



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE PM_{10} Y $PM_{2.5}$ EN EL
MERCADO CENTRAL Y MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD
DE MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Ambiental

Autor:
Cruz Landa Rolando Javier

Tutor:
Daza Guerra Oscar Rene

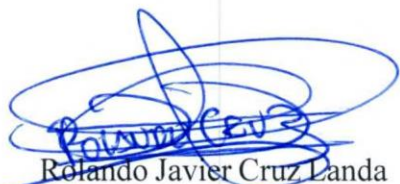
LATACUNGA – ECUADOR Julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Cruz Landa Rolando Javier, con cédula de ciudadanía No. 1721738092, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE PM₁₀ Y PM_{2,5} EN EL MERCADO CENTRAL Y MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD DE MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA”**, siendo el Ingeniero Mg. Oscar Rene Daza Guerra, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 24 de julio del 2025



Rolando Javier Cruz Landa
C.C: 1721738092
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **CRUZ LANDA ROLANDO JAVIER**, identificado con cédula de ciudadanía **1721738092** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE PM₁₀ Y PM_{2,5} EN EL MERCADO CENTRAL Y MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD DE MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2025

Tutor: Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.

Tema: “**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE PM₁₀ Y PM_{2,5} EN EL MERCADO CENTRAL Y MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD DE MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.


CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá Licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 24 días del mes de julio del 2025.


Rolando Javier Cruz Landa
EL CEDENTE

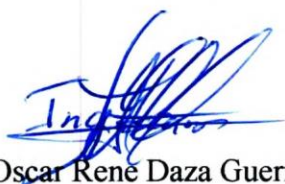
Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE PM₁₀ Y PM_{2,5} EN EL MERCADO CENTRAL Y MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD DE MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA”, de Cruz Landa Rolando Javier de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 24 de julio del 2025



Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.

C.C: 0400689790


DOCENTE TUTOR


AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

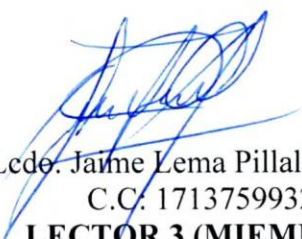
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Cruz Landa Rolando Javier , con el título de Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE PM₁₀ Y PM_{2,5} EN EL MERCADO CENTRAL Y MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD DE MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 24 de julio del 2025


Dr. José Andrade Valencia, Ph.D.
C.C: 0502524481
LECTOR 1 (PRESIDENTE)


Ing. Andrés Moreno Ávila, Mg.
C.C: 0503220063
LECTOR 2 (MIEMBRO)


Lcde. Jaime Lema Pillalaza, Mg.
C.C: 1713759932
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación marca el cierre de una etapa llena de esfuerzo, sacrificio y crecimiento personal.

Agradezco a Dios por acompañarme y darme fuerzas en cada paso del camino.

Dedico este logro con todo mi corazón a mi madre Nancy Landa, por ser mi mayor ejemplo de fortaleza y amor incondicional. Gracias por enseñarme a luchar con humildad, valentía y fe.

A mi querida hermana Gabriela Landa, gracias por ser mi compañera, mi amiga y mi motivación constante.

Mi sincero agradecimiento al Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg., por su valiosa guía y compromiso durante todo el proceso.

Gracias a la Universidad técnica de Cotopaxi, a sus docentes y autoridades por brindarme una formación integral.

Y a todas las personas que me apoyaron con una palabra de ánimo, gracias de corazón

Rolando Javier Cruz Landa

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación con todo mi corazón a las personas más importantes de mi vida, quienes han sido, mi inspiración y mi razón para no rendirme.

A Dios, por haberme dado la vida, fortaleza y sabiduría para seguir adelante incluso en los momentos más duros.

A mi hijo Nicolas Cruz, el amor más grande que habita en mi corazón, este logro es también una promesa de esfuerzo, ejemplo y dedicación para tu futuro. Todo lo que hago es por ti.

A mi madre Nancy Landa, gracias por tu amor incondicional, tu fuerza y tus sacrificios silenciosos.

A mi hermana Gabriela Landa, por tu apoyo constante, tu comprensión y tu presencia. Gracias por estar siempre, en los días buenos y en los no tan buenos.

Rolando Javier Cruz Landa

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE PM_{2.5} Y PM₁₀ EN EL MERCADO CENTRAL Y MERCADO MAYORISTA DE LA CIUDAD DE MACHACHI, PROVINCIA DE PICHINCHA”.

Autor:

Cruz Landa Rolando Javier

RESUMEN

La contaminación ambiental en zonas urbanas proviene principalmente de fuentes antropogénicas como la combustión vehicular, actividades comerciales, industriales y el manejo inadecuado de residuos sólidos. Entre los contaminantes más relevantes se encuentra el material particulado (PM), cuyas diminutas partículas pueden ingresar al organismo y afectar los sistemas respiratorio y cardiovascular. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la calidad del aire en relación con el PM₁₀ y PM_{2.5} en los mercados Central y Mayorista de Machachi durante el período 2025–2025, comparando los resultados con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A del Libro VI del TULSMA. La metodología empleada se basó en normas nacionales e internacionales, siguiendo los lineamientos de la US EPA (40 CFR Parte 50, Apéndices J y N) para el muestreo, calibración y control de calidad del equipo E-BAM. Además, la selección de los puntos de monitoreo consideró criterios técnicos, meteorológicos y observación directa, priorizando zonas con alta circulación de personas y vehículos. Los resultados del análisis descriptivo y gráfico-estadístico revelaron un nivel crítico de concentración de PM₁₀ en el punto (P2) el 12 de mayo de 2025 a las 10:00, con un valor de 181.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, superando el límite normativo y ubicándose en un nivel de alerta. Posteriormente, mediante un análisis comparativo, se determinó que la calidad del aire en las zonas evaluadas es relativamente buena, dado que las concentraciones promedio de material particulado se mantuvieron por debajo de los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente. En el caso del PM₁₀, los valores oscilaron entre 21.62 y 47.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para PM_{2.5} oscilaron entre 3.47 y 11.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, se propusieron dos acciones para mantener o mejorar la calidad del aire: promover la concientización ambiental y establecer un monitoreo continuo de PM₁₀ y PM_{2.5} en las zonas estudiadas.

Palabras clave: contaminación, normativa ambiental, E – BAM, EPA, TULSMA.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: “EVALUATION OF PM_{2.5} AND PM₁₀ AIR QUALITY IN THE CENTRAL MARKET AND WHOLESALE MARKET OF MACHACHI CITY, PICHINCHA

PROVINCE, AND ITS COMPARISON BASED ON CURRENT ENVIRONMENTAL REGULATIONS.”

Author:

Cruz Landa Rolando Javier

ABSTRACT

Environmental pollution in urban areas is produced primarily from anthropogenic sources such as vehicular combustion, commercial and industrial activities, and improper solid waste management. Among the most significant pollutants is particulate matter (PM), whose tiny particles can enter the body and affect the respiratory and cardiovascular systems. In this context, this study aimed to evaluate air quality in relation to PM₁₀ and PM_{2.5} in the Machachi Central and Wholesale Markets during the 2025–2025 period, comparing the results with the limits established in Ministerial Agreement 097-A of Book VI of the TULSMA. The methodology used was based on national and international standards, following US EPA guidelines (40 CFR Part 50, Appendices J and N) for sampling, calibration, and quality control of E-BAM equipment. Besides, the selection of monitoring points considered technical, meteorological, and direct observation criteria, prioritizing areas with high traffic of people and vehicles. The results of the descriptive and graphic-statistical analysis revealed a critical level of PM₁₀ concentration at point (P2) on May 12, 2025, at 10:00 a.m., with a value of 181.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, exceeding the regulatory limit and placing it at an alert level. Subsequently, through a comparative analysis, it was determined that the air quality in the evaluated areas is relatively good, given that the average concentrations of particulate matter remained below the permissible limits established in current environmental regulations. For PM₁₀, values ranged from 21.62 to 47.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, while for PM_{2.5} they ranged from 3.47 to 11.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finally, two actions were proposed to maintain or improve air quality: promoting environmental awareness and establishing continuous monitoring of PM₁₀ and PM_{2.5} in the studied areas.

Keywords: pollution, environmental regulations, E – BAM, EPA, TULSMA.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-----|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | ii |
| CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR | iii |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN | v |
| AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN | vi |

| | | |
|--|------|----|
| AGRADECIMIENTO | vii | |
| DEDICATORIA | viii | |
| RESUMEN | | ix |
| ABSTRACT | x | |
| 1.INFORMACIÓN GENERAL | 1 | |
| 2.JUSTIFICACIÓN | 2 | |
| 3.BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACIÓN | 3 | |
| 4.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN | 3 | |
| 5.OBJETIVOS | 5 | |
| 5.1. Objetivo General..... | 5 | |
| 5.2. Objetivos Específicos | 5 | |
| 6.ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS | 6 | |
| 7.FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA | 7 | |
| 7.1. Atmósfera | 7 | |
| 7.1.1. Capas de la Atmósfera | 7 | |
| 7.2. Aire | 8 | |
| 7.2.1. Composición del Aire | 8 | |
| 7.2.2. Contaminación del Aire | 9 | |
| 7.2.3. Fuentes de Contaminación del Aire..... | 9 | |
| 7.2.3.1. Clasificación de los Contaminantes del Aire | 10 | |
| 7.3. Material Particulado (PM) | 11 | |
| 7.3.1. Material Particulado PM ₁₀ | 11 | |
| 7.3.2. Material Particulado PM _{2.5} | 11 | |
| 7.3.3. Calidad del aire | 12 | |
| 7.3.4. Índice de la Calidad del Aire | 12 | |
| 7.3.5. Efectos sobre la Salud | 14 | |
| 7.4. Marco Legal | 16 | |
| 7.4.1. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) | 16 | |

| | |
|---|----|
| 7.4.1. Normativa Vigente 097 – A..... | 16 |
| 8.VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS | 20 |
| 9.METODOLOGÍAS | 23 |
| 9.1. Área de Estudio | 23 |
| 9.2. Tipos de Investigación | 25 |
| 9.2.1. Investigación Cuantitativa | 25 |
| 9.2.2. Investigación Descriptiva | 26 |
| 9.2.3. Investigación Comparativa | 26 |
| 9.2.4. Investigación de Campo | 26 |
| 9.3. Métodos de Investigación | 27 |
| 9.3.1. Método Estadístico | 27 |
| 9.3.2. Método Analítico | 27 |
| 9.3.3. Método Inductivo | 28 |
| 9.4. Instrumentos y Recursos Tecnológicos | 28 |
| 9.4.1. Equipo E – BAM | 28 |
| 9.4.1.1. Componentes del equipo | 29 |
| 9.4.1.2. Proceso de Instalación | 31 |
| 9.4.1.3. Calibración y Seteo del equipo | 32 |
| 9.4.2. Programa QGIS | 34 |
| 9.5. Metodología de Monitoreo | 35 |
| 9.5.1. Selección de Puntos de Monitoreo | 35 |
| 9.5.1.1. Criterios Técnicos | 35 |
| 9.5.1.2. Criterios Meteorológicos | 36 |
| 9.5.2. Población | 36 |
| 9.5.3. Muestra | 36 |
| 9.5.3.1. Puntos de Monitoreo | 37 |
| 9.5.3.2. Tiempo y Frecuencia de Monitoreo..... | 39 |
| 9.6. Diseño No Experimental | 39 |

| | |
|---|----|
| 9.6.1. Media Aritmética | 39 |
| 9.6.2. Desviación Estándar | 40 |
| 9.7. Resumen Metodológico | 40 |
| 10.ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 42 |
| 10.1. Mercado Central – Machachi | 42 |
| 10.1.1. Punto 1 – Mercado Central | 42 |
| 10.1.2. Punto 2 – Mercado Central | 45 |
| 10.1.3. Punto 3 – Mercado Central | 48 |
| 10.2. Mercado Mayorista – Machachi | 52 |
| 10.2.1. Punto 1 – Mercado Mayorista | 52 |
| 10.2.2. Punto 2 – Mercado Mayorista | 55 |
| 10.2.3. Punto 3 – Mercado Mayorista | 58 |
| 10.3. Resumen de Resultados | 62 |
| 10.4. Comparación de Resultados entre Mercados..... | 63 |
| 10.4.1. Mercado Central y Mayorista - Material Particulado (PM ₁₀) | 63 |
| 10.4.2. Mercado Central y Mayorista - Material Particulado (PM _{2.5}) | 63 |
| 10.5. Comparación de Resultados con la Normativa Ambiental Vigente | 65 |
| 10.5.1. Mercado Central – Material Particulado (PM ₁₀) | 65 |
| 10.5.2. Mercado Central – Material Particulado (PM _{2.5}) | 66 |
| 10.5.3. Mercado Mayorista – Material Particulado (PM ₁₀) | 67 |
| 10.5.4. Mercado Mayorista – Material Particulado (PM _{2.5}) | 68 |
| 10.6. Propuestas de Acción Final para la Prevención y Mejora de la Calidad del Aire | 71 |
| 11.IMPACTOS (TÉCNICOS. SOCIALES. AMBIENTALES) | 78 |
| 11.1. Impactos Técnicos | 78 |
| 11.2. Impactos Sociales | 78 |
| 11.3. Impactos Ambientales | 79 |
| 12.CONCLUSIONES | 80 |
| 13.RECOMENDACIONES | 81 |

| | |
|-----------------------|----|
| 14.BIBLIOGRAFÍA | 82 |
|-----------------------|----|

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Beneficiarios Directos e Indirectos del Proyecto | 3 |
| Tabla 2. Matriz de actividades por objetivos | 6 |
| Tabla 3. Composición química del aire | 8 |
| Tabla 4. Rangos de Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM ₁₀ y PM _{2.5} | 13 |
| Tabla 5. Niveles de Contaminación del Aire de las principales locaciones de Ecuador (mayo – 2025) | 14 |
| Tabla 6. Fuentes y características de los contaminantes PM ₁₀ y PM _{2.5} | 15 |
| Tabla 7. Límites máximos de concentración de los contaminantes PM ₁₀ y PM _{2.5} | 17 |
| Tabla 8. Concentraciones de contaminantes PM ₁₀ y PM _{2.5} que definen los niveles de alerta, alarma y emergencia en la calidad del aire | 18 |
| Tabla 9. Métodos de medición de los contaminante PM ₁₀ y PM _{2.5} para evaluar la calidad del aire | 19 |
| Tabla 10. Ubicación de los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi | 24 |
| Tabla 11. Componentes del equipo E – BAM | 30 |
| Tabla 12. Parámetros de calibración del equipo E – BAM. | 33 |
| Tabla 13. Seteo Básico equipo E – BAM | 34 |
| Tabla 14. Condiciones meteorológicas locales de Machachi (promedio mensual) | 36 |
| Tabla 15. Puntos de Monitoreo de los Mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi | 37 |
| Tabla 16. Monitoreo horario PM ₁₀ y PM _{2.5} para P1 (Mercado Central) | 43 |
| Tabla 17. Monitoreo horario PM ₁₀ y PM _{2.5} para P2 (Mercado Central) | 46 |
| Tabla 18. Monitoreo horario PM ₁₀ y PM _{2.5} para P3 (Mercado Central) | 49 |
| Tabla 19. Monitoreo horario PM ₁₀ y PM _{2.5} para P1 (Mercado Mayorista) | 53 |
| Tabla 20. Monitoreo horario PM ₁₀ y PM _{2.5} para P2 (Mercado Mayorista) | 56 |
| Tabla 21. Monitoreo horario PM ₁₀ y PM _{2.5} para P3 (Mercado Mayorista) | 59 |
| Tabla 22. Resumen de resultados promedio PM ₁₀ y PM _{2.5} en 24 horas de monitoreo | 62 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Estructura de la Atmósfera | 7 |
| Figura 2. Etapas principales de la contaminación del aire | 9 |
| Figura 3. Fuentes de contaminación del aire | 10 |

| | |
|---|----|
| Figura 4. Ubicación geográfica de la ciudad de Machachi | 23 |
| Figura 5. Ubicación geográfica Mercado Central de Machachi | 24 |
| Figura 6. Ubicación geográfica Mercado Mayorista de Machachi | 25 |
| Figura 7. Tipo de cabezal para el monitoreo de material particulado PM ₁₀ y PM _{2.5} | 31 |
| Figura 8. Equipo E – BAM ensamblado | 32 |
| Figura 9. Puntos de monitoreo Mercado Central – Machachi | 38 |
| Figura 10. Puntos de monitoreo Mercado Mayorista – Machachi | 38 |
| Figura 11. Metodología para la evaluación de la calidad del aire | 41 |
| Figura 12. Gráfica de concentración PM ₁₀ para P1 (Mercado Central) | 44 |
| Figura 13. Gráfica de concentración PM _{2.5} para P1 (Mercado Central) | 45 |
| Figura 14. Gráfica de concentración PM ₁₀ para P2 (Mercado Central) | 47 |
| Figura 15. Gráfica de concentración PM _{2.5} para P2 (Mercado Central) | 48 |
| Figura 16. Gráfica de concentración PM ₁₀ para P3 (Mercado Central) | 50 |
| Figura 17. Gráfica de concentración PM _{2.5} para P3 (Mercado Central) | 51 |
| Figura 18. Gráfica de concentración PM ₁₀ para P1 (Mercado Mayorista) | 54 |
| Figura 19. Gráfica de concentración PM _{2.5} para P1 (Mercado Mayorista) | 55 |
| Figura 20. Gráfica de concentración PM ₁₀ para P2 (Mercado Mayorista) | 57 |
| Figura 21. Gráfica de concentración PM _{2.5} para P2 (Mercado Mayorista) | 58 |
| Figura 22. Gráfica de concentración PM ₁₀ para P3 (Mercado Mayorista) | 60 |
| Figura 23. Gráfica de concentración PM _{2.5} para P3 (Mercado Mayorista) | 61 |
| Figura 24. Comparación PM ₁₀ (Mercado Central y Mayorista) | 63 |
| Figura 25. Comparación PM _{2.5} (Mercado Central y Mayorista) | 64 |
| Figura 26. Comparación concentración PM ₁₀ y Norma Vigente (Mercado Central) | 66 |
| Figura 27. Comparación concentración PM _{2.5} y Norma Vigente (Mercado Central) | 67 |
| Figura 28. Comparación concentración PM ₁₀ y Norma Vigente (Mercado Mayorista)..... | 68 |
| Figura 29. Comparación concentración PM _{2.5} y Norma Vigente (Mercado Mayorista)..... | 69 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Datos de concentración PM ₁₀ y PM _{2.5} cada 10 minutos para P1 – Mercado Central | 87 |
| Anexo 2. Datos de concentración PM ₁₀ y PM _{2.5} cada 10 minutos para P2 – Mercado Central | 91 |
| Anexo 3. Datos de concentración PM ₁₀ y PM _{2.5} cada 10 minutos para P3 – Mercado Central | |

| | |
|---|-----|
| | 95 |
| Anexo 4. Datos de concentración PM ₁₀ y PM _{2.5} cada 10 minutos para P1 – Mercado Mayorista | 99 |
| Anexo 5. Datos de concentración PM ₁₀ y PM _{2.5} cada 10 minutos para P2 – Mercado Mayorista | 103 |
| Anexo 6. Datos de concentración PM ₁₀ y PM _{2.5} cada 10 minutos para P3 – Mercado Mayorista | 107 |
| Anexo 7. Evidencias del monitoreo PM ₁₀ y PM _{2.5} en los Mercados Central y Mayorista | 111 |

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto: “Evaluación de la calidad del aire PM₁₀ y PM_{2.5} en el Mercado Central y Mercado Mayorista de la ciudad de Machachi, Provincia de Pichincha”.

Fecha de inicio: Abril del 2025

Fecha de finalización: Julio del 2025

Lugar de ejecución

Parroquia: Machachi **Cantón:**

Mejía

Provincia: Pichincha

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería Ambiental

Proyecto de investigación vinculado: Impactos ambientales y desastres naturales

Equipo de Trabajo

- **Tutor de Titulación:** Ing. Oscar Rene Daza Guerra. Mg
- **Investigador:** Cruz Landa Javier Rolando
- **Lector 1:** Dr. José Antonio Andrade Valencia. PhD □ **Lector 2:** Ing. Andrés Sebastián Moreno Ávila. Mg
- **Lector 3:** Lic. Jaime Rene Lema Pillalaza. Mg

Área de Conocimiento: Ciencia Naturales, Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

Línea de investigación: Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

Sub líneas de investigación de la Carrera: Calidad de Aire.

2. JUSTIFICACIÓN

El aire es un recurso indispensable para la vida, desempeña un papel importante en el intercambio de partículas y gases entre el ecosistema y los organismos vivos. En los últimos años, se ha evidenciado considerablemente el deterioro de la calidad del aire debido al crecimiento urbano, automotriz e industrial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor del 91% de la población mundial vive en lugares donde la calidad del aire supera los límites recomendados por esta entidad. En los seres humanos, la exposición prolongada de contaminantes atmosféricos como el material particulado (PM), en especial al PM_{2.5} (con un diámetro igual o inferior a 2.5 micras) y al PM₁₀ (de hasta 10 micras de diámetro), se asocia con la aparición de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y oculares. Además, las partículas finas pueden alcanzar zonas sensibles del sistema respiratorio, como los alvéolos pulmonares, generando daños severos que, a largo plazo, pueden derivar en cáncer e incluso la muerte.

En Ecuador, la contaminación por material particulado se ha evidenciado principalmente en zonas urbanas y de alta actividad comercial. La elevada concentración de material particulado en zonas urbanas está relacionada con diversas actividades antropogénicas, entre las que se incluyen, el uso de combustibles fósiles, los procesos industriales, la emisión de polvo proveniente de obras de construcción y la quema de biomasa utilizada para calefacción o cocina. En ese contexto, un estudio realizado por la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) en febrero de 2024, con el objetivo de evaluar la calidad del aire en la ciudad de Machachi, determinó que las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} se mantuvieron dentro de los rangos permisibles establecidos por la normativa ambiental, calificando la calidad del aire en la zona como aceptable.

La contribución de este estudio abarca aspectos técnicos, ambientales y sociales. En el ámbito técnico, se generará una base de datos actualizada sobre las concentraciones de material particulado en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi. Desde el enfoque ambiental, se evaluará la calidad del aire en función de los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A del Libro VI del TULSMA. En caso de que las concentraciones de material particulado superen los valores establecidos por la normativa, se procederá a identificar los posibles riesgos para la salud pública, entre los cuales destacan enfermedades respiratorias como asma, bronquitis crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

y neumonía. Asimismo, se consideran afecciones cardiovasculares como hipertensión arterial, arritmias, infartos y accidentes cerebrovasculares, así como reacciones alérgicas y complicaciones durante el embarazo, tales como partos prematuros o bajo peso al nacer. Todo esto podría conllevar un incremento en la morbilidad y mortalidad, especialmente en grupos vulnerables como niños, adultos mayores y personas con condiciones médicas preexistentes. Finalmente, en el componente social, el estudio aportará propuestas orientadas a la prevención y mejora de la calidad del aire, beneficiando directamente a los residentes cercanos, comerciantes y usuarios frecuentes de ambos mercados.

3. BENEFICIARIOS DE LA INVESTIGACIÓN

En la Tabla 1 se detalla los beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación, los cuales incluyen a toda la población que frecuenta los mercados como áreas de estudio.

Tabla 1.

Beneficiarios Directos e Indirectos del Proyecto

| BENEFICIARIOS DIRECTOS | | | |
|---------------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| <i>Parroquia</i> | <i>Hombres</i> | <i>Mujeres</i> | <i>Población Total</i> |
| Machachi | 15.579 | 17.235 | 32.814 |
| BENEFICIARIOS INDIRECTOS | | | |
| <i>Cantón</i> | <i>Hombres</i> | <i>Mujeres</i> | <i>Población Total</i> |
| Mejía | 48.864 | 53.030 | 101.894 |

Nota. Datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022)

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Actualmente, la calidad del aire es un factor fundamental que influye directamente a la población debido a los efectos negativos para la salud humana especialmente en áreas urbanas y comerciales donde las concentraciones de contaminantes suelen ser elevadas. Según nuevos datos, nueve de cada diez personas respiran aire con altos niveles de contaminantes como también las estimaciones actualizadas muestran que siete millones de personas mueren cada año por la contaminación del aire (Organización Mundial de la Salud, 2018). En la contaminación atmosférica, las partículas en suspensión también conocidas como material particulado (PM) y sus principales PM₁₀ y PM_{2.5} provienen de las emisiones que generan las industrias, el transporte o los incendios provocados por altas temperaturas, este es una mezcla de partículas sólidas y

líquidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas que se encuentran en suspensión en el aire (Acosta y otros, 2019).

En Ecuador, uno de los principales problemas es la contaminación atmosférica, en ciudades como Ambato, Cuenca, Ibarra, Latacunga, Manta, Milagro, Portoviejo, Quito, Esmeraldas, Santo Domingo y Loja, los límites de contaminación del aire sobrepasan los límites permitidos por la OMS y la Norma de Calidad del Aire Ecuatoriana (Loaiza, 2023). Durante el año 2023, en Quito, la Secretaría de Ambiente a través de su informe anual de calidad del aire, registró los niveles de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en nueve estaciones distribuidas a lo largo de la ciudad. El informe indicó que la concentración promedio de PM_{10} fue de $32.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que duplicó la recomendación establecida por la Organización Mundial de la Salud ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque se mantuvo por debajo del límite nacional de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el caso del $PM_{2.5}$, se reportó un promedio anual de $14.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cifra que no excede el estándar nacional ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pero que casi triplica el valor recomendado por la OMS, fijado en $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (QuitocómoVamos, 2025).

Por otro lado, investigaciones desarrolladas en la ciudad de Machachi en febrero de 2024, en línea con el enfoque del presente estudio, evidenciaron que las concentraciones promedio de material particulado PM_{10} oscilaron entre 10 y $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que las de $PM_{2.5}$ se ubicaron entre 9 y $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos datos fueron obtenidos a través de un monitoreo continuo de 24 horas en las estaciones seleccionadas. Los valores registrados se mantuvieron por debajo de los límites establecidos en la normativa ambiental vigente, que fija máximos de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$. En consecuencia, la calidad del aire en la zona fue calificada como aceptable (Carrera, 2024).

Tomando en cuenta los antecedentes previamente expuestos, la problemática del presente estudio radica en la escasa información disponible sobre las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi. Estas zonas presentan una intensa actividad comercial, caracterizada por un alto flujo vehicular y peatonal, lo que hace necesario cuantificar dichas concentraciones para determinar si se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente y evitar posibles afectaciones a la salud de la población.

Asimismo, se ha identificado que las principales fuentes de emisión de material particulado en las áreas de estudio corresponden a fuentes móviles, como el transporte vehicular

(liviano, pesado y motocicletas), y a fuentes fijas, entre ellas chimeneas industriales, calderas, hornos, quema de residuos sólidos y equipos comerciales de calefacción o cocción. Cabe resaltar que estas zonas también se caracterizan por su actividad agrícola, ganadera, rural e industrial, y por la presencia de vías de alto tráfico, lo que genera un constante flujo de vehículos, tanto por la carga y descarga de productos como por la gran afluencia de personas, especialmente los fines de semana.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Evaluar la calidad del aire PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el mercado Central y mercado Mayorista de la ciudad de Machachi provincia de Pichincha en el periodo 2025 – 2025 y compararlos con la normativa ambiental vigente.

5.2. Objetivos Específicos

- a) Analizar las concentraciones obtenidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ mediante estadística básica y el uso de herramientas gráfico – estadísticas.
- b) Comparar los niveles registrados de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ con los límites de calidad del aire establecidos en la normativa ambiental vigente.
- c) Diseñar propuestas de acción final orientadas a la prevención y mejora de la calidad del aire en las zonas evaluadas.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS

A continuación, en la Tabla 2 se detallan las actividades y resultados, conforme a los objetivos establecidos.

Tabla 2. *Matriz de actividades por objetivos*

| Objetivos | Actividades | Metodología | Resultado |
|---|--|--|---|
| Analizar las concentraciones obtenidas de PM_{10} y $PM_{2.5}$ mediante estadística básica y el uso de herramientas gráfico – estadísticas. | <ul style="list-style-type: none"> - Determinación de los puntos de monitoreo de material particulado. - Monitoreo de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. - Organización de los datos obtenidos. - Representación gráfica de los datos y aplicación de estadística básica para calcular medidas de dispersión y tendencia central (media, desviación estándar, máximos y mínimos) | <ul style="list-style-type: none"> - Observación in situ de acuerdo a criterios técnicos y meteorológicos. - Recopilación de datos mediante el equipo E – BAM. - Análisis descriptivo y gráfico – estadístico de los datos de concentración PM_{10} y $PM_{2.5}$. | Representación gráfica y análisis descriptivo de la variación temporal de las concentraciones PM_{10} y $PM_{2.5}$ para cada punto monitoreado. |
| Comparar los niveles registrados de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ con los límites de calidad del aire establecidos en la normativa ambiental vigente. | - Comparación de los resultados promedio de concentración PM_{10} y $PM_{2.5}$ de cada uno de los puntos monitoreados con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente. | Análisis comparativo mediante gráficos estadísticos de los valores promedio obtenidos del monitoreo con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente. | Análisis de resultados y evaluación de la calidad del aire dentro de las áreas de estudio. |

| | | | |
|---|--|---|--|
| Diseñar propuestas de acción final orientadas a la prevención y mejora de la calidad del aire en las zonas evaluadas. | - Revisión bibliográfica de estrategias de prevención y mejoramiento de calidad del aire. - Selección de estrategias adecuadas para propuestas de acción final. | Elaboración de propuestas de acción final en función de las mejores estrategias de prevención y mejoramiento ambiental. | Propuestas de acción final para prevenir y mejorar la calidad del aire en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi. |
|---|--|---|--|

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1. Atmósfera

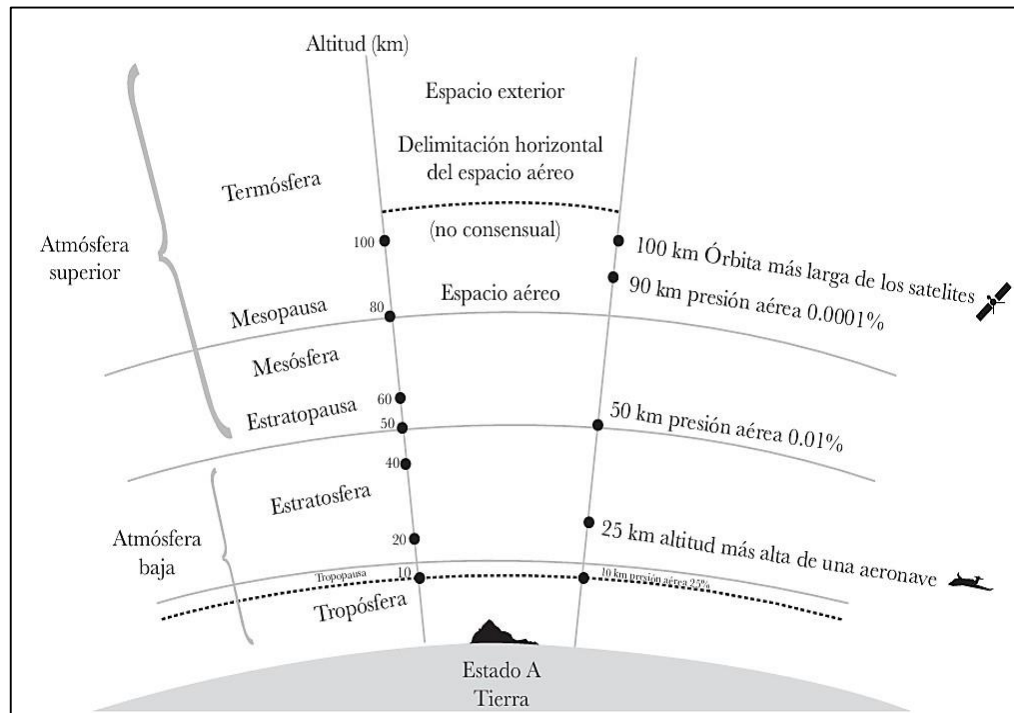
La atmósfera es una envoltura gaseosa que rodea al planeta Tierra y desempeña un papel fundamental en el sostenimiento de la vida. La atmósfera realiza la absorción de radiación ultravioleta proveniente del Sol por el oxígeno de la atmósfera conduce a un aumento en la energía cinética de las moléculas del aire y, por lo tanto, al incremento de la temperatura, contribuyendo a la formación de ozono y otros fenómenos atmosféricos (Pérez, 2022).

7.1.1. Capas de la Atmósfera

La atmósfera se divide en varias capas: troposfera, estratosfera, ionosfera y exosfera (atmósfera superior) (Figura 1). Es principalmente en la troposfera, donde ocurren los fenómenos relacionados con la contaminación, desde su liberación hasta sus consecuencias (Encinas, 2011).

Figura 1.

Estructura de la Atmósfera



Nota. Adaptado de (Anglés et al., 2023)

Los cambios en la composición y condiciones de la atmósfera, en particular de la troposfera y la estratosfera, afectan las condiciones de la Tierra (Anglés et al., 2023). Cerca del 80% de la masa de la atmósfera se localiza en la troposfera mientras que en la estratosfera se ubica la capa de ozono que protege la superficie terrestre de la radiación ultravioleta del Sol (Kreuter-Kirchhof, 2012).

7.2. Aire

El aire es una mezcla de gases que forma la atmósfera terrestre, siendo un componente vital para el desarrollo de la vida como es la respiración y fotosíntesis. Dicho componente, no tiene un volumen definido y es sensible a la temperatura (se expande con el calor y se contrae con el frío), además, es insípido, transparente, inodoro e incoloro en pequeñas cantidades (CONANP, 2018).

7.2.1. Composición del Aire

El aire se encuentra compuesto, aproximadamente, por 21.0% oxígeno (O₂), 78.0% Nitrógeno (N₂), 0.04% Dióxido de carbono (CO₂) y 0.96% de Argón y otros gases (INEI, 2015). En la Tabla 3 se muestra a detalle su composición química.

Tabla 3. Composición química del aire

| Gas | Fórmula | Volumen (%) |
|---------------------------------------|------------------|--------------------|
| Nitrógeno | N ₂ | 78 |
| Oxígeno | O ₂ | 21 |
| Argón | Ar | 0.93 |
| Dióxido de carbono | CO ₂ | 0.039 |
| Neón | Ne | 0.0008 |
| Helio | He | 0.0005 |
| Metano | CH ₄ | 0.00017 |
| Kriptón | Kr | 0.0001 |
| Óxido nitroso | N ₂ O | 0.000003 |
| Bajo nivel de ozono (tropósfera) | O ₃ | 0.000001 a 0.00005 |
| Alto nivel de ozono (estratósfera) | O ₃ | 0.000004 a 0.00002 |
| Vapor de agua | H ₂ O | Variable |

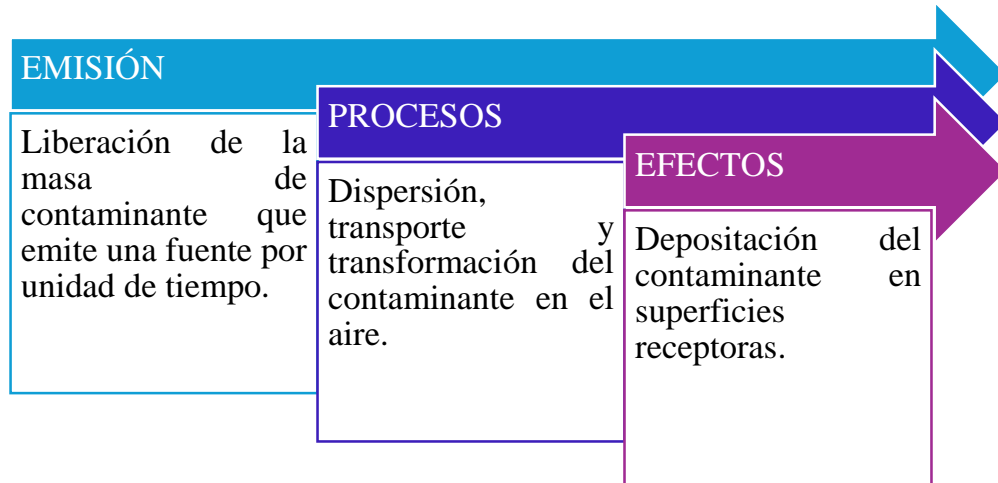
Nota. Elaborado a partir de (SEMARNAT, 2013)

7.2.2. Contaminación del Aire

La contaminación del aire es la presencia en la atmósfera de sustancias o compuestos químicos, de origen natural o artificial, en concentraciones que pueden representar un riesgo para la salud humana, dañar los bienes materiales o alterar el equilibrio ambiental. Estos contaminantes pueden encontrarse en forma sólida, líquida o gaseosa, y son transportados o retenidos por el aire, afectando la calidad de este (Encinas, 2011).

El proceso de contaminación del aire se desarrolla en tres fases principales: emisión, transformación y efectos (Figura 2). Primero, los contaminantes se liberan al ambiente con una determinada tasa de emisión. Luego, estas sustancias atraviesan procesos de dispersión, transporte y transformación en la atmósfera, lo que determina el nivel de inmisión, es decir, la concentración del contaminante por metro cúbico de aire en un lugar alejado de la fuente original. Finalmente, los contaminantes se depositan sobre diversas superficies, generando efectos en el entorno (Encinas, 2011).

Figura 2. *Etapas principales de la contaminación del aire*



Nota. Elaborado a partir de (Encinas, 2011)

7.2.3. Fuentes de Contaminación del Aire

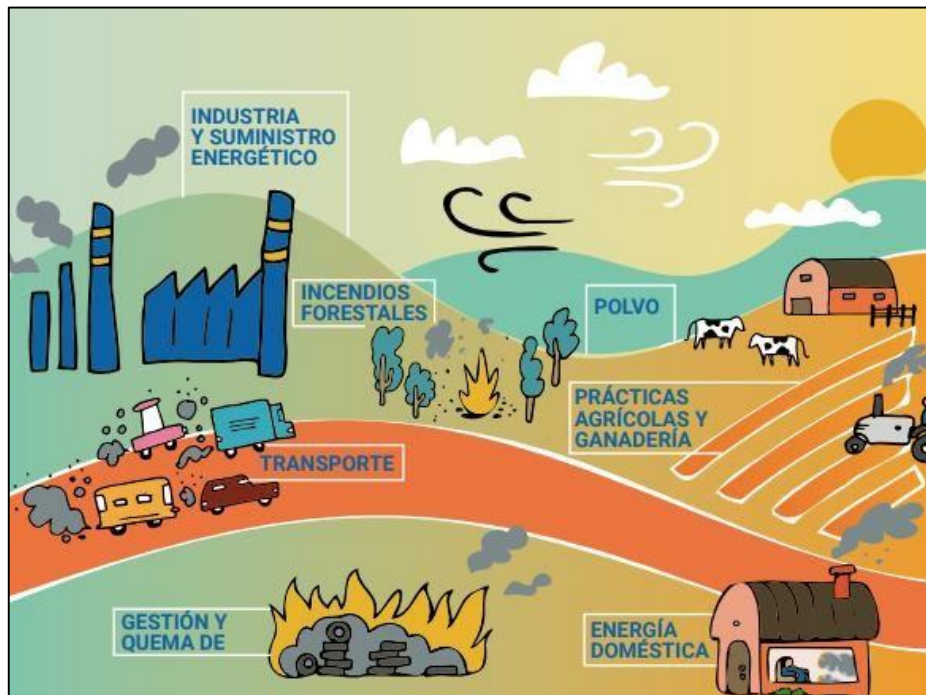
La mayor parte de la contaminación del aire proviene de fuentes antropogénicas, es decir, generadas por la acción del ser humano. Estas incluyen actividades como la quema de combustibles fósiles en el transporte, los procesos industriales utilizados para generar energía, así como las prácticas agrícolas y ganaderas (Daly & Cognuck, 2021). También contribuyen significativamente la quema de bosques y la incineración de residuos sólidos (Figura 3).

El proceso de combustión consiste en una reacción química que, al desarrollarse, produce dióxido de carbono y, en casos de combustión incompleta, monóxido de carbono. Además, puede generar otros contaminantes como óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos de cloro, hidrocarburos, entre otros, según el material que se queme (Martínez & Díaz de Mera, 2004)

La forma de medición de la contaminación es mediante la concentración que puede variar entre miligramos (mg) a nanogramos (ng) de contaminante sobre metros cúbicos (m³) de aire (Dávalos & Arévalo, 2019).

Figura 3.

Fuentes de contaminación del aire



Nota. Adaptado de (Daly & Cognuck, 2021)

7.2.3.1. Clasificación de los Contaminantes del Aire

- **Contaminantes criterio:** Son aquellos contaminantes normados a los que se les han establecido un límite máximo permisible de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población (COFEPRIS, 2017). Adicional, se miden de manera continua los contaminantes criterio: ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), las partículas en suspensión (PM₁₀ y PM_{2.5}) y el plomo (Pb) (Ramírez y otros, 2024).
- **Contaminantes tóxicos:** Son compuestos en forma de gas o partículas que se encuentran en el aire en concentraciones bajas, pero con características de toxicidad o persistencia que pueden representar un peligro para la vida humana, animal o vegetal (Ramírez y otros, 2024).
- **Contaminantes biológicos:** Son emitidos a partir de material vivo o en descomposición, por ejemplo, moho, esporas, partes de insectos, restos de piel humana o animal y plagas (COFEPRIS, 2017).

7.3. Material Particulado (PM)

Es la mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas que están suspendidas en el aire (Daly & Cognuck, 2021). El material particulado (PM) es despreciable y depende de la falta de mantenimiento de los equipos en el proceso, incluyen las emisiones de trazas de metales, material inorgánico no combustible, y condensables (Rojano y otros, 2016).

Siendo, uno de los contaminantes más importantes presentes en el aire, representando un riesgo medioambiental para la salud (Dávila y otros, 2022). Puesto que, el tamaño del PM influye en el impacto sobre la salud, determinado por los aerosoles, debido a su facultad para ingresar a las vías respiratorias, esto significa que mientras tengan menores dimensiones se incrementa la posibilidad de producir daños en los organismos (Ramírez y otros, 2024).

7.3.1. Material Particulado PM_{10}

Son partículas con un diámetro menor a 10 micrómetros, las cuales se generan a partir de procesos de combustión los cuales no están controlados principalmente se da con las fuentes antropogénicas móviles y fijas (Rubio, 2019).

Las partículas de hasta 10 micras de diámetro, o PM_{10} , entran a nuestras vías respiratorias y pueden llegar a instalarse en los pulmones, de forma que pueden generar graves enfermedades (Daly & Cognuck, 2021).

7.3.2. Material Particulado $PM_{2.5}$

Son partículas con un diámetro inferior a 2.5 micrómetros, estas son un indicador que representa la cantidad de partículas suspendidas que no se emiten directamente al aire, sino que se forman en la atmósfera como producto de reacciones químicas y procesos físicos (Quijano & Orozco, 2005).

Dichas partículas, se consideran las más dañinas de todas: por su tamaño pueden ingresar en nuestro torrente sanguíneo y son capaces incluso de llegar al cerebro (Daly & Cognuck, 2021).

7.3.3. Calidad del aire

La calidad del aire en una determinada área se evalúa a través de la medición de los niveles de inmisión de los contaminantes, utilizando redes de monitoreo ambiental, las cuales están formadas por múltiples estaciones de muestreo ubicadas estratégicamente en distintos puntos de la zona (Encinas, 2011).

7.3.4. Índice de la Calidad del Aire

El Índice de Calidad del Aire (ICA) es una herramienta numérica utilizada para representar de forma simplificada los niveles de contaminación atmosférica, facilitando al público la comprensión del grado de afectación del aire y sus posibles impactos en la salud (EPA , 2024).

Se calcula para cada contaminante por separado siguiendo el método estandarizado de la Agencia de Protección Ambiental usando la siguiente fórmula:

$$ICA = \frac{(I_H - I_L)}{(C_H - C_L)} \times (C - C_L) + I_L \quad (1)$$

Donde:

C = concentración del contaminante (PM_{10} y $PM_{2.5}$) medida

C_H = límite superior del intervalo donde cae la concentración

C_L = límite inferior del intervalo donde cae la concentración







I_H = valor superior de ICA correspondientes a ese intervalo

I_L = valor inferior de ICA correspondiente a ese intervalo

Los rangos de índice de calidad del aire (ICA) se miden de 0 a 500 y se categorizan de la siguiente manera para el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Tabla 4):

Tabla 4. Rangos de Índice de Calidad del Aire (ICA) para PM_{10} y $PM_{2.5}$




| RANGO | $PM_{2.5}$ | PM_{10} | Categoría | Descripción | Color |
|-------|------------|-----------|-----------|-------------|-------|
|-------|------------|-----------|-----------|-------------|-------|

| ICA | (ug/m3) | (ug/m3) | de calidad | | |
|-----------|---------------|-----------|-----------------------|--|---|
| 0 – 50 | 0.0 – 12.0 | 0 – 54 | Buena | Calidad de aire satisfactoria, sin riesgo para la salud. |  |
| 51 – 100 | 12.1 – 35.4 | 55 – 154 | Moderada | Aceptable, posible riesgo para personas sensibles |  |
| 101 – 150 | 35.5 – 55.4 | 155 – 254 | Dañina para sensibles | Riesgo para personas con enfermedades respiratorias. |  |
| 151 – 200 | 55.5 – 150.4 | 255 – 354 | Dañina | Riesgo para toda la población, grupos vulnerables. |  |
| 201 – 300 | 150.5 – 250.4 | 355 – 424 | Muy dañina | Riesgo significativo para la salud de toda la población. |  |
| 301 – 500 | 250.5 – 500.4 | 425 – 604 | Peligrosa | Emergencia de salud pública. |  |

Nota. Datos obtenidos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA , 2024)

En la Tabla 5 se muestra los niveles de concentración de PM₁₀ y PM_{2.5} registrados en las principales localidades de Ecuador, proporcionando una visión general del grado de contaminación del aire en estas zonas. De acuerdo con los rangos establecidos por la EPA, estos niveles se ubican dentro de la categoría de contaminación *moderada*, lo que indica una calidad del aire aceptable, aunque con posibles riesgos para grupos sensibles (AQI , 2025).

Tabla 5. Niveles de Contaminación del Aire de las principales locaciones de Ecuador (mayo – 2025)

| Locación | Estado | ICA | PM _{2.5} (ug/m ³) | PM ₁₀ (ug/m ³) | Temperatura (°C) |
|-----------|--|-----|---|--|---------------------|
| Azuay |  | 63 | 16 | 42 | 19 |
| Galápagos |  | 57 | 12 | 25 | 22 |
| Pichincha |  | 68 | 18 | 41 | 18 |

Nota. Elaborado a partir de (AQI , 2025)

7.3.5. Efectos sobre la Salud

Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que el material particulado (PM) tiene efectos perjudiciales para la salud humana, siendo las partículas más finas, como las PM_{2.5} las más peligrosas debido a su capacidad de alcanzar las regiones más profundas del aparato respiratorio (Chen y otros, 2017).

La exposición al material particulado (PM), tanto en periodos cortos como prolongados, puede provocar diversos efectos adversos en la salud, especialmente en el sistema cardiovascular y respiratorio. A corto plazo, puede causar molestias como irritación ocular, nasal y de garganta, mientras que a largo plazo puede derivar en afecciones respiratorias crónicas, como asma y bronquitis, así como en enfermedades cardíacas e insuficiencia cardíaca (World Health Organization, 2013).

De acuerdo con el informe de calidad del aire de Quito del año 2022 en la Tabla 6 se presenta las fuentes, características y efectos sobre la salud asociados a los materiales particulados PM₁₀ y PM_{2.5} (Secretaria de Ambiente , 2023).

Tabla 6. Fuentes y características de los contaminantes PM₁₀ y PM_{2.5}

| Contaminante | Características | Fuentes Principales | Efectos sobre la Salud |
|-------------------------|---|---|--|
| <i>PM₁₀</i> | Material particulado suspendido de diámetro menor a 10 µm. Partículas de material sólido o gotas líquidas suspendidas en el aire. Puede presentarse como polvo, niebla, aerosoles, humo, hollín, etc. | Erosión eólica de tráfico en vías pavimento actividades construcción. Procesos combustión (industria y vehículo de automoción). | sin Produce irritación de las vías respiratorias, agrava el asma y favorece las enfermedades cardiovasculares. Causa deterioro de la función respiratoria (corto plazo). Asociado con el desarrollo de enfermedades crónicas, cáncer o muerte prematura (largo plazo). |
| <i>PM_{2.5}</i> | Material particulado suspendido menor a 2.5 µm. | Procesos combustión (industrias, generación termoeléctrica). Incendios forestales, quemas. Purificación y procesamiento de metales. | de Tiene la capacidad de ingresar al espacio alveolar o al torrente sanguíneo incrementando el riesgo de padecer enfermedades crónicas cardiovasculares y muerte prematura. |

Nota. Adaptado de (Secretaría de Ambiente , 2023)

7.4. Marco Legal

7.4.1. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)

De acuerdo con el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), LIBRO VI, CAPÍTULO VIII, SECCIÓN III, PARÁGRAFO IV, DEL AIRE Y DE LAS EMISIONES A LA ATMÓSFERA, se detallan los siguientes artículos relacionados con la calidad del aire:

Art 219.- De la calidad del aire. - Corresponde a características del aire ambiente como el tipo de sustancias que lo componen, la concentración de estas y el período en el que se presentan en un lugar y tiempo determinado; estas características deben garantizar el equilibrio ecológico, la salud y el bienestar de la población (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2017).

Art. 220.- Calidad del aire ambiente. - La Autoridad Ambiental Nacional expedirá la norma técnica de control de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión, mediante la figura legal correspondiente que será de cumplimiento obligatorio. De ser necesario la Autoridad Ambiental Nacional podrá disponer la evaluación y control de la calidad del aire ambiente mediante indicadores biológicos para lo cual, establecerá las normas técnicas y lineamientos respectivos (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2017).

7.4.1. Normativa Vigente 097 – A

Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión LIBRO VI ANEXO 4

La presente norma tiene como objeto principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

Los contaminantes comunes o criterio considerados por la norma son: partículas sedimentables, material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM_{10}) y menor a 2,5 micrones ($PM_{2.5}$), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y ozono (O_3). La actual normativa también considera al benceno, cadmio y mercurio inorgánico como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o cancerígenos (Secretaría de Ambiente , 2023).

De las normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente

La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos (Tabla 7), para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

Tabla 7. Límites máximos de concentración de los contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$

| Contaminante | Valor | Unidad | Periodo de medición | Excedencia permitida |
|--------------|-------|--------------------------|--|----------------------|
| PM_{10} | 50 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año | No se permite |
| | 100 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 24 horas | No se permite |
| $PM_{2.5}$ | 15 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año | No se permite |
| | 50 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 24 horas | No se permite |

Nota. Adaptado de (Secretaría de Ambiente, 2023)

De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire

La Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental establecerá un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante Situaciones Críticas de Contaminación del Aire, basado en el establecimiento de tres niveles de concentración de contaminantes. La ocurrencia de estos niveles determinará la existencia de los estados de Alerta, Alarma y Emergencia (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire. Cada uno de los tres niveles será declarado por la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental cuando uno o más de los contaminantes criterio indicados exceda las concentraciones establecidas en la Tabla 8 o cuando se considere que las condiciones atmosféricas que se esperan sean desfavorables en las próximas 24 horas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

Tabla 8. Concentraciones de contaminantes PM_{10} y $PM_{2.5}$ que definen los niveles de alerta, alarma y emergencia en la calidad del aire

| CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO | ALERTA | ALARMA | EMERGENCIA |
|---|---------------|---------------|-------------------|
| Material Particulado PM ₁₀ Concentración en 24 horas (ug/m3) | 250 | 400 | 500 |
| Material Particulado PM _{2.5} Concentración en 24 horas (ug/m3) | 150 | 250 | 350 |

Nota. Elaborado a partir de (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015)

De los métodos de medición de los contaminantes criterio del aire ambiente

La responsabilidad de la determinación de las concentraciones de contaminantes criterio, a nivel de suelo, en el aire ambiente recaerá en la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en la determinación de la concentración de contaminantes, serán aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (Code of Federal Regulations) por Directivas de la Comunidad Europea y normas ASTM (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015), y cuya descripción general se presenta a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. *Métodos de medición de los contaminante PM₁₀ y PM_{2.5} para evaluar la calidad del aire*

| CONTAMINANTE | NOMBRE | DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO | MÉTODOS ALTERNOS |
|---------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------|
|---------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------|

| | | | |
|--|---|--|---|
| Material Particulado (PM₁₀) | Método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal | El muestreador de alto o bajo caudal utiliza una entrada aerodinámica para separar partículas mayores a 10 micrones, mientras que las menores son recolectadas en un filtro. La concentración se calcula pesando el filtro antes y después del muestreo de aire durante 24 horas, realizado al menos cada seis días. | Podrán ser también utilizados los denominados métodos de medición continua, tanto del tipo Microbalanza Oscilante como el tipo Atenuación Beta. |
| Material Particulado (PM_{2.5}) | Método Gravimétrico, mediante muestreador de alto caudal o de bajo caudal | El muestreador de alto o bajo caudal utiliza una entrada aerodinámica para separar partículas mayores a 2.5 micrones, mientras que las menores son recolectadas en un filtro. La concentración se calcula pesando el filtro antes y después del muestreo de aire durante 24 horas. | Podrán ser también utilizados los denominados métodos de medición continua, del tipo Microbalanza Oscilante o del tipo Atenuación Beta. |

Nota. Elaborado a partir de (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015)

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS

¿La cantidad y ubicación de los puntos de monitoreo seleccionados fue suficiente para generar una base de datos representativa de las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en los mercados Central y Mayorista de Machachi?

La cantidad y ubicación de los puntos de monitoreo de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ resultaron adecuadas y representativas para la conformación de una base de datos confiable. La selección de los puntos se llevó a cabo de forma estratégica, considerando criterios de campo, técnicos y meteorológicos. En cuanto a los criterios de campo, mediante observación directa in situ se identificaron zonas con alta afluencia peatonal, tráfico vehicular e intensa actividad comercial en ambos mercados, factores determinantes en la generación y concentración de material particulado en el ambiente. Desde el punto de vista técnico, se consideraron los requerimientos específicos del equipo de monitoreo ambiental E-BAM, los cuales se describen en el Manual de Operación E – BAM, en la Sección 1.3.1, perteneciente a la Selección del Sitio de Muestreo. Respecto al criterio meteorológico, se tomaron en cuenta las condiciones ambientales locales de la ciudad de Machachi durante el período de monitoreo.

Con base en los criterios previamente establecidos, se seleccionaron tres puntos de monitoreo para cada mercado. Esta cantidad de puntos se justificó de acuerdo con las directrices establecidas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), las cuales recomiendan determinar el número de estaciones de muestreo en función de factores como la densidad poblacional, la intensidad de las actividades antropogénicas y la complejidad del entorno urbano.

Para asegurar una cobertura espacial adecuada que permita captar la variabilidad de las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, se ubicaron los puntos de monitoreo de la siguiente manera: en el mercado Central, los puntos P1, P2 y P3 se establecieron en aceras peatonales cercanas a la Av. Amazonas, Av. 11 de Noviembre y Av. José Mejía, respectivamente; mientras que en el mercado Mayorista, los puntos P1, P2 y P3 se ubicaron en aceras peatonales cercanas a la Av. C 11 de Noviembre, Av. Barriga y Av. Luis Cordero, respectivamente.

¿El análisis estadístico gráfico y descriptivo de los datos permitió identificar tendencias temporales o variaciones significativas en las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ a lo largo del día en las zonas de estudio?

El monitoreo continuo de 24 horas realizado en cada uno de los puntos seleccionados para ambos mercados permitió identificar variaciones significativas en los niveles de concentración de los contaminantes evaluados a lo largo del día. A través de un análisis

estadístico básico, utilizando medidas de tendencia central como la media aritmética y medidas de dispersión como la desviación estándar, se calcularon los promedios diarios de concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ y variabilidad de los datos con respecto a la media calculada. Adicionalmente, mediante herramientas gráfico–estadísticas, como diagramas de barra, se identificaron los valores máximos y mínimos de concentración registrados durante el periodo de monitoreo, así como los intervalos horarios en los que estas concentraciones alcanzaron sus picos o disminuciones más relevantes.

En este contexto, uno de los registros más relevantes corresponde a las concentraciones de PM_{10} obtenidas en el punto P2 del Mercado Mayorista de Machachi, durante la jornada de monitoreo realizada el lunes 12 de mayo del 2025, en el intervalo comprendido entre las 8:00 a 11:00 am, donde se observaron niveles elevados, con valores que oscilaron entre 100 y 185 ug/m^3 , este incremento coincide con el horario de mayor actividad comercial, caracterizado por una alta afluencia de peatonal y vehículos. En contraste, los valores mínimos de dicha concentración fueron registrados en el punto P2 del Mercado Central durante la jornada de monitoreo del martes 6 de mayo del 2025 específicamente a las 00:00am, con un valor de 4.94 ug/m^3 . Este mismo valor se repitió en el punto P3 del mismo mercado durante la jornada del jueves 8 de mayo del 2025, en el mismo intervalo horario, estas bajas concentraciones tendieron a presentarse durante la madrugada cuando la actividad comercial y el flujo vehicular son prácticamente nulos. Por otra parte, los únicos valores que se mantuvieron relativamente estables a lo largo del día fueron los del material particulado $PM_{2.5}$ pertenecientes al punto P1 del mercado Central de Machachi, los cuales oscilaron entre 2 y 4 ug/m^3 . Finalmente, de manera general, la desviación estándar mostró una alta variabilidad con respecto a la media en cada punto de monitoreo, corroborando la existencia de valores de concentración muy elevados en determinados intervalos horarios.

¿El análisis comparativo de las concentraciones promedio de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A del TULSMA permitió evaluar el cumplimiento de la normativa de calidad del aire en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi?

El análisis comparativo se llevó a cabo contrastando los valores promedio obtenidos en las mediciones continuas de 24 horas con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial

097-A del Libro VI del TULSMA, específicamente en la Sección 4.1.2, la cual establece las Normas Generales para la concentración de contaminantes criterio en el aire ambiente. Según esta normativa, el valor promedio de concentración en 24 horas no debe exceder los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$.

Con base en este marco normativo, los resultados obtenidos muestran que, en términos generales, las concentraciones promedio de material particulado en los mercados Central y Mayorista de Machachi se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la legislación ambiental vigente. Para el caso del PM_{10} , las concentraciones promedio oscilaron entre 20 y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sin superar en ningún punto el límite máximo de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En cuanto al $\text{PM}_{2.5}$, los valores registrados se encontraron en un rango de 3.5 a $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, permaneciendo por debajo del valor límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Los resultados obtenidos evidencian el cumplimiento de los estándares establecidos por la normativa ambiental nacional, calificando la calidad del aire en las zonas monitoreadas como aceptable y no representa un riesgo significativo para la salud de los comerciantes, consumidores y habitantes del entorno.

9. METODOLOGÍAS

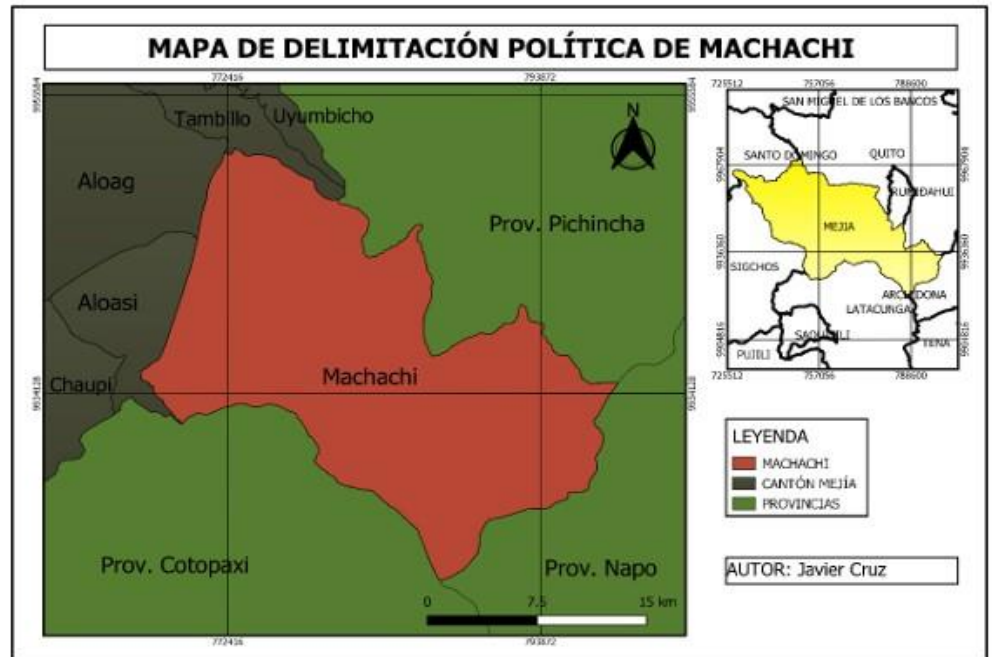
9.1. Área de Estudio

Los mercados Central y Mayorista se encuentran ubicados en la ciudad de Machachi, perteneciente al cantón Mejía, en la provincia de Pichincha. Esta ciudad andina se sitúa aproximadamente a 35 kilómetros al sur de Quito, se extiende sobre un área de 392.91 km^2 , alberga una población aproximada de 36,736 habitantes y se sitúa a una altitud de 2870 metros

sobre el nivel del mar (Figura 4). Las condiciones climáticas de la zona se caracterizan por un clima templado-frío, influenciado por su elevación, con una precipitación anual que varía entre 600 y 800 mm y una temperatura media anual cercana a los 12 °C.

Figura 4.

Ubicación geográfica de la ciudad de Machachi



Nota. Elaboración propia

La ubicación geográfica de los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi se detalla en la Tabla 10 y se representa gráficamente en las Figuras 5 y 6.

Tabla 10. *Ubicación de los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi*

| UBICACIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO | | |
|-----------------------------------|----------|-----------|
| ÁREA | LATITUD | LONGITUD |
| <i>Mercado Central</i> | -0.51345 | -78.56824 |

Mercado Mayorista

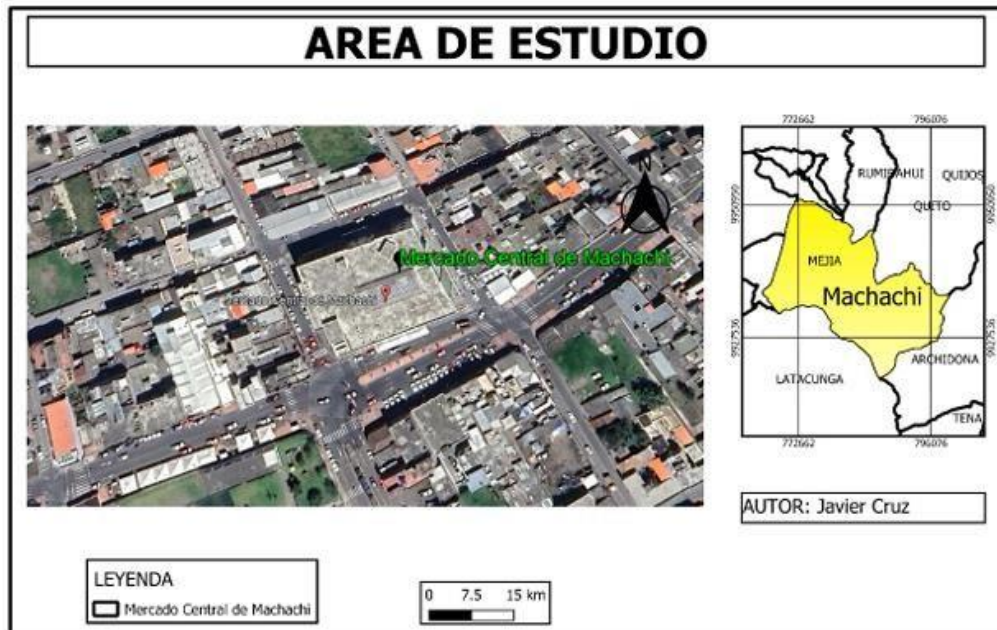
-0.51623

-78.56698

Nota. Elaboración propia

Figura 5.

Ubicación geográfica Mercado Central de Machachi



Nota. Elaboración propia

Figura 6.

Ubicación geográfica Mercado Mayorista de Machachi



Nota. Elaboración propia

9.2. Tipos de Investigación

Para llevar a cabo el presente estudio, se aplicaron enfoques de investigación cuantitativa, descriptiva, comparativa y de campo, con el objetivo de realizar una evaluación integral y precisa de la calidad del aire en las zonas seleccionadas.

9.2.1. Investigación Cuantitativa

El enfoque cuantitativo se fundamenta en la recolección, procesamiento e interpretación de datos numéricos relacionados con la calidad del aire. Para ello, se empleó el equipo de monitoreo ambiental E-BAM, el cual registró las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, durante 24 horas continuas, con una frecuencia de medición cada 10 minutos.

Los datos obtenidos fueron sistematizados en hojas de cálculo de Microsoft Excel, donde se aplicaron fórmulas estadísticas para calcular medidas de tendencia central, como la media aritmética, y de dispersión, como la desviación estándar, con el fin de determinar los valores promedio de concentración por punto de monitoreo y evaluar la variabilidad de los datos respecto al promedio.

Asimismo, mediante herramientas gráfico-estadísticas, específicamente gráficos de barras, se identificaron patrones de comportamiento, tendencias temporales, valores máximos y mínimos, así como posibles excedencias en relación con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

9.2.2. Investigación Descriptiva

El enfoque descriptivo se sustenta en la caracterización detallada de las condiciones actuales de la calidad del aire en las zonas de estudio. A través de este enfoque, se analizó el comportamiento de las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en los puntos de monitoreo ubicados en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi. Adicionalmente, la representación gráfica de los datos permitió identificar patrones y tendencias horarias, evidenciando los periodos del día en donde se registraron los valores máximos y mínimos de concentración.

9.2.3. Investigación Comparativa

Este tipo de investigación permitió analizar de forma sistemática las similitudes y diferencias entre dos unidades de estudio, con el fin de establecer relaciones comparativas que contribuyan a una comprensión más precisa del fenómeno evaluado. En este caso, se contrastaron los resultados obtenidos en los mercados Central y Mayorista de Machachi, identificando variaciones significativas y coincidencias en los niveles de concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. Adicionalmente, se realizó una comparación entre los valores promedio obtenidos durante el monitoreo continuo de 24 horas en cada punto y los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente, conforme a lo dispuesto en el Acuerdo Ministerial 097-A del Libro VI del TULSMA, específicamente en la Sección 4.1.2, que establece las Normas Generales para las Concentraciones de Contaminantes Criterio en el Aire Ambiente. Esta comparación permitió determinar el grado de cumplimiento y el posible riesgo potencial para la salud pública.

9.2.4. Investigación de Campo

Este tipo de investigación permite obtener información en tiempo real, lo que garantiza una mayor fidelidad y representatividad en los resultados. La aplicación del trabajo de campo en el presente estudio incluyó la instalación y operación del equipo de monitoreo ambiental E-BAM tomando en cuenta los criterios establecidos en los capítulos 1 y 2 del Manual de Operación de E – BAM.

La selección de los puntos de monitoreo se llevó a cabo de forma estratégica, considerando criterios de campo, técnicos y meteorológicos. A través de los criterios de campo, se identificó zonas con alta afluencia peatonal, tráfico vehicular e intensa actividad comercial en ambos mercados. Desde el ámbito técnico, se consideraron los requerimientos específicos

del equipo de monitoreo ambiental E-BAM, los cuales se describen en el Manual de Operación E – BAM, en la sección 1.3.1, perteneciente a la Selección del Sitio de Muestreo. Y respecto a los criterios meteorológicos, se tomaron en cuenta las condiciones ambientales locales de la ciudad de Machachi durante el período de monitoreo.

La cantidad de puntos de monitoreo se justificó conforme a las directrices establecidas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), los cuales recomiendan determinar el número y la ubicación de las estaciones de muestreo en función de factores como la densidad poblacional, la intensidad de las actividades antropogénicas y la complejidad del entorno urbano.

Tanto la distribución estratégica de los puntos como el uso adecuado del equipo de monitoreo ambiental E–BAM contribuyeron a garantizar la representatividad de los datos obtenidos, permitiendo registrar de forma confiable las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en las zonas de estudio.

9.3. Métodos de Investigación

9.3.1. Método Estadístico

El método estadístico permite la recolección, análisis e interpretación de datos provenientes de una muestra representativa, ya sea para ayudar en la toma de decisiones o para explicar condiciones regulares o irregulares de algún fenómeno. Para la presente investigación, dicho método fue aplicado para calcular medidas de tendencia central, como la media aritmética, y medidas de dispersión, tales como los valores máximos, mínimos y desviación estándar, lo que permitió obtener una caracterización cuantitativa gráfica del comportamiento de las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ registradas en los puntos estratégicos de monitoreo ubicados en ambos mercados.

9.3.2. Método Analítico

El método analítico consiste en el análisis detallado y sistemático de los datos recolectados, lo que facilita la interpretación de los gráficos y resultados estadísticos obtenidos a partir del muestreo realizado durante la investigación de campo. En este estudio, se aplicó para evaluar las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en los puntos de monitoreo. Este enfoque permitió identificar fluctuaciones temporales y espaciales, así como

patrones de comportamiento a lo largo del día, otorgándonos una comprensión más precisa de la dinámica de la calidad del aire en las zonas evaluadas.

9.3.3. Método Inductivo

El método inductivo se basa en la observación sistemática de hechos particulares y en el análisis de datos específicos para generar conclusiones de carácter general. En el presente estudio, dicho enfoque fue aplicado al examinar los niveles diarios de concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ registrados en los puntos de monitoreo establecidos. A partir del análisis estadístico realizado, y mediante el uso de gráficos estadísticos (como gráficos de barras), se identificaron los intervalos horarios en los que las concentraciones promedio horarias alcanzaron sus valores máximos y mínimos a lo largo del día. Adicionalmente, el cálculo de la desviación estándar para cada punto de monitoreo permitió evaluar la variabilidad de los datos en relación con el promedio obtenido durante las 24 horas de medición continua.

Estas variaciones temporales se asociaron con patrones de comportamiento urbano, tales como el incremento de la circulación vehicular, la mayor afluencia peatonal y el desarrollo de actividades comerciales en determinados horarios. De esta manera, fue posible identificar tendencias en los niveles de concentración de material particulado a lo largo del día.

9.4. Instrumentos y Recursos Tecnológicos

9.4.1. Equipo E – BAM

Los equipos utilizados para medir material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) operan mediante la captación de aire ambiental y la separación de partículas según su tamaño. Este proceso puede realizarse de forma manual, a través de muestreadores que recogen partículas en filtros durante varias horas, o automáticamente mediante sensores que calculan la concentración en tiempo real usando métodos físicos como la dispersión de luz o la atenuación de radiación beta (World Health Organization, 2005).

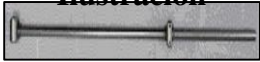

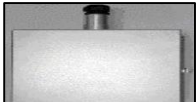
El E-BAM de Met One Instruments es un monitor portátil de radiación beta diseñado para la medición en tiempo real de material particulado fino, específicamente PM_{10} y $PM_{2.5}$. Este equipo fue desarrollado para cumplir con los requerimientos de profesionales de las áreas de salud ambiental, organismos reguladores y técnicos de seguridad. Adicionalmente, se caracteriza por su portabilidad, resistencia, funcionamiento a batería, y su facilidad de instalación, ya que puede estar ensamblado en menos de 15 minutos (Met One Instruments, 2008).

El equipo de monitoreo ambiental E-BAM fue proporcionado por la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), y fue usado para la ejecución del trabajo de campo. Su operación se realizó conforme a lo establecido en los Capítulos 1 y 2 del Manual de Operación del E-BAM, el cual se encuentra alineado con la normativa de la Nuclear Regulatory Commission (NRC) de los Estados Unidos, bajo el Certificado de Registro N.º NR-1124-D-102-E. El procedimiento incluyó el ensamblaje del equipo, la configuración de los intervalos de medición, la ejecución de pruebas de funcionamiento y, posteriormente, la realización del monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en los distintos puntos establecidos para los mercados Central y Mayorista.

9.4.1.1. Componentes del equipo

Para facilitar la comprensión del equipo, en la Tabla 11 se presentan los componentes del equipo de monitoreo ambiental E-BAM utilizados en el proceso de ensamblaje, junto a una breve descripción del funcionamiento de cada uno de ellos.

Tabla 11. *Componentes del equipo E-BAM*

| Componente | Descripción | Ilustración |
|--------------------------|--|---|
| Brazo Cruzado de Soporte | Estructura metálica de soporte para un montaje firme y seguro. |  |
| Rollo de Cinta de Filtro | Medio filtrante continuo que permite capturar el material |  |
| | |  |

| | |
|--|--|
| | particulado suspendido en el aire. |
| Gabinete del E-BAM | Carcasa protectora de los componentes internos del monitor. |
| Cabezal MP ₁₀ | Dispositivo diseñado para monitoreo de material particulado PM ₁₀ . |
| Ciclón Corte Preciso MP _{2.5} SCC monitoreo de partículas finas PM _{2.5} | Separador ciclónico para |
| Trípode | Soporte ajustable para posicionar y nivelar el equipo. |
| Tubo de Entrada | Conducto de entrada donde el aire es aspirado hacia el sistema de muestreo. |
| Temperatura Ambiente | Sensor de temperatura del aire circulante. |
| Placa de Calibración de Cero | Elemento para establecer el punto cero en el equipo, asegura la precisión en las mediciones. |
| Cable de Poder | Cable eléctrico para el suministro de energía al equipo. |
| Cable de Comunicación | Conexión que permite la transferencia del <u>almacenamiento de datos</u> . |
| <hr/> | |
| Modulo Poder AC | Fuente de alimentación que suministra energía eléctrica al equipo. |

Nota. Elaborado a partir de (Met One Instruments, 2008)

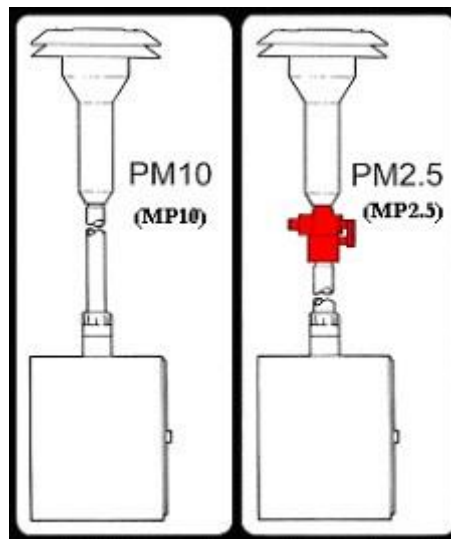
9.4.1.2. Proceso de Instalación

Posteriormente a la identificación de sus componentes principales del monitor E-BAM de Met One Instruments, es fundamental seguir un procedimiento técnico adecuado para su correcta instalación en campo donde se garantice su correcto funcionamiento. A continuación, se detallan los pasos correspondientes al proceso de instalación, ejecutados conforme a los requerimientos técnicos establecidos:

1. Se procedió al despliegue y nivelación del trípode asegurando que estuviera firme y estable para soportar el peso del monitor durante las 24 horas que dura el proceso de medición.
2. El gabinete del E-BAM se levantó con el tubo de entrada orientado hacia arriba. Posteriormente, se aseguró la parte inferior del gabinete al trípode utilizando un perno de ¼".
3. Se retiró el tapón rojo del tubo de entrada para colocar el tubo adaptador corto.
4. Se procedió a colocar el cabezal de corte correspondiente en la parte superior del tubo de entrada del equipo. Para la medición de material particulado PM_{10} se utilizó el cabezal MP_{10} , mientras que, en el caso de $PM_{2.5}$, se colocó el ciclón de corte preciso $MP_{2.5}$ SCC.

Figura 7.

Tipo de cabezal para el monitoreo de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$

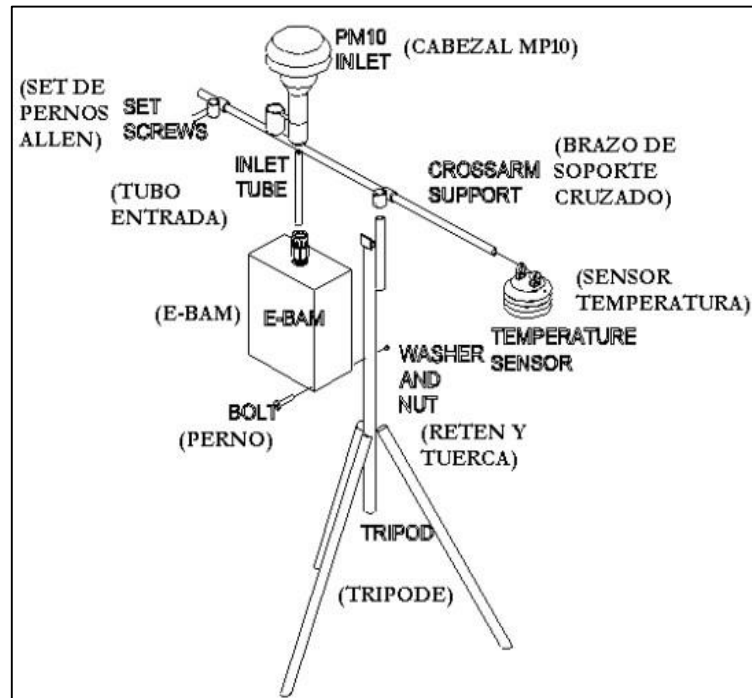


Nota. Adaptado de (Met One Instruments, 2008)

5. Se instaló el brazo de soporte en el tubo del trípode.
6. Se colocó el sensor de Temperatura Ambiente en el brazo de soporte.
7. Se conectó el cable de comunicación en su correspondiente entrada en la parte inferior del gabinete del E-BAM.
8. Para finalizar, se conectó el cable de poder desde el módulo de alimentación AC del equipo a un tomacorriente de pared.

Figura 8.

Equipo E – BAM ensamblado



Nota. Adaptado de (Met One Instruments, 2008)

9.4.1.3. Calibración y Seteo del equipo

Calibración

La calibración del equipo E-BAM fue realizada de manera interna por parte de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), siguiendo las directrices establecidas en el Manual de Operación del equipo. Esta calibración se llevó a cabo en cumplimiento con los estándares de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), conforme a lo establecido en el 40 CFR Parte 50, Apéndices J y N, así como bajo la normativa de la Nuclear Regulatory Commission (NRC), según el Certificado de Registro N.º NR-1124-D-102-E.

De acuerdo con el Manual de Operación del equipo E-BAM y las recomendaciones técnicas proporcionadas por el fabricante Met One Instruments, específicamente en el Capítulo 2, Sección 2.4, referente al mantenimiento y calibración, se deben considerar el siguiente proceso descrito en la Tabla 12, para asegurar una calibración adecuada del equipo (Nota: De manera general la calibración del equipo se realiza mediante el panel de control del equipo a excepción si existe proceso de mantenimiento o cambio de piezas por desgaste o cumplimiento de vida útil):

Tabla 12. *Parámetros de calibración del equipo E – BAM.*

| Componentes | Condiciones estándar de calibración o mantenimiento |
|-------------|---|
|-------------|---|

| | |
|--|---|
| 1. Sistema de Flujo (Calibración) | Se comparó que el flujo de Referencia (REF) y el flujo del equipo (E – BAM) tengan una diferencia menor al 2%. |
| 2. Sensor de Temperatura (Calibración) | Se comparó que la temperatura de referencia (REF) y los valores de temperatura del equipo (E – BAM) se encuentren dentro de 0.5 (°C) o 1 (°F). |
| 3. Sistema de Presión (Calibración) | Se comparó que la presión de referencia (REF) y los valores de presión del equipo (E – BAM) se encuentren dentro de 2 (mmHg). |
| 4. Filtro del Sensor de Temperatura (Calibración) | Se seteo los valores de DELTA – T (SETEO DELTA TEMPERATURA) a 8 (°C). |
| 5. Sensor HR Filtro (Calibración) | Se seteo los valores de RH (SETEO HR HUMEDAD RELATIVA) a 45%. |
| 6. Salida Análoga (Calibración) | Con un multímetro se tomó la lectura del voltaje de salida en el cable de comunicación y se verificó que este valor se encuentre dentro de un rango de 0.002 (V). |

Nota. Elaborado a partir de (Met One Instruments, 2008)

Seteo Básico del equipo

Una vez realizada la calibración del equipo, al encenderlo y acceder al panel de control, se visualizaron los valores predeterminados de fábrica, los cuales se detallan en la Tabla 13.

Tabla 13. *Seteo Básico equipo E – BAM*

| Seteo Básico equipo E – BAM | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| Función | Seteo |
| Avance de Filtro | 24 Horas |
| Promedio de Tiempo Real | 10 minutos |
| Fecha/Hora | GTM – 4 (Pacific Standard Time) |
| Voltaje Análogo | Concentración Horaria |

| | |
|---------------------------|---|
| Rango Análogo | 1.0 (Volt) |
| Seteo de HR Calefactor | 45 (%) |
| Seteo Delta – T | 15 (°C) |
| Velocidad de Comunicación | 9600 (Baudios) |
| Identificación Estación | 01 |
| Punto de Corte | PM ₁₀ (PM ₁₀) / MP _{2.5} (PM _{2.5}) |

Nota. Elaborado a partir de (Met One Instruments, 2008)

Posteriormente para la medición de PM_{2.5}, el único ajuste realizado fue la incorporación del ciclón de corte preciso MP_{2.5} SCC, que permite la separación selectiva de partículas con diámetro aerodinámico menor o igual a 2.5 micras.

9.4.2. Programa QGIS

QGIS es un software libre y de código abierto diseñado para el procesamiento y análisis de información geográfica. Esta herramienta fue fundamental en el desarrollo del presente estudio, puesto que permitió georreferenciar con precisión los puntos de monitoreo donde se evaluaron las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}. Mediante el uso de dicho programa, se emplearon imágenes satelitales como base cartográfica y se integró capas vectoriales para delimitar cada una de las zonas de estudio, lo que permitió la representación geoespacial para la visualización de la distribución de los puntos de muestreo en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi.

9.5. Metodología de Monitoreo

9.5.1. Selección de Puntos de Monitoreo

Para la selección de los puntos de monitoreo en ambos mercados se consideró criterios técnicos, meteorológicos y de campo, los cuales inciden directamente en la precisión y representatividad de la medición de las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}. Los criterios técnicos estuvieron relacionados con los requerimientos operativos del equipo E-BAM, con el fin de asegurar la recolección de datos fiables y evitar posibles fallos durante su funcionamiento. Por su parte, los criterios meteorológicos contemplaron las condiciones climáticas locales en las zonas de estudio.

9.5.1.1. Criterios Técnicos

Ubicación Estratégica de Puntos

El equipo E – BAM se ubicó en puntos en donde la gente transcurre de manera concurrida, ya que tienden a estar a mayor exposición del material particulado generado por las diferentes actividades comerciales del mercado. Adicionalmente, los puntos seleccionados coinciden con zonas de alta afluencia vehicular, ya que las vías que rodean ambos mercados corresponden a rutas principales de acceso a la ciudad de Machachi.

Espaciamiento desde Obstrucciones

Los puntos seleccionados para el monitoreo estuvieron libres de obstrucciones físicas o, en su defecto, se mantuvo una distancia mínima de al menos 3 metros entre el equipo E– BAM y cualquier posible obstáculo. Esta decisión se basó en la necesidad de evitar interferencias que pudieran alterar la captación representativa del material particulado en suspensión. Elementos como árboles, paredes, techos o superficies donde el material particulado pueda depositarse artificialmente, pueden afectar la precisión de las mediciones, ya que el equipo podría registrar acumulaciones locales en lugar de concentraciones reales en el aire ambiente.

Espaciamiento entre Carreteras

Los puntos seleccionados para el monitoreo se ubicaron sobre las aceras peatonales, manteniendo una distancia de aproximadamente 4 metros desde el borde de la vía vehicular. Esta disposición respondió tanto a consideraciones operativas como de seguridad, ya que el equipo E–BAM, por su tamaño, podría representar un obstáculo para el tránsito si se colocara demasiado cerca de la calzada. Adicionalmente, esta separación permite capturar de forma representativa las concentraciones de material particulado emitidas por el flujo constante de vehículos livianos, pesados y motocicletas que circulan en las zonas aledañas a los mercados en estudio, sin interferencias directas ni riesgos asociados a la ubicación del equipo.

9.5.1.2. Criterios Meteorológicos

Para la ubicación de los puntos de monitoreo se tomó en cuenta las condiciones meteorológicas de Machachi ya que es lugar en donde se encuentra ubicadas nuestras áreas de estudio (Mercado Central y Mayorista). De forma general, en la Tabla 14 se presentan los promedios mensuales de las principales condiciones meteorológicas registradas en Machachi durante el mes en que se llevó a cabo el monitoreo de material particulado.

Tabla 14. *Condiciones meteorológicas locales de Machachi (promedio mensual)*

| Condiciones | Valores promedio (mensual) |
|---|--|
| Dirección y velocidad del viento | 7,0 km/h (dirección predominante Este) |
| Temperatura máxima | 18 °C |
| Temperatura mínima | 9 °C |
| Humedad relativa | 0% |
| Precipitación | 92 mm |
| Radiación Solar | 5.2 kWh |
| Presión Atmosférica | 550 mmHg |

Nota. Elaborado a partir de (WeatherSpark)

9.5.2. Población

Se determinó que la población del presente estudio está conformada por las áreas de influencia de los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi. Estas zonas concentran una alta densidad de actividad comercial, afluencia peatonal y tránsito vehicular, lo que las convierte en espacios representativos para evaluar la exposición de la población al material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}).

9.5.3. Muestra

Se seleccionaron tres puntos de monitoreo para cada uno de los mercados, sumando un total de seis puntos estratégicamente distribuidos. Esta selección se basó en los criterios técnicos, meteorológicos y de campo descritos más a detalle en la sección de Investigación de Campo del presente estudio.

La cantidad y ubicación de los puntos de muestreo se justificaron conforme a las directrices de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), específicamente lo establecido en el 40 CFR Parte 50, Apéndice J (Especificaciones para la medición de material particulado PM₁₀) y Apéndice N (Requisitos para el muestreo y análisis de PM_{2.5}). Adicionalmente, se consideraron los lineamientos del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), el cual recomienda determinar el número y ubicación de las estaciones de monitoreo en función de la densidad poblacional, la intensidad de las actividades antropogénicas y la complejidad del entorno urbano. Estos criterios permitieron garantizar una adecuada representatividad espacial de los datos recolectados.

9.5.3.1. Puntos de Monitoreo

De acuerdo con los criterios y normas de selección previamente establecidas para la muestra del presente estudio, los puntos de monitoreo correspondientes a cada uno de los mercados se detallan en la Tabla 15.

Tabla 15. *Puntos de Monitoreo de los Mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi*

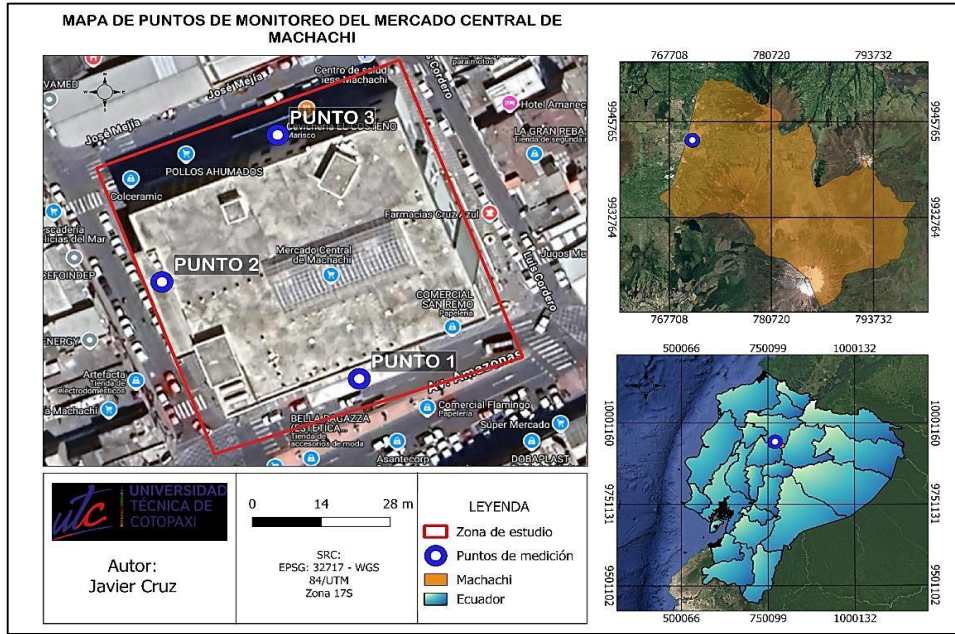
| MERCADO CENTRAL – MACHACHI | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------|-----------------|
| PUNTO DE MONITOREO | UBICACIÓN | LATITUD | LONGITUD |
| Punto 1 | Machachi: Av. Amazonas | -0.51361 | -78.56823 |
| Punto 2 | Machachi: Av. 11 de Noviembre | -0.51344 | -78.56859 |
| Punto 3 | Machachi: Av. José Mejía | -0.51317 | -78.56833 |
| MERCADO MAYORISTA – MACHACHI | | | |
| PUNTO DE MONITOREO | UBICACIÓN | LATITUD | LONGITUD |
| Punto 1 | Machachi: Av. C 11 de Noviembre | -0.51602 | -78.56774 |
| Punto 2 | Machachi: Av. Barriga | -0.51555 | -78.56751 |
| Punto 3 | Machachi: Av. Luis Cordero | -0.51589 | -78.56709 |

Nota. Elaboración propia

Por otro lado, mediante el software QGIS como herramienta de apoyo se elaboró los mapas georreferenciados correspondientes. En las Figuras 10 y 11 se representan las ubicaciones específicas de los puntos seleccionados tanto para el Mercado Central como para el Mercado Mayorista de la ciudad de Machachi.

Figura 9.

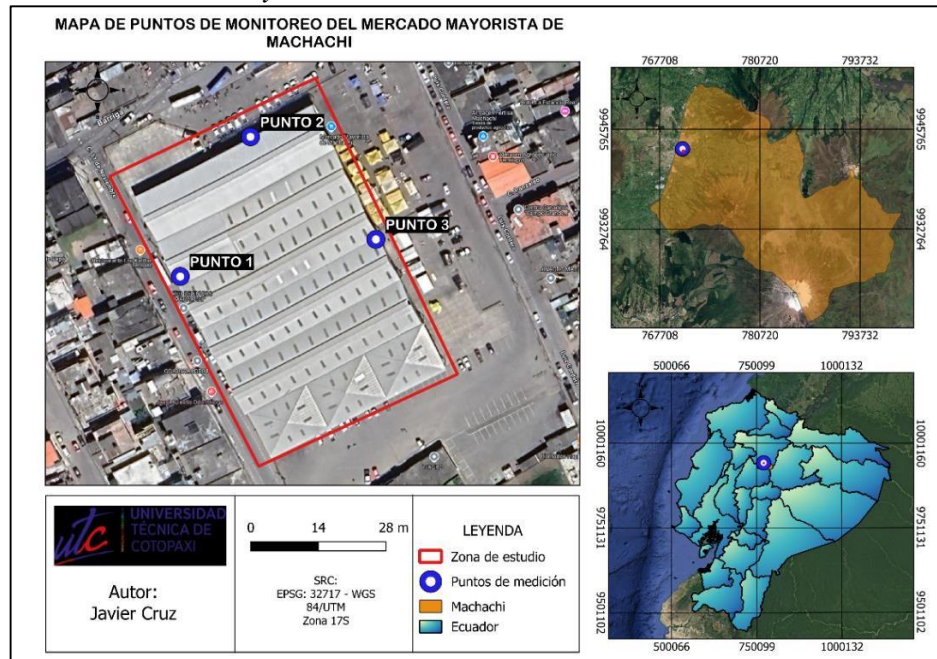
Puntos de monitoreo Mercado Central – Machachi



Nota. Elaboración propia

Figura 10.

Puntos de monitoreo Mercado Mayorista – Machachi



Nota. Elaboración propia

9.5.3.2. Tiempo y Frecuencia de Monitoreo

El tiempo de monitoreo establecido para cada punto fue de 24 horas continuas, conforme a lo dispuesto en el Acuerdo Ministerial 097–A del Libro VI del TULSMA, Sección 4.1.2, que establece las Normas Generales para Concentraciones de Contaminantes Criterio en el Aire

Ambiente. La frecuencia de medición se configuró en intervalos de 10 minutos, definida durante la calibración y configuración inicial del equipo E-BAM. Esta periodicidad se justifica con base en los lineamientos del Manual de Operación del E-BAM, el cual se encuentra alineado con los estándares de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA), específicamente en los documentos normativos 40 CFR Parte 50, Apéndices J y N, los cuales regulan los procedimientos de muestreo, calibración y control de calidad en sistemas de monitoreo automático y continuo.

Por tanto, para cada punto de medición se asignó un día específico para registrar las concentraciones de PM_{10} y otro día para $PM_{2.5}$, siguiendo una secuencia progresiva (por ejemplo: P1 - PM_{10} , P1 - $PM_{2.5}$, P2 - PM_{10} , P2 - $PM_{2.5}$, y así sucesivamente). En total, se requirieron 12 días para completar el monitoreo de los seis puntos establecidos, el monitoreo se realizó desde el 4 de mayo hasta el 15 de mayo, lo cual se ajustó adecuadamente al período de préstamo del equipo, que fue de 15 días.

9.6. Diseño No Experimental

9.6.1. Media Aritmética

El equipo E-BAM está programado para registrar la concentración de material particulado en intervalos de 10 minutos. En el marco del diseño no experimental, se calculó el promedio horario de concentración, y posteriormente se aplicó la fórmula de la media aritmética para determinar el valor promedio de concentración correspondiente a cada uno de los puntos de monitoreo seleccionados.

Para el cálculo de la concentración promedio por cada hora se usó la siguiente fórmula:

$$C_{hora} = \frac{C_{10min} + C_{20min} + \dots + C_{60min}}{N_{cm}} \quad (2)$$

Donde:

C_{hora} = Concentración promedio obtenida por cada hora

C_{10min} = Concentración medida por E – BAM cada 10 minutos

N_{cm} = Número de concentraciones totales medidas cada 10 minutos

Para el cálculo de la concentración promedio para cada punto se aplicó la siguiente fórmula:

$$\bar{P}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_n \quad (3)$$

Donde:

P_n = Concentración promedio obtenida para cada punto

C_n = Concentración promedio por cada hora n =

Número de concentraciones por cada hora

9.6.2. Desviación Estándar

Posteriormente se aplicó la fórmula de desviación estándar para encontrar la variabilidad o dispersión de las concentraciones de material particulado respecto al valor promedio calculado en cada punto de monitoreo, indicándonos qué tan estables o fluctuantes fueron los niveles de PM_{10} y $PM_{2.5}$ durante el período de medición.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum P_i - \bar{P}}{n}} \quad (4)$$

Donde:

σ = Desviación Estándar

P_i = Concentración promedio por cada hora

P = Concentración promedio obtenida para cada punto

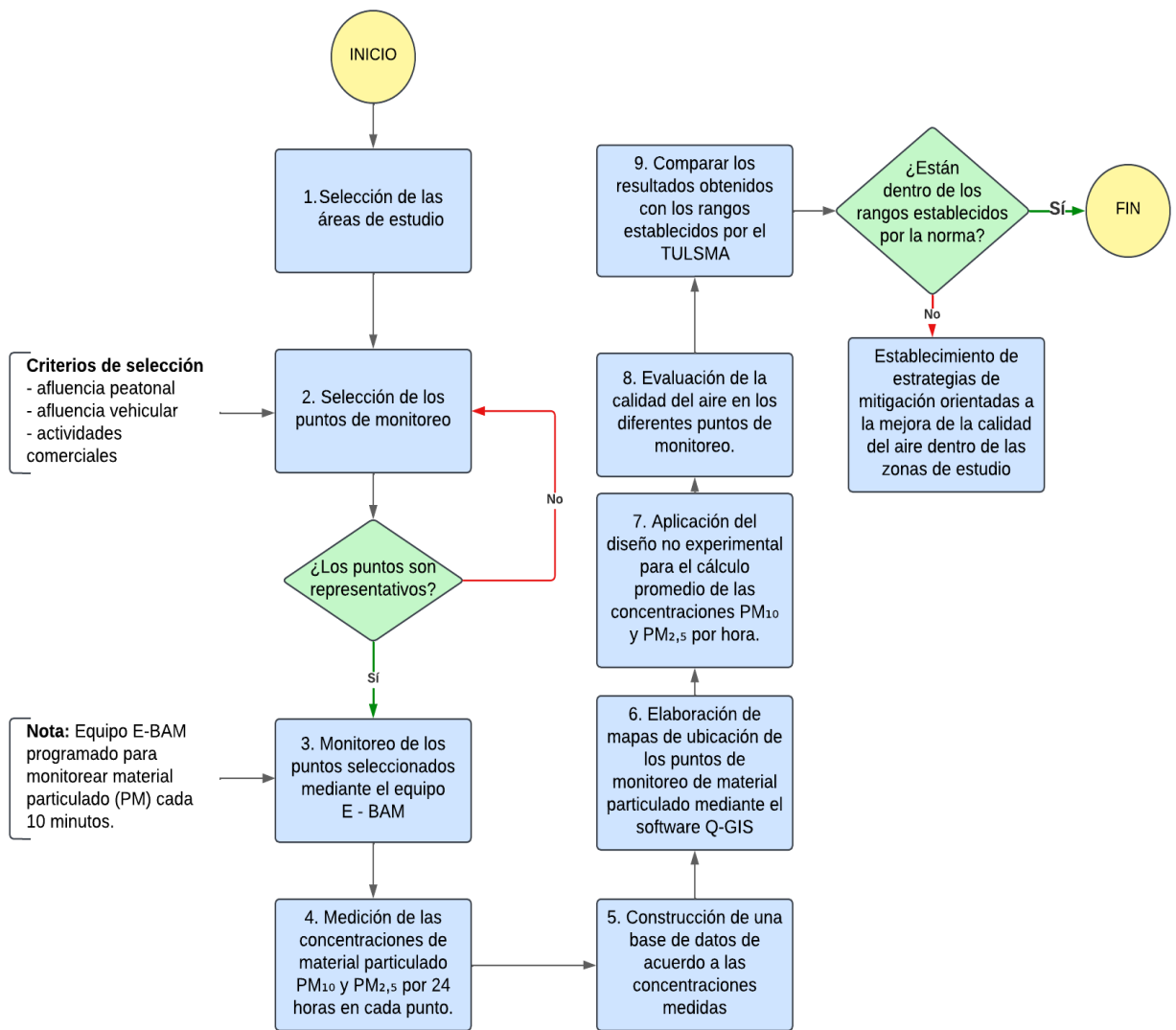
n = Número de concentraciones por cada hora

9.7. Resumen Metodológico

El procedimiento para la evaluación de la calidad del aire en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi se muestra a detalla en la Figura 11.

Figura 11.

Metodología para la evaluación de la calidad del aire



Nota. Elaboración propia

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

a) Análisis de las concentraciones obtenidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ mediante estadística básica y el uso de herramientas gráfico – estadísticas.

10.1. Mercado Central – Machachi

La evaluación de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ para el Mercado Central de Machachi se realizó del 4 al 9 de mayo de 2025. Para el análisis de cada punto, se considerarán los promedios horarios de concentración. Los datos registrados cada 10 minutos en cada uno de los puntos monitoreados se muestran a detalle en el Anexo 1, 2 y 3.

10.1.1. Punto 1 – Mercado Central

El monitoreo del Punto 1 para evaluar la concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ del Mercado Central se llevó a cabo el domingo 4 y lunes 5 de mayo del 2025 respectivamente. Los datos obtenidos durante las 24 horas de evaluación se resumen en la Tabla 16 y se muestran gráficamente en la Figura 12 y 13.

Tabla 16. *Monitoreo horario PM_{10} y $PM_{2.5}$ para P1 (Mercado Central)*

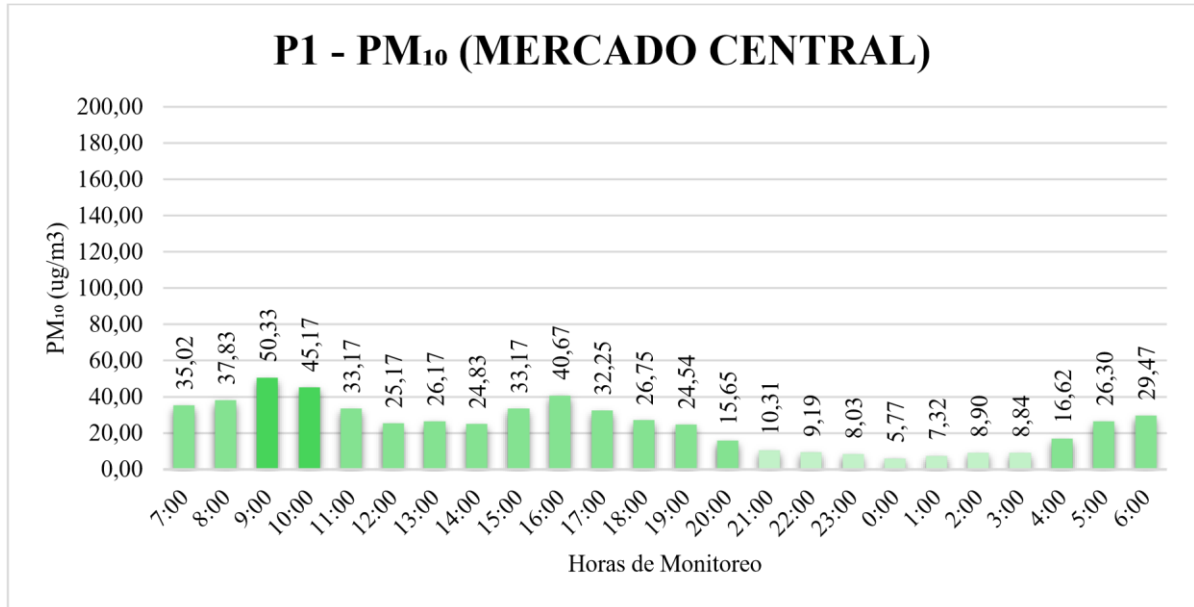
| P1 – (PM_{10} & $PM_{2.5}$) | | | | | |
|--|-------------|----------------------|--------------|-------------|----------------------|
| Fecha | Hora | Concentración | Fecha | Hora | Concentración |

| | | | |
|--|-------|--|------|
| Promedio (\bar{x}) | 24.23 | Promedio (\bar{x}) | 3.47 |
| Máximo | 50.33 | Máximo | 4.33 |
| Mínimo | 5.77 | Mínimo | 1.99 |
| Desviación STD | | Desviación STD | 0.68 |

| | | PM ₁₀ (ug/m ³) | | | PM _{2.5} (ug/m ³) |
|------------|--------------------------|---------------------------------------|------------|-------|--|
| 04/05/2025 | 07:00 | 35.02 | 05/05/2025 | 07:00 | 3.89 |
| 04/05/2025 | 08:00 | 37.83 | 05/05/2025 | 08:00 | 4.17 |
| 04/05/2025 | 09:00 | 50.33 | 05/05/2025 | 09:00 | 3.83 |
| 04/05/2025 | 10:00 | 45.17 | 05/05/2025 | 10:00 | 4.17 |
| 04/05/2025 | 11:00 | 33.17 | 05/05/2025 | 11:00 | 3.83 |
| 04/05/2025 | 12:00 | 25.17 | 05/05/2025 | 12:00 | 4.17 |
| 04/05/2025 | 13:00 | 26.17 | 05/05/2025 | 13:00 | 3.83 |
| 04/05/2025 | 14:00 | 24.83 | 05/05/2025 | 14:00 | 3.50 |
| 04/05/2025 | 15:00 | 33.17 | 05/05/2025 | 15:00 | 4.33 |
| 04/05/2025 | 16:00 | 40.67 | 05/05/2025 | 16:00 | 4.17 |
| 04/05/2025 | 17:00 | 32.25 | 05/05/2025 | 17:00 | 3.75 |
| 04/05/2025 | 18:00 | 26.75 | | 18:00 | 3.90 |
| 04/05/2025 | 19:00 | 24.54 | | | 3.56 |
| 04/05/2025 | 20:00 | 15.65 | 05/05/2025 | 20:00 | 3.55 |
| 04/05/2025 | 21:00 | 10.31 | 05/05/2025 | 21:00 | 3.36 |
| 04/05/2025 | 22:00 | 9.19 | 05/05/2025 | 22:00 | 2.88 |
| 04/05/2025 | 23:00 | 8.03 | 05/05/2025 | 23:00 | 2.38 |
| 04/05/2025 | 00:00 | 5.77 | 05/05/2025 | 00:00 | 1.99 |
| 04/05/2025 | 01:00 | 7.32 | 05/05/2025 | 01:00 | 2.25 |
| 04/05/2025 | 02:00 | 8.90 | 05/05/2025 | 02:00 | 2.64 |
| 04/05/2025 | 03:00 | 8.84 | 05/05/2025 | 03:00 | 2.45 |
| 04/05/2025 | 04:00 | 16.62 | 05/05/2025 | 04:00 | 3.26 |
| 04/05/2025 | 05:00 | 26.30 | 05/05/2025 | 05:00 | 3.49 |
| 04/05/2025 | 06:00 | 29.47 | 05/05/2025 | 06:00 | 3.81 |
| 05/05/2025 | Nota. Elaboración propia | | | | |
| | | | | | 05/05/2025 19:00 |

Figura 12.

Gráfica de concentración PM₁₀ para PI (Mercado Central)

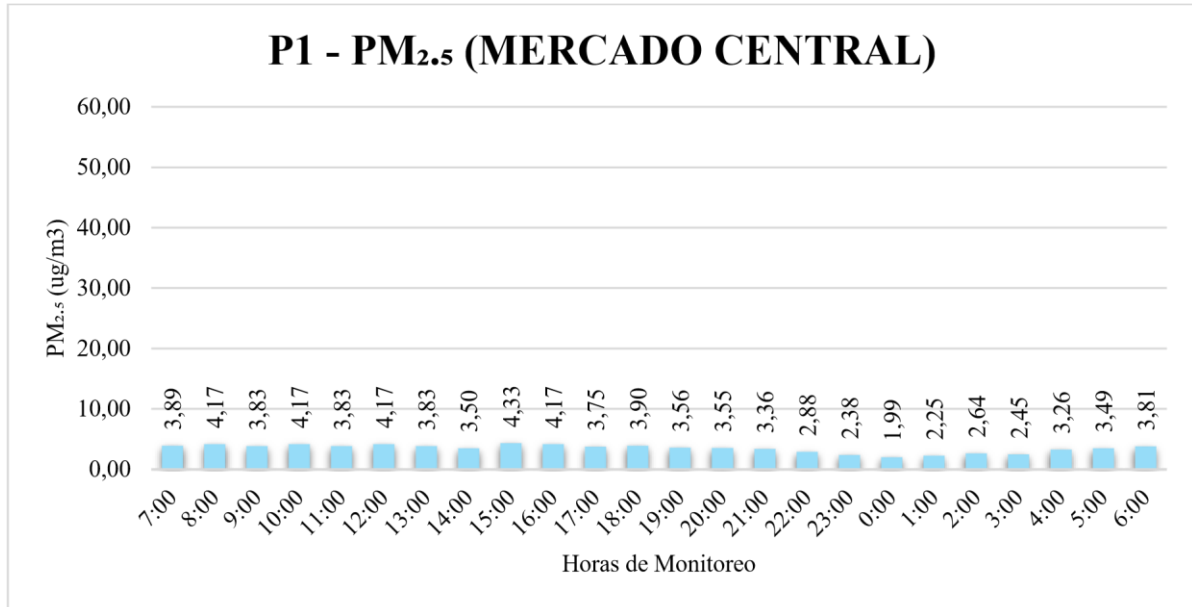


Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 16 y la gráfica de concentraciones de la Figura 12, los resultados del monitoreo de material particulado PM₁₀ en el punto P1 del mercado Central de Machachi presentan variaciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 04:00 y 09:00 horas, alcanzando una concentración máxima de 50.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 16:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de 5.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la concentración promedio de material particulado PM₁₀ obtenida durante el periodo continuo de 24 horas de monitoreo fue de 24.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 12.97 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad moderadamente alta en los datos. Este resultado refleja la fluctuación de las concentraciones de material particulado en los distintos intervalos horarios durante el día.

Figura 13.

Gráfica de concentración PM_{2.5} para P1 (Mercado Central)



Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 16 y la gráfica de concentraciones de la Figura 13, los resultados del monitoreo de material particulado PM_{2.5} para el punto P1 del mercado Central de Machachi muestran una distribución relativamente estable a lo largo del día, con concentraciones que oscilan entre 2 y 4 µg/m³. El valor máximo de concentración fue de 4.33 µg/m³ registrado a las 15:00 horas, mientras que el valor mínimo se observó a las 00:00 horas, con una concentración de 1.99 µg/m³. La concentración promedio durante el periodo completo de 24 horas fue de 3.47 µg/m³. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 0.68 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad baja en los datos. Este resultado refleja una tendencia constante de las concentraciones de material particulado en los distintos intervalos horarios a lo largo del día.

10.1.2. Punto 2 – Mercado Central

El monitoreo del Punto 2 para evaluar la concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} del Mercado Central se llevó a cabo el martes 6 y miércoles 7 de mayo del 2025 respectivamente. Los datos obtenidos durante las 24 horas de evaluación se resumen en la Tabla 17 y se muestran gráficamente en la Figura 14 y 15.

Tabla 17. Monitoreo horario PM₁₀ y PM_{2.5} para P2 (Mercado Central)

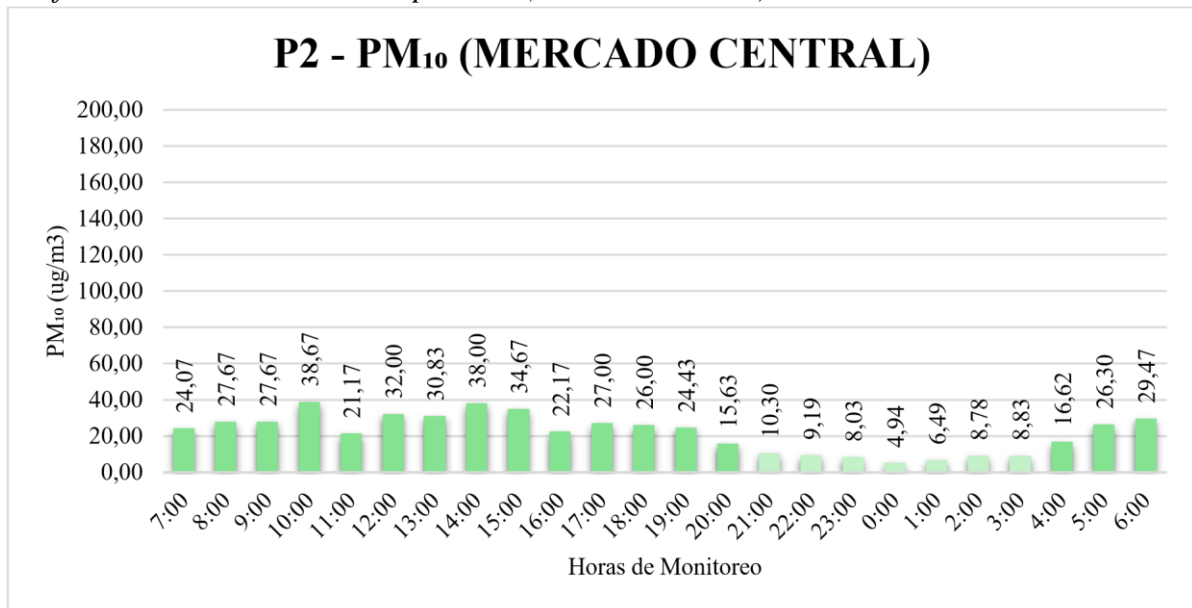
P2 – (PM₁₀ & PM_{2.5})

| Fecha | Hora | Concentración PM ₁₀ (ug/m3) | Fecha | Hora | Concentración PM _{2.5} (ug/m3) |
|--|-------|---|------------|-------|--|
| 06/05/2025 | 07:00 | 24.07 | 07/05/2025 | 07:00 | 7.10 |
| 06/05/2025 | 08:00 | 27.67 | 07/05/2025 | 08:00 | 6.83 |
| 06/05/2025 | 09:00 | 27.67 | 07/05/2025 | 09:00 | 7.00 |
| 06/05/2025 | 10:00 | 38.67 | 07/05/2025 | 10:00 | 6.83 |
| 06/05/2025 | 11:00 | 21.17 | 07/05/2025 | 11:00 | 8.00 |
| 06/05/2025 | 12:00 | 32.00 | 07/05/2025 | 12:00 | 11.67 |
| 06/05/2025 | 13:00 | 30.83 | 07/05/2025 | 13:00 | 15.33 |
| 06/05/2025 | 14:00 | 38.00 | 07/05/2025 | 14:00 | 13.17 |
| 06/05/2025 | 15:00 | 34.67 | 07/05/2025 | 15:00 | 12.83 |
| 06/05/2025 | 16:00 | 22.17 | 07/05/2025 | 16:00 | 7.83 |
| 06/05/2025 | 17:00 | 27.00 | 07/05/2025 | 17:00 | 5.50 |
| 06/05/2025 | 18:00 | 26.00 | 07/05/2025 | 18:00 | 4.15 |
| 06/05/2025 | 19:00 | 24.43 | 07/05/2025 | 19:00 | 3.60 |
| 06/05/2025 | 20:00 | 15.63 | 07/05/2025 | 20:00 | 3.55 |
| 06/05/2025 | 21:00 | 10.30 | 07/05/2025 | 21:00 | 3.36 |
| 06/05/2025 | 22:00 | 9.19 | 07/05/2025 | 22:00 | 2.88 |
| 06/05/2025 | 23:00 | 8.03 | 07/05/2025 | 23:00 | 2.38 |
| 06/05/2025 | 00:00 | 4.94 | 07/05/2025 | 00:00 | 1.99 |
| 06/05/2025 | 01:00 | 6.49 | 07/05/2025 | 01:00 | 2.25 |
| 06/05/2025 | 02:00 | 8.78 | 07/05/2025 | 02:00 | 3.38 |
| 06/05/2025 | 03:00 | 8.83 | 07/05/2025 | 03:00 | 5.02 |
| 06/05/2025 | 04:00 | 16.62 | 07/05/2025 | 04:00 | 6.50 |
| 06/05/2025 | 05:00 | 26.30 | 07/05/2025 | 05:00 | 6.20 |
| 06/05/2025 | 06:00 | 29.47 | 07/05/2025 | 06:00 | 6.57 |
| Promedio (\bar{x}) | 21.62 | Promedio (\bar{x}) | | | 6.41 |
| Máximo | 38.67 | Máximo | | 15.33 | |
| Mínimo | 4.94 | Mínimo | | 1.99 | |
| Desviación STD | | Desviación STD | | 3.66 | |

Nota. Elaboración propia

Figura 14.

Gráfica de concentración PM_{10} para P2 (Mercado Central)

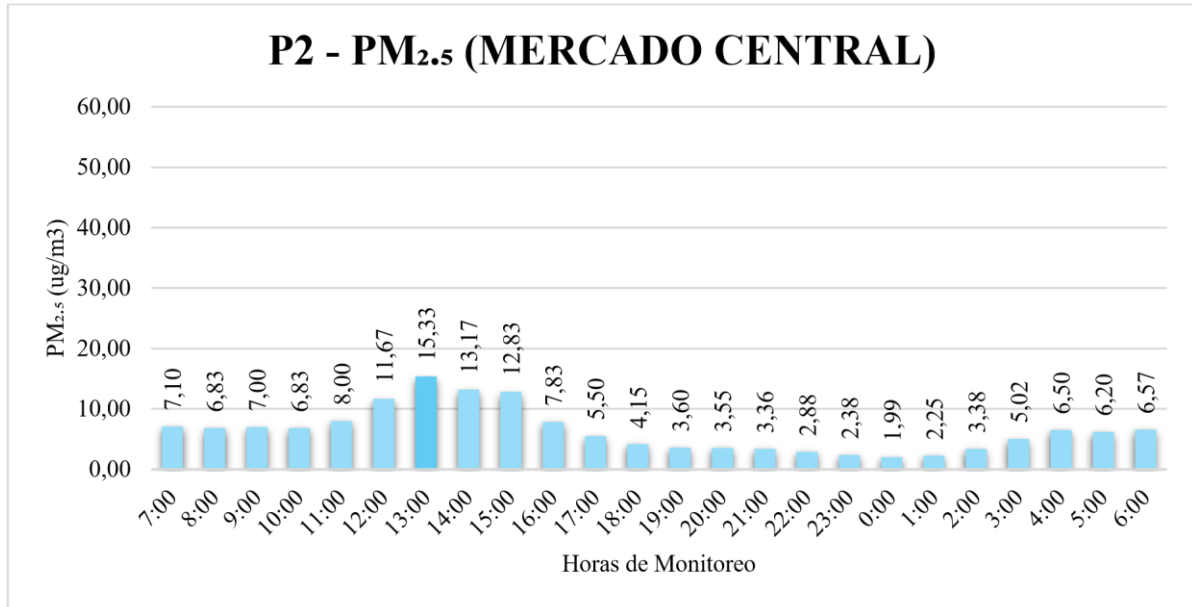


Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 17 y la gráfica de concentraciones de la Figura 14, los resultados del monitoreo de material particulado PM_{10} en el punto P2 del mercado Central de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 04:00 y 10:00 horas, alcanzando una concentración máxima de $38.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 21:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de $4.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la concentración promedio de material particulado PM_{10} obtenida durante el periodo continuo de 24 horas de monitoreo fue de $21.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 10.44 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad moderadamente alta en los datos. Este resultado refleja la fluctuación de las concentraciones de material particulado en los distintos intervalos horarios a lo largo del día.

Figura 15.

Gráfica de concentración $PM_{2.5}$ para P2 (Mercado Central)



Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 17 y la gráfica de concentraciones de la Figura 15, los resultados del monitoreo de material particulado PM_{2.5} en el punto P2 del mercado Central de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 10:00 y 13:00 horas, alcanzando una concentración máxima de 15.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 14:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de 1.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la concentración promedio de material particulado PM_{2.5} obtenida durante el periodo continuo de 24 horas de monitoreo fue de 6.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 3.66 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad moderada en los datos. Este resultado refleja que las concentraciones de material particulado no son constantes, pero tampoco extremadamente inestables a lo largo del día.

10.1.3. Punto 3 – Mercado Central

El monitoreo del Punto 3 para evaluar la concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} del Mercado Central se llevó a cabo el jueves 8 de y viernes 9 de mayo del 2025 respectivamente. Los datos obtenidos durante las 24 horas de evaluación se resumen en la Tabla 18 y se muestran gráficamente en la Figura 16 y 17.

*PM_{2.5}***Tabla 18.***Monitoreo horario PM₁₀ y para P3 (Mercado Central)*

| P3 – (PM₁₀ & PM_{2.5}) | | | | | |
|--|-------------|--|---|--------------|-------------|
| Fecha | Hora | PM_{2.5} | | Fecha | Hora |
| | | Concentración PM₁₀ (ug/m3) | Concentración PM_{2.5} (ug/m3) | | |
| 08/05/2025 | 07:00 | 35.45 | | 09/05/2025 | 07:00 |
| 08/05/2025 | 08:00 | 37.00 | | 09/05/2025 | 08:00 |
| 08/05/2025 | 09:00 | 46.00 | | 09/05/2025 | 09:00 |
| 08/05/2025 | 10:00 | 38.17 | | 09/05/2025 | 10:00 |
| 08/05/2025 | 11:00 | 39.33 | | 09/05/2025 | 11:00 |
| 08/05/2025 | 12:00 | 33.83 | | 09/05/2025 | 12:00 |
| 08/05/2025 | 13:00 | 25.67 | | 09/05/2025 | 13:00 |
| | | 29.50 | | 09/05/2025 | |
| | | 27.50 | | 09/05/2025 | |
| | | 26.00 | | 09/05/2025 | |
| | | 21.75 | | 09/05/2025 | |
| | | 25.25 | | 09/05/2025 | |

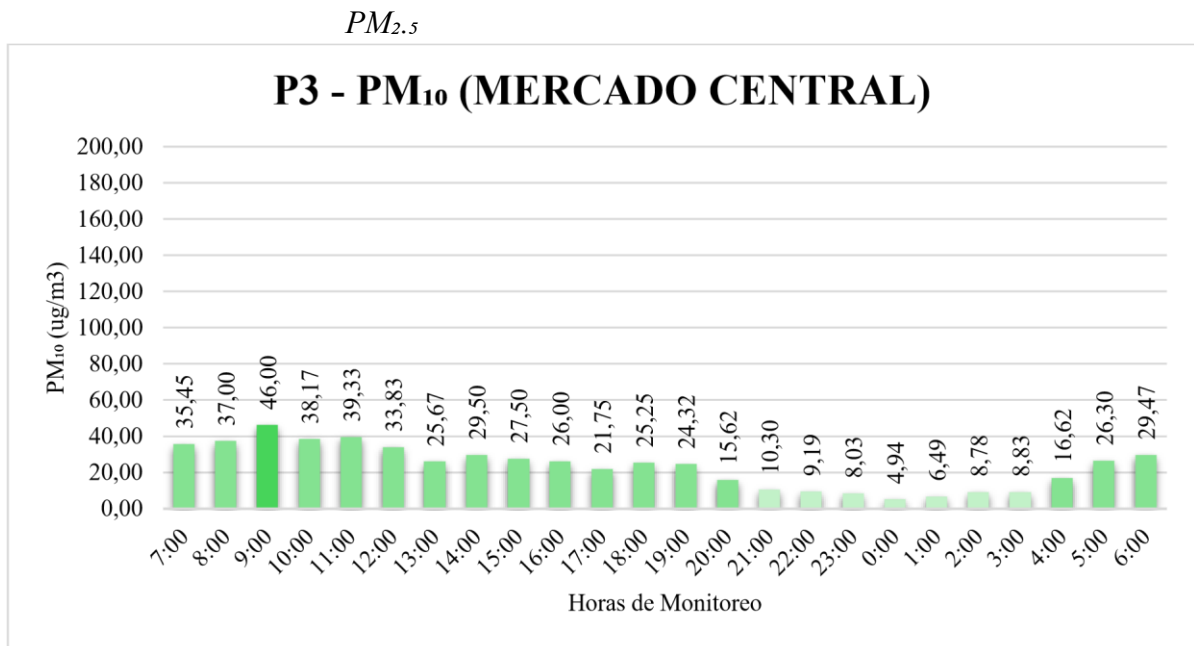
| | | | |
|--|-------|--|-------|
| Promedio (\bar{x}) | 23.10 | Promedio (\bar{x}) | 6.02 |
| Máximo | 46.00 | Máximo | 11.33 |
| Mínimo | 4.94 | Mínimo | 1.99 |
| Desviación STD | 11.99 | Desviación STD | 2.70 |

| | | | | |
|------------|-------|-------|------------------|-------|
| 08/05/2025 | 14:00 | | 14:00 | 7.50 |
| 08/05/2025 | 15:00 | | 15:00 | 11.33 |
| 08/05/2025 | 16:00 | | 16:00 | 9.33 |
| 08/05/2025 | 17:00 | | 17:00 | 7.83 |
| 08/05/2025 | 18:00 | | 18:00 | 4.48 |
| 08/05/2025 | 19:00 | 24.32 | 19:00 | 3.64 |
| 08/05/2025 | 20:00 | 15.62 | 09/05/2025 20:00 | 3.56 |
| 08/05/2025 | 21:00 | 10.30 | 09/05/2025 21:00 | 3.36 |
| 08/05/2025 | 22:00 | 9.19 | 09/05/2025 22:00 | 2.88 |
| 08/05/2025 | 23:00 | 8.03 | 09/05/2025 23:00 | 2.38 |
| 08/05/2025 | 00:00 | 4.94 | 09/05/2025 00:00 | 1.99 |
| 08/05/2025 | 01:00 | 6.49 | 09/05/2025 01:00 | 2.25 |
| 08/05/2025 | 02:00 | 8.78 | 09/05/2025 02:00 | 3.38 |
| 08/05/2025 | 03:00 | 8.83 | 09/05/2025 03:00 | 5.02 |
| 08/05/2025 | 04:00 | 16.62 | 09/05/2025 04:00 | 6.50 |
| 08/05/2025 | 05:00 | 26.30 | 09/05/2025 05:00 | 6.20 |
| 08/05/2025 | 06:00 | 29.47 | 09/05/2025 06:00 | 6.57 |

Figura 16.

Gráfica de concentración PM_{10} para P3 (Mercado Central)

Nota. Elaboración propia

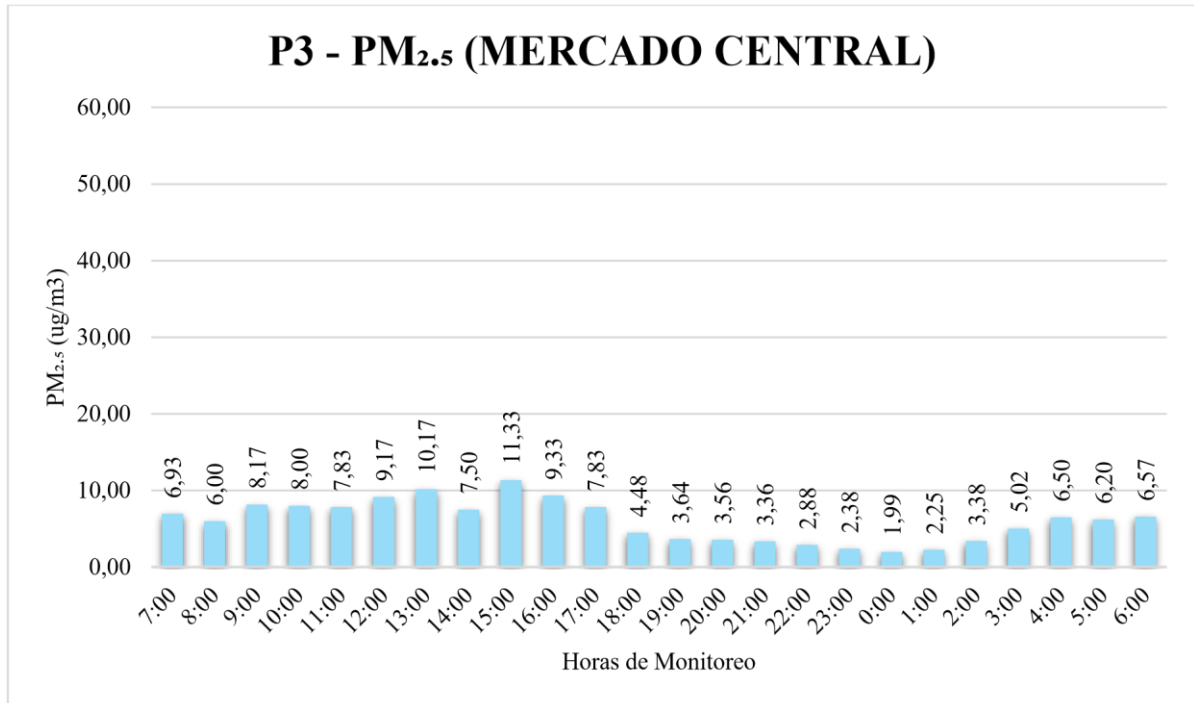


Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 18 y la gráfica de concentraciones de la Figura 16, los resultados del monitoreo de material particulado PM₁₀ en el punto P3 del mercado Central de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 04:00 y 09:00 horas, alcanzando una concentración máxima de 46.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 19:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de 4.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la concentración promedio de material particulado PM₁₀ obtenida durante el periodo continuo de 24 horas de monitoreo fue de 23.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 11.99 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad moderadamente alta en los datos. Este resultado indica que las concentraciones de material particulado presentan fluctuaciones importantes a lo largo del día.

Figura 17.

Gráfica de concentración para P3 (Mercado Central)



Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 18 y la gráfica de concentraciones de la Figura 17, los resultados del monitoreo de material particulado PM_{2.5} en el punto P3 del mercado Central de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 14:00 y 15:00 horas, alcanzando una concentración promedio máxima de 11.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la presencia de fuentes contaminantes durante ese periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 15:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor promedio mínimo de 1.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la concentración promedio de material particulado PM_{2.5} obtenida durante el periodo continuo de 24 horas de monitoreo fue de 6.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 2.70 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad moderada en los datos. Este resultado indica que las concentraciones de material particulado no están completamente estables, pero tampoco presentan cambios extremos a lo largo del día.

PM_{2.5}

10.2. Mercado Mayorista – Machachi

La evaluación de material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} para el Mercado Mayorista de Machachi se realizó del 10 al 15 de mayo de 2025. Para el análisis de cada punto, se considerarán los promedios horarios de concentración. Los datos registrados cada 10 minutos en cada uno de los puntos monitoreados se muestran a detalle en el Anexo 4, 5 y 6.

10.2.1. Punto 1 – Mercado Mayorista

El monitoreo del Punto 1 para evaluar la concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ del Mercado Mayorista se llevó a cabo el sábado 10 de mayo y domingo 11 de mayo del 2025 respectivamente. Los datos obtenidos durante las 24 horas de evaluación se resumen en la Tabla 19 y se muestran gráficamente en la Figura 18 y 19.

Tabla 19.

Monitoreo horario PM_{10} y $PM_{2.5}$ para P1 (Mercado Mayorista)

| P1 – (PM_{10} & $PM_{2.5}$) | | | | | | |
|--|-------|---|--|------------|-------|--|
| Fecha | Hora | PM _{2.5}) | | Fecha | Hora | Concentración PM _{2.5} (ug/m3) |
| | | Concentración PM ₁₀ (ug/m3) | Concentración PM _{2.5} (ug/m3) | | | |
| 10/05/2025 | 07:00 | 66.69 | | 11/05/2025 | 07:00 | 9.63 |
| 10/05/2025 | 08:00 | 103.50 | | 11/05/2025 | 08:00 | 12.00 |
| 10/05/2025 | 09:00 | 122.17 | | 11/05/2025 | 09:00 | 13.33 |
| 10/05/2025 | 10:00 | 80.33 | | 11/05/2025 | 10:00 | 12.83 |
| 10/05/2025 | 11:00 | 72.67 | | 11/05/2025 | 11:00 | 9.17 |
| 10/05/2025 | 12:00 | 49.00 | | 11/05/2025 | 12:00 | 19.50 |
| 10/05/2025 | 13:00 | 41.00 | | 11/05/2025 | 13:00 | 8.17 |
| 10/05/2025 | 14:00 | 37.67 | | 11/05/2025 | 14:00 | 29.17 |
| 10/05/2025 | 15:00 | 35.17 | | 11/05/2025 | 15:00 | 8.33 |
| 10/05/2025 | 16:00 | 34.83 | | 11/05/2025 | | |
| 10/05/2025 | 17:00 | 27.00 | | 11/05/2025 | | |
| 10/05/2025 | 18:00 | 26.00 | | 11/05/2025 | | |
| 10/05/2025 | 19:00 | 24.43 | | 11/05/2025 | | |
| 10/05/2025 | 20:00 | 15.63 | | 11/05/2025 | | |
| 10/05/2025 | 21:00 | | | 11/05/2025 | | |
| Promedio (\bar{x}) | | 35.60 | Promedio (\bar{x}) | | | 11.45 |
| Máximo | | 122.17 | Máximo | | 29.70 | |
| Mínimo | | 6.99 | Mínimo | | 6.39 | |
| Desviación STD | | 31.91 | Desviación STD | | 4.70 | |

PM_{2.5}

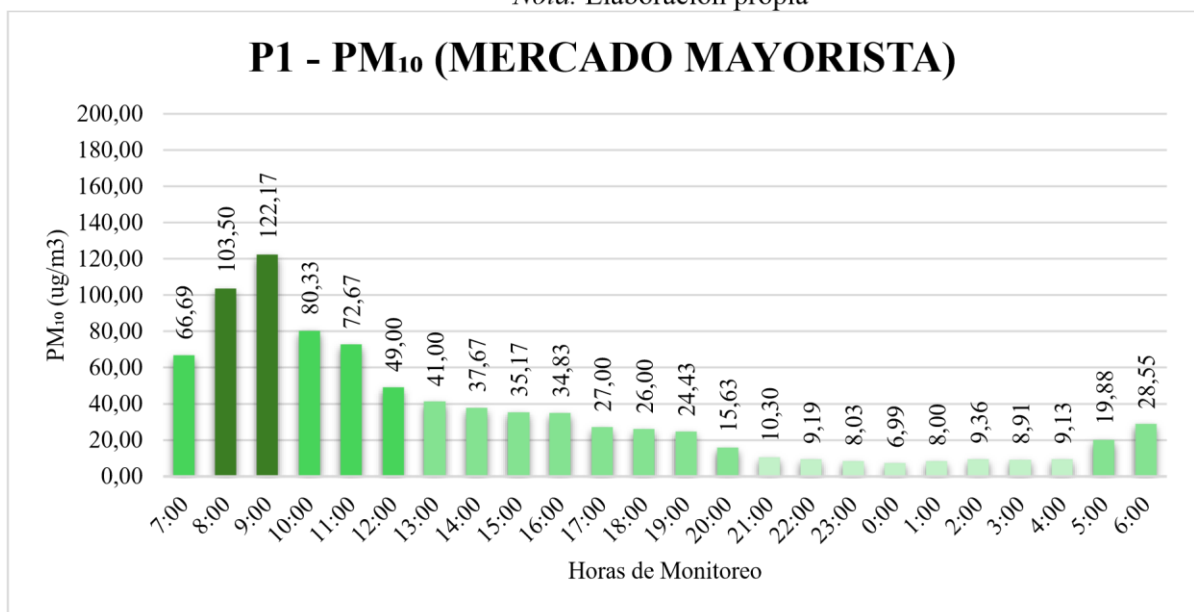
| | | | | | |
|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| | | | | 16:00 | 9.83 |
| | | | | 17:00 | 13.33 |
| | | | | 18:00 | 12.19 |
| | | | | 19:00 | 13.49 |
| | | | | 20:00 | 12.89 |
| | | 10.30 | 11/05/2025 | 21:00 | 12.03 |
| 10/05/2025 | 22:00 | 9.19 | 11/05/2025 | 22:00 | 9.43 |
| 10/05/2025 | 23:00 | | 11/05/2025 | 23:00 | 8.10 |
| 10/05/2025 | 00:00 | 6.99 | 11/05/2025 | 00:00 | 6.39 |
| 10/05/2025 | 01:00 | 8.00 | 11/05/2025 | 01:00 | 7.54 |
| 10/05/2025 | 02:00 | 9.36 | 11/05/2025 | 02:00 | 8.33 |
| 10/05/2025 | 03:00 | 8.91 | 11/05/2025 | 03:00 | 8.85 |
| 10/05/2025 | 04:00 | 9.13 | 11/05/2025 | 04:00 | 9.48 |
| 10/05/2025 | 05:00 | 19.88 | 11/05/2025 | 05:00 | 9.38 |
| 10/05/2025 | 06:00 | 28.55 | 11/05/2025 | 06:00 | 11.35 |

8.03 Figura

18.

Gráfica de concentración *PM₁₀* para P1 (Mercado Mayorista)

Nota. Elaboración propia

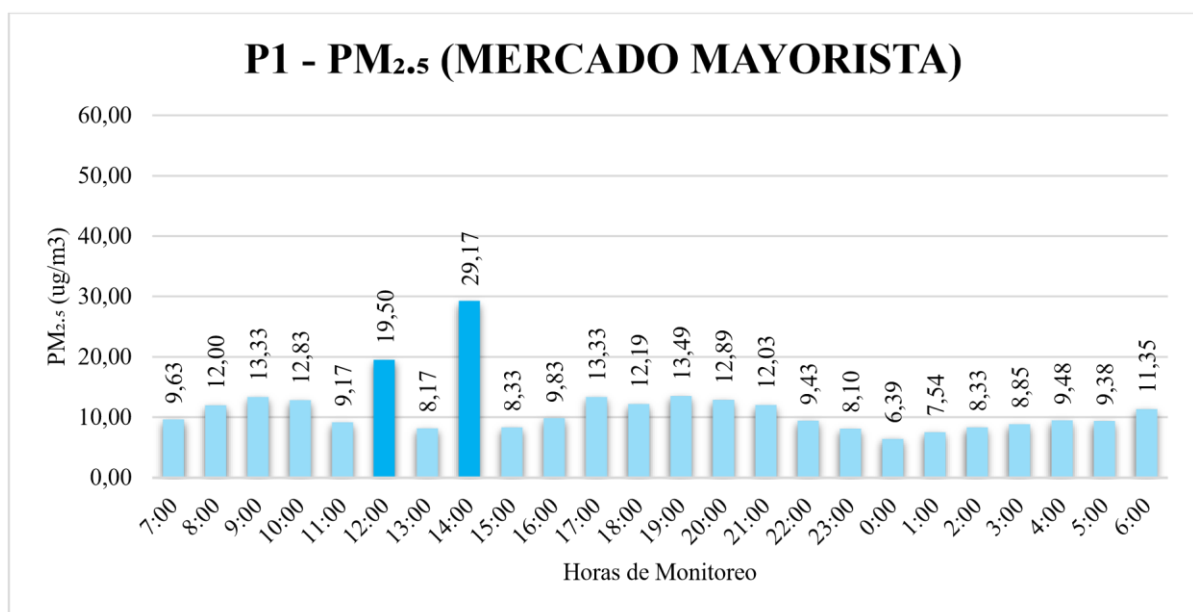


Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 19 y la gráfica de concentraciones de la Figura 18, los resultados del monitoreo de material particulado PM_{10} en el punto P1 del mercado Mayorista de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 05:00 y 09:00 horas, alcanzando una concentración máxima de $122.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 10:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de $6.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se obtuvo una concentración promedio de $35.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una desviación estándar de 31.91, valor que representa una alta variabilidad y dispersión de los datos con respecto al promedio. Finalmente, en este punto de monitoreo se observó que las concentraciones PM_{10} registradas entre las 08:00 y 09:00 horas superaron los límites establecidos por la normativa ambiental vigente, alcanzando valores de 103.50 y $122.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Figura 19.

Gráfica de concentración para P1 (Mercado Mayorista)



Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 19 y la gráfica de concentraciones de la Figura 19, los resultados del monitoreo de material particulado $PM_{2.5}$ en el punto P1 del mercado Mayorista de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más

PM_{2.5}

pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 11:00 y 14:00 horas, alcanzando una concentración máxima de 29.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 19:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de 6.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la concentración promedio de material particulado $\text{PM}_{2.5}$ obtenida durante el periodo continuo de 24 horas de monitoreo fue de 11.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 4.70 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad moderada en los datos. Demostrando que, aunque las concentraciones no son completamente estables, no presentan extremos críticos o altamente irregulares a lo largo del día.

10.2.2. Punto 2 – Mercado Mayorista

El monitoreo del Punto 2 para evaluar la concentración de material particulado PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ del Mercado Mayorista se llevó a cabo el lunes 12 y martes 13 de mayo del 2025 respectivamente. Los datos obtenidos durante las 24 horas de evaluación se resumen en la Tabla 20 y se muestran gráficamente en la Figura 20 y 21.

Tabla 20.

Monitoreo horario PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ para P2 (Mercado Mayorista)

| P2 – (PM_{10} & $\text{PM}_{2.5}$) | | | | | |
|--|-------------|--|--------------|-------------|---|
| Fecha | Hora | Concentración | Fecha | Hora | Concentración |
| | | PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| | | 68.97 | | | 13/05/2025 |
| | | 100.00 | | | 13/05/2025 |
| | | 114.33 | | | 13/05/2025 |
| | | 181.83 | | | 13/05/2025 |
| | | 165.17 | | | 13/05/2025 |
| | | 52.83 | | | 13/05/2025 |
| | | 80.33 | | | 13/05/2025 |
| | | 48.17 | | | 13/05/2025 |
| | | 64.33 | | | 13/05/2025 |

| | |
|-------|------------|
| 50.67 | 13/05/2025 |
| 36.92 | 13/05/2025 |
| 27.42 | 13/05/2025 |
| 24.63 | 13/05/2025 |
| 15.66 | 13/05/2025 |
| 10.31 | 13/05/2025 |
| 9.19 | 13/05/2025 |
| 8.03 | 13/05/2025 |
| 6.33 | 13/05/2025 |
| 7.20 | 13/05/2025 |
| 9.24 | 13/05/2025 |
| 8.89 | 13/05/2025 |
| 9.13 | 13/05/2025 |
| 19.88 | 13/05/2025 |

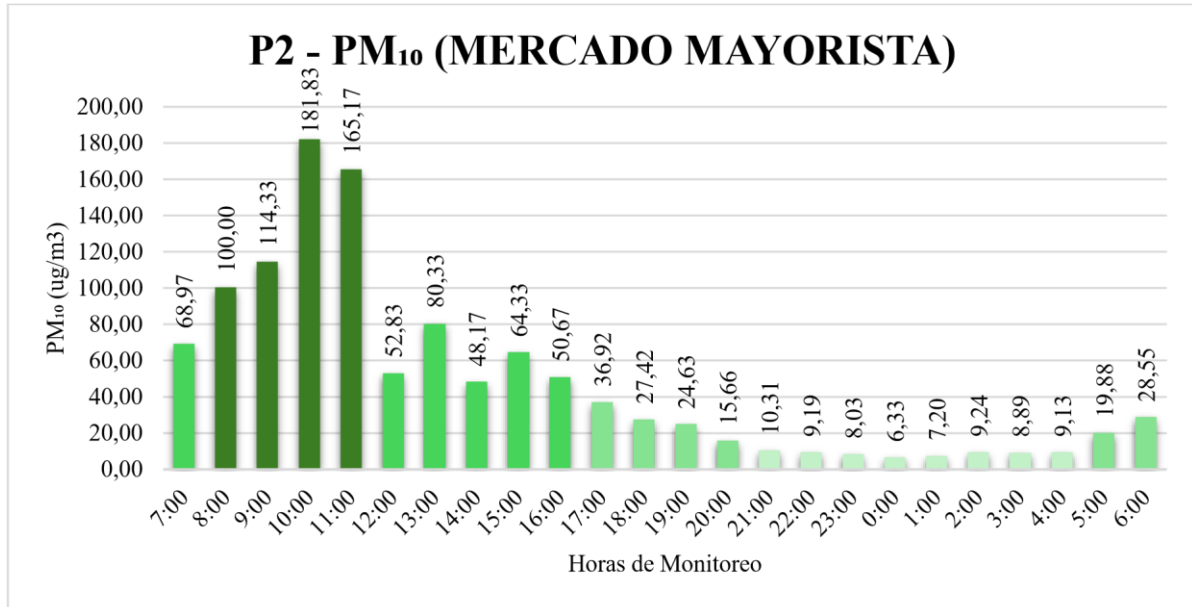
| | | | |
|--|--------|--|-------|
| Promedio (\bar{x}) | 47.83 | Promedio (\bar{x}) | 11.04 |
| Máximo | 181.83 | Máximo | 24.17 |
| Mínimo | 6.33 | Mínimo | 2.86 |
| Desviación STD | 49.48 | Desviación STD | 5.10 |

| <i>PM_{2.5}</i> | | | |
|-------------------------|-------|-------|------------------------|
| 12/05/2025 | 07:00 | | 07:00 11.47 |
| 12/05/2025 | 08:00 | | 08:00 24.17 |
| 12/05/2025 | 09:00 | | 09:00 8.17 |
| 12/05/2025 | 10:00 | | 10:00 21.83 |
| 12/05/2025 | 11:00 | | 11:00 8.83 |
| 12/05/2025 | 12:00 | | 12:00 14.83 |
| 12/05/2025 | 13:00 | | 13:00 18.89 |
| 12/05/2025 | 14:00 | | 14:00 8.97 |
| 12/05/2025 | 15:00 | | 15:00 12.33 |
| 12/05/2025 | 16:00 | | 16:00 12.17 |
| 12/05/2025 | 17:00 | | 17:00 8.67 |
| 12/05/2025 | 18:00 | | 18:00 11.53 |
| 12/05/2025 | 19:00 | | 19:00 13.39 |
| 12/05/2025 | 20:00 | | 20:00 12.88 |
| 12/05/2025 | 21:00 | | 21:00 12.03 |
| 12/05/2025 | 22:00 | | 22:00 9.43 |
| 12/05/2025 | 23:00 | | 23:00 8.10 |
| 12/05/2025 | 00:00 | | 00:00 5.83 |
| 12/05/2025 | 01:00 | | 01:00 2.86 |
| 12/05/2025 | 02:00 | | 02:00 5.14 |
| 12/05/2025 | 03:00 | | 03:00 6.26 |
| 12/05/2025 | 04:00 | | 04:00 5.83 |
| 12/05/2025 | 05:00 | | 05:00 9.00 |
| 12/05/2025 | 06:00 | 28.55 | 13/05/2025 06:00 12.42 |

Nota. Elaboración propia

Figura 20.

Gráfica de concentración PM₁₀ para P2 (Mercado Mayorista)

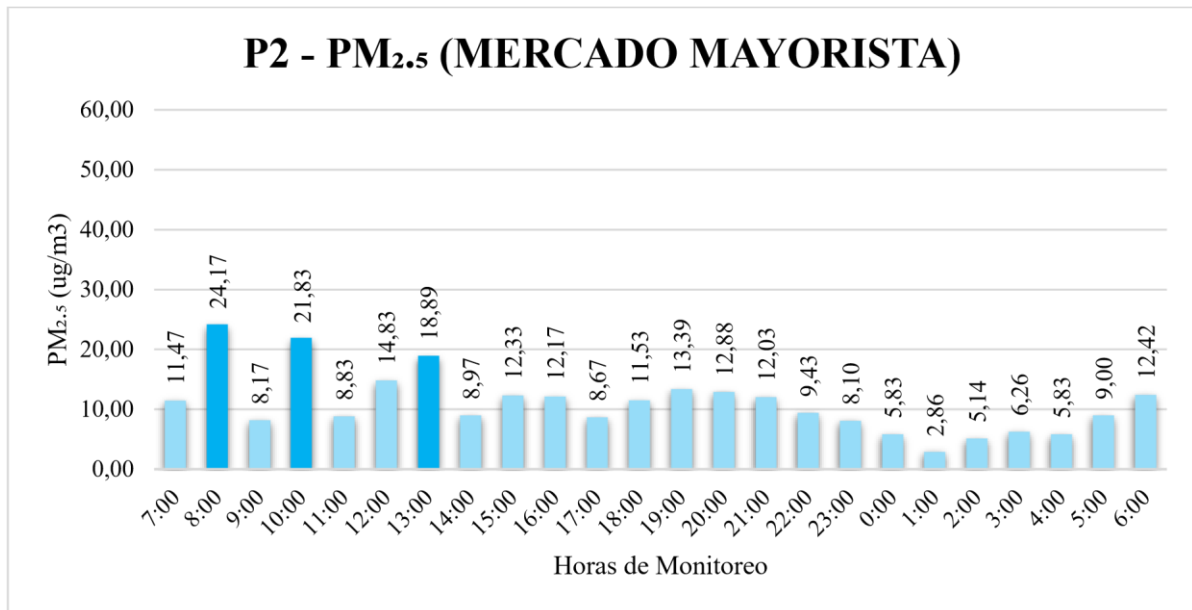


Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 20 y la gráfica de concentraciones de la Figura 20, los resultados del monitoreo de material particulado PM₁₀ en el punto P2 del mercado Mayorista de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 05:00 y 10:00 horas, alcanzando una concentración máxima de 181.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 15:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de 6.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se obtuvo una concentración promedio de 47.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una desviación estándar de 49.48, valor que representa una alta variabilidad y dispersión de los datos con respecto al promedio. Finalmente, en este punto de monitoreo se observó que las concentraciones PM₁₀ registradas a las 08:00, 09:00, 10:00 y 11:00 horas superaron o igualaron los límites establecidos por la normativa ambiental vigente, alcanzando valores de 100, 114, 181 y 165 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Figura 21.

Gráfica de concentración PM_{2.5} para P2 (Mercado Mayorista)



Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 20 y la gráfica de concentraciones de la Figura 21, los resultados del monitoreo de material particulado PM_{2.5} en el punto P2 del mercado Mayorista de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 04:00 y 13:00 horas, alcanzando una concentración máxima de 24.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 19:00 y 01:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de 2.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, la concentración promedio de material particulado PM_{2.5} obtenida durante el periodo continuo de 24 horas de monitoreo fue de 11.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 5.10 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad moderada en los datos. Demostrando que, aunque las concentraciones no son completamente estables, no presentan extremos críticos o altamente irregulares a lo largo del día.

10.2.3. Punto 3 – Mercado Mayorista

El monitoreo del Punto 3 para evaluar la concentración de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} del Mercado Mayorista se llevó a cabo el miércoles 14 y jueves 15 de mayo del 2025

respectivamente. Los datos obtenidos durante las 24 horas de evaluación se resumen en la Tabla 21 y se muestran gráficamente en la Figura 22 y 23.

Tabla 21.

Monitoreo horario PM_{10} y $PM_{2.5}$ para P3 (Mercado Mayorista)

| P3 – (PM_{10} & $PM_{2.5}$) | | | | | |
|--|-------------|---|--------------|-------------|--|
| Fecha | Hora | Concentración PM_{10} (ug/m3) | Fecha | Hora | Concentración $PM_{2.5}$ (ug/m3) |
| | | 65.76 | 15/05/2025 | | |
| | | 105.50 | 15/05/2025 | | |
| | | 119.33 | 15/05/2025 | | |
| | | 127.83 | 15/05/2025 | | |
| | | 124.00 | 15/05/2025 | | |
| | | 70.33 | 15/05/2025 | | |
| | | 61.00 | 15/05/2025 | | |
| | | 46.33 | 15/05/2025 | | |
| | | 46.83 | 15/05/2025 | | |
| | | 39.67 | 15/05/2025 | | |
| | | 32.25 | 15/05/2025 | | |
| | | 26.75 | 15/05/2025 | | |
| | | 24.54 | 15/05/2025 | | |
| | | 15.65 | 15/05/2025 | | |
| | | 10.31 | 15/05/2025 | | |
| | | 9.19 | 15/05/2025 | | |
| | | 8.03 | 15/05/2025 | | |
| | | 6.99 | 15/05/2025 | | |
| | | 8.00 | 15/05/2025 | | |
| | | 9.36 | 15/05/2025 | | |
| | | 8.91 | 15/05/2025 | | |
| | | 9.13 | 15/05/2025 | | |

| | | | | | |
|------------|-------|-------|------------|-------|-------|
| 14/05/2025 | 07:00 | | | 07:00 | 4.13 |
| 14/05/2025 | 08:00 | | | 08:00 | 17.17 |
| 14/05/2025 | 09:00 | | | 09:00 | 11.83 |
| 14/05/2025 | 10:00 | | | 10:00 | 20.50 |
| 14/05/2025 | 11:00 | | | 11:00 | 11.83 |
| 14/05/2025 | 12:00 | | | 12:00 | 13.83 |
| 14/05/2025 | 13:00 | | | 13:00 | 9.17 |
| 14/05/2025 | 14:00 | | | 14:00 | 22.00 |
| 14/05/2025 | 15:00 | | | 15:00 | 9.50 |
| 14/05/2025 | 16:00 | | | 16:00 | 10.83 |
| 14/05/2025 | 17:00 | | | 17:00 | 7.50 |
| 14/05/2025 | 18:00 | | | 18:00 | 6.88 |
| 14/05/2025 | 19:00 | | | 19:00 | 6.93 |
| 14/05/2025 | 20:00 | | | 20:00 | 5.99 |
| 14/05/2025 | 21:00 | | | 21:00 | 4.62 |
| 14/05/2025 | 22:00 | | | 22:00 | 3.95 |
| 14/05/2025 | 23:00 | | | 23:00 | 2.80 |
| 14/05/2025 | 00:00 | | | 00:00 | 2.44 |
| 14/05/2025 | 01:00 | | | 01:00 | 2.38 |
| 14/05/2025 | 02:00 | | | 02:00 | 2.46 |
| 14/05/2025 | 03:00 | | | 03:00 | 2.63 |
| 14/05/2025 | 04:00 | | | 04:00 | 3.50 |
| 14/05/2025 | 05:00 | 19.88 | 15/05/2025 | 05:00 | 4.15 |

| | | | |
|--|--------|--|-------|
| Promedio (\bar{x}) | 42.67 | Promedio (\bar{x}) | 7.96 |
| Máximo | 127.83 | Máximo | 22.00 |
| Mínimo | 6.99 | Mínimo | 2.38 |
| Desviación STD | 39.96 | Desviación STD | 5.75 |

14/05/2025 06:00

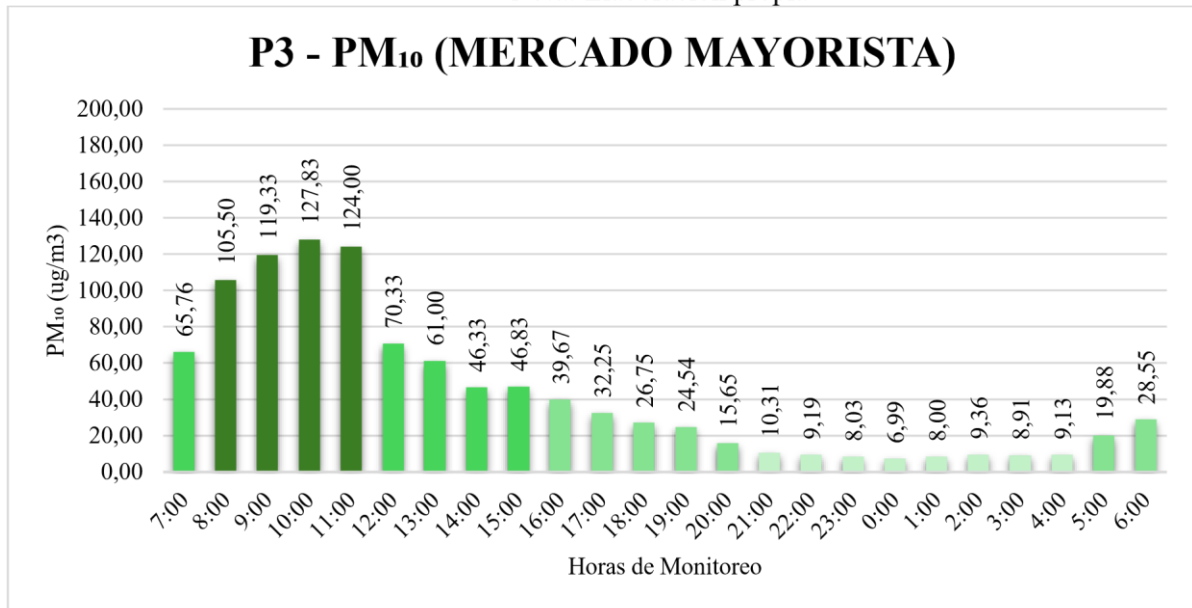
15/05/2025 06:00

4.00

28.55 **Figura****22.**

Gráfica de concentración PM_{10} para P3 (Mercado Mayorista)

Nota. Elaboración propia

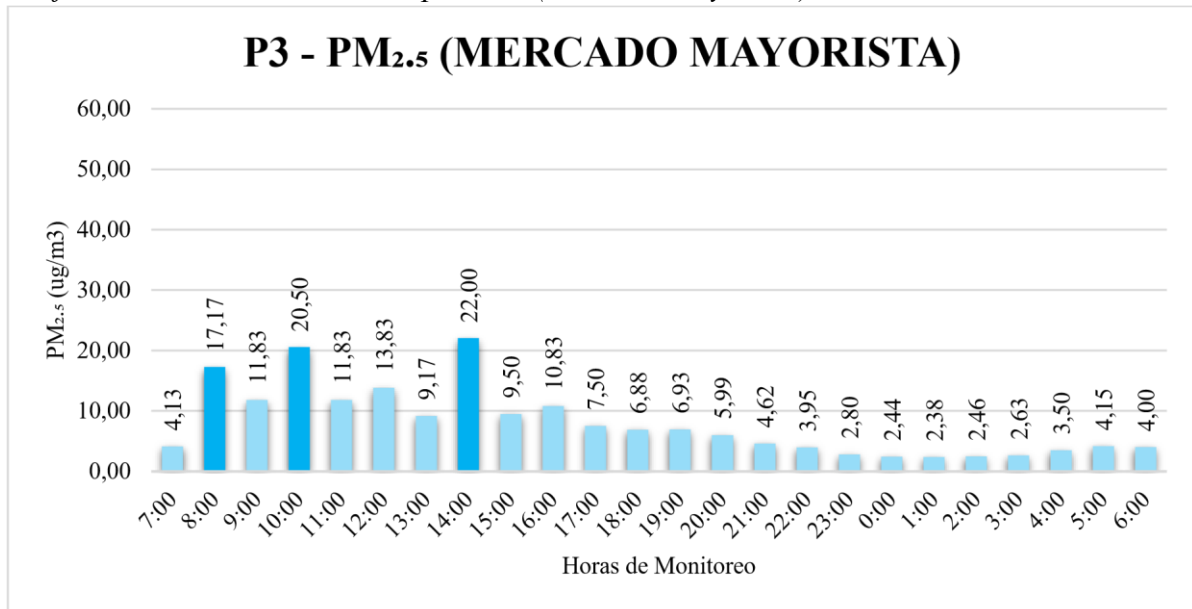


Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 21 y la gráfica de concentraciones de la Figura 22, los resultados del monitoreo de material particulado PM_{10} en el punto P3 del mercado Mayorista de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 05:00 y 10:00 horas, alcanzando una concentración máxima de 127.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 15:00 y 00:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de 6.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se obtuvo una concentración promedio de 42.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una desviación estándar de 39.96, valor que representa una alta variabilidad y dispersión de los datos con respecto al promedio. Finalmente, en este punto de monitoreo se observó que las concentraciones PM_{10} registradas a las 08:00, 09:00, 10:00 y 11:00 horas superaron los límites establecidos por la normativa ambiental vigente, alcanzando valores de 105, 119, 127 y 124 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Figura 23.

Gráfica de concentración PM_{2.5} para P3 (Mercado Mayorista)



Nota. Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 21 y la gráfica de concentraciones de la Figura 23, los resultados del monitoreo de material particulado PM_{2.5} en el punto P3 del mercado Mayorista de Machachi presentan variaciones en las concentraciones a lo largo del día. El incremento más pronunciado se registra en el intervalo comprendido entre las 08:00 y 14:00 horas, alcanzando una concentración máxima de 22.00 µg/m³, debido a la elevada actividad comercial, así como al aumento del tránsito vehicular y peatonal en la zona durante dicho periodo. Por el contrario, en el intervalo entre las 19:00 y 01:00 horas del día siguiente, se observa una disminución en las concentraciones, alcanzando un valor mínimo de 2.38 µg/m³. Además, la concentración promedio de material particulado PM_{2.5} obtenida durante el periodo continuo de 24 horas de monitoreo fue de 7.96 µg/m³. Finalmente, se obtuvo un valor de desviación estándar de 5.75 con respecto al valor de la media aritmética o promedio, lo cual indica una variabilidad alta en los datos. Este resultado indica que las concentraciones fluctuaron significativamente a lo largo del día.

10.3. Resumen de Resultados

En la Tabla 22 se presenta un resumen de los valores promedio obtenidos durante las 24 horas de monitoreo en los diferentes puntos de los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi.

Tabla 22.

Resumen de resultados promedio PM_{10} y $PM_{2.5}$ en 24 horas de monitoreo

| RESUMEN DE RESULTADOS | | | | |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|---|
| MERCADO | PUNTO DE MONITOREO | UBICACIÓN | PROMEDIO PM_{10} (ug/m3) | PROMEDIO $PM_{2.5}$ (ug/m3) |
| <i>MERCADO CENTRAL</i> | Punto 1 | Machachi: Av. Amazonas | 24.23 | 3.47 |
| | Punto 2 | Machachi: Av. 11 de Noviembre | 21.62 | 6.41 |
| | Punto 3 | Machachi: Av. José Mejía | 23.10 | 6.02 |
| <i>MERCADO MAYORISTA</i> | Punto 1 | Machachi: Av. C 11 de Noviembre | 35.60 | 11.45 |
| | Punto 2 | Machachi: Av. Barriga | 47.83 | 11.04 |
| | Punto 3 | Machachi: Av. Luis Cordero | 42.67 | 7.96 |

Nota. Elaboración propia

b) Comparación de los niveles registrados de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ con los límites de calidad del aire establecidos en la normativa ambiental vigente.

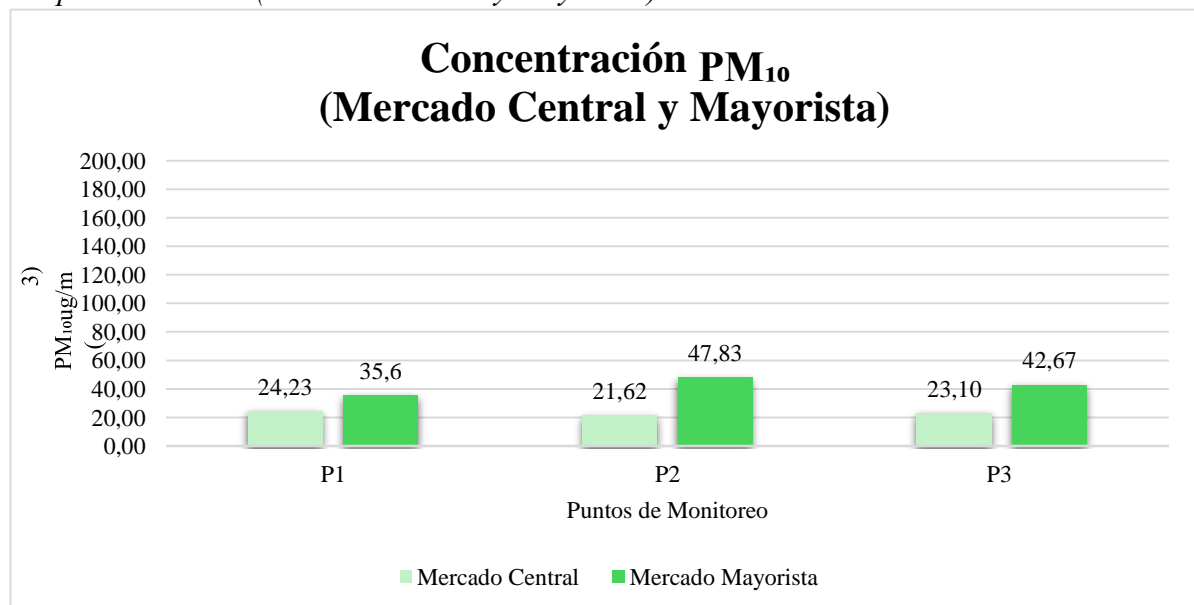
10.4. Comparación de Resultados entre Mercados

10.4.1. Mercado Central y Mayorista - Material Particulado (PM_{10})

A partir del gráfico presentado en la Figura 24, se puede observar que los valores promedio de material particulado PM_{10} en los puntos de monitoreo del mercado Central son consistentemente menores en comparación con los registrados en el mercado Mayorista. En términos generales, las concentraciones del mercado Mayorista duplican a las del mercado Central en los puntos P2 y P3, con rangos de 21.62 a 47.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 23.10 a 42.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. En el punto P1, aunque la diferencia es menos marcada, también se evidencia un incremento, con valores que varían entre 24.23 y 35.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, los valores promedio de concentración de material particulado PM_{10} registrados en ambos mercados se mantuvieron por debajo del límite máximo permitido de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme a lo establecido en la normativa ambiental vigente del Acuerdo Ministerial 097–A del Libro VI del TULSMA.

Figura 24.

Comparación PM_{10} (Mercado Central y Mayorista)



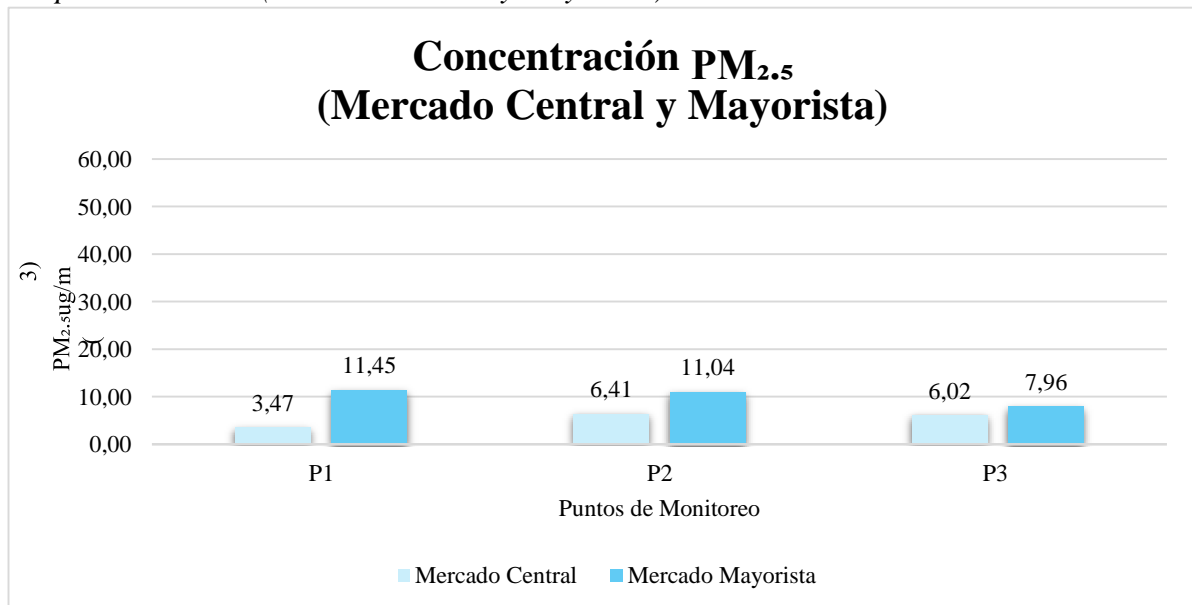
Nota. Elaboración propia

10.4.2. Mercado Central y Mayorista - Material Particulado ($PM_{2.5}$)

A partir del gráfico presentado en la Figura 25, se puede observar que los valores promedio de material particulado $PM_{2.5}$ en los puntos de monitoreo del mercado Central son consistentemente menores en comparación con los registrados en el mercado Mayorista. En el punto P1, la concentración del mercado Mayorista triplica a la del mercado Central, desde 3.47 a 11.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el punto P2, la concentración del mercado Mayorista duplica a la del mercado Central, desde 6.41 a 11.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Y finalmente en el punto P3, aunque la diferencia es menos marcada, también se evidencia un incremento, con valores que varían desde 6.02 a 7.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, los valores promedio de concentración de material particulado $PM_{2.5}$ registrados en ambos mercados se mantuvieron por debajo del límite máximo permitido de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, conforme a lo establecido en la normativa ambiental vigente del Acuerdo Ministerial 097–A del Libro VI del TULSMA.

Figura 25.

Comparación $PM_{2.5}$ (Mercado Central y Mayorista)



Nota. Elaboración propia

Discusión Final:

Estas fluctuaciones tanto para PM_{10} y $PM_{2.5}$, se explican por la alta variabilidad en los datos del mercado Mayorista, evidenciada en el análisis estadístico descriptivo previamente

realizado, en el cual se identificaron intervalos horarios específicos, principalmente en las primeras horas de la mañana, en donde se registraron concentraciones que superaron los límites recomendados por la normativa ambiental vigente, coincidiendo con picos de alta actividad comercial y tráfico vehicular.

Adicionalmente, al contrastar los resultados obtenidos con estudios previos sobre material particulado en ciudades andinas, se observa una concordancia con lo reportado por (Gutiérrez , 2020), quien, en su análisis de la calidad del aire en el centro urbano del cantón Saquisilí, registró concentraciones de PM_{10} que oscilaron entre 20 y 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que las concentraciones $PM_{2.5}$ oscilaron entre 8.04 y 8.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, las cuales, al igual que en el presente estudio, se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.

Las elevadas concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$, que oscilaron entre 21.62 y 47.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y entre 3.47 y 11.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente en ambos mercados, en comparación con los valores reportados en el estudio previamente contrastado, pueden explicarse por la naturaleza de las zonas evaluadas. En este caso, los mercados Central y Mayorista, localizados en la parte central de la ciudad, se encuentran expuestos a diversas fuentes emisoras de material particulado, como el tráfico vehicular, tanto liviano como pesado, el constante flujo peatonal, y la intensa actividad comercial, factores que inciden directamente en el incremento de las concentraciones registradas.

10.5. Comparación de Resultados con la Normativa Ambiental Vigente

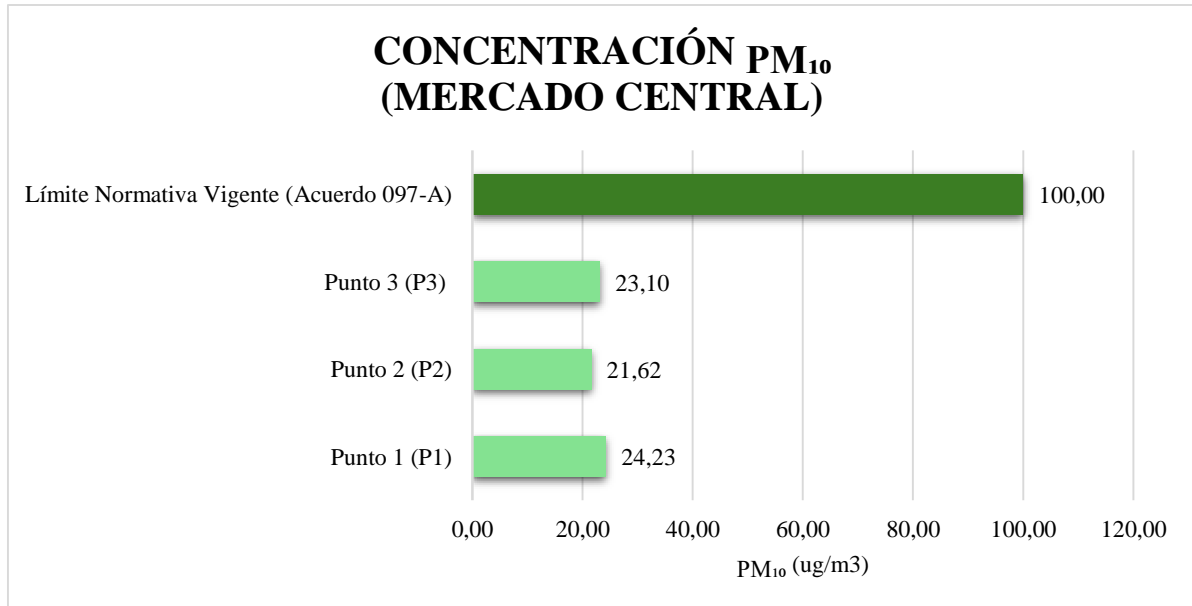
Según lo establecido en la normativa vigente sobre calidad del aire, estipulada en el Acuerdo Ministerial 097-A, las concentraciones promedio de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ medidas durante un periodo de 24 horas de monitoreo continuo en un punto específico no deben superar los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. A continuación, se presentan los resultados de la comparación entre los valores promedio obtenidos en cada uno de los puntos monitoreados y el límite establecido por dicha normativa tanto para los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi.

10.5.1. Mercado Central – Material Particulado (PM₁₀)

La Figura 26 muestra que los valores promedio de concentración de material particulado PM₁₀ en los distintos puntos de monitoreo del mercado Central de Machachi oscilan entre 21 y 24 µg/m³, situándose por debajo del límite máximo permisible de 100 µg/m³ establecido en la normativa vigente de calidad del aire. Estos resultados permiten clasificar la calidad del aire en la zona evaluada como buena, ya que las concentraciones registradas son relativamente bajas y no representan un riesgo significativo para la salud pública.

Figura .

Comparación concentración

26*PM₁₀ y Norma Vigente (Mercado Central)**Nota. Elaboración propia***10.5.2. Mercado Central – Material Particulado (PM_{2.5})**

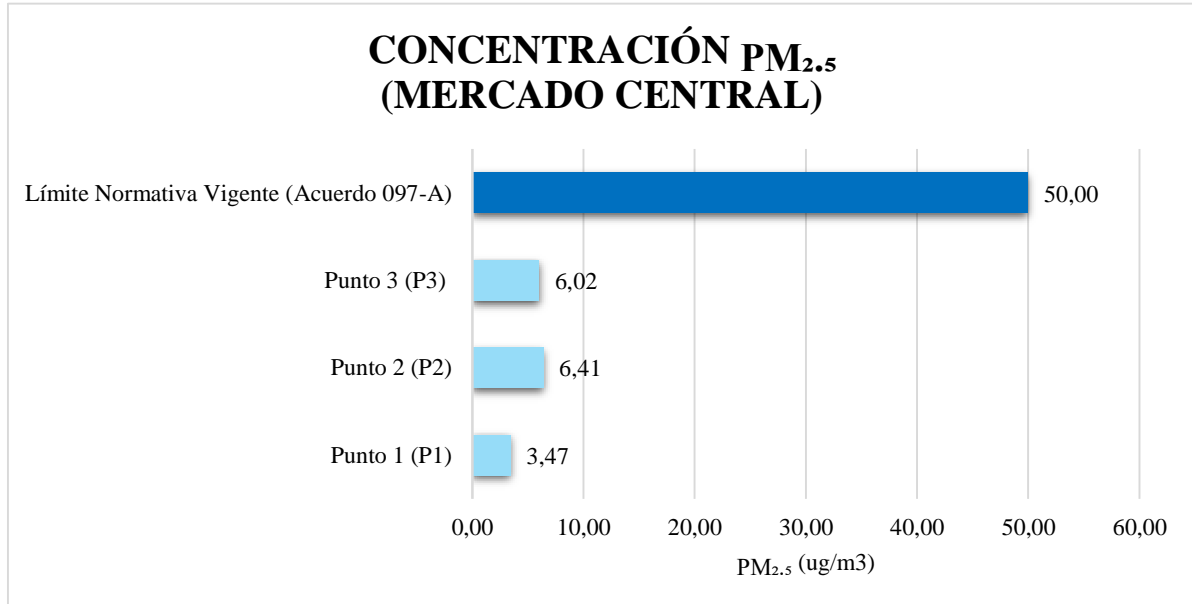
La Figura 27 muestra que los valores promedio de concentración de material particulado PM_{2.5} en los distintos puntos de monitoreo del mercado Central de Machachi oscilan entre 3 y 6 µg/m³, situándose por debajo del límite máximo permisible de 50 µg/m³ establecido en la normativa vigente de calidad del aire. Estos resultados permiten clasificar la calidad del aire en la zona evaluada como buena, ya que las concentraciones registradas son relativamente bajas y no representan un riesgo significativo para la salud pública.

27

Figura .

Comparación concentración

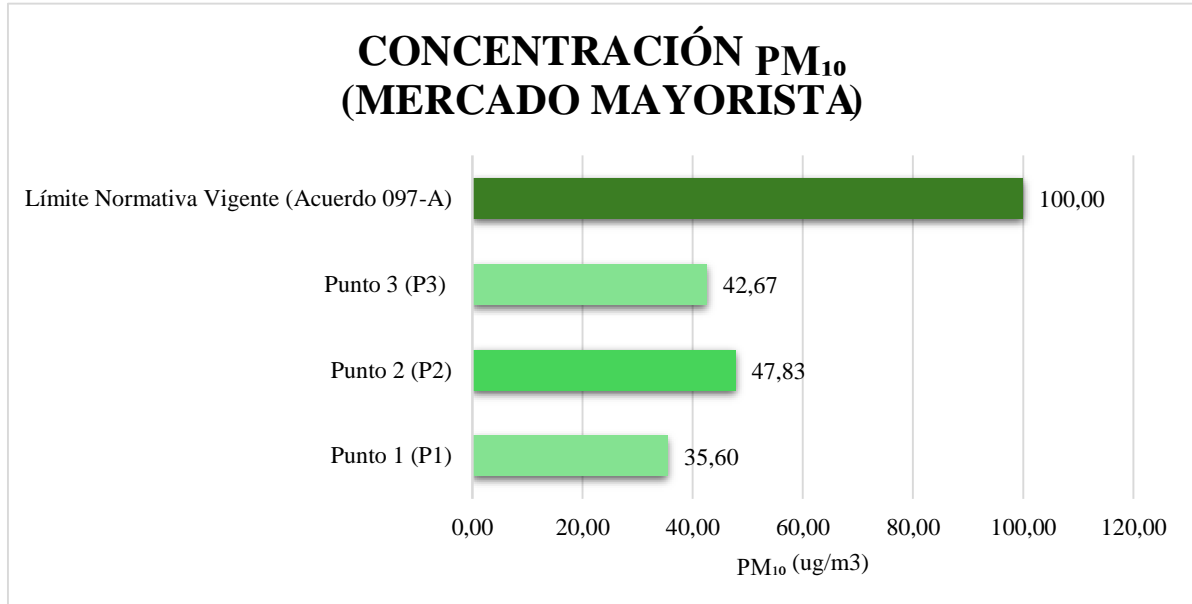
PM_{2.5} y Norma Vigente (Mercado Central)



Nota. Elaboración propia

10.5.3. Mercado Mayorista – Material Particulado (PM₁₀)

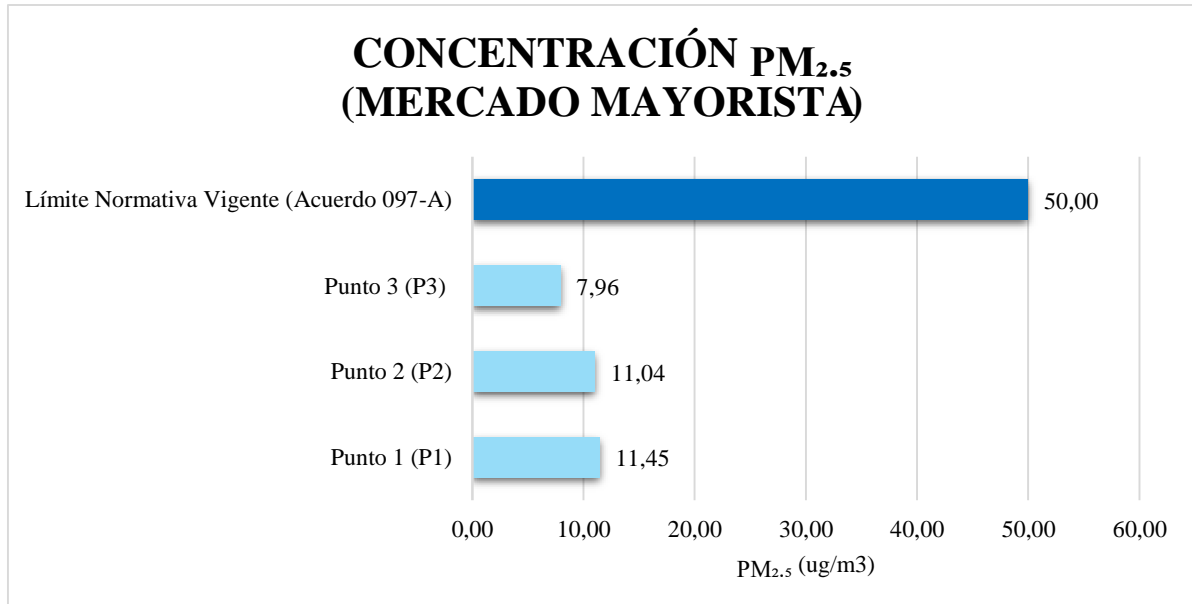
La Figura 28 muestra que los valores promedio de concentración de material particulado PM₁₀ en los distintos puntos de monitoreo del mercado Mayorista de Machachi oscilan entre 35 y 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, situándose por debajo del límite máximo permisible de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido en la normativa vigente de calidad del aire. Estos resultados permiten clasificar la calidad del aire en la zona evaluada como buena, ya que las concentraciones promedio registradas son relativamente bajas y no representan un riesgo significativo para la salud pública.

Figura .*Comparación concentración**PM₁₀ y Norma Vigente (Mercado Mayorista)**Nota. Elaboración propia***10.5.4. Mercado Mayorista – Material Particulado (PM_{2.5})**

La Figura 29 muestra que los valores promedio de concentración de material particulado PM_{2.5} en los distintos puntos de monitoreo del mercado Mayorista de Machachi oscilan entre 7 y 11 µg/m³, situándose por debajo del límite máximo permisible de 50 µg/m³ establecido en la normativa vigente de calidad del aire. Estos resultados permiten clasificar la calidad del aire en la zona evaluada como buena, ya que las concentraciones registradas son relativamente bajas y no representan un riesgo significativo para la salud pública.

Figura .

Comparación concentración

29*PM_{2.5} y Norma Vigente (Mercado Mayorista)**Nota. Elaboración propia***Discusión Final:**

A partir del análisis de las concentraciones de material particulado PM₁₀ en cada uno de los mercados, se obtuvieron los siguientes resultados: para el mercado Central, los valores promedio fueron de 24.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P1), 21.62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P2) y 23.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P3). En el caso del mercado Mayorista, las concentraciones promedio registradas fueron de 35.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P1), 47.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P2) y 42.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P3). Al comparar estos valores con el límite máximo permisible establecido en la normativa ambiental vigente del Acuerdo Ministerial 097–A del Libro VI del TULSMA, ninguno supera los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por otro lado, respecto a las concentraciones de material particulado PM_{2.5}, se registraron los siguientes valores promedio: en el mercado Central, 3.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P1), 6.41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P2) y 6.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P3); mientras que en el mercado Mayorista se obtuvieron 11.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P1), 11.04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P2) y 7.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el punto (P3). De igual forma, al comparar estos valores con el límite máximo

Figura .*Comparación concentración*

permisible establecido en la normativa ambiental vigente del Acuerdo Ministerial 097–A del Libro VI del TULSMA, ninguno supera los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

De manera general, al ver que los resultados promedio de concentración PM_{10} y $PM_{2.5}$, no superan los límites establecidos por la norma, podemos evaluar que la calidad del aire en los Mercados Central y Mayorista de la ciudad Machachi es relativamente buena y no presenta ningún riesgo para salud pública.

Adicionalmente, al comparar los resultados obtenidos en el presente estudio con los del análisis realizado en 2024 por la Universidad Técnica de Cotopaxi, se observa una coherencia en los niveles registrados. Según (Carrera, 2024), la calidad del aire en Machachi fue calificada como aceptable, registrándose concentraciones de PM_{10} entre 10 y 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $PM_{2.5}$ entre 9 y 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al igual que en el presente estudio, dichos valores se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por normativa ambiental vigente, lo que respalda la validez de los resultados obtenidos y reafirma la situación actual de la calidad del aire en la zona.

Finalmente, para respaldar los resultados obtenidos, se realizó una comparación con un estudio internacional llevado a cabo en Perú, específicamente en el Mercado III Huayco de la ciudad de Tarapoto, durante el año 2021. En dicho estudio, se evaluaron las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ con el objetivo de analizar los posibles riesgos a la salud de los comerciantes. Según (De la Cruz, 2021), las concentraciones de PM_{10} oscilaron entre 14.81 y 19.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que las de $PM_{2.5}$ se situaron entre 7.64 y 10.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al igual que en el presente estudio, los valores obtenidos se encuentran por debajo de los límites permisibles establecidos por las normativas ambientales vigentes en cada país. Esta similitud en los resultados respalda la calificación de la calidad del aire como buena, dado que, pese a tratarse de zonas de alta afluencia vehicular, tránsito peatonal e intensa actividad comercial, los niveles de material particulado no superan los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente, y por tanto, no representan un riesgo significativo para la salud pública.

c) **Diseño de propuestas de acción final orientadas a la prevención y mejora de la calidad del aire en las zonas evaluadas.**

10.6. Propuestas de Acción Final para la Prevención y Mejora de la Calidad del Aire

Propuesta de Acción Final N° 1

Estrategia: Educación y concientización ambiental

Lugar de Ejecución: Mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi

Objetivo: Fomentar la concientización ambiental en comerciantes, residentes y usuarios de los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi, mediante procesos educativos orientados a promover prácticas sostenibles que contribuyan al mantenimiento y mejoramiento de la calidad del aire en estas zonas.

Descripción: La estrategia consiste en fomentar procesos de educación ambiental orientados a la socialización del conocimiento relacionado con la calidad del aire, mediante la ejecución de talleres, campañas informativas y actividades participativas. Estas acciones tienen como finalidad promover la concientización ciudadana sobre el manejo adecuado de residuos y la reducción de fuentes emisoras de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi.

Actividades

1. Elaboración de material didáctico para la difusión de los resultados obtenidos en el presente estudio sobre calidad del aire, utilizando recursos gráficos y visuales accesibles para la comunidad.
2. Diseño de material educativo para explicar de forma clara qué son los contaminantes atmosféricos (PM_{10} y $PM_{2.5}$), sus principales fuentes emisoras y sus efectos sobre la salud y el ambiente.
3. Planificación de reuniones con las autoridades competentes (GAD Municipal) y los responsables de la administración de los mercados Central y Mayorista.
4. Socialización de los resultados del presente estudio a las autoridades pertinentes.
5. Definición de fechas, horarios y lugares para la ejecución de charlas educativas dirigidas a la comunidad.
6. Promoción de las charlas mediante redes sociales para incentivar la participación ciudadana.

7. Ejecución de charlas dirigidas a comerciantes, consumidores y ciudadanía en general, enfocadas en explicar los resultados del monitoreo de calidad del aire de forma comprensible y participativa.
8. Ejecución de charlas educativas y participativas enfocadas al manejo adecuado de residuos y la reducción de fuentes contaminantes, fomentando el compromiso comunitario con la protección ambiental y la salud pública.
9. Aplicación de encuestas de evaluación antes y después de las charlas educativas, con el fin de medir el nivel de conocimiento de los participantes sobre la calidad del aire, sus fuentes de contaminación y prácticas de prevención.

Responsables

- GAD Municipal de Machachi
- Universidad Técnica de Cotopaxi (Carrera de Ingeniería Ambiental) □
Autoridades Sectoriales

| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| ACTIVIDADES | MESES | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Educación y Concientización Ambiental | | | | | | | | | | | | |
| 1. Elaboración de material didáctico (resultados obtenidos en el estudio) | | | | | | | | | | | | |
| 2. Elaboración de material didáctico (educación ambiental para charlas) | | | | | | | | | | | | |
| 3. Planificación de reuniones de planificación con las autoridades competentes. | | | | | | | | | | | | |
| 4. Socialización de resultados a autoridades pertinentes. | | | | | | | | | | | | |
| 5. Definición de fechas y lugares para la ejecución de charlas educativas. | | | | | | | | | | | | |
| 6. Promoción de charlas por medio de redes sociales. | | | | | | | | | | | | |
| 7. Ejecución de charla informativa para presentación de resultados. | | | | | | | | | | | | |
| 8. Ejecución de charlas educativas sobre contaminantes y fuentes emisoras. | | | | | | | | | | | | |
| 9. Aplicación de encuestas de evaluación antes y después de las charlas. | | | | | | | | | | | | |

Nota. Elaboración propia

| PRESUPUESTO ESTIMADO | | | | |
|--|---------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------|
| RECURSOS HUMANOS | | | | |
| Recursos | Unidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
| Estudiantes de Ingeniería Ambiental (UTC) | | | | |
| Docentes tutores (UTC) | | | | |
| RECURSOS MATERIALES | | | | |
| Diseño e impresión de material educativo | 250 | Trípticos y afiches | 0.25 ctvs. | \$50.00 |
| Señalización ambiental | 20 | Carteles informativos | \$2.50 | \$50.00 |
| Impresión de evaluaciones | 100 | Test inicial y final | 0.05 ctvs. | \$5.00 |
| RECURSOS TECNOLÓGICOS | | | | |
| Computadora | 1 | Material digital | \$300.00 | \$300.00 |
| Cámara fotográfica | 1 | Evidencia fotográfica | \$150.00 | \$150.00 |
| OTROS RECURSOS | | | | |
| Transporte | 3 | Movilización por mes | \$35.00 | \$105.00 |
| Alimentación | 3 | Alimentación por mes (almuerzos) | \$50.00 | \$150.00 |
| Gastos Adicionales | 3 | Gastos adicionales por mes | \$20.00 | \$60.00 |
| SUBTOTAL | | | | \$870.00 |
| 10% IMPREVISTOS | | | | \$87.00 |
| TOTAL | | | | \$957.00 |

Nota. Elaboración propia

Resultado Esperado

Concientización ciudadana y reducción de las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en las zonas de estudio, gracias a una difusión efectiva de los sobre calidad del aire, sus fuentes de contaminación y las prácticas preventivas asociadas.

Propuesta de Acción Final N° 2

Estrategia: Monitoreo ambiental y evaluación técnica continua

Lugar de Ejecución: Mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi

Objetivo

Implementar un sistema continuo de monitoreo de calidad del aire que permita generar datos actualizados de las concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) para la toma de decisiones ambientales.

Descripción

La estrategia consiste en instalar sensores de bajo costo en diferentes puntos de los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi para el monitoreo de material particulado en tiempo real.

Actividades

1. Definición de la ubicación y cantidad de puntos de monitoreo, en función de criterios técnicos, logísticos y de representatividad espacial, para la instalación de sensores de medición de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$).
2. Elaboración de mapas, georreferenciando la ubicación de los nuevos puntos de monitoreo mediante el software QGIS.
3. Investigación y análisis de los costos de adquisición e instalación de sensores, incluyendo alternativas tecnológicas disponibles, especificaciones técnicas y proveedores.
4. Diseño de informes y presentaciones técnicas para exponer la propuesta ante las autoridades del GAD Municipal y los responsables de la administración de los mercados, con el objetivo de gestionar apoyo financiero e institucional.
5. Gestión para la adquisición de los sensores según el número de puntos definidos, cumpliendo con los requerimientos técnicos y presupuestarios establecidos.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 8. Ejecución de pruebas técnicas de funcionamiento. | | | | | | | | | | | | | |
| 9. Elaboración de una base de datos estructurada. | | | | | | | | | | | | | |
| 10. Elaboración de reportes técnicos periódicos. | | | | | | | | | | | | | |
| 11. Difusión de los resultados obtenidos a la ciudadanía. | | | | | | | | | | | | | |

Nota. Elaboración propia

| PRESUPUESTO ESTIMADO | | | | |
|--|---------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------|
| RECURSOS HUMANOS | | | | |
| Recursos | Unidad | Descripción | Valor Unitario | Valor Total |
| Estudiantes de Ingeniería Ambiental (UTC) | | | | |
| Docentes tutores (UTC) | | | | |
| Personal técnico y soporte | 2 | Instalación y calibración | \$750.00 | \$1500.00 |
| RECURSOS MATERIALES | | | | |
| Libreta de campo | 6 | Apuntes de campo | \$1.00 | \$6.00 |
| Material para apuntes | 12 | Esferos o lápices | \$0.50ctvs | \$6.00 |
| Impresión de informes mensuales | 20 | Informes calidad del aire | \$1.00 | \$20.00 |
| RECURSOS TECNOLÓGICOS | | | | |
| Laptop | 2 | Análisis de datos | \$300.00 | \$600.00 |
| Licencia Software Q-GIS | 2 | Mapas Georreferenciales | - | - |
| Software de monitoreo continuo | 2 | Datos en tiempo real | \$200.00 | \$400.00 |
| Sensores de monitoreo | 6 | Monitoreo de material particulado | \$300.00 | \$1800.00 |
| Base de datos estructurada | 1 | Diseño de la base de datos | \$150.00 | \$150.00 |
| OTROS RECURSOS | | | | |

| | | | | |
|--|---|----------------------------------|---------|------------------|
| Transporte | 2 | Movilización para permisos | \$35.00 | \$70.00 |
| Alimentación | 2 | Alimentación por mes (almuerzos) | \$50.00 | \$100.00 |
| Trámites municipales y logísticos | 1 | Todos los trámites respectivos | \$50.00 | \$50.00 |
| Gastos Adicionales | 2 | Gastos adicionales por mes | \$50.00 | \$100.00 |
| SUBTOTAL | | | | \$4802.00 |
| 10% IMPREVISTOS | | | | \$480.20 |
| TOTAL | | | | \$5282.20 |

Nota. Elaboración propia

Resultado Esperado

Base de datos actualizada de las concentraciones de material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi, permitiéndonos identificar tendencias temporales, evaluar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y respaldar la toma de decisiones orientadas a la mejora de la calidad del aire y la protección de la salud pública.

Presupuesto Final Estimado Implementación de Propuestas de Acción Finales

| PRESUPUESTO FINAL | |
|---|-----------------------------|
| Propuesta de Acción Final | Presupuesto Estimado |
| Educación y Concientización Ambiental | \$957.00 |
| Monitoreo Ambiental y Evaluación Técnica Continua | \$5282.00 |
| TOTAL | \$6239.20 |

Nota. Elaboración propia

11. IMPACTOS (TÉCNICOS. SOCIALES. AMBIENTALES)

11.1. Impactos Técnicos

El presente estudio ha proporcionado una base de datos técnica sobre las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en los puntos de monitoreo establecidos para los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi. Esta información, constituye un insumo valioso para la gestión ambiental local, ya que permite establecer un diagnóstico actualizado de la calidad del aire en zonas de alta concentración comercial, vehicular y peatonal.

La aplicación de una metodología que se fundamentó en criterio técnicos, meteorológicos y de campo, tomando en cuenta los estándares y protocolos establecidos en normativas nacionales (Plan de Desarrollo Ambiental del MAATE) e internacionales (EPA) lo cual garantizó la obtención de datos representativos y reproducibles. Además, el uso de herramientas tecnológicas como QGIS posibilitó la georreferenciación precisa de los sitios de monitoreo y la elaboración de mapas de ubicación, lo cual aporta un enfoque clave para futuros monitoreos ambientales.

Los resultados obtenidos fueron evaluados en función de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ambiental vigente (Acuerdo Ministerial 097-A del Libro VI del TULSMA), lo que permitió realizar un análisis técnico comparativo para determinar el grado de cumplimiento y las condiciones actuales de la calidad del aire. Esta comparación normativa no solo respalda la validez de los datos generados, sino que también proporciona evidencia objetiva para la toma de decisiones por parte de las autoridades municipales de la ciudad de Machachi.

En conjunto, todos los aspectos antes mencionados aportan de manera significativa al ámbito técnico, ya que se generó información confiable, la cual servirá como referencia para futuros estudios sobre calidad del aire en zonas urbanas de la ciudad de Machachi. Además, se

estableció una base metodológica sólida y replicable, lo que facilita la continuidad de investigaciones ambientales y el diseño de estrategias de prevención y mejoramiento de la calidad del aire.

11.2. Impactos Sociales

Desde el punto de vista social, el presente estudio ha permitido evidenciar la exposición diaria a contaminantes atmosféricos que enfrentan tanto los comerciantes como los consumidores que acuden de manera frecuente a los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi.

La difusión de los resultados obtenidos no tiene únicamente un carácter informativo, sino que también busca generar conciencia en la ciudadanía sobre los riesgos que implica la contaminación del aire, promoviendo una cultura de responsabilidad y compromiso ambiental. Asimismo, mediante la implementación de las propuestas de acción planteadas en este estudio, se aspira a reducir los niveles de concentración de material particulado en los mercados intervenidos, con el objetivo de mejorar la calidad del aire y garantizar entornos más saludables que no representen un riesgo para la salud de la población.

11.3. Impactos Ambientales

Las elevadas concentraciones de material particulado pueden causar impactos negativos en la salud pública de las personas que se encuentran expuestas de manera continua, especialmente en zonas de alta concurrencia como los mercados, donde la actividad comercial, vehicular y peatonal es intensa. La exposición prolongada al PM_{10} y $PM_{2.5}$ se asocia con enfermedades respiratorias, cardiovasculares y agravamiento de condiciones crónicas como el asma y la bronquitis, afectando especialmente a niños, adultos mayores y personas con sistemas inmunológicos comprometidos.

En términos ambientales, la evaluación de la calidad del aire en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi ha sido clasificada como buena, dado que las concentraciones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) registradas durante el período de monitoreo no superaron los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente del Acuerdo Ministerial 097-A del Libro VI del TULSMA. Sin embargo, se observaron incrementos considerables durante las horas pico y en días de feria, lo que evidencia una acumulación temporal de contaminantes que, si no se controla, podría derivar en una degradación progresiva de la calidad del aire.

Por esta razón, es fundamental implementar las propuestas de prevención y mejora de la calidad del aire, orientadas a generar conciencia ambiental en la ciudadanía y a establecer un sistema de monitoreo continuo de las concentraciones de material particulado. Este seguimiento periódico permitirá verificar si los niveles se mantienen dentro de los límites establecidos por la normativa vigente, facilitando así la toma de decisiones en términos de gestión ambiental y protección de la salud pública.

12. CONCLUSIONES

- El análisis descriptivo y gráfico-estadístico de las concentraciones de material particulado registradas en los puntos seleccionados de ambos mercados permitió identificar niveles críticos de contaminación durante el periodo de monitoreo. En términos generales, en el Mercado Central no se detectaron niveles críticos, ya que las concentraciones máximas de PM_{10} y $PM_{2.5}$ se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. Sin embargo, en el Mercado Mayorista se evidenció un nivel crítico de concentración PM_{10} en el punto P2, registrado a las 10:00 del 12 de mayo de 2025, con un valor de $181.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor, al ser comparado con los parámetros del Acuerdo Ministerial 097-A del Libro VI del TULSMA, se encuentra dentro del rango de niveles de alerta.
- El análisis comparativo entre los valores promedio de concentración de material particulado y los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A del Libro VI del TULSMA permitió determinar que ninguno de los puntos monitoreados en los mercados Central y Mayorista superó los límites máximos permitidos, fijados en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$. En el Mercado Central, las concentraciones promedio de PM_{10} oscilaron entre 21.62 y $24.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para $PM_{2.5}$ se ubicaron entre 3.47 y $6.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, en el Mercado Mayorista se registraron valores más elevados, con promedios que variaron entre 35.60 y $47.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} , y entre 7.96 y $11.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para $PM_{2.5}$. Estos resultados, corroborados con estudios similares realizados en zonas urbanas comparables, permiten concluir que la calidad del aire en las áreas evaluadas puede considerarse relativamente buena.
- A partir de las propuestas de acción final planteadas en este estudio, se establecen lineamientos estratégicos orientados a la prevención y mejoramiento de la calidad del aire en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi. Estas propuestas no solo buscan mejorar la calidad del aire, sino también fomentar una cultura de concientización

ambiental por parte de los ciudadanos. De igual manera, su implementación permitirá contar con una base de datos actualizada de las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5}, lo cual será fundamental para la toma de decisiones ambientales a futuro.

13. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el presente estudio incorporando nuevos puntos de monitoreo en los alrededores de los mercados Central y Mayorista. Esta ampliación permitirá obtener resultados más precisos y representativos sobre la calidad del aire en estas zonas, caracterizadas por una alta concurrencia vehicular y peatonal, así como por una intensa actividad comercial. De este modo, se podrá fortalecer el análisis espacial de las concentraciones de material particulado y mejorar la toma de decisiones para la gestión ambiental local.
- Para futuros análisis comparativos se recomienda incorporar también los valores guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), los cuales son más estrictos. Esto permitirá realizar análisis comparativos más exigentes, identificando posibles riesgos para la salud aún en concentraciones que la normativa nacional cataloga como aceptables, de esta manera se promueve una gestión ambiental más preventiva y alineada con estándares internacionales.
- Se recomienda implementar de manera progresiva las propuestas de acción final formuladas en el presente estudio, con el objetivo de conservar y mejorar los niveles actuales de calidad del aire en los mercados Central y Mayorista de la ciudad de Machachi. Asimismo, se sugiere complementar estas acciones mediante el diseño de nuevas estrategias, tomando como referencia experiencias exitosas desarrolladas en otras ciudades a nivel nacional e internacional. Esto permitirá fortalecer la gestión ambiental local, adaptando buenas prácticas a las condiciones particulares del contexto urbano y comercial de Machachi.

14. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. F., Rodríguez, L., Cuitiva, A., Altamar, A., & Aragón, J. A. (2019). *COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE POR PM10 Y PM2.5 CON LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES EN UNA ZONA ALEDAÑA A LA UNIVERSIDAD LIBRE SEDE BOSQUE EN BOGOTÁ D.C.* Bogotá. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/247>
- Anglés, M., Rovalo, M., & Tejado, M. (2023). *Manual de derecho ambiental mexicano*. Ciudad de México: UNAM. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6429/13a.pdf>
- AQI . (mayo de 2025). *Clasificación mundial Índice de Calidad del Aire (ICA)*. <https://www.aqi.in/es/dashboard>
- Carrera, E. (2024). *EVALUACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM2,5 EN LA PARROQUIA DE MACHACHI CANTÓN MEJÍA PARA GENERAR UN MAPEO DE COMPARACIÓN DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS AFECTADAS*. Latacunga: UTC.
- Chen, G., Shanshan, L., Yongming, Z., Wenyi, Z., Daowei, L., Xuemei, W., Yong, H., Bell, M., Williams, G., Marks, G., Jalaludin, B., Abramson, M., & Guo, Y. (septiembre de 2017). [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30100-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30100-6).
- COFEPRIS. (2017). *Clasificación de los contaminantes del aire ambiente*. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios : <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-yprogramas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>
- CONANP. (17 de noviembre de 2018). *Aire: elemento de vida en la Tierra*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: <https://www.gob.mx/conanp/articulos/el-aire-elemento-de-vida-en-la-tierra>
- Daly, A., & Cognuck, S. (2021). *Calidad del aire: ¡Es el momento de actuar!* Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF): <https://www.unicef.org/lac/media/27856/file/Calidad-del-aire-es-el-momento-deactuar.pdf>

- Dávalos, F., & Arévalo, S. (2019). *Evaluación de calidad del aire a través de PM_{2,5} y PM₁ de la ciudad de Guayaquil en período de lluvia y sequía*. Guayaquil: ESPOL .
- Dávila, R., Agüero, E., Piñán, J., Ramírez, G., Pastrana, N., & Montesinos, F. (30 de junio de 2022). *Calidad del aire interior mediante indicadores ecológicos y sociales asociados a la inmisión de material particulado (PM₁₀) en la zona este 2*.
<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2022/11/1398811/519-1586-1-pb-1.pdf>
- De la Cruz, D. (2021). *Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) para el Análisis de riesgos en la salud de comerciantes del Mercado III Huayco Tarapoto-2020*. Universidad César Vallejo. <https://doi.org/https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/63853>
- eCFR. (2024). *40 CFR Part 50 – National primary and secondary ambient air quality standards*. Electronic Code of Federal Regulations:
<https://www.ecfr.gov/current/title40/chapter-I/subchapter-C/part-50>
- Encinas, M. D. (2011). *MEDIO AMBIENTE Y CONTAMINACIÓN. PRINCIPIOS BÁSICOS* (1° Edición ed.). España: ISBN.
- EPA . (mayo de 2024). *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*. Technical assistance document for the reporting of daily air quality – the Air Quality Index (AQI):
<https://www.airnow.gov/publications/air-quality-index/technical-assistance-documentfor-reporting-the-daily-aqi/>
- Gutiérrez , C. (2020). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL MONITOREO DEL MATERIAL PARTICULADO PM₁₀ Y PM_{2.5} EN EL CENTRO URBANO DEL CANTÓN SAQUISILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2019 – 2020*. UTC .
<https://doi.org/https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/94303b036e53-44fa-ba6d-2dd7c39da6af/content>
- INEC. (2022). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. <https://www.censoecuador.gob.ec/>
- INEI. (2015). *Perrú: Anuario de Estadísticas Ambientales 2015*. Instituto Nacional de Estadística e Informática:
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1342/libro.pdf

- Jaya, J. (2024). “*EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PM_{2,5} Y PM₁₀ EN EL TERMINAL TERRESTRE DEL CANTÓN SALCEDO DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI*”. UTC .
<https://doi.org/https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3e27e06c-b36f406d-b103-e5a9e04cf075/content>
- Kreuter-Kirchhof, C. (2012). *Atmosphere, International Protection*. Max Planck Encyclopedia of Public International Law [MPEPIL].
<https://opil.ouplaw.com/display/10.1093/law:epil/9780199231690/law9780199231690-e1561>
- Loaiza, Y. (7 de febrero de 2023). *El aire contaminado que respiramos en el Ecuador* .
<https://gk.city/2019/09/16/aire-contaminado-ecuador-ciudades/>
- Martínez , E., & Díaz de Mera, Y. (2004). *Colección Ciencia y Técnica 45*. (U. d.-L. Mancha, Ed.) Contaminación Atmosférica:
<https://books.google.com.ec/books?id=eyTSAGAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Met One Instruments. (2008). *MANUAL OPERACION E - BAM*. Rowlett, Texas.
https://www.env.nm.gov/wp-content/uploads/sites/2/2018/02/SpanishVersion_OperatingManual.pdf
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Acuerdo N° 97/A - Norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión (Anexo 4, Libro VI de la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente)*. Quito.
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu155133.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)* . Quito.
<https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Directrices mundiales sobre la calidad del aire: partículas en suspensión (PM_{2.5} y PM₁₀)*. [https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

- Pérez, R. (2022). *Technology audit and production reserves*. Observing the absorption of ultraviolet radiation from the sun by oxygen from the atmosphere as the cause of global warming: <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/266490>
- Quijano, A., & Orozco, J. (2005). *Monitoreo de material particulado-fracción respirable (PM 2.5) en Pamplona (Colombia)*. Pamplona: BITSUA.
<https://www.redalyc.org/pdf/903/90330201.pdf>
- QuitocómoVamos. (febrero de 2025). *Factsheet Ambiente 2025*.
https://quitocomovamos.org/wp-content/uploads/2025/02/06Factsheet_Ambiente2025.pdf
- Ramírez, L., Méndez, A., & Morales, A. (2024). *CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE*. CENTRO DE ESTUDIOS SOCIALES Y DE OPINIÓN PÚBLICA (CESOP):
https://congresoaxaca.gob.mx/docs65.congresoaxaca.gob.mx/centros_estudios/CESOP/estudiosCESOP/Contaminacio%CC%81n_del_medio_ambiente.pdf
- Rojano, R., Mendoza, Y., Arregoces, H., & Restrepo, G. (2016). *Dispersión de Contaminantes del Aire (PM10, NO2, CO, COV y HAP) emitidos desde una Estación Modular de Compresión, Tratamiento y Medición de Gas Natural*.
<http://dx.doi.org/10.4067/S071807642016000500012>
- Rubio, J. (2019). *MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL MATERIAL PARTICULADO PM10 Y PM2,5 EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA "CAMPUS SUR"*. Quito: UPS.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17086/1/UPS-ST004034.pdf>
- Secretaría de Ambiente. (febrero de 2023). *Municipio de Quito*. INFORME DE LA CALIDAD DEL AIRE 2022:
https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Administraci%C3%B3n%2020232027/Comisiones%20del%20concejo%20Metropolitano/Movilidad/2023/2023-1117/DOCUMENTOS/ORD%20MET%20RTV%20%20C.%20F.%20RACINES/INFORMES%20TE%CC%81CNICOS/INFORME%20CALIDAD%20DEL%20AIRE%20SEC
- SEMARNAT. (2013). *CALIDAD DEL AIRE: UNA PRÁCTICA DE VIDA*. SECRETARÍA DE

MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES :
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001593.pdf>

WeatherSpark. (s.f.). *Tiempo promedio en mayo en Machachi, Ecuador*. Retrieved 14 de julio de 2025, from <https://es.weatherspark.com/m/20033/5/Tiempo-promedio-en-mayo-enMachachi-Ecuador>

World Health Organization. (2005). *Air quality guidelines: Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Denmark.
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107823/9789289021920eng.pdf?sequence=1>

World Health Organization. (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: Technical report*. Denmark: REVIHAAP.
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341712/WHO-EURO-2013-4101-4386061757-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

