



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL
PARTICULADO SEDIMENTABLE MEDIANTE
COLECTORES PASIVOS EN LA PARROQUIA
PASCUALES, PROVINCIA DEL
GUAYAS.**

AUTOR

MERCHÁN ALVAREZ JEFFERSON PAÚL

TUTOR

ING. GUEVARA VINZA JUAN CARLOS, MSc.

GUAYAQUIL, ECUADOR

2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE MEDIANTE COLECTORES PASIVOS EN LA PARROQUIA PASCUALES, PROVINCIA DEL GUAYAS., realizado por la estudiante MERCCHÁN ALVAREZ JEFFERSON PAÚL; con cédula de identidad N°0928779313 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Guevara Vinza Juan Carlos, M.Sc.

Guayaquil, 16 de enero del 2026



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: “ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE MEDIANTE COLECTORES PASIVOS EN LA PARROQUIA PASCUALES, PROVINCIA DEL GUAYAS”, realizado por el estudiante MERCHÁN ALVAREZ JEFFERSON PAÚL, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

**DR. JUSSEN FACUY DELGADO, M.Sc.
PRESIDENTE**

**DR. DIEGO PORTALANZA P., M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**ING. ELVIS FLORES ABAD, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL**

Guayaquil, 16 de enero del 2026

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado especialmente a Dios y mi familia, por todo el apoyo, sacrificio y dedicación que me han brindado a lo largo de estos años.

Para Keyla, que siempre estará a mi lado, este logro también es tributo a tu recuerdo.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a todos los docentes de la Universidad Agraria del Ecuador y compañeros, que a lo largo de la carrera me han ayudado, aconsejado y motivado para culminar con éxito mi carrera universitaria.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo MERCHÁN ALVAREZ JEFFERSON PAÚL, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE MEDIANTE COLECTORES PASIVOS EN LA PARROQUIA PASCUALES, PROVINCIA DEL GUAYAS” para optar el título de INGENIERO AMBIENTAL, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 15 de enero del 2026

MERCHÁN ALVAREZ JEFFERSON PAÚL

C.I. 0928779313

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo analizar las concentraciones de material particulado sedimentable en la Parroquia Pascuales, durante el período de muestreo se utilizaron diez colectores pasivos y el método gravimétrico, se observaron variaciones significativas en las concentraciones de material particulado sedimentable (MPS) a lo largo de cuatro meses. No obstante, la mayoría de los puntos de monitoreo presentaron niveles dentro de los límites permisibles, algunos sectores como P1 (Entrada de la 8), P10 (Monte Sinaí), y en ciertos meses P2 y P8, registraron superaciones recurrentes, alcanzando hasta 2.90 mg/cm² en 30 días, situándolos fuera de los límites máximos permisibles descritos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4. Por otra parte, a través de los mapas de concentración se observaron puntos que están asociados a alta circulación vehicular, actividades comerciales intensas y vías sin pavimentar, lo que indica una contaminación localizada influenciada por las condiciones urbanas y de infraestructura. Finalmente, se concluyó que las condiciones climáticas influyen de manera directa y diferenciada en los niveles de MPS en los distintos puntos, además, la velocidad del viento tiene un efecto dispersor, mientras que la dirección puede concentrar el material en ciertas áreas y la precipitación presenta un impacto variable, aumentando los niveles en algunos sitios y disminuyéndolos en otros, reflejando la compleja interacción entre la superficie, la actividad humana y las variables climáticas.

Palabras claves: *material particulado sedimentable, mapas de concentración, límites, variables climáticas.*

ABSTRACT

The objective of this research project was to analyze sedimentable particulate matter concentrations in the Pascuales Parish. During the sampling period, ten passive collectors and the gravimetric method were employed, revealing significant variations in sedimentable particulate matter (SPM) concentrations over four months. Although most monitoring points registered levels within permissible limits, certain sectors—such as P1 Entrance 8, P10 Monte Sina, and, in specific months, P2 and P8—showed recurrent exceedances, reaching up to 2.90 mg/cm² in 30 days, which placed them above the maximum limits established in Ministerial Agreement 097-A, Annex 4. Analysis of concentration maps identified locations associated with heavy traffic, intense commercial activities, and unpaved roads, indicating localized pollution influenced by urban and infrastructural conditions. Overall, the study found that climatic factors have a distinct and direct impact on SPM levels at different monitoring sites. For example, wind speed contributes to dispersion; wind direction can concentrate particles in certain areas; and precipitation can have variable effects, increasing SPM levels in some places while reducing them in others. These findings reflect the complex interplay between local surface characteristics, human activity, and climatic variables.

Keywords: *sedimentable particulate matter, concentration maps, limits, climatic variables.*

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Antecedentes del problema	15
1.2 Planteamiento y formulación del problema	16
1.2.1 Planteamiento del problema	16
1.2.2 Formulación del problema	17
1.3 Justificación de la investigación	17
1.4 Delimitación de la investigación	18
1.5 Objetivo general.....	19
1.6 Objetivos específicos	19
1.7 Hipótesis o idea a defender	19
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Estado del arte.....	20
2.2 Bases científicas	23
2.2.1 Contaminación.....	23
2.2.1.1 Contaminación atmosférica	23
2.2.2 Calidad del aire.....	23
2.2.2.1 Efectos de la calidad del aire en la salud humana.....	23
2.2.2.2 Contaminantes criterios.....	24
2.2.2.2.1 Material particulado (PM).	24
2.2.2.2.2 Clasificación del material particulado.....	24
2.2.2.2.3 Material particulado suspendido.....	25
2.2.2.2.4 Material particulado sedimentable.....	25
2.2.2.3 Contaminantes atmosféricos.....	26
2.2.2.3.1 Contaminantes primarios.	26
2.2.2.3.2 Contaminantes secundarios.....	27
2.2.2.3 Variables meteorológicas	27
2.2.3.1 Temperatura del aire.	27
2.2.3.2 Humedad relativa.....	28
2.2.3.3 Precipitación	28
2.2.3.4 Velocidad y dirección del viento.	28
2.2.4 Medición de material particulado	28

2.2.4.1 Muestreo pasivo	28
2.2.4.2 Muestreo activo	29
2.2.4.2.1 Método gravimétrico.....	29
2.3 Marco legal	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Enfoque de la investigación	35
3.1.1 Tipo y alcance de la investigación	35
3.1.2 Diseño de investigación.....	36
3.2 Metodología	37
3.2.1 Variables.....	37
3.2.1.1 Variable independiente.....	37
3.2.1.2 Variable dependiente.....	37
3.2.2 Matriz de operacionalización de variables	38
3.2.2.1 Métodos y técnicas.....	38
3.2.2.1.1 Comparación de las concentraciones de material particulado sedimentable recolectadas con los límites máximos permisibles descritos en el Acuerdo Ministerial 097-A, anexo 4.	38
3.2.2.1.2 Identificación de las zonas de la parroquia con mayor concentración de material particulado sedimentable mediante la elaboración de un mapa de concentración.	41
3.2.2.1.3 Reconocimiento de los datos meteorológicos que influyen en la dispersión y acumulación del material particulado sedimentable..	42
3.2.2.1.4 Correlación de las concentraciones de material particulado sedimentable con las diferentes variables meteorológicas..	42
3.2.3 Recolección de datos	43
3.2.3.1 Recursos	43
3.2.4 Población y muestra	43
3.2.4.1 Población.....	43
3.2.4.2 Muestra.....	44
3.2.5 Análisis estadístico	45
3.2.5.1 Análisis estadístico descriptivo.....	45
3.2.5.1.1 Diagrama de caja y bigotes.....	45

3.2.5.2 Test de Shapiro Wilk.....	45
3.2.5.3 Coeficiente de correlación de Pearson y Spearman.....	45
4. RESULTADOS	47
4.1 Comparación de las concentraciones de material particulado sedimentable recolectadas con los límites máximos permisibles descritos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4.....	47
4.1.1 Test de normalidad Shapíro Wilk.....	52
4.1.2 Prueba de Wilcoxon para una muestra.....	53
4.2 Identificación de las zonas de la parroquia con mayor concentración de material particulado sedimentable mediante la elaboración de un mapa de concentración	53
4.2.1 Prueba de Krustal-Wallis	58
4.3 Reconocimiento de datos meteorológicos que influyen en la dispersión y acumulación del material particulado sedimentable	59
4.3.1 Análisis de la influencia de las variables climatológicas durante los meses de estudio (julio-octubre) del 2024	59
4.3.1.1 Temperatura del aire (°C).....	59
4.3.1.2 Humedad relativa (%).....	60
4.3.1.3 Precipitación (mm).....	61
4.3.1.4 Velocidad del viento (m/s).	62
4.3.1.5 Dirección del viento (°)	63
4.4 Correlación de las concentraciones de material particulado sedimentable con las diferentes variables meteorológicas	64
5. DISCUSIÓN.....	66
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
6.1 Conclusiones	68
6.2 Recomendaciones	69
BIBLIOGRAFÍA	70
ANEXOS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la Parroquia Pascuales	18
Figura 2. Diagrama de diseño de investigación.....	37
Figura 3. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo	44
Figura 4. Concentración de MPS de julio, 2024	48
Figura 5. Concentración de MPS de agosto, 2024.....	49
Figura 6. Concentración de MPS de septiembre, 2024.....	50
Figura 7. Concentración de MPS de octubre, 2024.....	52
Figura 8. Gráfica de normalidad	52
Figura 9. Mapa de concentración de MPS en julio, 2024	54
Figura 10. Mapa de concentración de MPS en agosto, 2024.....	55
Figura 11. Mapa de concentración de MPS en septiembre, 2024.....	56
Figura 12. Mapa de concentración de MPS en octubre, 2024	57
Figura 13. Temperatura del aire (°C) julio - octubre, 2024	59
Figura 14. Humedad relativa (%) julio - octubre, 2024	60
Figura 15. Precipitación (mm) julio - octubre, 2024	61
Figura 16. Velocidad del viento (m/s) julio - octubre, 2024.....	62
Figura 17. Dirección del viento (°) julio - octubre, 2024.....	63
Figura 18. Matriz de correlación entre MPS y variables climatológicas.....	64
Figura 19. Dirección del viento (julio, 2024)	79
Figura 20. Dirección del viento (agosto, 2024).....	80
Figura 21. Dirección del viento (septiembre, 2024)	81
Figura 22. Dirección del viento (octubre, 2024).....	82
Figura 23. Recolección de muestras de puntos de monitoreo	83
Figura 24. Recolección de muestras de puntos de monitoreo	83
Figura 25. Distribución y etiquetado de muestras	84
Figura 26. Materiales de laboratorio.....	84
Figura 27. Separación de muestras con su respectivo distintivo.....	85
Figura 28. Colocación de la muestra en la estufa	85
Figura 29. Eliminación de humedad en el laboratorio	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables independientes	38
Tabla 2. Variables dependientes	38
Tabla 3. Equipos de campo.....	43
Tabla 4. Equipos de laboratorio.....	43
Tabla 5. Material Particulado Sedimentable durante el mes de julio, 2024	47
Tabla 6. Material Particulado Sedimentable durante el mes de agosto, 2024.....	48
Tabla 7. Material Particulado Sedimentable durante el mes de septiembre, 2024	49
Tabla 8. Material Particulado Sedimentable durante el mes de octubre, 2024.....	51
Tabla 9. Resultados obtenidos de la prueba de Wilcoxon.....	53
Tabla 10. Prueba de Krustal Wallis	77
Tabla 11. Promedio mensual de las variables climatológicas (julio - octubre) 2024	77
Tabla 12. Análisis estadísticos de la temperatura (°C) (julio - octubre) 2024	77
Tabla 13. Análisis estadísticos de la humedad relativa (%) (julio - octubre) 2024	78
Tabla 14. Análisis estadísticos de la precipitación (mm) (julio - octubre) 2024	78
Tabla 15. Análisis estadísticos de la velocidad del viento (m/s) (julio - octubre) 2024	78
Tabla 16. Análisis estadísticos de la dirección del viento (°) (julio - octubre) 2024	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Datos de ANOVA	77
Anexo N° 2. Datos promedios de las variables climatológicas en estudio	77
Anexo N° 3. Análisis estadísticos de las variables climatológicas en estudio para el diseño del diagrama de caja y bigotes.....	77
Anexo N° 4. Resultados de dirección del viento del tercer objetivo.....	79

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

A nivel mundial lo que genera importantes efectos sobre la salud humana, es debido a la exposición a la contaminación del aire, dado que la Organización Mundial de Salud (OMS) ha demostrado que los niveles permisibles superados de la calidad de aire establecidos por la entidad, causan alrededor de 6.5 millones de muertes prematuras cada año y reduce la esperanza de vida en 0.54 años debido al material particulado (Kumar et al., 2019).

El material particulado puede tener efectos negativos tanto en la salud como en el medio ambiente, como consecuencia se observan cambios en el microclima, deterioro de la imagen urbana y una disminución en la calidad de vida de los habitantes, es la contaminación atmosférica que hay en el municipio de Toluca (Méjico). Al conocer esto se ha comprobado que existen barreras protectoras que permiten capturar contaminantes atmosféricos, que están asociados con trastornos del aparato respiratorio y cardiovascular, esto gracias a especies naturales o áreas verdes en zonas urbanas (Martínez, 2017).

A nivel local unos de las fuentes que más emite material particulado son las móviles (transportes), en el Ecuador son factores de contaminación atmosférica, estas fuentes se encuentran en las regiones urbanas y esta referente al desarrollo de patologías cardiopulmonares, cáncer y alteraciones a grado genético, lo que provoca que 1 771 mueran de una enfermedad relacionada con la contaminación del aire cada año y 86 son niños (Ministerio de Salud Pública [MSP], 2016).

Por esta razón, en la ciudad de Ambato se llevó cabo una evaluación de la contaminación atmosférica relacionada con el material particulado sedimentable (MPS), el objetivo era establecer medidas para reducir las concentraciones de este material, los resultados indicaron que existen niveles elevados de material particulado sedimentable en varias áreas de la ciudad, lo que podría afectar la salud de las personas y se recomienda al GAD-MA (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ambato) implementar un plan de mitigación que incluya medidas como la reforestación, el control de actividades generadoras de material particulado y campañas de concientización para reducir las concentraciones de este contaminante (Villacrés, 2015).

Teniendo en cuenta que al aumento de la contaminación del aire es uno de los principales problemas ambientales causados por actividades naturales y

humanas, según Choez y Cevallos (2022), en su estudio se evaluó la concentración de material particulado sedimentable en nueve puntos a lo largo de la Avenida La Confraternidad en el cantón Pelileo, aplicaron un monitoreo pasivo durante un mes, siguiendo las regulaciones ambientales ecuatorianas y las directrices de la Organización Mundial de la Salud. Al comparar los resultados con los límites permitidos por la normativa ecuatoriana, se encontró que los nueve puntos monitoreados cumplen con los estándares establecidos. Además, se realizó una encuesta a 169 personas para evaluar el impacto en la salud de quienes se encuentran en la Avenida Confraternidad. El 89 % de la población está consciente del material particulado sedimentable y sus efectos en la salud, el 96 % de las personas encuestadas reportaron haberse visto afectadas por este contaminante, principalmente en forma de alergias, según el 48% de la población, la actividad industrial es la principal causa de estas reacciones adversas.

Bajo estas consideraciones el objetivo de este estudio es obtener información preliminar de la concentración de material particulado en la parroquia Pascuales, que justifique y promueva acciones por parte de entidades correspondientes en relación con la calidad del aire, y a la vez aporte datos a proyectos de investigación sobre el monitoreo y concentración de material particulado sedimentable en parroquias urbanas del Ecuador.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Debido a la gran problemática de la expansión territorial, la parroquia se caracteriza por ser una zona muy activa en el ámbito económico, por lo cual cuenta con diversidad de comercios, además presenta gran cantidad de unidades vehiculares de carga pesada y liviana. Es importante mencionar que las diversas industrias que rodean los sectores generan material polvoriento que afecta la calidad de vida de los habitantes de los sectores de la parroquia Pascuales, donde se puede notar que son las principales actividades que afectan negativamente, por lo que es necesario llevar a cabo métodos de medición para identificar los niveles de material particulado sedimentable.

Según la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2022), aproximadamente 4.2 millones de personas mueren prematuramente cada año debido a la contaminación del aire ambiente en ciudades y zonas rurales de todo el

mundo, esta mortalidad se atribuye a la exposición a partículas finas que están relacionadas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer.

La contaminación del aire y el ruido generado por los transportes en áreas urbanas representan riesgos para la salud pública. Las partículas emitidas por estas fuentes están vinculadas al desarrollo de enfermedades cardiorrespiratorias, cáncer y alteraciones genéticas, además, niveles elevados de ruido se asocian con trastornos cognitivos y estrés (Mejía, 2018).

Los contaminantes que más preocupan para la salud pública son las partículas, el monóxido de carbono, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Aunque todo el mundo está expuesto a la contaminación atmosférica, la magnitud de esa exposición puede variar considerablemente según la población, la ubicación geográfica y las condiciones ambientales (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2020).

Por otro lado, en la ciudad de Guayaquil, la medición de la calidad del aire es mínima y costosa, lo que dificulta la gestión de datos para futuras evaluaciones (Silvera, 2018). Si la calidad del aire se ve afectada por actividades humanas, esto podría comprometer a largo plazo la salud de la población, ya que la condición del aire desempeña un papel crucial en la aparición de enfermedades respiratorias, además, no debemos pasar por alto el aumento en la demanda de recursos y servicios relacionados con esta problemática.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es la concentración del material particulado sedimentable de la parroquia Pascuales, provincia del Guayas?

1.3 Justificación de la investigación

La parroquia Pascuales cuenta con la presencia industrial lo que le hace susceptible y la cual se ve afectada por el material particulado sedimentable, debido a la permanente actividad industrial y fuentes móviles que existe en el área. Los componentes del material particulado, tanto de los elementos sólidos como de las pequeñas gotas de líquido, estas pueden inhalarse y encadenar un alto riesgo de desarrollar enfermedades, principalmente se sufren enfermedades relacionadas con el sistema respiratorio y cardiovascular, estas afecciones varían según el nivel de exposición al que se encuentran, enfocando la falta de estudios sobre el control de material particulado lo cual no ha permitido que las industrias puedan prevenir y

controlar sus emisiones, provocando una deficiencia en la calidad laboral de sus trabajadores.

Según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF] (2021), durante el año 2016, solo 77 ciudades de 17 países de América Latina y el Caribe contaban con algún tipo de sistema de medición de la calidad del aire o un instituto encargado, esta falta de datos actualizados ha dificultado la implementación de soluciones locales eficientes y efectivas basadas en la evidencia para abordar esta situación.

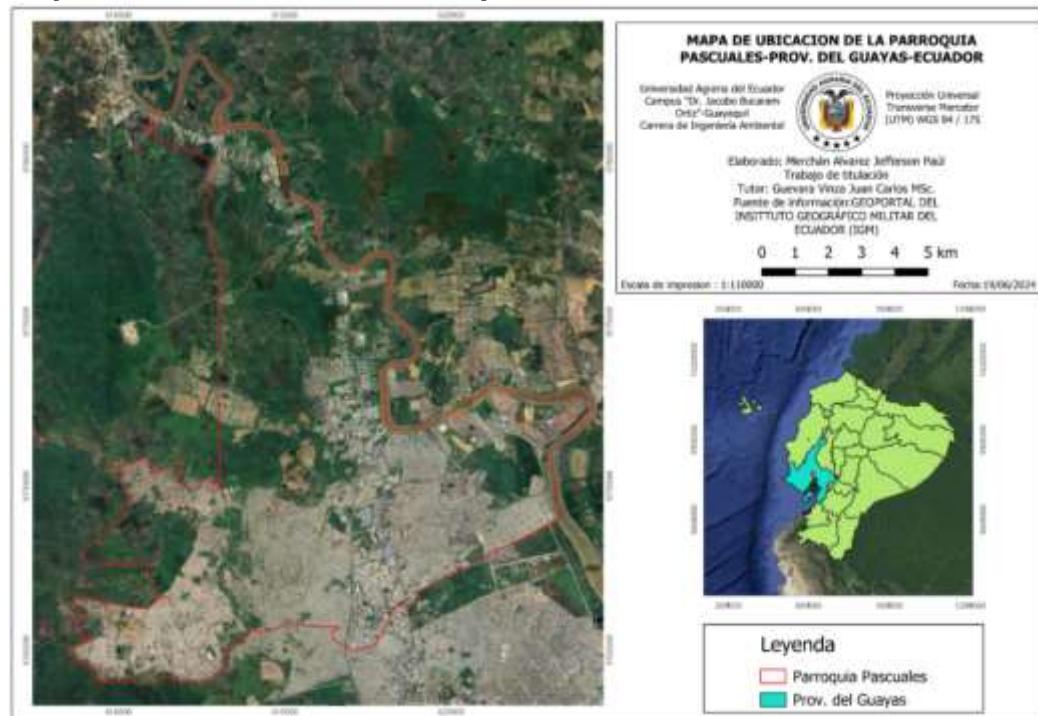
Los resultados de la investigación beneficiarán a las habitantes y entidades de control ambiental a planificar y determinar alternativas de control, reducción y seguimiento de MPS. De igual modo poder compararla con normas nacionales correspondientes y comprender la situación en que se encuentra la calidad del aire de la parroquia Pascuales.

1.4 Delimitación de la investigación

Espacio: Se desarrolló en la Parroquia Pascuales con coordenadas UTM (617479, 9769812; 620169, 9771929) (Topographic Map, 2023).

Figura 1.

Mapa de ubicación de la Parroquia Pascuales



Elaborado por: El Autor, 2025

Tiempo: El presente proyecto se llevó a cabo hasta la finalización del II Ciclo 2025-2026.

Población: La zona de estudio (Parroquia Pascuales) comprende de 74 932 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2022).

1.5 Objetivo general

Determinar la concentración de material particulado sedimentable emitido por la actividad antropogénica en la parroquia Pascuales, provincia del Guayas mediante colectores pasivos para la evaluación del cumplimiento de límites máximos permisibles según el Acuerdo Ministerial 097-Anexo 4 y su relación con variables meteorológicas.

1.6 Objetivos específicos

- Comparar las concentraciones de material particulado sedimentable recolectadas con los límites máximos permisibles descritos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4.
- Identificar las zonas de la parroquia con mayor concentración de material particulado sedimentable mediante la elaboración de un mapa de concentración.
- Reconocer los datos meteorológicos que influyen en la dispersión y acumulación del material particulado sedimentable.
- Correlacionar las concentraciones de material particulado sedimentable con las diferentes variables meteorológicas.

1.7 Hipótesis o idea a defender

La concentración de material particulado sedimentable en la parroquia Pascuales excede los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-Anexo 4, durante el período 2024.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

De acuerdo con la investigación realizada en la ciudad de Iquitos (Perú), se analizaron los niveles de polvo atmosférico depositado en tres direcciones: José Abelardo Quiñones, Participación y La Marina. Los resultados obtenidos por el método pasivo de las placas receptoras indicaron que el nivel promedio de polvo atmosférico depositado en la Av. José Abelardo Quiñones es 0.23783, mientras que en la Av. La Marina es 0.30292, estos valoran están por debajo del promedio de la Av. Participación que es de 0.36383, lo que indica que la mayor concentración de MPS (material particulado sedimentable) se encontró en la estación de monitoreo (AV-2-3) situada en Av. Participación y en la estación de monitoreo (AV-3-3) en la Av. La Marina, en dichas estaciones los meses que van de octubre hasta diciembre, superan el estándar de calidad ambiental ($0.5 \text{ mg/cm}^2/\text{mes}$) omitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Macedo y Pérez, 2023).

La investigación de Armesto y Cañón (2024), se centra en la calidad del aire en la zona residencial del norte de la ciudad de Ocaña (Colombia), área afectada por una carretera nacional con tráfico lento que produce altas emisiones de material particulado (PM_{10}). Para la investigación, se utilizaron datos oficiales de los años 2018, 2019 y 2021, incluyendo mediciones propias de $\text{PM}_{2,5}$ mediante un equipo automatizado, las variables relacionadas con las infecciones respiratorias agudas (IRA) se agruparon por sexo, edad y barrio, y se analizaron en relación con el material particulado y las condiciones meteorológicas utilizando análisis factorial múltiple (AFM) y modelos de regresión lineal. Se encontró una correlación significativa entre el PM_{10} y el viento, la precipitación y la humedad (-0.51, -0.53 y -0.56), las mujeres presentaron más casos registrados de IRA que los hombres, con una correlación significativa más fuerte ($p<0.05$) con el PM_{10} y la humedad relativa, especialmente en edades entre uno y cuatro años, así como en mayores de 70 años. Además, los barrios cercanos a la carretera nacional, orientados en la dirección del viento, mostraron un mayor número de casos de IRA y una correlación significativa más alta con el PM_{10} .

El propósito del estudio realizado por Lazo et al. (2022), consistió en evaluar las partículas totales en suspensión (PST) generadas por el flujo vehicular en la Avenida Cusco en la Ciudad de Tacna (Perú), utilizando el método gravimétrico con recolectores de polvo pasivos, se instalaron estaciones de monitoreo en 14

ubicaciones y se recogieron datos de concentración por períodos de 30 días cada uno. Los resultados señalan que, en seis estaciones de monitoreo, la concentración de PST superó el valor establecido por la OMS (5 toneladas/km²/mes), concluyen que las concentraciones de partículas serían causadas más bien por la intrusión de polvo, asociado a variables meteorológicas y a la ubicación geográfica de la zona.

En el estudio presente se enfocó en evaluar cómo los factores meteorológicos afectan la dispersión de MPS (Material particulado sedimentable) en la zona industrial de la Avenida Materiales (Lima-Perú) durante el año 2022, se llevaron a cabo muestreos en dos estaciones durante 30 días (tanto en horario nocturnos como en diurnos) a lo largo de 7 meses para determinar si es posible la relación con las condiciones meteorológicas (la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura). Los resultados dieron a conocer que, si hay una correlación significativa entre las condiciones meteorológicas y la presencia de este material en el aire, ya que influyen en el proceso de movilidad y dispersión del MPS (Abanto, 2023).

En la investigación de Valdivia y Coronado (2023), se analizó la concentración de polvo atmosférico sedimentable en 16 ubicaciones estratégicas en Santa cruz, llabaya, incluyendo viviendas, bofedales y queñuales, el período de estudio abarcó desde agosto hasta noviembre de 2022. Se usó la metodología pasiva de Bergerhoff y basándose en los resultados de las mediciones de polvo atmosférico sedimentable, se determinó que la dirección predominante del viento era del Sur (S) al Norte (N), coincidiendo con la ubicación de las zonas evaluadas. Estas concentraciones superaron en más del 100 % la guía establecida por la OMS de 5 Tn/Km²/mes, lo que representa un riesgo para la salud de la comunidad campesina. Además, se observó una relación directamente entre la temperatura y las concentraciones de polvo atmosférico, mientras que la velocidad del viento afectó la dispersión del polvo, siendo la zona de queñuales la de menor concentración en comparación con los bofedales y viviendas.

Además, en la investigación de Guevara y Logroño (2020), evaluaron la concentración de material particulado sedimentable (MPS) y volátil (MPV) en el municipio de San José de Chancahuán (Riobamba-Ecuador) debido a las actividades industriales, utilizaron el dispositivo Dust Trak TM II para medir concentraciones de material particulado volátil de PMV_{2.5}, PMV₄ y PMV₁₀ en dos horarios específicos, para el MPS se utilizaron 14 estaciones de monitoreo

utilizando el método pasivo. Se pudo verificar que en los puntos correspondientes a las estaciones 1 y 7, las concentraciones superaron los límites máximos permitidos por la OMS y Acuerdo Ministerial 097-A Anexo 4 con a valores de 8.45 y 7.69 mg/cm²/mes, además el material particulado volátil de 2.5 µm y 4 µm cumplió con el AM 097-A Anexo 4, pero no cumple con los estándares de la OMS. Por otro lado, el material particulado volátil de 10 µm se mantuvo dentro de los valores permitidos por la OMS como por el AM 097-A Anexo 4.

La investigación realizada por Plúa (2023), se comprobó la acumulación de materiales particulados sedimentables (MPS), en la Parroquia Coronel Marcelino Maridueña (Guayas-Ecuador), en el que se utilizó el método gravimétrico por recolectores pasivos por un período de 30 días. Los resultados mostraron un promedio de concentración máxima en mayo 1.26 mg/cm²/30d en P3 y 3.41 mg/cm²/30d en p4, mientras que en junio fueron los mismos puntos, pero con mayor concentración en el P3 con 2.77 mg/cm²/30d y P4 con 5.16 mg/cm²/30d, esto se debe a las industrias que viven localmente y también al transporte, concluyendo que en la Parroquia Coronel Marcelino Maridueña excede el límite máximo autorizado la Ley Ecuatoriana vigente en Acuerdo Ministerial 097- Anexo 04.

Sé realizó un estudio en Fertisa, sur de Guayaquil (Ecuador), donde se usaron colectores pasivos durante 30 días y a diferentes distancias. Los resultados que se obtuvieron dieron como rango de concentración de MPS (material particulado sedimentable) de 0.20 mg/cm²/30 días a 1.98 mg/cm²/30 días, los puntos de mayor concentración de MPS, fueron los P7 con 1,98 mg/cm²/30 días, el P8 con una estimación de 1.66 mg/cm²/30 días y punto P9 con 1.67 mg/cm²/30 días. Se observó que los puntos donde se estima una mayor concentración de MPS se debe a la circulación de transportes de carga pesada ya que la zona de estudio es una de las principales zonas industriales de la parte Sur de la ciudad (Morochó et al., 2023).

La presente investigación tiene como objetivo ver cómo el flujo vehicular durante las horas pico afecta las concentraciones de material particulado en el aire a nivel del suelo, por la cual se midieron las concentraciones de partículas con diámetros de 10 y 2.5 micras (PM₁₀ y PM_{2.5}) en la zona norte del sector La Pradera II en Guayaquil, Ecuador. Para registrar el flujo vehicular, se utilizó el método de conteo manual, y para medir las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5}, se empleando un monitor de calidad de aire marca Dylos modelo DC1700. El estudio se realizó

durante cuatro semanas en siete puntos diferentes y en dos momentos del día (diurno y nocturno), los días martes, jueves y domingo, los resultados indican que, en muchos casos, no se observan correlaciones significativas entre las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} y el número de vehículos, especialmente durante la jornada diurna. Sin embargo, durante la jornada nocturna, se encontraron correlaciones débiles a moderadas, sugiriendo que los aumentos en las concentraciones de partículas están relacionados con incrementos leves y moderados en el tráfico vehicular (Lara et al., 2024).

2.2 Bases científicas

2.2.1 Contaminación

Es una de las grandes problemáticas a nivel mundial, lo cual repercute de manera negativa tanto en la salud humana como en la vida de la flora y fauna, cada día aumenta su cadencia en nuestro planeta siendo el ser humano el principal causante de este daño (Pérez, 2021).

La problemática ambiental suscita por la alteración de las relaciones entre la sociedad y el medio natural. Esta perturbación puede ocasionar diferentes efectos, como la contaminación del agua, aire y suelo (Grijalva et al., 2020).

2.2.1.1 Contaminación atmosférica.

Se define que se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en el aire de materia o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza (Martínez y Morales, 2004).

Los efectos nocivos de la contaminación del aire, identificándose entre sus principales efectos deletérios patologías respiratorias y cardiovasculares (Matus, 2017).

2.2.2 Calidad del aire

La calidad del aire se refiere al nivel en que el ambiente está libre de contaminantes, los cuales provienen de fuentes naturales o humanas y afectan la salud, los ecosistemas y la deterioración de materiales (Querol, 2018).

2.2.2.1 Efectos de la calidad del aire en la salud humana.

Según Querol (2018) calidad del aire al verse afectada provoca diversos efectos adversos en el cuerpo humano, como se indica a continuación:

- La inhalación de partículas en suspensión y contaminantes del humo doméstico inflama las vías respiratorias y los pulmones, reduce la

oxigenación de la sangre y dificulta la respuesta inmunitaria, lo que afecta gravemente la salud pulmonar y respiratoria.

- Está asociada con enfermedades no transmisibles como accidentes cerebrovasculares, cardiopatía isquémica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y cáncer de pulmón.
- La contaminación del aire interior también se vincula al bajo peso al nacer, tuberculosis, cataratas y cánceres de laringe y nasofaringe.
- En mujeres posmenopáusicas, la exposición a contaminantes aumenta el riesgo de derrame cerebral hemorrágico y problemas cardiovasculares. Además, puede contribuir a trastornos hipertensivos en mujeres embarazadas, asociados a parto prematuro.

2.2.2.2 Contaminantes criterios.

Los criterios contaminantes son aquellos que cuentan con una normativa que establece un límite máximo permitido de concentración en el aire ambiente, con el objetivo de proteger la salud humana y garantizar el bienestar de la población. Entre los contaminantes criterios que se monitorean de forma continua se encuentran: ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO_2), las partículas suspendidas (PM_{10} , $PM_{2.5}$) y el plomo (Pb) (Gobierno de México, 2025).

2.2.2.2.1 Material particulado (PM).

El material particulado (PM) es una mezcla de partículas tanto sólidas como líquidas presentes en el aire y su composición química representa una complicación que pueden afectar a la salud y el medio ambiente. Para un análisis más detallado, es común medir las fracciones de partículas: partículas menores a 10 micrómetros (μm), PM_{10} , y partículas menores a 2.5 μm , $PM_{2.5}$, las cuales varían considerablemente dependiendo de su concentración, su composición química, del tiempo y lugar (Suárez et al., 2017).

2.2.2.2.2 Clasificación del material particulado.

El material particulado (MP) es una combinación de partículas sólidas y líquidas esparcidas en el aire, estas partículas tienen una concentración variada y una estructura química compleja que puede incluir ácidos, sales, materiales carbonosos, compuestos orgánicos volátiles, metales, tierra y polvo. Además, estas

partículas varían en tamaño, dividiéndose en MP grueso (MP_{10}), MP fino ($MP_{2,5}$) y MP ultrafino (MP_1) (Galvis et al., 2021).

2.2.2.2.3 Material particulado suspendido.

- **Partículas gruesas o PM_{10} :** El material particulado con diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$, se les denomina PM_{10} ($PM_{2,5} - PM_{10}$) o partículas gruesas, este tipo de partículas generalmente contiene compuestos cristalinos y polvo causantes de construcción de carreteras y obras de edificación (Ramos, 2023).
- **Partículas finas o $PM_{2,5}$:** Las partículas finas o $PM_{2,5}$ son aquellas que están suspendidas en el aire con un diámetro inferior a 2.5 micrómetros. Estas partículas no se emiten directamente al aire, sino que se forman en la atmósfera debido a reacciones químicas y procesos físicos, debido a su pequeño tamaño, las partículas $PM_{2,5}$ pueden llegar a la cavidad alveolar y causar daño en la salud de la población (Fischer y Beltrán , 2005).
- **Partículas ultrafinas o PM_1 :** Las partículas con un diámetro menor a 1 (μm), la cual ingresan al aire a través de la formación de nuevas partículas en el ambiente (nucleación homogénea de gases) y las emisiones directas de fuentes específicas (como los escapes de los vehículos). Las partículas ultrafinas representan entre el 80 % y el 90 % del número total de partículas con un tamaño inferior a 10 μm , aunque su contribución a la masa total de estas partículas es menor al 10 % (Fernandez, 2011).
- **Partículas suspendidas totales:** Las Partículas Totales Suspendidas (TSP) se refieren a partículas microscópicas que flotan en el aire y están compuestos por sustancias sólidas y líquidas. Estas partículas pueden variar en tamaño, desde menos de 10 micrómetros hasta varios cientos de micrómetros (Galvis et al., 2021).

2.2.2.2.4 Material particulado sedimentable.

Se las cataloga como partículas sedimentables porque tienen un mayor tamaño y su tendencia para depositarse cerca de la fuente de emisión sin permanecer durante mucho tiempo en el aire (Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca [EMOV], 2017).

2.2.2.3 Contaminantes atmosféricos.

2.2.2.3.1 Contaminantes primarios.

- **Monóxido de Carbono (CO):** Gas incoloro e inodoro producido por la combustión incompleta de material orgánico. Su principal fuente son los vehículos que utilizan gasolina o diésel y procesos industriales, responsables del 80% de emisiones (Téllez et al., 2006).
- **Óxidos de Nitrógeno (NO_x):** Comprende gases como óxido nítrico y dióxido de nitrógeno, contribuyen a enfermedades respiratorias y forman parte de la contaminación urbana grave (Tuset, 2025).
- **Óxidos de Azufre (SO_x):** Compuestos formados por azufre y oxígeno, provienen de la quema de combustibles fósiles con azufre (Environmental Technology [TECAM]., 2021).
- **Hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles (COVs-COVNM):** Son compuestos orgánicos que contribuyen a la formación de ozono troposférico y smog fotoquímico (American Lung Association, 2024).
- **Compuestos orgánicos tóxicos:** Son sustancias químicas resistentes a la degradación, bioacumulativas, tóxicas, presentes en suelos, agua y aire, con alto potencial de transporte a larga distancia (Life Science Tecnosoluciones [TSI], 2022).
- **Amoniaco (NH₃):** Gas que afecta la calidad del aire al aumentar la formación de partículas finas PM_{2.5}, las cuales originan efectos negativos en la salud y los ecosistemas (Querol et al., 2020).
- **Sulfuro de Hidrógeno (H₂S):** Gas tóxico, inflamable y con olor extremadamente fuerte, que se produce por la descomposición anaeróbica de materia orgánica en aguas residuales e industriales (Pingxiang City ZhongXing Packing [ZHONGXING] , 2025).
- **Dióxido de Carbono (CO₂):** Gas generado por procesos naturales y antropogénicos, como la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, no es tóxico, pero es el responsable del efecto invernadero y del cambio climático global (Connell, 2005).
- **Óxido Nitrosos (N₂O):** Gas de efecto invernadero potente, proviene de actividades agrícolas y procesos industriales, cabe recalcar que

contribuyen al calentamiento global y a la destrucción de la capa de ozono (López, 2016).

- **Metales:** Algunos metales pesados pueden liberarse al ambiente y actuar como contaminantes. Son tóxicos para organismos vivos, ya que pueden bioacumularse y causar efectos nocivos en la salud y ecosistemas (López, 2016).

2.2.2.3.2 Contaminantes secundarios.

- **Ozono (O_3):** El ozono troposférico es un contaminante secundario que no se emite directamente, sino que se forma cuando contaminantes primarios como los óxidos de nitrógeno reaccionan con compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar (Climate & Clean Air Coalition [CCAC], 2017).
- **Oxidantes fotoquímicos:** Son mezclas complejas de contaminantes formadas por reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y oxígeno bajo radiación ultravioleta solar. Esto conlleva a la producción de ozono y otros compuestos oxidantes que favorecen al smog fotoquímico.
- **Sulfatos:** Son contaminantes secundarios que se encuentran en aerosoles atmosféricos y repercuten negativamente en la calidad del agua y aire. Las altas concentraciones pueden causar efectos laxantes en humanos y animales, como irritación gastrointestinal o a su vez, la corrosión de materiales y deterioro de edificaciones debido a la formación de ácido sulfúrico y sulfato cálcico (Fernández, 2015).
- **Nitratos:** Son contaminantes secundarios que resultan de la oxidación de compuestos nitrogenados. Estos ingresan al cuerpo principalmente a través del consumo de agua y alimentos que lo contienen. Aunque también se producen naturalmente en el cuerpo como parte del ciclo normal de nitrógeno (Agency for Toxic Substances and Disease Registry [ATSDR], 2015).

2.2.3 Variables meteorológicas

2.2.3.1 Temperatura del aire.

Las diferencias de temperatura en la superficie generan movimientos verticales que afectan la circulación del aire y el clima. Por ejemplo, el aire caliente

que se encuentra en la atmósfera tiene menor densidad y va a ascender mientras que el aire con una menor temperatura y mayor densidad que se encuentra a mayor altura descenderá (Hijonosa, 2020).

2.2.3.2 Humedad relativa.

Es un factor importante en la dispersión de ciertos contaminantes, ya que al tener una atmósfera saturada o muy humedad puede producir acidificación de los óxidos. Se refiere al contenido de vapor de agua en el aire, el cual indica que tan saturada se encuentra la atmósfera y se mide en porcentaje (Lara et al., 2017).

2.2.3.3 Precipitación

La lluvia actúa como “lavado atmosférico”, cuando las precipitaciones ocurren, las gotas de agua arrastran y remueven el aire de las partículas suspendidas, incluyendo el material particulado sedimentable, facilitando su depósito en el suelo y evitando su resuspensión en la atmósfera (Loachamín, 2017).

2.2.3.4 Velocidad y dirección del viento.

Esta variable afecta en la suspensión de partículas dependiendo del tamaño, esto es debido a la acción del viento, velocidad del viento y la turbulencia del flujo, permitiendo su transporte y concentración en el aire (Hijonosa, 2020).

2.2.4 Medición de material particulado

Existen una diversidad de procedimientos para el monitoreo de estos contaminantes, siendo muchos de estos de altos costos por la utilización de equipos complejos. Dentro de estos procedimientos existen métodos pasivos de bajo costo con los que se calcula la concentración del contaminante denominado Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) o Contaminante Sólido Sedimentable (CSS) el cual proporciona una noción verídica de la calidad del aire (Chipoco y Valencia , 2015).

2.2.4.1 Muestreo pasivo.

Dentro de los muestreos pasivos, el muestreo de contaminantes puede darse mediante jarras, placas receptoras y tubos pasivos. Estos dispositivos de toma de muestra colectan un contaminante específico por medio de su adsorción (jarras y placas receptoras) y absorción en un sustrato químico seleccionado (tubos pasivos) (Chipoco y Valencia , 2015).

2.2.4.2 Muestreo activo.

Es una técnica que consiste en recolectar una muestra de aire mediante un equipo que aspira un volumen determinado de aire a través de un medio absorbente, filtro o placa de cultivo, utilizando bombas o muestreadores de impacto. Este método permite obtener resultados cuantitativos y cualitativos con precisión y rapidez, midiendo concentraciones específicas de contaminantes. El muestreo activo es controlado y calibrado, garantiza la exactitud para análisis ambientales y microbiológicos (Environmental Express Zefon, 2021).

2.2.4.2.1 Método gravimétrico.

Método analítico cuantitativo en el cual la determinación de las sustancias se lleva a cabo mediante una diferencia de pesos. Hay varios métodos para conocer la concentración de una muestra, algunos de ellos involucran precipitaciones de la muestra por medio de la adición de un reactivo en exceso, mientras que otros miden directamente la masa del material recolectado en un filtro. En este último, se pesa el filtro antes y después del muestreo con una balanza (Rubén et al., 2008).

2.3 Marco legal

Constitución de la República del Ecuador (2008)

Título II. Derechos.

Capítulo II: Derechos del buen vivir.

Sección II. Ambiente Sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (p.13).

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. (...) Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional (p.13).

Sección VII: Salud

Art. 32.- La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir (p.17).

Capítulo VII. Derechos de la Naturaleza

Art 71.- La naturaleza de la Pacha Mama, donde se produce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad el cumplimiento de los derechos de la naturaleza (p.33).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas (p.33).

Título VI. Régimen de desarrollo.

Capítulo I. Principios Generales.

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural (p.89).

Título VII: Régimen del Buen Vivir

Capítulo II: Biodiversidad y Recursos Naturales. Sección I: Naturaleza y Ambiente.

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza (p.119).

Art. 396.- El Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, cuando exista certidumbre de daño. En caso de duda sobre el impacto ambiental de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica del daño, el Estado adoptará medidas protectoras eficaces y oportunas. La responsabilidad por daños ambientales es objetiva. Todo daño al ambiente, además de las sanciones correspondientes, implicará también la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas e indemnizar a las personas y comunidades afectadas. Cada uno de los actores de los procesos de producción, distribución,

comercialización y uso de bienes o servicios asumirá la responsabilidad directa de prevenir cualquier impacto ambiental, de mitigar y reparar los daños que ha causado, y de mantener un sistema de control ambiental permanente. Las acciones legales para perseguir y sancionar por daños ambientales serán imprescriptibles (p.119).

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

1. Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado.
2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.
3. Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente (p.120).

Título VII. Régimen del Buen Vivir.

Capítulo II. Sección VII: Biosfera, Ecología Urbana y Energías Alternativas.

Art. 414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo (p.124).

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (2018)

ODS 3 Salud y bienestar

Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades

Para alcanzar el desarrollo sostenible y garantizar una vida saludable, es esencial mejorar la calidad del aire, ya que la contaminación atmosférica afecta directamente la salud y el bienestar de las personas en todas las edades.

Metas del objetivo 3

3.9 De aquí a 2030, reducir considerablemente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y por la polución y contaminación del aire, el agua y el suelo.

Indicadores

3.9.1 Tasa de mortalidad atribuida a la contaminación de los hogares y del aire ambiente.

ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles

Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles

El desarrollo sostenible de las ciudades requiere reducir la contaminación y mejorar la calidad del aire, garantizando entornos urbanos saludables que impulsen el bienestar, la productividad y la prosperidad sin agotar los recursos naturales.

Metas del objetivo 11

11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

Indicadores

11.6.1 Proporción de desechos sólidos urbanos recogidos periódicamente y con una descarga final adecuada respecto del total de desechos sólidos urbanos generados, desglosada por ciudad

11.6.2 Niveles medios anuales de partículas finas en suspensión (por ejemplo, PM_{2.5} y PM₁₀) en las ciudades (ponderados según la población).

Código Orgánico de Ambiente [COA] (2017)

Libro preliminar

Título II: Institucionalidad y articulación de los niveles de gobierno en el sistema nacional descentralizado de gestión ambiental.

Capítulo II: De las facultades ambientales de los gobiernos autónomos descentralizados

Art. 26.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales las siguientes facultades, que ejercerán en las áreas rurales de su respectiva circunscripción territorial, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional:

8) Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido (p.19).

Libro Tercero de la Calidad Ambiental

Título II. Sistema Único de Manejo Ambiental.

Capítulo I. del régimen institucional

Art. 161.- Criterios y normas técnicas. La Autoridad Ambiental Nacional, deberá dictar y actualizar periódicamente los criterios y normas técnicas que garanticen la calidad ambiental y de los componentes bióticos y abióticos, así como los límites permisibles; para ello coordinará con las autoridades nacionales competentes (p.48).

Art. 162.- Obligatoriedad. Todo proyecto, obra o actividad, así como toda ampliación o modificación de los mismos, que pueda causar riesgo o impacto ambiental, deberá cumplir con las disposiciones y principios que rigen al Sistema Único de Manejo Ambiental, en concordancia con lo establecido en el presente Código (p.49).

Capítulo V. Calidad de los componentes abióticos y estado de los componentes bióticos.

Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según

corresponda, 32 realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (p.55).

Art. 193.- Evaluaciones adicionales de la calidad del aire. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, según corresponda, dispondrán evaluaciones adicionales a las establecidas en la norma a los operadores o propietarios de fuentes que emitan o sean susceptibles de emitir olores ofensivos o contaminantes atmosféricos peligrosos. La norma técnica establecerá los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente de emisiones de olores y de contaminantes atmosféricos peligrosos (p.55).

Título III Control y seguimiento ambiental

Capítulo IV Monitoreo y seguimiento

Art. 208.- Obligatoriedad del monitoreo. El operador será el responsable del monitoreo de sus emisiones, descargas y vertidos, con la finalidad de que estas cumplan con el parámetro definido en la normativa ambiental. La Autoridad Ambiental Competente, efectuará el seguimiento respectivo y solicitará al operador el monitoreo de las descargas, emisiones y vertidos, o de la calidad de un recurso que pueda verse afectado por su actividad. Los costos del monitoreo serán asumidos por el operador. La normativa secundaria establecerá, según la actividad, el procedimiento y plazo para la entrega, revisión y aprobación de dicho monitoreo (p.57).

Art. 209.- Muestreo. La Autoridad Ambiental Nacional expedirá las normas técnicas y procedimientos que regularán el muestreo y los métodos de análisis para 39 la caracterización de las emisiones, descargas y vertidos. Los análisis se realizarán en laboratorios públicos o privados de las universidades o institutos de educación superior acreditados por la entidad nacional de acreditación (p.58).

Libro IV: Del Cambio Climático.

Título II: De La Adaptación y Mitigación del Cambio Climático.

Capítulo I: Disposiciones Generales para las medidas de Adaptación y Mitigación del Cambio Climático.

Art. 259.- Criterios de las medidas de mitigación. Para el desarrollo de las medidas de mitigación del cambio climático se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

1. Promover patrones de producción y consumo que disminuyan y estabilicen las emisiones de gases de efecto invernadero.
2. Contribuir a mejorar la calidad ambiental para fortalecer la protección y preservación de la biodiversidad, los ecosistemas, la salud humana y asentamientos humanos;
3. Incentivar e impulsar a las empresas del sector público y privado para que reduzcan sus emisiones (p.68).

Ley Orgánica de la Salud (2006)

Título Preliminar.

Capítulo I. Del derecho a la salud y su protección.

Art. 1.- La presente Ley tiene como finalidad regular las acciones que permitan efectivizar el derecho universal a la salud consagrado en la Constitución Política de la República y la ley. Se rige por los principios de equidad, integralidad, solidaridad, universalidad, irrenunciabilidad, indivisibilidad, participación, pluralidad, calidad y eficiencia; con enfoque de derechos, intercultural, de género, generacional y bioético (p.1).

Libro II. Salud y seguridad ambiental.

Art. 95.- La autoridad sanitaria nacional en coordinación con el Ministerio de Ambiente, establecerá las normas básicas para la preservación del ambiente en materias relacionadas con la salud humana, las mismas que serán de cumplimiento obligatorio para todas las personas naturales, entidades públicas, privadas y comunitarias. El Estado a través de los organismos competentes y el sector privado está obligado a proporcionar a la población, información adecuada y veraz respecto del impacto ambiental y sus consecuencias para la salud individual y colectiva (p.18).

Capítulo III. Calidad del aire y de la contaminación acústica.

Art. 111.- La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con la autoridad ambiental nacional y otros organismos competentes, dictará las normas técnicas para prevenir y controlar todo tipo de emanaciones que afecten a los sistemas respiratorio, auditivo y visual. Todas las personas naturales y jurídicas deberán cumplir en forma obligatoria dichas normas (p.21).

Art. 112.- Los municipios desarrollarán programas y actividades de monitoreo de la calidad del aire, para prevenir su contaminación por emisiones provenientes de fuentes fijas, móviles y de fenómenos naturales. Los resultados del monitoreo serán reportados periódicamente a las autoridades competentes a fin de implementar sistemas de información y prevención dirigidos a la comunidad (p.21).

Acuerdo Ministerial 097-A-Anexo 4 (2015)

Norma de calidad del aire ambiental

4.1.2.1 Para los contaminantes criterio del aire, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. La Autoridad Ambiental Nacional establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de 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, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial.

Partículas sedimentables. - La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$) (p.55).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es mixto, lo que implica procesos sistemáticos que recopila, analiza y combina datos cuantitativos y cualitativos en una misma investigación. El objetivo es responder a preguntas de investigación mediante la integración de ambos métodos, utilizando sus fortalezas y minimizando sesgos, logrando una completa comprensión del fenómeno bajo estudio (Esperanza y Lázaro, 2015).

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

Según Grajales (2000), este tipo de investigación es campo y laboratorio ya que se distingue entre el entorno donde se llevará a cabo la investigación, si las condiciones son naturales en el terreno de los sucesos, se habla de una investigación de campo, con el fin de llevar a cabo un monitoreo con colectores pasivos, para poder identificar las concentraciones de material particulado sedimentable y hacer su análisis cuantitativo. El periodo de tiempo que estarán los colectores pasivos en sus respectivas ubicaciones se realizarán un cambio de filtros, las cuales los filtros serán llevados a laboratorio para su posterior análisis.

Por otro lado, el tipo de investigación de conocimiento descriptivo y exploratorio, donde Tinto (2013) señala que la investigación descriptiva implica llevar a cabo un análisis sofisticado y profundo de la investigación, permitiendo identificar los resultados más relevantes obtenidos a partir de diversos estudios sobre el tema, pudiendo conocer los problemas conceptuales y las limitaciones metodológicas existentes.

La investigación exploratoria puede proporcionar una visión general de un tema, algunas de sus ventajas es la formulación del problema de investigación, extraer datos y términos relevantes, que pueden ayudar en la formulación de hipótesis para investigadores posteriores (Morales, 2015).

Por lo tanto, para el presente trabajo se describió el objeto de estudio y el correspondiente método para la medición del material particulado sedimentable, a su vez, a través del análisis cuantitativo de los datos obtenidos en el monitoreo, se compara con los resultados con la normativa legal vigente en el país el AM 097-A, anexo 4 respectivo al parámetro del material particulado, ayudando a conocer la problemática que ejerce dicho contaminante sobre la población.

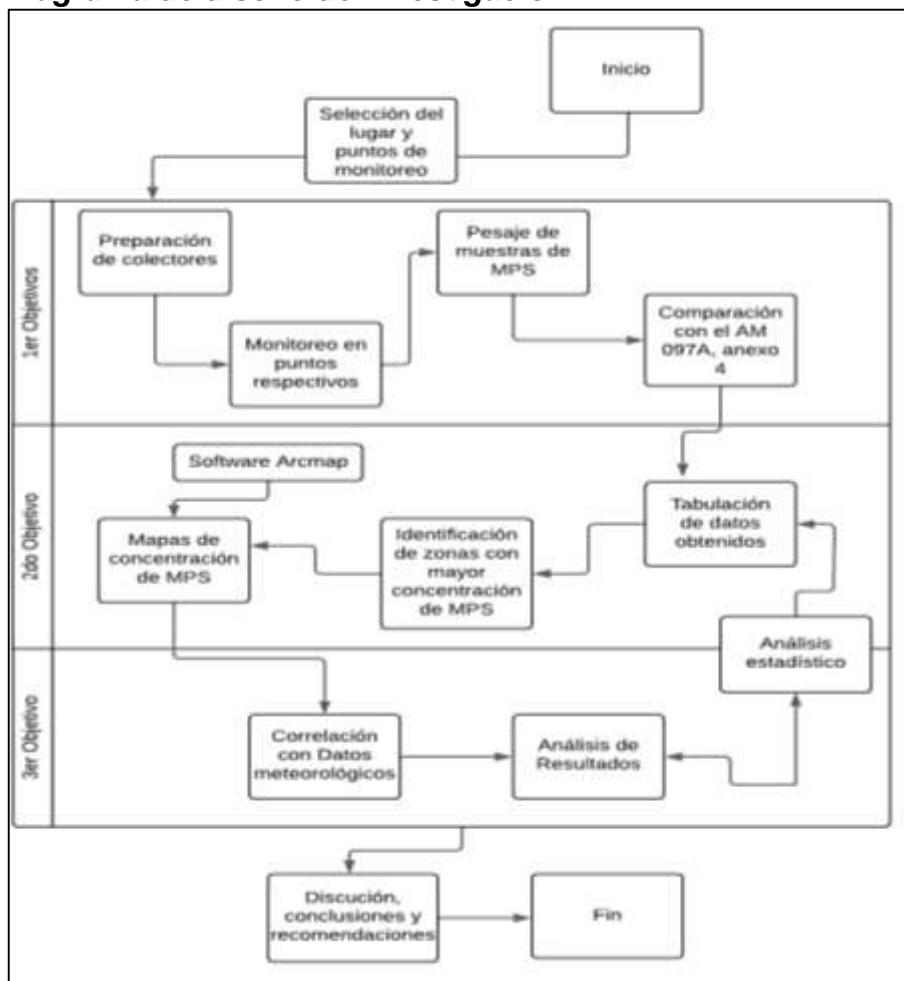
Adicionalmente, el alcance de la investigación se detalla a continuación.

- El alcance exploratorio es referente a un estudio de los fenómenos que aún no han sido explorados previamente y se tiene como interés examinar sus características (Ramos, 2020). La cual está centrada a abordar el problema desde una información previa, para luego poder obtener datos del mismo, ya que el problema a analizar es limitante para ser tratado a fondo.
- El proyecto tiene un alcance descriptivo, ya que se basa en la revisión de investigación, revistas científicas y normativas internacionales relacionadas con la regulación del polvo sedimentario, se analiza su impacto y situación actual en las áreas urbanas del país, permitiendo comparar conceptos, métodos y resultados de diferentes autores (Esperanza y Lázaro, 2015). En la ciudad de Guayaquil se tiene poca información sobre el material particulado sedimentable, por ende, se revisará información internacional que nos permita hacer una investigación de calidad que permitirá tener un campo más amplio sobre este tema.
- En el alcance correlacional es necesario formular hipótesis que sugieran una relación entre dos o más variables, aplicando métodos estadísticos con el objetivo de obtener resultados de la investigación para beneficiar a toda la población (Ramos, 2020). En la investigación se podrán corroborar si existe una correlación de los factores meteorológicos en la variación de concentración de material particulado.

3.1.2 Diseño de investigación

Agudelo y Ruiz (2008) indican que la investigación no experimental se refiere a un enfoque empírico y sistemático en que las variables independientes no se manipulan, las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención directa y se observan en su contexto natural. Por ende, la presente investigación realizó de acuerdo con la recopilación de datos por medio de análisis gravimétrico, usando la cantidad de 10 colectores pasivos con filtros de microfibra de vidrio distribuidos en la zona de estudio y su respectivo análisis cuantitativo de los resultados para su posterior comparación con la normativa.

Figura 2.
Diagrama de diseño de investigación



Elaborado por: El Autor, 2025

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1 Variable independiente.

- Puntos de muestreo (coordenadas)
- Período de muestreo (meses)
- Variables meteorológicas:
- Temperatura del aire (°C)
- Precipitación (mm)
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del viento (grados)
- Humedad relativa (%)

3.2.1.2 Variable dependiente.

- Concentración de material particulado sedimentable (mg/cm²/30días).

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1.
Variables independientes

Variables independientes			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Puntos de muestreo	Cualitativo	Nominal	10 punto en total en toda la parroquia Pascuales
Período de muestreo	Cuantitativo	Intervalo	4 meses en total Variable
Temperatura del aire	Cuantitativo	Intervalo	Variable meteorológica (°C)
Precipitación	Cuantitativo	Intervalo	Variable meteorológica (mm)
Velocidad del viento	Cuantitativo	Razón	Variable meteorológica (m/s)
Dirección del viento	Cualitativa	Nominal	Variable meteorológica (grados)

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 2.
Variables dependientes

Variable dependiente			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Concentración de material particulado sedimentable	Cuantitativo	Razón	Presencia

Elaborado por: El Autor, 2025

3.2.2.1 Métodos y técnicas.

3.2.2.1.1 Comparación de las concentraciones de material particulado sedimentable recolectadas con los límites máximos permisibles descritos en el Acuerdo Ministerial 097-A, anexo 4.

- Selección de puntos de muestreo.

Se establecen criterios de seguridad, accesibilidad e infraestructura para seleccionar los puntos de muestreo en la zona de estudio, para posteriormente ser representados en un mapa de georreferenciación (Villacrés, 2015).

Por esta razón, los puntos fueron ubicados en zonas que puedan estar libre de cualquier obstrucción, robo o ser manipulados por otras personas. Los puntos ubicados en toda la parroquia Pascuales fueron un total de 10.

- Preparación de los colectores pasivos.

Para este proyecto, se usaron recipientes con un diámetro de al menos 15 cm y una altura que sea 2 o 3 veces mayor a ese diámetro dicho, debe de estar al menos 1.2 m. Según el Ministerio del Ambiente [MAE] (2015), los colectores se lavaron con agua destilada y detergente, además que se rotularon con códigos de identificación (P1) para los respectivos 10 puntos

- Ubicación de tubos colectores para medición del material particulado sedimentable.

Una vez seleccionados los puntos de muestreo, se procedió a ubicar los envases colectores mediante la aplicación del método gravimétrico, y acorde a la norma de calidad del aire ambiente, deben ser colocados a una altura mínima de 1.2 metros sobre el nivel del suelo, alejado de cualquier obstáculo. En esta investigación los colectores serán ubicados a una altura de 1.5 y 2.5 metros con la ayuda de un flexómetro desde la base del suelo sujetando con amarras y alambres, que estarán a lo largo de 30 días en las diferentes ubicaciones y serán revisadas de manera semanal para comprobar su estado.

- Monitoreo de material particulado sedimentable.

Transcurrido los 30 días de se procede a retirar los colectores pasivos, sellando de manera adecuada para transportarlos al laboratorio (Villacrés, 2015).

Siguiendo los protocolos del Acuerdo Ministerial 097-A (2015) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010) se determinó que para la medición de partículas sedimentables insolubles se debe realizar la diferencia de peso por el papel filtro, el cual retuvo las partículas que fueron resultado del lavado de los tubos colectores.

- Se debe considerar el peso inicial del papel filtro del tubo colector.
- Colocar el papel filtro en un embudo de filtración al que se le añadirá agua destilada (20 a 100ml) hasta que la muestra precipite completamente en el vaso, se recalca que el vaso debe ser previamente preparada y lavado.

- Se procede a secar el papel filtro en una estufa durante 2 horas a 60 °C.
- Luego se deja secar durante 1 hora en el desecador.
- Finalmente, se pesa el material particulado insoluble en una balanza analítica y se registra su peso.

Para la medición de las partículas solubles se procede a:

- Se debe proceder a pesar una capsula de porcelana en una balanza analítica, esta debe ser lavada previamente y secada durante 1 hora en la estufa a 103 °C-105°C y enfriarse en el desecador 30 minutos.
- Se toma una alícuota de 50 ml del filtrado que se había reservado durante la medición del material insoluble.
- Luego esta colocarla en la capsula de porcelana.
- Se coloca la capsula de porcelana en la estufa durante 2 horas a una temperatura de 60°C.
- Finalmente se deja reposar en el desecador durante 1 hora.
- Luego registrar el valor del material particulado soluble.
- Análisis de material particulado sedimentable:

Para calcular el material particulado sedimentable se usó la formula (Miranda et al., 2017):

$$MPS = \frac{mg}{cm^2 * Mes} = \frac{P_1 + P_2}{A * T}$$

Donde:

MPS: Material particulado sedimentable (mg/cm²/mes)

P1: Material particulado soluble (mg)

P2: Material particulado soluble (mg)

A: Área del recipiente colector (cm²)

T: Tiempo de monitoreo (30 días)

Se debe realizar correcciones de las mediciones recolectadas del sitio de estudio usando la fórmula (Ministerio del Ambiente, 2015).

$$Cc = Co \frac{760 \text{ mm Hg}}{Pbl \text{ mm Hg}} * \frac{(273 + t ^\circ C)^\circ K}{298 ^\circ K}$$

Donde:

Cc: Concentración corregida

Co: Concentración observada

Pbl: Presión atmosférica local (mmHg)

T: Temperatura local (°C)

- Comparación con la norma de calidad aire ambiente para la concentración de material particulado sedimentable.

De acuerdo con los análisis cuantitativos se procede a realizar una comparación con la normativa local en Ecuador, donde la concentración máxima de una muestra colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$) (Ministerio del Ambiente, 2015).

3.2.2.1.2 Identificación de las zonas de la parroquia con mayor concentración de material particulado sedimentable mediante la elaboración de un mapa de concentración.

- Elaboración de mapa de dispersión de material particulado sedimentable.

Para poder representar la dispersión y concentración del material particulado sedimentable se utilizó la herramienta de Sistema de Información Geográfica (ArcMap 10.5-Qgis 3.32.0) que permitirá la interpolación de las variables espaciales en las zonas de mayor concentración y dispersión del contaminante.

El Software de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS o a su vez también se puede usar el software Qgis para la realización de los mapas de concentración, los mismos que permitirán interpolar los datos y predecir las concentraciones de las zonas adyacentes, para ello se siguieron una serie de pasos que detallo a continuación (Villacrés, 2015):

- Se creó una base de datos en Excel que contenga todas las concentraciones obtenidas de los 10 puntos de monitoreo.
- Creamos una carpeta que contenga una base de datos de Excel, los shp de la ciudad a estudiar y las ubicaciones geográficas de los puntos de muestreo.
- Se verificará en el Software ArcGIS o Qgis si está activa la herramienta Geostatistical Analyst o en su defecto la herramienta de interpolación.
- Conectamos con la capa que contiene todos los archivos de interés (puntos de monitoreo) y se elige el atributo de interpolación a conocer.
- Se conectarán los puntos de monitoreo con las concentraciones de la hoja de Excel, y se ejecutará la interpolación IDW (Distancia Inversa Ponderada).

- Se añadirán las etiquetas de los puntos de monitoreo y poblados.

3.2.2.1.3 Reconocimiento de los datos meteorológicos que influyen en la dispersión y acumulación del material particulado sedimentable.

- Levantamiento de información meteorológica.

Teniendo en cuenta la relación que existe entre los factores meteorológicos y contaminantes, al término de los 30 días de muestreo, se realizará el levantamiento de información proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), dentro de los factores se encuentran: dirección del viento (grados), temperatura (°C), precipitación (mm), humedad relativa (%) y velocidad del viento (m/s).

3.2.2.1.4 Correlación de las concentraciones de material particulado sedimentable con las diferentes variables meteorológicas.

- Series temporales

Las series temporales es una estadística que recopila un conjunto de datos dentro de un período de tiempo, que es útil para analizar patrones, tendencias y cambios de una o más variables durante ese período, en el caso específico de las concentraciones de material particulado, al ser una variable dependiente, experimentará variaciones en sus concentraciones debido a los factores meteorológicos y otras influencias ambientales.

- Diagrama de cajas y bigotes

Se emplearon los diagramas de cajas y bigotes que ayudará a la representación de los datos obtenidos, dando como resultado los valores máximos y mínimos de las concentraciones de material particulado sedimentable, permitiendo su mayor comprensión visual.

- Rosa de los vientos

La rosa de los vientos dará una interpretación visual que permitirá analizar la dispersión del material particulado sedimentable y como se mueve debido a la velocidad y dirección del viento.

3.2.3 Recolección de datos

3.2.3.1 Recursos.

En el presente trabajo se emplearon recursos tecnológicos como laptop, pendrive, celular, impresora. Adicionalmente, se detalla la descripción de los recursos usados para llevar a cabo los monitoreos en el área de estudio:

Tabla 3.
Equipos de campo

Materiales	Marca	Descripción
Flexómetro	Stanley	-
Filtros de fibra de vidrio	Whatman	Retención departículas de 11 µm, con diámetro de 110 mm.
10 envases colectores plásticos, tipo PC	Pacífico	Diámetro de 110mm.
Alambre	-	Material de aluminio
Escalera	-	Material de aluminio

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 4.
Equipos de laboratorio

Materiales	Marca	Descripción
Estufa	SLN 115ECO	Estructura: electrónico de acero inoxidable.
Balanza analítica calibrada	AZ 214	Precisión 0,1 mg.
Capsulas porcelana	-	Diámetro aprox. de 10 -11 cm.
Embudo filtración	-	Material de vidrio, diámetro aprox. de 10 cm.
Desecador	-	Material de vidrio cerrado
Vaso precipitado	-	Material de vidrio, diámetro aprox. 10 cm.
Agua destilada	-	-

Elaborado por: El Autor, 2025

3.2.4 Población y muestra

3.2.4.1 Población.

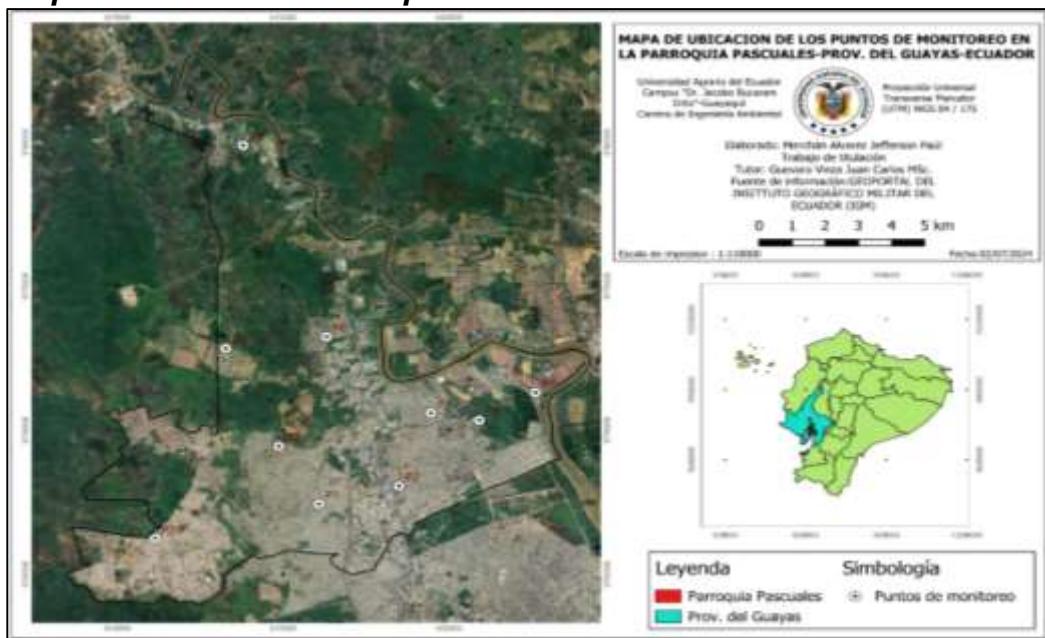
La zona de estudio (Parroquia Pascuales) comprende de 74 932 habitantes, abarca zonas como Monte Sinaí, Puente Lucía, Mucho Lote 1-2, Vergeles, Pascuales, Bastión Popular, Paraíso de la Flor, Mi Lote, Sergio Toral, Nuevo Prosperina, Las Orquídeas, Urbanizaciones de Metrópolis, sector del Pantanal (Zoológico) y Ciudad Santiago.

3.2.4.2 Muestra.

Para analizar la concentración del material particulado sedimentable, se eligieron 10 puntos de monitoreo, las cuales fueron seleccionados de manera autónoma, por motivo del alto índice delictivo que se encuentran en las zonas de la parroquia, muchos de los puntos serán ubicados en sitios donde se tiene un contacto directo con el dueño del domicilio, a continuación, se señalará los lugares donde estarán ubicados los puntos de monitoreo:

- P1 ubicado por la entrada de la 8.
- P2 ubicado por el Parque California.
- P3 ubicado por en Ecocity.
- P4 ubicado por Mi Lote.
- P5 ubicado por la ciudadela San Francisco.
- P6 ubicado por Puente Lucía.
- P7 ubicado en Pascuales.
- P8 ubicado por Ciudadela colina del Maestro.
- P9 ubicado en Mucho Lote 2.
- P10 ubicado en Monte Sinaí.

Figura 3.
Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo



Elaborado por: El Autor, 2025

3.2.5 Análisis estadístico

3.2.5.1 Análisis estadístico descriptivo.

Para esta investigación, se empleó el análisis estadístico descriptivo a la variable del peso del material particulado sedimentable (mg), que se obtuvieron del muestreo obteniendo el promedio del material, por medio del software Minitab 19, que utilizan medidas de tendencia central, la media y la desviación estándar, mínima y máxima, para luego poder comparar con la normativa de calidad de aire ambiente local. Las variables a usar estadística descriptiva son las variables meteorológicas y la variable dependiente: concentración de material particulado sedimentable.

3.2.5.1.1 Diagrama de caja y bigotes.

Como parte del análisis estadístico descriptivo, permitió describir la distribución del conjunto de datos (mínimo, primer cuartil, mediana, tercer cuartil y máximo). Adicionalmente, facilita la organización y presentación de datos, ya que muestra la tendencia central a través de la mediana, dispersión que se representa como longitud de la caja (rango intercuartílico) y bigotes (rango total), forma de distribución (simetría o asimetría) y en el caso de existir valores atípicos (se visualizan como puntos individuales externos de los bigotes).

3.2.5.2 Test de Shapiro Wilk.

Por medio de la prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia del 5 %, se determinó si los datos exhiben propiedades paramétricas o no paramétricas, este tipo de enfoque metodológico mejora la comprensión de la naturaleza de los datos y ayuda al análisis estadístico.

3.2.5.3 Coeficiente de correlación de Pearson y Spearman.

Se considera el coeficiente de correlación de Pearson, la cual es una medida de dependencia que nos permitió calcular el grado de covariación entre dos variables cuantitativas, este coeficiente se aplica solo cuando las variables están relacionadas de forma lineal y deben ser continuas. Además, también se utilizó el criterio analítico de Spearman, que es un análisis no paramétrico, este tipo de análisis de correlación se utiliza en muestras con distribución normal y tiene como objetivo medir la relación y asociación entre dos variables para determinar si una puede servir como predictor, el coeficiente de correlación de Spearman también analiza variables nominales y ordinales. A fin de entender las correlaciones que

existen entre las variables meteorológicas con la concentración que vaya a tener el material particulado sedimentable.

4. RESULTADOS

4.1 Comparación de las concentraciones de material particulado sedimentable recolectadas con los límites máximos permisibles descritos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4

El material particulado sedimentable de la parroquia Pascuales, se obtuvo a partir del uso de 10 colectores pasivos, que posterior a los meses de muestreo y por el método gravimétrico, además para realizar las concentraciones corregidas se usaron valores en temperatura de 28 °C, con una presión atmosférica de 790 mmHg. A continuación, dieron como resultado las siguientes concentraciones.

Tabla 5.

Material Particulado Sedimentable durante el mes de julio, 2024

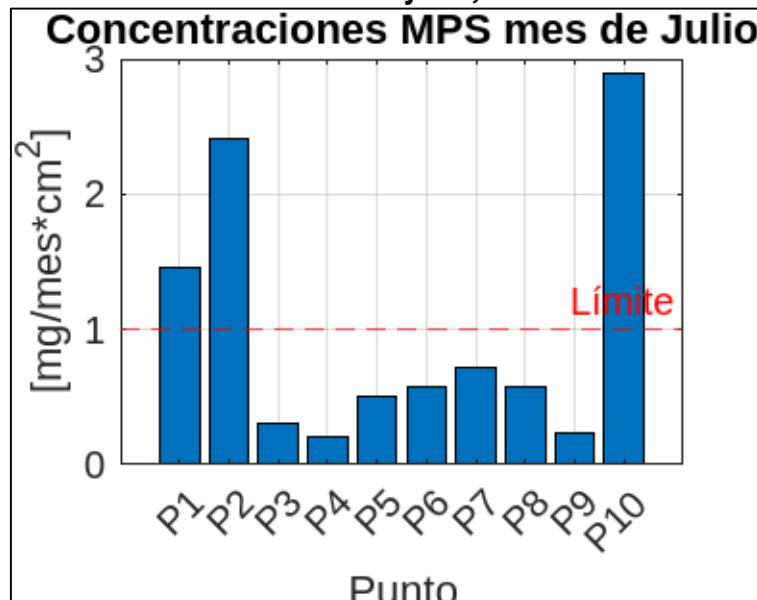
Puntos de muestreo	Área filtro (cm ²)	Peso soluble (mg)	Peso insoluble (mg)	Peso total MPS (mg)	Concentración MPS (mg/cm ² *30 días)	Cc MPS (mg/cm ² *30 días)
P1	176.71 4	97	161	258	1.46	1.48
P2	176.71 4	300	126	426	2.41	2.44
P3	176.71 4	7	47	54	0.31	0.31
P4	176.71 4	11	24	35	0.20	0.20
P5	176.71 4	7	84	91	0.51	0.52
P6	176.71 4	20	82	102	0.58	0.59
P7	176.71 4	10	117	127	0.72	0.73
P8	176.71 4	13	87	100	0.57	0.58
P9	176.71 4	3	38	41	0.23	0.23
P10	176.71 4	262	250	512	2.90	2.93

Elaborado por: El Autor, 2025

Como se muestra en la **Tabla 5** y **Figura 4**, se reflejan las diferentes concentraciones de MPS en la parroquia Pascuales, en la cual, se pesó el material soluble e insoluble para obtener la concentración de material particulado sedimentable, mediante la fórmula donde se utilizó el área del filtro de 176.714 cm². Dando como resultado la concentración mayor del mes, en el P10, la cual se encuentra excediendo los límites máximos permisibles correspondientes, con 2.90

mg/cm²*30 días, durante el mes de Julio, como también, el P1 y P2 tienen concentraciones superiores al límite establecido en la norma. El punto de muestreo con menor concentración en el mes fue el P4 y P9 con concentraciones de 0.20 y 0.23 mg/cm²*30 días.

Figura 4.
Concentración de MPS de julio, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

Además, se concluye que los puntos de monitoreo en el mes Julio, la mayoría de las concentraciones de material particulado sedimentable en los diferentes puntos de muestreo, se encuentran considerablemente por debajo del límite permisible.

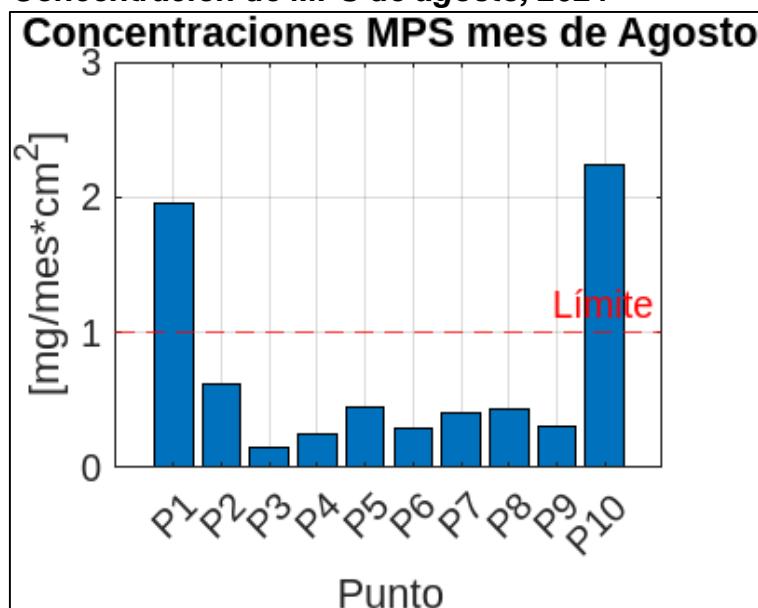
Tabla 6.
Material Particulado Sedimentable durante el mes de agosto, 2024

Puntos de muestreo	Área filtro (cm ²)	Peso solubl e (mg)	Peso insolubl e (mg)	Peso total MPS (mg)	Concentració n MPS (mg/cm ² *30 días)	Cc MPS (mg/cm ² *30 días)
P1	176.714	30	317	347	1.96	1.98
P2	176.714	7	102	109	0.62	0.63
P3	176.714	5	21	26	0.15	0.15
P4	176.714	7	38	45	0.25	0.25
P5	176.714	6	74	80	0.45	0.46
P6	176.714	9	42	51	0.29	0.29
P7	176.714	10	60	70	0.40	0.40
P8	176.714	12	65	77	0.44	0.45
P9	176.714	3	50	53	0.30	0.30
P10	176.714	150	245	395	2.24	2.27

Elaborado por: El Autor, 2025

De acuerdo con la **Tabla 6** y **Figura 5**, los resultados de las concentraciones de material particulado en la parroquia Pascuales durante el mes de agosto, demostraron que el P1 y P10 tuvieron los valores mayores de concentración, alcanzando los 1.96 y $2.24 \text{ mg/cm}^2*30 \text{ días}$, lo cual, se determina que están fuera de los límites máximos permitidos.

Figura 5.
Concentración de MPS de agosto, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

Por otro lado, existieron varios puntos con concentraciones relativamente muy bajas, con $0.15 \text{ mg/cm}^2*30 \text{ días}$ en el P3 y $0.25 \text{ mg/cm}^2*30 \text{ días}$ en el P4.

Tabla 7.
Material Particulado Sedimentable durante el mes de septiembre, 2024

Puntos de muestreo	Área filtro (cm ²)	Peso solubl e (mg)	Peso insolubl e (mg)	Peso total MPS (mg)	Concentración MPS (mg/cm ² *30 días)	Cc MPS (mg/cm ² *30 días)
P1	176.71 4	6	220	226	1.28	1.29
P2	176.71 4	14	124	138	0.78	0.79
P3	176.71 4	10	56	66	0.37	0.37
P4	176.71 4	13	52	65	0.37	0.37
P5	176.71 4	7	112	119	0.67	0.68
P6	176.71 4	2	71	73	0.41	0.41

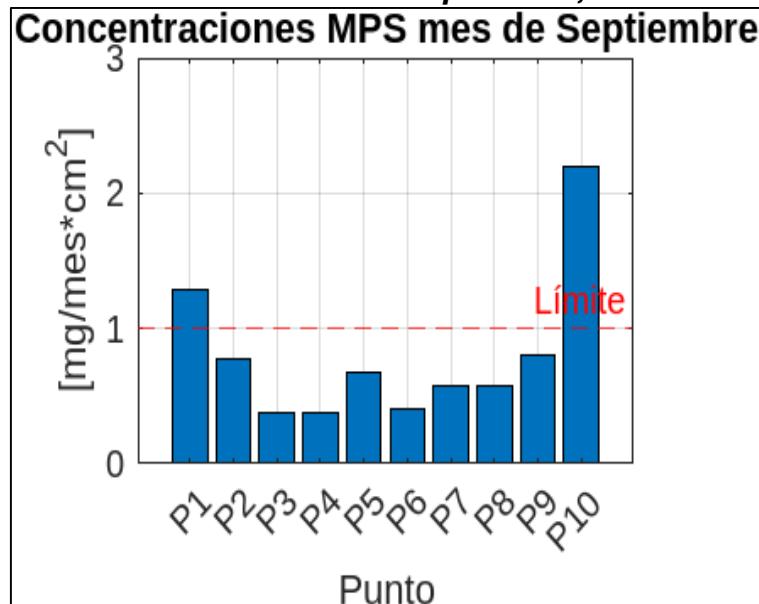
Puntos de muestreo	Área filtro (cm ²)	Peso solubl e (mg)	Peso insolubl e (mg)	Peso total MPS (mg)	Concentración n MPS (mg/cm ² *30 días)	Cc MPS (mg/cm ² *30 días)
P7	4	4	98	102	0.58	0.59
P8	4	2	101	103	0.58	0.59
P9	4	6	137	143	0.81	0.82
P10	4	151	237	388	2.20	2.23

Elaborado por: El Autor, 2025

Según lo indicado en la **Tabla 7** y **Figura 6**, los resultados de las concentraciones de material particulado en la parroquia Pascuales durante el mes de septiembre, se registró en el P10 valores de concentraciones más altas, llegando a un 2.20 mg/cm²*30 días, lo cual excede los límites máximos permitidos durante un mes, así como también, el P1 con 1.28 mg/cm²*30 días.

Figura 6.

Concentración de MPS de septiembre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

En contraste, varios puntos, como P3 y P4, presentaron concentraciones considerablemente bajas de 0.37 mg/cm²*30 días en el mismo período.

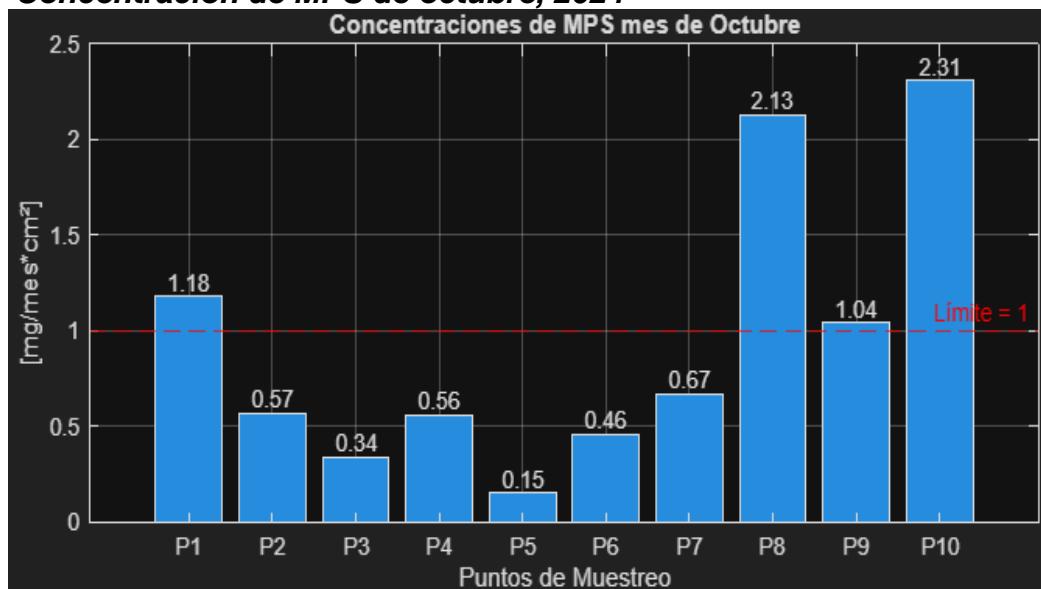
Tabla 8.
Material Particulado Sedimentable durante el mes de octubre, 2024

Puntos de muestreo	Área filtro (cm ²)	Peso soluble (mg)	Peso insoluble (mg)	Peso total MPS (mg)	Concentración MPS (mg/cm ² *30 días)	Cc MPS (mg/cm ² *30 días)
P1	4	4	204	208	1.18	1.19
P2	4	4	96	100	0.57	0.58
P3	4	11	49	60	0.34	0.34
P4	4	18	81	99	0.56	0.57
P5	4	12	14	26	0.15	0.15
P6	4	16	66	82	0.46	0.47
P7	4	12	106	118	0.67	0.68
P8	4	10	366.2	376.2	2.13	2.15
P9	4	6	178	184	1.04	1.05
P10	4	111	297	408	2.31	2.34

Elaborado por: El Autor, 2025

De acuerdo con la **Tabla 8** y **Figura 7**, los resultados sobre las concentraciones de material particulado en la parroquia Pascuales en el mes de octubre revelaron que hubo varios puntos con concentraciones elevadas, alcanzando hasta los 2.31 mg/cm²*30 días en el P10, además de, concentraciones de 2.13 mg/cm²*30 días en el P8. En cambio, el punto de monitoreo P3, fue el que obtuvo la concentración más baja de 0.34 mg/cm²*30 días, dando como resultado que los diversos sectores donde se encuentran los colectores, sus concentraciones están dentro de los límites máximos permisibles.

Figura 7.
Concentración de MPS de octubre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

4.1.1 Test de normalidad Shapiro Wilk

Se empleó el test de normalidad Shapiro Wilk, permitiendo conocer si los datos de manera general (40 datos) cuentan con una distribución normal, por lo que se usó un nivel de significancia de 0.05. Se expresan la hipótesis estadística:

H₀: Los datos tienen una distribución normal.

H_i: Los datos no tienen una distribución normal.

Figura 8.
Gráfica de normalidad



Elaborado por: El Autor, 2025

A través del software Minitab, se realizó el test de normalidad Shapiro Wilk, en donde los datos de todos los meses dieron como resultados que no muestran una distribución normal debido a que el valor de p es <0.01 , siendo así, menor al nivel de significancia de 0.05, aceptando así la hipótesis alternativa (H_i).

4.1.2 Prueba de Wilcoxon para una muestra

A su vez, mediante el software Minitab, se realizó la prueba de Wilcoxon para una muestra (40 datos), permitiendo comparar los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación de material particulado sedimentable en la Parroquia Pascuales y la normativa ambiental vigente, por lo que se empleó con un nivel de significancia de 0,05. Las hipótesis se expresan de la siguiente manera:

Ho: La concentración de MPS es menor o igual a 1, no sobrepasa el límite máximo permisible de la norma de calidad de aire.

Hi: La concentración de MPS es mayor que 1, sobrepasando el límite máximo permisible de la norma de calidad de aire.

Tabla 9.

Resultados obtenidos de la prueba de Wilcoxon

Concentraciones	N	Media	P	Estadística de Wilcoxon
Meses	40	0.6625	0.956	283.5

IC = Intervalo de confianza

μ =Media de población de MPS (mg/cm²*30 días)

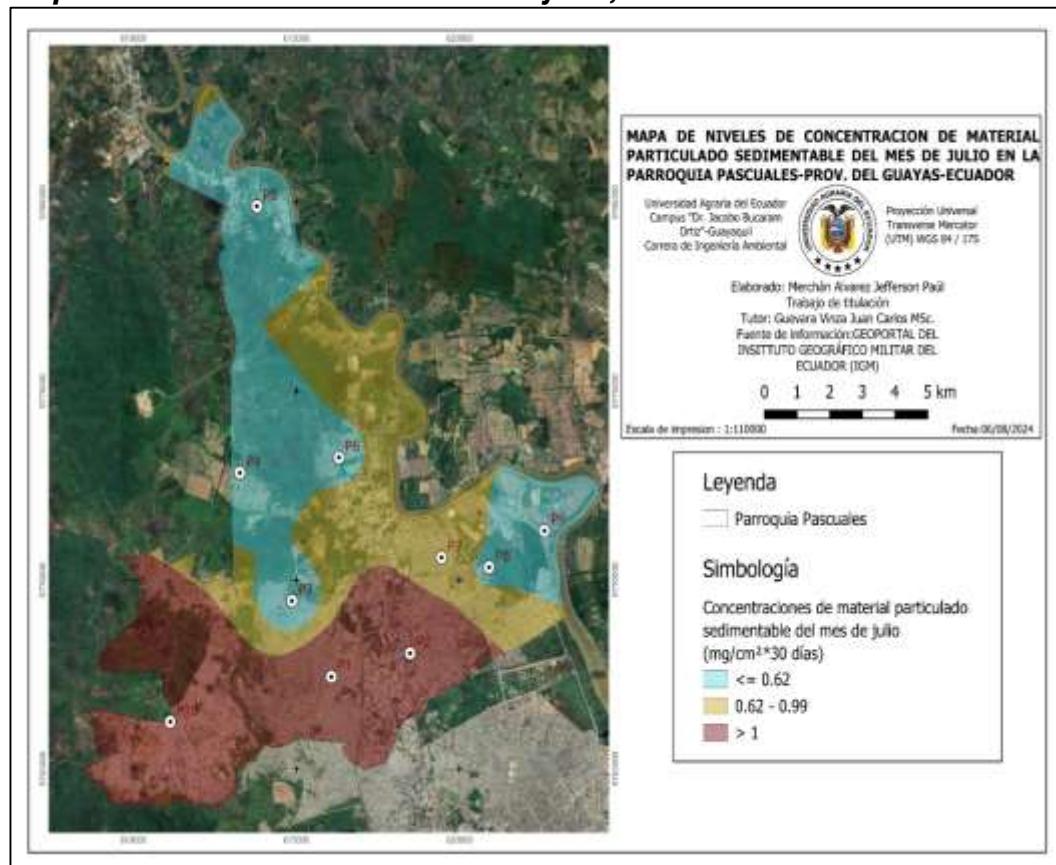
Elaborado por: El Autor, 2025

Acorde a la **Tabla 9**, al dar como resultado un valor >0,05 en p, indica que se acepta la hipótesis nula (Ho) y se rechaza la hipótesis alterna (Hi), en donde, las concentraciones de MPS obtenida durante los meses de monitoreo son menor o iguales a 1, por la cual no sobrepasan el límite máximo permisible de la norma de calidad de aire vigente en el Acuerdo Ministerial 097-A anexo 4 (2015).

4.2 Identificación de las zonas de la parroquia con mayor concentración de material particulado sedimentable mediante la elaboración de un mapa de concentración

A continuación, se presentan diversos mapas de concentración de material particulado, resultante del monitoreo dentro de los 4 meses (julio, agosto, septiembre y octubre) en la parroquia Pascuales, mediante el uso del software Qgis con la herramienta de interpolación IDW, con sus respectivas escalas de coloración celeste a roja, indicando zonas de menor a alta concentración.

Figura 9.
Mapa de concentración de MPS en julio, 2024

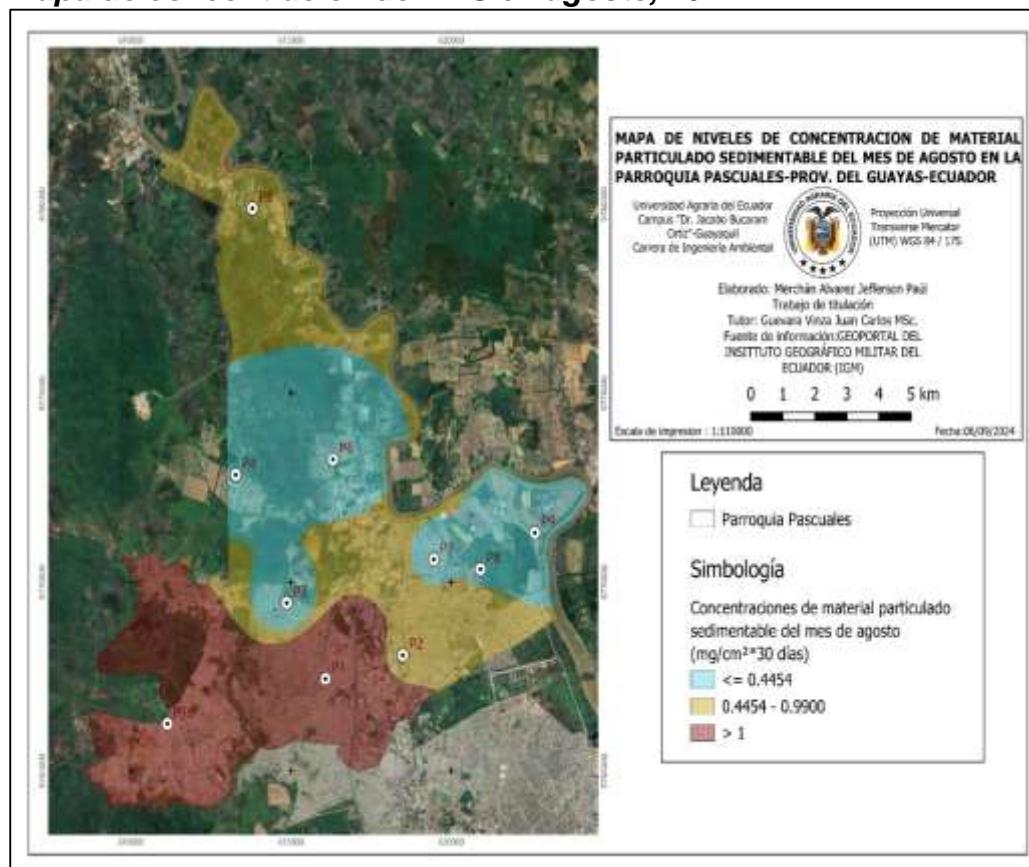


Elaborado por: El Autor, 2025

Como se observa en la **Figura 9**, los puntos de tienen una mayor concentración de material particulado sedimentable en la parte baja de la parroquia, lo que corresponde a los puntos P1 (Entrada de la 8) con 1.46 mg/cm²*30 días, P2 (Parque California) con 2.41 mg/cm²*30 días y el P10 (Monte Sinai) con 2.90 mg/cm²*30 días, estas zonas cuentan con una alta concurrencia de vehículos diariamente, además de las diversas actividades comerciales que se realizan en las áreas, cabe recalcar que, en el P10 las calles son de tierra y actualmente se están realizando trabajos de construcción de acueductos y calles.

En el caso de los puntos (P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9) que se encuentran en coloración celeste, estos tienen niveles de concentración menores a los límites máximos permisible, estos puntos de monitoreo se encuentran ubicados en urbanizaciones que cuentan con barreras vivas, que ayudan a disminuir y evitar la concentración de estos materiales sedimentables.

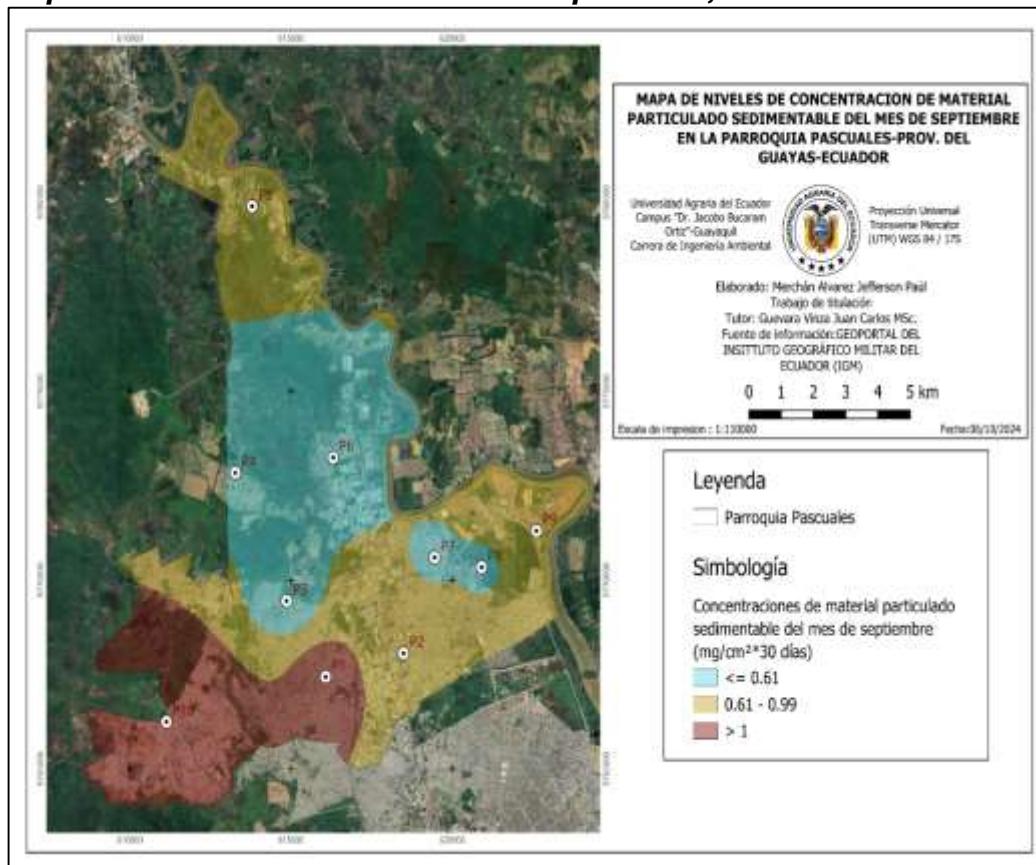
Figura 10.
Mapa de concentración de MPS en agosto, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

Las concentraciones de material particulado sedimentable en el mes de agosto, los niveles altos se concentraron en los P1 y P10, ambos puntos superan los límites máximos permisibles con $1.96 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ días}$ (P1) y $2.24 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ días}$ (P10). En los demás puntos de monitoreos, se presentan niveles que no superan los $0.62 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ días}$ (P2), el menor nivel de concentración se encuentra en $0.15 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ días}$ (P3), ubicado en la urbanización Ecocity), según lo que se muestra en la **Figura 10**.

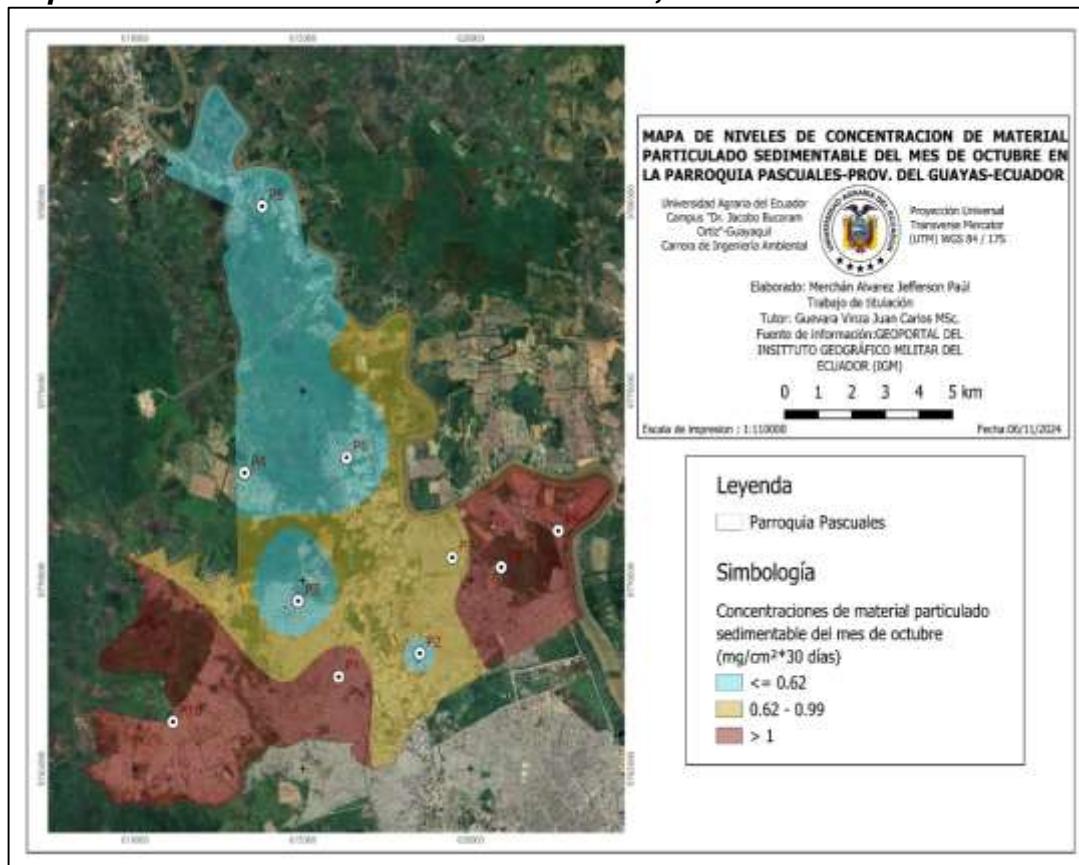
Figura 11.
Mapa de concentración de MPS en septiembre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

Según la **Figura 11**, demuestra que en dos puntos (P1 y P10), se presenta los valores con mayor concentración de material particulado sedimentable, con $1.96 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ (P1) y $2.24 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ (P10), de tal manera que, ambos puntos son reiterativos en meses anteriores por lo que se demuestra en el lapso del tiempo muestreado, que estas áreas sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la norma ecuatoriana. Los puntos con menor concentración de material particulado sedimentable son el punto P3 con $0.15 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ y el punto P4 con $0.25 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$.

Figura 12.
Mapa de concentración de MPS en octubre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

Los niveles de concentración de material particulado sedimentable en el mes de octubre en la parroquia Pascuales, las áreas que presentan niveles elevados de concentración son los puntos ubicados en: Entrada de la 8 (P1; $1.18 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$), Ciudadela el Maestro (P8; $2.13 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$), Mucho lote II (P9; $1.04 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$) y Monte Sinaí (P10; $2.31 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$).

Sin embargo, hubo áreas donde tienen niveles de concentración inferiores a $1 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$, en los puntos P2, P3, P4, P5, P6 y P7, que van desde los $0.15 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$ hasta los $0.67 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$ en niveles de concentración de material particulado sedimentable, como lo demuestra la **Figura 12**.

Además, se procedió a realizar un análisis de ANOVA de una sola vía, para poder identificar las medias de todos los puntos recolectados en los meses de muestreo, para poder identificar qué puntos tienen una media, superior al límite máximo permisible.

4.2.1 Prueba de Krustal-Wallis

Tabla 10.
Prueba de Krustal Wallis

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	9	25.88	0.002
Ajustado para empates	9	25.9	0.002

Elaborado por: El Autor, 2025

Se realizó la prueba no paramétrica de Krustal-Wallis para conocer si las medias de concentraciones en los diversos puntos de monitoreo superan los límites máximos permisibles durante los 4 meses de monitoreo, en donde las hipótesis se expresan a continuación:

H₀: Todas las medianas son iguales o inferiores a 1.

H_i: Al menos una mediana es mayor a 1.

Dió como resultado que al menos una mediana es mayor a 1, ya que el valor de p es <0.05, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa, por lo que se señala que las medias de concentraciones que superan los límites máximos permisibles durante los 4 meses de monitoreo son el P1 con 1.37 y el P10 con 2.275, (**Anexo N° 1, Tabla 11**).

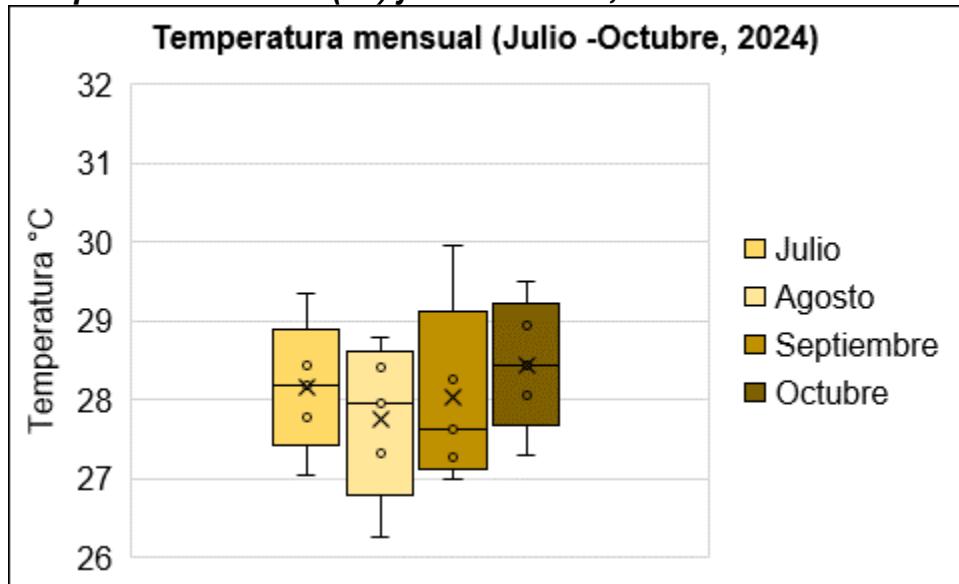
4.3 Reconocimiento de datos meteorológicos que influyen en la dispersión y acumulación del material particulado sedimentable

4.3.1 Análisis de la influencia de las variables climatológicas durante los meses de estudio (julio-octubre) del 2024

4.3.1.1 Temperatura del aire (°C).

Figura 13.

Temperatura del aire (°C) julio - octubre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

Acorde a la **Figura 13**, en el mes de julio la mediana se encuentra en 28.17°C, lo cual indica que la mitad de los días de julio tuvieron una temperatura inferior a este valor. Por ello, la caja es relativamente estrecha, lo que sugiere que las temperaturas son bastantes consistentes, con los datos alrededor de 27.28°C y 28.43°C.

En cuanto a agosto, la mediana es de 27.95°C, el bigote inferior es más largo que el superior, esto indica que existe una mayor dispersión de las temperaturas más bajas en comparación de las altas.

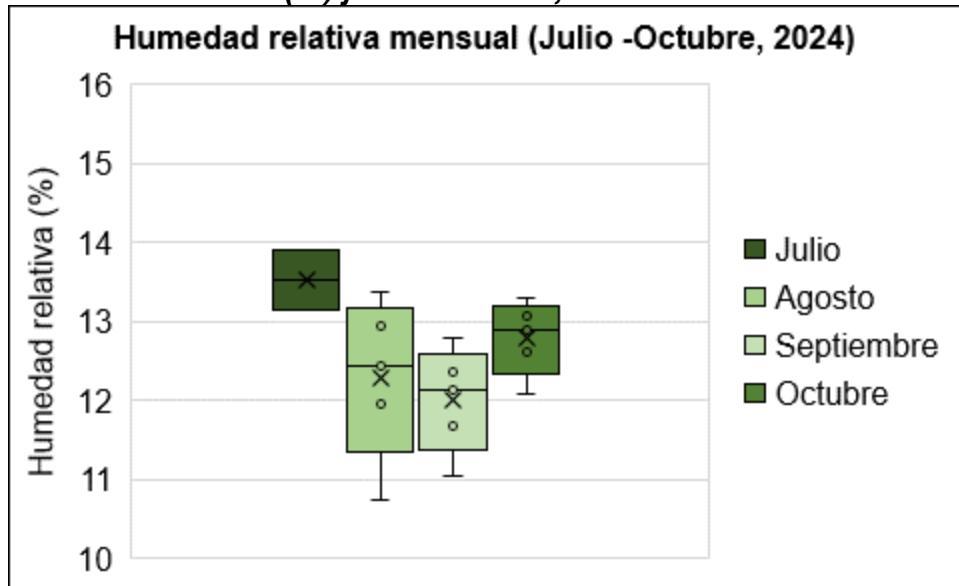
Si embargo, la mediana del mes de septiembre es la más baja a comparación de los cuatro meses (**Anexo N° 3,Tabla 13**). Su caja al ser estrecha, indica una alta consistencia en las temperaturas durante este mes, manteniéndose entre los 27.26°C y 28.26°C.

Por último, el mes de octubre representa temperaturas más altas con una mediana de 28.43°C; su caja al ser amplia indica una mayor variabilidad de las temperaturas diarias.

4.3.1.2 Humedad relativa (%).

Figura 14.

Humedad relativa (%) julio - octubre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

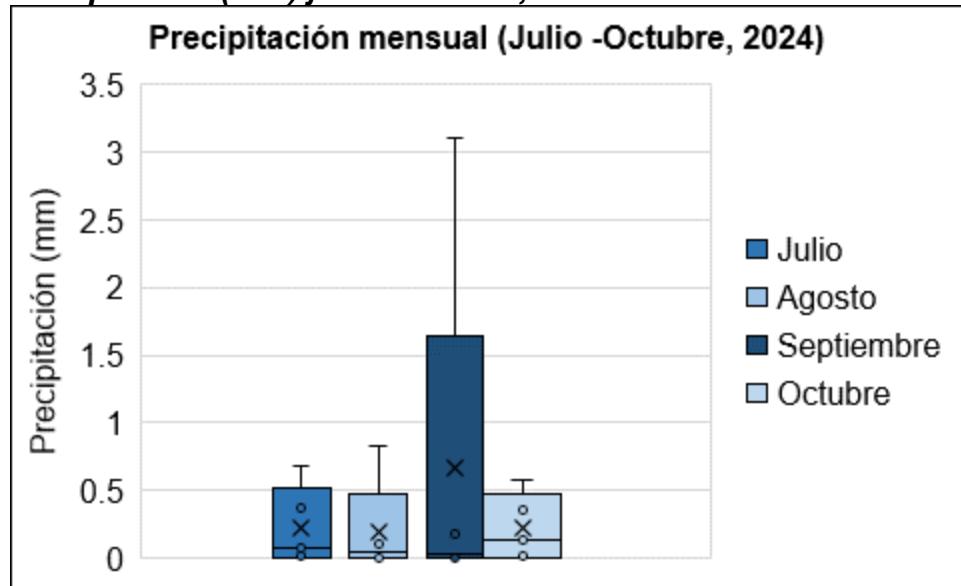
Con respecto a la **Figura 14** sobre la variable meteorológica de humedad relativa, el mes de julio destaca por presentar una mediana más alta (12.64%) y el rango de datos más amplios, lo que evidencia una mayor dispersión en los valores diarios de humedad. Esta variabilidad podría atribuirse a fluctuaciones climáticas típicas de la temporada, como cambios en patrones de viento o precipitaciones irregulares, generando un comportamiento más impredecible en comparación con otros meses.

Además, agosto refleja una mediana más baja de 12.43% y un valor mínimo absoluto de 10.74%, lo que sugiere un descenso general en los niveles de humedad, posiblemente influenciado por condiciones más secas o mayor evaporación ambiental, por otra parte, el mes de septiembre posee un rango intercuartílico con una caja más estrecha, indicando una mayor consistencia en la humedad diaria, que se mantiene estable entre 11.68% y 12.37% (**Anexo N° 3,Tabla 14**).

4.3.1.3 Precipitación (mm).

Figura 15.

Precipitación (mm) julio - octubre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

En relación con la **Figura 15**, el mes de julio presenta una mediana más alta de 0.07 mm, lo cual demuestra una mayor cantidad de días con precipitación, concentrada en valores inferiores. Su valor máximo es de 0.68 mm, el cual es el segundo más alto de los máximos normales.

Por otro lado, el mes de agosto manifiesta una mediana baja de 0.04 mm, por ende, la caja es más estrecha, dado que indica que la mitad de los días se mantuvieron precipitaciones entre 0 y 0.11 mm. El valor de 0.83 mm es un valor atípico, que visualiza como un punto.

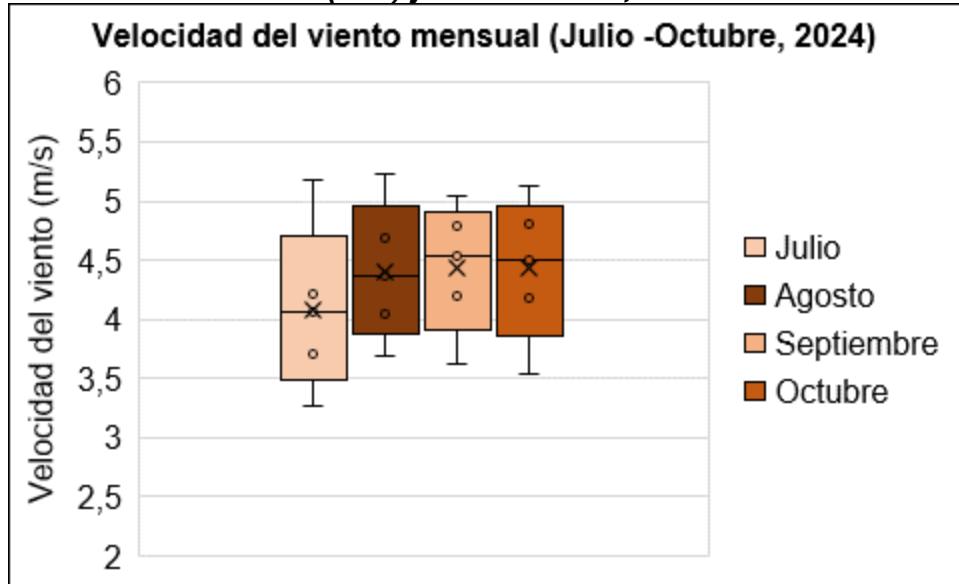
En septiembre, su mediana es más baja de 0.03 mm, y a su vez la caja es más estrecha debido a que existe una mínima variabilidad de la precipitación diaria. El valor de 3.11 mm es un valor atípico, lo que conllevar a que el bigote superior sea extremadamente largo.

Por último, el mes de octubre posee una mediana de 0.13 mm. Es por ello, que su caja es la más estrecha a comparación de la de septiembre, ya que mantiene una distribución concentrada en valores bajos. Este mes se considera con una distribución menos dispersa, en vista de que no presenta valores atípicos extremos tan altos como agosto y septiembre (**Anexo N° 3,Tabla 15**).

4.3.1.4 Velocidad del viento (m/s).

Figura 16.

Velocidad del viento (m/s) julio - octubre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

En base a la **Figura 16**, el mes de julio presenta una mediana más baja de 4.06 m/s junto a un rango de dispersión que se inclina hacia velocidades menores.

En cuanto al mes de agosto, manifiesta una mediana más alta de 4.36 m/s, esto a su vez indica que es el mes que presenta una mayor velocidad del viento promedio, dado que su dispersión es amplia.

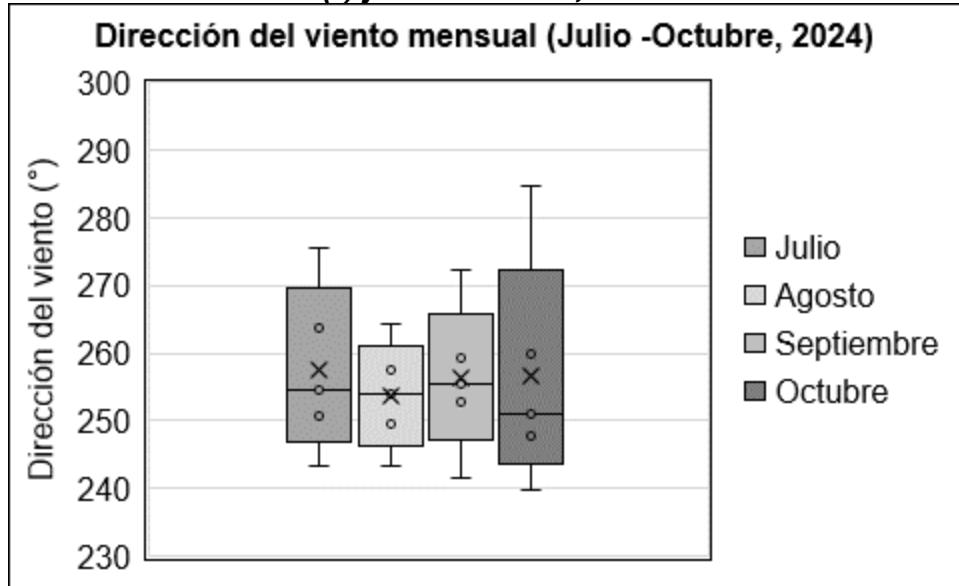
Por otra parte, septiembre refleja una mediana de 4.54 m/s, lo cual es muy cercana a la de agosto. El rango intercuartílico es el más concentrado, lo que se infiere que posee una mayor consistencia en la velocidad del viento diaria.

Finalmente, la mediana del mes de octubre es de 4.50 m/s. Su distribución es similar a la de agosto y septiembre, con velocidades mayores y una buena consistencia en el rango central (**Anexo N° 3,Tabla 16**).

4.3.1.5 Dirección del viento (°).

Figura 17.

Dirección del viento (°) julio - octubre, 2024



Elaborado por: El Autor, 2025

En lo que concierne a la **Figura 17**, el mes de julio revela una mediana más alta de 254.6° , por lo cual indica que la dirección predominante del viento estuvo el cuadrante Oeste-Suroeste entre los 250° y 270° con una distribución concentrada, sin embargo, el mes de agosto refleja una mediana más baja de 253.9° . Este mes posee un menor rango de dispersión total.

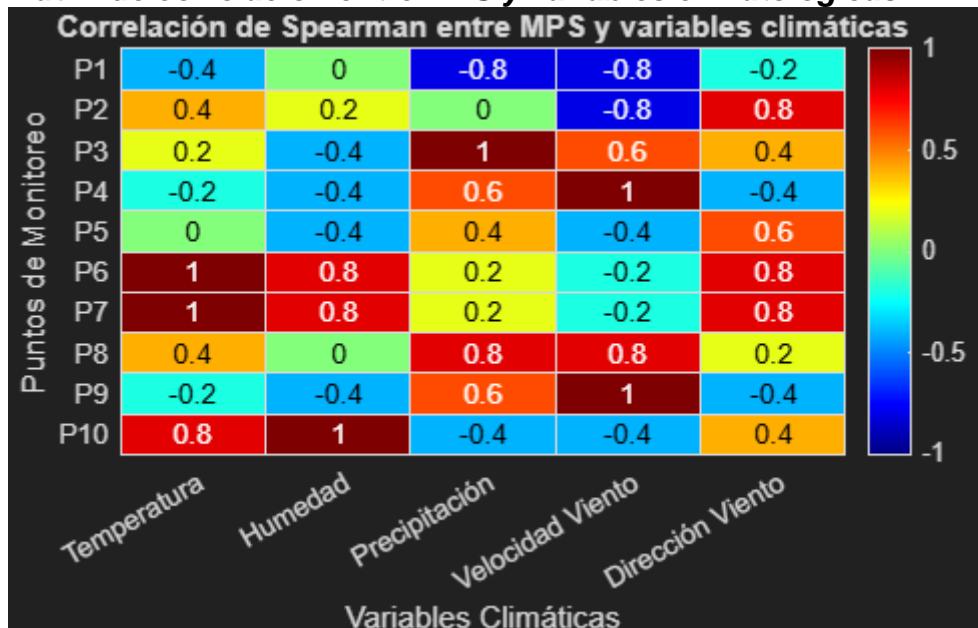
Por otro lado, septiembre presenta una mediana de 255.5° , su rango intercuartílico es estrecho; por ello, se estima que existe una buena consistencia en la dirección predominante del viento alrededor de los 252.7° y 259.2° .

Para finalizar, el mes de octubre presenta el mínimo más bajo de 239.8° y un máximo considerablemente más alto de 284.6° , esta brecha se da al surgir una mayor variabilidad en la dirección del viento (**Anexo N° 3,Tabla 17**).

4.4 Correlación de las concentraciones de material particulado sedimentable con las diferentes variables meteorológicas

Figura 18.

Matriz de correlación entre MPS y variables climatológicas



Elaborado por: El Autor, 2025

La matriz de correlación de Spearman (**Figura 18**) muestra relaciones destacadas entre los puntos de monitoreo de material particulado sedimentable (MPS) y las variables climáticas, los valores de correlación varían entre -1 y 1, donde las correlaciones positivas describen un mayor valor de una variable asociado con mayor MPS, mientras que las correlaciones negativas son debidas a que un mayor valor de una variable asociado con menor MPS. Se observa que la temperatura muestra una tendencia a correlacionarse positivamente con el MPS en varios puntos, especialmente en P6, P7 y P10, donde las correlaciones alcanzan valores cercanos a 1. Esto sugiere que, en estas zonas, el incremento de la temperatura podría favorecer la acumulación de material particulado en el aire, posiblemente debido a una menor dispersión y a condiciones más secas que facilitan la suspensión de partículas.

Por otro lado, la precipitación y la velocidad del viento muestran correlaciones negativas en la mayoría de los puntos. En particular, la velocidad del viento presenta valores de hasta -0.8 en P1 y P2, lo que evidencia su papel importante en la dispersión del material particulado. Es decir, cuando el viento aumenta, las concentraciones de MPS tienden a disminuir debido a la ventilación y al transporte de contaminantes fuera del área de monitoreo. De manera similar, la

precipitación tiende a reducir las concentraciones de MPS por efecto del lavado atmosférico, aunque su relación no es tan fuerte ni uniforme en todos los sitios.

Finalmente, la dirección del viento presenta correlaciones mixtas, lo que indica que su influencia puede depender de factores locales como la topografía o la ubicación de fuentes emisoras de contaminación. En conjunto, la figura evidencia que las variables meteorológicas tienen un papel importante en la variabilidad espacial del MPS, pero su efecto no es homogéneo. Los resultados destacan especialmente la influencia positiva de la temperatura y la negativa de la velocidad del viento sobre las concentraciones de material particulado.

5. DISCUSIÓN

De acuerdo con el estudio de Guevara y Logroño (2020) en San José de Chancachuan reportaron que los puntos de monitoreo 1 y 7, además del punto 8, sobrepasaron los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4, con concentraciones de 8.45 y 7.69 mg/cm²*30 días respectivamente, en cuanto al material particulado de PM_{2.5} evidencian cumplimiento con la normativa ecuatoriana, aunque incumplen con la OMS. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación, se observan concentraciones variables de material particulado sedimentable en diferentes meses. Por ejemplo, en agosto de 2024, algunos puntos como el P1 y P10 alcanzaron valores de 1.96 mg/cm²*30 días y 2.24 mg/cm²*30 días, respectivamente, los cuales superan los límites máximos permitidos en Ecuador y en algunos casos también sobrepasan los límites de la OMS. Similar situación se presenta en septiembre, donde el P10 registró la concentración más alta de 2.20 mg/cm²*30 días, también por encima del límite permitido, mientras que en otros puntos la concentración se mantuvo por debajo de dichos límites.

Según Lara et al. (2024) en su estudio señala que la zona norte del sector La Pradera II en Guayaquil, las concentraciones de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), muestran que en muchos casos no se observan correlaciones significativas, especialmente en la jornada diurna, donde en ocasiones, las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} no son directamente proporcionales al número de vehículos, mientras que en la jornada nocturna existen correlaciones que varían entre positivas débiles y moderadas, indicando que los aumentos en las concentraciones de PM₁₀ y PM_{2.5} se asocian a incrementos leves y moderados del número de vehículos. En relación con el estudio hay zonas con mayor concentración de material sedimentable, específicamente los puntos P1 (entrada de la 8), P2 (Parque California) y P10 (Monte Sinaí), que corresponden a áreas con alto tránsito vehicular y actividad económica, sobrepasando así, los límites máximos permisibles de la normativa ecuatoriana.

En el estudio de Abanto (2023), los resultados indicaron que la velocidad del viento presenta correlaciones variables, desde valores negativos en la noche (-0,768 a -0,664) hasta fluctuaciones en el día (-0.385 a 0.262), mostrando su papel crucial en la dispersión del material particulado, por ejemplo, la dirección del viento predominante fue hacia el suroeste, influenciando la distribución del MPS en la

zona, a su vez, la humedad relativa mostró correlaciones tanto positivas como negativas, con rangos de -0.199 a 0.706 durante el día y de 0.427 a 0.078 en la noche, mientras que la temperatura tuvo correlaciones positivas durante el día (0.308 a 0.373) y negativas en la noche (-0.325 a -0.154). Mientras que en el estudio presente se observa que la temperatura presenta las correlaciones positivas más altas, con valores de 1.0 en P6 y P7, además de, 0.8 en P10, lo que indica que el aumento de la temperatura se asocia con mayores concentraciones de MPS. La humedad relativa también muestra correlaciones positivas moderadas, como 0.8 en P6 y 0.4 en P2, sugiriendo cierta relación directa con el MPS. En contraste, la velocidad del viento registra fuertes correlaciones negativas, alcanzando -0.8 en P1 y P2, lo que evidencia su papel en la dispersión del material particulado. La precipitación presenta valores negativos más débiles, como -0.4 en P3 y P9, indicando que ayuda a reducir las concentraciones, aunque de manera menos consistente.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Durante el período de muestreo realizado en la parroquia Pascuales, utilizando diez colectores pasivos y el método gravimétrico, se identificaron variaciones significativas en las concentraciones de material particulado sedimentable (MPS) a lo largo de los meses analizados. Los resultados muestran que, aunque la mayoría de los puntos de monitoreo mantienen concentraciones por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa, existen sectores específicos principalmente los puntos P1 y P10 y, en algunos meses, P2 y P8 donde se registran superaciones recurrentes de dichos límites, alcanzando valores de hasta $2.90 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$.

El análisis de material particulado sedimentable realizado en la parroquia Pascuales durante cuatro meses evidencia una concentración recurrente y superior a los límites permisibles en puntos específicos como P1 (Entrada de la 8) y P10 (Monte Sinaí), asociados a alta circulación vehicular, actividades comerciales intensas y condiciones viales no pavimentadas, esto indica un patrón de contaminación localizada, donde las características urbanas y de infraestructura influyen significativamente en la distribución del material particulado, por lo contrario, las zonas con menor concentración, como urbanizaciones (P3, P8 y P9) con barreras vivas, confirman la efectividad de estas medidas pasivas en la mitigación de contaminantes.

Las variables climatológicas (temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento) se analizaron mediante diagramas de caja y bigote de los meses de julio a octubre, los cuales indicaron tendencias y diferencias en la distribución del patrón climático. La temperatura se mantiene alta y estable (28.2°C a 28.4°C), dado que en el mes de octubre manifiesta una mediana más alta. En cambio, la humedad relativa es consistente durante el mes de septiembre (12.43%), pero con una mayor variabilidad en julio (12.64%). Por otra parte, la precipitación es mínima durante los cuatro meses reflejando medianas muy bajas (0.03 mm y 0.13 mm), sin embargo, en septiembre se detectó un valor máximo atípico de 3.11 mm. Finalmente, la velocidad/dirección del viento es máxima de 4.36 m/s a 4.54 m/s durante agosto y septiembre, no obstante, julio indica ser un mes con menor presencia de viento.

Las condiciones climáticas tienen una influencia directa y diferenciada sobre los niveles de material particulado sedimentable (MPS) en los distintos puntos de monitoreo, tanto la dirección como velocidad del viento se destacan como factores determinantes, mostrando comportamientos opuestos, mientras que un aumento en la velocidad del viento tiende a dispersar el MPS, los cambios en la dirección parecen concentrarlo en ciertas zonas. La precipitación también tiene efectos variables, incrementando los niveles en algunos puntos y reduciéndolos en otros, lo que sugiere una interacción compleja entre el tipo de superficie, la actividad humana y las lluvias, de igual forma la temperatura y la humedad influyen de manera localizada, reforzando la idea de que cada sector responde de forma distinta ante las condiciones climáticas.

6.2 Recomendaciones

Es fundamental implementar un programa de monitoreo ambiental permanente en los puntos críticos identificados, especialmente P10, P1 y P2, para evaluar con mayor detalle la evolución de las concentraciones de material particulado sedimentable y su relación con las variables climáticas.

Adicionalmente, para este tipo de investigación se recomienda realizar un análisis de los valores atípicos y calcular el sesgo que refleja ciertas variables climatológicas para complementar la información representada a través de los diagramas de caja y bigote, mediante un análisis estadístico organizado e implícito que permita el diseñado de un modelo climático para una mejor evaluación de estas en cuanto a la acumulación de MPS.

Por otra parte, se sugiere promover medidas de mitigación en las zonas con niveles elevados, como el control de emisiones industriales o vehiculares, y fomentar campañas de sensibilización comunitaria sobre la importancia de reducir fuentes contaminantes. Además, de implementar medidas de control y mitigación en los puntos críticos identificados, priorizando la pavimentación de vías, el control del tránsito pesado y la creación de barreras vegetales en zonas expuestas.

Finalmente, se recomienda continuar el monitoreo climático integrado al control de emisiones, y explorar modelos predictivos que permitan anticipar episodios críticos de contaminación asociados a condiciones meteorológicas específicas y concentraciones de material particulado sedimentable.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, B. (2023). *Influencia de los factores meteorológicos en la dispersión de material particulado sedimentable en la zona industrial de la Avenida Materiales, cercado de Lima - 2022*[Tesis de Grado,Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/7918>
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2015). *Resúmenes de Salud Pública – Nitrato y Nitrito (Nitrate/Nitrite)*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phss204.pdf
- Agudelo, G., y Ruiz, J. (2008). Diseños de investigación experimental y no experimental. *Revista en Ciencias Sociales*(18), 1-46. <https://hdl.handle.net/10495/2622>
- American Lung Association. (2024). Compuestos orgánicos volátiles. <https://www.lung.org/clean-air/indoor-air/indoor-air-pollutants/volatile-organic-compounds>
- Armesto, A., y Cañon, J. (2024). Relación entre material particulado, variables meteorológicas e infecciones respiratorias agudas en la zona norte de Ocaña. *Revista de Información Agraria y Ambiental*, 15(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.22490/21456453.6537>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2006). *Ley Orgánica de la Salud. Registro Oficial Suplemento No. 423.* <https://www.igualdadgenero.gob.ec/wp-content/uploads/2022/10/LEY-ORGANICA-DE-SALUD-LOS.pdf>
- Chipoco , J., y Valencia , F. (2015). *Determinación de la capacidad de adsorción de material particulado en el aire en una especie arbórea Schinus terebinthifolius y una rastrera Aptenia cardifolia en el condominio La Quebrada - Cieneguilla*. [Tesis de grado,Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2192>
- Chóez, J., y Cevallos , J. (2022). *Concentración de material particulado sedimentable para la determinación del grado de contaminación de aire en la Av. Confraternidad, Cantón Pelileo*. [Tesis de grado,Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35446>
- Climate & Clean Air Coalition. (2017). Ozono troposférico. <https://www.ccacoalition.org/es/short-lived-climate-pollutants/tropospheric-ozone>

- Código Orgánico del Ambiente. (2017). https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Connell, D. (2005). *Basics Concepts of Environmental Chemistry*. Lewis Publisher. http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/4741/1/Des%20W.%20Connell_2005.pdf
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Ecuador: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca. (2017). *Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca. Informe de calidad de aire Cuenca-2017*: <https://www.emov.gob.ec/sites/default/files/CALIDAD%20DEL%20AIRE%202017.pdf>
- Environmental Express Zefon. (2021). *Muestreo de aire pasivo vs activo*. <https://www.zefon.com/passive-vs-active-air-sampling?srsltid=AfmBOooID1OPyewWZ2MWsMuikNfmdy1Yob8i76PsBwvME-u9TbsqCGNR>
- Environmental Technology Co., Ltd. (2021). *Óxidos de azufre (SOx) y su tratamiento*. <https://tecamgroup.com/es/oxidos-de-azufre-sox-y-su-tratamiento/>
- Esperanza, G., y Lázaro, N. (2015). Algunas reflexiones sobre el enfoque mixto de la investigación pedagógica en el contexto cubano. *Revista Científica de la Universidad de Cienfuegos*, 7(2), 23-29. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v7n1/rus03115.pdf>
- Fernandez, R. (2011). *Origen y características de las partículas finas y ultrafinas en el aire ambiente de Huelva*. [Tesis de Doctorado, Universidad de Huelva], Huelva. https://izana.aemet.es/wp-content/publications/Tesis_Rocio_Fernandez_Camacho.pdf
- Fernández, R. (2015). La evaluación de la calidad del aire en el marco de la Unión Europea y su repercusión en España. *Revista de Salud Ambiental*, 15. <https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/453731>

- Fischer, F., y Beltrán , D. (2005). Análisis del material particulado en relación con la percepción de la calidad de vida en tres localidades de Bogotá - Colombia. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 3(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.98601>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2021). *Calidad del aire: ¡Es el momento de actuar!* <https://www.unicef.org/lac/media/27856/file/Calidad-del-aire-es-el-momento-de-actuar.pdf>
- Galvis, S., León, I., Padilla, K., Pombo, M., Rada, M., Vera, J., y Rebolledo, R. (2021). Material particulado y trastornos de los sistemas cardiovascular y respiratorio en trabajadores de diferentes áreas: una revisión narrativa. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*, 30(3). https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S3020-11602021000300011&script=sci_arttext
- Gobierno de México. (2025). *Gobierno de México. Clasificación de los contaminantes del aire ambiente:* <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/2-clasificacion-de-los-contaminantes-del-aire-ambiente>
- Grijalva, A., Jiménez, M., y Ponce, H. (2020). Contaminación del agua y aire por agentes químicos. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento (Recimundo)*, 4(4), 79-93. <https://doi.org/10.26820/recimundo/4>
- Guevara, E., y Logroño, B. (2020). *Determinación de la concentración de Material Particulado Sedimentable y Volátil en la comunidad San José de Chancahuán por Incidencia Industrial.* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/7186/2/8.%20Tesis%20Material%20Particulado%20Guevara-Logro%C3%B3n%202020%20%281%29.pdf>
- Hijonosa, C. (2020). *Control de material particulado generado en el proceso de transporte de mineral mediante la red de monitoreo rocky en mina justa empresa minera Marcobresac* [Tesis de grado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4888c820-fd81-4af3-8d90-54a96422f814/content>

- Kumar, P., Druckman, A., Gallagher, J., Gatersleben, B., Allison, S., Eisenman, T., . . . Morawska, L. (2019). The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Revista Elsevier*, 133(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105181>
- Lara, C., Hernández, T., Andrade, J. C., Santillán, G., y Cabezas, R. (2024). Influencia del flujo vehicular en las concentraciones de material particulado, sector La Pradera II, Guayaquil. *Revista ESPAMCIENCIA*, 15(1), 21-28. https://doi.org/10.51260/revista_espmciencia.v15i1.458
- Lara, K., Gómez, Z., y Zamorategui, A. (2017). Monitoreo de contaminantes atmosféricos ($\text{pm}_{2.5}$, pm_{10} y co_2) y variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento) en la ciudad de Guanajuato. *Revista de Divulgación Científica*. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1733>
- Lazo, R., Román, C., Sisa, H., Manami, B., y Ugarte, S. (2022). Partículas suspendidas totales (PST) y flujo vehicular en una avenida de la ciudad de Tacna. *Revista Científica de la Facultad de Ingeniería*, 4. <https://doi.org/https://doi.org/10.47796/ing.v4i0.656>
- Life Science Tecnosoluciones. (2022). Contaminantes Orgánicos. <https://tecnosolucionescr.net/blog/610-contaminantes-organicos>
- Loachamín, D. (2017). *Diagnóstico de la calidad del aire de la ciudad de Ibarra del período 2012-2015*. [Tesis de grado] Universidad Central del Ecuador: <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e7a2103d-6f45-4eea-8a96-025906300c42/content>
- López, P. (2016). *La contaminación del aire por los diferentes contaminantes atmosféricos*. Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/handle/10251/66659>
- Macedo, C., y Pérez, D. (2023). *Estudio para la determinación del polvo atmosférico sedimentable en tres avenidas de la ciudad de Iquitos- 2022*. [Tesis de grado, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/2483>

- Martínez, A. (2017). *Captura de material particulado en hojas de árboles del Municipio de Toluca, Estado de México.*
<http://ri.uaemex.mx/repositorio/handle/20.500.11799/66256>
- Martínez, E., y Morales, Y. D. (2004). *Contaminación atmósferica.* Universidad de Castilla-La Mancha.
https://doi.org/https://books.google.cl/books?id=sLE8xbtcK-gC&dq=contaminaci%C3%B3n+atmosf%C3%A9rica+que+es&lr=&hl=es&sOURCE=gbs_navlinks_s
- Matus, P. (2017). Contaminación atmosférica: la composición química incide en su riesgo. *Revista Médica de Chile,* 145(1).
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872017000100001>
- Mejía, D. (2018). Análisis de Partículas Sedimentables y Niveles de Presión Sonora en el área urbana y periférica de Cuenca. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas,* 1-64.
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/1792#:~:text=Resumen,y%20alteraciones%20a%20nivel%20gen%C3%A9tico.>
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A, Anexo 4: Norma de calidad del aire ambiente.* Registro Oficial No. 387, Edición Especial.
<https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>
- Miranda, J., Merma, L., y Herrera, M. (2017). Evaluación de la concentración de polvo atmosférico sedimentable y material particulado (PM2.5, PM10) para la gestión de la calidad del aire 2017, en la ciudad de Tacna. *Revista Ingeniería Investiga*, 1(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.47796/ing.v1i1.128>
- Morales, N. (2015). *Investigación Exploratoria: tipos, metodologías y ejemplos.* Lifeder: <https://www.lifeder.com/investigacion-exploratoria>.
- Morocho, L., Tates, J., Garzón , L., y Cepéda , M. (2023). Evaluación de material particulado sedimentable emitidos en el sector de Fertisa sur de Guayaquil, 2021[Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador]. *Polo del Conocimiento.* <https://doi.org/10.23857/pc.v9i3.6697>
- Organización de las Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.*
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>

- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). *Organización Panamericana de la Salud. Calidad del Aire*: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Pérez, Y. (2021). La contaminación del medio ambiente. *Universidad privada San Juan Bautista, Escuela de Contabilidad*. https://www.researchgate.net/profile/Yusmira-Perez-Quispe/publication/353140767_ARTICULO_DE_OPINION_CONTAMINACION_AMBIENTAL/links/60e905e71c28af34585977bf/ARTICULO-DE-OPINION-CONTAMINACION-AM-BIENTAL.pdf?origin=publication_detail
- Pingxiang City ZhongXing Packing . (2025). *Peligros y estrategias de control del sulfuro de hidrógeno (H2S) en las aguas residuales*.
- Querol, X. (2018). *La calidad del aire en las ciudades*. Fundación Gas Natural Fenosa. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/20.500.13082/147650/1/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>
- Querol, X., Twigg, M., Kyllönen, K., y Makkonen, U. (2020). *Amoníaco (NH3)*. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/sgalsi/atm%C3%B3sfera-y-calidad-del-aire/ST6_ESP.pdf
- Ramos, C. (2020). Los alcances de una investigación. *Revista CienciAmérica*, 9(3). <https://doi.org/http://orcid.org/0000-0001-5614-1994>
- Rubén, M., Cabrera, M., Laos, H., Mamani, D., y Valderrama , A. (2008). Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de tubo pasivo y de placas receptoras en la ciudad universitaria de San Marcos–Lima. *Revista de Investigación CEDIT*, 3, 49-58. https://doi.org/https://sisbib.unmsm.edu.pe/Bibvirtual/Publicaciones/rev_cedit/2008_V03/contenido.htm
- Silvera, K. (2018). *La medición de calidad del aire inicia a paso lento*. Diario expreso: <https://www.pressreader.com/ecuador/diario-expreso/20180707/281938838672891>
- Téllez, J., Rodríguez, A., y Fajardo, Á. (2006). Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. *Resvista de Salud Pública*, 8(1).

- http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642006000100010
- Topographic Map. (2023). *Mapa topográfico Parroquia Pascuales*. Topographic Map: <https://es-ec.topographic-map.com/map-lz67zs/Parroquia-Pascuales/>
- Tuset, S. (2025). *Eliminación de NOx (óxidos de nitrógeno)*. Condorchem Enviro Solutions: <https://condorchem.com/es/blog/eliminacion-de-nox/>
- Valdivia , A., y Coronado, M. (2023). *Evaluación de polvo atmosférico sedimentable*. [Tesis de Grado-Universidad Privada de Tacna].
<http://hdl.handle.net/20.500.12969/3275>
- Villacrés, M. (2015). *Evaluación de la contaminación atmosférica de la ciudad de Ambato relacionada con el material particulado sedimentable*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo], Ambato.
<http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/4855>

ANEXOS

Anexo N° 1. Datos de ANOVA

Tabla 11.
Prueba de Krustal-Wallis

Puntos	N	Media	Valor Z	Clasificación de medias
1	4	1.37	2.16	32.5
2	4	0.7	1.28	27.6
3	4	0.325	-2.39	7.3
4	4	0.31	-2.05	9.1
5	4	0.48	-1.04	14.8
6	4	0.435	-1.13	14.3
7	4	0.625	0.2	21.6
8	4	0.575	0.38	22.6
9	4	0.555	-0.54	17.5
10	4	2.275	3.11	37.8

Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo N° 2. Datos promedios de las variables climatológicas en estudio

Tabla 12.
Promedio mensual de las variables climatológicas (julio - octubre) 2024

Variables climatológicas	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Temperatura (°C)	28.24	27.70	27.79	28.16
Humedad Relativa (%)	12.74	12.19	11.98	12.73
Precipitación (mm)	0.15	0.09	0.21	0.17
Velocidad del Viento (m/s)	4.02	4.41	4.50	4.54
Dirección del viento (grados)	258.38	253.12	254.29	253.64

Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo N° 3. Análisis estadísticos de las variables climatológicas en estudio para el diseño del diagrama de caja y bigotes

Tabla 13.
Ánálisis estadísticos de la temperatura (°C) (julio - octubre) 2024

Mes	Mínimo	Q1 (25%)	Mediana (50%)	Q3 (75%)	Máximo
Julio	27.04	27.78	28.17	28.43	29.35
Agosto	26.25	27.33	27.95	28.41	28.79
Septiembre	26.99	27.26	27.62	28.26	29.96
Octubre	27.3	28.06	28.43	28.93	29.49

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 14.
Análisis estadísticos de la humedad relativa (%) (julio - octubre) 2024

Mes	Mínimo	Q1 (25%)	Mediana (50%)	Q3 (75%)	Máximo
Julio	11.73	12.3	12.64	13.15	13.91
Agosto	10.74	11.96	12.43	12.95	13.37
Septiembre	11.05	11.68	12.14	12.37	12.8
Octubre	12.08	12.6	12.88	13.07	13.3

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 15.
Análisis estadísticos de la precipitación (mm) (julio - octubre) 2024

Mes	Mínimo	Q1 (25%)	Mediana (50%)	Q3 (75%)	Máximo
Julio	0	0.01	0.07	0.37	0.68
Agosto	0	0	0.04	0.11	0.83
Septiembre	0	0	0.03	0.18	3.11
Octubre	0	0.01	0.13	0.36	0.58

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 16.
Análisis estadísticos de la velocidad del viento (m/s) (julio - octubre) 2024

Mes	Mínimo	Q1 (25%)	Mediana (50%)	Q3 (75%)	Máximo
Julio	3.27	3.7	4.06	4.22	5.18
Agosto	3.69	4.05	4.36	4.69	5.23
Septiembre	3.62	4.19	4.54	4.79	5.04
Octubre	3.53	4.18	4.5	4.8	5.12

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 17.
Análisis estadísticos de la dirección del viento (°) (julio - octubre) 2024

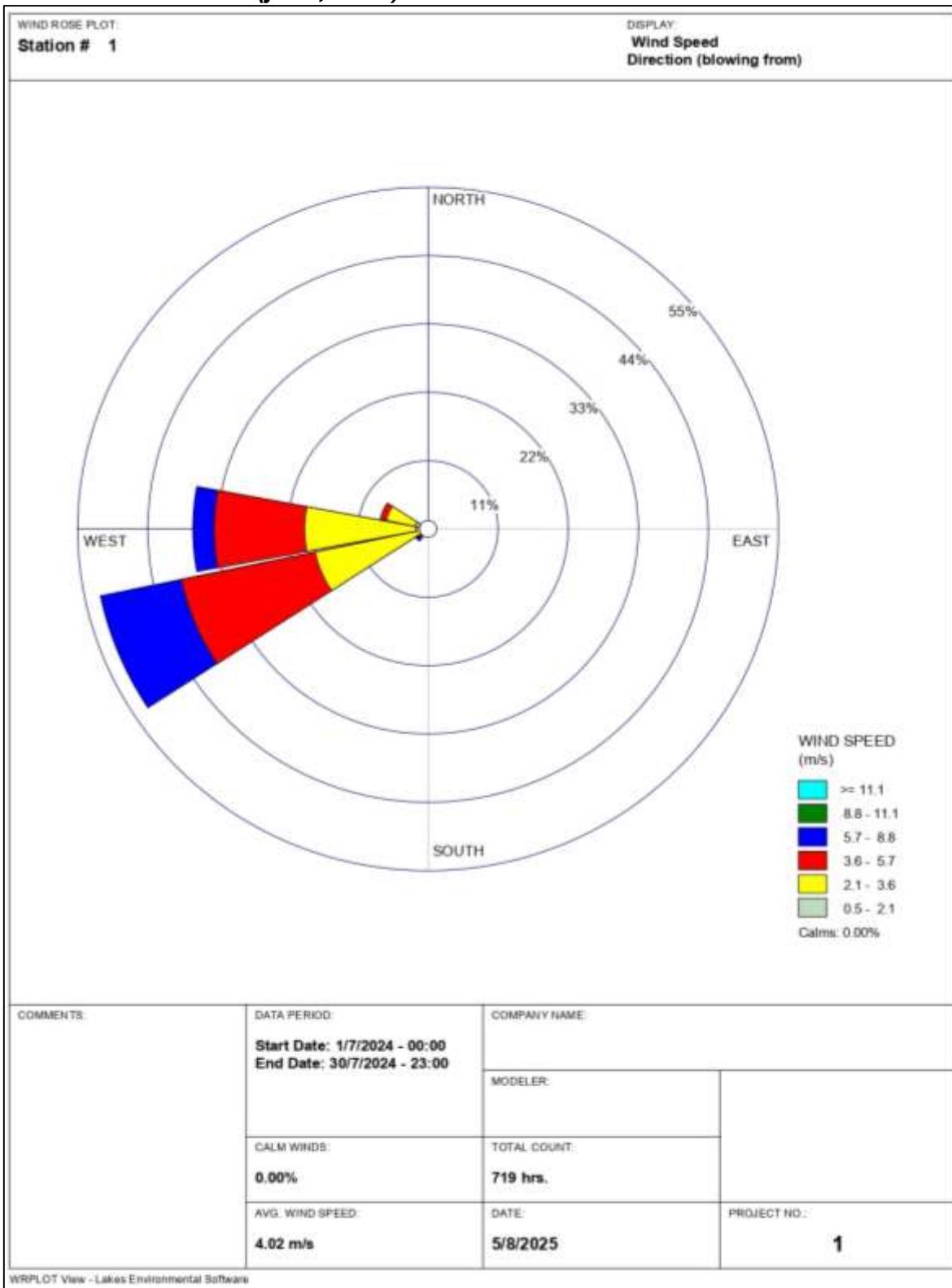
Mes	Mínimo	Q1 (25%)	Mediana (50%)	Q3 (75%)	Máximo
Julio	243.4	250.6	254.6	263.6	275.6
Agosto	243.2	249.6	253.9	257.5	264.4
Septiembre	241.6	252.7	255.5	259.2	272.2
Octubre	239.8	247.7	250.9	259.9	284.6

Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo N° 4. Resultados de dirección del viento del tercer objetivo

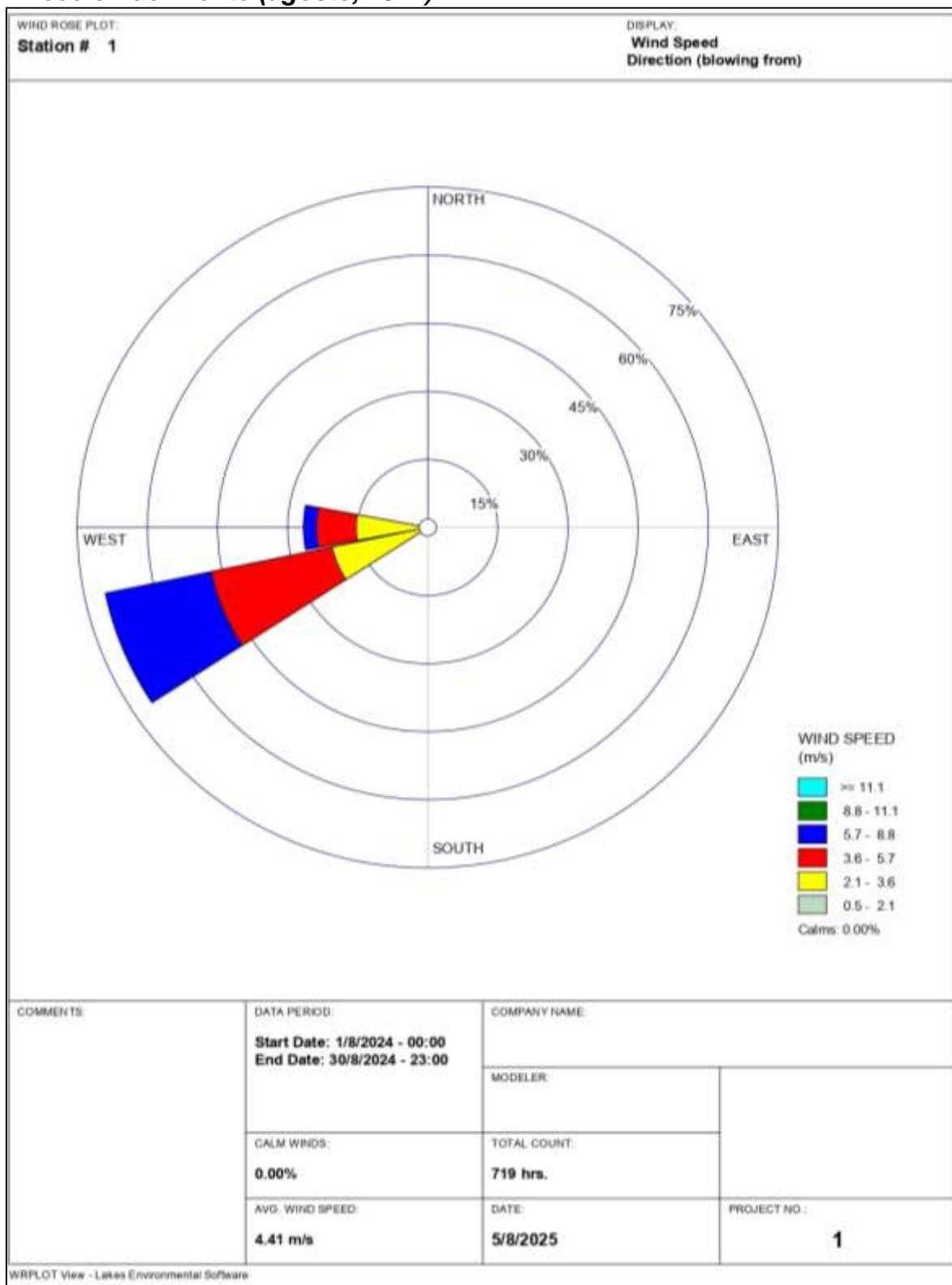
Figura 19.

Dirección del viento (julio, 2024)



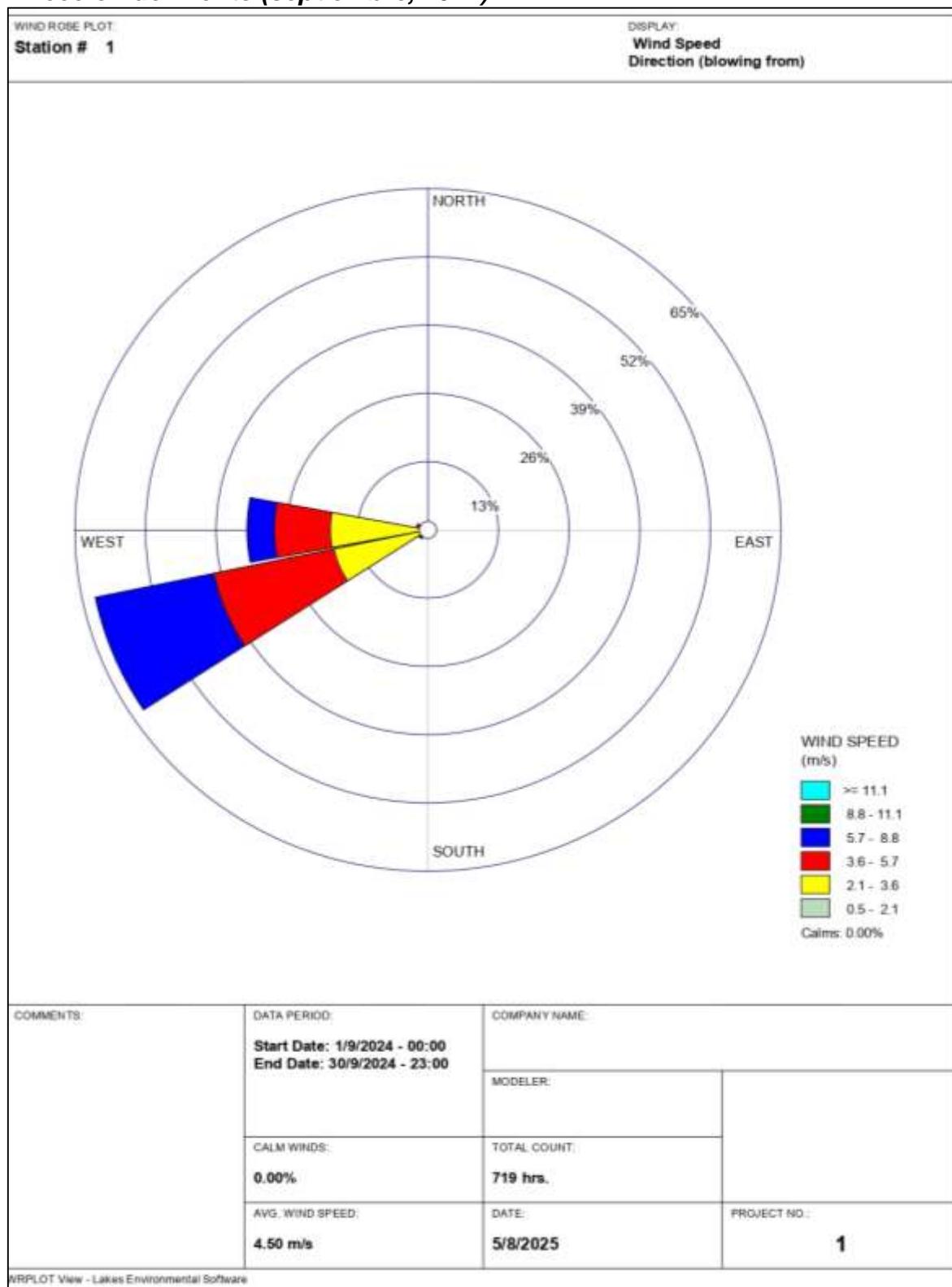
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 20.
Dirección del viento (agosto, 2024)



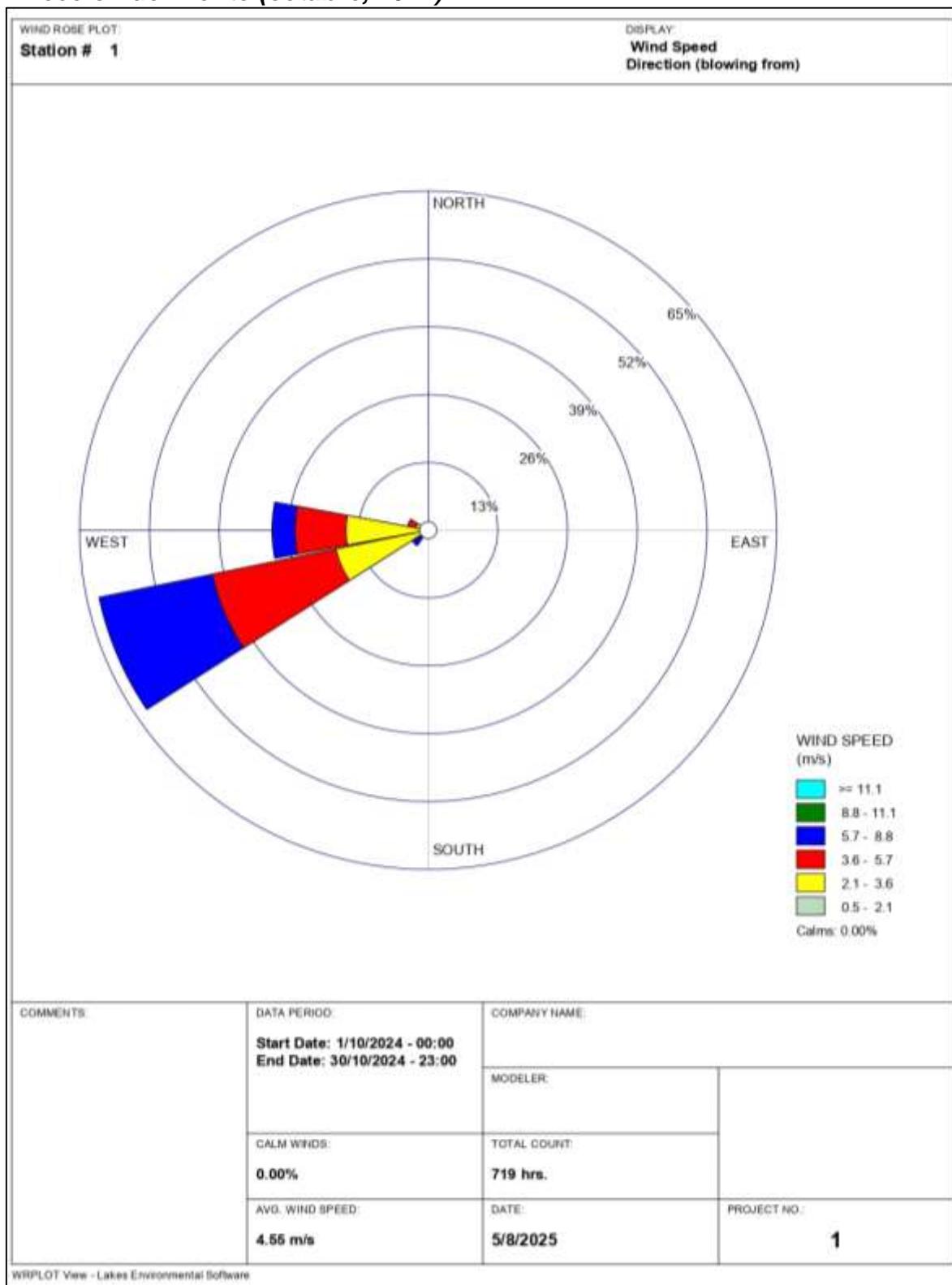
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 21.
Dirección del viento (septiembre, 2024)



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 22.
Dirección del viento (octubre, 2024)



Elaborado por: El Autor, 2025

Anexo N° 5: Evidencia fotográfica

Figura 23.
Recolección de muestras de puntos de monitoreo



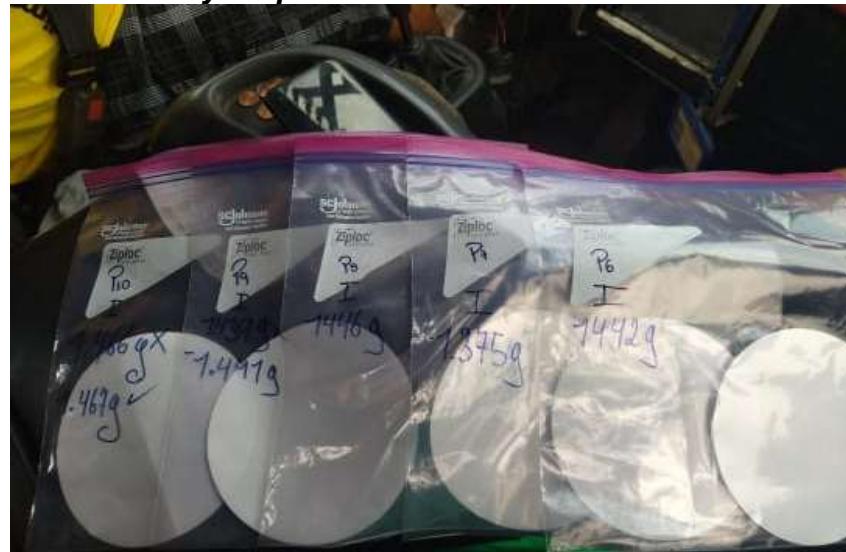
Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 24.
Recolección de muestras de puntos de monitoreo



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 25.
Distribución y etiquetado de muestras



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 26.
Materiales de laboratorio



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 27.
Separación de muestras con su respectivo distintivo



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 28.
Colocación de la muestra en la estufa



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 29.
Eliminación de humedad en el desecador



Elaborado por: El Autor, 2025