



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

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

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

**ESTIMACIÓN DE PARTÍCULAS SEDIMENTABLES
MEDIANTE COLECTORES PASIVOS DE ACUERDO CON LA
NORMA ASTM D1739 AL SUR DE GUAYAQUIL.**

AUTORA

SALAZAR COROZO ODALYS CECILIA

TUTOR

ING. TOMÁS EDINSON HERNÁNDEZ PAREDES, MSc

**GUAYAQUIL, ECUADOR
2026**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

CARRERA DE INGENIERIA 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: ESTIMACIÓN DE PARTÍCULAS SEDIMENTABLES MEDIANTE COLECTORES PASIVOS DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D1739 AL SUR DE GUAYAQUIL., realizado por la estudiante ODALYS CECILIA SALAZAR COROZO; con cédula de identidad N°0953549227 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. Hernández Paredes Tomás Edinson, M.Sc.

Guayaquil, 26 de febrero de 2026



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

CARRERA DE INGENIERIA 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: “ESTIMACIÓN DE PARTÍCULAS SEDIMENTABLES MEDIANTE COLECTORES PASIVOS DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D1739 AL SUR DE GUAYAQUIL”, realizado por la estudiante SALAZAR COROZO ODALYS CECILIA, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Fanny Rodríguez Jarama, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Diego Arcos Jácome, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Juan Guevara Vinza, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Guayaquil, 26 de febrero de 2026

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado, en primer lugar, a Dios, y de manera especial a mi querida madre y hermana, así como a todos aquellos familiares que siempre creyeron en mí. Agradezco profundamente su apoyo incondicional, sacrificio y dedicación, que han sido fundamentales a lo largo de estos años.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a todos los docentes de la Universidad Agraria. Asimismo, extendiendo mi gratitud a mis compañeros y amigos, quienes a lo largo de mi formación académica me han brindado su apoyo, consejos y motivación, contribuyendo de manera significativa a la culminación exitosa de mi carrera universitaria.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, SALAZAR COROZO ODALYS CECILIA, en calidad de autor(a) del proyecto realizado, sobre “ESTIMACIÓN DE PARTÍCULAS SEDIMENTABLES MEDIANTE COLECTORES PASIVOS DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D1739 AL SUR DE GUAYAQUIL” para optar el título de INGENIERA 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, 27 de febrero del 2026

SALAZAR COROZO ODALYS CECILIA

C.I. 0953549227

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito estimar las concentraciones de material particulado sedimentable (MPS) en el sector Sur de la ciudad de Guayaquil, debido a la ausencia de una red de monitoreo que permita identificar tendencias de contaminación y su relación con las variables meteorológicas. El estudio se desarrolló durante cuatro meses mediante la instalación de diez colectores pasivos, aplicando el método gravimétrico descrito en la norma ASTM D1739 para determinar la fracción soluble e insoluble del MPS. Asimismo, se analizaron variables meteorológicas como velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura y precipitación, con el fin de establecer correlaciones que expliquen la variación de las concentraciones registradas. Los resultados evidenciaron cambios mensuales significativos del contaminante, con valores que en varios puntos superaron el límite máximo permisible de 1 mg/cm²/30 días establecido en el Acuerdo Ministerial 097-A, especialmente en zonas cercanas a actividades industriales, tráfico vehicular y obras civiles. El análisis geoespacial permitió identificar áreas críticas mediante mapas de concentración generados por interpolación espacial, y los análisis estadísticos ofrecieron evidencia de correlaciones significativas entre las concentraciones del MPS y ciertos parámetros meteorológicos. Finalmente, el estudio sugiere que el sector analizado presenta episodios de contaminación relevantes y que la implementación de una red permanente de monitoreo resulta fundamental para la toma de decisiones ambientales y la protección de la salud de la población de Guayaquil.

Palabras clave: *calidad del aire, contaminación atmosférica, material particulado sedimentable, meteorología, monitoreo ambiental*

ABSTRACT

This study aimed to estimate the concentrations of settleable particulate matter (SPM) in the southern sector of Guayaquil, addressing the lack of a monitoring network capable of identifying pollution trends and their relationship with meteorological variables. The research was conducted over four months through the installation of ten passive collectors, applying the gravimetric method described in ASTM D1739 to determine the soluble and insoluble fractions of SPM. Meteorological variables such as wind speed and direction, relative humidity, temperature, and precipitation were also analyzed to establish correlations explaining the variation in recorded concentrations. The results revealed significant monthly changes in SPM, with several sampling points exceeding the maximum permissible limit of 1 mg/cm²/30 days established by Ministerial Agreement 097-A, particularly in areas influenced by industrial activities, vehicular traffic, and construction works. Geospatial analysis allowed the identification of critical zones through concentration maps generated via spatial interpolation, while statistical analyses provided evidence of significant correlations between SPM concentrations and certain meteorological parameters. Overall, the study indicates that the analyzed sector presents relevant pollution episodes and highlights the need for a permanent monitoring network to support environmental decision-making and protect public health in Guayaquil.

Keywords: *air quality, atmospheric pollution, environmental monitoring, meteorology, settleable particulate matter*

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes del problema	1
1.2	Planteamiento y formulación del problema	2
1.3	Justificación de la investigación	3
1.4	Delimitación de la investigación	3
1.5	Objetivo General	4
1.6	Objetivos específicos	4
1.7	Hipótesis.....	4
2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Estado del arte	5
2.2	Bases científicas y teóricas	8
2.2.1	<i>Contaminación ambiental</i>	8
2.2.2	<i>Contaminación del aire</i>	8
2.2.2.1.	Inmisiones o Calidad del aire.....	9
2.2.3	<i>Contaminación por partículas</i>	9
2.2.4	<i>Material particulado</i>	9
2.2.4.1.	Clasificación de material particulado.....	10
2.2.4.1.1.	<i>Partículas gruesas.</i>	10
2.2.4.1.2.	<i>Partículas finas.</i>	10
2.2.4.1.3.	<i>Partículas ultrafinas.</i>	10
2.2.4.2.	Partículas Totales Suspendidas (TSP).	11
2.2.5	<i>Material Particulado Sedimentable</i>	11
2.2.6	<i>Método gravimétrico con envases abiertos (Colectores pasivos)</i>	11
2.2.7	<i>Sistemas de información geográfica (SIG)</i>	11
2.2.7.1.	Mapas de concentraciones.	11
2.2.7.2.	Interpolación.	12
2.2.7.2.1.	<i>Distancia Inversa Ponderada (IDW).</i>	12
2.2.7.2.2.	<i>Krigging.</i>	12
2.2.8	<i>Variables Meteorológicas</i>	12
2.2.8.1.	Velocidad del viento (m/s).....	13
2.2.8.2.	Dirección del viento (°).....	13
2.2.8.3.	Precipitación (mm).....	13
2.2.8.4.	Humedad relativa (%).....	13
2.2.8.5.	Temperatura ambiente (°C).	13

2.3	Marco legal.....	14
2.3.1	<i>Constitución de la república del Ecuador. (2008)</i>	14
2.3.2	<i>Código Orgánico del Ambiente.</i>	17
2.3.3	<i>Ley Orgánica de la Salud</i>	18
2.3.4	<i>Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019).</i>	19
2.3.5	<i>Acuerdo Ministerial No. 0-97 – Anexo 4</i>	20
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1	Enfoque de la investigación.....	21
3.1.2	<i>Diseño de investigación</i>	22
3.2	Metodología	22
3.2.2	<i>Matriz de operacionalización de variables</i>	22
3.2.4	<i>Análisis estadístico</i>	29
4.	RESULTADOS.....	33
4.1	Concentraciones de partículas sedimentables mediante el método gravimétrico comparando con los límites máximos permisibles del Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A.....	33
4.1.1.	<i>Test de Student</i>	37
4.1.2.	<i>Test de normalidad</i>	38
4.2	Mapas de concentración de MPS en las estaciones de muestreo mediante Software de Sistema de Información Geográfica.....	40
4.3	Correlación las concentraciones de partículas sedimentables con variables meteorológicas mediante herramientas estadísticas.	45
5.	DISCUSIÓN.....	54
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
6.1	Conclusiones.....	56
6.2	Recomendaciones.....	57
	BIBLIOGRAFÍA	58
	ANEXOS	66

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Diagrama de cajas y bigotes de Material Particulado Sedimentable y LMP.....	37
Figura 2. Concentración de MPS durante el mes de julio.....	40
Figura 3. Concentración de MPS durante el mes de agosto.....	42
Figura 4. Concentración de MPS durante el mes de septiembre.....	43
Figura 5. Concentración de MPS durante el mes de octubre	44
Figura 6. Histogramas de de la Velocidad del viento m/s ² de julio a octubre	47
Figura 7. Rosa de los vientos de julio a octubre	48
Figura 8. Diagrama de series temporales del MPS y la Temperatura	49
Figura 9. Matriz de Correlación de Pearson del MPS y los factores meteorológicos	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de variables dependientes	22
Tabla 2. Matriz de variables independientes	23
Tabla 3. Material particulado sedimentable (MPS) durante el mes de Julio	33
Tabla 4. Material particulado sedimentable (MPS) durante el mes de agosto	34
Tabla 5. Material particulado sedimentable (MPS) durante mes de septiembre..	35
Tabla 6. Material particulado sedimentable (MPS) durante el mes de octubre	36
Tabla 7. Análisis estadístico mediante la prueba paramétrica T-Student aplicada a la concentración de material particulado sedimentable durante los meses del monitoreo sistemático	38
Tabla 8. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la concentración de MPS en los puntos de monitoreo (S01 a S10)	39
Tabla 9. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los factores meteorológicos	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1 Delimitación del Área de estudio.....	66
Anexo N° 2 Codificación de los colectores pasivos de monitoreo.	66
Anexo N° 3 Coordenadas UTM de los puntos de monitoreo.....	67
Anexo N° 4 MPS seco retenido en filtros de microfibra de 11mm.....	67
Anexo N°5 Pesaje de MPS retenido en filtros de microfibra en la balanza analítica.....	68
Anexo N° 6 Secado de filtros con MPS en la estufa.	68
Anexo N° 7 Rosa de los vientos mes de Julio (resultado tercer del objetivo)....	69
Anexo N° 8 Rosa de los vientos mes de agosto (resultado tercer del objetivo)	70
Anexo N°9 Rosa de los vientos mes de septiembre(resultado tercer del objetivo).	71
Anexo N° 10 Rosa de los vientos mes de octubre (resultado tercer del objetivo).....	72
Anexo N° 11 Recolección de fracción soluble e insoluble de MPS.	73
Anexo N° 12 Uso de bomba de vacío para obtención de material insoluble de MPS.....	73
Anexo N° 13 Secado de fracción soluble de MPS.	74
Anexo N° 14 Instalación de filtro de microfibra y tubo colector pasivo de MPS.	74
Anexo N° 15 Instalación de tubo colector pasivo de MPS con altura recomendada.	75
Anexo N° 16 Instalación de tubo colector pasivo de MPS.	75

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

En los últimos años, a nivel global, ha cobrado gran importancia la investigación sobre la relación entre la muerte prematura y la exposición a la contaminación del aire (Lelieveld et al., 2015). Esta conexión se evidencia en diversos casos, desde personas que viven cerca de focos contaminantes como puertos, centrales eléctricas o fuentes móviles, hasta aquellas que, a pesar de estar alejadas de fuentes evidentes, respiran contaminantes diluidos en el aire de las ciudades (Yang et al., 2020), debido a la acción del viento y su capacidad para desplazar contaminantes de un lado a otro en zonas pobladas.

Basados en investigaciones centradas en la población urbana desarrollada en Europa, los investigadores pueden sugerir la hipótesis de que, a pesar de los esfuerzos realizados y las reducciones significativas en las emisiones motivadas por la actualización de la normativa actual, los habitantes aún están expuestos a niveles de contaminantes por encima de los límites seguros establecidos por la Organización Mundial de la Salud [OMS] para prevenir daños a la salud humana (Sicard et al., 2021). Es ampliamente reconocido que los resultados obtenidos por investigadores interesados en evaluar la calidad del aire en ciudades con alta actividad industrial, portuaria, energética, aeroportuaria y vehicular demuestran que la contaminación del aire en estas áreas está directamente relacionada con el nivel de actividad de dichos sectores.

El sector Sur de la ciudad de Guayaquil posee la segunda parroquia más poblada con más de medio millón de habitantes de acuerdo con el censo registrado en el 2010 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. Además, alberga varios sectores industriales, energéticos, portuarios, zonas con alta densidad vehicular, diversos sectores con vías sin pavimentar y áreas de construcción que emiten a la atmósfera contaminantes de forma constante. Por tal motivo, es de vital importancia estimar la calidad de aire alterada por el material particulado sedimentable con el fin de determinar qué áreas de la ciudad están superando el límite máximo permisible de la normativa ambiental vigente y del mismo modo analizar cómo se correlacionan estas concentraciones con las variables meteorológicas a estudiar.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La calidad del aire puede verse afectada por la presencia de material particulado el cual es una mezcla de partículas sólidas y gases. Las emisiones de los automóviles, los compuestos químicos de las fábricas, el polvo, el polen y las esporas de moho pueden estar suspendidas como partículas.

De acuerdo con declaraciones de la Organización Panamericana de la Salud (2018), la exposición a altos niveles de contaminación del aire puede causar una variedad de resultados adversos a la salud desde aumentar el riesgo de infecciones respiratorias y cardíacas hasta cáncer de pulmón.

Es imprescindible, tener en cuenta que aún en niveles relativamente bajos los efectos adversos en la salud por partículas siguen siendo un problema mundial afectando mayormente las zonas urbanas. En las áreas urbanas, la contaminación del aire es causada por el tráfico vehicular, las actividades industriales y los fenómenos naturales, lo que resulta en la presencia significativa de contaminantes atmosféricos tanto gaseosos como particulados (Cevallos et al., 2017).

Guayaquil, una de las ciudades más pobladas y con un importante desarrollo industrial en Ecuador (Delgado, 2013), enfrenta desafíos significativos en cuanto a la calidad del aire y la contaminación atmosférica. El crecimiento poblacional y la actividad industrial en constante aumento han generado un incremento en la demanda de energía y mayor cantidad de emisiones de contaminantes a la atmósfera.

En Guayaquil, no hay una red de monitoreo que evalúe de forma constante las condiciones atmosféricas, impidiendo la identificación precisa de cualquier tendencia de deterioro en la calidad del aire a lo largo del tiempo (Ministerio del Ambiente, 2010), en otras palabras, esto dificulta que las autoridades establezcan soluciones para aquellas áreas que exceden los límites máximos permitidos por la normativa ambiental vigente.

1.2.2 Formulación del problema

¿Qué áreas del sector Sur de la ciudad de Guayaquil están superando el límite máximo permisible de 1 mg/cm²/mes. del contaminante atmosférico partículas sedimentables establecido en el Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A?

1.3 Justificación de la investigación

La OMS plantea que la calidad del aire está estrechamente relacionada con el clima del planeta y los ecosistemas de todo el mundo. El estado de la calidad del aire representa una emergencia ambiental y una cuestión social debido a que, con los cambios climáticos se involucra a toda la población, y concierne a las autoridades a nivel local y nacional (Losacco y Perillo, 2018).

A pesar de los esfuerzos realizados por las autoridades competentes, la ausencia de una red de monitoreo de material particulado sedimentable dificulta ampliamente la evaluación precisa de la calidad del aire en la ciudad. Del mismo modo, la implementación de estrategias se ve afectada por falta de datos confiables impidiendo mitigar los impactos negativos de la contaminación atmosférica en la salud de la población y en el ambiente.

Además, la falta de datos monitoreados sobre los niveles de material particulado sedimentable ha dificultado la identificación de las fuentes específicas de contaminación y la aplicación de medidas mitigantes dirigidas a la reducción estas.

Con lo anteriormente expuesto, se planteó la necesidad de establecer una red de monitoreo de material particulado sedimentable al sur de la ciudad de Guayaquil. Esta red permitió recopilar datos precisos y actualizados sobre la calidad del aire de esta zona de la ciudad, con el fin de identificar las áreas con mayores concentraciones de contaminantes y tomar medidas efectivas para mejorar la calidad ambiental y proteger la salud de los habitantes de la ciudad.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se realizó en el sector Sur de la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas en las coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 sur, ver Anexo 1.
- **Tiempo:** El proyecto tuvo una duración de 4 meses (julio, agosto, septiembre y octubre) que incluyó el monitoreo continuo del contaminante cada 30 días.
- **Población:** Se contó aproximadamente con una población de 546.254 habitantes en el distrito Sur. No obstante, los beneficiarios serán los 2.746.403 residentes de la ciudad de Guayaquil como consecuencia de la dispersión del contaminante hacia todos los sectores (INEC, 2022).

1.5 Objetivo General

Estimar las concentraciones de partículas sedimentables mediante la instalación de una red de monitoreo en puntos aleatorios en el sector Sur de la ciudad de Guayaquil para la comparación con los límites máximos permisibles del Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A y correlación con parámetros meteorológicos.

1.6 Objetivos específicos

- Conocer las concentraciones de partículas sedimentables en puntos aleatorios en el sector Sur de la ciudad, mediante el método gravimétrico con envases abiertos recomendado por la norma ASTM D1739 comparando con los límites máximos permisibles del Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A.
- Evidenciar las zonas de mayor concentración de partículas sedimentables mediante la elaboración de mapas de concentraciones utilizando un Software de Sistema de Información Geográfica.
- Correlacionar las concentraciones de partículas sedimentables con variables meteorológicas mediante herramientas estadísticas.

1.7 Hipótesis

Las partículas sedimentables presentes en el sector Sur de la ciudad de Guayaquil durante el tiempo de investigación exceden los límites máximos permisibles de 1 mg/cm²/mes establecido en el Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

De acuerdo con el estudio de Rodríguez y Cuví (2019) titulado “Contaminación del Aire y Justicia Ambiental en Quito, Ecuador” se confirma la existencia de una relación inversa entre la contaminación y valor del suelo, donde las poblaciones que viven en lugares con menor valor del suelo reciben mayor contaminación. Su investigación se realizó utilizando bases de datos de las estaciones del Municipio de Quito. La información de cada estación fue considerada como válida en un radio de 1,5 km para las Partículas Sedimentables y de 0,2 km para el material particulado, cubriendo así extensiones considerables de la ciudad, en donde el máximo histórico registrado de partículas sedimentables fue de 2,86 mg/cm² anual en el 2014.

En la cabecera parroquial de Santiago de Calpi ubicada al suroeste del cantón Riobamba, se evaluó la concentración de material sedimentable, debido a la incidencia de empresas como Unión Cementera Nacional, Petroecuador, fábricas dedicadas a la producción de cal y bloques. Se analizaron 7 muestras, siendo la concentración máxima registrada de 1,218 mg/cm²/mes, esto superó el límite máximo permisible propuesto por la Organización Mundial de la Salud y el TULSMA, así también, se registró una concentración mínima de 0,102 mg/cm²/mes (Santillán et al., 2019).

En el estudio realizado por Tates et al. (2023), se evaluó la calidad del aire en las inmediaciones del terminal portuario Fertisa al sur de Guayaquil, Ecuador. Se emplearon 15 colectores pasivos durante un período de 30 días para recopilar datos, y los resultados se analizaron utilizando el software ArcMap para generar mapas de concentración de contaminantes. Al final de monitoreo obtuvieron un rango de concentración que oscilaba entre 0,20 mg/cm²/mes y 1,98 mg/cm²/mes. Los puntos con mayor concentración fueron P7 (1,98 mg/cm²/mes), P8 (1,66 mg/cm²/mes) y P9 (1,67 mg/cm²/mes). A pesar de las actividades del terminal, la investigación concluyó que la zona cumple con los límites máximos permisibles establecidos del MPS en normativa ecuatoriana vigente.

En su investigación titulada "Caracterización y determinación de concentraciones de material particulado sedimentable en la comunidad de Gatazo Grande Cantón Colta por suceso industrial", Paguay et al. (2023) hallaron que la concentración del contaminante en el punto más cercano a la fuente de emisión

alcanzó un valor de 0.5072 mg/cm²/mes, lo que excede el límite permisible establecido por la OMS. Sin embargo, este valor se encuentra por debajo del límite propuesto por el TULSMA de 1 mg/cm²/mes. Adicionalmente, el estudio empleó un modelo de dispersión geoespacial para establecer una correlación significativa entre la concentración y los factores climáticos y topográficos de la zona. Este análisis permite inferir sobre los potenciales efectos que la constante emisión de contaminantes por parte de la actividad industrial podría tener sobre la salud de la población de Gatazo.

En la Refinería del Pacífico Eloy Alfaro, Ecuador se diseñó una red de monitoreo de la calidad del aire para controlar el impacto ambiental del movimiento de tierras. La red recopiló datos sobre variables meteorológicas y material particulado sedimentable. Los resultados indicaron que los puntos de mayor concentración de polvo se encuentran cerca de escuelas, pero no se asocian a las actividades de la refinería. Se concluye que el movimiento de tierras no ha impactado la calidad del aire en la ciudad de Manta durante este período de muestreo (Junqui, 2019).

Por otra parte, el estudio de (Carrasco et al., 2023) sobre la contaminación ambiental urbana y del espacio público en el centro de Piura, Perú, evidenció que la contaminación del aire perjudica significativamente la calidad y el disfrute de los espacios públicos en las zonas urbanas. No obstante, también se ha demostrado que la incorporación de vegetación en estos espacios puede contribuir a mitigar los efectos negativos de la contaminación, mejorando así la calidad del aire y creando entornos más saludables para los habitantes de las ciudades.

En Cajamarca, Perú en el estudio de los autores Guerra y Gutty (2021) se evaluó la concentración de las partículas sedimentables mediante el método gravimétrico en 15 puntos de los alrededores de las ladrilleras de la zona, debido a que se ha convertido en una gran problemática que crece sin ninguna regulación, generando en la actualidad significativas cantidades de emisiones atmosféricas. Los resultados de la investigación revelaron que 6 de los 15 puntos evaluados presentaban concentraciones de partículas sedimentables superiores a 0,50 mg/cm²/mes. Estos valores exceden los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la calidad del aire, lo que representa un riesgo para la salud pública de las personas que residen en las zonas aledañas a las ladrilleras.

Morales et al. (2020) realizaron un estudio en Santiago de Chile para evaluar la deposición de material particulado sedimentable. Los resultados indicaron que las tasas de deposición variaron entre 2,5 y 3,9 mg/cm²/mes. Se observó un aumento del MPS y sus tasas de sedimentación insoluble durante los meses cálidos y secos, lo que presentó correlaciones significativas con parámetros meteorológicos como la temperatura y la precipitación. Las tasas de sedimentación más altas se registraron en los sitios con superficies menos permeables y menor cobertura de espacios verdes, mientras que las tasas más bajas se encontraron en aquellos con abundantes espacios verdes y suelo permeable. No obstante, no se detectaron diferencias significativas en la composición de los componentes solubles del MPS.

En esa misma línea, en el Departamento de Huánuco, Perú, Livia et al. (2021) llevaron a cabo una evaluación de la contaminación del aire por partículas sedimentables en viviendas de zonas urbanas con alta afluencia vehicular. El estudio, de tipo transversal y descriptivo, se realizó en 12 zonas de monitoreo. Los resultados revelaron que 8 de estas zonas presentaban concentraciones de partículas sedimentables que superaban los límites máximos permisibles. El punto con mayor concentración de contaminante registró 1.148 mg/cm²/mes, mientras que el promedio general fue de 0.892 mg/cm²/mes.

En el estudio de Oré et al. (2023), realizado en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú, se desarrolló una modelación geoespacial para analizar la dispersión del material particulado sedimentable dentro del campus universitario. Con este objetivo, se seleccionaron 10 puntos aleatorios en el campus, donde se evaluó la concentración del material sedimentable y se recopilaron datos meteorológicos de velocidad y dirección del viento. Posteriormente, estos datos se procesaron mediante el programa AERMOD para generar un modelo que simula la dispersión del contaminante en el campus. Los resultados del estudio demostraron una fuerte correlación entre la dispersión de contaminantes y la dirección prevalente del viento, así como una adecuada distribución del contaminante en relación con la topografía del terreno.

2.2 Bases científicas y teóricas

2.2.1 Contaminación ambiental

Es la presencia la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos en el medio ambiente que, en ciertas concentraciones, pueden ser perjudiciales para la salud humana. Las principales afectaciones ambientales se dan en los recursos suelos, agua y aire, provocando alteraciones en la salud de los seres vivos y consecuencias en el cambio climático (Palacios y Moreno, 2022). Un contaminante puede tener su origen en fuentes naturales, antropogénicas o ambas (Brusseau et al., 2019).

2.2.2 Contaminación del aire

Es referente a la presencia de contaminantes en el aire por la liberación de sustancias nocivas a un ritmo que supera la capacidad natural de la atmósfera para procesarlas. Estos contaminantes, que pueden ser transformados, precipitados, depositados o dispersados por el viento y el movimiento del aire, se acumulan en la atmósfera cuando se liberan en exceso (Romero et al., 2006).

Las fuentes de los contaminantes atmosféricos son diversas y cada una presenta características distintivas en función de su composición química, origen y condiciones de generación (Schraufnagel et al., 2019). La contaminación del aire se caracteriza por un aumento de la capacidad oxidante de la atmósfera, una visibilidad atmosférica reducida y el deterioro de la calidad del aire (Wang et al., 2014).

2.2.2.1. Emisiones

Liberación de contaminantes al ambiente por parte de las industrias, principalmente en forma de partículas de polvo, gases y humo, sobrepasando los límites establecidos para la calidad del aire (Munsif et al., 2021).

El conocimiento de estas emisiones son una valiosa herramienta de gestión ambiental para el control y mitigación de la contaminación atmosférica (Cuesta et al., 2017). Siguiendo los planteamientos de Gómez (2011), se encontró una relación directa entre crecimiento económico y emisiones contaminantes.

2.2.2.2. Inmisiones o Calidad del aire.

Referente a las diversas concentraciones de contaminantes presentes en la atmósfera, Aránguez et al. (1999) plantean que el conocimiento preciso de los niveles de inmisión en el aire ambiente permite una aproximación a la dosis real a la que está expuesta la población.

En la calidad de aire se establecen las concentraciones y límites de los períodos de exposición de modo que el riesgo producto de la exposición a contaminantes se encuentre dentro de límites aceptables socialmente (Matus c. y lucero ch., 2002). La modificación de la composición de la atmósfera por causas antropogénicas o naturales altera la calidad del aire (Querol, 2008).

2.2.3 Contaminación por partículas

En la atmósfera también se pueden formar gases y partículas contaminantes, en gran parte a partir de los contaminantes primarios (Schraufnagel et al., 2019). Brusseau et al. (2019) afirman que las partículas pueden poseer componentes tóxicos depositados en su superficie. En esa misma línea, material complementario proporciona detalles de las tasas de emisión y otros parámetros (Patiño-Aroca et al., 2024). Además, Lagler et al. (2019) exponen al material particulado como el contaminante exterior más dañino para la salud humana.

2.2.4 Material particulado

El material particulado está compuesto de partículas sólidas y líquidas, suspendidas y dispersas en el aire. Debido a que son de diferente tamaño y forma, se han clasificado en términos de diámetro aerodinámico (Sbarato et al., 1999). El PM contiene iones inorgánicos, metales trazas, carbono elemental, materia orgánica carbonácea y agua. La fracción orgánica es especialmente compleja y contiene cientos de compuestos orgánicos. Díaz y Páez (2006) destacan que las partículas primarias son emitidas directamente al aire del ambiente, mientras las secundarias son formadas en la atmósfera por transformaciones de las emisiones gaseosas.

2.2.4.1. Clasificación de material particulado.

El material particulado cuenta con amplio rango de tamaños clasificados de acuerdo a su diámetro aerodinámico (Díaz y Páez, 2006). El tamaño es el parámetro más importante de las partículas en términos de su comportamiento y, por lo tanto, de su distribución en la atmósfera (Rojas y Garibay, 2003).

2.2.4.1.1. Partículas gruesas.

Este grupo de partículas está constituido por aquellas cuyo diámetro aerodinámico se centra alrededor de las 10 micras, PM₁₀. Las partículas gruesas (PM₁₀) resultan principalmente de procesos mecánicos como la resuspensión, abrasión o fricción, son predominantemente de origen natural o geológico. Pueden ser por ejemplo esporas, polen, suelos, partículas de hojas, polvos generados por el tráfico o producto del desgaste de las plantas y partículas de emisiones industriales (Sbarato et al., 1999).

2.2.4.1.2. Partículas finas.

Las partículas con un diámetro aerodinámico menor a 2.5 μm (PM_{2.5}) son generalmente referidas como partículas finas y están implicadas en efectos a la salud humana. El PM_{2.5} contribuye a la mala visibilidad, tanto en zonas urbanas y rurales, y también ha tenido un impacto sobre el cambio climático global debido a las propiedades de absorción de luz de carbono elemental (Sbarato et al., 1999). El PM_{2.5} proveniente del diésel es un contaminante tóxico del aire debido a que causa problemas respiratorios, cardiovasculares y a sus propiedades carcinogénicas, e induce reacciones alérgicas (Gutierrez et al., 2012).

2.2.4.1.3. Partículas ultrafinas.

Las partículas ultrafinas resultan ser aquellas menores a 0,1 μm (Santillán Liman et al., 2019). Debido a su pequeño tamaño, las partículas ultrafinas suponen el 80-90% del número total de partículas en el aire urbano (Rodríguez et al., 2005). Las partículas ultrafinas acceden a las células móviles y pueden transportarse a todas partes del cuerpo (Schraufnagel et al., 2019).

2.2.4.2. Partículas Totales Suspendidas (TSP).

Son partículas que están presentes en el aire que se respira (permanecen suspendidas), constan de diferentes rangos de tamaño y presentan así mismo características propias y definidas en función de los distintos procesos de formación (Salvador y Artíñano, 2000).

2.2.5 Material Particulado Sedimentable

Es aquel que tiene un tamaño igual o mayor a 10 μm . El MPS contiene partículas en combinación con otros contaminantes derivados de procesos de combustión o compuestos que, estando suspendidos en la atmósfera, pueden sedimentar junto al polvo, siendo otra vía de ingreso al cuerpo humano además de las vías respiratorias y ocasionando problemas del mismo tipo (Carranza et al., 2021).

2.2.6 Método gravimétrico con envases abiertos (Colectores pasivos)

De acuerdo con la Norma Internacional ASMT D-1739 este método de prueba cubre un procedimiento para la recolección de caída de polvo y su medición. Se preparan y se suministran contenedores de tamaño y forma estándar, sellados y luego abiertos e instalados en sitios elegidos apropiadamente para que las partículas puedan depositarse en ellos por periodos de unos 30 días.

2.2.7 Sistemas de información geográfica (SIG)

López et al. (1998) citan la conceptualización del Centro Nacional de Análisis e Información Geográfica [NCGIA] de Estados Unidos para enunciar que "Un SIG es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación".

2.2.7.1. Mapas de concentraciones.

Representan protocolos matemáticos que permiten estimar la concentración de un contaminante específico en el ambiente. Estos modelos se basan en una serie de parámetros de entrada, tales como condiciones meteorológicas, topografía del terreno, entre otros (Arciniégas Suarez, 2011).

La concentración del contaminante en un punto determinado puede verse afectada por diversos factores, como la convergencia o divergencia de los vientos.

En este sentido, los modelos de calidad del aire resultan de gran utilidad para predecir las concentraciones futuras de contaminantes provenientes de múltiples fuentes (Ordoñez-Sánchez et al., 2018).

2.2.7.2. Interpolación.

La interpolación espacial constituye una técnica que posibilita la estimación del valor de una variable en un punto no muestral del espacio, a partir de los valores conocidos de dicha variable en puntos muestrales circundantes. Esta metodología permite generar información en áreas donde no se cuenta con datos directos, pero sí se dispone de mediciones en localizaciones adyacentes (Bosque Sendra, 1997).

2.2.7.2.1. Distancia Inversa Ponderada (IDW).

Se caracteriza por otorgar ponderaciones diferenciales a los puntos de muestra durante el proceso de estimación. Estas ponderaciones se encuentran inversamente relacionadas con la distancia que separa cada punto de referencia del punto desconocido que se busca interpolar. En otras palabras, la influencia de un punto de muestra en la estimación final disminuye a medida que aumenta la distancia entre este y el punto de interés (QGIS Development Team, 2024).

2.2.7.2.2. Krigging.

Método de inferencia espacial que permite estimar valores de una variable en puntos no muestreados, aprovechando la información proporcionada por los datos de una muestra. Este método se caracteriza por proporcionar el mejor estimador lineal no sesgado, minimizando la varianza del error de estimación (Porras Velázquez, 2017).

La popularidad de este método contrasta con su complejidad matemática y los estrictos requisitos de calidad para la muestra de puntos y las mediciones de la variable a interpolar, lo que lo convierte en una técnica exigente (Sarría, 2006).

2.2.8 Variables Meteorológicas

Las condiciones meteorológicas y climatológicas influyen de manera muy importante en la calidad del aire (Gaitán et al., 2007).

2.2.8.1.Velocidad del viento (m/s).

Existen aportes episódicos de partículas transportados de largas distancias influenciados principalmente por los vientos ya sean estos alisios, del Oeste o Polares e incluso por las brisas marinas (Andrade et al., 2015). esta variable climática es la que determina el tiempo de viaje de los contaminantes desde las fuentes hasta el receptor (Ramos, 2023).

2.2.8.2.Dirección del viento (°).

Durante la estación húmeda existen ligeros cambios en la dirección habitual del viento, el transporte de aerosoles se ve afectado bajo estas condiciones (Andreae et al., 2015). Esta variable no implica una eliminación del contaminante de la zona sino una dispersión en distinta dirección la cual será la misma al volver al mismo sentido (Puigcerver y Carrascal, 2008).

2.2.8.3.Precipitación (mm).

En temporada de lluvias la concentración de aerosoles es notablemente baja siendo considerado un “periodo Limpio” (Andreae et al., 2015). Las precipitaciones forman un lavado de la atmosfera disolviendo algunos compuestos y los deposita en el suelo (Puigcerver y Carrascal, 2008).

2.2.8.4.Humedad relativa (%).

Gulshan et al.(2021) firman que la humedad relativa es la variable más importante debido a que controla las concentraciones de materia particulada en el aire.

2.2.8.5.Temperatura ambiente (°C).

A mayor temperatura se aumenta la reactividad de los constituyentes gaseosos en el aire atmosférico, lo que da lugar a una mayor producción de material particulado (Ramos, 2023).

2.3 Marco legal

2.3.1 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 ecológicamen 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.

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. El Estado garantizará este derecho mediante políticas económicas, sociales, culturales, educativas y ambientales; y el acceso permanente, oportuno y sin exclusión a programas, acciones y servicios de promoción y atención integral de salud, salud sexual y salud reproductiva. La prestación de los servicios de salud se regirá por los principios de equidad, universalidad, solidaridad, interculturalidad, calidad, eficiencia, eficacia, precaución y bioética, con enfoque de género y generacional (pág. 18).

Capitulo 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.

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.

Título VI. Régimen de desarrollo. Capítulo I. Principios Generales.

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: 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 (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

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.

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.

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.

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.

2.3.2 Código Orgánico del Ambiente.

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 (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

Libro Tercero. De la Calidad Ambiental

Título II. Sistema Único de Manejo Ambiental. 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, 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.

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.

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;

2.3.3 Ley Orgánica de la Salud

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 (Ley Orgánica de Salud, 2015).

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.

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.

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.

2.3.4 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019).

Registro Oficial Suplemento 507 de 12-jun.-2019

Libro Tercero

Calidad Ambiental

TITULO II

Prevencion de la contaminacion ambiental

CAPITULO VI

Art. 461.- Normas de calidad ambiental.- La definición de criterios y normas técnicas que garanticen la calidad ambiental y de los componentes bióticos y abióticos, así como los límites permisibles, se realizará con el sustento técnico y científico del caso en virtud de la realidad geográfica del territorio, condiciones especiales u otras necesidades de cada jurisdicción y considerando los criterios emitidos por la Autoridad Ambiental Nacional para el efecto.

TITULO IV

Proceso de participacion ciudadana para la regularizacion ambiental

CAPITULO III

Art. 483.- Monitoreos.- Los monitoreos serán gestionados por los operadores de proyectos, obras o actividades mediante reportes que permitan evaluar los aspectos ambientales, el cumplimiento de la normativa ambiental y del plan de manejo ambiental y de las obligaciones derivadas de las autorizaciones administrativas otorgadas. La Autoridad Ambiental Competente, en cualquier momento, podrá disponer a los sujetos de control la realización de actividades de monitoreo de calidad ambiental. Los costos de dichos monitoreos serán cubiertos por el operador.

Art. 497.- Vigilancia ciudadana o comunitaria.- La vigilancia ciudadana o comunitaria tiene como objetivo la participación de personas naturales o jurídicas, comunas, comunidades, pueblos o nacionalidades, organismos públicos o privados, en las actividades de control y seguimiento de la calidad ambiental de obras, proyectos o actividades que puedan generar impacto ambiental. Para participar en actividades de vigilancia ciudadana o comunitaria, los interesados deberán solicitar la autorización previa de la Autoridad Ambiental Competente del lugar donde se realice la actividad en cuestión, debiendo cumplir con los lineamientos que para el efecto dicte la Autoridad Ambiental Nacional.

2.3.5 Acuerdo Ministerial No. 0-97 – Anexo 4

Norma de calidad de aire ambiente

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 ($1 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ d}$).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es de carácter cuantitativo, el cual se caracteriza por la recolección y análisis de datos numéricos con el objetivo de establecer relaciones entre variables. Este enfoque se basa en la medición sistemática de la sedimentación de partículas mayores a 10 μm en los colectores pasivos ubicados en los 10 puntos seleccionados y la aplicación de técnicas estadísticas para el análisis de los datos obtenidos del monitoreo sistemático de cada 30 días, estableciendo así relaciones de correlación entre la concentración de estas partículas y las variables meteorológicas cuantificables seleccionadas (Abdellah y Levine, 1994).

3.1.1 Tipo y alcance de la investigación

3.1.1.1. Investigación documental.

La investigación se realizó mediante un enfoque documental, analizando información y datos existentes sobre el análisis de partículas sedimentables mediante colectores pasivos. Se estudiaron documentos como investigaciones previas y reflexiones de expertos para construir la base teórica del área de estudio (Morales, 2003).

3.1.1.2. Investigación de campo y laboratorio.

Adicionalmente, la investigación se desarrolló en un entorno de campo y laboratorio. Neill y Cortez (2018) definen la investigación de campo como aquella que se lleva a cabo en el lugar donde se manifiesta el fenómeno de estudio. Se tuvo por objeto establecer una red de monitoreo de la concentración de este contaminante y comprender las interrelaciones de las partículas sedimentables con el entorno en el que este se desenvuelve.

3.1.1.3. Investigación correlacional.

Del mismo modo, la investigación tuvo un alcance correlacional, lo que implicó la formulación de una hipótesis que establece una relación entre dos o más variables. Tal como lo indica Ramos-Galarza (2020), este tipo de alcance requiere la aplicación de métodos estadísticos inferenciales para determinar si existe una asociación significativa entre las variables en estudio. En el presente caso, se

evidenció relación entre la concentración del material particulado sedimentable y las variables climatológicas previamente seleccionadas

3.1.2 Diseño de investigación

La presente investigación se enmarca dentro de un diseño no experimental, caracterizado por la observación sistemática del entorno sin manipular las variables. Se estableció una red de monitoreo sin intervención o participación con el entorno observable, se contó con 10 colectores pasivos ubicados de manera aleatoria en el sector sur mismos que en el interior contaban con un filtro de fibra de vidrio encargado de retener partículas mayores a 10 micras.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

Según el tipo de investigación, se incluyen las variables.

3.2.1.1. Variable independiente.

- Puntos de muestreo (coordenadas UTM WGS084)
- Periodo de muestreo (meses)
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del viento (°)
- Precipitación (mm)
- Humedad relativa (%)
- Temperatura ambiente (°C)

3.2.1.2. Variable dependiente.

- Concentración de partículas sedimentables (mg/cm²/30días)

3.2.2 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1.

Matriz de variables dependientes

Variable dependiente			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Concentración de partículas sedimentables	Cuantitativo	razón	(mg/cm ² /30días)

Elaborado por: La Autora, 2025.

Tabla 2.
Matriz de variables independientes

Variables independientes			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Puntos de muestreo	Cuantitativa	Razón	Coordenadas UTM de los puntos de monitoreo
Periodo de muestreo	Cuantitativa	Razón	Tiempo en meses durante el cual se realiza el monitoreo
Velocidad del viento	Cuantitativa	Ordinal	Velocidad del viento medida en metros por segundo (m/s)
Dirección del Viento	Cuantitativa	Razón	Dirección del viento expresada en grados (°)
Precipitación	Cuantitativa	Razón	Cantidad de precipitación registrada en milímetros (mm)
Humedad Relativa	Cuantitativa	Razón	Porcentaje de humedad relativa del aire (%)
Temperatura Ambiente	Cuantitativa	Razón	Temperatura ambiental medida en grados centígrados (°C)

Elaborado por: La Autora, 2025.

3.2.3 Recolección de datos

3.2.3.1. Recursos.

Dentro de la presente investigación, para estimar la concentración de la contaminación atmosférico por material particulado sedimentable se aplicó tales recursos como:

- **Recursos bibliográficos:** Se hizo uso de artículos científicos, revistas de carácter científico, páginas web, libros electrónicos, monografías y tesis de grado.
- **Recursos tecnológicos:** Laptop, pendrive, impresora, celular y GPS
- **Recursos materiales:** Hojas, libreta de apuntes, calculadora, lápices, bolígrafos.
- **Recursos de software:** Se empleó Word, Excel, Power Point, WR PLOT, Python y Qgis 3.36.1 para la elaboración del mapa de concentración de material particulado sedimentable mediante interpolación.

3.2.3.2. Métodos y técnicas.

3.2.3.2.1. Estimación de las concentraciones de partículas sedimentables en puntos aleatorios en el sector Sur de la ciudad, mediante el método gravimétrico con envases abiertos recomendado por la norma ASTM D1739 comparando con los límites máximos permisibles del Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A.

- Selección de puntos de monitoreo

La selección de puntos de monitoreo para partículas sedimentables en la ciudad de Guayaquil se basó en los lineamientos establecidos en la Norma ASTM D1357-95, titulada "Práctica estándar para planificar el muestreo de la atmósfera ambiente". Esta norma define dos criterios fundamentales para la selección de dichos puntos:

1. Seguridad física del personal de monitoreo: Se priorizó la ubicación de los puntos de monitoreo en zonas que garanticen la integridad física del personal encargado de la recolección de datos.

2. Protección del equipo de monitoreo: Se seleccionaron puntos de monitoreo que brinden resguardo adecuado al equipo. Esto incluyó proteger el equipo de condiciones climáticas extremas, vandalismo y robos.

La norma recomienda un radio entre 5 a 8 km, no obstante, en la ciudad de Guayaquil no se cumple con este criterio. Por este motivo se utilizó la metodología de puntos aleatorios en conjunto con el criterio de seguridad anteriormente expuesto (ver Anexo N°3).

- Preparación de los colectores pasivos

Se seleccionó el uso de colectores pasivos para la recolección de las muestras de partículas sedimentables que cumplió las indicaciones recomendadas por la Norma ASTM D1739-98 (Método de prueba estándar para la recopilación y medición de la caída de polvo: materia particulada sedimentable), que se utilizó envases de tubo plástico tipo PVC resistentes a la intemperie con una tapa ajustada para cada contenedor, y con una abertura no menor de 150 mm (6 pulgadas) de diámetro y una altura no menor a dos veces su diámetro. Con el propósito de eliminar cualquier residuo o impureza que pueda afectar las mediciones, cada colector pasivo fue lavado con detergente y agua destilada. Este procedimiento se

realizó previo a la instalación de los colectores en sus respectivos puntos de monitoreo.

Siguiendo las recomendaciones de Almirón et al.,(2008) los filtros de fibra de vidrio empleados para la captura de material particulado sedimentable se sometieron a un proceso de secado previo a su uso. Este pretratamiento tuvo como objetivo eliminar la humedad presente en los filtros antes de su utilización en el monitoreo ambiental. Para ello, estuvieron a una temperatura controlada de 60°C en una estufa durante un período de 24 horas garantizando que estos se encuentren completamente secos antes de la recolección de partículas.

Además, cada colector pasivo contó con una marca de identificación única, legible y resistente a la intemperie. Esta identificación incluyó el sector de monitoreo, el punto de muestreo específico y el mes en que se realizó la recolección para facilitar la organización y el análisis de los datos recolectados (ver Anexo N° 2).

- Ubicación de los colectores pasivos

Después de seleccionar los puntos de monitoreo de acuerdo con los criterios de la Norma ASTM D1357 – 95, se procedió a ubicar los colectores pasivos a una elevación de 2 m sobre el nivel del suelo, mediante el uso de alambre que sujetará cada colector. Además, se realizará una revisión para comprobar el estado de los colectores pasivos.

- Monitoreo de partículas sedimentables

Una vez cumplidos los 30 días se recogían las muestras que eran protegidas con una funda plástica, misma que era sellada cuidadosamente evitando cualquier tipo de alteración a la muestra. El monitoreo se realizó durante 4 meses correspondientes de Julio a octubre, con un inicio del 01 de julio del 2024 hasta el 31 de octubre 2024. Se realizó una recolección de la muestra cada 30 días, es decir se llevaron a cabo 4 recolecciones, mismas que procedían a ser pesadas y registradas en el laboratorio.

- Pesaje y análisis de la muestra

De acuerdo con la norma ASTM D1739 se determinó la Materia Insoluble y Soluble total de las concentraciones obtenidas.

-Materia Insoluble:

1. Limpiar cuidadosamente un plato de evaporación con agua y jabón o un detergente suave. Enjuagar con abundante agua destilada y secar completamente con un paño limpio o papel absorbente. Marcar el plato de evaporación con un número de identificación único.

2. Doblar un papel de filtro sin pelusa por la mitad y colocarlo dentro del plato de evaporación previamente preparado. Secar el plato de evaporación con el papel de filtro en el horno a una temperatura de 105 °C durante al menos una hora. Este paso elimina cualquier rastro de humedad del papel de filtro. Una vez fríos, pesar el plato y el papel de filtro juntos con una precisión de 0.1 mg. Anotar este valor como "peso de tara para la materia insoluble".

3. Humedecer el papel de filtro dentro del embudo Buchner con una pequeña cantidad de agua destilada, Colocar el embudo Buchner con el papel de filtro humedecido sobre el matraz del filtro. Si el recipiente que contiene la muestra a analizar está seco, agregar agua destilada hasta alcanzar un volumen total de 200 ml. Si el recipiente ya contiene líquido, asegurarse de que el volumen total sea de al menos 200 ml.

4. Agitar suavemente el recipiente para suspender las partículas sedimentadas. raspar las paredes del recipiente y transferir las partículas sólidas al embudo Buchner vertiendo cuidadosamente el líquido y las partículas suspendidas sobre el papel de filtro. El líquido que pasa a través del filtro (filtrado) se recoge en el matraz del filtro. Este filtrado se reservará para la determinación de materia soluble en un análisis posterior. Enjuagar el recipiente original con aproximadamente 100 ml de agua destilada y transferir los restos sólidos que queden en el recipiente al filtro a través del tamiz

5. Medir y registrar el volumen del filtrado en una probeta graduada. Reservar el filtrado para la determinación de materia soluble. Enjuagar el recipiente con aproximadamente 100 ml de agua destilada y transferir los restos sólidos del recipiente al filtro a través del tamiz, utilizando la espátula flexible si es necesario. Desechar el filtrado del enjuague y colocar el papel de filtro con el material insoluble dentro del plato tarado y llevarlo al horno. Secar el plato y el papel de filtro durante al menos 90 minutos a una temperatura de 105 °C. Retirar el plato y el papel de filtro del horno y dejarlos enfriar a temperatura ambiente en un desecador durante al menos una hora eliminando así cualquier rastro de humedad del aire

6. Pesar el plato seco y el papel de filtro con el material insoluble con una precisión de 0.1 mg. Repetir el procedimiento de secado en el horno y enfriamiento en el desecador hasta obtener un peso constante. Esto significa que no hay más cambios en la masa del material insoluble.

7. Para determinar el peso del material insoluble, restar el peso inicial del plato y el papel de filtro del peso final obtenido después del secado y enfriamiento recordando que:

$$\text{Materia insoluble} = \text{peso final} - \text{peso de tara} \quad (1)$$

Materia Soluble Total:

1. Preparación del plato de evaporación Seguir los mismos pasos que para la materia insoluble (pasos 1 y 2).

2. Transferir todo el filtrado obtenido en el paso 4 de la determinación de materia insoluble al vaso de precipitados de 1000 ml. Si el volumen total del filtrado es menor a 500 ml, medir y registrar la cantidad exacta transferida. Calentar el vaso de precipitados hasta que el volumen se reduzca a aproximadamente 50 ml. Anotar si el volumen total del filtrado original fue menor a 500 ml, ya que esto afectará el cálculo final.

3. pesar el plato de evaporación con una precisión de 0.1 mg y registrar este valor como "peso de tara". Transferir cuantitativamente el filtrado concentrado del vaso de precipitados al plato de evaporación tarado. Continuar la evaporación del filtrado en el plato de evaporación, esta vez a fuego muy lento, hasta que el líquido se haya evaporado por completo y solo quede un residuo seco. Colocar el plato de evaporación con el residuo seco en un horno y secarlo durante 2 horas. Retirar el plato de evaporación del horno y dejarlo enfriar en un desecador durante al menos 1 hora. Una vez frío, pesar el plato de evaporación con el residuo seco con una precisión de 0.1 mg y registrar este valor. Repetir el proceso de secado, enfriamiento y pesado hasta obtener una masa constante

4. Para determinar la cantidad de materia soluble total, restar el peso inicial del plato de evaporación (peso de tara) del peso final obtenido después del secado:

$$\text{Materia soluble} = \text{Peso final (peso y residuo seco)} - \text{Peso de tara (Plato)}. \quad (2)$$

El resultado es el peso de materia soluble total.

- Comparación de datos obtenidos con el Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A.

Se realizó la comparación de los datos con los límites permisibles establecidos en la normativa vigente de 1mg/cm²/30días con el fin de establecer qué puntos seleccionados muestran mayores concentraciones de material particulado sedimentable. Se estableció una comparación con la norma de calidad de aire ambiente del Acuerdo ministerial 097A -Anexo IV, la información recolectada, se presentó mediante un gráfico de Cajas y Bigotes con la utilización del programa Python en donde se conoció las concentraciones mensuales que cumplen y las que exceden los límites expuestos con anterioridad.

3.2.3.2.2. Evidenciar las zonas de mayor concentración de partículas sedimentables mediante la elaboración de mapas de concentraciones utilizando un Software de Sistema de Información Geográfica.

Al culminar los periodos establecidos del monitoreo, se procedió con la elaboración de mapas que nos reflejan como se concentra este contaminante en las zonas seleccionadas y qué áreas poseen mayor presencia del contaminante. Se utilizó un Sistema de Información Geográfica para la creación del mapa, obteniendo imágenes satelitales proporcionadas por Google Earth, en este caso se hará uso del Software libre y gratuito Qgis 3.36.1 adecuando sus herramientas de interpolación a los datos recolectados en el monitoreo. Se aplicó el método de interpolación que se adecuó mejor a la normalidad de los datos.

3.2.3.2.3. Correlación de las concentraciones de partículas sedimentables con variables meteorológicas mediante herramientas estadísticas.

- Levantamiento de información meteorológica

De acuerdo con la Norma ASTM D1357 – 95 los parámetros meteorológicos más importantes en un programa de muestreo atmosférico son:

Dirección y velocidad del viento, el grado de persistencia en la dirección y la ráfaga. No obstante, la Temperatura, humedad, precipitación, son importantes para evaluar el potencial de contaminación de un área y deben considerarse en la planificación de un programa de monitoreo y en la interpretación de los datos.

Para el proyecto se solicitó la información meteorológica y climatológica pertinente al departamento de meteorología local INOCAR mediante una solicitud formal una vez que el monitoreo sistemático finalizó.

- Correlación de datos con variables meteorológicas

Se utilizó las variables meteorológicas (precipitación, temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento) como líneas de tendencia, para conocer el comportamiento de estas durante el tiempo de 30 días de medición en el que se realizó el muestreo. Con la información meteorológica obtenida del INOCAR, se planteó la correlación existente entre las variables meteorológicas estudiadas analizando como estas afectan de forma directa a las concentraciones obtenidas.

- Histogramas

Para la variable de la Velocidad el viento, se empleó histogramas. Esta herramienta gráfica permitió representar la frecuencia de diferentes rangos de velocidad del viento durante el periodo del monitoreo, identificando patrones, tendencia y valores atípicos en los datos.

- Rosa de los vientos

Se elaborará un diagrama de Rosa de Vientos para representar gráficamente la distribución de la velocidad y dirección del viento en los puntos de monitoreo. Analizando en qué sentido y con qué frecuencia se dispersa el contaminante estudiado.

- Series temporales

El análisis de series temporales se utilizó para comprender el comportamiento de variables que cambian con el transcurso del tiempo, tales como la precipitación, la humedad relativa y la temperatura ambiente.

3.2.4 Análisis estadístico

Para profundizar en el análisis de las concentraciones obtenidas ($\text{mg}/\text{cm}^3 \cdot 30 \text{ días}$), este trabajo de investigación se utilizó herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales.

3.2.4.1. Estadística descriptiva.

En la presente investigación se aplicó la estadística descriptiva a las concentraciones del contaminante obtenidas a partir del monitoreo sistemático. El análisis se enfocó en determinar el promedio y las medidas de tendencia central

3.2.4.1.1. *Mínimo y Máximo.*

El mínimo del material particulado sedimentable durante el período de monitoreo representa la menor concentración de partículas registrada en un determinado lapso de tiempo, mientras que el máximo es la mayor concentración registrada en cada punto.

3.2.4.1.2. *Media.*

La media del material particulado sedimentable durante el período de monitoreo se obtuvo sumando los valores promedios recuperados y dividiendo la suma por el total de datos registrados. La fórmula estadística de la media es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{x^1 + x^2 + \dots + x^n}{n} \quad (3)$$

Dónde:

$\bar{x}$ = Media

$x^1 + x^2$ = Numero de promedios registrados

n = Total de promedios

3.2.4.1.3. *Desviación estándar.*

La desviación estándar se obtiene mediante la raíz cuadrada de la varianza. La fórmula para calcular la desviación estándar es la siguiente:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Donde:

σ = Desviación estándar

$\sum$ = Suma de

x_i = Valor de un conjunto de datos

$\bar{x}$ = Media del conjunto de datos

N = Número de datos

3.2.4.2. Estadística inferencial.

Se aplicó estadística inferencial a los datos para evaluar su normalidad mediante un test estadístico adecuado. Posteriormente, se correlacionó las variables meteorológicas y la concentración de material particulado sedimentable, obteniendo el coeficiente de correlación mediante la asociación de las variables.

3.2.4.2.1. T de Student

Para comprobar el cumplimiento con la legislación ambiental actual se empleó la prueba estadística paramétrica T de Student de una muestra con un nivel de significancia del 5% (0.05):

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} \quad (5)$$

Donde:

μ = media

$\bar{x}$ = media muestral

n = tamaño de la muestra

s = error estándar de la muestra

3.2.4.2.2. Test de Shapiro-Wilk.

En esa misma línea, se realizó el test de normalidad de Shapiro-Wilk para evaluar si el conjunto de datos obtenidos de las concentraciones del contaminante proviene o no de una distribución normal utilizando su fórmula:

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

Donde:

W = Estadístico de prueba (0 y 1)

a = Coeficiente del tamaño de la muestra

X_i = Valor de un conjunto de datos

$\bar{x}$ = media muestral

n = tamaño de la muestra

Se utilizó del programa Python 3.12.4 que nos proporcionó el valor estadístico de prueba (W) y el valor p . Se comparó el valor p con un nivel de significancia (α) al 5% en donde:

- Valor $p > \alpha$: No se rechaza la hipótesis nula (H_0). Hay evidencia para sugerir que los datos de partículas sedimentables provienen de una distribución normal.
- Valor $p \leq \alpha$: Se rechaza la hipótesis nula (H_0). Hay evidencia para sugerir que los datos de partículas sedimentables no provienen de una distribución normal.

Si el test de normalidad indica una distribución normal en los datos, se utilizará la correlación de Pearson. Si los datos no constan con una distribución normal se usará la correlación de Spearman.

3.2.4.2.3. Correlación de Pearson.

Se mide el grado de relación de las variables teniendo en cuenta que deben ser cuantitativas y continuas, mediante la siguiente formula:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X-\mu_X)(Y-\mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (7)$$

Donde:

σ_{XY} : Covarianza de las variables

σ_X : desviación estándar de la variable X

σ_Y : desviación estándar de la variable Y

Una vez obtenido coeficiente de relación de Pearson (r) entre cada variable meteorológicas y la concentración del MPS, se interpretará el resultado de la siguiente manera:

$r = -1$: Correlación negativa perfecta

$r = 0$: Nula o inexistente correlación

$r = 1$: Correlación positiva perfecta

No obstante, a pesar de que se observe una correlación positiva entre las variables, esto no implicará necesariamente una relación de causalidad entre ellas. La existencia de una correlación no significa que una variable cause la otra.

3.2.4.3. Gráficos estadísticos.

Con el objetivo de mejorar la comprensión de los resultados obtenidos, se emplearon gráficos estadísticos como diagramas de cajas y bigotes, series temporales, histogramas y rosa de vientos, permitiendo así, una representación más clara y efectiva de los datos analizados.

4. RESULTADOS

4.1 Concentraciones de partículas sedimentables mediante el método gravimétrico comparando con los límites máximos permisibles del Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A.

El monitoreo sistemático del MPS se llevó a cabo en diversas zonas del sector sur de la ciudad de Guayaquil, utilizando el método gravimétrico. Para ello, se establecieron 10 estaciones de monitoreo, cada uno equipado con un colector pasivo y un filtro de microfibra de vidrio capaz de retener partículas mayores a 10 μm en su interior. Este estudio se desarrolló durante cuatro meses, de julio a octubre, siguiendo los parámetros recomendados en normativa ASTM D1739. Las concentraciones de MPS fueron determinadas mediante el pesaje de las muestras recolectadas en una balanza analítica en el laboratorio. La concentración del MPS se calculó considerando el peso total del material sedimentable distribuido entre la fracción soluble e insoluble, el área del colector (182.41 cm^2) y el periodo de recolección (30 días).

Tabla 3.

Material particulado sedimentable (MPS) durante el mes de Julio

Punto	materia soluble (mg)	materia insoluble (mg)	peso total del MPS (mg)	área del colector (cm^2)	concentración MPS ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$)
S01J	104	206	310	182.41	1.70
S02J	43	132	175	182.41	0.96
S03J	30	113	143	182.41	0.78
S04J	33	121	154	182.41	0.84
S05J	31	123	154	182.41	0.84
S06J	42	204	246	182.41	1.35
S07J	39	114	153	182.41	0.84
S08J	45	123	168	182.41	0.92
S09J	85	110	195	182.41	1.07
S10J	67	132	199	182.41	1.09

Elaborado por: La Autora, 2025.

En la Tabla 3 se presentan las concentraciones de MPS correspondientes al primer monitoreo, realizado entre el 01 y el 30 de julio. Las concentraciones registradas oscilaron entre 0.78 $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$ en el punto S03J y 1.70

mg/cm²*30 días en el punto S01J, lo que evidencia una variabilidad del contaminante dentro de las estaciones de monitoreo.

Los puntos S01J y S06J registraron las concentraciones más elevadas, con 1.70 y 1.35 mg/cm²*30 días, lo que sugiere una mayor acumulación de partículas sedimentables en estas zonas. El punto S03J presentó la concentración más baja, indicando una menor carga de MPS.

Por otra parte, se observa un predominio de la fracción insoluble en la mayoría de las estaciones, lo cual podría estar relacionado a que las partículas sedimentables provienen de resuspensión de polvo del suelo, tránsito vehicular y actividades antropogénicas. La fracción soluble, representa un menor porcentaje del peso total. Además, se puede notar una tendencia de 0.84 mg/cm²*30días como concentración en tres distintos puntos.

Tabla 4.

Material particulado sedimentable (MPS) durante el mes de agosto

Punto	materia soluble (mg)	materia insoluble (mg)	peso total del MPS (mg)	área del colector (cm ²)	concentración MPS (mg/cm ² *30 días)
S01A	7	196	356	182.41	1.95
S02A	15	138	222	182.41	1.22
S03A	15	122	209	182.41	1.15
S04A	33	115	146	182.41	0.81
S05A	1	171	242	182.41	1.33
S06A	5	645	735	182.41	4.03
S07A	2	119	181	182.41	0.99
S08A	1	122	190	182.41	1.04
S09A	3	176	280	182.41	1.54
S10A	2	136	236	182.41	1.29

Elaborado por: La Autora, 2025.

Los resultados correspondientes al segundo monitoreo, presentados en la Tabla 4, evidencian un incremento de las concentraciones de MPS respecto al mes de julio, así como una mayor dispersión de los valores obtenidos. Las concentraciones variaron entre 0.81 mg/cm²*30 días en el punto S04A y 4.03 mg/cm²*30 días en el punto S06A.

El valor máximo registrado en el punto S06A representa un aumento considerable con los demás puntos y se atribuye a la presencia de escombros de gran tamaño en el colector, asociados a actividades de construcción en los alrededores de la estación de muestreo.

Durante este mes se observa mayor presencia de materia insoluble, especialmente en los puntos con mayores concentraciones. La materia soluble presentó valores bajos en la mayoría de las estaciones. Este mes representa el periodo con mayor MPS dentro del estudio.

Tabla 5.

Material particulado sedimentable (MPS) durante el mes de septiembre

Punto	materia soluble (mg)	materia insoluble (mg)	peso total del MPS (mg)	área del colector (cm ²)	concentración MPS (mg/cm ² *30 días)
S01S	83	141	224	182.41	1.23
S02S	135	113	248	182.41	1.36
S03S	71	110	181	182.41	0.99
S04S	44	130	174	182.41	0.95
S05S	94	197	291	182.41	1.60
S06S	62	176	238	182.41	1.30
S07S	53	132	185	182.41	1.01
S08S	105	167	272	182.41	1.49
S09S	55	221	276	182.41	1.51
S10S	66	155	221	182.41	1.21

Elaborado por: La Autora, 2025.

Las concentraciones del penúltimo monitoreo corresponden a todo el mes de septiembre evidenciado en la Tabla 5. En este mes la concentración de MPS varía entre 0.95 y 1.60 mg/cm²*30días. Estos valores indican una disminución general de las concentraciones en comparación con el mes de agosto, aunque se mantiene una variabilidad moderada entre los puntos de muestreo.

El punto S05S presentó la concentración más alta del mes, mientras que el punto S04S registró el valor mínimo. A diferencia de agosto, no se observan valores atípicos extremos. Respecto a la fracción soluble e insoluble, continúa predominando la materia insoluble en todas las estaciones, aunque se evidencia un ligero incremento de la fracción soluble en algunos puntos.

Tabla 6.

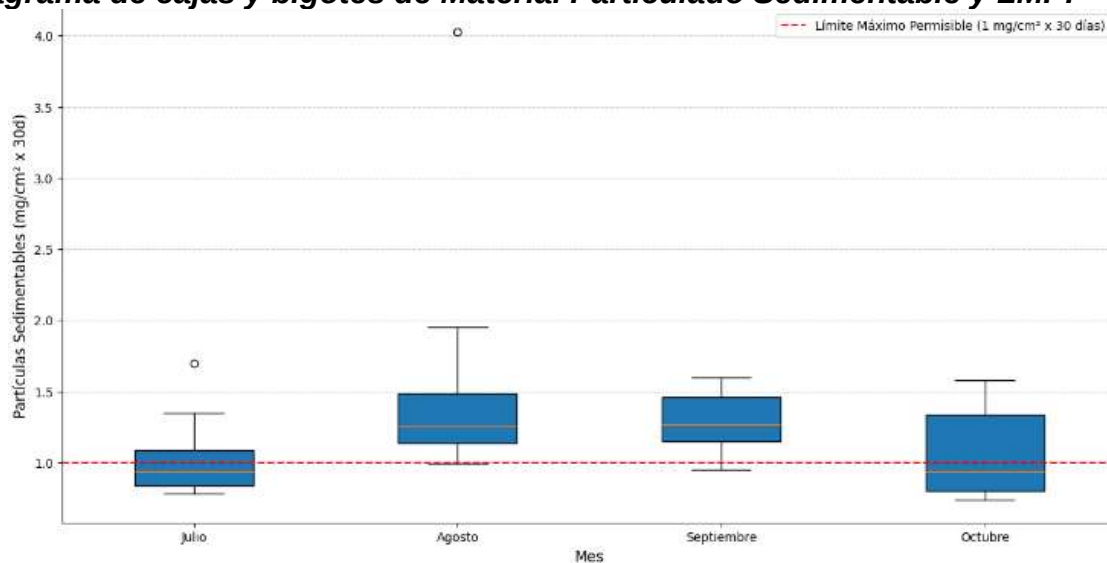
Material particulado sedimentable (MPS) durante el mes de octubre

Punto	materia soluble (mg)	materia insoluble (mg)	peso total del MPS (mg)	área del colector (cm ²)	concentración MPS (mg/cm ² *30 días)
S01O	44	218	262	182.41	1.44
S02O	51	128	179	182.41	0.98
S03O	42	115	157	182.41	0.86
S04O	20	119	139	182.41	0.76
S05O	26	226	252	182.41	1.38
S06O	77	212	289	182.41	1.58
S07O	8	127	135	182.41	0.74
S08O	32	132	164	182.41	0.90
S09O	55	163	218	182.41	1.20
S10O	26	116	142	182.41	0.78

Elaborado por: La Autora, 2025.

La tabla 6 correspondiente al mes de octubre, el cual fue el último monitoreo realizado, las concentraciones de MPS registradas variaron entre 0.74 mg/cm²*30 días en el punto S07O y 1.58 mg/cm²*30 días en el punto S06O, evidenciando una disminución de las concentraciones respecto a los meses de agosto y septiembre.

El punto S06O presentó el valor más elevado del mes, comportamiento similar en meses anteriores, lo que sugiere que esta zona podría estar expuesta de forma constante a fuentes generadoras de partículas. Por otro lado, varios puntos presentaron concentraciones inferiores a 1.00 mg/cm²*30 días. Además, la materia insoluble continúa siendo predominante, la fracción soluble se mantiene en valores bajos, sin variaciones respecto a los meses anteriores. Este último monitoreo muestra concentraciones similares a las registradas en julio.

Figura 1.**Diagrama de cajas y bigotes de Material Particulado Sedimentable y LMP.****Elaborado por:** La Autora, 2025.

La Figura 1 muestra la concentración de material particulado sedimentable monitoreado durante cuatro meses, desde julio hasta octubre, en relación con el límite máximo permisible del acuerdo ministerial 097-A anexo N° 4 ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ días}$), representado por la línea roja discontinua. En julio, la mediana (segmento amarillo dentro de cada recuadro azul) está claramente por debajo del límite, y la mayoría de los valores se no encuentran dentro del rango permitido. Por otra parte, en agosto la mediana se encuentra muy por encima del límite, indicando un incremento en las concentraciones promedio, con un rango más amplio que abarca valores por debajo y por encima del límite permisible. En septiembre, las concentraciones siguen muy por encima del límite. En octubre, aunque la mediana nuevamente se encuentra por debajo del límite permisible, el rango es amplio y muestra una mayor dispersión de los datos, con algunos valores que exceden el límite. Existe una notable variabilidad en las concentraciones de partículas sedimentables durante el monitoreo sistemático de las concentraciones.

4.1.1. Test de Student

El uso del método paramétrico T-Student para una muestra permitió comparar los resultados obtenidos en este proyecto de investigación sobre material particulado sedimentable con la normativa ambiental actual, utilizando el software Python. Para ello, se estableció un nivel de significancia de 5%. Es decir, si el valor de p es menor a 0.05, rechazamos la H_0 y aceptamos H_1 , lo que significa que las

concentraciones promedio son significativamente mayores que el límite permisible. Se plantearon las hipótesis correspondientes quedando:

H0: Las concentraciones promedio no superan 1 mg/cm²*30 días

H1: Las concentraciones promedio superan 1 mg/cm²*30 días.

Tabla 7.

Análisis estadístico mediante la prueba paramétrica T-Student aplicada a la concentración de material particulado sedimentable durante los meses del monitoreo sistemático

Mes	T_stat	P valor	Media	Desviación estándar
Julio	0.4290	0.6779	1.04	0.30
Agosto	1.9717	0.0801	1.57	0.89
Septiembre	4.0944	0.0027	1.28	0.21
octubre	0.6271	0.5461	1.06	0.31

Elaborado por: La Autora, 2025.

De acuerdo a los datos proporcionados en la Tabla 7 se determina que, en julio, el valor $p=0.6779$ no proporciona evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula (H_0). En agosto, el valor $p=0.0801$ se acerca al rango de 0.05, pero no lo supera, por lo que tampoco se rechaza H_0 . En octubre, el valor $p=0.5461$ no ofrece evidencia suficiente para rechazar H_0 . Por último, en el mes de septiembre se obtuvo una estadística de 4.094, con un valor p asociado de 0.0027. Este resultado evidencia que las concentraciones promedio de material particulado sedimentable superan de manera significativa el límite permisible establecido en 1 mg/cm²/mes. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis de investigación para dicho mes.

4.1.2. Test de normalidad

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos obtenidos en cada uno de los puntos de monitoreo. Esta prueba estadística, con un nivel de significancia del 5%, permitió determinar si los datos contaban con una distribución normal, lo cual fue fundamental para análisis posteriores. Los resultados de esta prueba se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8.
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para la concentración de MPS en los puntos de monitoreo (S01 a S10)

Punto	Est- Shapiro-wilk	p-valor	Conclusión
S01	0.9868	0.9406	No se rechaza H0
S02	0.8818	0.3464	No se rechaza H0
S03	0.8461	0.2139	No se rechaza H0
S04	0.9650	0.8101	No se rechaza H0
S05	0.9134	0.5006	No se rechaza H0
S06	0.9058	0.7435	No se rechaza H0.
S07	0.8989	0.4256	No se rechaza H0
S08	0.7957	0.0947	No se rechaza H0
S09	0.8715	0.3035	No se rechaza H0
S10	0.9121	0.4935	No se rechaza H0

Elaborado por: La Autora, 2025.

La Tabla 8 presenta los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk aplicada a las concentraciones de MPS en los puntos de monitoreo S01 a S10. Considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, en todos los puntos evaluados los valores de p son mayores a 0.05.

En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula (H_0) en ninguno de los puntos de monitoreo, lo que indica que las concentraciones de material particulado sedimentable siguen una distribución normal durante el periodo analizado.

De la misma forma en la que se aplicó el test de normalidad a las concentraciones de los puntos de monitoreo, se realizó este a los datos obtenidos de los factores meteorológicos obtenidos del instituto meteorológico, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 9.
Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los factores meteorológicos

Factor Meteorológico	Est- Shapiro-wilk	p-valor	Conclusión
Temperatura	0,9115	0,4905	No se rechaza H0
Humedad relativa	0,8466	0,2155	No se rechaza H0
Precipitación	0,9815	0,9109	No se rechaza H0
Velocidad del viento	0,9247	0,5118	No se rechaza H0

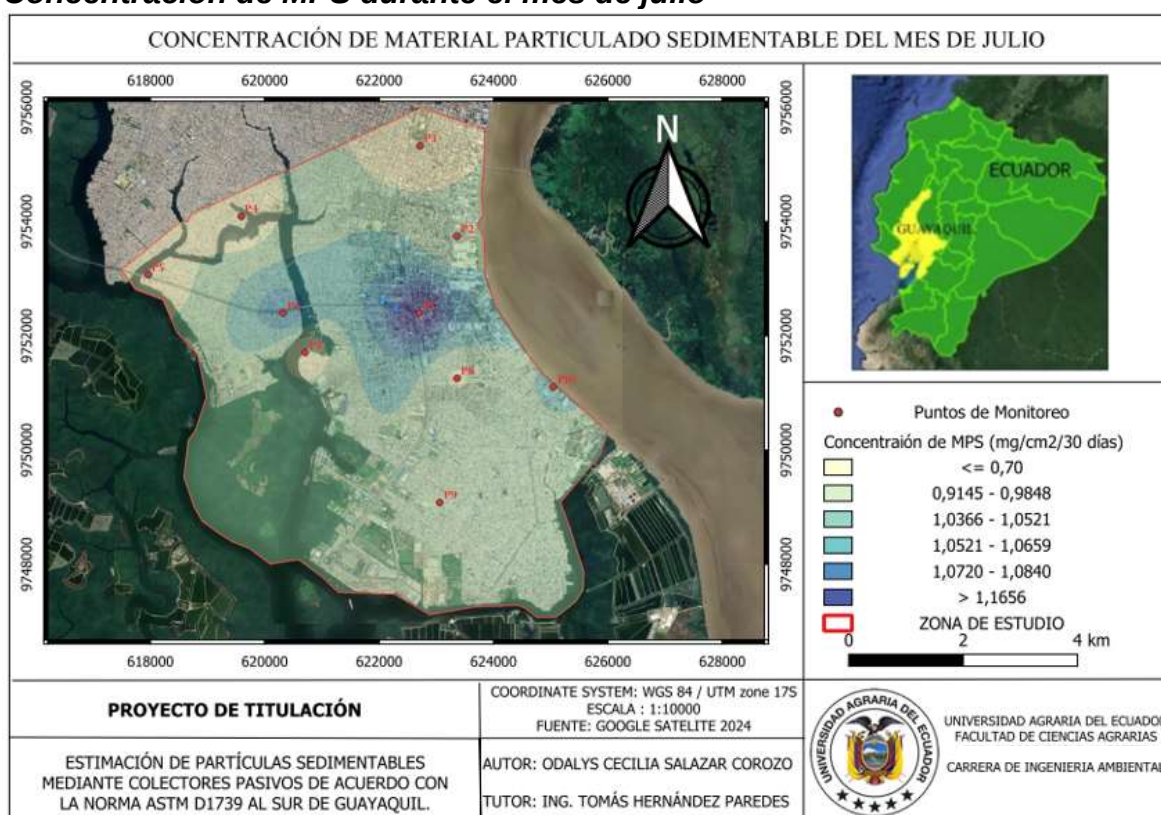
Elaborado por: La Autora, 2025.

Los factores meteorológicos analizados (temperatura, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento) presentan una distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk. Esto significa que los promedios obtenidos durante los cuatro meses de monitoreo no muestran desviaciones significativas respecto a la normalidad.

4.2 Mapas de concentración de MPS en las estaciones de muestreo mediante Software de Sistema de Información Geográfica.

Para evidenciar las zonas con mayor concentración del contaminante en el sector sur de la ciudad de Guayaquil, se utilizó el software libre Qgis 3.36.1 y dada la normalidad de los datos obtenidos se empleó la herramienta de interpolación IDW para conocer el comportamiento del MPS en toda el área monitoreada. Dónde las zonas con coloración azul representan las concentraciones mayores y las zonas beige son aquellas de concentraciones bajas, además de contar con pequeñas flechas negras cuya inclinación indica la dirección del viento en el monitoreo sistemático realizado en sentido sur-oeste, siendo este constante.

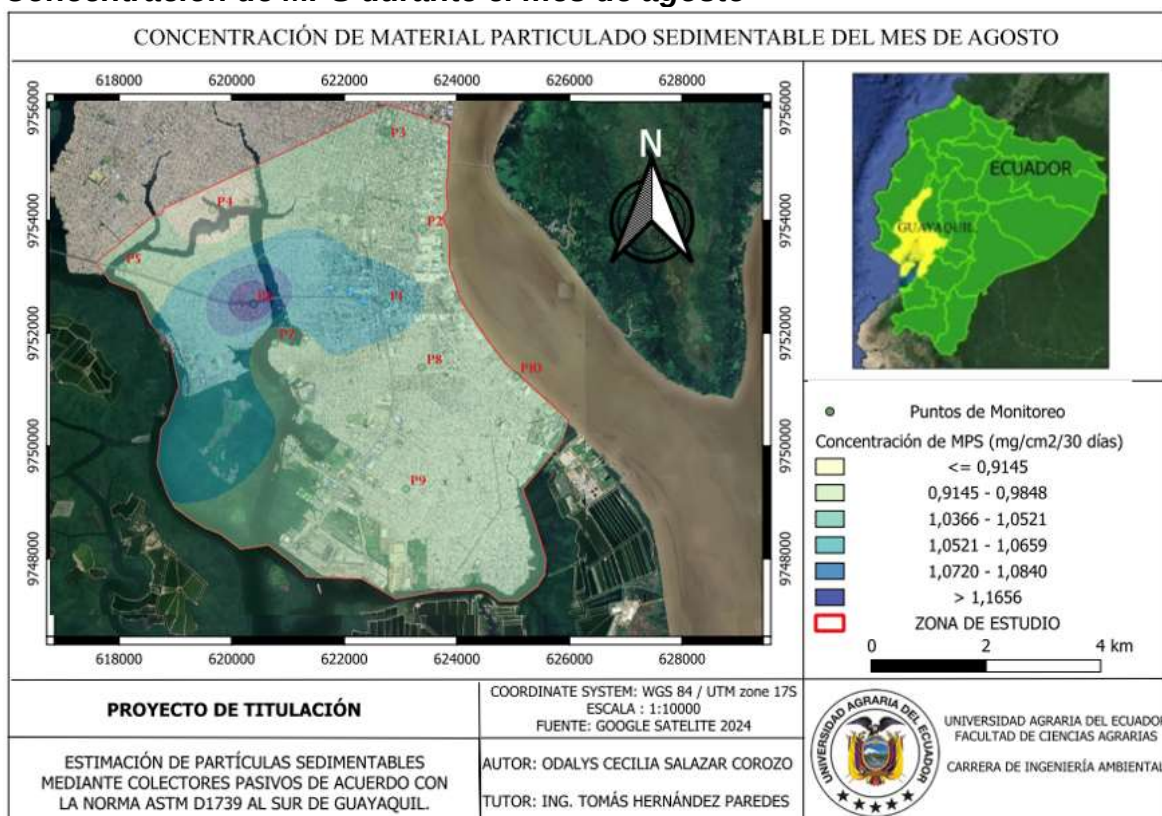
Figura 2.
Concentración de MPS durante el mes de julio



Elaborado por: La Autora, 2025

En la Figura 2 se observa la concentración del contaminante en el sector sur durante los primeros 30 días del mes de julio. Se destaca que, en este primer monitoreo, el punto S01 ubicado en la Universidad Agraria del Ecuador presenta la mayor concentración de MPS, al igual que el punto S06, situado en la Vía Perimetral. Estas zonas, próximas a la avenida 25 de Julio, registran los niveles más altos del contaminante. Cabe mencionar que en este sector se encuentra un puente vehicular que conecta dicha avenida con la Vía Perimetral, la cual es utilizada por vehículos de carga pesada provenientes principalmente del puerto marítimo de la ciudad, además de ser una vía con alta demanda de circulación vehicular. En la misma línea, el punto de muestreo S10, ubicado en la ciudadela La Saiba, registró una presencia notable de este contaminante. En los alrededores del área se encuentran industrias como Nestlé, FADESA y La Molinera, entre otras, las cuales podrían ser las principales fuentes de partículas sedimentables en la zona. Asimismo, este sector presenta un alto flujo vehicular y una gran afluencia de personas debido a su cercanía al Mercado Caraguay y al Camal Municipal. En las áreas con mayor concentración de MPS, las muestras recolectadas presentaban una tonalidad oscura, como puede observarse en el Anexo 4. Se presume que esta coloración podría deberse al hollín emitido por los tubos de escape de los vehículos o por las calderas de las fábricas aledañas.

Figura 3.
Concentración de MPS durante el mes de agosto



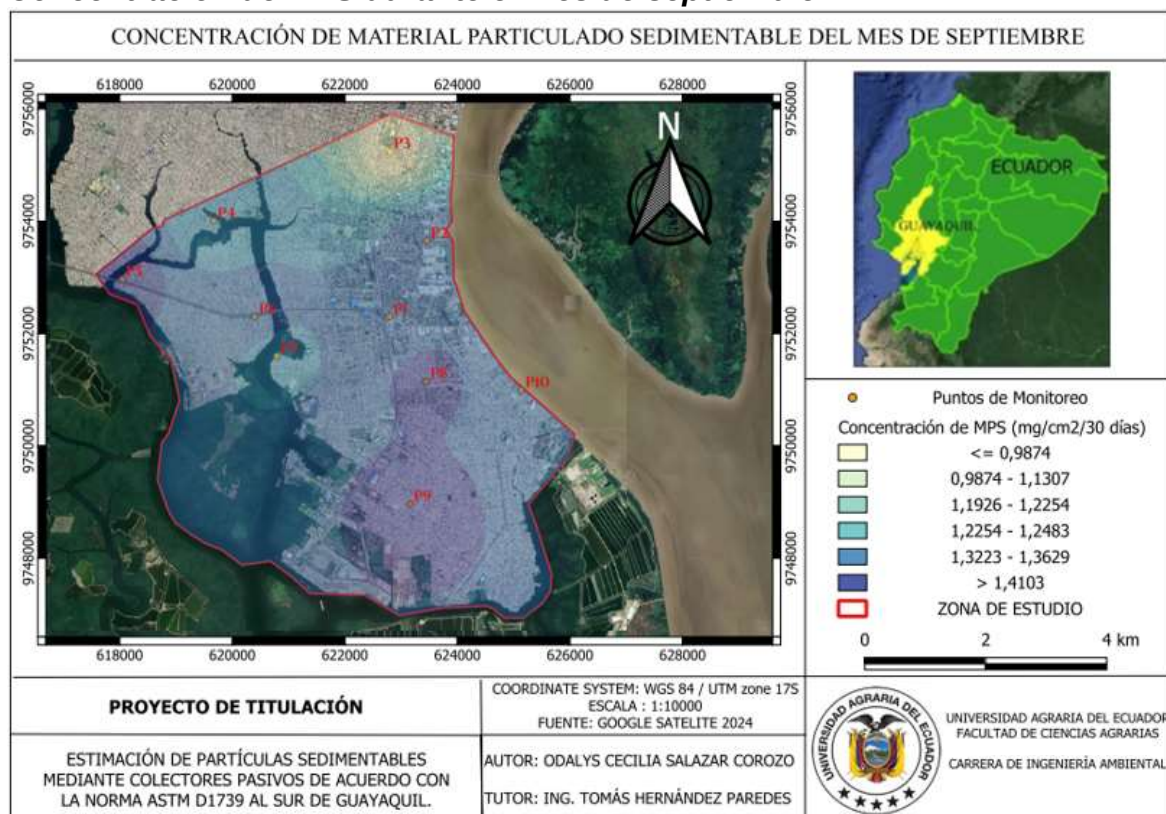
Elaborado por: La Autora, 2025.

Durante el segundo monitoreo realizado en agosto (Figura 3), se observó un incremento en las concentraciones de MPS en las mismas zonas identificadas en el mes anterior. El punto S06 registró un aumento significativo, atribuible posiblemente a las actividades de construcción llevadas a cabo en sus inmediaciones durante este período, lo que generó una mayor emisión de MPS. Por otro lado, el punto S01 continuó presentando concentraciones elevadas, probablemente influenciadas por el intenso tráfico vehicular de la zona, agravado por el período lectivo del régimen costa. En contraste, el sector de la ciudadela Naval Sur, cercano al Parque Forestal, se destacó como el punto de monitoreo con los niveles más bajos de MPS. Esta área cuenta con una extensa cobertura vegetal, y sus alrededores presentan una densa vegetación arbórea, la cual podría actuar como barrera natural para la retención de partículas, explicando así las bajas concentraciones registradas. Por último, el punto S10, ubicado en Guasmo Sur, mostró un incremento considerable en comparación con el mes anterior. Este aumento podría asociarse a la presencia de fábricas empacadoras, la actividad industrial

de Acerías Nacionales del Ecuador (ANDEC), la cercanía a la Subestación Eléctrica Las Esclusas y al Muelle de la zona, el cual registra un alto flujo de barcos cargueros y lanchas.

Figura 4.

Concentración de MPS durante el mes de septiembre

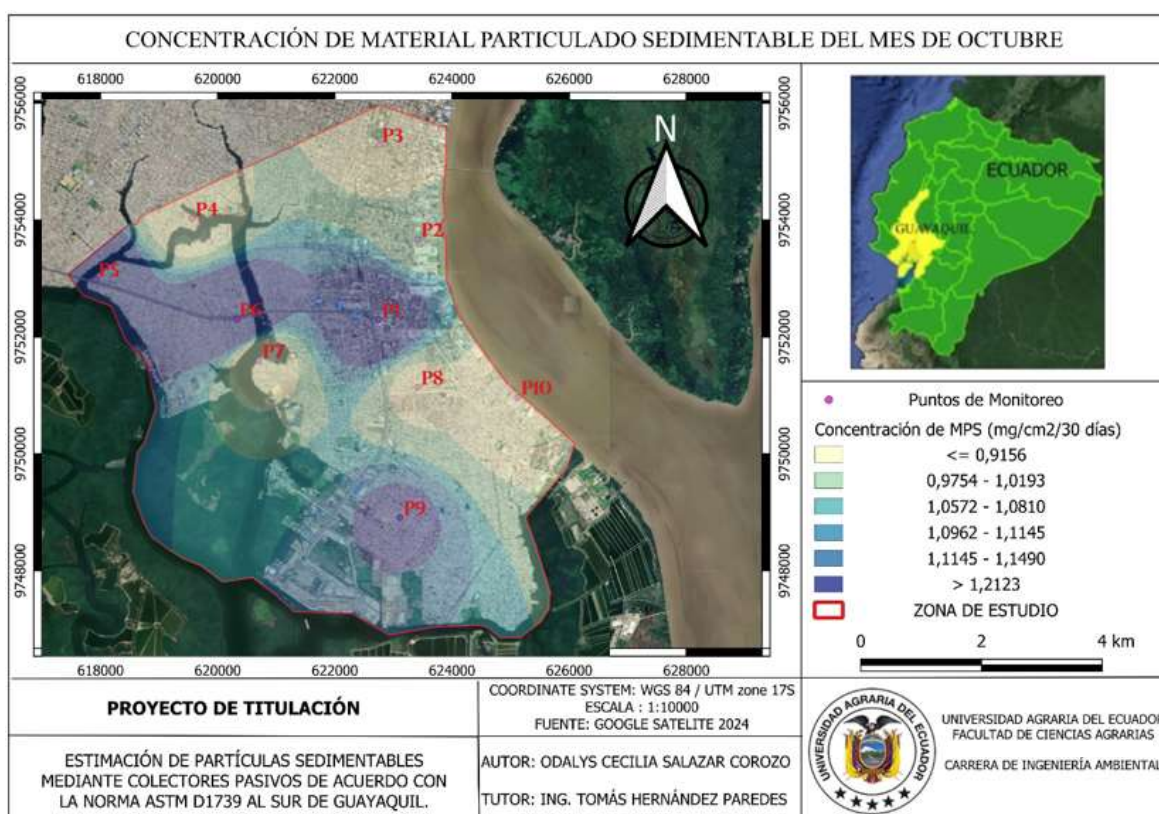


Elaborado por: La Autora, 2025.

Las concentraciones del mes de septiembre de MPS mostraron una alta variabilidad en el área de monitoreo, tal como se observa en la Figura 4. El punto S05, ubicado en la Isla Trinitaria, sobre la vía Perimetral, registró la concentración más alta de todo el periodo de monitoreo. Este resultado podría estar relacionado con el intenso flujo vehicular característico de la zona, el cual se incrementa considerablemente en los últimos meses del año debido a la llegada de contenedores con mercancía extranjera al sector conocido como “El Trinipuerto” en donde se encuentran las tres empresas portuarias más grandes TPG, INARPI y NAPORTEC. De manera similar, el punto S09, ubicado en el sector Unión de Bananeros, y el punto S08, en el sector de La Pradera, evidenciaron un aumento en sus concentraciones de MPS, posiblemente asociado a la alta circulación de transporte público. Ambos puntos se encuentran próximos a estaciones de la Metrovía, principal sistema de transporte masivo de la ciudad, lo que genera una mayor emisión

y resuspensión de partículas. En contraste, el punto S07, situado en la cooperativa Santiaguito Roldós, cerca del Parque Lineal del Salado, presentó la concentración más baja de MPS durante este periodo. Este resultado puede atribuirse a la amplia cobertura vegetal del parque, que incluye especies arbóreas de gran porte con copas densas, y a la cercanía con extensas áreas de manglar, las cuales actúan como barreras naturales que atenúan la dispersión y sedimentación de partículas en el ambiente.

Figura 5.
Concentración de MPS durante el mes de octubre



Elaborado por: La Autora, 2025.

En el último monitoreo, realizado durante los primeros 30 días de octubre y representado en la Figura 5, se observó que las zonas que previamente registraron altas concentraciones de MPS continuaron mostrando los valores más elevados, aunque con una tendencia general a la disminución respecto a los periodos anteriores. Esta reducción en las concentraciones podría estar relacionada con la crisis energética que atravesó el país durante ese mes, como consecuencia de una sequía extrema. Esta situación provocó restricciones en el consumo eléctrico, lo que obligó a reducir o limitar operaciones tanto en sectores industriales como

en actividades cotidianas de la población, especialmente dentro del área de monitoreo. En particular, los puntos S05 y S06, ambos ubicados a lo largo de la vía Perimetral, continuaron presentando las concentraciones más altas, aunque levemente inferiores a las observadas en septiembre. Asimismo, los puntos S01 y S09, próximos a la avenida 25 de Julio, también registraron valores significativos durante este periodo. Por otro lado, se identificó una reducción notable en varias estaciones de muestreo. Los puntos S04, S07, S08 y S10 reportaron sus valores más bajos de todo el periodo de monitoreo, ubicándose por debajo tanto del límite máximo permisible establecido en la normativa vigente como de sus propios promedios mensuales anteriores. En resumen, aunque no se cuenta con evidencia concluyente que relacione de manera directa la racionalización energética con la disminución del MPS, es posible que este factor haya contribuido a reducir temporalmente las emisiones en algunas zonas. No obstante, también se podría considerar la influencia de condiciones meteorológicas particulares estando en periodo de sequía, como el aumento de la temperatura en días específicos, lo que podría haber afectado el comportamiento de las partículas en el aire.

4.3 Correlación las concentraciones de partículas sedimentables con variables meteorológicas mediante herramientas estadísticas.

Dirección y velocidad del viento.

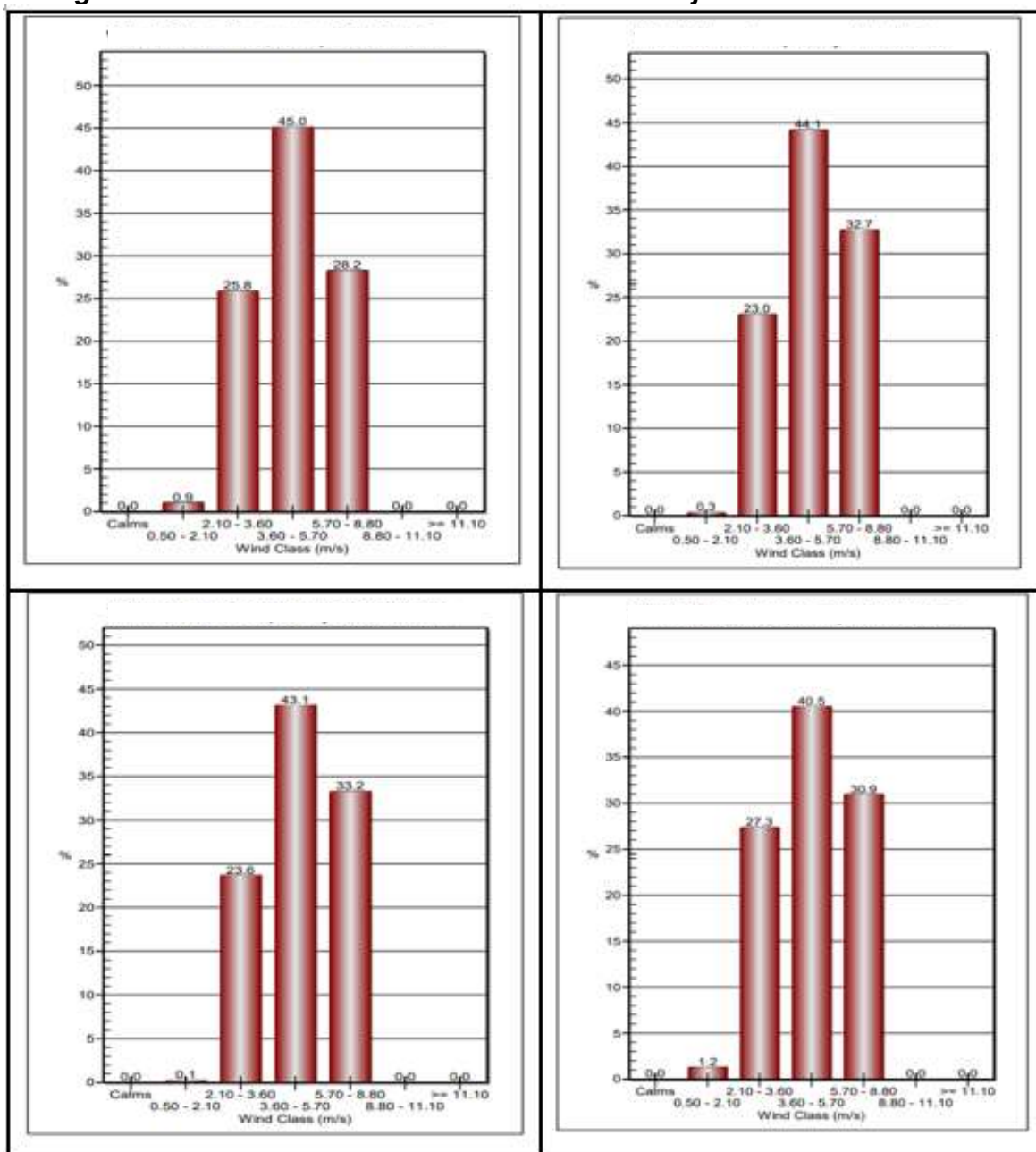
Con los datos meteorológicos obtenidos, como la dirección y velocidad del viento durante el periodo de monitoreo llevado a cabo en la época seca, se empleó histogramas de frecuencias mismos que fueron realizados por default en el programa y del mismo modo, la rosa de los vientos, herramientas utilizadas para conocer si estos factores meteorológicos afectan o tienen influencia en las concentraciones del MPS durante el periodo de monitoreo y cuáles son sus patrones o comportamientos.

Los histogramas plasmados en la Figura 6 mostrada muestran la distribución de frecuencias de las velocidades del viento (en m/s) durante los meses de julio a octubre, evidenciando patrones consistentes a lo largo del monitoreo. En general, las velocidades del viento se concentran en las clases de 3.60–5.70 m/s y 5.70–8.80 m/s, con muy poca incidencia de vientos calmados o velocidades extremas superiores a 8.80 m/s. En julio, la clase de 3.60–5.70 m/s es predominante con un 45.0% de frecuencia, seguida por la clase de 5.70–8.80 m/s con un 28.2%.

En agosto, se observa un comportamiento similar, aunque con un ligero aumento en la frecuencia de la clase de 5.70–8.80 m/s, alcanzando el 32.7%, mientras que la clase de 3.60–5.70 m/s sigue siendo la más frecuente con un 44.1%. En septiembre, la distribución se mantiene estable, con un ligero incremento en la clase de 5.70–8.80 m/s, que representa un 33.2%, mientras que la clase dominante sigue siendo la de 3.60–5.70 m/s con un 43.1%. Finalmente, en octubre, los patrones permanecen similares, destacándose la clase de 3.60–5.70 m/s con un 40.5%, seguida por la clase de 5.70–8.80 m/s con un 30.9% y una ligera presencia de vientos en la clase de 2.10–3.60 m/s con un 12%. Este análisis refleja condiciones de viento moderadas y estables durante todo el periodo, con pequeñas variaciones mensuales en las frecuencias de las distintas clases de velocidad.

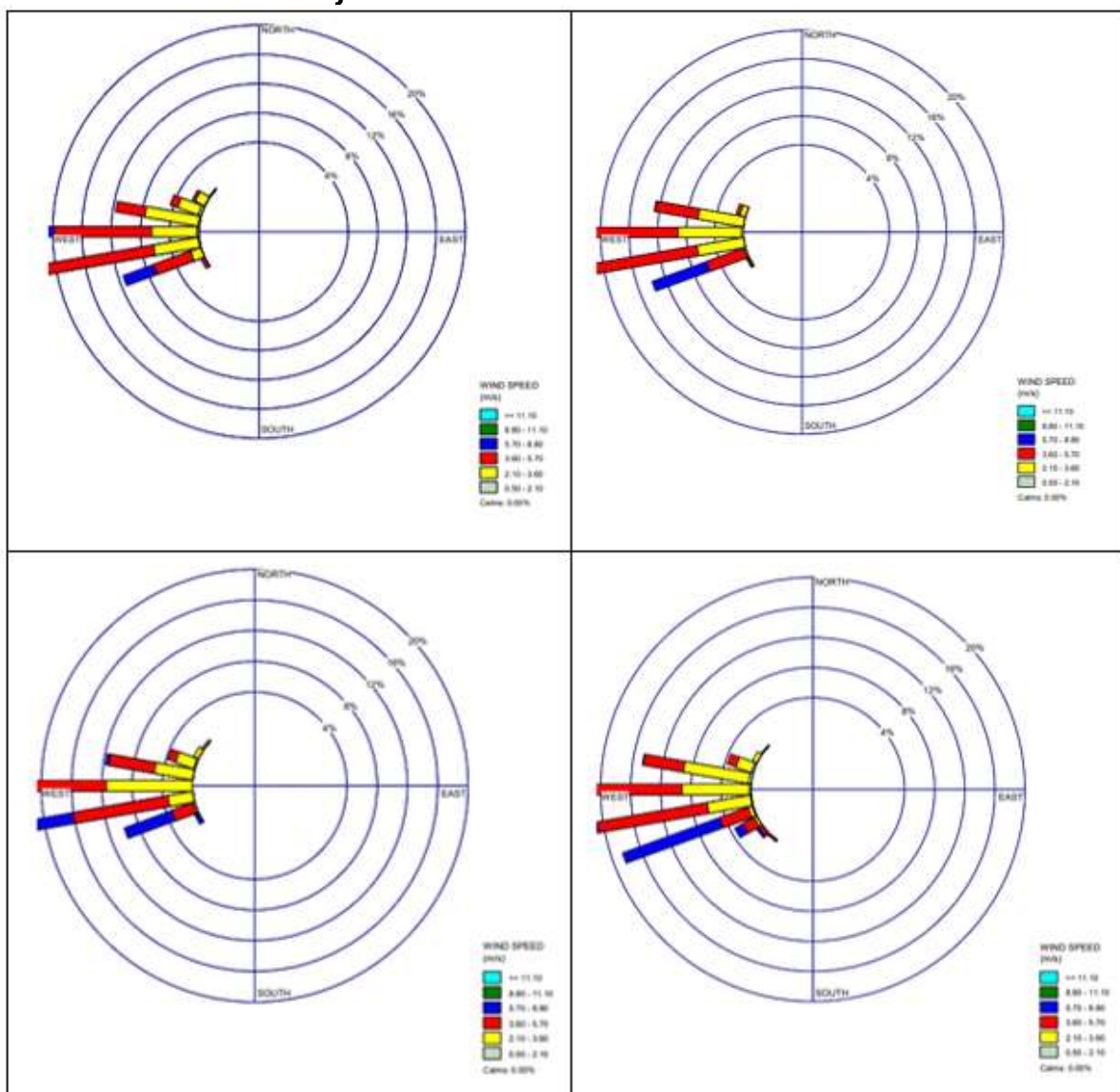
Figura 6.

Histogramas de de la Velocidad del viento m/s² de julio a octubre



Elaborado por: La Autora, 2025.

Figura 7.
Rosa de los vientos de julio a octubre

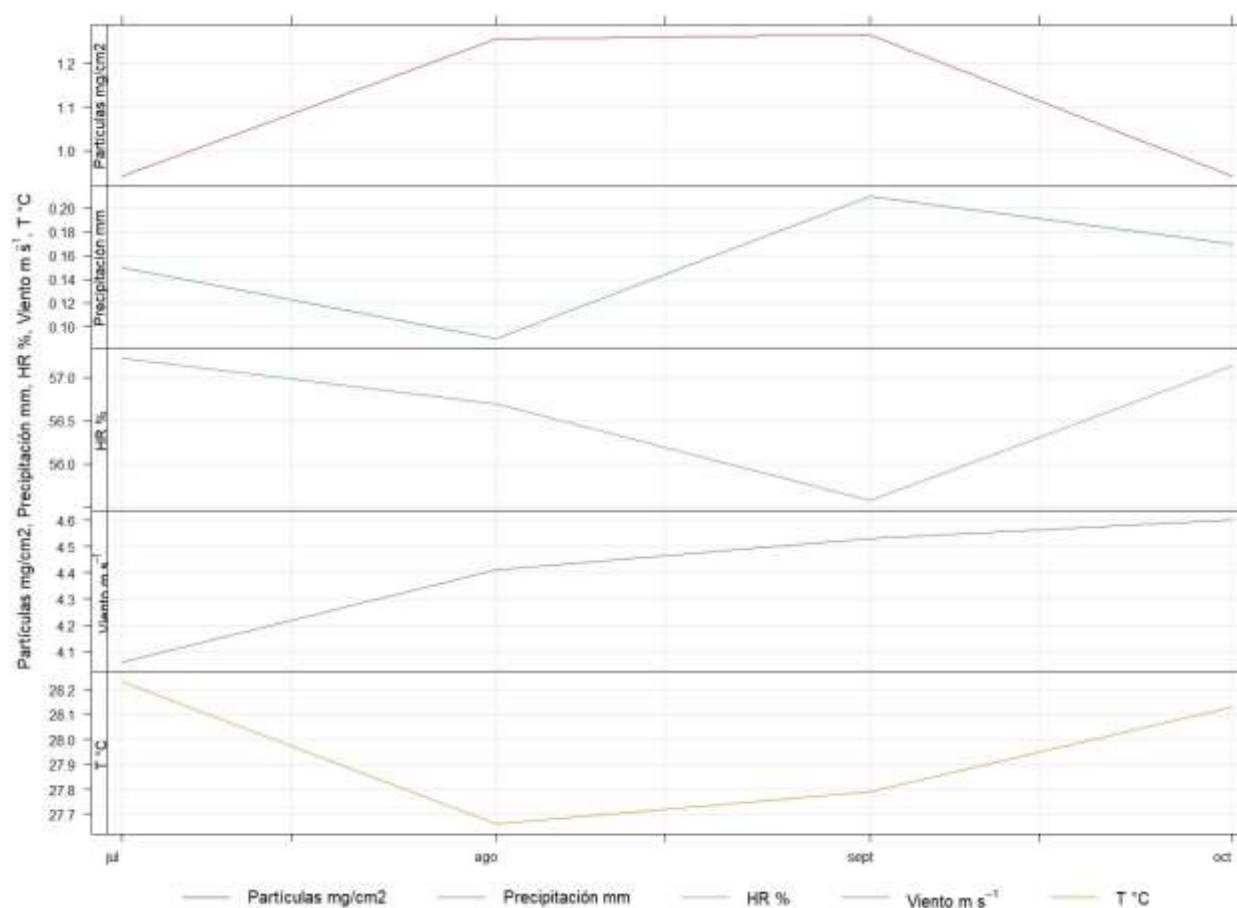


Elaborado por: La Autora, 2025.

A partir de las rosas de viento presentes en la Figura 7 correspondientes a los meses de julio a octubre, se observa que la dirección predominante del viento durante todo el monitoreo es hacia el oeste, con una menor incidencia hacia otras direcciones. Las velocidades de viento más frecuentes oscilan entre los rangos de 2.10 a 5.70 m/s, representados principalmente por los colores amarillo y rojo, lo que indica una velocidad moderada a constante. En los cuatro meses, la presencia de velocidades superiores a 8.80 m/s es poco común, como lo muestran las barras azules y verdes, las cuales tienen menor representación. Además, se identifica una variación en la intensidad del viento entre los meses: en julio y agosto, se observa una mayor proporción de vientos en el rango de 3.60 a 5.70 m/s (rojo), mientras

que, en septiembre y octubre, aunque este rango sigue predominando, se nota un ligero aumento en la frecuencia de vientos más bajos, entre 2.10 y 3.60 m/s (amarillo). En el monitoreo la dirección consistente hacia el oeste y las velocidades moderadas reflejan un patrón estable en las condiciones de viento durante el período de monitoreo, lo que podría influir directamente en la dispersión de MPS en esta dirección predominante. Por otra parte la ausencia total de calmas en los cuatro meses de monitoreo sugiere condiciones de flujo atmosférico constante, lo cual ayuda en la dispersión del material particulado. Sin embargo, la dispersión depende también de otros factores como la presencia de barreras físicas o fuentes de emisión localizadas.

Figura 8.
Diagrama de series temporales del MPS y la Temperatura



Elaborado por: La Autora, 2025.

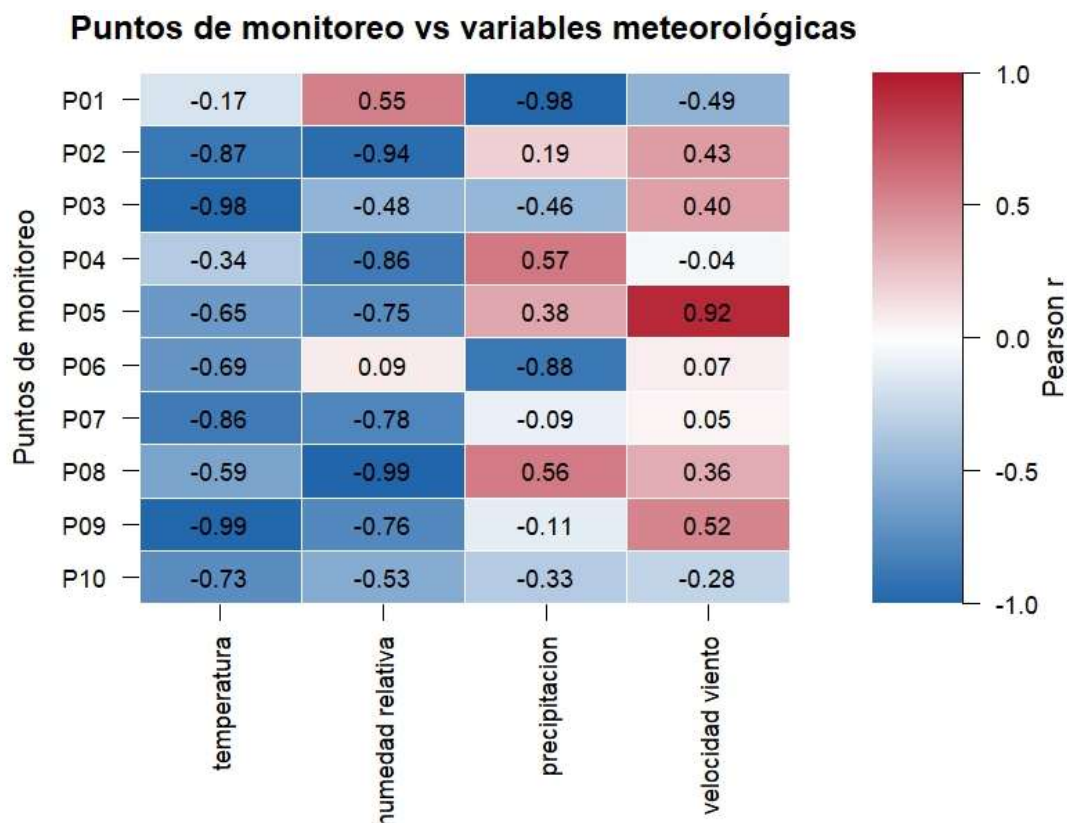
La Figura 8 muestra la variación temporal de las concentraciones de material particulado sedimentable (mg/cm^2) en relación con los factores meteorológicos como la temperatura, humedad relativa, precipitaciones y velocidad del viento registrados durante el periodo de monitoreo (julio a octubre).

Durante el mes de julio, se observan concentraciones moderadas de partículas, acompañadas de una precipitación relativamente mayor en comparación con agosto, una humedad relativa elevada y velocidades de viento más bajas. La temperatura presentó uno de los valores más altos del periodo.

En agosto, se evidencia un incremento significativo en la concentración de partículas sedimentables, coincidiendo con una disminución de la precipitación y una ligera reducción de la humedad relativa. Este comportamiento sugiere una posible relación inversa entre la precipitación y las concentraciones de material particulado, ya que la menor ocurrencia de lluvias reduce el efecto de lavado atmosférico (washout), favoreciendo la acumulación de partículas en el ambiente.

Para septiembre, las concentraciones se mantienen en valores altos, aunque relativamente estables respecto a agosto. En este mes se registra el mayor valor de velocidad del viento y el nivel más bajo de humedad relativa del periodo. El aumento de la velocidad del viento podría estar asociado a una mayor resuspensión de partículas depositadas en el suelo, contribuyendo a mantener elevadas las concentraciones. La baja humedad relativa también favorece la suspensión de partículas, al disminuir la cohesión por humedad en la superficie.

Finalmente, en octubre, se observa una disminución en la concentración de partículas sedimentables, coincidiendo con una recuperación de la humedad relativa y un ligero aumento de la precipitación. Este comportamiento refuerza la influencia de los factores meteorológicos en la dinámica del material particulado, especialmente el efecto mitigador de la lluvia y la humedad sobre la concentración de partículas en el ambiente.

Figura 9.**Matriz de Correlación de Pearson del MPS y los factores meteorológicos****Elaborado por:** La Autora, 2025.

La matriz de correlación de Pearson correspondiente a la figura 9, permite identificar y cuantificar el grado de relación lineal entre las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y precipitación) y las concentraciones de MPS registradas en cada punto de muestreo. Esta herramienta estadística se representa mediante una escala de valores que va de -1 a 1, donde lo explicado en la parte estadística del proyecto los valores próximos a 1 indicaran una correlación positiva fuerte, cercanos a -1 que la correlación es negativa fuerte y si es 0 sugiera una ausencia de relación lineal.

La escala de colores que acompaña a esta matriz cumple el propósito de facilitar la interpretación visual siendo los tonos rojos intensos representan correlaciones positivas, los azules intensos indican correlaciones negativas, y los colores claros o neutros reflejan relaciones débiles o inexistentes. La figura a relación entre las variables ambientales y las concentraciones de partículas sedimentables muestra patrones interesantes.

En la matriz, la temperatura presenta predominantemente correlaciones negativas fuertes en la mayoría de los puntos, destacándose P03 ($r = -0.98$), P09 ($r = -0.99$), P02 ($r = -0.87$) y P07 ($r = -0.86$), lo que indica que a medida que la temperatura aumenta, las concentraciones de MPS tienden a disminuir. Este comportamiento puede asociarse a una mayor inestabilidad atmosférica y a procesos de dispersión vertical más eficientes bajo condiciones térmicas elevadas, reduciendo la acumulación de partículas en superficie.

De manera similar, la humedad relativa muestra principalmente correlaciones negativas, varias de ellas de magnitud fuerte, como en P08 ($r = -0.99$), P02 ($r = -0.94$) y P04 ($r = -0.86$). Esta tendencia sugiere que mayores niveles de humedad favorecen la aglomeración y deposición de partículas, disminuyendo su concentración en el ambiente. No obstante, en el punto P01 se observa una correlación positiva moderada ($r = 0.55$), lo que podría estar relacionado con condiciones microclimáticas particulares o con la influencia de fuentes locales específicas, evidenciando que el comportamiento del MPS no es completamente homogéneo en toda el área de estudio.

En cuanto a la precipitación, el comportamiento es más variable. Se identifican correlaciones negativas muy fuertes en P01 ($r = -0.98$) y P06 ($r = -0.88$), confirmando el efecto de lavado atmosférico (washout), mediante el cual la lluvia contribuye a la remoción de partículas suspendidas. Sin embargo, en otros puntos como P04 ($r = 0.57$) y P08 ($r = 0.56$) se registran correlaciones positivas moderadas, lo que podría atribuirse a procesos de resuspensión posteriores a eventos de lluvia ligera, a la heterogeneidad espacial de las fuentes de emisión o a la variabilidad en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones durante el periodo de monitoreo.

Respecto a la velocidad del viento, se observa un comportamiento dual. En P05 se registra una correlación positiva muy fuerte ($r = 0.92$), lo que sugiere que el viento actúa como un agente significativo de resuspensión mecánica en ese sector. También se presentan correlaciones positivas moderadas en P09 ($r = 0.52$), P02 ($r = 0.43$) y P03 ($r = 0.40$), indicando que el incremento de la velocidad del viento puede favorecer la movilización superficial de partículas. En contraste, en puntos como P01 ($r = -0.49$) y P10 ($r = -0.28$) la relación es negativa, lo que sugiere que

en estos sectores el viento podría estar favoreciendo más la dispersión horizontal que la acumulación de MPS.

En conjunto, los resultados demuestran que la dinámica del material particulado sedimentable podría estar influenciada de manera significativa por las condiciones meteorológicas, aunque dicha influencia presenta variabilidad espacial entre los puntos de monitoreo. Predominan las correlaciones negativas con temperatura y humedad relativa, lo que sugiere mayor dispersión y deposición bajo condiciones más cálidas y húmedas, respectivamente. La precipitación podría estar jugando su papel como mecanismo de remoción en puntos específicos, mientras que la velocidad del viento sugiere un efecto dependiente del contexto de cada estación de monitoreo, actuando como agente de resuspensión o dispersión según las características del entorno en cada punto.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la red de monitoreo de Guerra & Guty (2021) en donde también se estimó las concentraciones mediante el método gravimétrico con 15 puntos de monitoreos revelaron que 6 de sus 15 puntos eran zonas críticas, del mismo modo se realizó los cuatro meses de monitoreo mediante el método gravimétrico al sur de Guayaquil, evidenciando que las concentraciones de MPS en el sector presentan variabilidad espacial y temporal significativa. El mes de septiembre destaca por superar de forma estadísticamente significativa el límite permisible establecido por la normativa ambiental vigente ($1 \text{ mg/cm}^2/30 \text{ días}$), lo cual se confirma mediante la prueba T de Student ($p = 0.0027$). Esta variabilidad está estrechamente relacionada con las condiciones meteorológicas.

La correlación observada entre humedad relativa y concentración de partículas sugiere que la humedad alta favorece la deposición de partículas, disminuyendo su concentración en el aire. A su vez, la baja velocidad del viento puede contribuir a la acumulación de partículas en determinadas zonas, mientras que la dirección del viento influye en su dispersión, dependiendo del posicionamiento de las fuentes de emisión, así como lo expone Paguay Martínez et al. (2023) sus conclusiones en donde con su modelación geoespacial estableció una correlación significativa entre la concentración y los factores climáticos. Por otra parte, el análisis de los gráficos de barras de frecuencia y de las rosas de los vientos revela una constancia significativa en la dirección y velocidad del viento durante todo el periodo de monitoreo. La dirección predominante del viento fue del suroeste y sur en los cuatro meses estudiados (julio a octubre), con ausencia total de calmas (0.00%), lo cual sugiere un entorno con flujo atmosférico dinámico y continuo, comportamiento similar al que tuvo la dirección y velocidad del viento en el estudio de Tates Llor et al. (2023), en donde estas variables estuvieron constante durante su periodo de monitoreo y la dirección del viento también se encontraba en sentido sur-oeste.

Las velocidades del viento se mantuvieron en un rango relativamente estable, con promedios entre 4.68 y 4.91 m/s, y con mayor frecuencia en los rangos de 2.10 a 5.70 m/s. Esta constancia sugiere que el viento pudo haber actuado como un factor estabilizador en la dispersión horizontal del material particulado, aunque

no necesariamente con capacidad de dispersión vertical significativa, especialmente en zonas urbanas densamente construidas así como lo expone paguayen sus conclusiones en donde con su modelación geoespacial estableció una correlación significativa entre la concentración y los factores climáticos como lo destaca de Oré et al. (2023) en su investigación.

Los mapas generados mediante SIG han sido fundamentales para identificar zonas críticas, confirmando la hipótesis de que las mayores concentraciones se presentan cerca de vías con tráfico denso, áreas industriales y zonas con actividades constructivas. Estos hallazgos son coherentes con estudios realizados en contextos similares, como el de Tates Loor et al. (2023), donde también se realizó un monitoreo en el sector sur, que identificó un patrón de concentración elevado cerca de fuentes de contaminación como terminales portuarios.

La influencia de la vegetación también ha sido evidente. Los puntos con menores niveles de MPS coincidieron con áreas verdes o parques como los puntos S03, S04 y S07 que cuentan con mayor porcentaje de áreas verdes que el resto de zonas, lo que respalda investigaciones previas que destacan el rol mitigador de la cobertura vegetal sobre la contaminación del aire, quedando demostrado que la incorporación de vegetación en estos espacios puede ayudar a mitigar los impactos negativos de la contaminación, mejorando así la calidad del aire (Carrasco-Jocope et al., 2023).

En general, estos resultados refuerzan la necesidad de considerar no solo las fuentes emisoras, sino también los factores meteorológicos y la planificación urbana al evaluar la calidad del aire. Las evidencias presentadas podrían servir como base para establecer estrategias de control más eficientes y focalizadas en las zonas de mayor presencia de este contaminante.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El análisis de las concentraciones de partículas sedimentables realizado mediante el método gravimétrico (ASTM D1739) demuestra que existen variaciones significativas entre las estaciones de muestreo dentro del sector sur de Guayaquil. Algunas estaciones presentan niveles que superan los límites establecidos en el Anexo 4 del Acuerdo Ministerial No. 097-A, indicando la posible influencia de actividades antropogénicas que generan emisiones elevadas de partículas. Estas emisiones pueden asociarse con actividades industriales, obras de construcción, emisiones vehiculares, y procesos de desgaste de suelo o infraestructura urbana. Las áreas que presentaron concentraciones menores, eran zonas con notable presencia arborea como el punto S03 ubicado en cercanías del Parque Forestal y el punto S07 del parque lineal del salado, mientras que las estaciones S01 y S05 cercanas a vías de alto tráfico como la Avenida 25 de julio y la Perimetral mostraban picos que incumplían la normativa.

La elaboración de mapas con el uso de herramientas SIG ha permitido identificar claramente las zonas críticas con mayores concentraciones de partículas sedimentables. Estas áreas coinciden principalmente con puntos cercanos a fuentes de contaminación conocidas, como zonas industriales, vías con alto flujo vehicular, y espacios cercanos a actividades de construcción o movimiento de tierra. Este tipo de análisis visual no solo facilita la comprensión espacial de los datos, sino que también proporciona evidencia para la toma de decisiones en la gestión ambiental.

El análisis estadístico entre las concentraciones de partículas sedimentables y las variables meteorológicas (como velocidad y dirección del viento, humedad relativa y temperatura) revela que estas últimas tienen un impacto significativo en la dispersión y acumulación de partículas en el sector sur de Guayaquil. La dirección predominante del viento influye directamente en la concentración en ciertos puntos, ya que puede transportar partículas desde fuentes específicas a áreas cercanas o más distantes. Además, factores como la baja velocidad del viento y la falta de lluvias prolongadas tienden a aumentar la acumulación de partículas sedimentables en áreas específicas, generando zonas de alta concentración. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar las

características meteorológicas locales al evaluar la contaminación por partículas sedimentables, que impactan en la calidad del aire.

6.2 Recomendaciones

Establecer una red de monitoreo en las zonas críticas, es decir aquellas que superan los límites permisibles, aplicando medidas correctivas en fuentes emisoras, como el riego de vías polvorientas y el uso de cubiertas en zonas de almacenamiento industrial. Asimismo, promover campañas de sensibilización para reducir emisiones en sectores residenciales y comerciales. Recordando que la seguridad del equipo y del personal encargado de monitorear será un criterio clave al momento de establecer la red de monitoreo.

Utilizar los mapas de concentración como herramienta para priorizar intervenciones en las zonas más afectadas. Además, incluir estas zonas en programas de monitoreo continuo para evaluar la efectividad de las acciones correctivas implementadas y si existe la posibilidad incluir la composición química del MPS en futuros estudios para identificar fuentes específicas

Incorporar el análisis de condiciones meteorológicas en los planes de gestión ambiental para prever y mitigar los efectos de la contaminación por partículas sedimentables. Además, instalar barreras naturales, como árboles, en zonas críticas para reducir el impacto del transporte de partículas por acción del viento.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdellah, F., & Levine, E. (1994). *Preparing Nursing Research for the 21 st Century. Evolution. Methodologies, Challenges.* (pp. 31–47). New York: Springer.
- Almirón, M., Dalmasso, A., y Llera, J. (2008). Uso de *Larrea Cuneifolia* Cav. y *Zuccagnia Punctata* Cav. en la evaluación del material particulado sedimentable en una calera de Los Berros - San Juan - Argentina. *Multequina*, 17(1), 29–38.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292008000100003&lng=es&tlng=es.
- Andreae, O., Acevedo, C., Araùjo, A., Artaxo, P., Barbosa, G., Barbosa, J., Brito, J., Carbone, S., Chi, X., Cintra, L., da Silva, F., Dias, L., Dias, Q., Ditas, F., Ditz, R., Godoi, L., Godoi, M., Heimann, M., Hoffmann, T., Yáñez, M. (2015). The Amazon Tall Tower Observatory (ATTO): overview of pilot measurements on ecosystem ecology, meteorology, trace gases, and aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(18), 10723–10776.
<https://doi.org/10.5194/acp-15-10723-2015>
- Aránguez, E., Ordóñez, J., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., y Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Rev Salud Pública*, 73, 123–132.
- Arciniégas, C. (2011). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM 10. *Luna Azul*, 34, 195–213.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742012000100012&lng=en&nrm=iso
- Bosque, J. (1997). *Sistema de Información Geográfica* (Ediciones Rialp).
- Brusseau, L., Matthias, D., Comrie, C., & Musil, A. (2019). Atmospheric

- Pollution. En *Environmental and Pollution Science* (Vol. 17, pp. 293–309). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00017-3>
- Carranza, J., Choque, K., Mallea, M., Rojas, A., y Valverde, S. (2021). *La incorporación del Material Particulado Sedimentable como parámetro en el ECA Aire para la evaluación ambiental*.
- Carrasco, R. R., Vigil, S. V., Valiente, Y. M., y González, D. G. (2023). Contaminación urbano ambiental y espacio público del centro de Piura, Perú: Revisión sistemática. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 8(16), 171–183. <https://doi.org/10.35381/r.k.v8i16.2542>
- Cevallos, M., Díaz, V., & Sirois, M. (2017). Particulate matter air pollution from the city of Quito, Ecuador, activates inflammatory signaling pathways in vitro. *Innate Immunity*, 23(4), 392–400. <https://doi.org/10.1177/1753425917699864>
- Cuesta, O., Sosa, C., Iraola, C., González, Y., Nuñez, V., Fonte, A., Imbert, C., Barcia, S., Gómez, Y., & Portal, D. (2017). National inventory of atmospheric emissions of main stationary sources. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2), 178–190.
- Delgado, A. (2013). *Cities*, 31, 515–532. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.11.001>
- Díaz, V., y Páez, C. (2006). Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. *Acta Nova*, 3(2), 308–322. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892006000100011&lng=es&tlng=es.
- Gaitán, M., Cancino, J., y Behrentz, E. (2007). Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*, 26, 81–92.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932007000200011&lng=en&tlng=es.

- Gómez, S. (2011). Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana. *Revista Fuente*, 3(9), 67–80. <http://fuente.uan.edu.mx/numero9.php>
- Guerra, L., y Gutty, R. (2021). *Evaluación de la concentración de las partículas sedimentables mediante el método gravimétrico en los alrededores de las ladrilleras del Centro Poblado Cerrillo, Baños del Inca, Cajamarca 2021* [Tesis de Grado , Universidad Privada del Norte]. <https://orcid.org/0000-0002-9077-5218>
- Gulshan, J.-E.-, Hossain, A., Hossain, E., Islam, M., Emon, Z., Manzum, A., Jashim, B., & Nurul, M. (2021). Seasonal variations of microbes in particulate matter obtained from Dhaka City in Bangladesh. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, 33(1), 122–134. <https://doi.org/10.1080/26395940.2021.1940302>
- Gutierrez, J., Quijano, M., y Quijano, A. (2012). Monitoreo y caracterización fisicoquímica del material particulado PM_{2.5} en Cúcuta-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 10(1), 24–38. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90326398008>
- Junqui, G. (2019). Red de monitoreo de aire en la Refinería del Pacífico en el sitio El Aromo del cantón Manta. *Dominio de las Ciencias*, 5(1), 363. <https://doi.org/10.23857/dc.v5i1.867>
- Lagler, F., Barbieri, M., Borowiak, A., Putaud, J., & European Commission. Joint Research Centre. (2019). *Evaluation of the field comparison exercise for PM₁₀ and PM_{2.5}, Ispra, January 18th - March 14th, 2018: European*

Commission harmonization program for Air Quality Measurements.

<https://doi.org/doi:10.2760/32013>

Lara, C., Hernández, T., Andrade, J., Patricio, G., Lima, S., & Cabezas, R. (2023). Influence of vehicle flow on concentrations of particulate material, la pradera II sector, guayaquil Información del artículo. *ESPAMCIENCIA*, 15(1), 21–28. <https://doi.org/10.512>

Lelieveld, J., Evans, S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525(7569), 367–371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>

Livia, K., Reátegui-Inga, M., Aguirre, C., Cabrejos, J., y Reátegui, R. (2021). Contaminación del aire por partículas sedimentables en domicilios en la zona urbana de la Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco. *Revista Científica Pakamuros*, 9(4), 41–53. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i4.236>

López, E., Carlos, L., Simeón, P., Gabriel, J., y Navarro, M. (1998). *Los sistemas de información geográfica* (Vol. 3). Andalucía.

Losacco, C., & Perillo, A. (2018). Particulate matter air pollution and respiratory impact on humans and animals. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(34), 33901–33910. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3344-9>

Matus, P., y Lucero, Ch. (2002). Norma Primaria de calidad del aire. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 18(2). <https://doi.org/10.4067/S0717-73482002000200006>

Ministerio del Ambiente. (2010). Plan Nacional de la Calidad de Aire. FAOLEX.

Obtenido de <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu103264.pdf>

Morales, O. (2003). *Fundamentos de la investigación documental y la monografía*.

Morales, V., Barraza, F., Collante, E., Ginocchio, R., Jorquera, H., Lambert, F., Ospina, E., Sáez, C., & Varas, J. (2020). Sedimentation rate of settleable particulate matter in Santiago city, Chile. *Environmental Quality Management*, 29(3), 17–25. <https://doi.org/10.1002/tqem.21672>

Munsif, R., Zubair, M., Aziz, A., & Nadeem Zafar, M. (2021). Industrial Air Emission Pollution: Potential Sources and Sustainable Mitigation. En R. Munsif (Ed.), *Environmental Emissions* (Vol. 1). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93104>

Ordoñez, Y., Reinoso, M., Hernández-Garces, A., & Canciano-Fernández, J. (2018). Application of simplified models for dispersion of air pollutants. Case study. *Rev. Cubana Quím*, 30(1), 2224–5421. <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq>

Oré, E., Gallardo, N., Guadalupe, J., Guevara, Y., Loarte, C., y Suarez, A. (2023). Modelación geoespacial de la dispersión de material particulado sedimentable en el campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. *Qantu Yachay*, 3(2), 11–19. <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v3i2.55>

Paguay, M., Santillan, P., y Caichug, M. (2023). Caracterización y determinación de concentraciones de material particulado sedimentable (MPS) en la comunidad de Gatazo Grande Cantón Colta por suceso industrial. *Polo de Conocimiento*, 8(2), 1347–1371. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i2>

Palacios, C., y Moreno, W. (2022). Contaminación ambiental. *RECIMUNDO*,

- 6(2), 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Patiño, M., Hernández, T., Panchana, C., & Borge, R. (2024). Source apportionment of ambient pollution levels in Guayaquil, Ecuador. *Heliyon*, 10(11), e31613. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31613>
- Porras, A. (2017). *Método Kriging de inferencia espacial*.
- Puigcerver, M., y Carrascal, D. (2008). *El medio atmosférico: meteorología y contaminación*.
- QGIS Development Team. (2024). *Una Introducción fácil a GIS*. https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/gentle_gis_introduction/index.html
- Querol, X. (2008). Air quality, particles and metals. *Revista Española de Salud Pública*, 82(5), 447–454. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272008000500001&lng=es&tlng=es.
- Ramos, R. (2023). Relación entre el material particulado (PM10), Los parámetros meteorológicos y la concentración de esporas fúngicas en la atmósfera de la plaza san martín de lima. *Ecología Aplicada*, 22(1), 35–41. <https://doi.org/10.21704/rea.v22i1.1927>
- Ramos, A. (2020). Alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Rodríguez, S., Van Dingenen, R., Putaud, J.-P., Martins, S., & Roselli, D. (2005). Nucleation and growth of new particles in the rural atmosphere of Northern Italy—relationship to air quality monitoring. *Atmospheric Environment*, 39(36), 6734–6746. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.07.036>
- Rodríguez, A., y Cuvi, N. (2019). Contaminación del Aire y Justicia Ambiental

- en Quito, Ecuador. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 8(3), 13–46. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3.p13-46>
- Rojas, L., y Garibay, V. (2003). Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿Hacen daño a la salud?; ¿odfemos hacer algo? *Gaceta Ecológica*, 69, 29–44.
- Romero, M., Diego, F., y Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud Dr. Manuel Romero Placeres. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032006000200008&lng=es&tlng=es
- Salvador, P., y Artíñano, B. (2000). *Evaluación de la Contaminación Atmosférica Producida por Partículas en Suspensión en las Redes de Calidad del Aire de la Comunidad de Madrid* (Vol. 1). CIEMAT.
- Santillán, P., Andi, G., y Vega ,M. (2019). *Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el sector Calpi, cantón Riobamba por incidencia industrial* [Tesis de Grado , Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5639>
- Sarría, F. A. (2006). *Sistemas de Información Geográfica* (3a ed., Vol. 239). UEM. <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Sbarato, V., dsbarato, D., Basan, yahoocomar, Manzo, R., Ortega José Emilio, P., y Salort María Rosa, M. (1999). *Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico*.
- Schraufnagel, E., Balmes, R., Cowl, T., De Matteis, S., Jung, S.-H., Mortimer,

- K., Perez, R., Rice, M. B., Riojas, H., Sood, A., Thurston, D., To, T., Vanker, A., & Wuebbles, J. (2019). Air Pollution and Noncommunicable Diseases. *Chest*, 155(2), 409–416. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042>
- Sicard, P., Agathokleous, E., De Marco, A., Paoletti, E., & Calatayud, V. (2021). Urban population exposure to air pollution in Europe over the last decades. *Environmental Sciences Europe*, 33(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00450-2>
- Tates, J., Morocho, L., Garzón, L., y Cepeda, M. (2023). Evaluación de la concentración de material particulado sedimentable en Fertisa Sur de Guayaquil. *Polo de Conocimiento*, 9(3), 996–1009. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/pc.v9i3.6697>
- Wang, Y., Yao, L., Wang, L., Liu, Z., Ji, D., Tang, G., Zhang, J., Sun, Y., Hu, B., & Xin, J. (2014). Mechanism for the formation of the January 2013 heavy haze pollution episode over central and eastern China. *Science China Earth Sciences*, 57(1), 14–25. <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4773-4>
- Yang, J., Shi, B., Shi, Y., Marvin, S., Zheng, Y., & Xia, G. (2020). Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101941. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101941>.

ANEXOS

Anexo N° 1

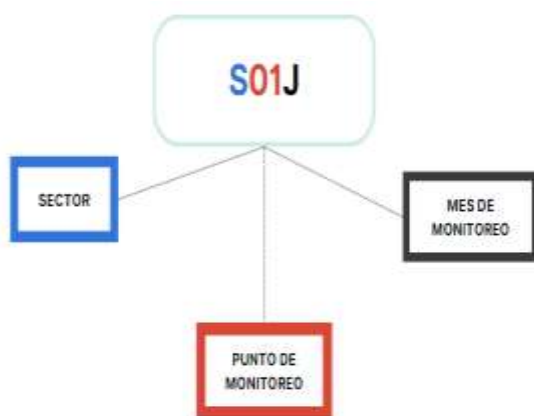
Delimitación del Área de estudio



Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 2

Codificación de los colectores pasivos de monitoreo.



Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 3
Coordenadas UTM de los puntos de monitoreo

Punto	Ubicación	X	Y
1	Universidad Agraria del Ecuador	622855.75	9752345.04
2	La Saiba – Barrio 5 de junio	623510	9753670
3	Ciudadela Naval Sur	622866.9	9755232.3
4	Suburbio – Cisne II	619790.4	9754013.4
5	Isla Trinitaria – Brisas del lado	618193.9	9753008.8
6	Ptral. – Coop. Fuerza de los pobres	620515	9752346
7	Coop. Santiaguito de Roldós	620896.52	9751667.33
8	Floresta III	623503.4	9751227.7
9	Coop. Derecho de los pobres	623212.8	9749088.2
10	Guasmo sur – Coop. 5 de Enero	625158.2	9751073.6

Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 4
MPS seco retenido en filtros de microfibra de 11mm.



Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 5

Pesaje de MPS retenido en filtros de microfibra en la balanza analítica.



Elaborado por: La Autora, 2025.

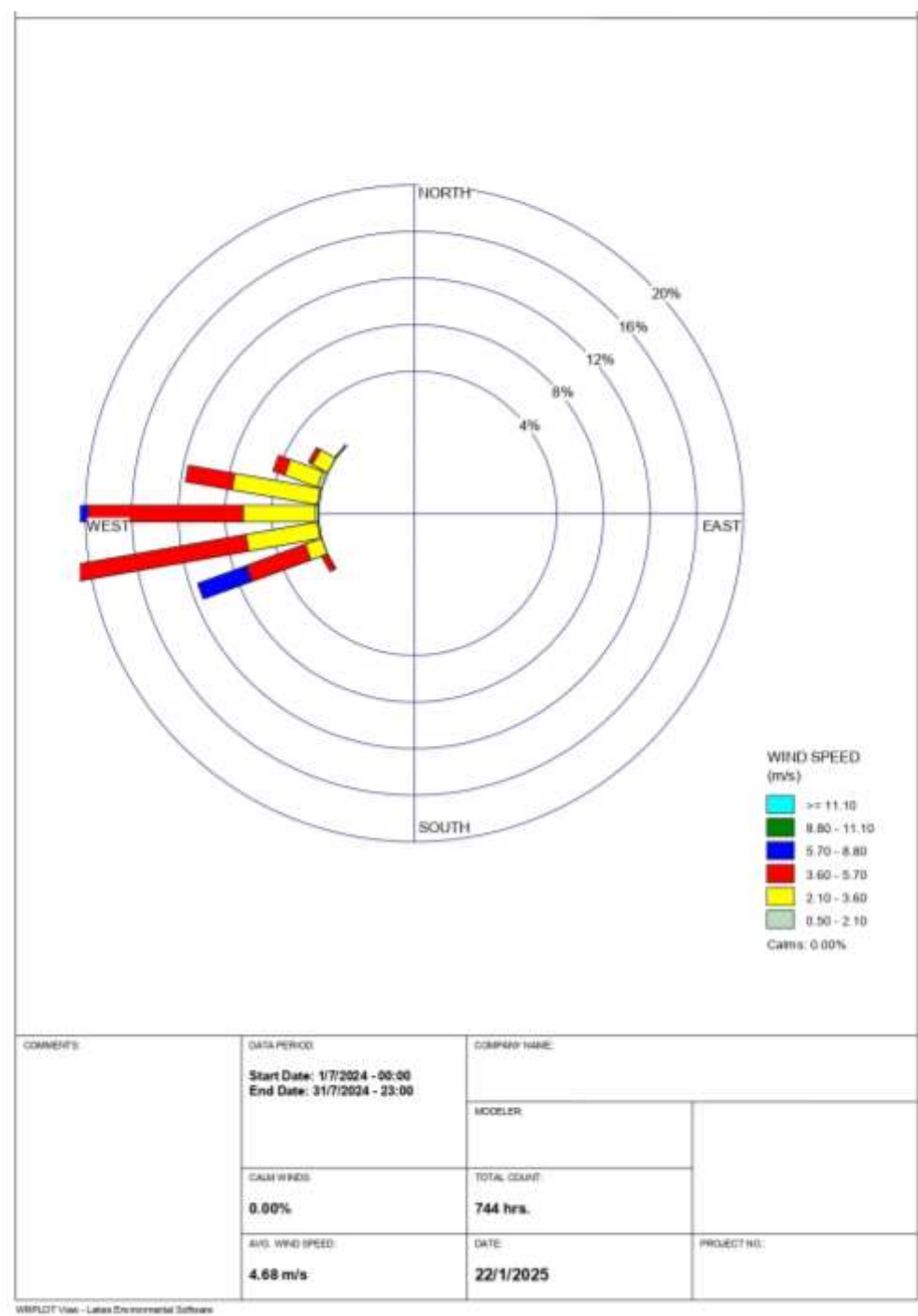
Anexo N° 6

Secado de filtros con MPS en la estufa.



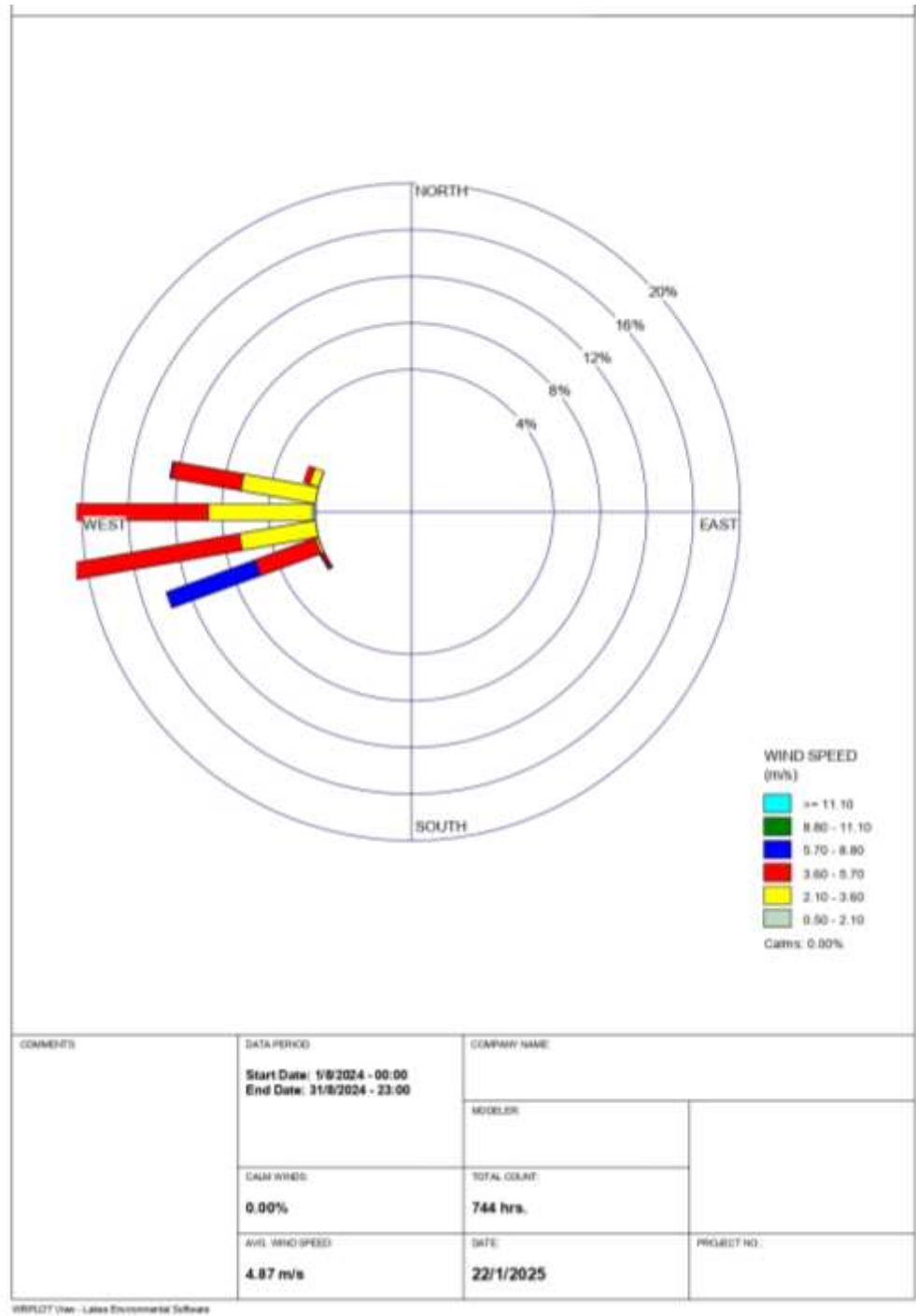
Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 7
Rosa de los vientos mes de Julio (resultado tercer del objetivo).



Elaborado por: La Autora, 2025.

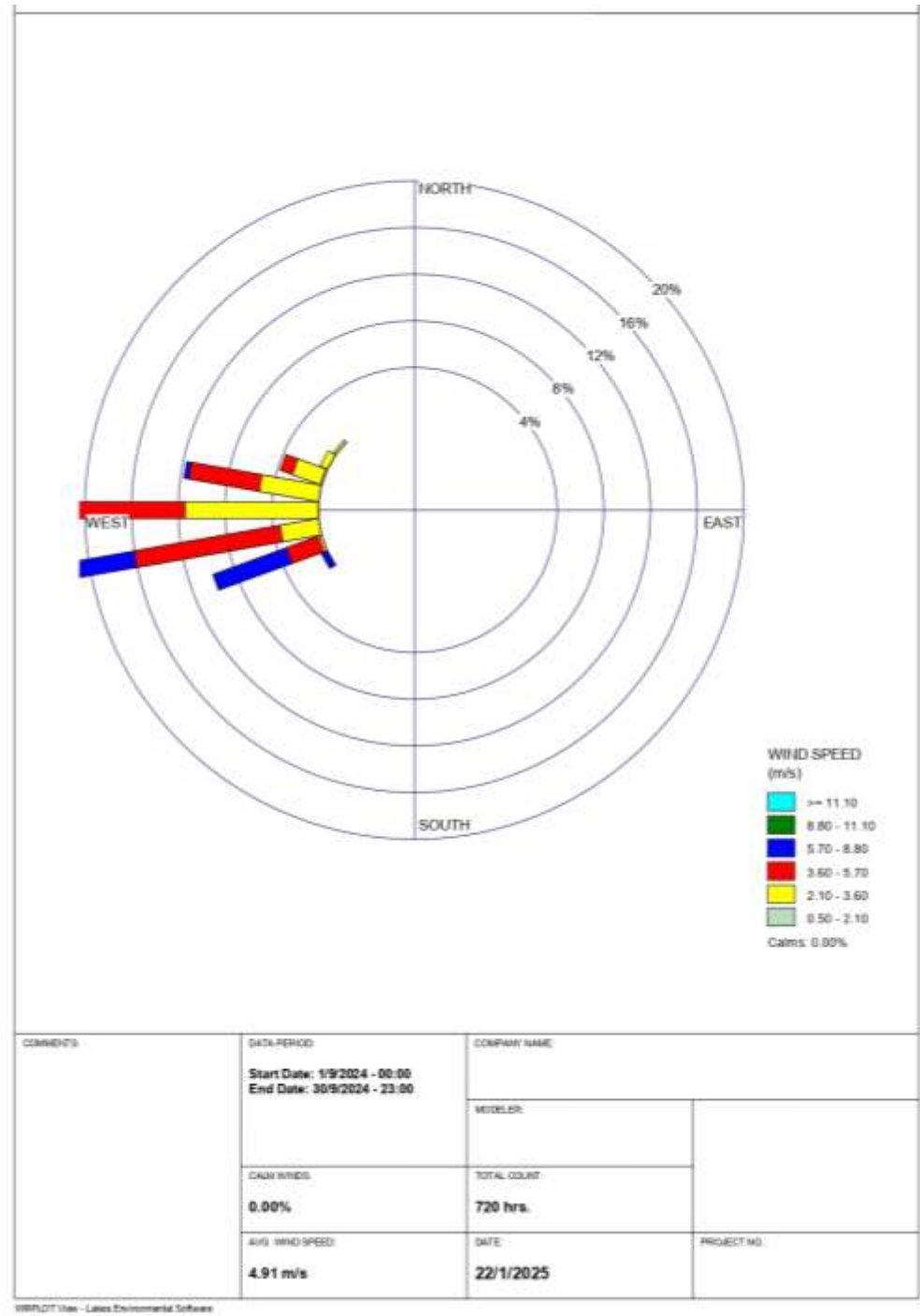
Anexo N° 8
Rosa de los vientos mes de agosto (resultado tercer del objetivo).



Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 9

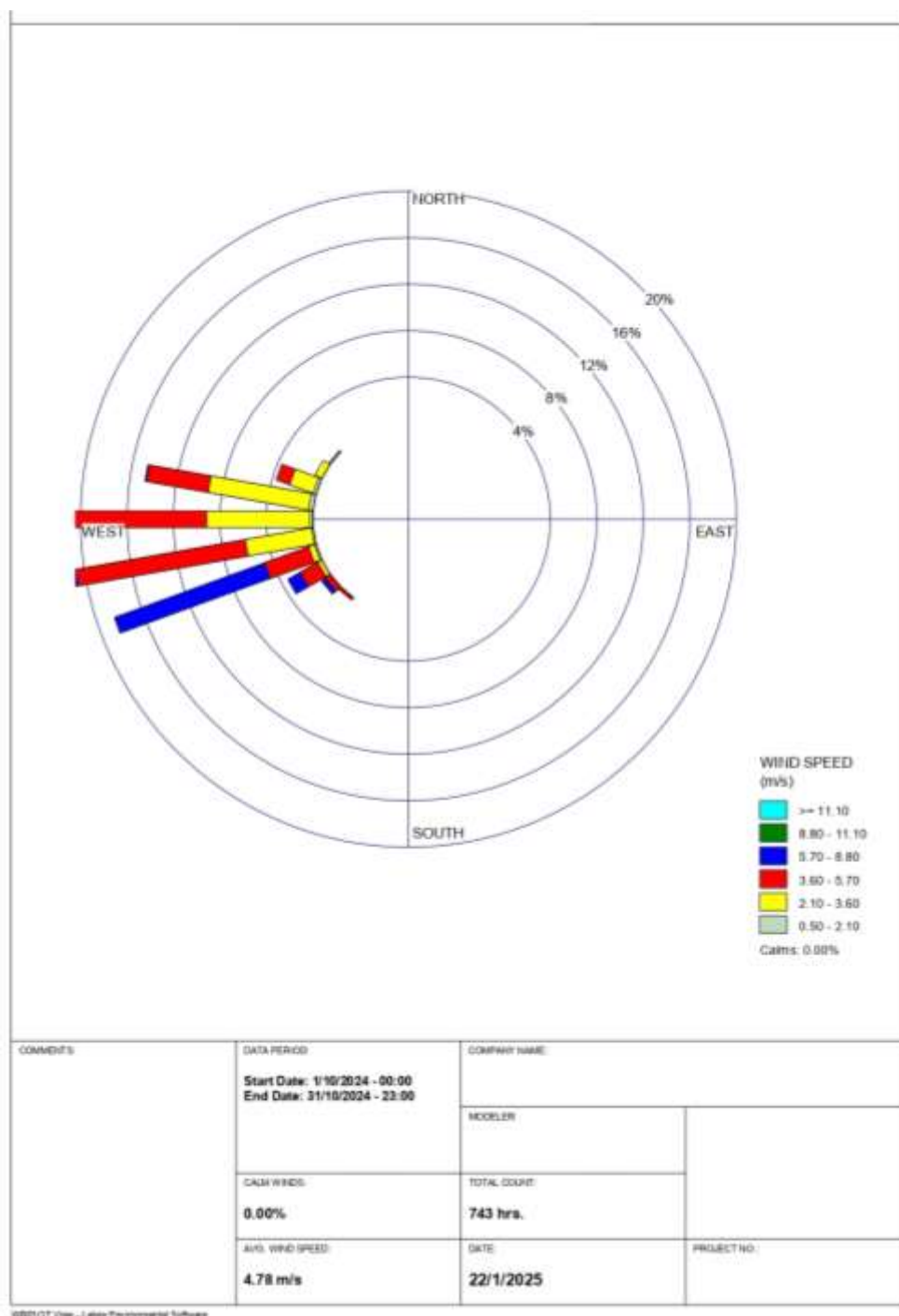
Rosa de los vientos mes de septiembre (resultado tercer del objetivo).



Elaborado por: La Autora, 2025

Anexo N° 10

Rosa de los vientos mes de octubre (resultado tercer del objetivo).



Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 11***Recolección de fracción soluble e insoluble de MPS.***

Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 12***Uso de bomba de vacío para obtención de material insoluble de MPS.***

Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 13***Secado de fracción soluble de MPS.***

Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 14***Instalación de filtro de microfibra y tubo colector pasivo de MPS.***

Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 15

Instalación de tubo colector pasivo de MPS con altura recomendada.



Elaborado por: La Autora, 2025.

Anexo N° 16

Instalación de tubo colector pasivo de MPS.



Elaborado por: La Autora, 2025.