ozono (O₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
	Mensual	1,5	NE más de 4 veces/año	
Plomo (Pb) en PM₁₀	Anual	0,5	Media Aritmética de los valores mensuales	Método para PM₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (método automático)

Fuente: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad ambiental de Aire (N°003- 2017-MINAM).

2.4 Términos básicos.

Material particulado: Son partículas finas suspendidas en el aire y vienen en muchos tamaños y formas diferentes. La exposición prolongada a altas concentraciones de partículas puede causar efectos respiratorios, cardiovasculares y otros efectos adversos para la salud.

PM₁₀: Se aplica a partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micras. Estas partículas son lo suficientemente pequeñas como para ser inhaladas hacia el tracto respiratorio.

PM_{2,5}: Se trata de partículas más pequeñas con un diámetro aerodinámico de 2,5 micrones o menos. Las partículas PM_{2.5} son pequeñas, pueden penetrar más profundamente en los pulmones y tener un impacto más significativo en la salud respiratoria.

Viento: Es el movimiento del aire que se produce en la atmósfera por causas naturales. Por tanto, el viento es un fenómeno meteorológico provocado por el movimiento de rotación y traslación de la tierra.

Velocidad del viento: mide el dispositivo horizontal de la corriente del aire en un determinado momento y tiempo. Las unidades están expresadas en metros por segundo (m/s). La velocidad del viento puede variar ampliamente según la ubicación geográfica, la altitud y las condiciones meteorológicas.

Dirección del viento: Es la orientación desde donde sopla el viento y se expresa en grados desde el norte geográfico.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación de la investigación

El estudio fue desarrollado en la ciudad de Cajamarca, los monitoreos del material particulado fueron ejecutados en el centro de observación de Calidad de Aire “La Colmena” de propiedad de la Municipalidad Provincial de Cajamarca, georreferenciados en las coordenadas 7°09'23" S y 78°30'30" W, situados en el Jr. Mariano Melgar N° 331, del Barrio La Colmena. Véase la figura 7 para apreciar la ubicación.

Los monitoreos de velocidad y dirección del viento fueron realizados en el centro de observación “Augusto Weberbauer” de propiedad del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, georreferenciados en las coordenadas 7°10'03" S y 78°29'35" W, ubicados en la Universidad Nacional de Cajamarca. En la figura 8 se aprecia la estación meteorológica.

Figura 7. Ubicación de la estación de Calidad del Aire - Cajamarca

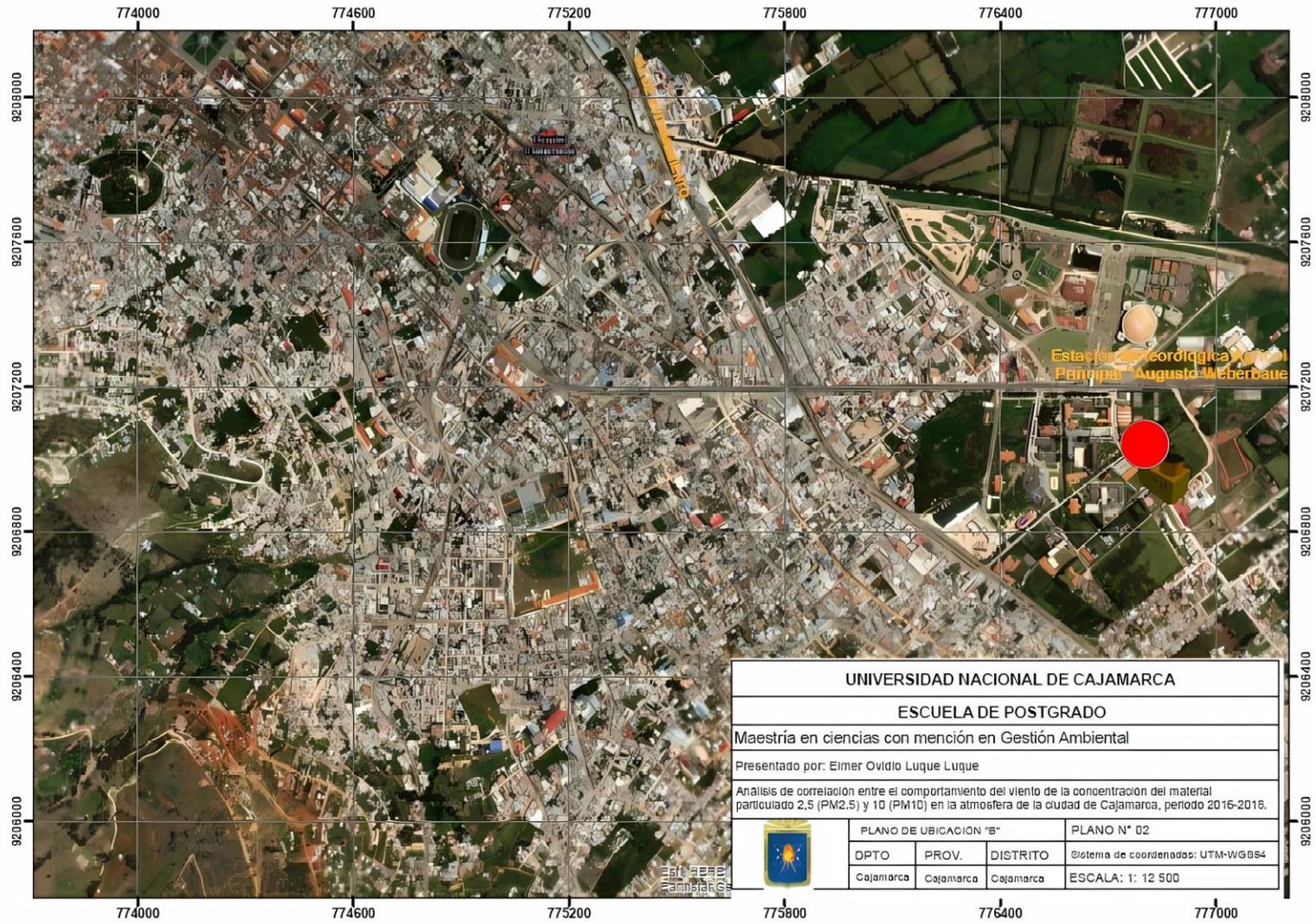
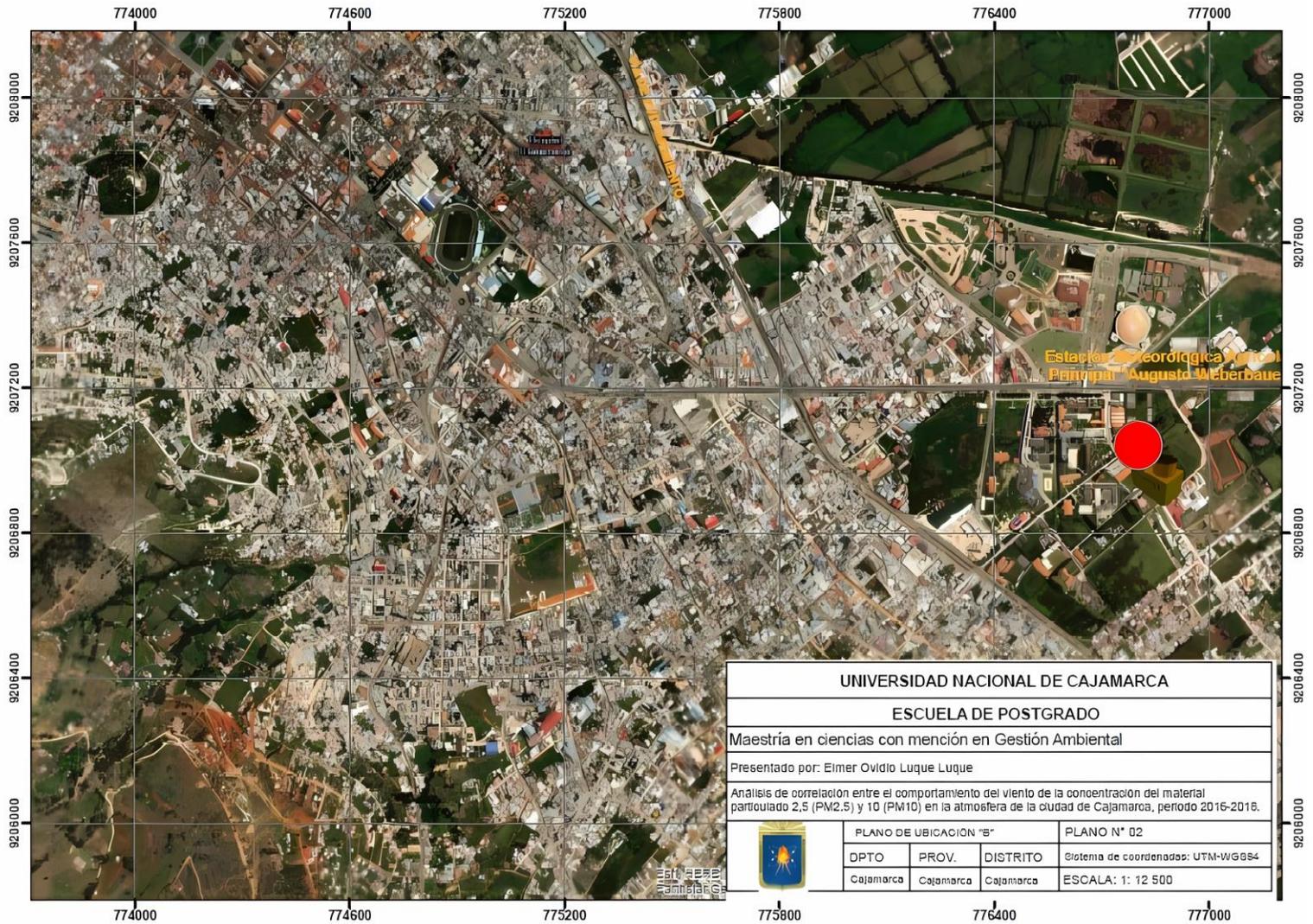


Figura 8. Ubicación de la estación meteorológica “Augusto Weberbauer”



3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Tipo de la investigación

La investigación es correlacional, ya que estima el nivel de relación entre variables.

(Sampieri, 2014)

No experimental, porque no se manipula las variables de investigación. (Sampieri, 2014)

3.2.2 Parámetros de estudio

Analizaremos las partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} , la velocidad y dirección del viento.

3.3 Población, muestra, unidad de análisis y unidad de observación

Población: Está conformado por las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, la velocidad y la orientación del viento de la ciudad de Cajamarca.

Muestra: Constituida por 2 estaciones de monitoreo.

Unidad de Análisis: Para el presente estudio la unidad de análisis es el comportamiento del viento y las partículas finas.

3.4 Equipos y materiales

Equipos:

Detector de polvo de alto volumen

Balanza electrónica con componentes electrónicos, cuyos resultados muestran en pantalla digital.

Anemómetro con copas giratorias, diseñado para funcionar en condiciones extremas y resistentes a las condiciones climáticas.

Veleta anemométrica empleada para obtener la orientación del viento.

Materiales:

Filtros de Aire

Guantes

Libreta de campo

Cinta de embalaje

Porta filtro

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**3.5.1 Técnicas de recolección de datos**

Se empleó la observación y medición.

Técnica de observación, la observación directa permite determinar una indicación cualitativa de la presencia de material particulado. Para obtener mediciones precisas, el equipo debe contar con certificación de calibración (ver anexo 4), así como sensores de calidad del aire, anemómetros de partículas y sistemas de muestreo adecuados.

Técnica de medición, para evaluar las partículas se empleó filtros, por donde debe pasar el aire. Posteriormente, esos filtros son enviados al laboratorio ENVIROLAB para el análisis del material particulado.

Para las características del viento se empleó el anemómetro de copas, el que consiste en tres o cuatro copas que giran en respuesta a la velocidad del viento. Se determina midiendo la velocidad de rotación de las copas y finalmente empleamos la veleta, que consiste en una flecha o una cazoleta que apunta en la orientación del viento.

3.5.2 Procedimiento de recolección de datos

Para el material particulado, se realizó en el centro de observación “La Colmena”, en la figura 30 se aprecia el muestreador de gravedad Hi Vol equipado con cabezales PM₁₀ y PM_{2.5}, Thermo Fisher Scientific con serie Venturi P5679 modelo N° G10557PM10-1, equipo utilizado en la monitorización y muestreo del aire para recoger partículas que se encuentran suspendidas en el aire, como polvo, aerosoles y contaminantes atmosféricos. El equipo succiona partículas mediante un filtro por un lapso de 24 horas. Los filtros son pesados antes y después para establecer el incremento del peso. En la figura 31 se observa el colocado de filtro. Una vez que las partículas se han recogido en el filtro, estas son sometidas a análisis de laboratorio para determinar su composición, tamaño, concentración y otros parámetros relevantes. Posteriormente, las muestras recolectadas se enviaron al laboratorio ENVIROLAB para establecer la concentración y composición de partículas finas en el aire, empleándose espectroscopia, microscopía, técnicas químicas y físicas para caracterizar las partículas.

Para la orientación y velocidad del viento, la veleta descansa sobre el imán que corresponde a una dirección, y la plumilla del registrador señala la orientación del viento en la banda de papel. Véase la figura 32 para ubicar el centro de observación Augusto Weberbauer.

Para determinar la velocidad, se debe registrar cuanto tiempo es necesario para recorrer una determinada distancia en un período de tiempo.

Las tres semiesferas colocadas en el molinete horizontal giran alrededor de un eje vertical. A medida que el eje gira bajo la influencia del viento, mueve un contador que registra la distancia recorrida. Estas pueden variar según la ubicación y la altura del equipo.

3.5.3 Procedimiento de análisis de datos

Para el material particulado, una vez obtenidas las muestras se empaquetan en sobres y luego en cartones protegidas del agua para enviarlas al laboratorio ENVIROLAB SAC para el análisis correspondiente. Una vez analizadas, el laboratorio envía los resultados adjuntando el informe de ensayo debidamente codificado (adjunto en anexos). Con los resultados obtenidos ingresamos a una hoja de cálculo para elaborar grafico de barras y la interpretación correspondiente.

Para la orientación y velocidad del viento, con la información registrada en el centro de observación, se elabora una rosa de los vientos empleando el software WRPLOT VIEW; los datos necesarios para su elaboración fueron: año, mes, día, hora, dirección (grados) y velocidad del viento (m/s) en ese respectivo orden; además, se debe registrar la altitud, latitud, longitud y zona horaria de la estación meteorológica. La rosa de viento obtenida en el software permite identificar los puntos cardinales de donde proviene el viento y la intensidad del viento. Al ingresar las coordenadas geográficas en el software WORPLOT VIEW y al graficar la rosa de los vientos, ésta establece la orientación recurrente del viento y la dispersión de las partículas finas observándose en el Google Earth.

CAPÍTULO IV

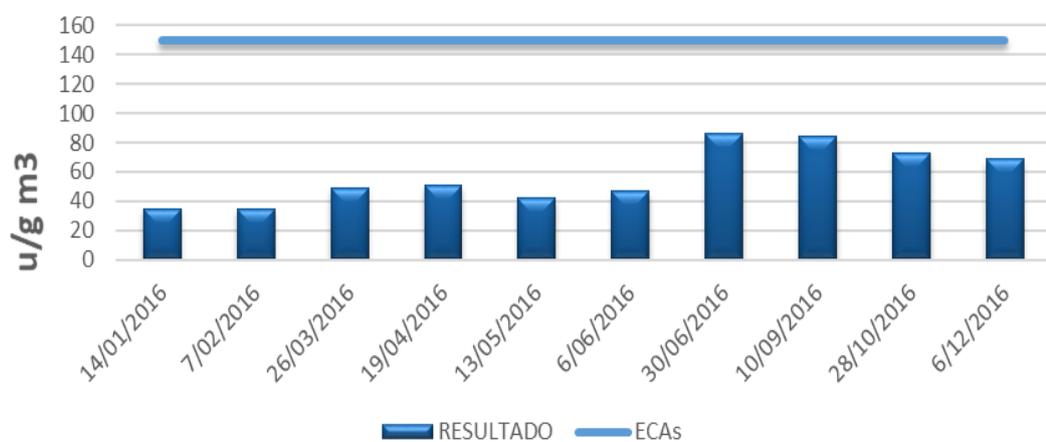
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración de material particulado 10 en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca.

4.1.1 Concentración de material particulado 10 en el año 2016

La figura 9, nos permite evidenciar el promedio de partículas finas para el año 2016 en la zona de estudio fue de $57.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor promedio se mantiene significativamente por debajo del límite establecido de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se observa que los meses de junio y setiembre muestran tendencias a incrementar sus concentraciones de material particulado, lo que podría requerir una vigilancia continua y medidas para mantener la calidad del aire en niveles aceptables. Esto indica que, durante estos meses específicos, se afecta la calidad del aire y, en algunos casos, acercarse a los límites permitidos por los estándares ambientales.

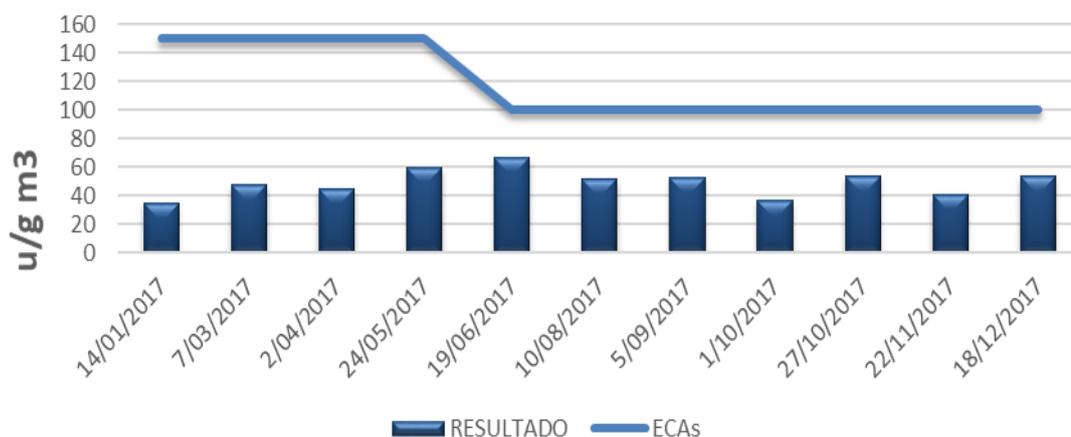
Figura 9. Concentración de material particulado PM_{10} del año 2016



4.1.2 Concentración de material particulado 10 en el año 2017

De acuerdo con la figura 10 para el año 2017, se registraron un total de 11 monitoreos. Sin embargo, no se efectuaron monitoreos en febrero y julio. Es necesario precisar que en octubre se realizaron dos monitoreos. Según los nuevos estándares establecidos a partir de junio de 2017 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), los reportes de los análisis cumplen con los patrones de calidad ambiental. El promedio de concentración de partículas finas para el año 2017 fue de $53.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se aprecia que en mayo y junio presentan tendencias a incrementar sus concentraciones de material particulado. Esto podría indicar que, durante estos meses específicos, se afecta notablemente la calidad del aire y acercarse a los límites permitidos por los nuevos estándares ambientales.

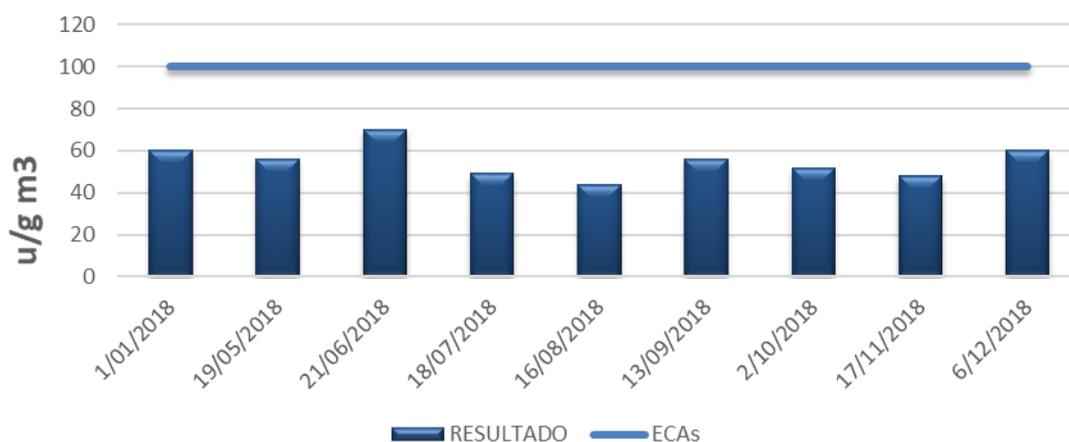
Figura 10. Concentración de material particulado PM_{10} del año 2017



4.1.3 Concentración de material particulado 10 en el año 2018

En la figura 11, los resultados indican que, en general, se mantiene dentro de los términos legales determinados por el D.S. N° 003-2017-MINAM. El promedio de $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ está por debajo del límite legal, siendo favorable para la calidad del aire. Aunque, se observa que en junio registró mayor concentración, lo que sugiere que este mes podría requerir una vigilancia especial y medidas adecuadas para conservar la calidad del aire.

Figura 11. Concentración de material particulado PM_{10} del año 2018



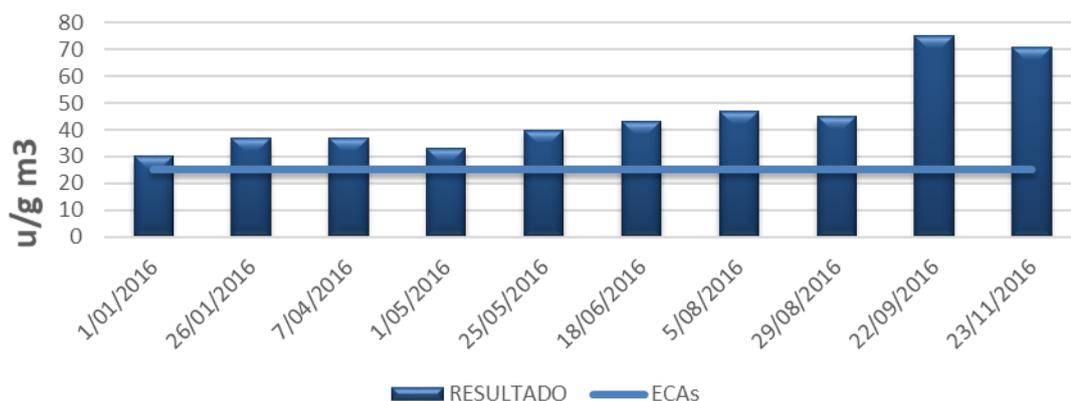
4.2 Concentración de material particulado 2.5 en la atmosfera de la ciudad de Cajamarca.

4.2.1 Concentración de material particulado 2.5 en el año 2016

Según la figura 12 durante el periodo 2016, se llevaron a cabo un total de 10 muestreos partículas finas. Las concentraciones de material particulado superaron los parámetros establecidos en la normatividad, que es $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El promedio de emisiones particuladas fue de $45.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el tamaño de las partículas las hace 100% respirables, lo que quiere decir que ingresa a los pulmones con facilidad

hasta depositarse en los alveolos pulmonares. Esto tiene el potencial de generar enfermedades al sistema respiratorio. Las tendencias a incrementar son los meses de setiembre y noviembre, esto es un indicador para adoptar medidas correctivas y reducir los impactos durante esos periodos.

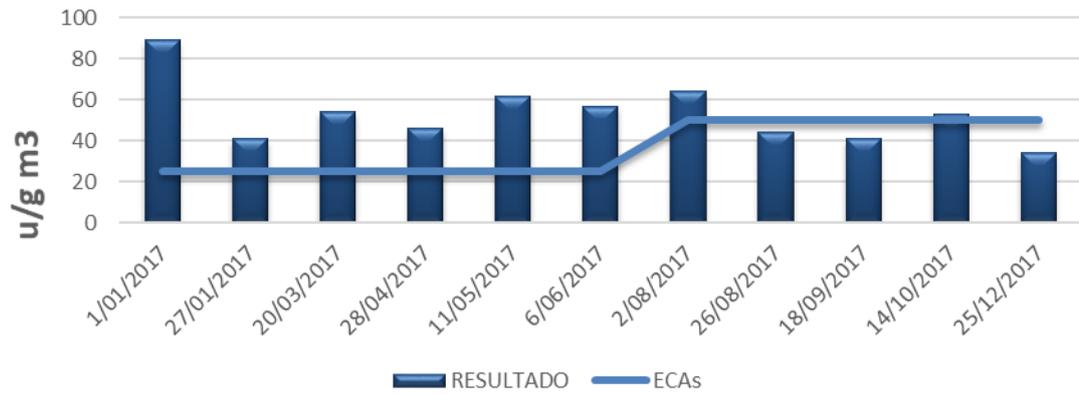
Figura 12. Concentración de material particulado PM_{2.5} del año 2016



4.2.2 Concentración de material particulado 2.5 en el año 2017

De acuerdo con la figura 13 durante el año 2017, se realizaron un total de 11 muestreos de partículas atmosféricas. Según la interpretación de los resultados, las emisiones de partículas superaron los previstos en la normativa vigente ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) como los estándares actualizados ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a partir de junio de 2017, el promedio partículas finas fue $53.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Observándose que los meses de enero y octubre presentan tendencias a acrecentar las emisiones de material particulado, estas tendencias destacan efectos severos sobre el sistema respiratorio dado que las partículas son pequeñas y ligeras, lo que les permite permanecer más tiempo en el ambiente y ser transportadas por el viento a grandes distancias. Esto puede afectar el sistema respiratorio de las personas, dado que son partículas diminutas y causar problemas de salud respiratoria.

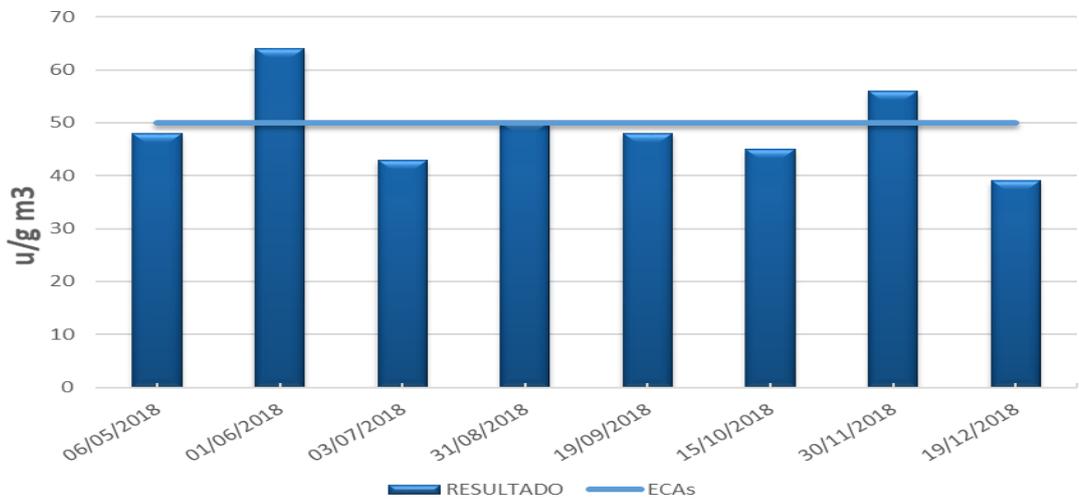
Figura 13. Concentración de material particulado PM_{2.5} del año 2017



4.2.3 Concentración de material particulado 2.5 en el año 2018

En la figura 14 durante el periodo 2018, se llevaron a cabo un total de 8 monitoreos de emisiones de partículas. El promedio, en general fue de 49.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor promedio está dentro del límite legal de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de acuerdo con el D.S. N° 003-2017-MINAM., lo que indica que puede presentar problemas serios en la salud de las personas. Se observa que los meses de junio y noviembre presentan tendencias al alza de emisiones particulados. Esto indica la necesidad de tomar medidas correctivas durante esos meses específicos.

Figura 14. Concentración de material particulado PM_{2.5} del año 2018

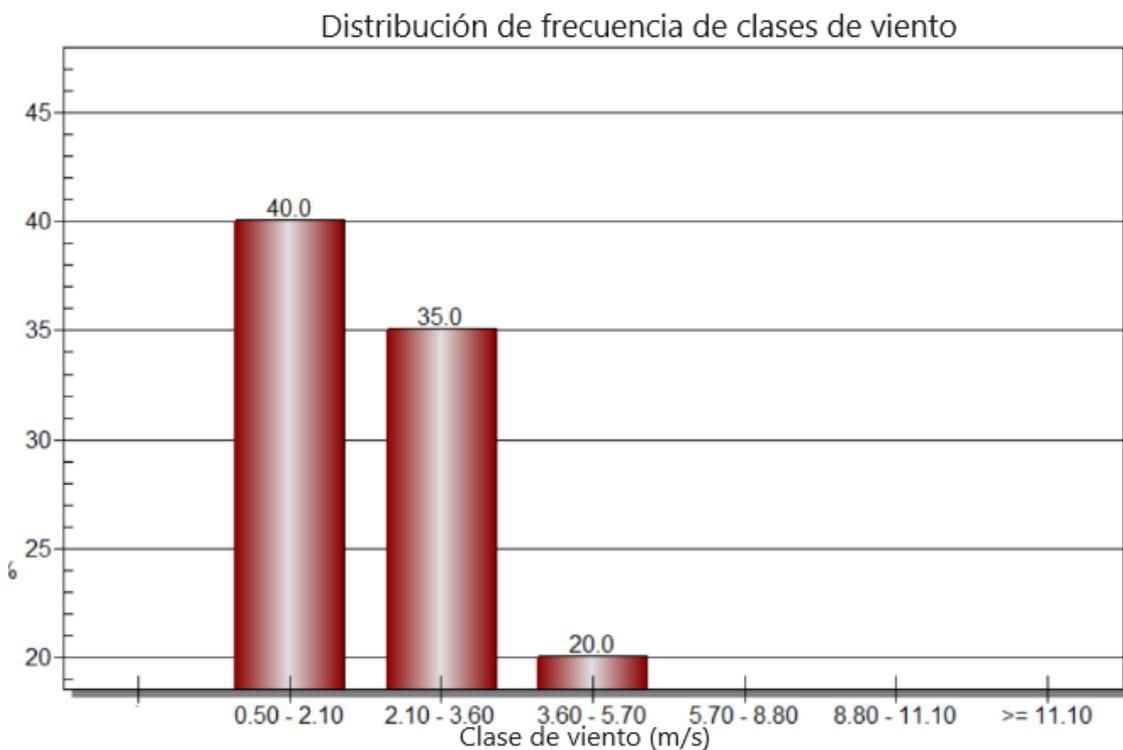


4.3 Correlación de la dirección y velocidad del viento con el material particulado 10 y 2.5 en la atmosfera de Cajamarca.

4.3.1 Dirección y velocidad del viento del año 2016

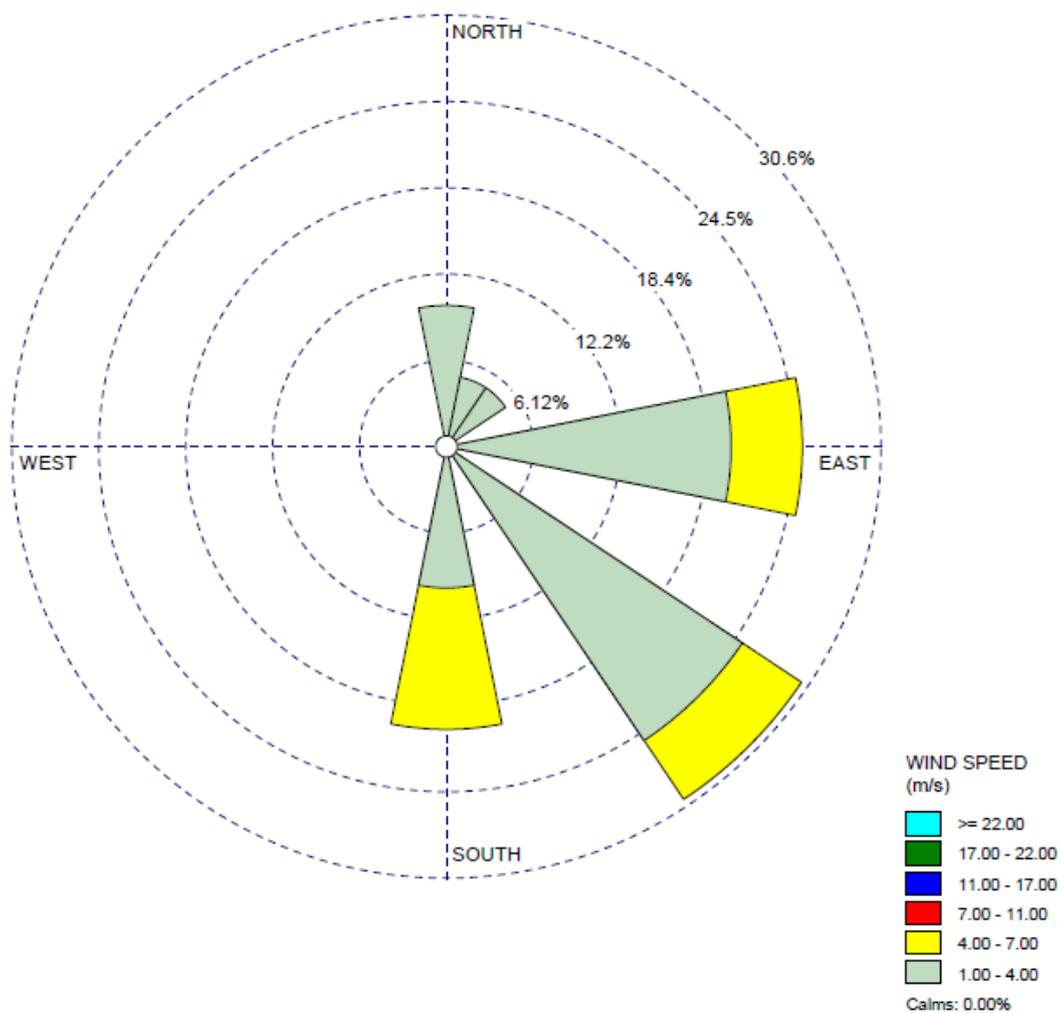
La figura 15 nos permite determinar que, durante el año 2016 en la ciudad de Cajamarca, las velocidades del viento en su mayoría se encontraron en el rango de 0.50 a 2.10 metros por segundo (m/s). Este rango de velocidades es típico de lo que se describe como nivel 2 en el nivel de Beaufort, denominado "flojito" o "brisa ligera" que generalmente se siente en la piel, pero no causa mayores inconvenientes. Puede mover hojas y ramas pequeñas, pero no afecta las actividades cotidianas. Es decir, el viento en la ciudad de Cajamarca durante ese año fue predominantemente suave y ligero.

Figura 15. Distribución de frecuencias de las clases de vientos en la ciudad de Cajamarca – 2016



En la figura 16 según la rosa de los vientos generada por WRPLOT VIEW, se evidencia que las corrientes de aire en la ciudad de Cajamarca provienen desde el sureste, lo que se representa como 135 grados en la brújula. La dirección del viento nos permite determinar los patrones climáticos y la disposición del aire. En este caso, la información indica que la ciudad de Cajamarca experimenta corrientes de aire que provienen desde el sureste, lo que puede tener implicaciones en términos de la dispersión de contaminantes, la climatología local y la dirección de las corrientes de aire dominantes en la ciudad.

Figura 16. Dirección de donde proceden los vientos en la ciudad de Cajamarca – 2016



De acuerdo con la figura 17 y 19, durante el periodo 2016 en la ciudad de Cajamarca, en promedio, los vientos predominantes se dirigieron hacia el Noroeste, lo que se representa como NW o 315° en la brújula. Los resultados indican que la dispersión del material particulado se produjo hacia el Hospital Simón Bolívar y la Institución Educativa Santa Teresita. Además, se menciona una mayor tendencia de dispersión hacia los barrios de San José y Chontapaccha. Esto indica que estas áreas específicas estuvieron más expuestas a emisiones de partículas en el periodo 2016 debido a la dirección del viento.

Figura 17. Dirección a donde se dirigen los vientos en la ciudad de Cajamarca – 2016

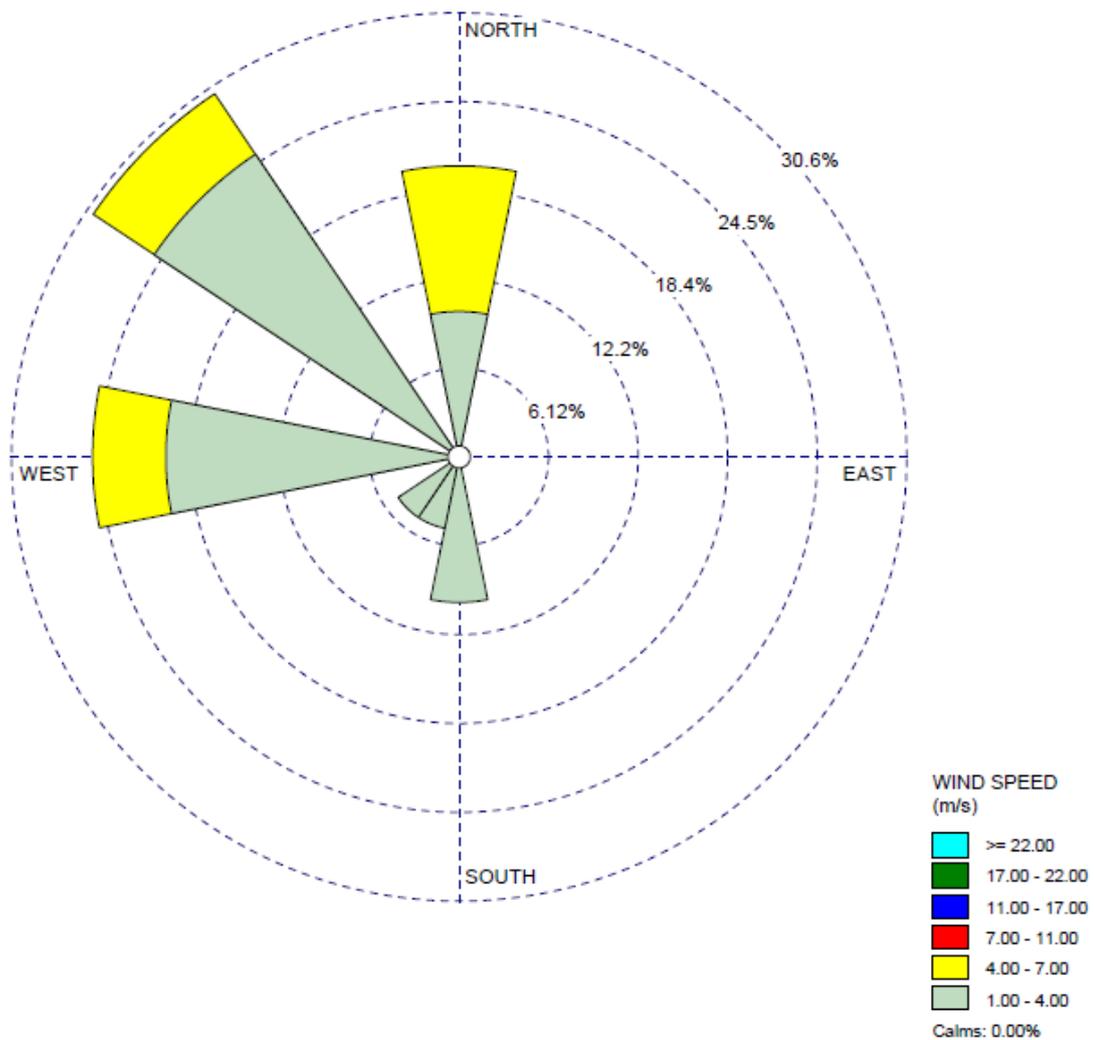


Figura 18. Dirección de donde procede el viento en la ciudad de Cajamarca - 2016

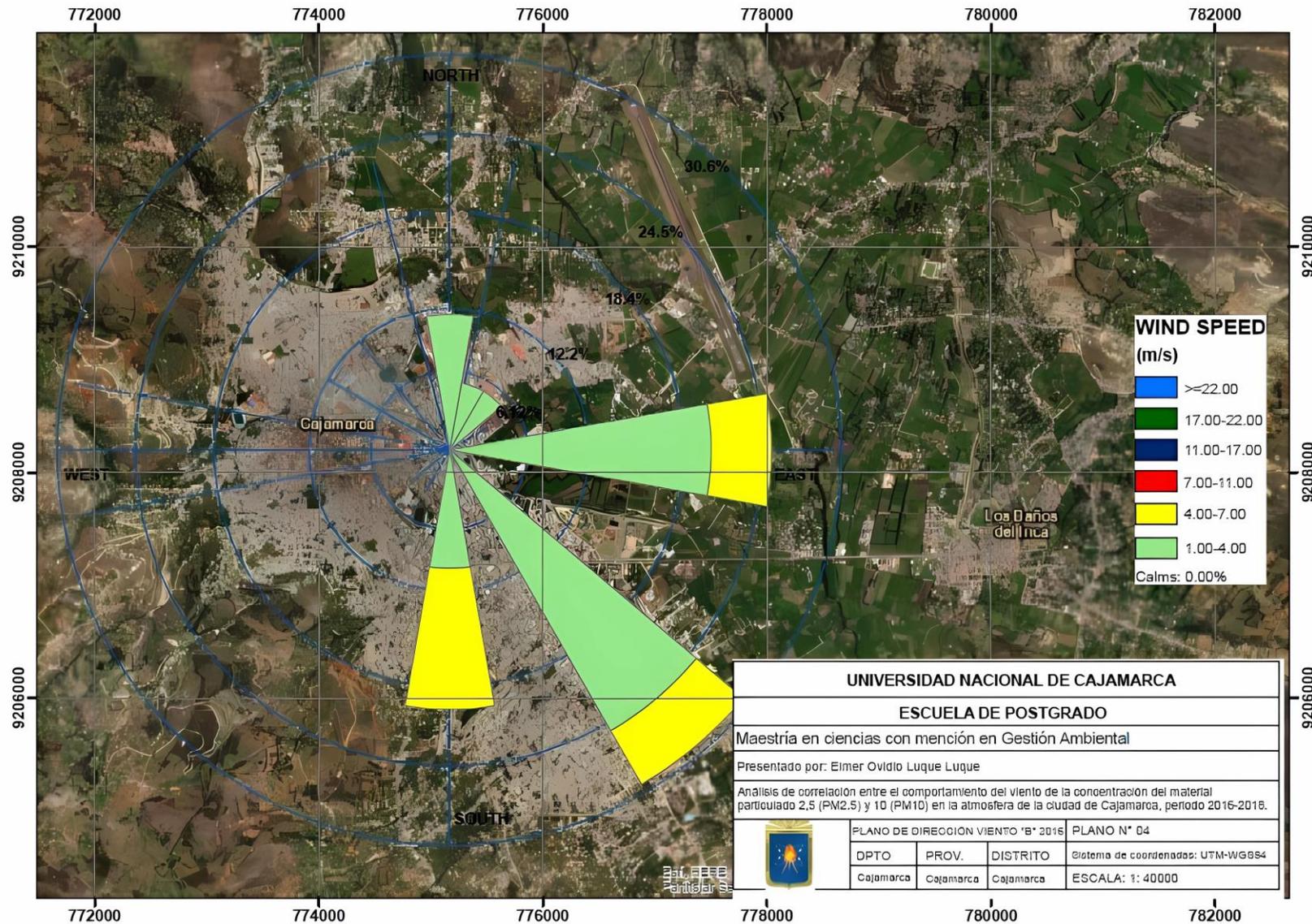
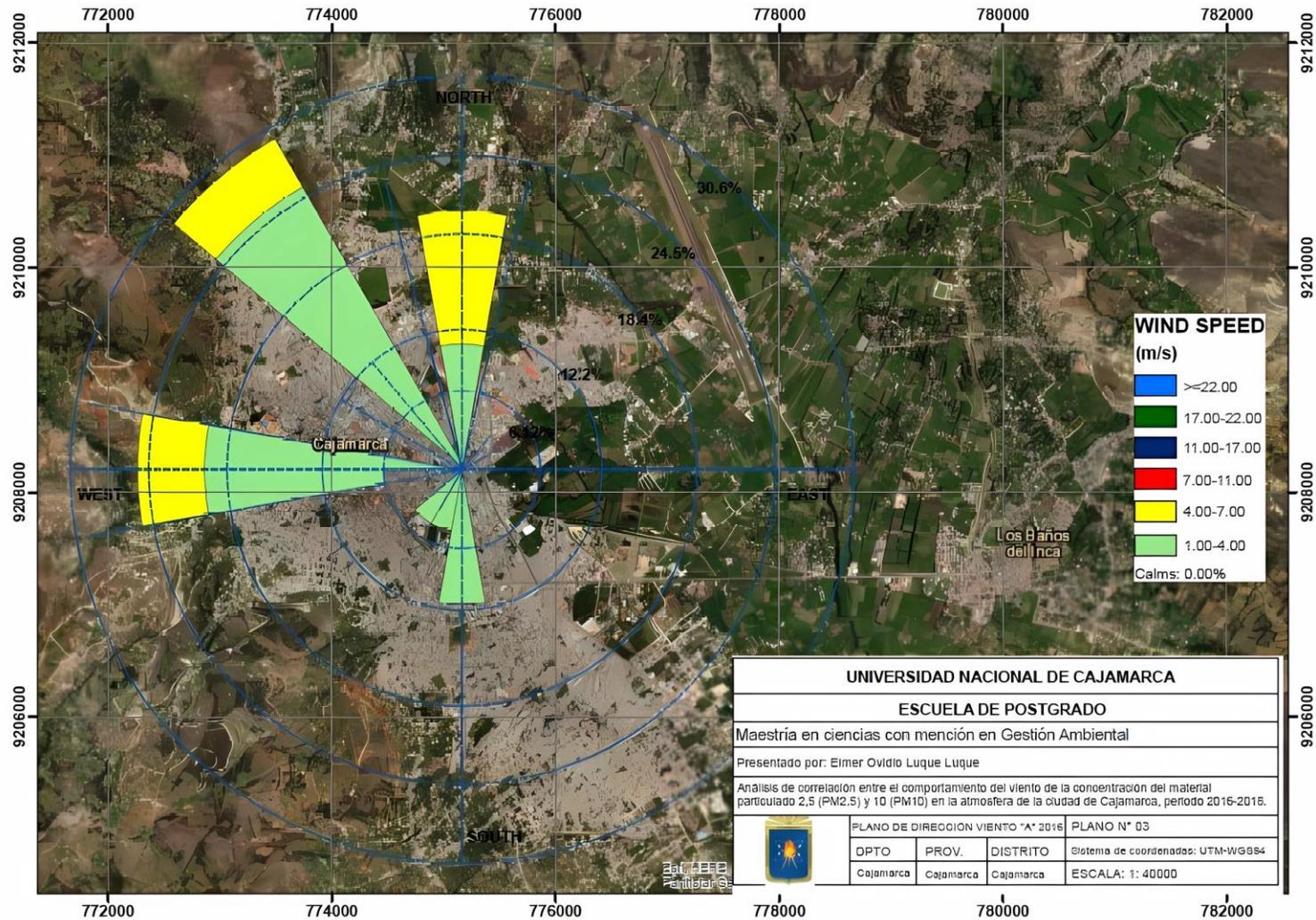


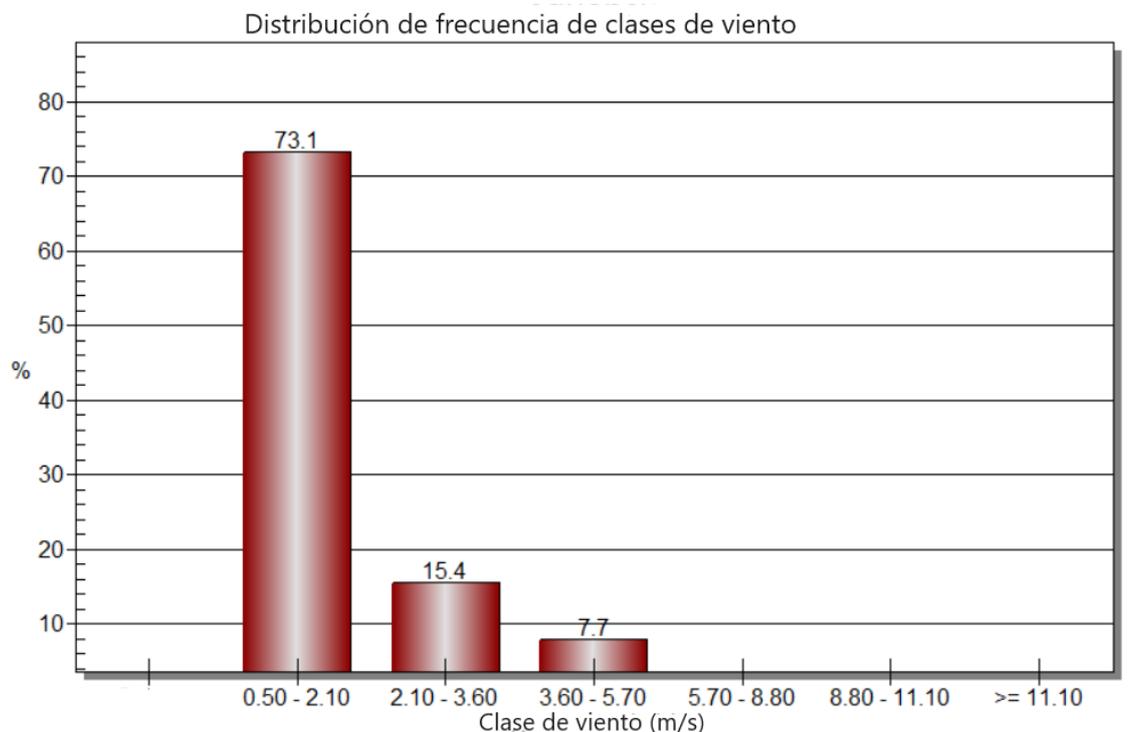
Figura 19. Dirección a donde se dirige el viento en la ciudad de Cajamarca - 2016



4.3.2 Dirección y velocidad del viento del año 2017

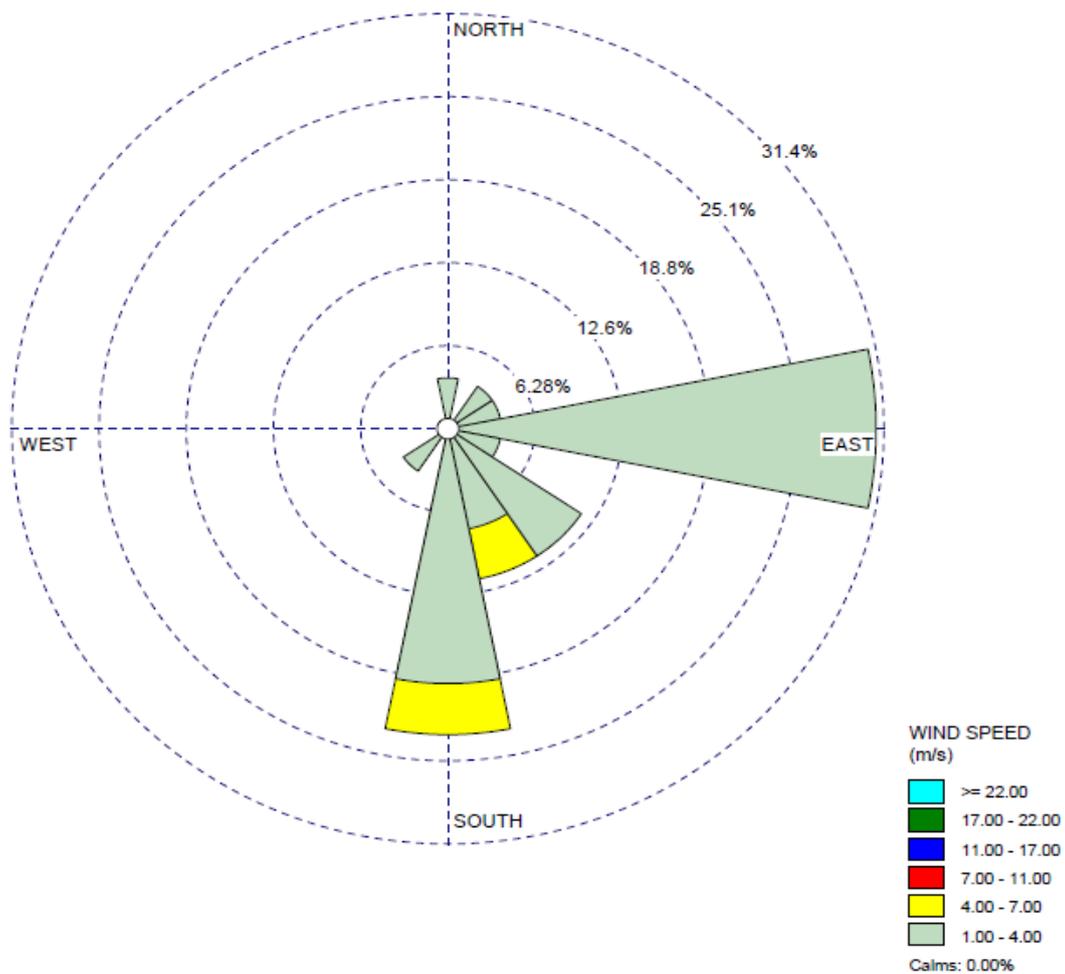
Del mismo modo, la figura 20 permite determinar que, en el periodo 2017 la velocidad media del viento se mantuvo en un rango que oscila entre 0.50 y 2.10 metros por segundo (m/s). Según esta información, el viento en la ciudad se encuentra en el nivel 2 en la escala de Beaufort, denominado "flojito" o "brisa ligera". Los datos indican cómo se distribuyen las velocidades del viento en la ciudad durante ese periodo. Aproximadamente un 73.1% de las velocidades del viento se encuentran en el rango de 0.50 a 2.10 m/s, lo que corresponde a "vientos fuertes". Un 15.4% de las velocidades se encuentran en el rango de 2.10 a 3.60 m/s, considerado como "vientos débiles". Además, un 7.7% de las velocidades están en el rango de 3.60 a 5.70 m/s, que se clasifica como "vientos moderados".

Figura 20. Distribución de frecuencia de las clases de los vientos en la ciudad de Cajamarca - 2017



De acuerdo con la figura 21 según la rosa de los vientos generada por WRPLOT VIEW, se observa que la dirección predominante procede desde el Este, lo que se representa como 90 grados (90°) en la brújula. La dirección del viento nos permite comprender los patrones climáticos, la calidad del aire y otros aspectos en una ciudad. En este caso, la información indica que la ciudad de Cajamarca experimenta corrientes de aire que provienen desde el Este, lo que puede tener implicaciones en términos de la dispersión de contaminantes, los patrones climáticos y la dirección predominante de la corriente de aire.

Figura 21. Dirección de dónde procede los vientos en la ciudad de Cajamarca -2017



De acuerdo con las figuras 22 y 23 en el 2017, se evidencia que los vientos con mayor velocidad se dirigen hacia el Oeste, lo que se representa como 270 grados en el cuadrante. Los resultados indican que las emisiones de partículas se dispersan hacia la iglesia Belén y la plaza de Armas de Cajamarca. Además, hay una mayor tendencia de dispersión hacia el mirador Santa Apolonia y el barrio Urubamba. Estas áreas específicas estuvieron mayor exposición a la concentración partículas finas debido a la dirección predominante de los vientos.

Figura 22. Dirección a donde se dirigen los vientos de la ciudad de Cajamarca – 2017

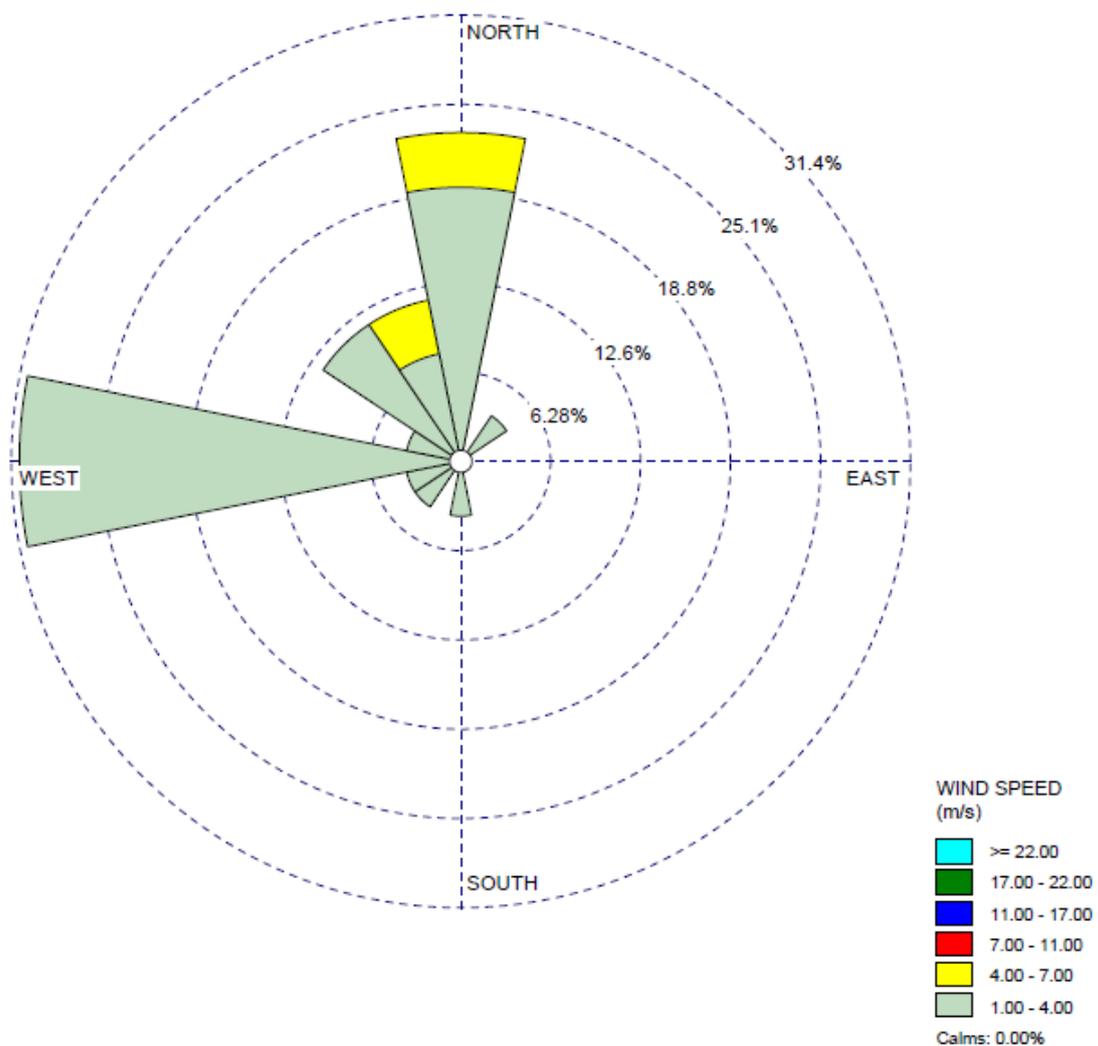


Figura 23. Dirección a donde se dirige el viento en la ciudad de Cajamarca en la ciudad de Cajamarca - 2017

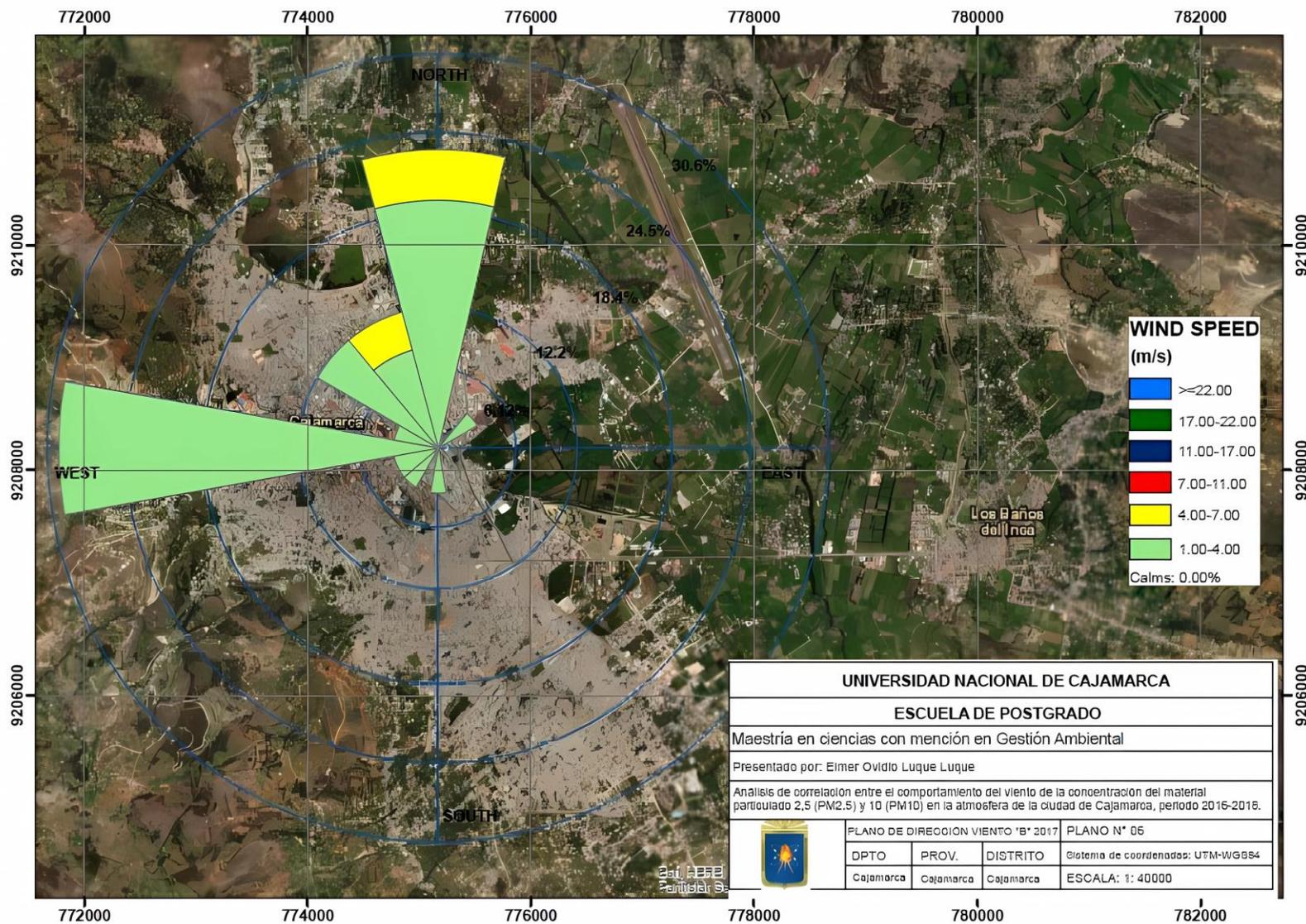
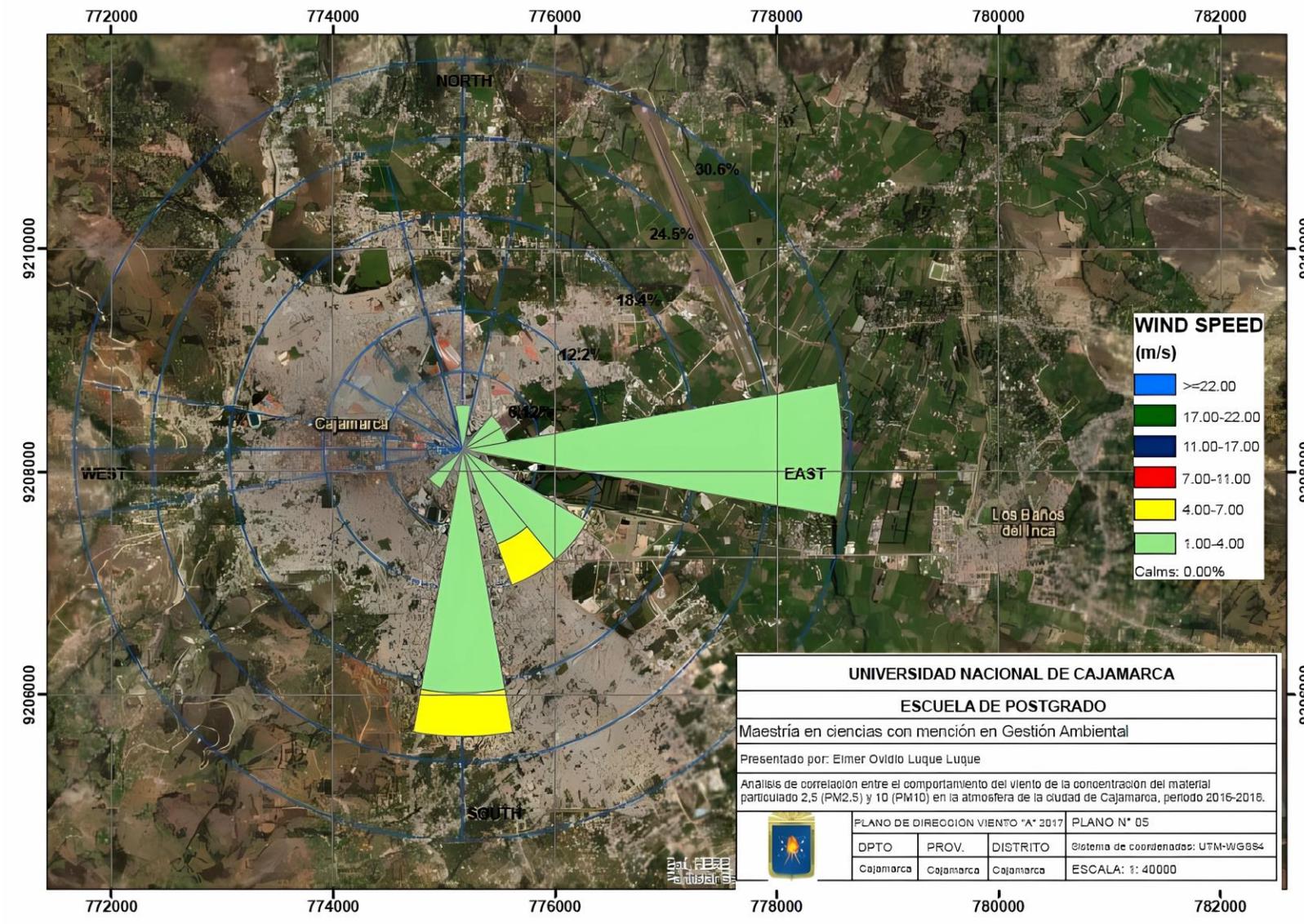


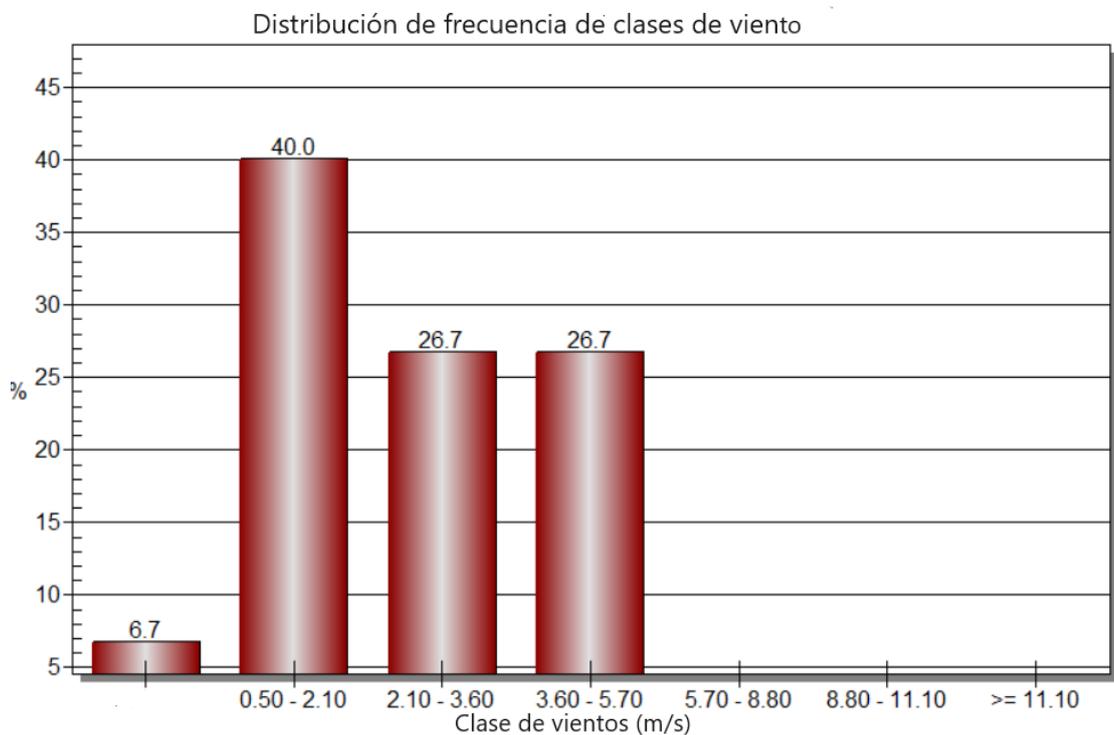
Figura 24. Dirección de donde procede el viento en la ciudad de Cajamarca - 2017



4.3.3 Dirección y velocidad del viento del año 2018

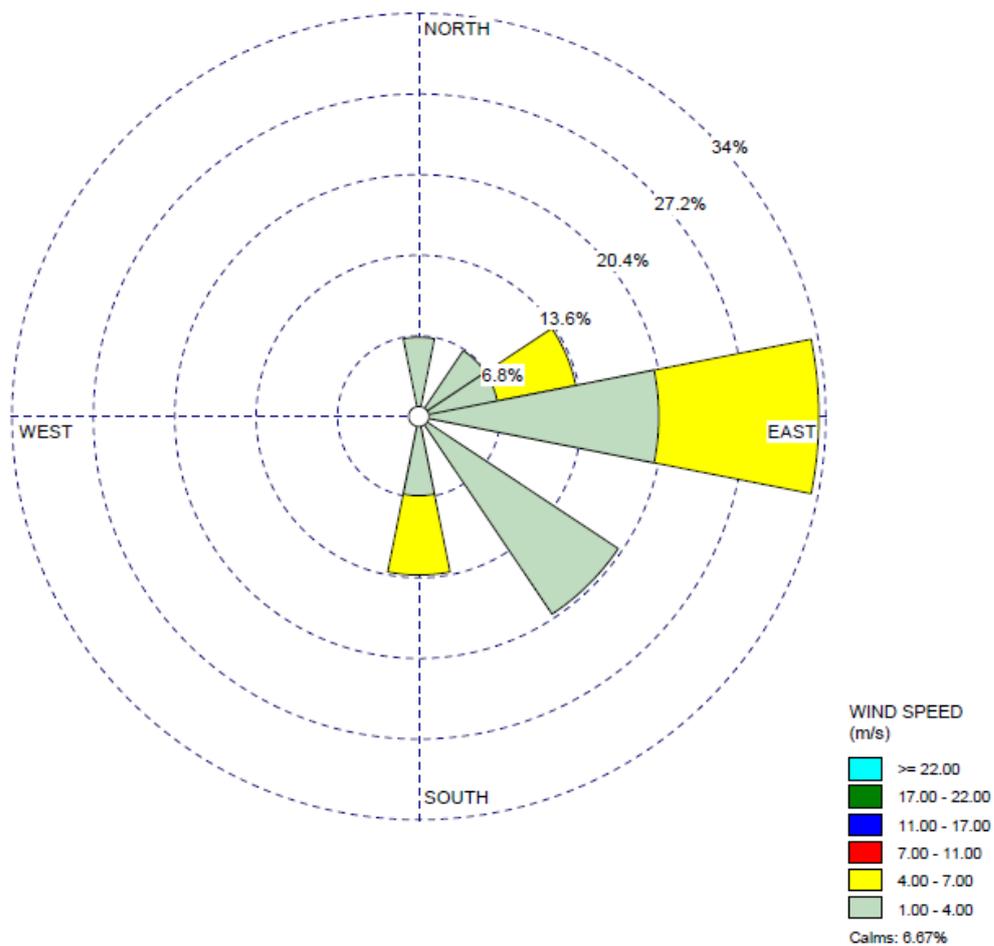
La figura 25 nos permite evidenciar que durante el año 2018, la velocidad del aire en su mayoría se mantuvo en el rango de 0.5 a 2.10 metros por segundo (m/s). Los datos indican cómo se distribuyen las velocidades del viento en la ciudad durante ese año. Un 26.7% de las velocidades del viento se encontraron en el rango de 2.10 a 3.60 m/s, lo que se considera como "vientos débiles". Otro 26.7% de las velocidades se ubicaron en el rango de 3.60 a 5.70 m/s, que se clasifica como "vientos moderados". La velocidad del viento se encuentra en el nivel 2 de la escala de Beaufort, denominado "flojito" o "brisa ligera". Esto advierte que el viento en Cajamarca se mantuvo en un rango de velocidad suave y ligera en su mayoría durante el año 2018.

Figura 25. Distribución de frecuencia de las clases de los vientos en la ciudad de Cajamarca



De acuerdo con las figuras 26 y 29 según la rosa de los vientos generada por WRPLOT VIEW, se evidencia que los vientos en la ciudad de Cajamarca provienen del Este, lo que se representa como 90 grados (90°) en la brújula. La dirección del viento permite comprender los patrones climáticos, la calidad del aire y otros aspectos climáticos en una ciudad. En este caso, la información indica que la ciudad de Cajamarca experimenta corrientes de aire que provienen desde el Este, lo que puede tener implicaciones en términos de la dispersión de contaminantes, los patrones climáticos y la dirección del aire en la zona de estudio.

Figura 26. Dirección de dónde vienen los vientos en la ciudad de Cajamarca – 2018



Según las figuras 27 y 28 la dirección del viento de mayor velocidad se orienta hacia el Oeste, lo que se representa como 270 grados (270°) en la brújula. Esto significa que los vientos predominantes en la ciudad soplan desde el Este hacia el Oeste. Los resultados indican que las emisiones de partículas se dispersan hacia la iglesia y convento la Recoleta y el mirador Santa Apolonia. Además, existe una mayor intensidad de dispersión hacia los barrios San Vicente y Urubamba.

Figura 27. Dirección a dónde se dirigen los vientos en la ciudad de Cajamarca – 2018

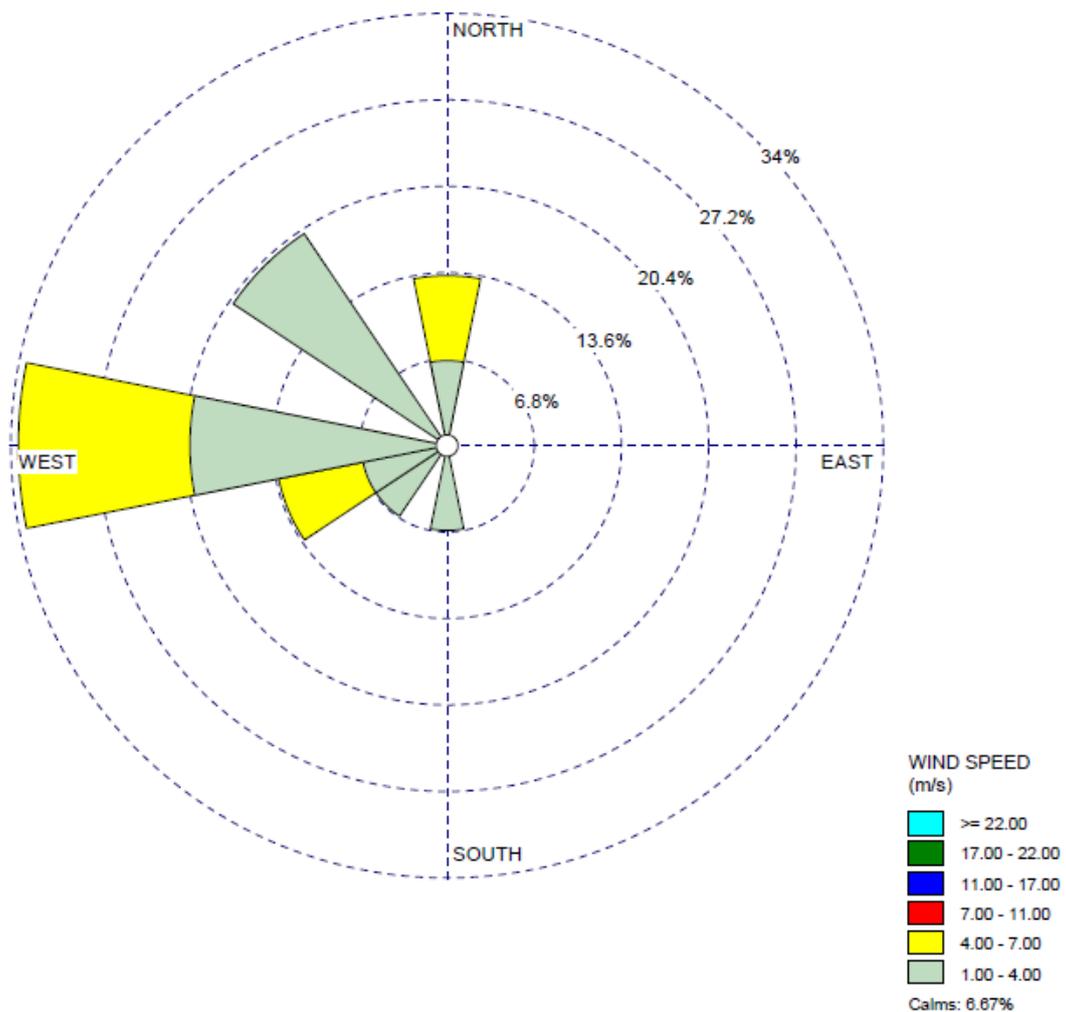


Figura 28. Dirección a dónde se dirigen los vientos en la ciudad de Cajamarca -2018

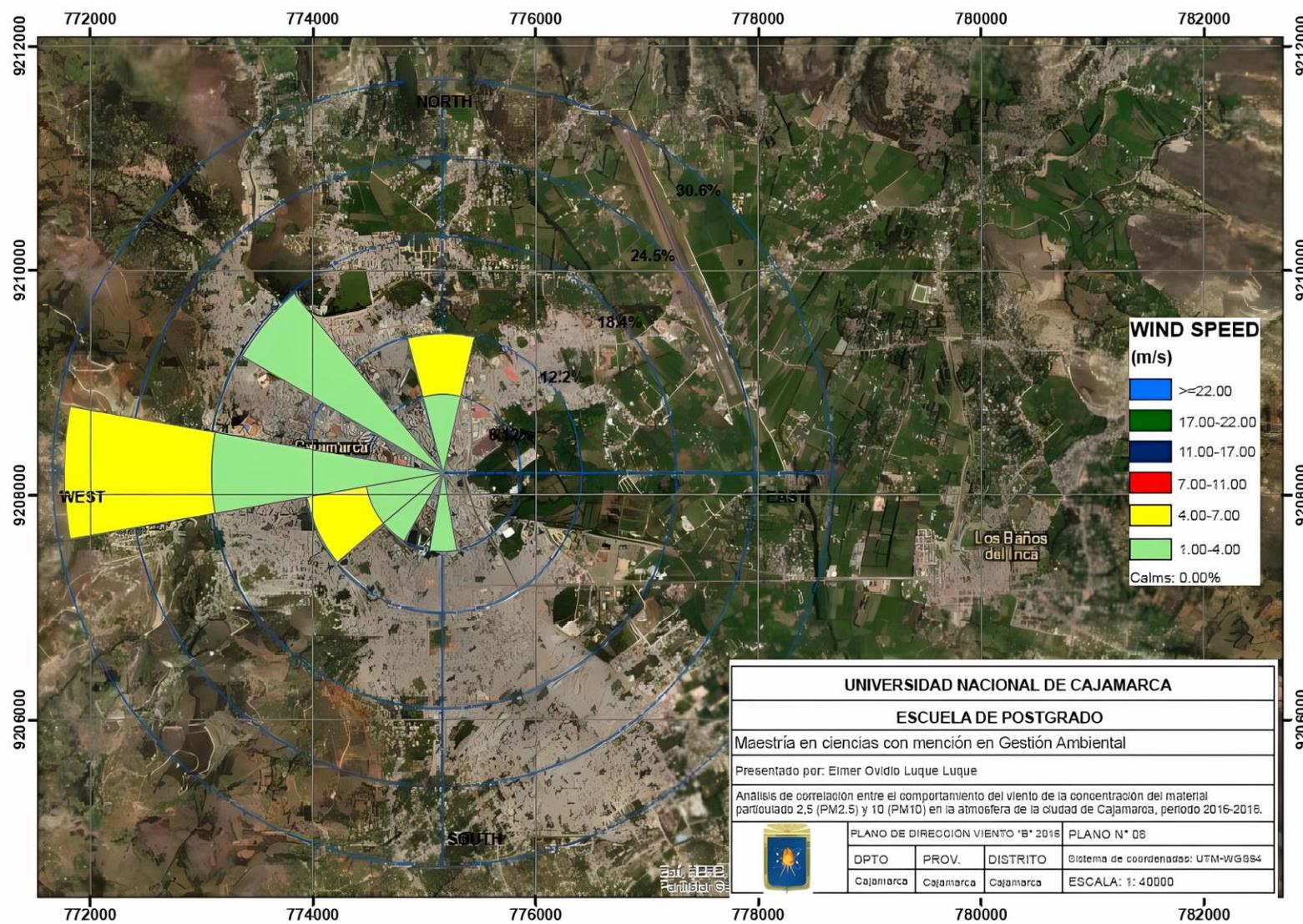
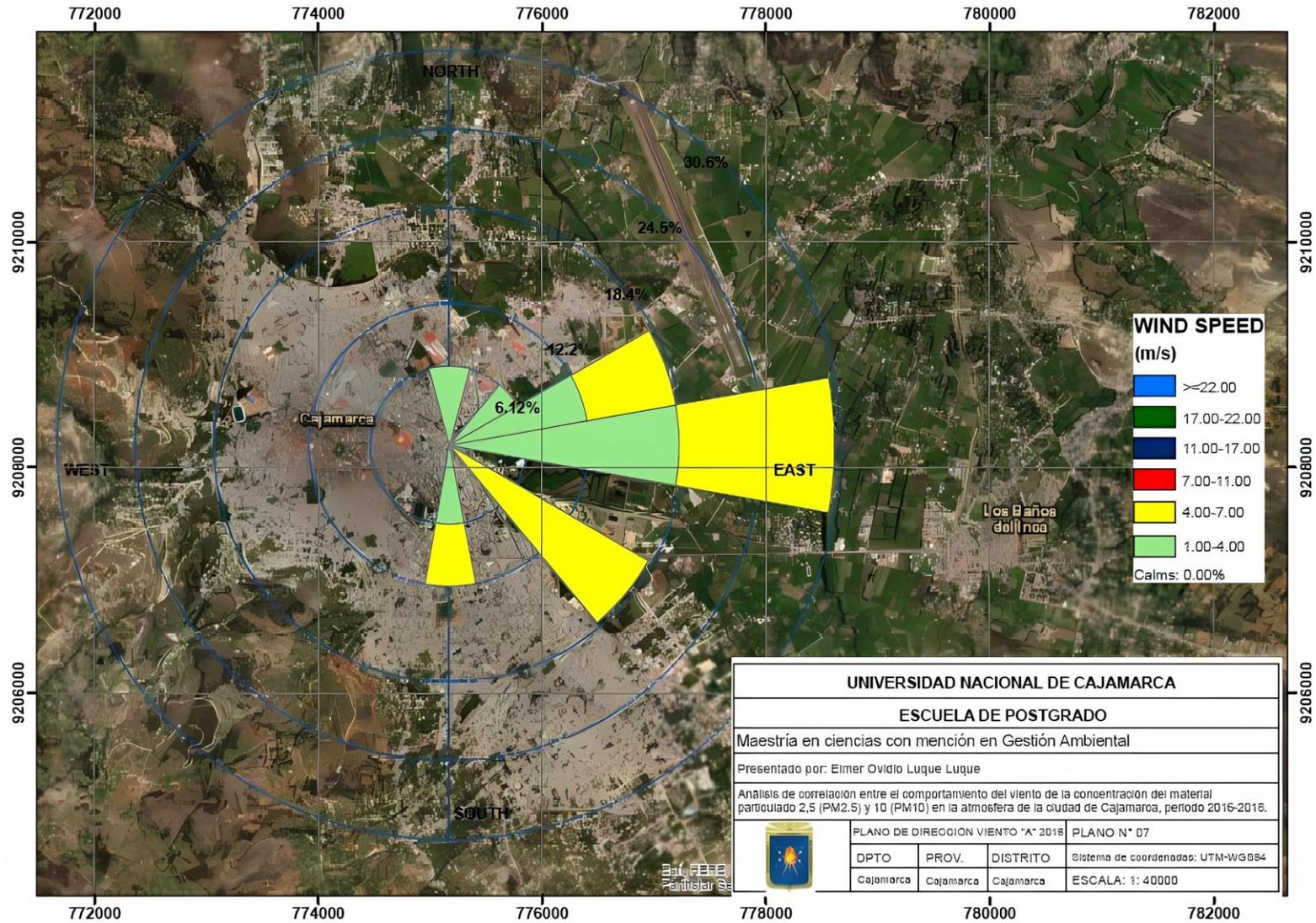


Figura 29. Dirección de dónde vienen los vientos en la ciudad de Cajamarca - 2018



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

- El estudio determina que las partículas finas PM_{10} en la zona de investigación se mantiene mayormente dentro de los límites legales durante los años 2016 - 2018. Sin embargo, se observan ciertos meses, como junio y setiembre, en los que se presentan tendencias a un aumento de las emisiones de partículas,
- Los resultados muestran que las partículas finas $PM_{2,5}$ en la zona de estudio supero los estándares de calidad ambiental establecidos durante los años 2016-2018. Además, se identificaron meses específicos como setiembre con tendencias al incremento en las concentraciones, es importante considerar medidas preventivas para reducir el impacto al aire y proteger la salud de la población.
- Los datos muestran que, en general, la ciudad de Cajamarca experimentó vientos predominantemente suaves y ligeros durante estos tres años, ubicadas dentro del nivel 2 en la escala de Beaufort. La dirección del viento predomina este – oeste, la dispersión del material particulado se dirige al mirador de Santa Apolonia, los barrios Urubamba y Chontapaccha, con mayor exposición a la concentración de contaminantes debido a la orientación predominante del viento, lo que incide en la calidad del aire.

REFERENCIAS

- Arrieta, A. (2016). *Dispersión de material particulado con interrelación de factores meteorológicos y topográficos*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, (Tunja-Boyacá, Colombia): Grupo Inv. Giga.
- Briones, E. & Malaver, C. (2015). *Concentración de material particulado PM10 y PM2.5 en la cuenca atmosférica de Cajamarca durante los años 2014 y 2015*. Cajamarca.
- Castro, A. (2021). *Análisis de la calidad de aire determinado por el material particulado PM10 y Pm2.5 en el Cantón de Esmeralada*. Esmeraldas, Ecuador.
- Cucó, S. (2017). *Manual de energía eólica: Desarrollo de proyectos e instalaciones*. València: Universitat Politècnica de València.
- Díaz, J. (2002). *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. México: Edit. Alfaomega.
- Durand, J. & Burga, V. (2021). *Evaluación del comportamiento de la concentración de PM10 y PM2.5 y su comparación con los estándares de calidad ambiental en la ciudad de Cajamarca en el período 2012 – 2018*. Cajamarca, Perú.
- Faccioli, C. (2018). *La protección de la calidad del aire*. Tarragona: urv.
- Gallego, A.; Gonzáles, I.; Sánchez, B.; Fernández, P.; Garcinuño, R.; Bravo, J.; Durand, J. (2012). *Contaminación Atmosférica*. Madrid: UNED.
- Gómez, A. (2017). *Contaminación del aire en Medellín por PM10 PM2.5 y sus efectos en la salud*. Medellín.
- IQAir. (2023). El índice de Calidad de Aire (ICA) y contaminación del aire PM2.5 en Perú. Perú.
- Jorquera, H. (2018). *Introducción a la Contaminación Atmosférica*. Bogotá: Alfaomega Ediciones UC.
- Molina, P. (2019). *Impacto ambiental en las actividades humanas. UF0735*. Logroño (La Rioja): TUTOR FORMACION.
- Moreano, D. & Antonio, P. (2012). *Nivel de afectación de la contaminación atmosférica y sus efectos en la infraestructura del campus universitario debido a la emisión de partículas PM10 y CO*. Lima.
- Muñoz, E.; Contreras, A. & Molero, M. (2018). *Ingeniería del medio ambiente*. Madrid: UNED.
- Muñoz, J. & Benavides, V. (2008). *Estimación del origen de material particulado (PM10) en Rancagua utilizando un modelo receptor*. Chile.
- OMS, O. M. (11 de 07 de 2023). Obtenido de <https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

- ONU, O. d. (11 de 07 de 2023). Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592>
- PNUMA. (2002). *Perspectivas del medio Ambiente Mundial 2002*. Madrid: Mundi-prensa Libros S.A.
- Saavedra, J. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular*. Lima.
- Solís, R. (2021). *Análisis de la calidad del aire en la ciudad más contaminada de Chile por material particulado fino: Coyhaique, Chile*. Santiago, Chile.
- Vásquez, A. (2018). *Contaminación atmosférica por PM10 y su relación con variables climatológicas en el Centro poblado de Champamarca, departamento de Pasco, 2018. Tesis*. Lima, Perú.
- Zúñiga, I. & Crespo del Arco, E. (2015). *Meteorología y climatología*. Madrid: UNED.
- Zuñiga, Ignacio & Crespo del Arco, E. (2021). *Meteorología y climatología*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

ANEXOS

ANEXO 1

PANEL DE FOTOS

Figura 30. Muestreador de partículas alto volumen - Estación de monitoreo La Colmena



Figura 31. Colocado de *filtro de aire* en el muestreador de aire



Figura 32. Estación de monitoreo de aire - Augusto Weber Weberbauer



ANEXO 2

RESULTADOS DE LOS MONITOREOS DE MATERIAL PARTICULADO 10



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA
GERENCIA DE DESARROLLO AMBIENTAL
SUB-GERENCIA DE PROTECCIÓN Y CONTROL AMBIENTAL
AREA DE MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL

CUADRO RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTREO PM10

AÑO 2016

RESULTADOS DE ANALISIS DE CALIDAD DE AIRE						
(HI-VOL) Análisis: PM-10						
Identificación de Laboratorio	Identificación de Muestra	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Método de Análisis	Resultado $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de Análisis
2016						
INFORME DE ENSAYO N° J- 00206793						
S-0001223552	E-LC	14/01/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	35	25/01/2016
INFORME DE ENSAYO N° J- 0213135						
S-0001245299	E-LC	7/02/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	35	4/04/2016
S-0001245300	E-LC	26/03/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	49	4/04/2016
INFORME DE ENSAYO N° J- 00217435						
S-0001262549	E-LC	19/04/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	51	23/05/2016
S-0001262551	E-LC	13/05/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	42	23/05/2016
INFORME DE ENSAYO N° J- 00220900						
S0001273020	E-LC	6/06/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	47	27/06/2016
INFORME DE ENSAYO N° J- 00229239						
S-0001295584	E-LC	30/06/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	86	17/09/2016
S-0001295588	E-LC	10/09/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	84	17/09/2016
INFORME DE ENSAYO N° J- 00244122						
S-0001316711	E-LC	28/10/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	73	29/11/2016
INFORME DE ENSAYO N° J- 00249216						
S-0001329323	E-LC	6/12/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	69	10/01/2017

CUADRO RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTREO PM10

AÑO 2017

RESULTADOS DE ANALISIS DE CALIDAD DE AIRE						
(HI-VOL) Análisis: PM-10						
Identificación de Laboratorio	Identificación de Muestra	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Método de Análisis	Resultado $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de Análisis
2017						
INFORME DE ENSAYO N° J- 00254899				PM 10		
S-0001370279	E-LC	14/01/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	35	6/05/2017
S-0001370281	E-LC	7/03/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	48	6/05/2017
S-0001370283	E-LC	2/04/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	45	6/05/2017
INFORME DE ENSAYO N° J- 00264090				PM 10		
S-0001392184	E-LC	24/05/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	60	28/06/2017
S-0001392186	E-LC	19/06/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	67	28/06/2017
S-0001416132	E-LC	10/08/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	52	11/09/2017
S-0001416134	E-LC	5/09/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	53	11/09/2017
S-0001432534	E-LC	1/10/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	37	4/11/2017
S-0001432536	E-LC	27/10/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	54	4/11/2017
S-0001451627	E-LC	22/11/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	41	15/01/2018
S-0001451628	E-LC	18/12/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	54	15/01/2018

* Vigente a partir del 07 de junio del 2017



CAJAMARCA...
DONDE TODO
EMPEZÓ

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL
DE CAJAMARCA

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA
GERENCIA DE DESARROLLO AMBIENTAL
SUB-GERENCIA DE PROTECCIÓN Y CONTROL AMBIENTAL
AREA DE MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL

CUADRO DE RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTREO PM10

AÑO 2018

RESULTADOS DE ANALISIS DE CALIDAD DE AIRE						
(HI-VOL) Análisis: PM-10						
Identificación de Laboratorio	Identificación de Muestra	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Método de Análisis	Resultado $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de Análisis
2018						
INFORME DE ENSAYO N° J- 00290566				PM 10		
S-0001451630	E-LC	01/01/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	60	15/01/2018
INFORME DE ENSAYO N° J- 00301701				PM 10		
S-0001504400	E-LC	19/05/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	56	30/06/2018
S-0001504402	E-LC	21/06/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	70	30/06/2018
INFORME DE ENSAYO N° J- 00306903				PM 10		
S-0001526689	E-LC	18/07/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	49	11/09/2018
S-0001526695	E-LC	16/08/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	44	11/09/2018
INFORME DE ENSAYO N° J- 00309651				PM 10		
S-0001538365	E-LC	13/09/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	56	22/10/2018
S-0001538367	E-LC	02/10/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	52	22/10/2018
INFORME DE ENSAYO N° J- 00325878				PM 10		
S-0001560927	E-LC	17/11/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	48	10/01/2019
S-0001560929	E-LC	06/12/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	60	10/01/2019

ANEXO 3

RESULTADOS DE LOS MONITOREOS DE MATERIAL PARTICULADO 2.5



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAJAMARCA
GERENCIA DE DESARROLLO AMBIENTAL
 SUB-GERENCIA DE PROTECCIÓN Y CONTROL AMBIENTAL
 AREA DE MONITOREO Y CONTROL AMBIENTAL

CUADRO RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTREO PM2.5

AÑO 2016

RESULTADO DE ANALISIS DE CALIDAD DE AIRE

ECA = 25 µg/m³

Identificación de Laboratorio		Identificación de Muestra		Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Método de Análisis	Resultado µg/m ³	Fecha de Análisis
				Equipo (HI-VOL) Análisis: PM-2.5				
2016								
INFORME DE ENSAYO N° J- 00206793								
S-0001223551	E-LC	1/01/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	30	25/01/2016		
INFORME DE ENSAYO N° J- 00213135								
S-0001245298	E-LC	26/01/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	37	4/04/2016		
INFORME DE ENSAYO N° J- 00217435								
S-0001262548	E-LC	7/04/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	37	23/05/2016		
S-0001262550	E-LC	1/05/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	33	23/05/2016		
INFORME DE ENSAYO N° J- 00220900								
S-0001273019	E-LC	25/05/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	40	27/06/2016		
S-0001273021	E-LC	18/06/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	43	27/06/2016		
INFORME DE ENSAYO N° J- 00229239								
S-0001295585	E-LC	5/08/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	47	17/09/2016		
S-0001295586	E-LC	29/08/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	45	17/09/2016		
INFORME DE ENSAYO N° 00244122								
S-0001316710	E-LC	22/09/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	75	29/11/2016		
S-0001316712	E-LC	23/11/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	71	29/11/2016		
INFORME DE ENSAYO N° 00249216								
S-0001329365	E-LC	25/12/2016	00:00	NTP 900.030 - 2003	44	10/01/2017		

CUADRO RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTREO PM.25

AÑO 2017

RESULTADO DE ANALISIS DE CALIDAD DE AIRE

ECA = 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

*ECA = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Equipo (HI-VOL) Análisis: PM-2.5

Identificación de Laboratorio	Identificación de Muestra	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Método de Análisis	Resultado $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de Análisis
2017						
INFORME DE ENSAYO N° J- 00249216						
S-0001329366	E-LC	1/01/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	89	10/01/2017
INFORME DE ENSAYO N° J- 00254899						
S-0001370280	E-LC	27/01/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	41	6/05/2017
S-0001370282	E-LC	20/03/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	54	6/05/2017
S-0001370284	E-LC	28/04/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	46	6/05/2017
INFORME DE ENSAYO N° J- 00264090						
S-0001392183	E-LC	11/05/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	62	28/06/2017
S-0001392185	E-LC	6/06/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	57	28/06/2017
S-0001416130	E-LC	2/08/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	64	11/09/2017
S-0001416133	E-LC	26/08/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	44	11/09/2017
S-0001432533	E-LC	18/09/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	41	4/11/2017
S-0001432535	E-LC	14/10/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	53	4/11/2017
S-0001451629	E-LC	25/12/2017	00:00	NTP 900.030 - 2003	34	15/02/2018

* Vigente a partir del 07 de junio del 2017

CUADRO DE RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTREO PM2.5

AÑO 2018

RESULTADO DE ANALISIS DE CALIDAD DE AIRE

ECA = 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Equipo (HI-VOL)		Análisis: PM-2.5				
Identificación de Laboratorio	Identificación de Muestra	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Método de Análisis	Resultado $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Fecha de Análisis
2018						
INFORME DE ENSAYO N° J- 00249216						
S-0001504399	E-LC	06/05/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	48	30/06/2018
S-0001504401	E-LC	01/06/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	64	30/06/2018
INFORME DE ENSAYO N° J- 00264090						
S-0001526605	E-LC	03/07/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	43	11/09/2018
S-0001526697	E-LC	31/08/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	50	11/09/2018
INFORME DE ENSAYO N° J- 00264090						
S-0001538366	E-LC	19/09/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	48	22/10/2018
S-0001538368	E-LC	15/10/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	45	22/10/2018
INFORME DE ENSAYO N° J- 00264090						
S-0001560928	E-LC	30/11/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	56	10/01/2019
S-0001560930	E-LC	19/12/2018	00:00	NTP 900.030 - 2003	39	10/01/2019

ANEXO 4

CERTIFICADO DE CALIBRACION DE HI-VOL

v

enviroequip

Congromiso Social y Ambiental

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nombre Compañía:	Municipalidad Provincial de Cajamarca	Número Serie:	P5679 PM10-1
Fabricante:	THERMO SCIENTIFIC	Procedencia:	Estados Unidos
Modelo:	G10557	Día de Calibración:	29/09/2017
Certificado Calibración:	01.14405.290917	Lugar de Calibración:	ENVIROEQUIP SAC

Revisión Instrumento		Entrega Instrumento:	
En Tolerancia:	SI	Procedimiento Usado:	EPA VOLUMETRICO
Fuera de Tolerancia:	NO	Calibrado Por:	Leonardo Lobaton Norabuena

ESTADO DEL CUMPLIMIENTO DE LA CERTIFICACION CALIBRACION

ENVIROEQUIP S.A.C. certifica que este instrumento ha sido inspeccionado y calibrado por nuestros técnicos calificados y cumple o excede las especificaciones de calidad para la Norma EPA Método de Referencia Numero RFPs 1287-063, cuyos archivos y registros son mantenidos por la Empresa Municipalidad Provincial de Cajamarca y una copia en nuestra compañía en Lima.
Este documento es la Certificación que el Tubo Venturi se encuentra dentro del Cumplimiento de la Norma ASTM EPA RFPs 1287-063 cuyo valor diferencial es $1.904\% < 3\%$

DATOS CALIBRACIÓN

TRAZABILIDAD

Se ha usado el Calibrador Modelo TE-502BA, con numero de serie 0438320, trazable NIST y calibrado el 08/02/2017.

Calibrado Por:

Aprobado por:


Leonardo Lobaton Norabuena
FIELD SERVICE


Alexander Céspedes Zuñiga
JEFE DE SERVICIOS