

UCUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

“Estudio de la contaminación del aire ambiente por material particulado sedimentable en el casco urbano de la ciudad de Machala provincia de El Oro”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental.

Autoras:

Karen Soraya Jara Carreño

CI: 0750302754

Correo electrónico: karenj.2219@gmail.com

Maribel del Cisne Lojan Romero

CI: 0706665106

Correo electrónico: maritalojan46@gmail.com

Directora:

Ing. Diana Lucía Moscoso Vanegas, PhD

CI: 0102339454

Cuenca, Ecuador

27 de enero de 2023

Resumen:

Machala es una de las ciudades más pobladas de la provincia de El Oro, por ende se encuentra en un constante crecimiento urbano al igual que el sector automotor, esto provoca que se dé un aumento de las emisiones atmosféricas en esta zona y al contar con escasos estudios sobre la calidad del aire se planteó el siguiente trabajo de investigación que tiene como objetivo determinar la cantidad de material particulado sedimentable (MPS) en el casco urbano de la ciudad, mediante el método gravimétrico (captación de partículas en envases abiertos) establecido para un tiempo de monitoreo de tres meses (junio, julio y agosto de 2022) analizando un total de 40 puntos, los cuales se obtuvieron a través de un diagnóstico ambiental (conteo vehicular).

Por medio de los cálculos que establece el Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) en su Anexo 4 del Libro VI vigente en Ecuador, se presentó un nivel de cumplimiento de esta normativa del 60 % para el mes de junio, 70 % para el mes de julio y 50 % en el mes de agosto, por lo tanto, se determinó que el tercer mes obtuvo mayores concentraciones de MPS en $\text{mg}/\text{cm}^2 * 30$ días de todo el estudio. Finalmente, el análisis estadístico arrojó que las concentraciones MPS y temperatura no poseen relación entre ellas.

Palabras clave: Contaminación del aire. Material particulado sedimentable. Flujo vehicular. Calidad del aire. Machala.

Abstract:

Machala is one of the most populated cities in the province of El Oro, therefore it is in a constant urban growth as well as the automotive sector, this causes an increase in atmospheric emissions in this area and having few studies on air quality, the following research work was proposed with the objective of determining the amount of sedimentable particulate matter (SPM) in the urban area of the city, by means of the gravimetric method (collection of particles in open containers) established for a monitoring time of three months (June, July and August 2022), analyzing a total of 40 points which were obtained through an environmental diagnosis (vehicle count).

By means of the calculations established by the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULSMA) in its Annex IV of Book VI in force in Ecuador, a level of compliance with this regulation of 60% was presented for the month of June, 70% for the month of July and 50% in the month of August, therefore, it was determined that the third month obtained higher concentrations of SPM in mg/cm^2 *30 days of the entire study. Finally, the statistical analysis showed that the MPS concentrations and temperature had no relationship between them.

Key words: Air pollution. Sedimentable particulate matter. Vehicular flow. Air quality. Machala.

Índice de contenido

1	INTRODUCCIÓN	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo general	17
2.2	Objetivos específicos	17
3	MARCO TEÓRICO	18
3.1	Antecedentes	18
3.2	Contaminación del aire ambiente	19
3.2.1	Aire	19
3.2.2	Calidad del aire	19
3.2.3	Contaminación atmosférica	19
3.3	Material particulado (MP)	22
3.3.1	Clasificación de las partículas según su diámetro	22
3.3.2	Material particulado sedimentable	23
3.4	Dispersión de contaminantes atmosféricos	23
3.4.1	Factores meteorológicos que intervienen en la dispersión de contaminantes atmosféricos	24
3.5	Efectos del MPS	25
3.5.1	Efectos en la salud	25
3.5.2	Efectos al ambiente	25
3.6	Normativa de calidad del aire para MPS	26
3.6.1	Normativa nacional	26
3.6.2	Normativa internacional	27
3.6.3	Límites máximos permisibles para MPS	27
3.7	ArcGis 10.4.1	28
3.7.1	Inverse Distance Weighted (IDW)	28
3.8	Análisis estadístico	28
3.8.1	Teledetección	28
3.8.2	Imágenes satelitales	28
3.8.3	ERA 5	29
3.8.4	Correlación de variables	29
4	METODOLOGÍA	30
4.1	Tipo de investigación	30

UCUENCA

4.1.1	Explorativo.....	30
4.1.2	Correlacional	30
4.2	Población y Muestra.....	30
4.3	Área de estudio.....	30
4.4	Conteo vehicular	32
4.5	Puntos de monitoreo.....	33
4.6	Metodología de medición para calcular la cantidad de MPS	35
4.6.1	Recolección de muestras	35
4.6.2	Procedimiento	35
4.6.3	Análisis de laboratorio	36
4.6.4	Cálculos	37
4.7	Representación espacial	38
4.8	Análisis estadístico.....	38
4.8.1	Información meteorológica.....	38
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1	Material particulado sedimentable	39
5.2	Conteo vehicular	47
5.3	Representación espacial	48
5.4	Análisis estadístico.....	52
6	CONCLUSIONES.....	57
7	RECOMENDACIONES.....	58
8	BIBLIOGRAFÍA.....	59
9	ANEXOS.....	68

Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio	31
Figura 2. Ubicación de los sitios de monitoreo.....	32
Figura 3. Puntos de monitoreo.	33
Figura 4. Comparación de MPS con la normativa nacional e internacional del primer muestreo	41
Figura 5. Comparación de MPS con la normativa nacional e internacional del segundo muestreo	43
Figura 6. Comparación de MPS con la normativa nacional e internacional del tercer muestreo	45
Figura 7. Comparación de MPS de los 3 meses de monitoreo.....	46
Figura 8. Resultados del conteo vehicular	47
Figura 9. Distribución de MPS en la zona de estudio primer muestreo.....	49
Figura 10. Distribución de MPS en la zona de estudio del segundo muestreo	50
Figura 11. Distribución de MPS en la zona de estudio del tercer muestreo	51
Figura 12. Diagrama de dispersión de MPS vs Temperatura del mes de junio.	53
Figura 13. Diagrama de dispersión de MPS vs Temperatura del mes de julio.	54
Figura 14. Diagrama de dispersión de MPS vs. Temperatura del mes de agosto	55
Figura 15. Conteo vehicular realizado en el casco urbano de Machala.	68
Figura 16. Envase colector.....	68
Figura 17. Colocación de envases colectores en los puntos de muestreo.	69
Figura 18. Procedimiento para determinar la cantidad de MPS en el laboratorio.	70

Índice de Tablas

Tabla 1. Normativa para MPS.....	27
Tabla 2. Puntos de monitoreo.....	34
Tabla 3. Resultados de MPS del primer muestreo	40
Tabla 4. Resultados de MPS del segundo monitoreo.....	42
Tabla 5. Resultados de MPS del tercer muestreo.....	44
Tabla 6. Estadísticas de la regresión del mes de junio.....	53
Tabla 7. Estadísticas de la regresión del mes de julio.....	55
Tabla 8. Estadísticas de la regresión del mes de agosto.....	56
Tabla 9. Resultados del conteo vehicular realizado en el casco urbano de Machala.....	71
Tabla 10. Cálculos para la determinación de MPS del primer mes.....	72
Tabla 11. Cálculos para la determinación de MPS del segundo mes.....	74
Tabla 12. Cálculos para la determinación de MPS del tercer mes.....	75

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Karen Soraya Jara Carreño en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estudio de la contaminación del aire ambiente por material particulado sedimentable en el casco urbano de la ciudad de Machala provincia de El Oro", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 27 de enero de 2023



Karen Soraya Jara Carreño

C.I: 0750302754

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Maribel del Cisne Lojan Romero en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Estudio de la contaminación del aire ambiente por material particulado sedimentable en el casco urbano de la ciudad de Machala provincia de El Oro", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 27 de enero de 2023



Maribel del Cisne Lojan Romero

C.I: 0706665106

Cláusula de Propiedad Intelectual

Karen Soraya Jara Carreño, autora del trabajo de titulación "Estudio de la contaminación del aire ambiente por material particulado sedimentable en el casco urbano de la ciudad de Machala provincia de El Oro", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 27 de enero de 2023



Karen Soraya Jara Carreño

C.I: 0750302754

Cláusula de Propiedad Intelectual

Maribel del Cisne Lojan Romero, autora del trabajo de titulación “(Estudio de la contaminación del aire ambiente por material particulado sedimentable en el casco urbano de la ciudad de Machala provincia de El Oro)”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 27 de enero de 2023



Maribel del Cisne Lojan Romero

C.I: 0706665106

Dedicatorias

A mis padres Vicente Jara y Sorayda Carreño, hermanos Shirley, William, Ginna, desde el momento que decidí realizar mis estudios siempre han estado conmigo, a pesar de la distancia una llamada bastaba para recordarme las cosas importantes de la vida y seguir avanzando, a mis abuelitos, tíos, primos, cuñados, sobrinos, considero que cada uno de ellos fueron parte importante en mi vida durante este proceso, porque la familia es lo mejor que Dios nos ha dejado, les dedico cada uno de mis logros y fracasos ya que ambos han sumado para poder crecer de manera personal y profesional.

A todos los amigos que supieron abrir un espacio en su mundo y corazón para compartirlo conmigo, en especial a Jaime Andrés ya que con el pasar del tiempo logramos formar una bonita relación siendo apoyo incondicional el uno para el otro.

Karen Soraya Jara Carreño

Dedicatorias

A mis padres, Violeta y Edgar, por su apoyo y amor incondicional durante toda mi vida, por siempre ser el pilar fundamental para seguir adelante y tener una palabra de aliento, por confiar y creer en mí. Sin ellos no sería la persona que soy, les dedico cada uno de mis aciertos y fracasos.

A mis hermanos Vanessa y Leonardo por brindarme su apoyo incondicional en cada reto que me he planteado y por siempre impulsarme a hacer lo que me gusta, también a mis sobrinos, cuñado y familia por la motivación que me han brindado.

A mis amigos, por hacer más llevadero mis días, por siempre estar para mí cuando los he necesitado y por convertirse en esa familia que no tenía cerca.

Maribel del Cisne Lojan Romero

Agradecimientos

A Dios, por habernos dado la fortaleza cada uno de los retos que se nos presentaron en nuestra vida estudiantil y así poder alcanzar nuestros objetivos.

A nuestras familias Jara Carreño y Lojan Romero, por habernos brindado su confianza y apoyo durante este proceso académico.

A nuestra tutora de tesis Ingeniera Diana Moscoso, por habernos asesorado y brindado su gran aporte profesional y como ser humano, ambos nos ayudaron a realizar un trabajo de manera exitosa.

Al laboratorio de análisis de calidad de aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, por haber brindado apertura para la parte de análisis en laboratorio de nuestro trabajo de titulación, en especial al Doctor Giovanni Larriva por su apoyo en cuanto a los conocimientos impartidos.

Al Blgo. Danilo Mejía por sus generosas recomendaciones cuando tuvimos dudas al realizar nuestro proyecto.

A la Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas y todos los docentes que nos acompañaron en estos años, por acogernos como estudiantes y ayudarnos a formar como profesionales de la república.

Agradecemos a cada uno de las personas que sumaron para que este logro se haga realidad.

Karen Soraya Jara Carreño
Maribel del Cisne Lojan Romero

1 INTRODUCCIÓN

El aire es una mezcla de gases que son de vital importancia para los seres humanos y el medio en que se desarrollan, donde su calidad y preservación está relacionado con las actividades humanas, es por esto que en la actualidad el aire está propenso a sufrir contaminación ya sea de manera natural (erupciones volcánicas, tormentas de arena, incendios, descomposición de la materia) o antropogénica (minería, termoeléctricas, transporte, etc.), (Carranza et al., 2021).

La contaminación del aire es uno de los principales problemas a nivel mundial debido a los efectos negativos que estos pueden causar en la salud humana y en los diferentes ecosistemas. Esta negativa se encuentra más latente en las zonas urbanas debido al crecimiento industrial, económico, tecnológico y al incremento poblacional generando un aumento por ejemplo en el uso de automóviles los cuales provocan una intensificación de los niveles de contaminantes en la atmósfera (Quito et al., 2021). Según las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2021, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo ha provocado 4,2 millones de muertes prematuras al año, por esta razón es uno de los principales problemas ambientales que se genera debido a la presencia del parque industrial y automotor causando la liberación de grandes cantidades de compuestos y sustancias como el dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y material particulado los cuales pueden afectar la salud tanto de las personas como del medio ambiente en general (OMS, 2021).

El material particulado sedimentable (MPS) posee un diámetro aerodinámico mayor o igual a 10 μm por ende permanecen por periodos cortos en la atmósfera (Carrasco, 2021), provocando varias afecciones en la población además de corrosión y daños materiales en las viviendas generando un deterioro en el paisaje de la ciudad. A nivel nacional, mediante estudios realizados por parte del Ministerio del Ambiente establecieron que de las 17 ciudades (Guayaquil, Quito, Cuenca, Santo Domingo, Machala, Durán, Manta, Portoviejo, Loja, Ambato, Esmeraldas, Quevedo, Riobamba, Milagro, Ibarra, La Libertad y Babahoyo) que cuentan con poblaciones mayores a 100 mil habitantes y debido a su densidad poblacional y actividades económicas tienen una alta probabilidad de tener una calidad ambiental degradada, pese a esto solo Quito, Guayaquil y Cuenca cuentan con planes de acción para controlar la contaminación atmosférica (Peña, 2018). Según Urrutia (2021) el transporte público y particular genera el 80 % de contaminantes al aire, el comercio y servicios el 10 % y, el sector industrial un 3 %. Por lo cual es importante implementar redes de monitoreo de la calidad del aire para los diferentes tipos de

UCUENCA

contaminantes con la finalidad de cuantificar y verificar las concentraciones de partículas respirables, gases y compararlas con la normativa vigente de cada país.

La ciudad de Machala, provincia de El Oro, se la reconoce como la “Capital bananera del mundo”, donde según su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT), el banano es una de las principales industrias de producción en conjunto con el camarón; cuenta con Autoridad Portuaria de Puerto Bolívar el cual es el principal puerto exportador en el Ecuador, ocasionando una gran afluencia de vehículos de transporte pesado hacia estas instalaciones, donde la Av. Bolívar Madero Vargas es el único acceso a la misma. Aunque el cantón no cuenta con un parque industrial emplazado, se debe tener en consideración que la mayor fuente de contaminación del aire está representada por los gases de combustión y material particulado generados por el parque automotor. Además, en el PDOT se indica que la ciudad se encuentra en un constante crecimiento urbanístico, ocasionando un incremento de asentamientos humanos y del parque automotor, convirtiéndose en un lugar de gran afluencia de personas y de negocios en lo referente a servicios turísticos (Municipalidad de Machala, 2019).

Debido a la escasa información oficial sobre la presencia de material particulado sedimentable en el aire ambiente y analizando todas las variables antes expuestas, surgió la necesidad de determinar el grado de contaminación del aire, el cual puede ser originado principalmente por el parque automotor, fuentes fijas, etc., en las diferentes zonas del cantón, por lo tanto, se pretende realizar un estudio de la contaminación del aire por material particulado sedimentable en el casco urbano de Machala. Logrando un avance académico debido a que en esta zona los estudios sobre calidad de aire han sido escasos, tal y como se menciona en el PDOT del cantón Machala en su actualización del año 2019, “En el cantón Machala actualmente no existe un estudio que determine la calidad del aire en todo el territorio, sin embargo se han realizado diversos estudios de impacto ambiental para el desarrollo de proyectos constructivos, en los cuales se ha considerado un análisis de las características del aire como parte del estudio de situación” (Municipalidad de Machala, 2019, p. 65). En la provincia de El Oro se registró un incremento del 62,33 % entre los años 2015 y 2021 de vehículos matriculados (Torres, 2015), por ello se ve en la necesidad de profundizar sobre la calidad del aire ya que además esto podría servir de base para futuras investigaciones.

Mediante la aplicación de este estudio se logrará identificar las zonas de mayor concentración de material particulado sedimentable en el casco urbano de Machala, ya que el ritmo acelerado

UCUENCA

del desarrollo urbanístico provoca que la contaminación también aumente (Blanco, 2016), para lo cual pretende determinar y cuantificar este contaminante. A continuación, se plantea los siguientes objetivos:

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar las concentraciones de material particulado sedimentable en el casco urbano de la ciudad de Machala, provincia de El Oro.

2.2 Objetivos específicos

- Establecer los puntos críticos de monitoreo mediante un conteo vehicular en la zona de estudio.
- Comparar los resultados de material particulado sedimentable con los límites máximos permisibles.
- Obtener una representación gráfica de la concentración de material particulado sedimentable en el casco urbano de Machala.
- Determinar si existe relación entre la concentración del material particulado sedimentable y la temperatura como variable meteorológica.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

La contaminación del aire y sus efectos en la salud humana principalmente la producida por partículas y gases se ha registrado desde la Edad Media. A partir del siglo XVIII esta inquietud fue incrementando debido a la industrialización y la urbanización creciente, con la llegada de los automóviles esta contaminación generó problemas aún mayores donde las ciudades que no contaban con grandes industrias resultaron con efectos negativos en su calidad del aire. Una de las principales fuentes de contaminación del aire a nivel mundial es la producida por el parque automotor donde se liberan una gran cantidad de contaminantes atmosféricos a través de los tubos de escape, desgaste de frenos, neumáticos y la abrasión del motor. (Rodríguez et al., 2019).

En el Ecuador el comercio automotriz empezó en el siglo XX (León et al., 2017), ya para los años entre 1962 y 1990 el parque automotor a nivel nacional tuvo un incremento del 10 % y a partir de este año se consideró que los automóviles, buses y camiones generaban las mayores fuentes de contaminación del aire, aunque todavía la mayor atención se le daba a las industrias (Rodríguez et al., 2019).

Según los resultados obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) El Oro es una de las provincias que cuenta con un gran número de vehículos que conforman el parque automotor, por lo cual en la ciudad de Machala se encuentra el 76,88 % del total de automóviles (León et al., 2017). Generando preocupación sobre los efectos que estos pueden causar tanto para el ambiente como la salud humana.

La contaminación del aire producida por el parque automotor puede generar afecciones en la población entre las principales son las enfermedades físicas, respiratorias y mentales. Además un estudio realizado en la ciudad de Machala sobre el impacto socio ambiental generado por el acelerado crecimiento del parque automotor indica que la contaminación generada ha provocado graves problemas respiratorios en la salud de las personas por la emisión de gases y partículas contaminantes (González et al., 2022).

Un estudio realizado en la ciudad de Machala sobre contaminación acústica por vehículos en la calle 25 de junio y Rocafuerte manifiesta que este ocasiona dificultad para dormir, disminución de la eficiencia de las personas, además de aumentar la capacidad para contraer otras

UCUENCA

enfermedades y en casos más extremos puede agravar enfermedades cardiacas pre existentes. Mostrando como resultados de este estudio que en las calles antes mencionadas existe una contaminación por ruido especialmente debido al tránsito de vehículos pesados (Berrú, 2013).

3.2 Contaminación del aire ambiente

3.2.1 Aire

El aire es un elemento fundamental para el desarrollo de la vida en la tierra; Está compuesto por una mezcla de gases como son el nitrógeno (79 %), oxígeno (20 %), y el 2 % de dióxido de carbono, neón, helio, argón, criptón y vapor de agua (Ánjel, 2020), los cuales conforman la atmósfera. Las características más importantes del aire son: Insípido, transparente, inodoro, incoloro cuando se encuentra en pequeñas cantidades, no tiene un volumen definido y tiende a ser muy sensible a la temperatura (Cabascango, 2022).

3.2.2 Calidad del aire

La calidad del aire está determinada por su composición y hace referencia al estado en el que este se encuentra, su alteración viene dada principalmente por la presencia de contaminantes atmosféricos presentes dentro de su composición natural y, que pueden provenir de diversas fuentes tanto naturales como antropogénicas (Marcos et al., 2004).

La mala calidad del aire es un problema de interés mundial debido a que el aire no es estático, sino que se dispersa y con el crecimiento de la población y desarrollo de las ciudades esta problemática sigue latente y cada vez empeora. La importancia de conocer la calidad del aire se da generalmente porque las consecuencias negativas repercuten en el medio ambiente y la salud de los seres vivos, por lo que incluso los gobiernos se ven interesados en realizar acciones que mitiguen esta problemática (Pérez, 2017).

3.2.3 Contaminación atmosférica

Se denomina contaminación del aire a la materia o sustancias presentes en la atmósfera que suponen un riesgo, daño o malestar para la salud, calidad de vida de los seres vivos y el medio en el que se desarrollan (Aránguez et al., 1999); ocurre cuando la composición del aire se altera por efectos externos o contaminación, esta problemática ha estado presente desde hace varios años atrás y se encuentra en constante cambio debido a que el mundo también lo está; puede darse de manera natural por ejemplo las erupciones volcánicas, incendios, tormentas de arena,

etc., pero con la aparición del fuego y posterior revolución industrial aparece el término de la contaminación antropogénica por lo que se aumentó de manera significativa este tipo de contaminación debido a los procesos productivos y otras actividades cotidianas del ser humano, a esto se suman otros factores como el ruido que proviene de sonidos fuertes de la industria, vehículos automotores, entre otros (Mendoza et al., 2022).

El sector automotor contribuyen a la contaminación del aire, las emisiones de los vehículos automotores pueden generar afecciones a la salud pública, ya que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) las partículas que emiten algunos automotores pueden llegar a causar cáncer a los pulmones, afecciones a la laringe, páncreas, vejiga, riñones, patologías cardiovasculares ya que al ser de diminuto tamaño pueden llegar hasta los vasos sanguíneos; mucosidades en el sistema respiratorio (Chulde, 2019). Por otra parte, cerca del 88 % de la población mundial respira un aire que no está acorde a sus límites máximos permisibles (Bravo, 2017) .

El autor Parker (2021) en su libro menciona la influencia negativa que tiene el aire contaminado para los diferentes tipos de vida que se desarrollan en la tierra y la importancia que se le ha dado en los últimos años a reconocer los beneficios de mantener una atmósfera sin contaminación; se menciona que además no solo los seres humanos tienen repercusiones por la mala calidad del aire, sino también las plantas (en condiciones naturales o de cultivo) y animales, también afirma que de no haber existido la llamada revolución industrial algunas de las enfermedades respiratorias no existirían.

3.2.3.1 Tipos de contaminantes atmosféricos

Existen algunos tipos de contaminantes atmosféricos, como los contaminantes gaseosos, partículas sólidas, contaminantes naturales y artificiales, contaminantes primarios y secundarios.

- Algunos de los contaminantes gaseosos son el dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, ozono, metano, clorofluorocarburos, compuestos orgánicos volátiles y compuestos inorgánicos volátiles. El dióxido de carbono y el metano pertenecen a los contaminantes naturales provenientes principalmente de la ganadería intensificada, aunque la base son los subproductos de los agroquímicos usados en esta industria; también existe el ozono que en los estratos más bajos de la atmósfera se considera como un compuesto tóxico; por último, se menciona las partículas generadas por los incendios, erosión, descomposición biológica, entre

otros. Los contaminantes artificiales son el monóxido de carbono, monóxido de nitrógeno, y el dióxido de azufre, metales pesados, entre otros. Las partículas sólidas en suspensión se les atribuye la capacidad de causar daños a los alvéolos pulmonares, lo compone el material particulado y se divide en partículas suspendidas totales, partículas suspendidas con diámetro menor a 10 micras (PM_{10}), partículas suspendidas con diámetro menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$) y partículas con diámetro mayor a 10 micras (material sedimentable) (Semarnat, 2007).

- Los contaminantes primarios son emitidos de manera directa desde la fuente emisora al medio; son el metano y dióxido de carbono que actúan como un gas de efecto invernadero, aerosoles que causan daño a la capa de ozono, monóxido de carbono que impide que el organismo capta oxígeno. Los contaminantes secundarios se forman a partir de los contaminantes primarios que al contacto con el medio generan nuevas sustancias nocivas; algunos de los contaminantes secundarios son el ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3) provocan la lluvia ácida, trióxido de azufre (SO_3), (Barin, 2020).

3.2.3.2 Fuentes de contaminación atmosférica

La contaminación del aire se puede producir de diferentes maneras ya sea por fuentes naturales que hace referencia a los contaminantes producidos por erupciones volcánicas, resuspensión de polvo, incendios forestales, océano, plantas, etc. Asimismo, el deterioro de la calidad del aire está muy relacionado con las actividades antropogénicas es por esto que las principales fuentes de contaminación atmosférica se clasifican en: Fuentes Fijas (fuentes puntuales y de área) y las fuentes móviles (Jaramillo et al., 2004).

3.2.3.2.1 Fuentes Fijas

Fuentes puntuales: Son aquellas instalaciones que emiten grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera ya sea por su tamaño o actividad, esto se principalmente por la quema de combustibles fósiles los cuales generan: dióxido de azufre, (SO_2), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (González & Sánchez, 2021). En esta categoría se puede encontrar a la industria textil, química, alimentaria, metalúrgica, maderera e industrias procesadoras de productos vegetales y animales, etc. (*Instituto Nacional de Ecología,*

s. f.). Además, estas deben de reportar sus emisiones a la autoridad competente (Jaramillo et al., 2004).

Fuentes de área: Son pequeñas fuentes que están distribuidas en un área particular. De manera individual sus emisiones no representan un grave riesgo, pero de manera colectiva pueden generar una gran cantidad de contaminantes (Jaramillo et al., 2004). Entre las actividades que se consideran en esta categoría son: panaderías, almacenamiento y distribución de gas LP además del tratamiento de aguas residuales, plantas de composteo, rellenos sanitarios, etc. (*Instituto Nacional de Ecología*, s. f.).

3.2.3.2 Fuentes móviles

Comprende los medios de transporte terrestre, aéreo, fluvial y marítimo (Jaramillo et al., 2004) como, por ejemplo: aviones. Helicópteros, ferrocarriles, tranvías, tractocamiones, embarcaciones, motocicletas, maquinarias y equipos no fijas con motores de combustión que puedan generar sustancias contaminantes al ambiente (*Instituto Nacional de Ecología*, s. f.).

3.3 Material particulado (MP)

El MP se deriva de un conglomerado de partículas líquidas, sólidas-líquidas y sólidas que se encuentran en la atmósfera de manera suspendida, estos pueden variar en tamaño ya que van desde nanómetros a decenas de micrómetros, además también difieren en su composición y origen. Por lo cual para poder clasificarlos se lo realiza a través de su diámetro aerodinámico, siendo este un elemento importante para el transporte y eliminación de las partículas en el aire (Shiguango et al., 2019). Este tipo de contaminantes se pueden generar debido a la quema de combustibles fósiles, resuspensión de polvo, fricción de los neumáticos y las emisiones de los vehículos (González & Sánchez, 2021), el hollín y partículas generadas en los procesos de producción, son considerados como un contaminante primario y pueden estar compuesto por sulfatos, nitratos u óxidos de silicio. Cabe recalcar que este contaminante es considerado como uno de los principales problemas de contaminación del aire en la ciudad de Quito (Cando et al, 2018).

3.3.1 Clasificación de las partículas según su diámetro.

Un factor importante para determinar el comportamiento de una partícula es el diámetro ya que nos ayuda a definir cómo este va afectar al medio ambiente y la salud de las personas, por esto

el tamaño puede ser desde 0,1 μm hasta 100 μm . Las partículas se clasifican en partículas finas, las cuales poseen un diámetro aerodinámico menor a 5 μm , partículas gruesas las cuales poseen un diámetro entre 2,5 y 10 μm y finalmente las partículas suspendidas totales (PST) las cuales pueden llegar a medir hasta 100 μm , estas últimas se consideran como partículas sedimentables ya que su permanencia en la atmósfera es muy corta (Shiguango et al., 2019).

3.3.2 Material particulado sedimentable

El material particulado sedimentable está compuesto por sustancias solubles (que suele contener sulfatos), e insolubles (Livia, 2020), lo compone la materia sólida o líquida, de origen orgánico e inorgánico presentes en la atmósfera debido a diversas fuentes como producto de la contaminación antropogénica o sucesos naturales; para ser considerado partículas sedimentables deben contar con un diámetro mayor a 10 micras (Urrutia, 2021).

El polvo, hollín, polen, y otras sustancias producto de la combustión incompleta del carbón o derivados del petróleo hacen parte de los componentes orgánicos del material sedimentable; las sustancias inorgánicas suelen ser sílice, sulfatos, cloruros, hierro, aluminio, plomo, zinc, y los efectos que se produzcan van a depender de la composición química del sitio donde se depositen las partículas y cómo reaccionen entre sí (Livia, 2020).

Este tipo de partículas se caracterizan por permanecer en suspensión en la atmósfera durante períodos de tiempo cortos, precipitan por deposición seca (gravedad), deposición húmeda (lluvia) y contaminantes gaseosos; por lo que su dispersión involucra las zonas aledañas del foco de contaminación (Reinoso & Tello, 2021).

3.4 Dispersión de contaminantes atmosféricos

La concentración de contaminantes viene dada por el tipo, cantidad y la dispersión atmosférica; este último es la mezcla de contaminantes en el aire, depende del estado de la atmósfera y condiciones meteorológicas y hace referencia al desplazamiento de partículas o gases del aire que reaccionan en el medio, para que ocurra debe existir una fuerza impulsora como los vientos, corrientes atmosféricas, diferencias de presión o temperatura (Venegas et al., 2012). Existen modelos de dispersión de contaminantes para evaluar la calidad del aire y que, mediante algunos procesos físicos y químicos ayudan a determinar la variación de las concentraciones de los

misimos, algunos se pueden predecir con la ayuda de los factores meteorológicos que intervienen cuando los contaminantes se dispersan (Manzur et al., 2013).

3.4.1 Factores meteorológicos que intervienen en la dispersión de contaminantes atmosféricos

3.4.1.1 Temperatura

Puede existir mayor dispersión de contaminantes atmosféricos si la temperatura de la fuente emisora es mayor que la del medio (Gallo & Paredes, 2019). Además, contaminantes secundarios se pueden formar con la ayuda de la radiación del sol (Gómez et al., 1998). Las variaciones verticales de temperatura pueden dificultar la dispersión de los contaminantes debido a la inversión térmica que se genera Paracta (2021).

3.4.1.2 Humedad

La humedad es la cantidad neta de vapor de agua en el aire. Esta humedad hace relación a la cantidad de vapor de agua necesaria para que el aire se sature, puede contribuir a la acumulación de contaminantes, incluso puede formar lluvia ácida junto con otros compuestos químicos (Suarez, 2008).

3.4.1.3 Dirección y velocidad del viento

Las diferencias de presión atmosférica provocan lo que se denomina viento, las masas de aire frío con mayor peso por ende con mayor presión se mueven a las masas de aire caliente (con menor presión), así se forma el viento o movimiento horizontal. El viento es una magnitud vectorial por lo que comprende dirección y velocidad. Cuando la dirección del viento es inestable, los contaminantes atmosféricos tienden a ser esparcidos a zonas grandes llegando a tener poca concentración ya que las inversiones del viento impiden la circulación vertical del aire y por esto los contaminantes se acumulan en capas inferiores de la atmósfera. La velocidad del viento puede influir a la concentración del contaminante en un lugar, ya que, a mayor velocidad, menor concentración de un contaminante en la zona. Entonces el viento dispersa o diluye de manera rápida los contaminantes presentes en el foco de contaminación (Proaño & Jarrín, 2022).

3.4.1.4 *Precipitación*

Este factor en la dispersión de contaminantes, por un lado, tiene efectos positivos como arrastrar consigo las partículas del aire contaminado hacia el suelo o superficie, como las partículas provenientes de la construcción y de la industria. También pueden disolver algunos gases (Proaño & Jarrín, 2022).

3.5 Efectos del MPS

3.5.1 Efectos en la salud

El material particulado puede generar efectos negativos en la salud de las personas o agravar las ya existentes. Entre los efectos en la población están las enfermedades pulmonares y respiratorias como bronquitis, enfisema pulmonar e irritaciones. Estos contaminantes ingresan al cuerpo humano mediante el sistema respiratorio viajando hasta los pulmones donde dependiendo su diámetro se pueden depositar en las paredes de los bronquios. Es por esto que al MP se lo considera como el noveno factor de riesgo de enfermedades a nivel mundial (Shiguango et al., 2019).

Carranza et al. (2021) indicaron que la contaminación por MPS genera varias afectaciones en los seres humanos principalmente irritación en la garganta y mucosas, esto cuando se produce una exposición prolongada ha dicho contaminante. Además, indica que un estudio realizado en Cuba las principales enfermedades por MPS son el asma bronquial y las infecciones respiratorias agudas (IRA).

Livia et al. (2021) Indicaron que la principal fuente de contaminación por gases y partículas sedimentables es el parque automotor, generando así efectos sobre la salud de las personas tras un largo tiempo de exposición los cuales están relacionados con latidos irregulares, asma agravada, función pulmonar reducida, irritación en las vías respiratorias y en el peor de los casos muerte temprana en personas con afecciones cardíacas o pulmonares.

3.5.2 Efectos al ambiente

El material particulado sedimentable produce varios efectos sobre el medio ambiente ya que es un tipo de contaminación del aire que repercute no solo en los seres humanos si no en todos los

seres vivos y lugares donde estos habitan, su impacto va a depender del grado de toxicidad, tiempo de exposición y contenido orgánico del mismo.

- El MPS aporta a la oxidación de objetos, ya que puede cambiar la reacción química de los metales favoreciendo este proceso. También puede contribuir a la corrosión de materiales de construcción debido a que se junta con otros gases como los óxidos de azufre o nitrógeno que al reaccionar con la humedad del medio forman nuevas sustancias como el ácido sulfúrico o nítrico. Debido al tamaño de partícula el MPS puede causar que la temperatura disminuya en algunas zonas, ya que son capaces de absorber y reflejar la energía del sol; además, al MPS se le atribuye la capacidad de alterar el estado natural del suelo y las propiedades físico-químicas del agua (Ayala & Ochoa, 2011).
- La lluvia ácida es la precipitación de sustancias ácidas que logran disolverse en cuerpos de agua, el MPS contribuye a los efectos de la lluvia ácida ya que genera los siguientes efectos en la naturaleza: muerte de algunas especies acuáticas como fitoplancton, crustáceos y moluscos; en los animales puede llegar hasta la pérdida de pelo y desgaste de mandíbulas; en el suelo las causas son que traspasan las capas del suelo llegando hasta las raíces de las plantas, pudiendo llegar hasta causar la muerte de las especies vegetales por envenenamiento, además este puede causar daño a edificaciones, debilita los materiales y vuelve porosa a las construcciones (Garcés & Hernández, 2004).

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA, 2018) establece que las consecuencias al medio ambiente por material particulado sedimentable pueden provocar acidificación de arroyos y agua, alteración del balance nutricional de las aguas costeras y cuencas fluviales, disminución de nutrientes del suelo, generación de daños en infraestructura, además de generar efectos adversos en el ecosistema del área contaminada.

3.6 Normativa de calidad del aire para MPS

3.6.1 Normativa nacional

En Ecuador rige una normativa vigente de control de la calidad de aire que establece los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes a este medio. El Anexo 4 corresponde a la norma de calidad del aire ambiente o nivel de inmisión, es parte del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), reformado mediante

Acuerdo Ministerial No. 061, publicado en la Edición Especial del Registro Oficial No. 316 de 4 de mayo de 2015. El objetivo principal de esta norma se basa en el cuidado de la salud de la población, así como el cuidado y preservación de la calidad del aire ambiente, ecosistemas y el medio en general; la norma también provee de métodos y procedimientos como es caso del método gravimétrico mediante captación de partículas sedimentables en envases abiertos (Gallo et al., 2019).

3.6.2 Normativa internacional

La Organización Mundial de la salud (OMS) posee estándares de calidad del aire exterior que incluye algunos efectos a la salud, cifras de contaminación, fuentes de contaminación, y valores aplicables a escala mundial sobre límites permisibles a los seres humanos de los contaminantes atmosféricos, además este ente menciona que el material particulado es un indicador de la contaminación directa a este medio (OMS, 2021).

3.6.3 Límites máximos permisibles para MPS

La Autoridad Nacional Ambiental de Aplicación responsable, acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental (SUMA) establece los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente para Ecuador (Montenegro & Larrea , 2022).

La OMS emite los valores de concentraciones máximas de contaminantes al aire ambiente, en base a pruebas científicas. Las cuales se presentan en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Normativa para MPS

Material particulado sedimentable		
Normativa	Ente regulador	Concentración máxima
Nacional	TULSMA (Anexo 4, Libro VI)	1 mg/cm ² * 30 días
Internacional	OMS	0,5 mg/cm ² * 30 días

Fuente: Gallo et al., (2019) & Farias et al., (2004)

Elaboración: Autores, 2023

3.7 ArcGis 10.4.1

Es un software que posibilita recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Además de ser una de las plataformas más utilizadas a nivel mundial ya sea al servicio de la educación, ciencia, empresas y el gobierno (ESRI, 2013).

ArcGis posee varias herramientas en su interfaz que permite visualizar y manipular la información geográfica existente por medio de la creación de mapas temáticos (Reinoso et al., 2021).

3.7.1 Inverse Distance Weighted (IDW)

Es un método de interpolación, que asume que un valor medido en un punto tiene una gran influencia local, la cual se reduce a medida que aumenta la distancia (Chirinos & Mallqui, 2016), donde se utilizan combinaciones lineales para predecir o estimar un valor de un punto desconocido. El correcto uso de este modelo ayuda a distinguir la contribución de cada una de las fuentes de contaminación, así como el impacto que estos producen en la calidad del aire en un área específica (Moscoso et al., 2015).

3.8 Análisis estadístico

3.8.1 Teledetección

La teledetección es una herramienta que se basa en la interacción de los elementos en la superficie de la tierra a través de la radiación electromagnética, obteniendo los datos a distancia sobre la tierra. Además, analiza las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas de los diferentes elementos de la naturaleza, por lo cual se puede identificar específicamente qué material se encuentra en la superficie de la tierra a través de su signatura espacial. Esta información se puede adquirir a través de plataformas de observación ya sean aéreas o espaciales, las cuales poseen sensores que reciben y miden la intensidad de la radiación que se genera del suelo (Romero, 2016).

3.8.2 Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales o también conocidas como imágenes de observación de la tierra (AXESS, 2021) son las obtenidas a través de un sensor que se encuentra en un satélite artificial,

el cual captura la radiación ya sea emitida o reflejada por la superficie de la tierra (Galarza et al., 2022), después estas son transmitidas a estaciones en la tierra donde se visualizan, procesan y analizan. Existen diferentes tipos de imágenes satelitales como las espaciales, espectrales, radiométricas y temporales (AXESS, 2021). Además Aragon et al. (2020) indica que un estudio realizado en España utilizando imágenes satelitales para detectar islas de calor ha generado resultados satisfactorios, lo cual es beneficioso en el caso de que no se cuente con estaciones meteorológicas.

3.8.3 ERA 5

Era 5 es una herramienta que proporciona datos del clima global del planeta, con una alta resolución espacial y temporal, generados por el servicio de Cambio Climático de Copérnico y operado por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Mediano Plazo (ECMWF) (Cueva et al., 2021). Proporciona datos mensuales, semanales y horarios sobre diferentes variables atmosféricas con una resolución horizontal de 30 km y 137 niveles desde la superficie hasta 1 Pa. Los datos del ERA 5 son de libre acceso y descarga, los cuales están disponibles para el público a través de la web API ECMWF (Guillory, 2017).

3.8.4 Correlación de variables

La medida de relación más frecuente entre variables es el coeficiente de correlación, un valor numérico que puede ir desde -1 a 1, es decir, un valor de 0 significa que no existe relación entre las variables analizadas, y los valores de -1 y 1 significan una relación fuerte directa o inversa respectivamente (Salkind, 1999).

La regresión lineal simple es un modelo estadístico donde actúan la variable dependiente (y) que suele ser la más importante al momento de usarla y es la variable que se trata de entender o predecir; y la variable independiente (x) es la que puede impactar en la variable dependiente. Esto a fin de comprobar si existe relación entre estas dos variables (Cruz, 2012).

4 METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

4.1.1 Explorativo

Este tipo de investigación se realiza especialmente cuando el tema elegido ha sido poco explorado y reconocido, y cuando más aún, sobre él, es difícil formular hipótesis precisas o de cierta generalidad. Suele surgir también cuando aparece un nuevo fenómeno que por su novedad no admite una descripción sistemática o cuando los recursos del investigador resultan insuficientes para emprender un trabajo más profundo (Moreno, et al, 2017). Debido a la poca información que existe sobre la calidad del aire ambiente del cantón Machala, se ha planteado la siguiente investigación con el fin de llenar esos vacíos de información.

4.1.2 Correlacional

Se utilizará este tipo de investigación ya que se pretende determinar el grado de relación entre dos variables (meteorológicas y MPS) y luego mediante un análisis estadístico se determinará su correlación. Aunque la investigación correlacional no establece de forma directa relaciones causales, puede aportar indicios sobre las posibles causas de un fenómeno (Quipe, 2022).

4.2 Población y Muestra

- Población: A todos los pobladores que habitan en el casco urbano de la ciudad de Machala.
- Muestra: MPS en los puntos de monitoreo establecidos para los meses de junio, julio y agosto del año 2022.

4.3 Área de estudio

La ciudad de Machala se encuentra localizada al sur oeste de Ecuador; es la cabecera cantonal de la provincia de El Oro por lo cual es la ciudad más poblada, donde se centra el desarrollo económico, financiero y comercial. El límite urbano del cantón fue establecido en el año 2012 el cual abarca un área de 5993,81 hectáreas (Municipalidad de Machala, 2019).

El área de estudio para esta investigación corresponde al casco urbano del cantón Machala, abarcando una zona de estudio de 3956,76 hectáreas como se muestra en la *Figura 1*.

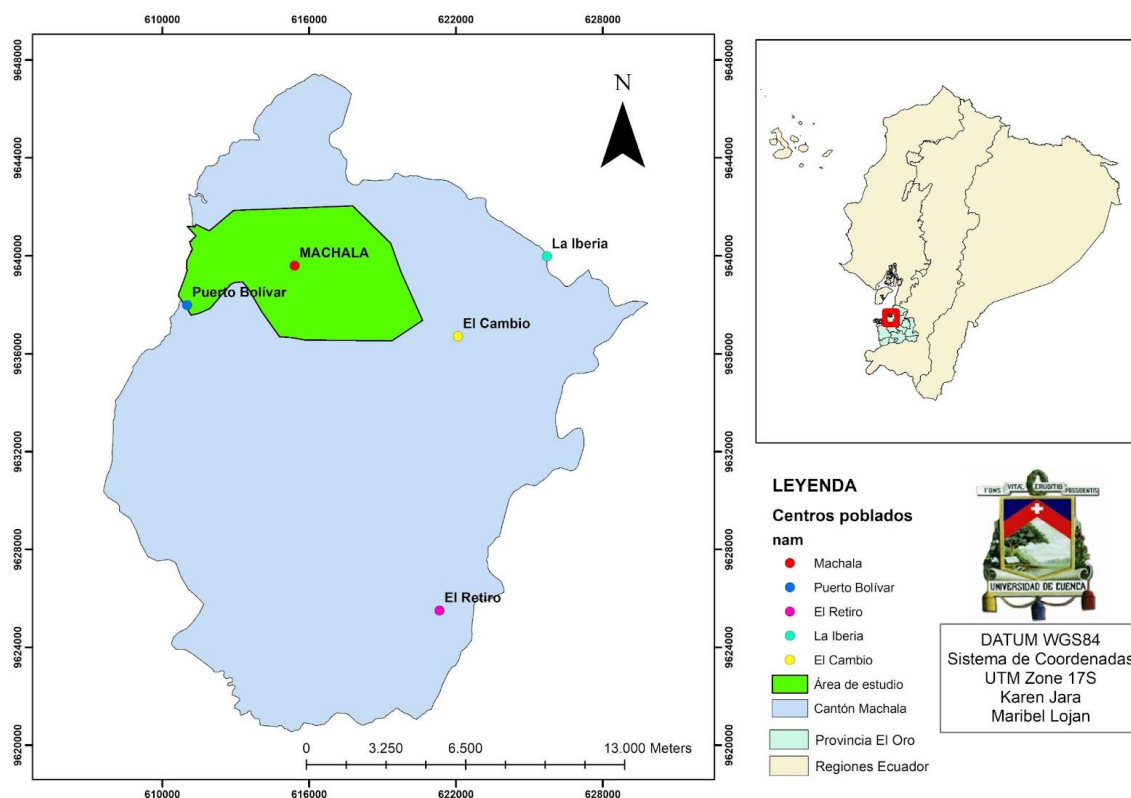


Figura 1. Área de estudio

Fuente: Instituto Geográfico Militar (2013).

Machala es un cantón adscrito a la provincia de El Oro, país Ecuador; limita al norte con el cantón El Guabo, al sur con el cantón Santa Rosa, al este con los cantones Pasaje y Santa Rosa y al oeste con el archipiélago de Jambelí, cuenta con una extensión de territorio de 6 650 hectáreas, se sitúa a 6 msnm y posee un clima tropical, sus principales actividades económicas corresponden a la producción agrícola siendo conocida internacionalmente como la capital bananera del mundo (Serrano et al., 2018).

4.4 Conteo vehicular

En relación a la determinación de los puntos de muestreo, se utilizó el software ArcGis 10.4.1 mediante la aplicación de la herramienta Sampling para poder obtener una distribución homogénea abarcando toda nuestra zona de estudio correspondiente al casco urbano de la ciudad de Machala. Obteniendo un total de 61 puntos, los cuales se redujeron a 40 en relación a los sitios de mayor afluencia vehicular, haciendo uso de un diagnóstico ambiental (conteo vehicular) el cual se realizó durante una hora (ver *Tabla 9*), contabilizando fuentes móviles de contaminación como se puede observar en la *Figura 2*; además, fue necesario despreciar algunos sitios de difícil acceso debido a temas de seguridad.

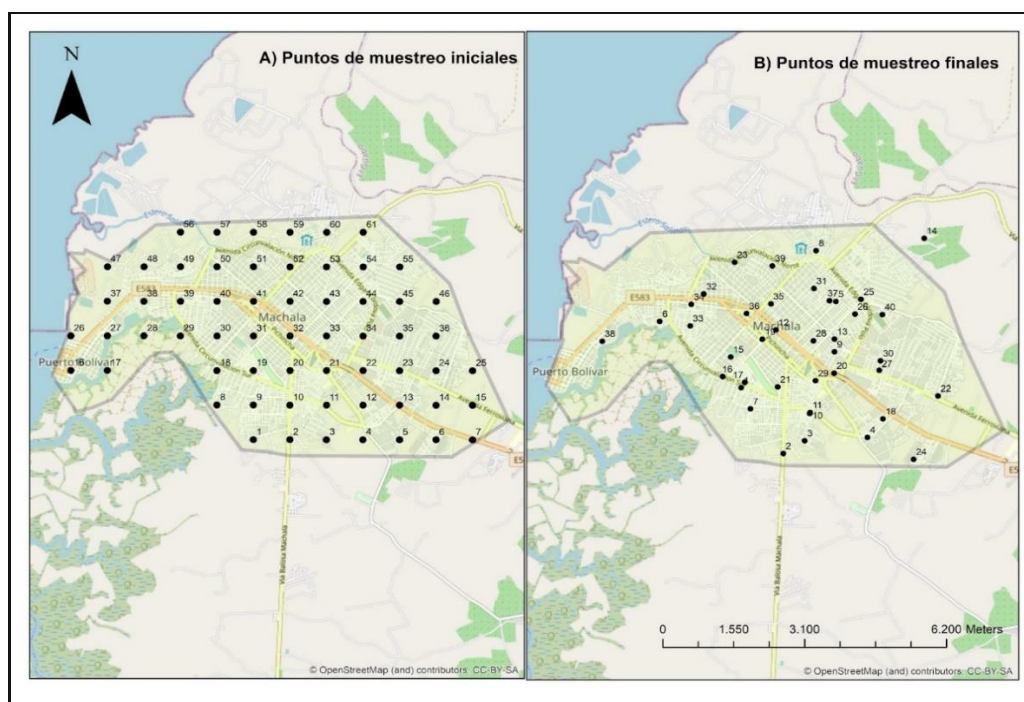


Figura 2. Ubicación de los sitios de monitoreo.

Elaboración: Autores, 2023.

4.5 Puntos de monitoreo

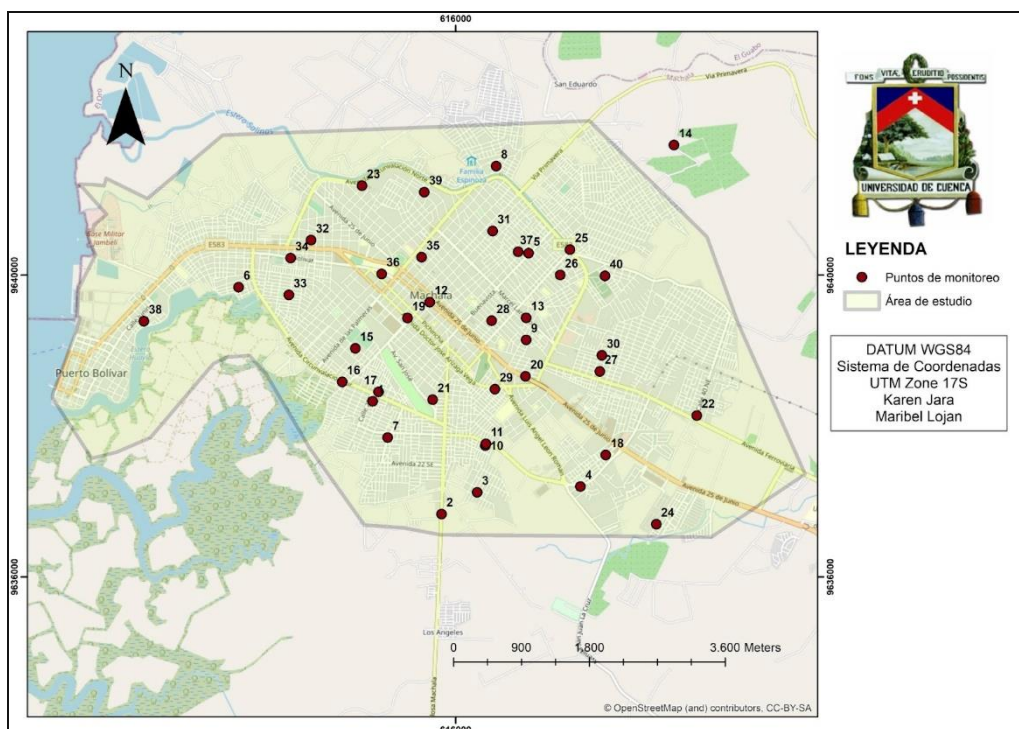


Figura 3. Puntos de monitoreo.
Elaboración: Autores, 2023.

Se obtuvo 40 estaciones de monitoreo pasivo como se observa en la *Figura 3* para determinar MPS, considerando las calles de mayor tráfico vehicular y que sean vías que conectan varias zonas y que además contengan fuentes de contaminación puntuales o de área, considerando como un punto importante una vía que conecta una bananera con la vía principal (punto 14). En la *Tabla 2* se observa la descripción y coordenadas de los 40 puntos de monitoreo para el estudio.

Tabla 2. Puntos de monitoreo

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	X	Y
1	Av. Circunvalación sur y Carrera 2da Este	614898,25	9638329,75
2	Vía Balosa	615813	9636833
3	Barrio “San Ramon”	616283,02	9637121,77
4	Av. Alejandro Castro Benitez y Av. Pajonal	617653,02	96371998,34
5	Av. Buenavista y 11va norte	616965,37	9640291,15
6	Av. Circunvalación sur y Av. 10ma A sur	613123	9639842
7	Av. Juan Palomino y Av. de las américas	615098,69	9637848,59
8	Calle Ecuador y callejon SN	616536,09	9641446,73
9	Calle Babahoyo y 5to callejón	616933,93	9639143,94
10	Av. Alejandro Castro Benitez y callejón 13	616393,88	9637742,64
11	Av. Alejandro Castro Benitez y callejón 13	616400,03	9637764,81
12	Av. Rocafuerte y Av. 9 de mayo	615656	9639643
13	Av. Marcel Laniado y Calle Babahoyo	616934,8	9639434,21
14	Vía la primavera	618893	9641725
15	Av. Las Palmeras y Av. 11va sur	614670	9639030
16	Av. Circunvalación Sur y 9ve de mayo	614495,84	9638586,36
17	Av. Circunvalación Sur y Carrera 13era Este	614977	9638453
18	Av. 4SE y Av. Segunda	617989,16	9637617,6
19	Av. Arizaga y Av. 9 de mayo	615361,4	96399431,55
20	Av. 25 de junio y Calle Portoviejo	616925,51	9638660,04
21	Av. San José y C36	615695,13	9638348,83
22	Av. Ferroviaria y Juan Pablo Segundo	619194,35	9638140,03
23	Av. Boyaca y calle 13	614759	9641186
24	Urbanizacion “Ciudad verde”	618658,74	9636699,48
25	Av. Circunvalación Sur y 10 de agosto	617515	9640338
26	Av. 10 de agosto y av. Los almendros	617384,7	9640002,33
27	5ta. avenida y Ceibos	617910	9638725
28	Av. 10 de agosto y 5to callejón	616476,98	9639396,55
29	Av. Arizaga y Pje. 11ava. Este	616520,12	9638488,72
30	Barrio la “Aurora”	617938	9638937,55
31	Av 9 de mayo y 10ma norte	616489,24	9640586,62
32	Av. 3era sur y carrera 16ava oeste	614083,02	9640464,87
33	Barrio “Martha Bucaram”	613788,32	9639738,75
34	Av. Simón Bolívar y Carrera 19 ava Oeste	613811,42	9640228,04
35	Av. Vela y Av. Boyacá	615548,69	9640238,78
36	Av. Simón Bolívar y Av. Pichincha	615018,67	9640018,2
37	Av. 10ma Norte y Av. Cristobal Colon	616828,05	9640310
38	Av. 8va norte y Carrera 1era este	611868	9639391
39	Carrera 8va oeste y Circunvalación norte	615582,68	9641101,26
40	Antigua vía a limón y calle D	617979,14	9639991,82

Elaboración: Autores, 2023

4.6 Metodología de medición para calcular la cantidad de MPS

El procedimiento que se llevó a cabo se denomina *método gravimétrico* (captación de partículas en envases abiertos) que está estipulado en el Libro VI, Anexo 4 del TULSMA, en donde se recolectarán las partículas por 30 días seguidos. Para el estudio se consideró un tiempo de monitoreo de 3 meses.

4.6.1 Recolección de muestras

- Para la recolección de MPS se usó envases de plástico abiertos de 24,5 cm de alto y 16,7 cm de diámetro. Estos envases colectores fueron ubicados a una altura mínima de 1,2 metros o más sobre el nivel del suelo de cada punto de monitoreo.
- Los recipientes se lavaron con agua destilada, se secaron y finalmente se taparon hasta llevarlos al punto de monitoreo.
- Se adicionaron 100 mililitros de agua destilada con un pH de 7,1 y conductividad de 1,5 microsiemens por centímetro, del equipo FANEM modelo 724, en cada envase para la recolección de las muestras por 30 días.

4.6.2 Procedimiento

- Se realizó el primer monitoreo correspondiente al mes de junio.
- El segundo monitoreo correspondiente al mes de julio.
- El tercer monitoreo correspondiente al mes de agosto.
- Para cada uno de ellos, al cabo de 30 días se procedió a retirar los recipientes colectores.
- Una vez tapadas las muestras, se las trasladó al laboratorio para realizar el análisis de acuerdo a lo establecido en la normativa vigente en Ecuador.
- Además, se tuvo en cuenta que las muestras no se pueden almacenar por un tiempo superior a 14 días.

4.6.3 Análisis de laboratorio

Las partículas colectadas se clasifican en solubles e insolubles. Las partículas insolubles se determinaron mediante diferencia de peso ganado por un papel filtro Whatman de 60 milímetros con un diámetro de 6 centímetros que retuvo las partículas contenidas del envase, para lo cual:

- Se pesaron los papeles filtro en una balanza analítica Boeco 210 gramos, precisión de 0,0001 gramos, con lo cual se obtiene el peso inicial del papel filtro.
- Con la ayuda de una pinza se retiran las partes grandes como hojas, insectos, etc., que puedan llegar a alterar los resultados para el cálculo del MPS.
- Transferir la muestra para posteriormente proceder a separar la parte insoluble de la soluble con la ayuda del papel filtro con su peso inicial anotado, se agrega agua destilada si es necesario para asegurar que la muestra sea transferida completamente al filtro; para el proceso de filtrado se utilizó una bomba de vacío Rocker 300.
- Se retira el filtro con el material insoluble y se lleva a secar en la estufa marca Memmert por un lapso de 2 horas a una temperatura de 60 a 80 °C.
- Una vez transcurrido el tiempo retirar el papel filtro, dejar enfriar en un desecador hasta obtener un peso constante, con ello se obtiene el peso final del papel filtro.

En cambio, las partículas insolubles se determinaron mediante la diferencia de peso ganado, en el cual se evaporó el líquido de lavado del envase colector (Reinoso & Tello, 2021).

- La muestra filtrada (parte soluble) se afora a 250 cc; para tomar una alícuota de 50 cc y colocar en un vaso de precipitación previamente pesado.
- Luego se llevó la muestra a la estufa a una temperatura de 60 - 80 °C por un tiempo de 14 horas o hasta la evaporación total del líquido.
- Se retiró el vaso de precipitación, se dejó enfriar en un desecador (hasta obtener peso constante) y se anotó el valor, con ello se obtuvo el peso final de la muestra.

4.6.4 Cálculos

La concentración de material sedimentable se calcula mediante la suma de las partículas solubles e insolubles, con respecto al área total de captación del envase (Valdivieso, 2018) expresadas en (mg/cm² *30 días), aplicando la fórmula 1:

$$\text{Concentración material sedimentable: } \frac{PTSS + PTSI}{A} \quad (1)$$

$$PTSI = (PP_{final} - PP_{inicial}) \text{ mg} \quad (2)$$

$$PTSS = (PV_{final} - PV_{inicial}) \text{ mg} \quad (3)$$

$$A = \pi r^2 \quad (4)$$

Fuente: (Quezada, 2020)

En donde:

PP_{inicial} = Peso del papel filtro inicial (mg)

PP_{final} = Peso del papel filtro final (mg)

PV_{inicial} = Peso del vaso de precipitación (mg)

PV_{final} = Peso del vaso de precipitación (mg)

A = Área del colector plástico (cm²)

- **Corrección de la fórmula.**

En el libro VI, Anexo 4 del TULSMA, se establece lo siguiente:

Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes criterio del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la *fórmula 5*:

$$Cc = Co * \frac{760 \text{ mm Hg}}{Pl \text{ mm Hg}} * \frac{(273 t \text{ }^\circ\text{C}) \text{ }^\circ\text{K}}{298 \text{ }^\circ\text{K}} \quad (5)$$

Fuente: (Quezada, 2020)

En donde:

Cc = Concentración corregida.

Co = Concentración observada

Pl = Presión atmosférica local, en mm Hg

$t \text{ }^\circ\text{C}$ = Temperatura local, en grados centígrados.

Para este trabajo se tomó los valores de la temperatura y presión atmosférica de la ciudad de Machala de 28 °C y 759,6396 mm Hg respectivamente (Municipalidad de Machala, 2019).

4.7 Representación espacial

Mediante el software ArcMap 10.8 se procedió a realizar la representación espacial de la concentración MPS para una mejor interpretación de resultados. El método utilizado es la distancia inversa ponderada, con sus siglas en inglés (IDW), de esta forma se apreciará los puntos de monitoreo con mayor concentración del contaminante estudiado y los radios de influencia, es decir cuán disperso se encuentra el contaminante en el casco urbano de Machala.

4.8 Análisis estadístico

4.8.1 Información meteorológica

A pesar de que el GAD municipal de la ciudad de Machala cuenta con un departamento de calidad del aire, no posee estaciones meteorológicas, por lo tanto, para poder realizar el análisis estadístico seleccionamos la variable temperatura, para ello se hizo uso de imágenes satelitales mismas que brindan valores de esta variable.

Mediante el sitio web del Servicio de Cambio Climático de Copernicus, se descargaron tres paquetes de imágenes satelitales en formato NetCDF correspondientes a los meses de monitoreo de este trabajo, ya que brindan información diaria de temperatura en ° Kelvin de la zona requerida con los datos de reanálisis climático de ERA 5.

El procesamiento de la información meteorológica se realizó mediante el software Excel a través de la función de regresión lineal simple.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Material particulado sedimentable

En las Tablas 3, 4 y 5 se presentan los resultados del MPS de los 40 puntos de monitoreo realizado en el casco urbano de Machala, y el cumplimiento o no cumplimiento de la normativa nacional e internacional.

Primer mes

Con respecto al primer muestreo del mes de junio, se obtuvo que el **60 %** de los puntos estudiados cumplen con la normativa nacional de $1 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$ y el **40 %** restante pertenece a los puntos que no cumplen con los límites máximos permisibles. En cuanto la normativa internacional se obtuvo que el **22,5 %** cumple los límites máximos permisibles de $0,5 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$ y el **77,5 %** no cumplen esta norma como se observa en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Resultados de MPS del primer muestreo

CÓDIGO	Concentración corregida de MPS (mg/cm ² * 30 días)	Normativa nacional TULSMA	Cumple (Si/No)	Normativa Internacional OMS	Cumple (Si/No)
1	0,69	1 mg/cm ² *30 días	Si	0,5 mg/cm ² *30 días	No
2	1,5		No		No
3	1,4		No		No
4	0,59		Si		No
5	0,22		Si		Si
6	0,46		Si		Si
7	1,16		No		No
8	0,2		Si		No
9	1,24		No		No
10	1,17		No		No
11	0,4		Si		Si
12	1,36		No		No
13	1,04		No		No
14	0,56		Si		No
15	0,27		Si		Si
16	4,72		No		No
17	0,63		Si		No
18	1,06		No		No
19	0,52		Si		No
20	1,09		No		No
21	1,01		No		No
22	0,76		Si		No
23	0,32		Si		Si
24	0,79		Si		No
25	0,74		Si		No
26	1,06		No		Si
27	0,24		Si		No
28	1,18		No		No
29	1,18		No		No
30	0,68		Si		No
31	0,86		Si		No
32	0,65		Si		No
33	0,46		Si		Si
34	0,66		Si		No
35	1,05		No		No
36	1,08		No		No
37	0,42		Si		Si
38	0,61		Si		No
39	0,63		Si		No
40	0,41		Si		Si

Elaboración: Autores, 2023

En la *Figura 4* se representa de manera gráfica los 40 puntos monitoreados en el eje de las (x) y en el eje de las (y) la concentración corregida; dentro de estos el punto 16 es el que presenta una mayor concentración ($4,27 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$) situado en la Av. circunvalación sur y 9 de mayo y el punto 8 presenta una menor concentración ($0,2 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$) situado en Calle Ecuador y callejón SN.

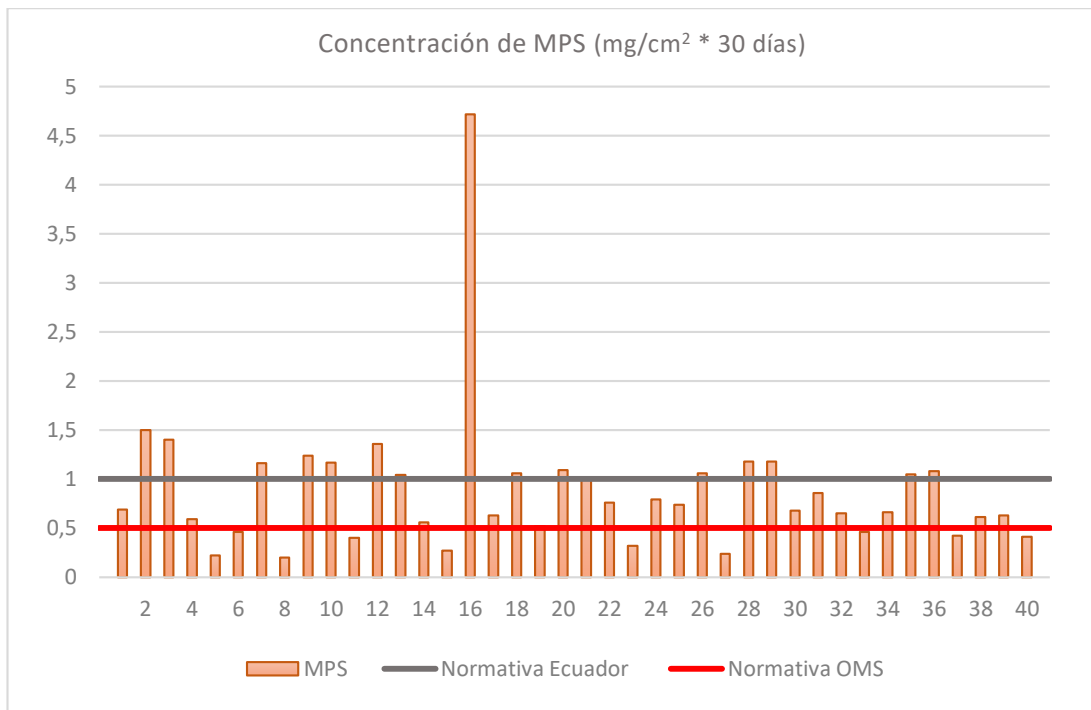


Figura 4. Comparación de MPS con la normativa nacional e internacional del primer muestreo
Elaboración: Autores, 2023

- **Segundo mes**

Con respecto al segundo muestreo del mes de julio, se obtuvo que el **70 %** de los puntos estudiados cumplen con la normativa nacional de $1 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$ y el **30 %** restante pertenece a los puntos que no cumplen con los límites máximos permisibles. En cuanto a la normativa Internacional el **20 %** de los resultados cumplen con los límites máximos permisibles de $0,5 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$, y el **80 %** no cumple con esta norma como se observa en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Resultados de MPS del segundo monitoreo

CÓDIGO	Concentración corregida de MPS (mg/cm ² * 30 días)	Normativa nacional TULSMA	Cumple (Si/No)	Normativa Internacional OMS	Cumple (Si/No)
1	0,44	1 mg/cm ² *30 días	Si	0,5 mg/cm ² *30 días	Si
2	2,71		No		
3	1,25		No		
4	0,89		Si		
5	0,2		Si		
6	0,55		Si		
7	0,37		Si		
8	0,55		Si		
9	0,52		Si		
10	0,6		Si		
11	1,18		No		
12	0,63		Si		
13	0,28		Si		
14	1,58		No		
15	1,03		No		
16	1,44		No		
17	0,64		Si		
18	1,2		No		
19	0,4		Si		
20	1,2		No		
21	1,21		No		
22	0,64		Si		
23	0,34		Si		
24	1,04		No		
25	0,55		Si		
26	0,92		Si		
27	0,46		Si		
28	0,84		Si		
29	2,04		No		
30	0,33		Si		
31	1,09		No		
32	0,56		Si		
33	0,56		Si		
34	0,58		Si		
35	0,81		Si		
36	0,51		Si		
37	0,56		Si		
38	0,66		Si		
39	0,57		Si		
40	0,66		Si		

Elaboración: Autores, 2023

En la *Figura 5* se representa de manera gráfica los 40 puntos monitoreados en el eje de las (x) y en el eje de las (y) la concentración corregida; dentro de estos el punto 2 es el que presenta una mayor concentración ($2,71 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$) situado en la Vía Balosa y el punto 5 el que presenta una menor concentración ($0,2 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$) situado la Av. Buenavista y 11 va Norte.

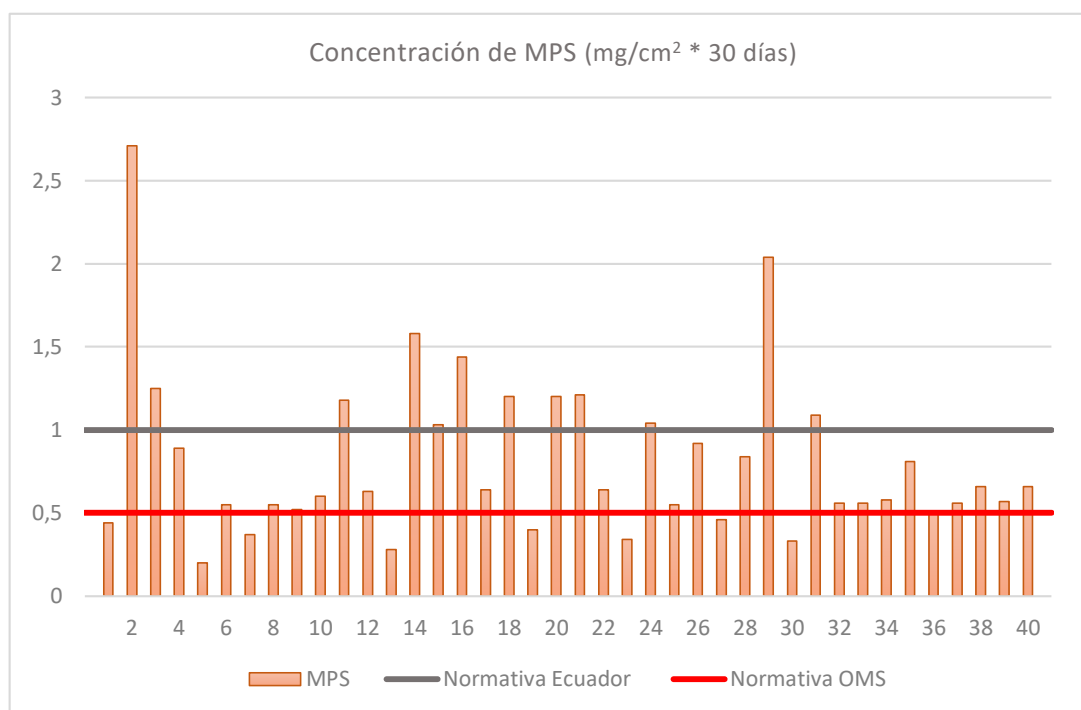


Figura 5. Comparación de MPS con la normativa nacional e internacional del segundo muestreo
Elaboración: Autores, 2023

- **Tercer mes**

Con respecto al tercer muestreo del mes de agosto, se obtuvo que el **50 %** de los puntos estudiados cumplen con la normativa nacional de $1 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$ y el **50 %** restante pertenece a los puntos que no cumplen con los límites máximos permisibles. En cuanto a la normativa Internacional el **15 %** de los resultados cumplen con los límites máximos permisibles de $0,5 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$, y el **85 %** no cumple con esta norma como se observa en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Resultados de MPS del tercer muestreo

CÓDIGO	Concentración corregida de MPS (mg/cm ² * 30 días)	Normativa nacional TULSMA	Cumple (Si/No)	Normativa Internacional OMS	Cumple (Si/No)
1	1,81	1 mg/cm ² *30 días	No	0,5 mg/cm ² *30 días	No
2	1,1		No		
3	1,27		No		
4	0,47		Si		
5	0,22		Si		
6	0,69		Si		
7	1,1		No		
8	0,89		Si		
9	1,14		No		
10	1,29		No		
11	1,34		No		
12	1,04		No		
13	0,6		Si		
14	1,11		No		
15	0,42		Si		
16	1,16		No		
17	0,7		Si		
18	2,38		No		
19	0,73		Si		
20	1,81		No		
21	0,7		Si		
22	0,53		Si		
23	0,39		Si		
24	0,73		Si		
25	0,75		Si		
26	1,35		No		
27	0,33		Si		
28	1,28		No		
29	1,59		No		
30	1,16		No		
31	2,26		No		
32	0,47		Si		
33	0,57		Si		
34	0,77		Si		
35	1,23		No		
36	1,06		No		
37	1,44		No		
38	0,62		Si		
39	0,65		Si		
40	0,74		Si		

Elaboración: Autores, 2023

En la Figura 6 se representa los 40 puntos monitoreados en el eje de las (x) y en el eje de las (y) la concentración corregida; dentro de estos el punto 18 es el que presenta una mayor concentración ($2,38 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$) situado en la Av. 4SE y Av. Segunda y el punto 5 el que presenta una menor concentración ($0,22 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$) situado la Av. Buenavista y 11va Norte.

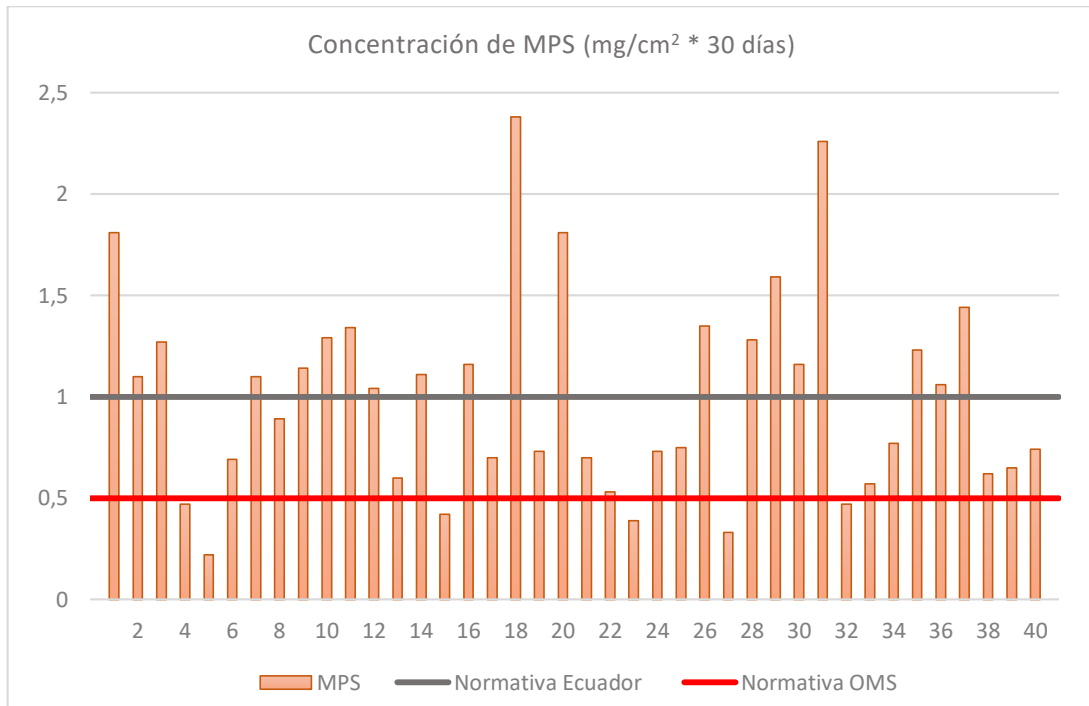


Figura 6. Comparación de MPS con la normativa nacional e internacional del tercer muestreo
Elaboración: Autores, 2023

- **Monitoreo trimestral**

En la Figura 7 se observa los resultados del monitoreo trimestral realizado, en donde la mayoría de concentraciones de MPS que sobrepasan la normativa ecuatoriana se encuentran en el tercer muestreo (MPS 3) correspondiente al mes de agosto, y el segundo muestreo (MPS 2) es el que presenta menores concentraciones, corresponde al mes de julio.

En cuanto a la normativa internacional, el mes de agosto presenta mayores concentraciones de MPS que sobrepasan la misma y corresponde al tercer muestreo (MPS 3) y el mes de junio (MPS 1) es el que presenta menores concentraciones del contaminante durante el tiempo de monitoreo.

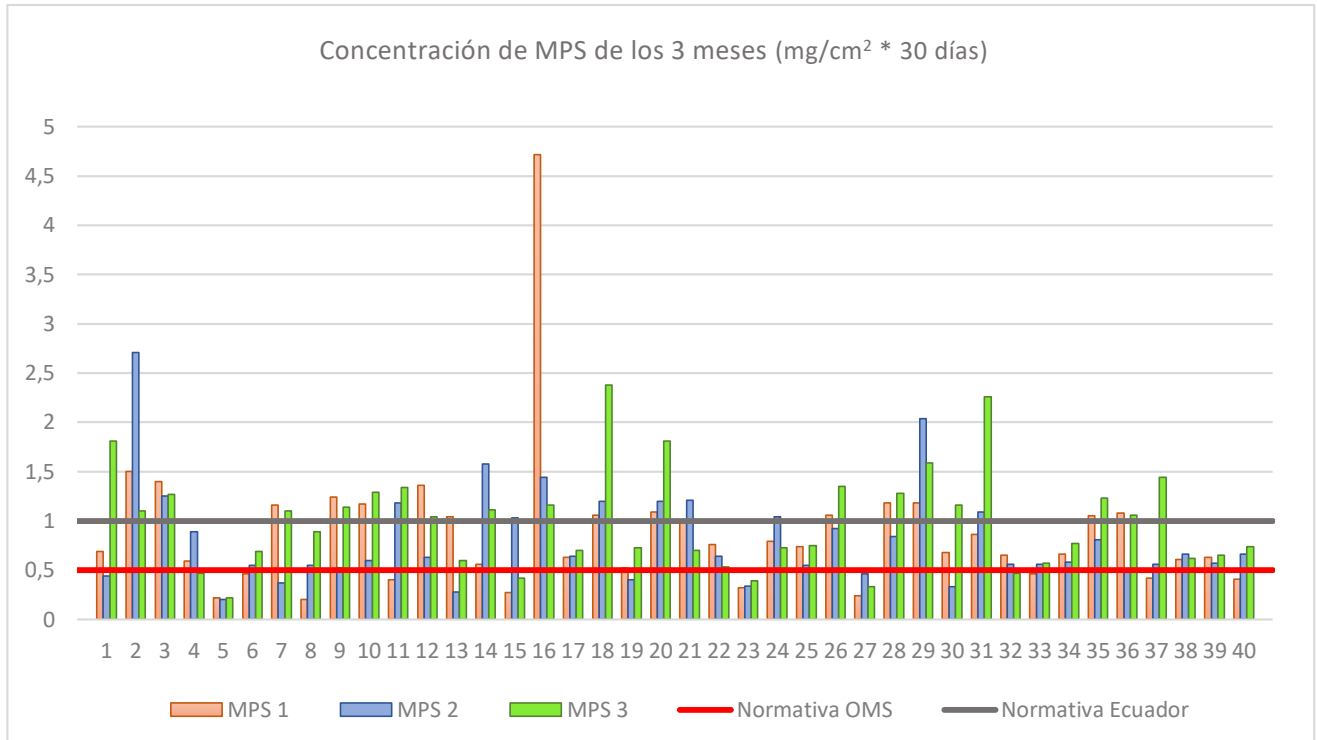


Figura 7. Comparación de MPS de los 3 meses de monitoreo

Elaboración: Autores, 2023

En la *Figura 4* se obtuvo que la mayor concentración se presentó en el punto 16 ($4,72 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$) correspondiente al mes de junio, en esta zona la concentración alta se asoció a las fuentes puntuales y de área de contaminación del aire ya que se presenta una cantidad elevada de este tipo de fuente cercanos a esta zona. La menor concentración la presenta el punto 8 ($0,2 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$) por lo que esta zona se encuentra dentro de los 10 puntos de monitoreo con menor tráfico vehicular del total de puntos como se muestra en la *Figura 8* y *Tabla 9*, además las fuentes fijas de contaminación del aire en este punto fueron escasas.

El punto 2 está ubicado en la Vía Balosa, la cual se encontraba en regeneración con obras civiles al momento del monitoreo, durante los meses de junio y julio presentan concentraciones de $1,5$ y $2,71 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$ respectivamente, estos valores sobrepasan la normativa nacional de $1 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$; y el mes de agosto presenta una concentración de $1,1 \text{ mg/cm}^2 * 30 \text{ días}$ a pesar de que para este mes las obras civiles habían culminado, el valor de MPS también sobrepasa la normativa nacional, lo cual se presume que se da porque las actividades automovilísticas se reanudaron progresivamente y esta vía aún no estaba asfaltada en su totalidad. Esto tiene relación

con el estudio realizado por Bravo (2017) en el cantón Portovelo en el que menciona que 5 de 12 puntos de muestreo se encontraban en obras de construcción dejando a su paso calles sin asfalto y se atribuye que estos valores de MPS están influenciados por este tipo de trabajos.

5.2 Conteo vehicular

En la Figura 8 se muestran los resultados del conteo vehicular realizado en el casco urbano de la ciudad de Machala realizado en los 40 puntos de monitoreo, el conteo vehicular ayudó a reconocer algunas zonas críticas de contaminación del aire en el área de estudio.

Los puntos de monitoreo que presentan valores totales de vehículos automotores por encima de 1500 son los puntos 4, 10, 11, 12, 14, 16, 20, 22, 30, 31.

El punto 12 situado en la Av. Rocafuerte & Av. 9 de mayo y el punto 24 situado en Urbanización “Ciudad verde” no poseen en su conteo vehículos pesados debido a que en el primer punto mencionado está prohibido la circulación de estos vehículos por estar ubicado en una zona céntrica de la ciudad, en el segundo punto al ser una zona residencial no hubo presencia de este tipo de vehículos durante el conteo vehicular realizado.

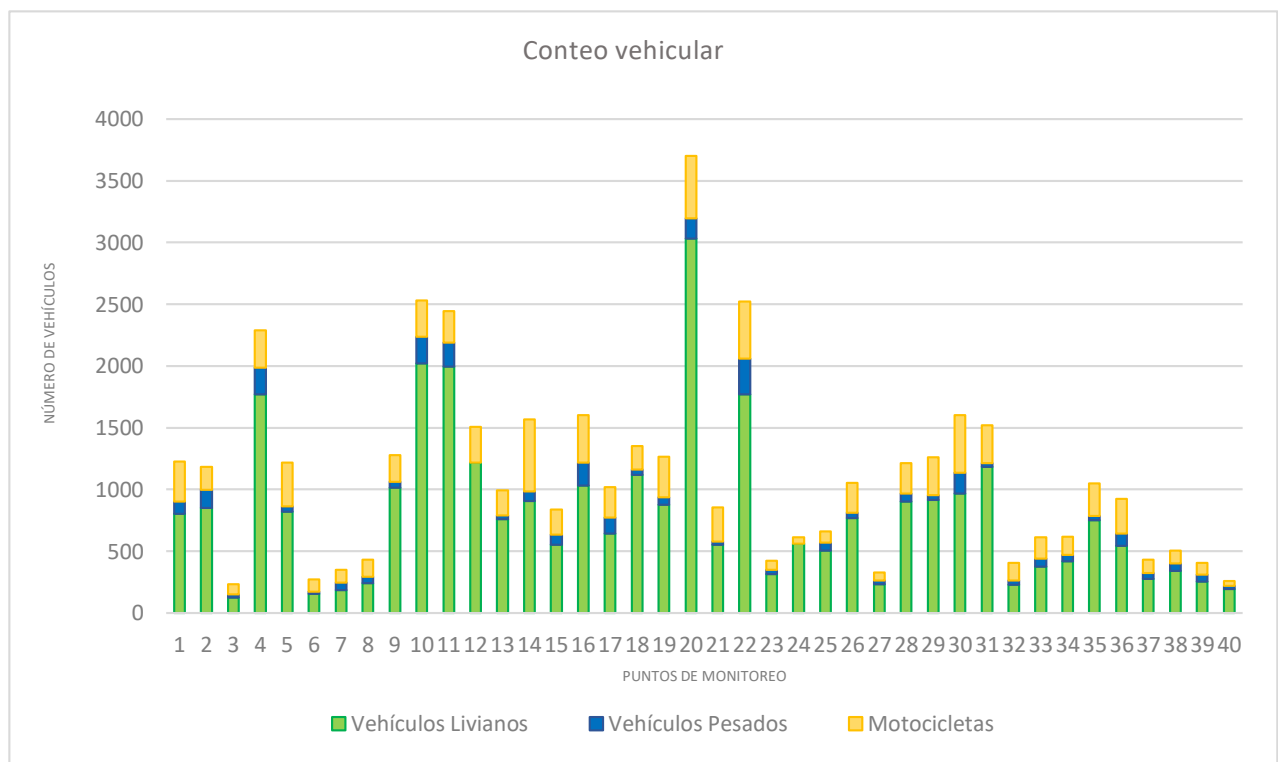


Figura 8. Resultados del conteo vehicular
Elaboración: Autores, 2023

Las autoras González & Sánchez (2021) en su estudio realizado en el parque industrial de la ciudad de Cuenca, mencionan que existieron puntos de concentración de MPS que a pesar de presentar en su área fuentes fijas de contaminación del aire, los valores de las concentraciones no fueron significativos y que los puntos con calles pavimentadas donde existe afluencia vehicular presentaron mayor número de concentraciones del mismo contaminante; este es el caso del punto 5 en nuestro estudio, ya que es una zona donde se encuentran pocas fuentes de área y existen características similares como calles no pavimentadas y las concentraciones de MPS son las más bajas del monitoreo ($0,22 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$) aproximadamente; por otro lado en el punto 20 el conteo vehicular realizado mostró un total de 3 702 vehículos automotores (el valor más alto de los puntos de monitoreo) y presentó concentraciones de MPS por encima de la normativa nacional ($1 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$) en el tiempo estudiado.

Paracta (2021) menciona en su estudio sobre calidad del aire realizado en la en la ciudad de Tacta, Perú que existe una relación directa entre el polvo atmosférico sedimentable y el flujo vehicular. El cual al compararlo con nuestro análisis se obtuvo de manera similar que, de los 40 puntos de muestreo obtenidos a través de un conteo vehicular, 18 presentan altas concentraciones de MPS en el mes de agosto, los cuales concuerdan con sitios de gran afluencia vehicular. Al tener una visión sobre cuáles son las fuentes de mayor contaminación de MPS, es necesario establecer medidas que ayuden a disminuir su concentración y por ende sus efectos en el ambiente y personas en general como por ejemplo la implementación de áreas verdes con especies de plantas que ayuden en la mitigación de este contaminante en el aire.

5.3 Representación espacial

En las figuras 9, 10 y 11 se presentan la dispersión del material particulado sedimentable (MPS) del área de estudio, correspondiente al casco urbano de la ciudad de Machala de acuerdo con los diferentes meses de muestreo, utilizando el software ArcMap mediante la herramienta de Interpolación IDW.

- **Primer mes**

En la Figura 9 se observa el punto de mayor concentración el cual se indica por la coloración rojiza como el punto 16 con un valor de $4,72 \text{ mg/cm}^2 \cdot 30 \text{ días}$, su concentración podría estar asociada a las fuentes de área existentes en el lugar como mecánicas, ferreterías, asaderos y calles

UCUENCA

no pavimentadas, por otra parte el punto 2 y 3 los cuales denotan una coloración turquesa, presentan una concentración de 1,5 y 1,4 mg/cm² *30 días respectivamente, esto debido a que el punto 2 se encontraba en una mecánica donde por lo general se presenta una gran afluencia de vehículos pesados, además de encontrarse la vía Balosa en obras civiles y en el caso del punto 3 este estaba ubicado en una fábrica de bloques y con presencia calles no pavimentadas a su alrededor.

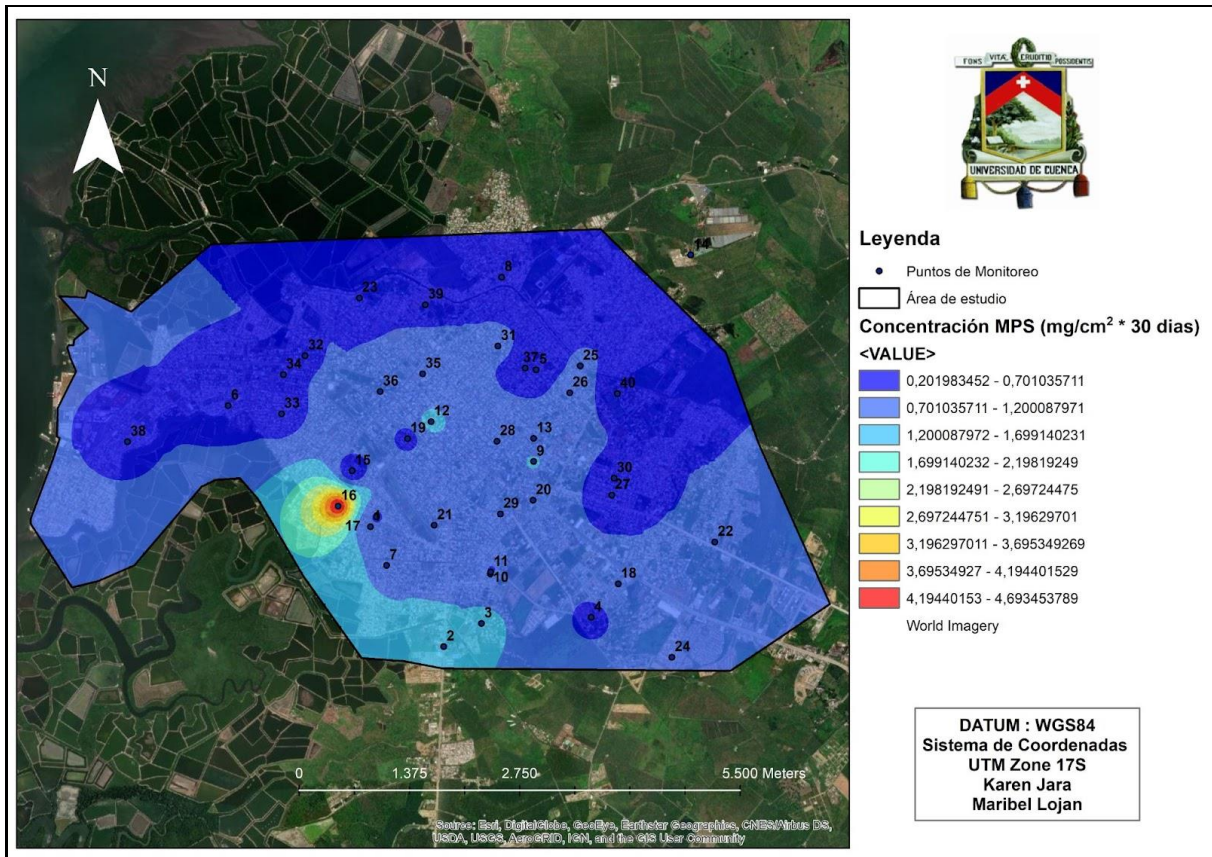


Figura 9. Distribución de MPS en la zona de estudio primer muestreo

Elaboración: Autores, 2023

- **Segundo mes**

En la Figura 10 el punto 2 presenta una coloración rojiza con una concentración de 2,71 mg/cm² *30 días, el cual como ya se mencionó anteriormente esa vía se encontraba en regeneración urbana por lo cual se puede generar resuspensión de polvo y gran afluencia de maquinaria pesada. Por otro lado, el punto 29 el cual se muestra con una coloración anaranjada, tiene una concentración de 2,04 mg/cm² *30 días, esto puede estar asociado a que es una zona de alto tránsito vehicular, además de encontrarse fuentes de área como gasolineras y asaderos.

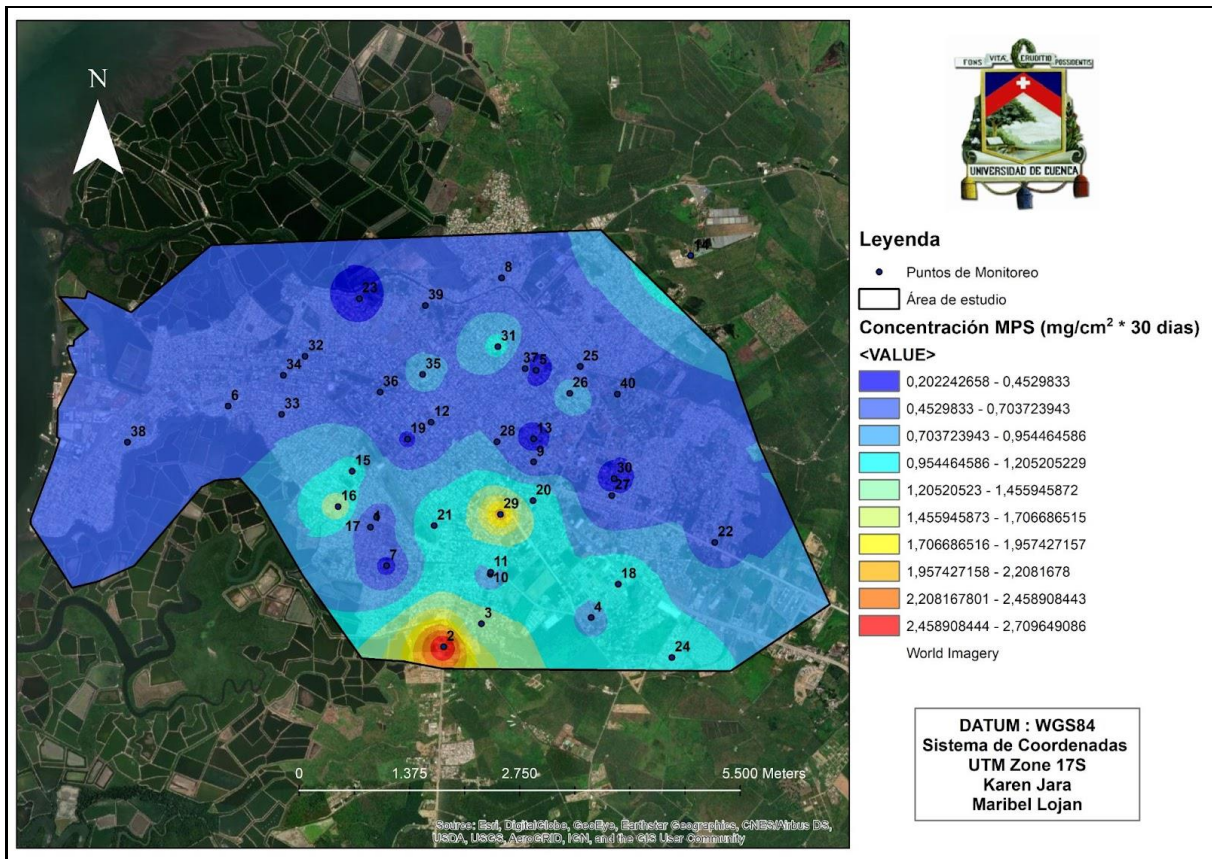


Figura 10. Distribución de MPS en la zona de estudio del segundo muestreo

Elaboración: Autores, 2023

- **Tercer mes**

En la Figura 11 se presentan los puntos de mayor concentración de MPS los cuales se denotan con una coloración rojiza como es el número 18 y 31 con un valor de 2,38 mg/cm² *30 días y 2,26 mg/cm² *30 días respectivamente, los cuales presentan una gran afluencia vehicular además de existir fuentes de área como asaderos y mecánicas. Asimismo, el punto 20 se muestra con una coloración anaranjada, el cual tiene una concentración de 1,81 mg/cm² *30 días, este valor puede estar relacionado al alto tráfico vehicular, ya que en este punto es donde se registró el mayor número de vehículos (livianos, pesados y motos) debido a que es una de las vías de acceso hacia el centro de la ciudad de Machala.

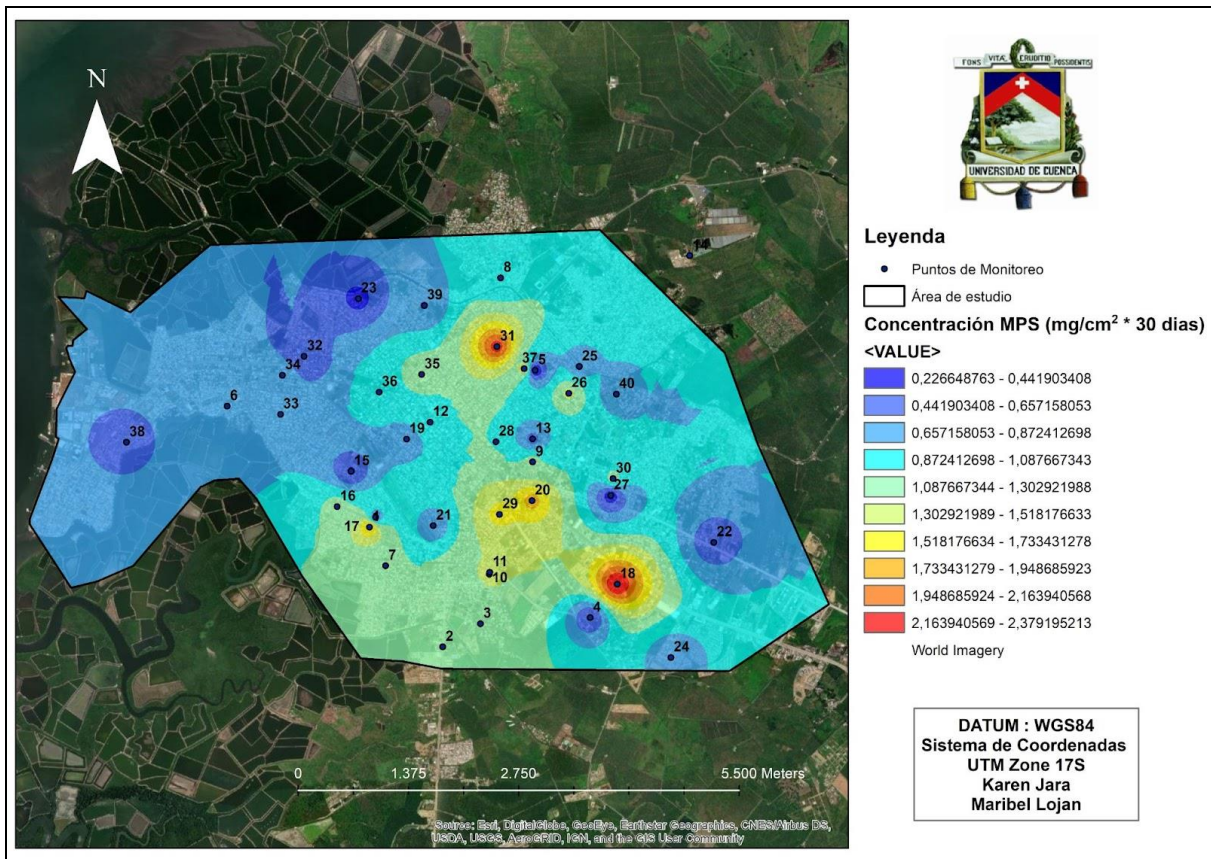


Figura 11. Distribución de MPS en la zona de estudio del tercer muestreo
 Elaboración: Autores, 2023

Cando et al. (2018) en su estudio realizado en la ciudad de Quito determinó que el mejor método de análisis geoestadístico es el IDW para la medición de PM_{10} dando resultados de concentración aproximados a la realidad, además de que se obtiene una mejor impresión en cuanto a contaminantes ya que este crea puntos de concentración en relación a los ya existentes. Lo cual coincide con nuestro análisis, que al aplicar este método de interpolación obtuvimos un valor de $4,69 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$ y al compararlo con nuestro valor máximo de concentración en el mes de junio que fue de $4,72 \text{ mg}/\text{cm}^2 * 30 \text{ días}$, se obtuvo resultados semejantes, asimismo para los meses de julio y agosto. Por otra parte, al conocer cómo se comportan las concentraciones de material particulado se pueden implantar soluciones y estrategias para mitigar los impactos que estos puedan causar tanto a las personas como al ambiente.

5.4 Análisis estadístico

En esta sección se presentan los resultados del análisis estadístico correspondiente a los meses de junio, julio y agosto del año 2022. Para poder estimar la temperatura por medio de imágenes satelitales, fue necesario descargar tres paquetes de imágenes de ERA 5 y se delimitó el casco urbano de Machala ya que es la zona de interés.

En la Figura 12, 13 y 14 se puede observar los resultados del diagrama de dispersión de la variable dependiente (temperatura) con respecto a la variable independiente (MPS); asimismo se presenta los valores que resultaron del cálculo de la regresión lineal realizado en el software Excel.

- **Primer mes**

Por medio del diagrama de dispersión para el mes de junio se puede observar que los valores de "y" correspondientes al material particulado sedimentable, no se acercan a la línea de tendencia (pronóstico para y) y no siguen un comportamiento ideal; entonces, estos valores no tienen relación lineal. Además, en el gráfico se observa una tendencia en línea recta con pendiente positiva (ver Figura 12).

En el mismo diagrama, los valores más alejados de MPS a la línea de tendencia provocan que no se dé un comportamiento ideal entre las variables, como por ejemplo el punto 16 es el que más se aleja en la figura.

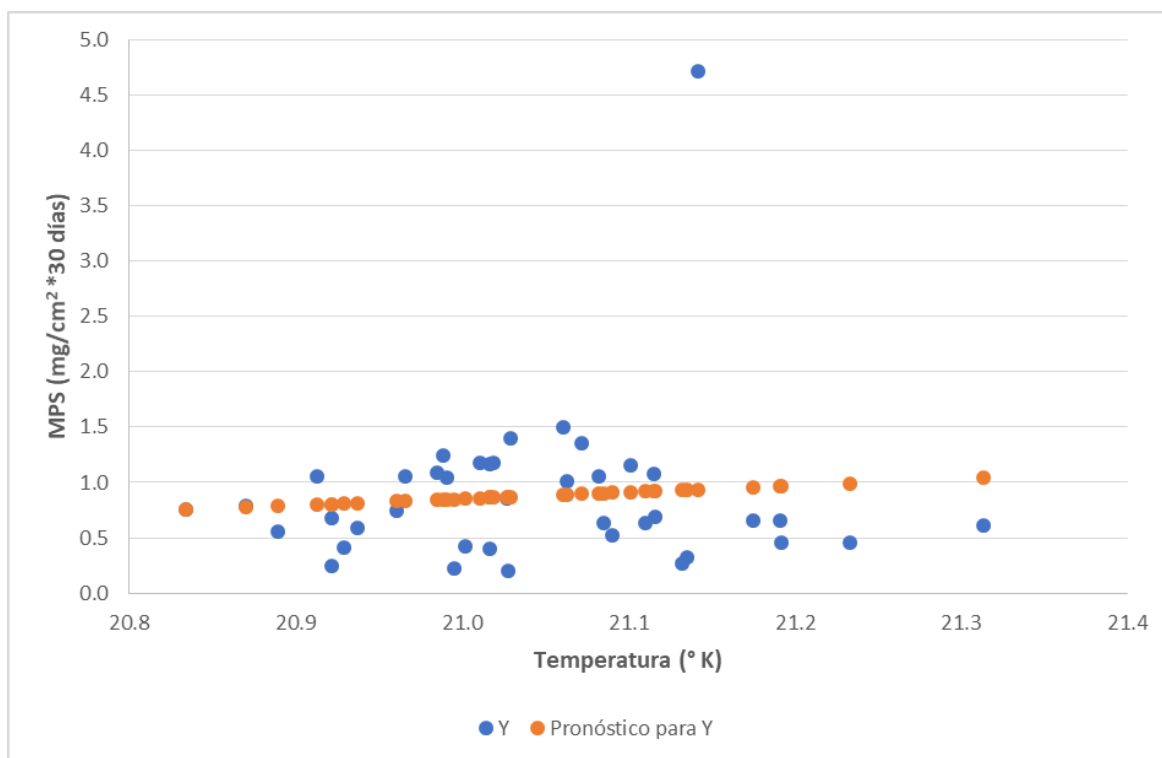


Figura 12. Diagrama de dispersión de MPS vs Temperatura del mes de junio.
Elaboración: Autores, 2023

En la Tabla 6 se muestran los resultados para el mes de **junio** en donde se aplicó una regresión lineal simple y se calculó el coeficiente de determinación R^2 obteniendo un valor de **0,0077** y encontramos que para este mes no existe relación entre las variables de material particulado sedimentable y temperatura, es decir, la temperatura sigue un comportamiento individual, de manera independiente al MPS, ya que en este caso el valor de R^2 es cercano a cero.

Tabla 6. Estadísticas de la regresión del mes de junio.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,087924996
Coefficiente de determinación R^2	0,007730805
R^2 ajustado	-0,018381542
Error típico	0,723852152
Observaciones	40

Elaboración: Autores, 2023

- Segundo mes

Por medio del diagrama de dispersión para el mes de **julio** se puede observar que los valores de "y" correspondientes al material particulado sedimentable no se acercan a la línea de tendencia (pronóstico para y) y no siguen un comportamiento ideal, por lo tanto, estos valores no tienen relación lineal. Además, en esta sección se denota una tendencia en línea recta con pendiente negativa (ver *Figura 13*).

En el mismo diagrama, los valores más alejados de MPS a la línea de tendencia provocan que no se dé un comportamiento ideal entre las variables, como por ejemplo el punto 2 es el que más se aleja en la figura.

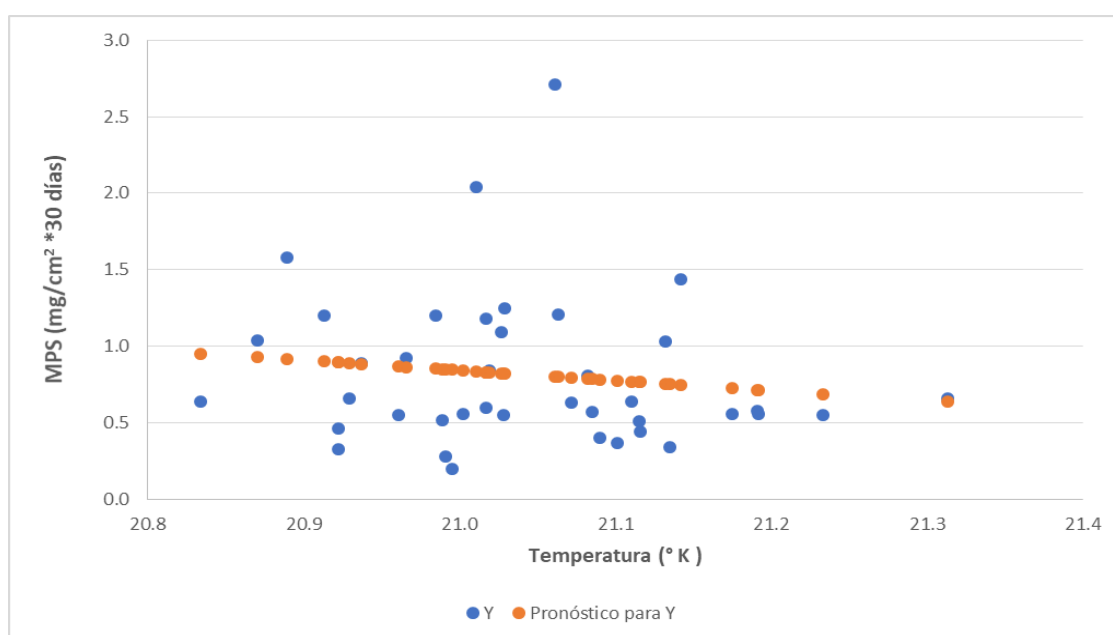


Figura 13. Diagrama de dispersión de MPS vs Temperatura del mes de julio.

Elaboración: Autores, 2023

Para describir si existe relación entre las variables de material particulado sedimentable y temperatura, se aplicó una regresión lineal simple, donde se calculó el valor de coeficiente de determinación R^2 igual a **0,0187**, no existe relación entre las variables antes mencionadas, debido a que se presenta un valor cercano a cero por lo cual podemos decir que estas dos variables siguen comportamientos individuales, es decir que el valor de una no va a influir a la otra (ver *Tabla 7*).

Tabla 7. Estadísticas de la regresión del mes de julio

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,136792807
Coefficiente de determinación R ²	0,018712272
R ² ajustado	-0,007111089
Error típico	0,500104343
Observaciones	40

Elaboración: Autores, 2023

- **Tercer mes**

Por medio del diagrama de dispersión para el mes de agosto se puede observar que los valores de "y" correspondientes al material particulado sedimentable no se acercan a la línea de tendencia (pronóstico para y) y no siguen un comportamiento ideal, por lo tanto, estos valores no tienen relación lineal. Además, en esta sección se denota una tendencia en línea recta con pendiente negativa (ver *Figura 14*).

En el mismo diagrama, los valores más alejados de MPS a la línea de tendencia provocan que no se dé un comportamiento ideal entre las variables, como por ejemplo el punto 18 es el que más se aleja en la figura.

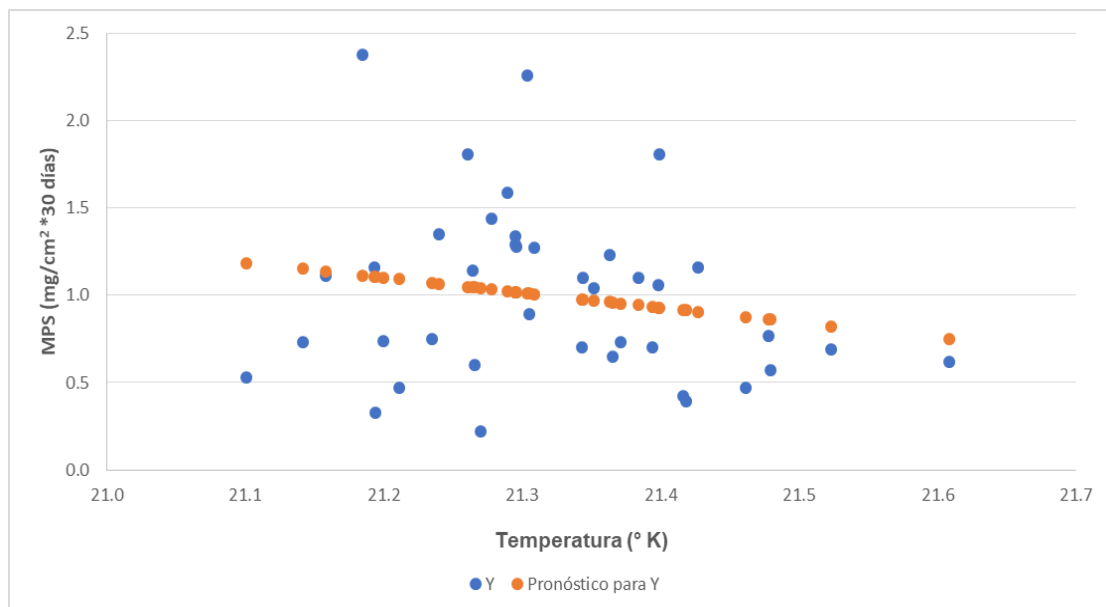


Figura 14. Diagrama de dispersión de MPS vs. Temperatura del mes de agosto

Elaboración: Autores, 2023

En la Tabla 8, se muestran los resultados para el mes de agosto en donde se aplicó una regresión lineal simple y se calculó el valor de coeficiente de determinación R^2 de **0,0355**, para este mes no existe relación entre las variables, es decir, la temperatura sigue un comportamiento individual, de manera independiente al MPS, debido que para este mes el R^2 presenta un valor cercano a cero.

Tabla 8. Estadísticas de la regresión del mes de agosto

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,188374045
Coefficiente de determinación R^2	0,035484781
R^2 ajustado	0,010102802
Error típico	0,497656571
Observaciones	40

Elaboración: Autores, 2023

Carrasquilla et al. (2016) en su estudio mencionan el uso de la regresión lineal simple y su aplicación para analizar variables dependientes e independientes, además explica que si los valores no se acercan a la variable predictor, entonces estas no tienen relación; en nuestro estudio al contar con valores de MPS alejados a la línea de tendencia para los meses de junio, julio y agosto, también podemos decir que las variables analizadas (material particulado sedimentable y temperatura) no tienen relación, ya que estas presentan valores de mínimos cuadrados alejados a la recta en la gráfica de dispersión como se observa en la *Figura 12, 13 y 14*.

La viabilidad de los resultados de la regresión lineal simple aplicada como método de correlación se ve influenciado de manera negativa por la toma de valores de temperatura a través de imágenes satelitales, ya que no se pudo contar con datos meteorológicos provenientes de estaciones meteorológicas para la zona de estudio, provocando que la correlación entre las dos variables analizadas sea nula, debido a que los coeficientes de determinación R^2 para los tres meses son cercanos a cero como se muestra en la *Tabla 6, 7 y 8*.

En el estudio realizado por Aragon et al. (2020) en Bogotá, Colombia, se presentan las mediciones de temperatura a través de imágenes satelitales y estaciones meteorológicas, donde mencionan que existieron diferencia de temperatura de hasta 9,45 °C dentro de sus mediciones

y en el cual se estableció que las mayores variaciones se daban en zonas urbanas; también mencionan que en dichas zonas existe pérdida de vegetación y obras civiles, situaciones que provocan que el índice de reflectancia disminuya, por lo que asumimos que la toma de temperatura a través de imágenes satelitales pudo haber presentados variaciones del estudio realizado ya que el área corresponde únicamente al casco urbano de la ciudad de Machala, teniendo de esta manera que no se presente correlación entre las variables analizadas.

6 CONCLUSIONES

- Se establecieron los puntos críticos de contaminación del aire a través de un diagnóstico ambiental realizado en la zona de estudio, en donde inicialmente se contó con 56 puntos analizados, y así descartar los que tenían menor afluencia vehicular, obteniendo finalmente 40 puntos de monitoreo en los cuales se determinó las concentraciones de material particulado sedimentable.
- Se determinó la concentración de material particulado sedimentable en el casco urbano de la ciudad de Machala, logrando obtener para el tiempo de monitoreo establecido que aproximadamente el 50 % de los puntos estudiados sobrepasan la normativa nacional; y en cuanto a la normativa internacional tomada como referencia de la Organización Mundial de la Salud, más del 50 % de estos puntos sobrepasaron los límites máximos permisibles, debido a que esta es una norma más estricta que la de Ecuador.
- A través de la aplicación del método de interpolación IDW se determinó la dispersión de los contaminantes por las diferentes zonas del casco urbano de la ciudad de Machala, obteniendo así una visión más amplia sobre los puntos más afectados por el material particulado sedimentable, y cómo este influye en las zonas aledañas.
- Por medio del método de correlación de variables, se determinó que no existe relación entre el material particulado sedimentable y la temperatura, debido a que los valores de coeficientes de determinación de R^2 presentaron valores cercanos a cero, al igual que en la gráfica de dispersión se muestran valores alejados a la línea de tendencia.

7 RECOMENDACIONES

- Complementar estudios relacionados a la calidad de aire, debido a que se realizó la determinación de material particulado sedimentable, pero se podría adicionar el material particulado ($PM_{2,5}$ y PM_{10}) o partículas suspendidas totales; a manera de llenar vacíos de información sobre la calidad del aire en el casco urbano de la ciudad de Machala.
- Colocar los recipientes del monitoreo pasivo en lugares seguros y así evitar ser víctimas de vandalismo, para ello se recomienda realizar una planeación previa del área donde se realizará el estudio y así poder distribuir de manera adecuada los puntos y abarcar toda el área de interés.
- Es necesario mantener un monitoreo constante ya que Machala es una ciudad densamente poblada, por esto la implementación de estaciones de monitoreo ayudaría a tener un registro de parámetros que permitan estimar la calidad del aire y variables meteorológicas complementarias.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Andi Shiguango, J. G., & Vega Díaz, R. M. (2019). *Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable y volátil en el sector Calpi, cantón Riobamba por incidencia industrial*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5639>
- Ánjel, M. (2020). Descubriendo el aire que respiramos. *Universitas Científica*, 23(1), Art. 1.
- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 123-132.
- Aragon, J., Rodríguez, E., Varon, G., & Sánchez, G. (2020). Análisis de islas de calor por medio de imágenes satelitales y sistemas de información geográficos en el área urbana de la Sabana de Bogotá. *Geographicalia*, 39-64.
https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2020724571
- Ayala, B. B., & Ochoa, D. E. (2011). Determinación de la contaminación del medio ambiente, ocasionada por polvo sedimentable, índice de corrosividad y lluvia ácida en cinco facultades de la Ciudad Universitaria [Bachelor, Universidad de El Salvador].
<https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2371/>
- Barin. (2020). *¿Qué Tipo de Contaminantes Atmosféricos Existen?*
<https://www.barin.es/actualidad/2020/tipos-de-contaminantes-del-aire/>
- Berrú, J. C. (2013). *Diagnóstico del ruido producido por vehículos que circulan en la calle 25 de Junio y Rocafuerte entre las calles Buenavista y Santa Rosa en la ciudad de Machala, año 2011* [MasterThesis]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/12026>
- Blanco, C. J. (2016). *Deterioro de recursos naturales y la biodiversidad causado por el crecimiento urbano y las deficientes políticas de gobierno*.
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/9646>

Bravo, L. L. (2017). *Determinación y caracterización de material particulado sedimentable en el casco urbano del cantón Portovelo* [BachelorThesis].

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27760>

Cabascango, D. E. (2022). *Determinación de las emisiones de fuentes móviles en el cantón Riobamba aplicando el modelo computacional IVE*.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17611>

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/20027>

Cando, L. J. R., Armijos, M., Crespo, M., Casignia, S. P. P., & Mendoza, C. I. Á. (2018).

Modelamiento geoestadístico de mediciones de concentración de material particulado (PM10) para la validación de un método simplificado. *Anales Científicos*, 79(1 (Enero a Junio)), 81-91.

Carranza, J., Choque, K., Mallea, M., Rojas, A., & Valverde, S. (2021). La incorporación del material particulado sedimentable como parámetro en el ECA Aire para la evaluación ambiental. *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*.

<http://repositorio.oefa.gob.pe/handle/20.500.12788/153>

Carrasco García, K. J. (2021). *Determinación de la concentración de material particulado sedimentable en el Parque Industrial de la Ciudad de Riobamba*.

<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8352>

Carrasquilla, A., Chacón, A., Núñez, K., Gómez, O., Valverde, J., Guerrero-Barrantes, M.,

Carrasquilla-Batista, A., Chacón-Rodríguez, A., Núñez-Montero, K., Gómez-Espinoza, O., Valverde, J., & Guerrero-Barrantes, M. (2016). Regresión lineal simple y múltiple: Aplicación en la predicción de variables naturales relacionadas con el crecimiento microalgal. *Revista Tecnología en Marcha*, 29, 33-45.

<https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2983>

- Chirinos, L. R., & Mallqui, C. G. (2016). Comparación entre Interpoladores Espaciales en el Estudio de Distribución de Partículas Sedimentables Insolubles en la Cuenca Atmosférica de Lima y Callao. *Información tecnológica*, 27(4), 111-120.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000400012>
- Chulde Llive, D. F. (2019). *Evaluación de la contaminación del aire causada por las emisiones de gases producida por la circulación vehicular, en la ciudad de San Gabriel, provincia del Carchi* [Thesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra].
<https://doi.org/10/551>
- Cruz, D. (2012). *Un análisis parcial en las preparatorias de la BUAP en las materias de matemáticas en 2010*. <https://1library.co/document/9yn7v9lz-analisis-parcial-preparatorias-buap-materias-matematicas.html>
- Cueva Luzón, E. del C., & Faicán Cabrera, G. M. (2021). *Determinación de la inversión térmica (IT) a través de imágenes satelitales y su relación con los perfiles de gases obtenidos del satélite Sentinel-5P* [BachelorThesis, Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37645>
- Farias, F., Cerda, R., & Korc, M. (2004). *EL PROCESO DE FIJACIÓN Y REVISIÓN DE NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE*. <https://docplayer.es/26763274-El-proceso-de-fijacion-y-revision-de-normas-de-calidad-del-aire.html>
- Galarza Poveda, P. D., & Tinoco Peralta, D. F. (2022). *Determinación de concentración de material particulado 2.5 (PM2.5) con el uso de aeronaves tripuladas a distancia en el área del parque industrial de la ciudad de Cuenca* [BachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37826>
- Gallo, A. D., & Paredes, C. S. (2019). *Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la Matriz del Cantón Chambo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5623>

- Gallo, A. D., Paredes, C. S., & Santillán, G. P. (2019). *Determinación y caracterización de las concentraciones de material particulado sedimentable del sector de ladrilleras de la Matriz del Cantón Chambo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5623>
- Garcés, L. F., & Hernández, M. L. (2004). *La lluvia ácida: Un fenómeno fisicoquímico de ocurrencia local*. <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/190>
- Gómez, M. G., & Danglot, C. (1998). Contaminación ambiental en el Valle de México ¿Estamos haciendo lo necesario? *Revista Mexicana de Pediatría*, 65(6), 254-260.
- González, L. H., & Sánchez, A. C. (2021). *Determinación de material particulado sedimentable proveniente del Parque Industrial del cantón Cuenca y su influencia en las zonas aledañas* [BachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35631>
- González, B. X., & Arias, M. A. (2022). *Impacto socioambiental generado por el acelerado crecimiento del parque automotor en la ciudad de Machala periodo 2019 – 2021* [BachelorThesis, Machala: Universidad Técnica de Machala].
- Guillory, A. (2017, noviembre 3). ERA5 [Text]. ECMWF. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>
- Instituto Nacional de Ecología. (s. f.). Recuperado 20 de julio de 2022, de <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>
- Jaramillo, M., Núñez, M. E., & Ocampo, W. (2004). *Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo*. 31, 12.
- Las imágenes satelitales y sus aplicaciones en la vida cotidiana. (2021, febrero 19). *axessnet*. <https://axessnet.com/las-imagenes-satelitales-y-sus-aplicaciones-en-la-vida-cotidiana/>
- León Tenecela, J. J., & Iñiguez Aguilar, C. X. (2017). *Determinación de áreas de monitoreo de la calidad de aire a partir del análisis de emisiones de fuentes móviles*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7244>

- Livia, K., Reátegui-Inga, M., Aguirre, C., Cabrejos, J., & 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), Art. 4. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i4.236>
- Livia, K. X. (2020). Contaminación del aire por partículas atmosféricas sedimentables en el ambiente interior de la zona urbana de Tingo María. *Universidad Nacional Agraria de la Selva*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1836>
- Loaiza, R. alexander L., & Terán, C. X. T. (2021). Determinación de los niveles de material particulado sedimentable en el cantón Portovelo.: Determination of sedimentable particulate matter levels in the canton of Portovelo. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 6(2), Art. 2. <https://doi.org/10.33936/riemat.v6i2.2895>
- Manzur, M. E., Benzal, M. G., & Gonzalez, S. N. (2013). *Simulación de dispersión de contaminantes atmosféricos*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/2387>
- Marcos, A. B., Jose, Nieves, G. D., María, Carmen, O. B., Antonio P. S., & J, R. V., Francisco. (2004). *Contaminación ambiental. Una visión desde la química: Una visión desde la química*. Editorial Paraninfo.
- Mendoza, D. O., Ochoa, D. Z., & Ochoa, V. Z. (2022). El medio ambiente y su influencia en la salud humana en la República de Ecuador. Sistematización teórica. *593 Digital Publisher CEIT*, 7(Extra 1-1), 30-42.
- Montenegro Hernández, K. M., & Larrea Paredes, H. S. (2022). Comportamiento del ozono troposférico y sus factores condicionantes medidos en la estación de Guamaní. Pichincha. Ecuador entre los años 2006-2020 [BachelorThesis, Quito : UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/26716>

Moreno, J., & Suarez, L. (2017). Plan de negocios para el montaje de una empresa de servicio de limpieza y mantenimiento en la ciudad de San José de Cúcuta.

<http://alejandria.ufps.edu.co/descargas/tesis/0462284-0460847.pdf>.

<http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6245>

Moscoso, D., Vasquez, V., & Astudillo, A. L. (2015). Modeling air quality in the city of Cuenca-Ecuador | ITECKNE. 2015, 12. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v12i2.1245>

Municipalidad de Machala (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Machala.

OMS. (2021). *Calidad del aire ambiente (exterior) y salud*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Paracta Garcia, D. Y. (2021). Retención del Polvo Atmosférico Sedimentable (PAS) en las especies Ficus Benjamina y Schinus Molle indicadoras de la calidad del aire en la Alameda Bolognesi y av. Leguía, referentes para la planeación urbana sustentable Tacna, 2021. *Universidad Privada de Tacna*.

<http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2176>

Parker, A. (2021). *Contaminación del aire por la industria*. Reverte.

https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=VdMfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=contaminaci%C3%B3n+del+aire&ots=ftrk10KgnW&sig=rFzCYgko892swrUAutYpwo_YBLU&redir_esc=y#v=onepage&q=contaminaci%C3%B3n%20del%20aire&f=false

Peña Murillo, S. E. (2018). Impacto de la contaminación atmosférica en dos principales ciudades del Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(2), 289-293.

Pérez, J. E. (2017). LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA: UN PROBLEMA DE SALUD PÚBLICA, UN PROBLEMA DE TODOS. *Biosalud*, 16(2), 5-6.

<https://doi.org/10.17151/biosa.2017.16.2.1>

- Proaño, M. R., & Jarrín, M. A. (2022). *Determinación y caracterización de material particulado sedimentable por incidencia antrópica, sector perímetro de las industrias de la ciudad de Riobamba*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8580>
- Quezada, M. I. (2020). Análisis de la calidad del aire ambiente en el casco central de la parroquia rural El Valle del cantón Cuenca-Ecuador [BachelorThesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34089>
- Quito, E. E. C., & Lucero, F. S. M. (s. f.). BIÓLOGO CON MENCIÓN EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN. 2021, 58.
- Reinoso, N. G., & Tello, K. V. (2021). *Determinación de los niveles de presión sonora y material particulado (PM10, PM2,5 y sedimentable) en el aire ambiente de bloqueras artesanales presentes en el área urbana del cantón Cuenca*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36130>
- Reinoso Villa, N. G., & Tello Pacurucu, K. V. (2021). *Determinación de los niveles de presión sonora y material particulado (PM10, PM2,5 y sedimentable) en el aire ambiente de bloqueras artesanales presentes en el área urbana del cantón Cuenca* [BachelorThesis, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/36130>
- Rodríguez-Guerra, A., & 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>
- Romero, F. S. (2016). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Revista AquaTIC*, 24, Art. 24. <http://revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/view/212>
- Semanart. (2007). *Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>
- Salkind, N. J. (1999). *Métodos de investigación*. Pearson Educación.

- Serrano, P., Morales, O., & Herrera, J. (2018). *El control interno como herramienta indispensable para una gestión financiera y contable eficiente en las empresas bananeras del cantón Machala (Ecuador)*.
https://www.researchgate.net/profile/Jonathan-Herrera-6/publication/324170088_El_control_interno_como_herramienta_indispensable_para_una_gestion_financiera_y_contable_eficiente_en_las_empresas_bananeras_del_canton_Machala_Ecuador/links/5ac36b26aca27222c75db8ee/El-control-interno-como-herramienta-indispensable-para-una-gestion-financiera-y-contable-eficiente-en-las-empresas-bananeras-del-canton-Machala-Ecuador.pdf
- Suarez Campos, Y. (2008). *Metodología para la evaluación del impacto en la calidad del aire aplicado a un proceso de generación distribuida* [Thesis, Universidad Cetril "Marta Abreu " de Las Villas]. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/1105>
- Torres Manzanares, R. J. (2015). *Diseño de Áreas para estacionamientos vehiculares en la avenida Arizaga desde la avenida Guayas hasta la intersección con la avenida Ayacucho*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/5136>
- Urrutia, B. F. (2021). *Estimación de la concentración de material particulado sedimentable en el centro histórico de la Ciudad de Riobamba*.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8492>
- US EPA, O. (2018, junio 4). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente* [Overviews and Factsheets]. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>
- Valdivieso Kastner, E. J. (2018). DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS MEDIANTE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA RESERVA BIOLÓGICA

LIMONCOCHA, NOVIEMBRE DE 2016 A JUNIO 2017.

<http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2786>

Venegas, L. E., & Mazzeo, N. A. (2012). *La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera*. II Congreso Latinoamericano de Ingeniería de Vientos (CLIV) (La Plata, 5, 6 y 7 de diciembre de 2012).

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/100066>

9 ANEXOS

Anexo A. Realización del conteo vehicular.



Figura 15. Conteo vehicular realizado en el casco urbano de Machala.

Anexo B. Envase colector.



Figura 16. Envase colector

Anexo C: Colocación de envases colectores.



Figura 17. Colocación de envases colectores en los puntos de muestreo.

Anexo D: Análisis de laboratorio.



Figura 18. Procedimiento para determinar la cantidad de MPS en el laboratorio.

ANEXO E: Diagnostico ambiental mediante un conteo vehicular.

Tabla 9. Resultados del conteo vehicular realizado en el casco urbano de Machala.

CÓDIGO	Vehículos Livianos	Vehículos Pesados	Motocicletas	Total
1	803	100	324	1227
2	851	148	184	1183
3	127	24	82	233
4	1770	216	303	2289
5	820	44	356	1220
6	155	19	98	272
7	187	60	104	351
8	740	72	340	1152
9	1014	48	216	1278
10	2021	215	295	2531
11	1997	193	256	2446
12	1218	-	288	1506
13	760	32	200	992
14	906	78	582	1566
15	552	84	200	836
16	1032	184	386	1602
17	642	131	247	1020
18	1119	43	189	1351
19	876	60	328	1264
20	3030	165	507	3702
21	554	25	276	855
22	1773	289	462	2524
23	317	33	75	425
24	562	-	52	614
25	506	65	92	663
26	769	43	243	1055
27	234	29	67	330
28	903	63	249	1215
29	915	39	309	1263
30	966	168	468	1602
31	1182	32	308	1522
32	231	32	142	405
33	378	62	175	615
34	420	52	145	617
35	752	36	263	1051
36	544	100	280	924
37	275	51	107	433
38	342	61	104	507
39	253	58	96	407
40	193	27	38	258

Elaboración: Autores, 2023

ANEXO F: Resultados de los cálculos para la determinación de MPS.

Tabla 10. Cálculos para la determinación de MPS del primer mes.

CÓDIGO	COORDENADAS		Peso papel filtro inicial (mg)	Peso papel filtro final (mg)	Peso cápsula inicial (mg)	Peso cápsula final (mg)	Concentración observada (mg/cm ² * 30 días)	Concentración corregida (mg/cm ² * 30 días)
	X	Y						
1	614898,25	9638329,75	233,70	376,10	49641,20	49648,00	0,68	0,69
2	615813	9636833	468,90	673,80	53499,70	53620,50	1,49	1,50
3	616283,02	9637121,77	1166,20	1425,00	49631,30	49675,90	1,39	1,40
4	617653,02	9637198,34	224,60	771,00	55098,00	55128,20	0,58	0,59
5	616965,37	9640291,15	230,40	481,20	53490,70	53519,00	0,22	0,22
6	613123	9639842	229,70	324,10	98647,50	98652,60	0,45	0,46
7	615098,69	9637848,59	229,70	635,50	51849,40	51924,60	1,15	1,16
8	616536,09	9641446,73	229,80	460,50	55091,90	55135,00	0,20	0,20
9	616933,93	9639143,94	457,30	712,20	102800,50	102814,50	1,23	1,24
10	616393,88	9637742,64	468,00	697,30	113030,30	113054,60	1,16	1,17
11	616400,03	9637764,81	241,50	1033,00	102847,50	102866,30	0,39	0,40
12	615656	9639643	329,20	590,50	49981,70	50015,70	1,35	1,36
13	616934,8	9639434,21	224,30	441,20	101394,60	101402,80	1,03	1,04
14	618893	9641725	223,00	238,00	122286,30	122393,60	0,56	0,56
15	614670	9639030	230,80	288,20	53135,00	53135,20	0,26	0,27
16	614495,84	9638586,36	226,50	399,10	98657,10	99507,00	4,67	4,72
17	614977	9638453	231,50	289,70	100771,30	100850,60	0,63	0,63
18	617989,16	9637617,6	227,50	447,80	102816,10	102826,30	1,05	1,06
19	615361,4	9639431,55	222,80	320,10	101340,60	101355,90	0,51	0,52
20	616925,51	9638660,04	238,00	696,10	101347,50	101364,00	1,08	1,09
21	615695,13	9638348,83	234,50	375,10	122270,80	122350,20	1,00	1,01
22	619194,35	9638140,03	215,70	359,00	99437,90	99458,50	0,75	0,76
23	614759	9641186	230,40	291,00	102495,90	102505,60	0,32	0,32
24	618658,74	9636699,48	449,10	594,20	113034,70	113060,00	0,78	0,79
25	617515	9640338	220,90	341,90	98644,20	98684,20	0,74	0,74
26	617384,7	9640002,33	232,70	445,90	53138,50	53154,40	1,05	1,06
27	617910	9638725	232,40	272,50	107065,10	107076,00	0,23	0,24
28	616476,98	9639396,55	226,20	448,70	99460,40	99494,60	1,17	1,18
29	616520,12	9638488,72	224,20	418,80	98636,00	98698,10	1,17	1,18
30	617938	9638937,55	230,20	364,60	100760,50	100773,30	0,67	0,68
31	616489,24	9640586,62	215,70	590,50	100746,30	100773,80	0,85	0,86
32	614083,02	9640464,87	227,90	354,60	99113,20	99127,20	0,64	0,65
33	613788,32	963973875	226,00	308,70	122257,00	122274,40	0,46	0,46
34	613811,42	9640228,04	223,20	347,90	113049,00	113068,20	0,66	0,66
35	615548,69	9640238,78	223,80	423,00	53733,40	53761,30	1,04	1,05
36	615018,67	9640018,2	221,10	416,00	101406,80	101446,70	1,07	1,08

UCUENCA

37	616828,05	9640310,14	227,40	302,80	107048,90	107065,50	0,42	0,42
38	611868	9639391	220,40	340,80	101380,00	101391,90	0,60	0,61
39	615582,68	9641101,26	225,00	338,00	102498,00	102521,30	0,62	0,63
40	617979,14	9639991,82	1201,00	1263,40	107070,50	107097,80	0,41	0,41

Elaboración: Autores, 2023

Tabla 11. Cálculos para la determinación de MPS del segundo mes.

CÓDIGO	COORDENADAS		Peso papel filtro inicial (mg)	Peso papel filtro final (mg)	Peso cápsula inicial (mg)	Peso cápsula final (mg)	Concentración observada (mg/cm ² * 30 días)	Concentración corregida (mg/cm ² * 30 días)
	X	Y						
1	614898.25	9638329.75	218,10	310,00	102817,30	102820,90	0,44	0,44
2	615813	9636833	828,90	937,30	49940,10	50419,50	2,68	2,71
3	616283.02	9637121.77	429,60	685,50	53148,50	53164,60	1,24	1,25
4	617653.02	9637198.34	412,90	987,30	49996,90	50028,60	0,88	0,89
5	616965.37	9640291.15	205,90	450,00	107086,70	107092,60	0,20	0,20
6	613123	9639842	414,90	528,40	55143,30	55149,50	0,55	0,55
7	615098.69	9637848.59	224,20	303,50	53751,60	53752,70	0,37	0,37
8	616536.09	9641446.73	229,60	345,60	53544,90	53548,20	0,54	0,55
9	616933.93	9639143.94	402,00	499,30	94882,60	94897,10	0,51	0,52
10	616393.88	9637742.64	873,40	985,80	55144,60	55163,10	0,60	0,60
11	616400.03	9637764.81	403,20	642,00	53755,50	53772,70	1,17	1,18
12	615656	9639643	214,50	266,70	53779,00	53863,60	0,62	0,63
13	616934.8	9639434.21	203,40	454,10	122278,30	122292,00	0,28	0,28
14	618893	9641725	628,20	3480,70	49655,00	49658,80	1,57	1,58
15	614670	9639030	300,00	520,00	49652,60	49655,40	1,02	1,03
16	614495.84	9638586.36	450,00	750,00	100588,50	100600,20	1,42	1,44
17	614977	9638453	200,10	319,59	51865,30	51885,60	0,64	0,64
18	617989.16	9637617.6	833,30	1050,70	49655,80	49699,20	1,19	1,20
19	615361.4	9639431.55	191,80	271,60	55143,60	55150,10	0,39	0,40
20	616925.51	9638660.04	314,30	553,00	51866,40	51888,50	1,19	1,20
21	615695.13	9638348.83	330,30	895,90	49999,60	50026,00	1,19	1,21
22	619194.35	9638140.03	215,30	332,60	102812,80	102834,40	0,63	0,64
23	614759	9641186	442,90	512,70	49927,80	49930,70	0,33	0,34
24	618658.74	9636699.48	1031,60	1231,50	50000,60	50025,30	1,03	1,04
25	617515	9640338	410,40	517,30	122275,00	122287,30	0,54	0,55
26	617384.7	9640002.33	218,60	409,00	101398,40	101407,50	0,91	0,92
27	617910	9638725	213,80	307,80	102516,90	102523,00	0,46	0,46
28	616476.98	9639396.55	200,30	355,90	53522,30	53548,80	0,83	0,84
29	616520.12	9638488.72	416,30	717,00	51867,70	52009,30	2,02	2,04
30	617938	9638937.55	202,70	446,20	53150,70	53180,80	0,32	0,33
31	616489.24	9640586.62	618,10	839,26	95295,70	95310,10	1,08	1,09
32	614083.02	9640464.87	407,00	515,00	107084,00	107097,00	0,55	0,56
33	613788.32	9639738.75	198,20	304,00	101409,20	101424,70	0,55	0,56
34	613811.42	9640228.04	207,30	318,70	95294,90	95309,10	0,57	0,58
35	615548.69	9640238.78	322,80	496,00	53542,50	53544,30	0,80	0,81
36	615018.67	9640018.2	216,30	316,60	49921,20	49931,60	0,51	0,51
37	616828.05	9640310.14	208,30	309,80	100590,60	100609,80	0,55	0,56
38	611868	9639391	699,10	53204,20	53204,90	219040,21	0,66	0,66
39	615582.68	9641101.26	219,10	330,80	94885,30	94897,20	0,56	0,57
40	617979.14	9639991.82	823,60	954,00	53164,30	53176,80	0,65	0,66

Elaboración: Autores, 2023

Tabla 12. Cálculos para la determinación de MPS del tercer mes.

CÓDIGO	COORDENADAS		Peso papel filtro inicial (mg)	Peso papel filtro final (mg)	Peso cápsula inicial (mg)	Peso cápsula final (mg)	Concentración observada (mg/cm ² * 30 días)	Concentración corregida (mg/cm ² * 30 días)
	X	Y						
1	614898,25	9638329,75	1300,90	1693,20	51843,00	51843,80	1,79	1,81
2	615813	9636833	644,10	877,90	49639,40	49643,80	1,09	1,10
3	616283,02	9637121,77	310,90	577,80	51851,30	51859,60	1,26	1,27
4	617653,02	9637198,34	423,60	920,60	107113,90	107141,80	0,46	0,47
5	616965,37	9640291,15	230,40	481,20	53490,70	53519,00	0,22	0,22
6	613123	9639842	229,70	374,10	98647,50	98652,60	0,68	0,69
7	615098,69	9637848,59	219,40	601,30	53546,80	53622,50	1,09	1,10
8	616536,09	9641446,73	627,00	2000,00	51697,60	51771,10	0,88	0,89
9	616933,93	9639143,94	1064,80	1300,90	49418,50	49430,50	1,13	1,14
10	616393,88	9637742,64	468,00	723,00	113030,30	113054,60	1,28	1,29
11	616400,03	9637764,81	853,50	1140,00	101419,70	101423,70	1,33	1,34
12	615656	9639643	431,30	652,00	94902,90	94907,60	1,03	1,04
13	616934,8	9639434,21	214,70	529,60	113090,20	113120,00	0,59	0,60
14	618893	9641725	515,00	727,80	108687,80	108715,20	1,10	1,11
15	614670	9639030	230,80	322,00	53135,00	53135,20	0,42	0,42
16	614495,84	9638586,36	638,60	857,30	100583,50	100616,60	1,15	1,16
17	614977	9638453	638,60	757,30	100583,50	100616,60	0,69	0,70
18	617989,16	9637617,6	632,50	1100,70	53508,40	53555,20	2,35	2,38
19	615361,4	9639431,55	857,90	1011,60	55176,00	55179,80	0,72	0,73
20	616925,51	9638660,04	1632,80	2006,00	51699,10	51717,40	1,79	1,81
21	615695,13	9638348,83	216,50	565,30	108719,00	108738,60	0,69	0,70
22	619194,35	9638140,03	217,70	327,30	100628,40	100633,50	0,52	0,53
23	614759	9641186	859,00	939,40	49993,00	49996,20	0,38	0,39
24	618658,74	9636699,48	859,70	1015,90	102520,00	102523,00	0,73	0,73
25	617515	9640338	423,90	585,00	53828,90	53829,80	0,74	0,75
26	617384,7	9640002,33	419,20	698,50	100791,10	100805,40	1,34	1,35
27	617910	9638725	232,40	292,50	107065,10	107076,00	0,32	0,33
28	616476,98	9639396,55	412,90	665,20	53777,70	53803,80	1,27	1,28
29	616520,12	9638488,72	649,20	896,00	102486,80	102584,70	1,57	1,59
30	617938	9638937,55	425,80	673,70	50069,30	50073,10	1,15	1,16
31	616489,24	9640586,62	638,70	1092,70	102849,10	102884,40	2,23	2,26
32	614083,02	9640464,87	223,60	325,40	49677,60	49678,60	0,47	0,47
33	613788,32	963973875	653,80	766,20	107071,60	107082,20	0,56	0,57
34	613811,42	9640228,04	211,60	375,00	50018,10	50022,50	0,77	0,77
35	615548,69	9640238,78	413,80	653,00	53733,40	53761,30	1,22	1,23
36	615018,67	9640018,2	221,10	416,00	49922,30	49957,80	1,05	1,06
37	616828,05	9640310,14	597,70	863,90	53102,00	53147,10	1,42	1,44
38	611868	9639391	653,10	784,50	51919,50	51922,30	0,61	0,62
39	615582,68	9641101,26	645,70	784,50	55138,40	55141,10	0,65	0,65
40	617979,14	9639991,82	642,30	802,50	94919,60	94920,50	0,74	0,74

Elaboración: Autores, 2023