



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL
PARTICULADO DE PM 2,5 Y PM 10 EN EL SECTOR LA MATRIZ,
PARROQUIA PUJILÍ, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE
COTOPAXI, PERIODO 2022 – 2023”**

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

Autor:
Escobar Gutierrez Johanna Abigail

Tutor:
Daza Guerra Oscar René

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Jhoanna Abigail Escobar Gutierrez con cédula de ciudadanía No. 0504182999, declaro ser autora el presente proyecto de investigación: “Evaluación de la concentración de material particulado de pm 2,5 y pm 10 en el sector la Matriz, parroquia Pujilí, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2022 – 2023”, siendo el Ingeniero Mg. Oscar René Daza Guerra, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 14 de febrero del 2023

Jhoanna Abigail Escobar Gutierrez
Estudiante
CC: 0504182999

Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.
Docente Tutor
CC: 0400689790

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ESCOBAR GUTIERREZ JHOANNA ABIGAIL** identificada con cédula de ciudadanía **0504182999** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE** y, de otra parte, el Doctor Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Evaluación de la concentración de material particulado de pm 2,5 y pm 10 en el sector la Matriz, parroquia Pujilí, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2022 – 2023”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Marzo 2019 - Agosto 2019

Finalización de la carrera: Octubre 2022 – Marzo 2023

Aprobación en Consejo Directivo: 30 noviembre del 2022

Tutor: Ingeniero Mg. Oscar René Daza Guerra

Tema: “Evaluación de la concentración de material particulado de pm 2,5 y pm 10 en el sector la matriz, parroquia Pujilí, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2022 – 2023”

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

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

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

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 14 días del mes de febrero del 2023.

Jhoanna Abigail Escobar Gutierrez
LA CEDENTE

Dr. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“Evaluación de la concentración de material particulado de pm 2,5 y pm 10 en el sector la Matriz, parroquia Pujilí, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2022 – 2023”, de Escobar Gutierrez Jhoanna Abigail de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 14 de febrero del 2023

Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.

DOCENTE TUTOR

CC: 0400689790

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: ESCOBAR GUTIERREZ JHOANNA ABIGAIL, CON EL TÍTULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO DE PM 2,5 Y PM 10 EN EL SECTOR LA MATRIZ, PARROQUIA PUJILÍ, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022 – 2023 ”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 14 de febrero del 2023

Lector 1 (Presidente)
Ph.D. Patricio Clavijo Cevallos
CC: 0501444582

Lector 2
Ing. José Antonio Andrade Valencia, Mg.
CC: 0502524481

Lector 3
Ing. Isaac Eduardo Cajas Cayo, Mg.
CC: 0502205164

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios por darme vida y permitirme cumplir cada una de mis metas propuestas, de la misma manera agradecer a mi familia por creer en mí y ser mi apoyo incondicional.

El resultado de mi formación se la debo a muchas personas en especial a mi tutor que ha sido mi guía en el proceso de realizar mi tesis de igual manera a las instituciones que me han ido formando en el ámbito académico, en especial a todos mis maestros quienes me aportaron con sus conocimientos, consejos y motivación a lo largo de toda mi carrera, sin duda son una bendición.

Jhoanna Abigail Escobar Gutierrez

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se la dedico a mis 3 mujeres, mi mamá Lucí, mi abuelita María, mi hermana Mili, han sido el pilar fundamental en mi vida, mi motivación para salir adelante y luchar por cada uno de mis sueños.

Gracias a mi madre que siempre ha estado en el momento preciso para extenderme su mano, por hacer el rol de padre y madre a lo largo de mi vida, por escucharme y siempre tener algo que decirme, por cuidarme cuando estaba enferma, por festejarme mis cumpleaños, por pagar mis estudios y ser parte de cada uno de mis logros, por hacerme una mujer valiente, fuerte y guerrera al igual que ella.

Gracias a cada una de las personas que estuvieron conmigo desde que inicié el proceso de mi formación académica, me ayudaron yéndome dejar o traer en moto cuando necesitaba, me prestaron un techo para quedarme cuando necesitaba madrugar o llegaba muy de noche, me dieron una mano en el proceso de realizar mi tesis, me ayudaron moralmente para no rendirme, siempre les estaré muy agradecida.

Jhoanna Abigail Escobar Gutierrez

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO DE PM 2,5 Y PM 10 EN EL SECTOR LA MATRIZ, PARROQUIA PUJILÍ, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022 – 2023”.

AUTOR: Escobar Gutierrez Jhoanna Abigail

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad determinar la concentración de material particulado de PM 2,5 y PM 10 mediante el monitoreo del aire, con la utilización del equipo E – BAM en la Unidad Educativa Pujilí, el Mercado central, el GAD Municipal de Pujilí y el Coliseo mayor, todos estos sitios se encuentran dentro del sector La Matriz de la parroquia Pujilí, cantón Pujilí. Se realizó el monitoreo de aire en base a la normativa actual vigente en la que indica que debe ser mínimo de 24 horas seguidas para la obtención de valores de concentración de material particulado. Tomando en cuenta los objetivos de estudio, se llevó a cabo la caracterización de los 4 puntos, el monitoreo fue de 24 horas seguidas tanto para PM 2,5 y como para PM 10, con un total de 192 horas de monitoreo, los resultados fueron comparados posteriormente con la normativa actual vigente. A partir de los datos obtenidos se pudo concluir que ninguno de los valores de concentración de material particulado PM 2,5 y PM 10 sobrepasa los límites máximos permisibles, de 65,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 150,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para PM 2,5 y PM 10, respectivamente, estipulados en la normativa legal vigente del Ecuador, Libro VI, Anexo 4, Norma de Calidad del Aire, sin embargo, la Unidad Educativa Pujilí registra valores de 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM 2,5 y 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM 10, mientras que la Construcción del mercado central presenta 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM 2,5 y 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM 10, siendo estos los valores de concentración más altos registrados, aproximándose a los límites estipulados. Las fuentes de contaminación existentes en estos puntos son el alto flujo del parque automotor, trabajos de construcción y la actividad propia del comercio existente en la zona. Tomando en cuenta la concentración existente y las fuentes de generación de material particulado se establecieron propuestas de mitigación para dichas concentraciones, junto con la recomendación de mantener un constante monitoreo dentro de la ciudad, esto con el fin de cumplir con la normativa legal vigente y precautelar la salud y bienestar de la población.

Palabras clave: Ambiente, Contaminación, E – BAM, Monitoreo de Aire, Zona Urbana.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “ASSESSMENT OF THE CONCENTRATION OF PARTICULATE MATERIAL OF PM 2.5 AND PM 10 IN THE LA MATRIZ SECTOR, PUJILÍ PARISH, PUJILÍ CANTON, COTOPAXI PROVINCE, PERIOD 2022 – 2023”.

AUTHOR: Escobar Gutierrez Jhoanna Abigail

ABSTRACT

The current research project has as aim to determine the particulate matter concentration of PM 2.5 and PM 10, through air monitoring, with the E-BAM equipment use in the Pujilí Educational Unit, the Central Market, the Municipal GAD from Pujilí and the Major Coliseum, all these sites are within the La Matriz sector from Pujilí parish, Pujilí canton. It was made air monitoring based on the current regulations, which indicate, what such monitoring must be 24 hours minimum in a row to get particulate material concentration values. Taking into account the study aims, they were carried out the 4 established points characterization, the monitoring was 24 hours in a row for both PM 2.5 and PM 10, with a total of monitoring 192 hours, the results, they were subsequently compared with the current regulations. From the got data, it can conclude, what none of the particulate matter concentration values of PM 2.5 and PM 10 exceed the maximum permissible limits, of 65.0 $\mu\text{g. /m}^3$ and 150 $\mu\text{g. /m}^3$, for PM 2,5 and PM 10, respectively stipulated in the current legal regulations from Ecuador, Book VI, Annex 4, Air Quality Standard, however, the Pujilí Educational Unit registers values of 42 $\mu\text{g. /m}^3$ of PM 2,5 and 115 $\mu\text{g. /m}^3$ of PM 10, while the Central Market Construction presents 56 $\mu\text{g. /m}^3$ of PM 2,5 and 98 $\mu\text{g. /m}^3$ of PM 10, these being the highest concentration values recorded approaching the stipulated limits. The pollution existing sources at these points are the high flow of vehicle fleet, construction work and the existing trade activity in the area. Taking into account the existing concentration and the sources of particulate material generation, it was established a mitigation proposal for said concentrations, along with the recommendation to keep constant monitoring within the city, this, in order to comply with current legal regulations and precautionary measures, the population health and well-being.

Keywords: Environment, Pollution, E – BAM, Air Monitoring, Urban Zone.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
5. OBJETIVOS	5
5.1. General.....	5
5.2. Específicos	5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
7.1 El aire.....	7

7.1.1 Contaminación del Aire.....	7
7.1.2 Fuentes de contaminación.....	8
7.1.3 Partículas Atmosféricas (PA).....	9
7.1.4 Material Particulado (PM)	9
7.1.5 Daños a la salud	9
7.2 Métodos de estimación de PM en el aire	10
7.2.1 Medición directa	10
7.2.2 Medición indirecta	10
7.3 Base legal.....	11
7.3.1 Constitución de la República del Ecuador	11
7.3.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)	11
7.3.3 Acuerdo Ministerial 097-A Reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Libro VI Anexo 4. Norma de Calidad del Aire Ambiente.....	12
8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS.....	13
8.1 Preguntas Científicas	13
9. METODOLOGÍA	13
9.1 Ubicación	13
9.2 Tipos de Investigación	15
9.2.1 Investigación Bibliográfica.....	15
9.2.2 Investigación de Campo	16
9.3 Métodos	16

9.3.1 Método Descriptivo.....	16
9.3.2 Método analítico	17
9.4 Técnicas	17
9.4.1 Observación.....	17
9.4.2 Equipo E – BAM	18
9.4.3 Monitoreo de PM 2,5 y PM 10.....	18
9.4.4 Consideraciones para el sitio de monitoreo.....	19
10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	20
10.1 Análisis de datos	20
10.1.1 Determinación de pautas de monitoreo de material particulado PM 2,5 y PM 10.....	20
10.1.2 Condiciones meteorológicas	21
10.1.2 Datos de concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10	25
10.2 Discusión.....	32
11. PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y PM 10.....	33
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	36
12.1 Conclusiones	36
12.2 Recomendaciones	36
14. IMPACTOS	37
14.1 Impacto Social.....	37

14.2 Impacto Ambiental	37
14.3 Impacto Económico	37
16. BIBLIOGRAFIA.....	39
17. ANEXOS.....	42
Anexo No. 1. Hoja de Vida del Tutor.....	42
Anexo No. 2. Hoja de Vida del Estudiante.....	43
Anexo No. 3. Resumen de los puntos y horarios de los puntos de monitoreo de aire.	44
Anexo No. 4. Evidencia fotográfica del monitoreo del aire	45
Anexo No. 5. Aval del Traductor	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Beneficiarios del proyecto de investigación</i>	4
Tabla 2. <i>Actividades realizadas en función de los objetivos específicos planteados</i>	6
Tabla 3. <i>Resumen de los puntos de monitoreo y sus coordenadas</i>	15
Tabla 4. <i>Datos de las condiciones ambientales de la parroquia Pujilí.</i>	21
Tabla 5. <i>Comparación de los datos de concentración de PM 2,5 y PM 10 con los límites máximos permisibles establecidos en la Normativa Legal Vigente</i>	30
Tabla 6. <i>Propuestas para disminuir y mitigar concentración de PM 2,5 y PM 10</i>	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio del Sector La Matriz de la parroquia Pujilí.	14
Figura 2. Mapa de Temperatura anual del cantón Pujilí	22
Figura 3. Mapa de Precipitación anual del cantón Pujilí.....	23
Figura 4. Mapa de Precipitación anual del cantón Pujilí.....	24
Figura 5. Concentración de PM 2,5 y PM 10 en la Unidad Educativa Pujilí.....	25
Figura 6. Concentración de PM 2,5 y PM 10 en el GAD Municipal de Pujilí.....	26
Figura 7. Concentración de PM 2,5 y PM 10 en la Construcción del mercado central de Pujilí.....	27
Figura 8. Concentración de PM 2,5 y PM 10 del Coliseo mayor de Pujilí.....	28
Figura 9. Concentración de PM 2,5 y PM 10 por día.....	29

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Evaluación de la concentración de material particulado de PM 2,5 y PM 10 en el sector La matriz, parroquia Pujilí, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2022 – 2023.

Fecha de inicio:

Septiembre 2022

Fecha de finalización:

Febrero 2023

Lugar de ejecución:

Sector La Matriz - Parroquia Pujilí – Cantón Pujilí – Provincia Cotopaxi - Zona 3

Facultad que auspicia

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Ambiental

Proyecto de investigación vinculado:

Sostenibilidad Ambiental en la región 3 del Ecuador

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. Oscar René Daza Guerra, Mg.

Autor: Jhoanna Abigail Escobar Gutierrez

Lector 1: Ph.D. Patricio Clavijo Cevallos

Lector 2: Ing. José Andrade, Mg.

Lector 3: Ing. Cajas Cayo Isaac Eduardo, Mg.

Coordinador del Proyecto:

Nombre/s: Jhoanna Abigail Escobar Gutierrez

Teléfonos: 0987765403 / 0999919342

Correo electrónico:

jhoanna.gutierrez2999@utc.edu.ec / jhoanaabigutierrez15@gmail.com

Área de Conocimiento:

Protección del Medio Ambiente.

Línea de investigación:

Energías Alternativas y Renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sub línea de investigación de la carrera:

Manejo y conservación del recurso aire

Línea de Vinculación:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El aire al ser un elemento vital para los seres vivos, en especial para la humanidad, es un elemento bastante monitoreado, con estándares específicos de calidad, leyes, reglamentos y normas a seguir que permitan mantener la calidad del mismo, sin embargo, dichas leyes no siempre son cumplidas por las industrias ni controladas por las autoridades pertinentes.

Diversas Organizaciones Internacionales se encuentran en constante observación respecto a la calidad del aire, realizan estudios que determinan contaminantes existentes, descubren nuevos contaminantes y fuentes de origen, entre otros, todo esto con el fin de proporcionar a los gobiernos una guía que contribuya al planteamiento de ordenanzas que permitan cuidar la calidad del aire; y a los investigadores el planteamiento de interrogantes por resolver, sin embargo, no todos los gobiernos ni población general toman en consideración las recomendaciones dadas, por lo que la contaminación y deterioro del aire es inevitable (Mazzini, 2022).

Dentro de los principales contaminantes del aire, que además resultan ser nocivos y hasta mortales para la salud humana y demás seres vivos, se encuentra el material particulado PM 2,5 y PM 10, razón por la cual es de mucha importancia realizar la investigación en la ciudad de Pujilí, la misma que permitió conocer la concentración existente de dicho material particulado, causas de dicha contaminación y acciones que contribuyan a la mitigación de la calidad del aire, de la misma manera con el trabajo aportamos material científico para que sirva como fuente bibliográfica para las nuevas generaciones, se ha determinado el material particulado que en su mayor cantidad depende de las actividades antrópicas del sector, el mismo que puede generar daños en la flora y fauna, contaminación al aire, contaminación agua y suelo de la zona, provocando un problema aún más grave y de difícil remediación y mitigación.

Adicionalmente el presente estudio permitió plantear futuras investigaciones relacionadas al estudio del aire, sus contaminantes y la relación existente con los factores que lo conforman, como el análisis de las posibles causas de contaminación del aire por PM 2,5 y PM 10 en la parroquia de Pujilí, indicando que es de mucha importancia realizar monitoreos de material particulado PM 2,5 y PM 10 en cada una de las parroquias de la ciudad de Pujilí, para determinar cómo está la contaminación del aire a nivel del cantón.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Tabla 1.

Beneficiarios del proyecto de investigación

Beneficiarios Directos		Beneficiarios Indirectos	
Habitantes de la parroquia de Pujilí		Habitantes del cantón Pujilí	
Hombres:	4.772	Hombres:	32.736
Mujeres:	5.292	Mujeres:	36.319
Total:	10.064	Total:	69.055

Fuente: (Tonato & Cucurí, 2016)

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Existen diversos factores que pueden afectar la calidad del aire, siendo la contaminación por presencia de material particulado PM 2,5 y PM 10 la más importante, la misma que puede constituirse en una problemática que afecta la seguridad ambiental y salud pública. La presencia de material particulado en el aire puede tener diversos orígenes, la clasificación más utilizada es la que divide las fuentes de orígenes en fuentes antrópicas y fuentes naturales, las antrópicas engloban todas aquellas emisiones provenientes de cualquier actividad realizada por el hombre, mientras que las naturales son las que se derivan de actividades naturales en donde no existe intervención del hombre. Dentro de las fuentes antrópicas podemos mencionar las emisiones provenientes de los procesos industriales, del smog producido por el parque automotor, de actividades no controladas como el tinturado de textiles, actividades agrícolas, actividad ganadera, procesos relacionados a la minería y cualquier otra actividad realizada por el hombre (Organización Mundial de la Salud, 2022).

La presencia de material particulado PM 2,5 y PM 10 en el aire constituye una problemática que va en aumento, este tipo de contaminación es una cuestión que afecta directamente la salud respiratoria de los seres humanos, agrava síntomas respiratorios ya existentes y provoca un deterioro del sistema respiratorio, en especial de los pulmones. Si el aire del sector agrícola se encuentra contaminado, dicha contaminación puede transferirse al suelo y al agua, por lo que los alimentos adsorberán los contaminantes presentes en el ambiente y se transferirán a la población al momento de ingerirlo. La contaminación del aire puede ser un precursor de una

contaminación ambiental total y de enfermedades sumamente graves que desencadenaran en la muerte prematura de la población (UNICEF, 2021).

En la parroquia de Pujilí, junto al terminal terrestre, actualmente existe una gran construcción del mercado de la ciudad, junto con pequeñas construcciones de viviendas, en las periferias de la ciudad existe actividad agrícola y ganadera, junto con el paso de una vía perimetral por la que circula transporte pesado, en ciertos lugares existen negocios de carpintería y talleres mecánicos, además los días miércoles y domingo existe feria de animales y alimentos.

Un estudio sobre la concentración de material particulado PM 2,5 y PM 10 en la parroquia de Pujilí permitió obtener información referente a la relación directa entre dicha concentración y las actividades propias de la zona.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Evaluar la concentración de material particulado de PM 2,5 y PM 10 en el sector La Matriz, parroquia Pujilí, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, periodo 2022 – 2023.

5.2. Específicos

- Determinar los puntos para el monitoreo de material particulado de PM 2,5 y PM 10 en el Sector La Matriz, parroquia Pujilí, Cantón Pujilí.
- Comparar los valores de concentración de material particulado de PM 2,5 y PM 10 con la normativa actual vigente.
- Elaborar propuestas de medidas de control del material particulado en la zona de estudio.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

A continuación, se encuentran las actividades y metodología aplicada, junto con los resultados obtenidos de cada uno de los objetivos específicos propuestos para el presente trabajo de investigación, los mismos que se encuentran debidamente detallados en la Tabla 2.

Tabla 2.*Actividades realizadas en función de los objetivos específicos planteados*

OBJETIVO 1	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Determinar los puntos para el monitoreo de material particulado de PM 2,5 y PM 10 en el Sector La Matriz de la parroquia Pujilí, Cantón Pujilí.	Determinación de los puntos de monitoreo en base a recorridos.	Trabajo de campo y métodos de observación.	4 puntos de monitoreo establecidos.
OBJETIVO 2	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Comparar los valores de concentración de material particulado de PM 2,5 y PM 10 con la normativa actual vigente.	<ul style="list-style-type: none"> - Utilización del equipo E-BAM. - Monitoreo del aire. - Comparación de los datos de contaminación con la normativa. 	Aplicación de la normativa vigente.	<ul style="list-style-type: none"> -Datos de concentración de PM 2,5 y PM 10. -Datos comparados con la Normativa.
OBJETIVO 3	ACTIVIDAD	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Elaborar propuestas de medidas de control del material particulado en la zona de estudio.	-Análisis de datos.	Aplicación de la Investigación bibliográfica.	-Propuestas de medidas de control.

Elaborado por: Escobar Johanna

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

7.1 El aire

Basándonos en la definición que la Real Academia Española tiene sobre el aire, podemos decir que es gas que se encuentra formado principalmente por oxígeno y nitrógeno, en menor cantidad posee componentes como vapor de agua, dióxido de carbono y dependiendo su origen, contaminantes como material particulado, se encuentra en la atmósfera y constituye uno de los elementos esenciales para el desarrollo de la vida (Real Academia Española, 2021).

Para ser específicos, el aire en la atmósfera se encuentra compuesto químicamente por los siguientes elementos: 20.95% de oxígeno, 78.08% de nitrógeno, 0.93% de argón y 0,035% de dióxido de carbono, los porcentajes dados son con respecto al porcentaje de volumen de aire seco, además, dependiendo la zona el aire puede contener entre 1% y 4% de vapor de agua, junto con trazas de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, monóxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono y una gama de COV (compuestos orgánicos volátiles). La mayoría de compuestos presentes en menor cantidad son perjudiciales para la salud humana y la supervivencia de los seres vivos, ya que en las últimas décadas sus concentraciones han ido en aumento, provocando enfermedades que en muchas ocasiones pueden resultar fatales para las personas (Generalitat Valenciana, 2022).

7.1.1 Contaminación del Aire

La mala calidad del aire y la presencia de agentes contaminantes en el mismo se puede dar por diversos factores, como la actividad industrial, el parque automotriz de la ciudad, la actividad agrícola de la zona, la presencia de actividades de manufactura específica, monocultivos, entre otros. La Organización Mundial de la Salud (OMS), advierte que, del total de población existente en el planeta, aproximadamente el 99% de la misma respira un aire cuyos niveles de contaminación superan los límites establecidos y recomendados de la organización para la no existencia de efectos adversos a la salud humana (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Con el fin de avanzar en el estudio de contaminación del aire, la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2022, a partir de análisis químicos del aire, ha establecido una base de datos que contiene niveles de concentración media anual de contaminantes como dióxido de nitrógeno y material particulado igual o menor a PM 2,5 y PM 10, lo que se pretende con esta base de datos es concientizar a las personas, gobiernos y organizaciones sobre los efectos adversos que tienen las actividades que involucran combustión de fósiles. Al revisar los datos

recolectados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2011 se puede observar que, en las ciudades en las cuales se tenía registro de material particulado su concentración ha incrementado casi seis veces más con respecto al año 2022, esto significa que los efectos adversos como enfermedades respiratorias, cardiovasculares, cerebrovasculares, entre otras producto de una respiración constante de aire con PM 10 y PM 2,5 van en aumento (Organización Mundial de la Salud, 2022).

Bajo esta premisa y tomando en cuenta el acelerado incremento de la industria y del parque automotor de las diferentes ciudades del mundo, es necesario que las autoridades realicen estudios relacionados con la calidad del aire con el fin de proponer medidas medioambientales que contribuyan a mejorar la calidad del aire.

Es necesario mencionar que el aire contaminado también influye en la calidad del agua y el suelo de la zona, por lo que la contaminación de un elemento pasa a convertirse en contaminación ambiental, al realizar un estudio de medio ambiente es necesario incluir un estudio completo de estos tres elementos, relacionar las enfermedades que la población posee, las actividades antropogénicas del sector, actividades industriales existentes y proponer medidas de remediación y mitigación.

7.1.2 Fuentes de contaminación

El aire puede tener diferentes fuentes de contaminación, dependerá de la actividad antropológica del sector y sus niveles de contaminación estarán asociados a la actividad industrial, agrícola, ganadera o cualquier otra actividad que se lleve a cabo en la zona de estudio. Dentro de las posibles fuentes de contaminación del aire tenemos:

- Móviles, se refiere a todos los medios utilizados en el transporte de personas y suministros, como por ejemplo autos, trenes a carbón, motos, etc.
- Fijas, se encuentran dentro de este grupo las industrias, indiferentemente de su actividad siempre existirá procesos involucren combustión.
- Área, este tipo de contaminación se refiere a puntos específicos que produzcan contaminación, como el uso de solventes, distribución de combustibles, rellenos sanitarios, entre otros.
- Naturales, se refiere a elementos y compuestos químicos propios de la naturaleza, presentes en diferentes cantidades y concentraciones en diversas zonas del planeta, generalmente se encuentra una concentración alta de un determinado compuesto en especial en zonas con presencia de flora y fauna típica de la zona.

7.1.3 Partículas Atmosféricas (PA)

Las partículas atmosféricas se refieren al material sólido y líquido suspendido en la atmósfera, su tamaño es microscópico y oscila entre los 0.005 y 100 μ , dentro de esta denominación también se encuentra material particulado (PM) (Pérez, 2013).

7.1.4 Material Particulado (PM)

Con su denominación PM, por su nombre en inglés, el material particulado existente en el aire comprende una mezcla compleja de compuestos químicos multifase, es decir, gas, líquido y/o sólido, hetero disperso o poli disperso en la atmósfera.

Para poder asociar o establecer propiedades tales como la composición química, morfología, parámetros ópticos, parámetros eléctricos, deposición y tiempo de vida media del material particulado en la atmósfera es necesario clasificar el mismo según su tamaño, existiendo dos tipos de material particulado PM 10 y PM 2,5 (Pérez, 2013).

➤ PM 2,5

Las partículas PM 2,5 son partículas generalmente ácidas cuyo diámetro mide menos de 2,5 μ , su origen, generalmente, se da a partir de la combustión de carbón, combustibles fósiles y quema de sólidos (UNICEF, 2021).

➤ PM 10

Se denomina PM 10 a las partículas cuyo diámetro es menor a 10 μ , las partículas con estas medidas pueden ser sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio y carbono negro, pueden estar constituidas por material sólido y líquido. Se originan, en su mayoría, de los diferentes procesos de combustión existentes en la sociedad, como los trabajos de fundición, cerámica, pintura y combustión del parque automotor (UNICEF, 2021).

7.1.5 Daños a la salud

El PM 10 se encuentra suspendido en el aire y al ser respirado por los seres humanos se aloja y permanece en el sistema respiratorio, provocando bloqueo en los conductos bronquiales, mientras que las PM 2,5, a diferencia de las PM 10, al ser respiradas se alojan en el torrente sanguíneo, por esta razón se considera que las PM 2,5 son más peligrosas que las PM 10 (UNICEF, 2021).

Estudios recientes han demostrado que existe una clara relación entre la presencia de material particulado y el asma, su incremento e incidencia en niños y adolescentes han ido en aumento de forma directamente proporcional con la concentración de material particulado en la zona, otra enfermedad relacionada es la deficiencia severa de la función pulmonar, por lo que enfermedades respiratorias tienen una estrecha relación con la concentración de material particulado en el aire (Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología, 2006).

7.2 Métodos de estimación de PM en el aire

Basándonos en PM 2,5 y PM 10 existentes en el aire, podemos citar dos formas de medición o estimación, medición directa y medición indirecta.

7.2.1 Medición directa

Uno de los factores primordiales al momento de llevar a cabo la medición de PM es la toma de muestras, es fundamental conseguir muestras del flujo cargado de partículas, es decir un correcto monitoreo del aire. Es necesario tomar en cuenta todas las variaciones que puedan presentarse durante todo el periodo de operación en el que serán reportadas las emisiones, el monitoreo se lleva a cabo directamente en la fuente de análisis de concentración de PM y determinar el flujo volumétrico del gas cargado de partículas.

La medición directa se la realiza principalmente en fuentes fijas de emisión, existiendo dos tipos de monitoreo, monitoreo automático o continuo y monitoreo manual o discreto. El monitoreo automático o continuo es el más preciso, ya que se toma en cuenta todas las variaciones existentes durante el periodo de reporte, por lo que se convierte en el método de monitoreo más costoso, puede utilizar el principio de opacidad, dispersión de luz, atenuación de radiación beta, electrificación de sondas, extinción de luz, centelleo óptico, entre otros. Mientras que el monitoreo manual o discreto consiste en extraer una muestra del flujo cargado en un periodo muy corto y el flujo debe permanecer en estado estable, se determina un promedio de la concentración de PM en base al tiempo en el cual se tomó la muestra, la misma que debe ser tomada mediante monitoreo isocinético (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, 2011).

7.2.2 Medición indirecta

Este tipo de medición son sencillos y de amplia aplicabilidad, es decir que las fuentes pueden ser fijas, móviles, de área y de naturaleza, se deben de tomar suposiciones al momento de su aplicación, por lo que son más inexactas que las mediciones directas. Existen tres principales

métodos de medición indirecta, el primero se basa en factores de emisión, el segundo en emisiones de material particulado PM 10 y el tercero en modelos matemáticos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología, 2011).

Uno de los métodos más utilizados para la determinación de material particulado es el establecido por la USEPA, United States Environmental Protection Agency, el Método 5 (Environmental Protection Agency, 1990) es utilizado en la determinación de PM 2,5 y el Método 202 (Environmental Protection Agency, 1989) para la determinación de PM 10, o sus equivalentes, si se tiene fuentes fijas de emisión, actividades específicas, aire condensado, entre otros factores; otra metodología ampliamente utilizada es la Norma UNE-EN 12341:2015 (Normalización Española, 2015) vigente en la Unión Europea y aplicada en la misma.

7.3 Base legal

7.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Publicada en el Registro Oficial N.º 449 del 20 de octubre del 2008.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (República del Ecuador, 2021).

7.3.2 Código Orgánico del Ambiente (COA)

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

Art. 190.- De la calidad ambiental para el funcionamiento de los ecosistemas. Las actividades que causen riesgos o impactos ambientales en el territorio nacional deberán velar por la protección y conservación de los ecosistemas y sus componentes bióticos y abióticos, de tal manera que estos impactos no afecten a las dinámicas de las poblaciones y la regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, o que impida su restauración (República del Ecuador, 2017a).

Art. 193.- Evaluaciones adicionales de la calidad del aire. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, según corresponda, dispondrán evaluaciones adicionales a las establecidas en la norma a los operadores o propietarios de fuentes que emitan o sean susceptibles de emitir olores ofensivos o contaminantes atmosféricos

peligrosos. La norma técnica establecerá los métodos, procedimientos o técnicas para la reducción o eliminación en la fuente de emisiones de olores y de contaminantes atmosféricos peligrosos (República del Ecuador, 2017a).

7.3.3 Acuerdo Ministerial 097-A Reforma del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Libro VI Anexo 4. Norma de Calidad del Aire Ambiente.

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Material particulado.

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales. Se designa como PM_{2,5} al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 micrones. Se designa como PM₁₀ al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones.

Dentro de la Norma de Calidad del Aire Ambiente se establecen, entre otros, los límites máximos permisibles para material particulado PM_{2,5} y PM₁₀. En el numeral 4.1.2.1 Para los contaminantes comunes del aire, definidos en 4.1.1, se establece que:

En un año el promedio aritmético de concentración PM₁₀ no deberá exceder los 50 µg/m³, mientras que la concentración máxima en un periodo de 24 horas no deberá superar el límite de 150 µg/m³, valor que no podrá ser excedido más de 2 veces en un año. Para la concentración de PM_{2,5} en un año no deberá exceder el valor de 15 µg/m³ y la concentración máxima en 24 horas no deberá exceder los 65 µg/m³, valor que no podrá ser excedido más de 2 veces en un año (República del Ecuador, 2017).

El Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente posee registro oficial 2 del 31 de marzo del 2003, cuya última modificación realizada y registrada fue el 29 de marzo del 2017; siendo este la normativa vigente hasta la presenta fecha.

8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS

Se planteó una pregunta científica para el presente trabajo de investigación, la misma, que a continuación se encuentra debidamente formulada y respondida en base a los resultados obtenidos.

8.1 Preguntas Científicas

¿Con el monitoreo de material particulado de PM 2,5 y PM 10 se logrará determinar la contaminación de aire por presencia de dicho material en el sector La Matriz, parroquia Pujilí, Cantón Pujilí?

El monitoreo de aire que se llevó a cabo en la Unidad Educativa Pujilí, el GAD Municipal de Pujilí, La construcción del mercado central de Pujilí y el Coliseo mayor de Pujilí, puntos de monitoreo previamente establecidos, permitió determinar el nivel específico de contaminación existente en el sector La Matriz de la parroquia Pujilí, se obtuvieron valores de promedio de $25,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $59,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Unidad Educativa Pujilí; de $24,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $36,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el GAD Municipal de Pujilí; de $34,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $36,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Construcción del mercado central de Pujilí y de $15,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $24,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el Coliseo mayor de Pujilí para material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 respectivamente; ningún promedio ni concentración registrada sobrepasa los límites máximos permisibles de $65,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $150,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 estipulados en la normativa legal vigente del Ecuador, Libro VI, Anexo 4, Norma de Calidad del Aire (Republica del Ecuador, 2017).

9. METODOLOGÍA

9.1 Ubicación

El sector La Matriz, forma parte de la parroquia urbana de Pujilí, el mismo que se encuentra ubicado a 2848 msnm, $0^{\circ}57'0''$ S y $78^{\circ}40'60''$ W (formato DMS), al sur de la provincia de Cotopaxi (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Intercultural del Cantón Pujilí, 2022).

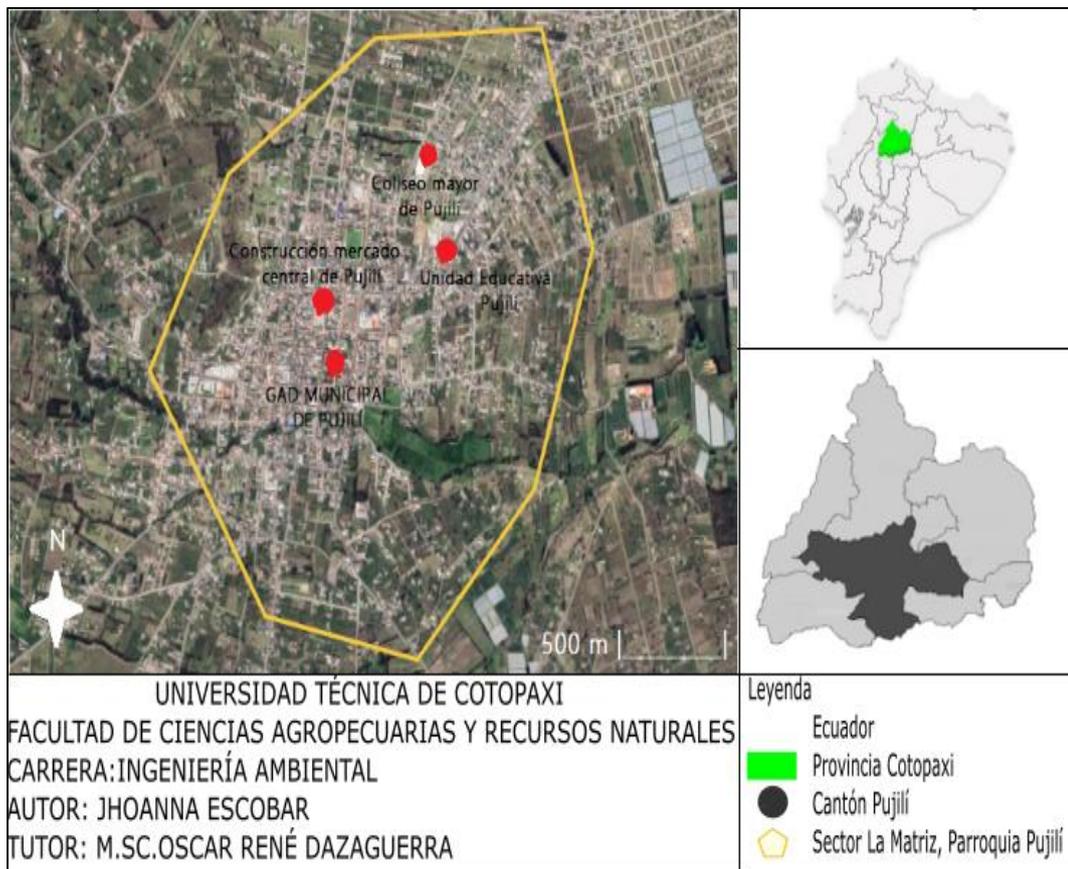
A pesar de la existencia de 6 parroquias rurales adicionales a la mencionada, estas no serán tomadas en cuenta debido a la lejanía de las mismas, el clima de cada una de ellas y la población existente, ya que lo que se pretende con el presente trabajo de investigación es obtener información exacta y detallada acerca de la posible contaminación del aire por presencia de PM

2,5 y PM 10 y por el tiempo disponible para el desarrollo de investigación nos centramos en el sector La Matriz de la parroquia urbana de la ciudad (Prefectura Cotopaxi, 2023).

Además, el sector La Matriz de la parroquia Pujilí concentra la mayor actividad productiva del Cantón, lo que implica una mayor cantidad de personas transitando de forma diaria, mayor cantidad de servicio de transporte, mayor cantidad de construcciones, entre otros.

Figura 1.

Área de estudio del Sector La Matriz de la parroquia Pujilí.



Elaborado por: Jhoanna Escobar

En la Figura 1, se puede observar el sector La Matriz de la parroquia Pujilí, en donde se realizó el monitoreo de la calidad del aire de la presente investigación, se establecieron 4 puntos de monitoreo de aire, los cuales son; Coliseo mayor, la Construcción del mercado central, el GAD Municipal y la Unidad Educativa Pujilí.

En base a la normativa menciona que el monitoreo se debe realizar en horarios establecidos durante 24 horas seguidas para PM 2,5 y 24 horas seguidas para PM 10, por dos días consecutivos, con un

lapso de descanso de 1 hora, para cada uno de los puntos establecidos, a lo largo de dos semanas, de lunes a viernes, el horario detallado se encuentra en el Anexo 3.

Tabla 3.

Resumen de los puntos de monitoreo y sus coordenadas.

Puntos de recolección	Coordenadas
Unidad Educativa Pujilí.	-0.952556, -78.691020
GAD Municipal de Pujilí.	-0.957389, -78.695672
Construcción del mercado central de Pujilí.	-0.955204, -78.696283
Coliseo mayor de Pujilí.	-0.949809, -78.691711

Elaborado por: Escobar Jhoanna

En la Tabla 3, se encuentran detalladas las coordenadas de los puntos de monitoreo del aire establecidos en el presente proyecto de investigación.

9.2 Tipos de Investigación

Cada uno de los tipos de investigación utilizados se encuentran indicados y descritos a continuación:

9.2.1 Investigación Bibliográfica

La investigación bibliográfica constituyó uno de los principales pasos dentro del presente trabajo de investigación, mediante la observación, indagación, interpretación y análisis de tesis, informes, libros, artículos científicos, manuales de operación, normativa vigente, datos estadísticos y otros datos relevantes pertenecientes al sector La Matriz de la parroquia Pujilí, contaminantes del aire y monitoreo del mismo, se pudo para obtener la información necesaria sobre la zona de estudio, antecedentes, información sobre la actividad propia del sector y la relación existente entre estos factores y la concentración de material particulado.

Para Gómez, Fernando, Aponte, & Betancourt, (2014) la investigación bibliográfica “debe contar con material informativo como libros, revistas de divulgación o de investigación científica, sitios Web y demás información necesaria para iniciar la búsqueda, la que debe de realizarse desde una perspectiva estructurada y profesional”.

9.2.2 Investigación de Campo

La investigación de campo se aplicó como paso previo a la determinación de los puntos de monitoreo, una vez obtenida la información bibliográfica del sector La Matriz de la parroquia Pujilí se procedió con la visita in situ, se realizó una observación sobre la actividad que se lleva a cabo y en base a la información obtenida se procedió a establecer los puntos muestrales, se tomó en cuenta la actividad diaria del sector, el trabajo que se lleva a cabo y la afluencia de personas.

Una vez establecidos los puntos de análisis y dentro de la parte experimental del presente trabajo de investigación se llevó a cabo el monitoreo del aire durante 24 horas seguidas para material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10, lo que permitió obtener datos de concentraciones en condiciones ambientales y antropogénicas propias de la zona de estudio.

La investigación de campo es fundamental al momento de llevar a cabo la mayoría de proyectos de investigación, sobre todo si se integra el entorno humano, tiene por objetivo la recopilación de datos necesarios para la investigación, es decir, se reúne información en ambientes reales no controlados (Nájera & Paredes, 2017).

9.3 Métodos

A continuación, se presenta la metodología utilizada en el presente trabajo de investigación.

9.3.1 Método Descriptivo

El método descriptivo se utilizó dentro de la parte experimental del trabajo de investigación propuesto, de forma específica para conocer las fuentes de concentración actual de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 en los puntos de monitoreo establecidos dentro del sector La Matriz de la parroquia Pujilí, teniendo en cuenta las características del sector y las actividades antropogénicas de los mismos.

Permite obtener características puntuales de la población o fenómeno de estudio, esto se logra mediante la aplicación de criterios sistemáticos como el registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos (Guevara, Verdesoto, & Castro, 2020).

9.3.2 Método analítico

Dentro de la investigación que se llevó a cabo, la aplicación del método analítico nos permitió analizar los cuatro puntos de monitoreo establecidos dentro del sector La Matriz de la parroquia Pujilí, una vez obtenidos los datos de concentración se realizó la respectiva comparación con los límites máximos establecidos en la normativa actual vigente y relacionar los valores de concentración del material particulado con los trabajos que se llevan a cabo y la actividad rutinaria de sus alrededores.

El método analítico “es un camino para llegar a un resultado mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos”, es decir, a partir de la descomposición del fenómeno estudiado podemos observar la naturaleza, causas y efectos asociados (Lopera, Ramírez, Zuluaga, & Ortiz, 2010).

9.4 Técnicas

Las técnicas que se aplicaron durante la elaboración del presente trabajo de investigación fueron:

9.4.1 Observación

La observación de campo fue primordial para determinar los puntos de estudio en el sector La Matriz de la parroquia Pujilí y para relacionar las actividades que se llevan a cabo de forma rutinaria con las concentraciones de material particular PM 2,5 y material particulado PM 10 obtenido del monitoreo del aire llevado a cabo en el presente trabajo de investigación.

También se aplicó la observación al momento de relacionar las concentraciones de material particulado y las actividades que se llevaron a cabo al momento de realizar el monitoreo del aire, además de las actividades de rutina ya existentes en el sector, la importancia de realizar una correcta observación de la actividad antropogénica del sector permite establecer las fuentes de contaminación y las posibles soluciones para disminuir dichos valores.

Además, manifiesta que “la observación es la forma más sistematizada y lógica para el registro visual y verificable de lo que se pretende conocer; es decir, es captar de la manera más objetiva posible, lo que ocurre en el mundo real, ya sea para describirlo, analizarlo o explicarlo desde una perspectiva científica; a diferencia de lo que ocurre en el mundo empírico, en el cual el hombre en común utiliza el dato o la información observada de manera práctica para resolver problemas o satisfacer sus necesidades” Campos & Lule, (2012).

9.4.2 Equipo E – BAM

El equipo de monitoreo de aire E – BAM es un dispositivo portátil capaz de monitorear aire atmosférico, se basa en el principio de absorción/ atenuación beta, el mismo que se define como una disminución del conteo del número de partículas beta como consecuencia de la absorción producida por un medio interpuesto (Met One Instruments, 2008).

Como fuente de partículas beta, el equipo de monitoreo de aire E – BAM utiliza el Carbono 14, que es un isótopo radioactivo presente de forma natural. Debido a la poca masa y energía de las partículas beta estas pueden viajar menos de un metro a través del aire y ser atenuada por completo con algunas hojas de papel de cuaderno, debido a esta propiedad, el equipo puede realizar la medición de masa de material recolectado en un filtro, es decir, el aire que atraviesa el filtro del dispositivo puede ser medido mediante un proceso de pesaje inicial y final.

El proceso de medición del equipo de monitoreo E – BAM se realiza en tres etapas, la primera consiste en realizar un conteo inicial a través de un pedazo de papel filtro limpio, la segunda etapa se da después de que el aire cargado con partículas atraviesa el papel donde son depositadas dichas partículas, finalmente, la tercera etapa comienza cuando se realiza un conteo del papel filtro con las partículas ya depositadas, la segunda medición realizada debe ser menor a la primera medición, debido a la absorción de partículas beta depositadas (Met One Instruments, 2008).

9.4.3 Monitoreo de PM 2,5 y PM 10

La determinación de PM 2,5 y PM 10, se lo realizó con la ayuda del equipo E – BAM, cuyo proceso consistió en colocar un filtro de fibra de vidrio específico para el modelo utilizado, se posicionó en el punto de corte, a una altura específica, que permitió realizar la medición de PM 10, mientras que para la medición de PM 2,5 se colocó un cabezal adicional y a la altura de corte correspondiente. Una vez encendido el equipo, el motor succiona cierta cantidad de aire y lo hace pasar a través del filtro en donde se quedó cierta cantidad de partículas, las partículas que logran atravesar pasan por un sensor de flujo, siendo este flujo el volumen total de aire existente en el punto de análisis, el equipo guarda la información en una tarjeta de memoria extraíble para poder descargarla a un ordenador.

El equipo es capaz de realizar mediciones de concentración en tiempo real y mediciones de concentración horarias, con el fin de obtener una mayor exactitud en los datos se utilizó la

medición de concentración horarias, este tipo de medición es calculada a partir de un conteo inicial comparado con un segundo conteo.

El equipo E – BAM refleja en su datalogger el cálculo de la última hora de funcionamiento del mismo, por lo que no es necesario realizar operaciones matemáticas o análisis extras para obtener los valores de concentración de PM 2,5 y PM 10, los mismos son reflejados en unidades de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al encender el equipo hay que asegurarse que los datos de fecha, hora y zona horaria se encuentren configuradas correctamente, dependiendo el material particulado a ser medido (Met One Instruments, 2008).

9.4.4 Consideraciones para el sitio de monitoreo

Se considera una zona optima a ser monitoreada aquella que se encuentra cerca de donde existe respiración por parte de las personas, debido a cuestiones de seguridad en diversas ocasiones el equipo debe de colocarse a una altura que precautele el mismo, por lo que la entrada del aire del equipo se debe ubicar entre 2 y 15 metros sobre el nivel del suelo, esto cuando la fuente de contaminación que impacta el aire ambiente sea predominante, mientras que en sitios donde la fuente de contaminación se encuentre al nivel del suelo con gradientes de concentración en pasos verticales, el equipo debe ubicarse tan cerca como sea posible de la zona de respiración.

Si el equipo E – BAM debe ser colocado en techos debe existir una distancia mínima de 2 metros de separación entre el equipo y los techos o cualquier otro obstáculo, si existen árboles, el equipo debe ser colocado a 20 metros desde la línea de goteo de los mismos.

En las carreteras, el equipo E – BAM debe ser colocado con una distancia mayor a los 5 metros desde la orilla de la carretera y entre 2 y 15 metros sobre el nivel del suelo, cuando el tráfico del sector sea menor, sin embargo, si el estudio se realizará en una autopista, el equipo debe ser colocado a 25 metros aproximadamente desde el límite del tráfico existente.

En caminos o carreteras donde el flujo de tráfico es menor a 3000 vehículos no se considera que exista contaminación proveniente del tráfico vehicular, por lo que es necesario tomar en cuenta esta consideración al momento de establecer los puntos de monitoreo.

El equipo E – BAM debe ser colocado a una altura de 3 metros o más, se recomienda asegurarlos a la superficie mediante tornillos no tiene que ser ubicado en áreas no pavimentadas, a menos que exista una cubierta vegetal del terreno durante un año, ya que dicha cubierta minimiza el impacto del arrastre de polvos suspendidos o polvos fugitivos.

Siguiendo el cronograma establecido y detallado en el Anexo 3, el equipo E – BAM fue colocado en la azotea de la Unidad Educativa Pujilí, ubicada a 5 metros de alto; en el GAD Municipal de Pujilí se lo colocó a 5 metros de altura desde el piso, en la azotea de dicha institución; en la Construcción del mercado central de Pujilí el equipo fue colocado a 7 metros de altura, medidos desde el piso de la obra; mientras que en el Coliseo mayor de Pujilí se colocó al nivel del suelo, sobre una superficie de pavimento existente en dicha locación; en cada uno de los puntos ,muestrales el equipo fue atornillado a la superficie sobre la que reposó, asegurándolo completamente sin peligro de volcamiento por presencia de las corrientes de aire existentes. La evidencia fotográfica existente se encuentra en el Anexo 4.

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10.1 Análisis de datos

10.1.1 Determinación de pautas de monitoreo de material particulado PM 2,5 y PM 10

El presente trabajo de investigación se centró en determinar la concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 existente en cada uno de los puntos monitoreados y establecer que valores superan los límites máximos permisibles instaurados en la Normativa Legal vigente del Ecuador.

Los datos de concentración obtenidos de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 pertenecen al sector La Matriz de la parroquia Pujilí, siendo este sector el que mayor flujo de personas y tránsito presenta a diario debido a la centralización de entidades públicas, privadas, entre otros.

El monitoreo del aire en los puntos ya establecidos se llevó a cabo de lunes a viernes durante dos semanas, esto debido a que en la Unidad Educativa Pujilí existe una actividad diaria por parte de los alumnos y personal docente durante estos días, al igual que en el GAD Municipal de Pujilí, cuyas instalaciones funcionan durante 9 horas en los días ya mencionados.

La Construcción del mercado central de Pujilí fue escogido como punto de monitoreo debido a la gran obra de remodelación que se lleva a cabo en este momento y al flujo de personas existentes a diario en el sector, de esta manera se pudo determinar que la obra de construcción es un factor determinante en la concentración de material particulado PM 2.5 y material particulado PM 10 registrado.

Mientras que las instalaciones del Coliseo mayor de Pujilí, al tener un flujo de personas y vehículos considerablemente menor a los otros tres puntos mencionados nos permitieron concluir que estos factores son directamente proporcionales con los datos de concentración obtenidos.

Los horarios de inicio y finalización del monitoreo del aire en los puntos establecidos permitieron abarcar las horas con mayor flujo vehicular y con mayor presencia de personas en todos los puntos de estudio.

10.1.2 Condiciones meteorológicas

Dentro de las investigaciones de monitoreo de aire, con el fin de establecer datos concretos de seguimiento para posteriormente poder ser consultados y establecer así una evolución de la contaminación por presencia de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 en una determinada zona de estudio, es necesario registrar los datos meteorológicos de los días en los cuales se realizó dicho monitoreo.

En base a lo mencionado, a continuación, presentamos los datos meteorológicos registrados durante el monitoreo del aire llevado a cabo en el sector La Matriz de la parroquia de Pujilí durante el mes de diciembre del año 2022.

Tabla 4.

Datos de las condiciones ambientales de la parroquia Pujilí.

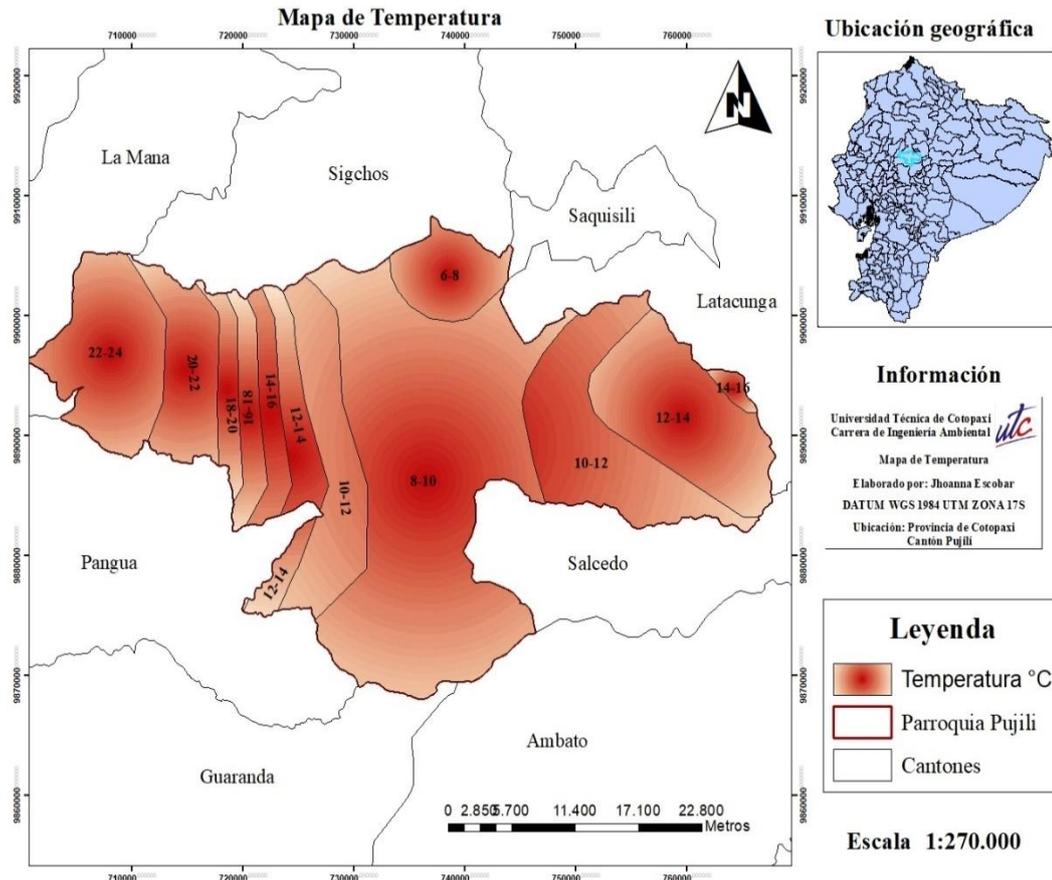
Característica	Valor
Temperatura	Rango de 12.5°C a 39.5°C
Humedad Relativa	Entre 8% y 45%
Precipitación	Entre 47% y 51%
Viento	6 km/h, dirección Oeste a este

En la Tabla 4, se encuentran las condiciones meteorológicas registradas durante el monitoreo de aire en el sector La Matriz de la parroquia Pujilí, perteneciente al mes de diciembre del año 2022.

a. Temperatura

Figura 2.

Mapa de Temperatura anual del cantón Pujilí.



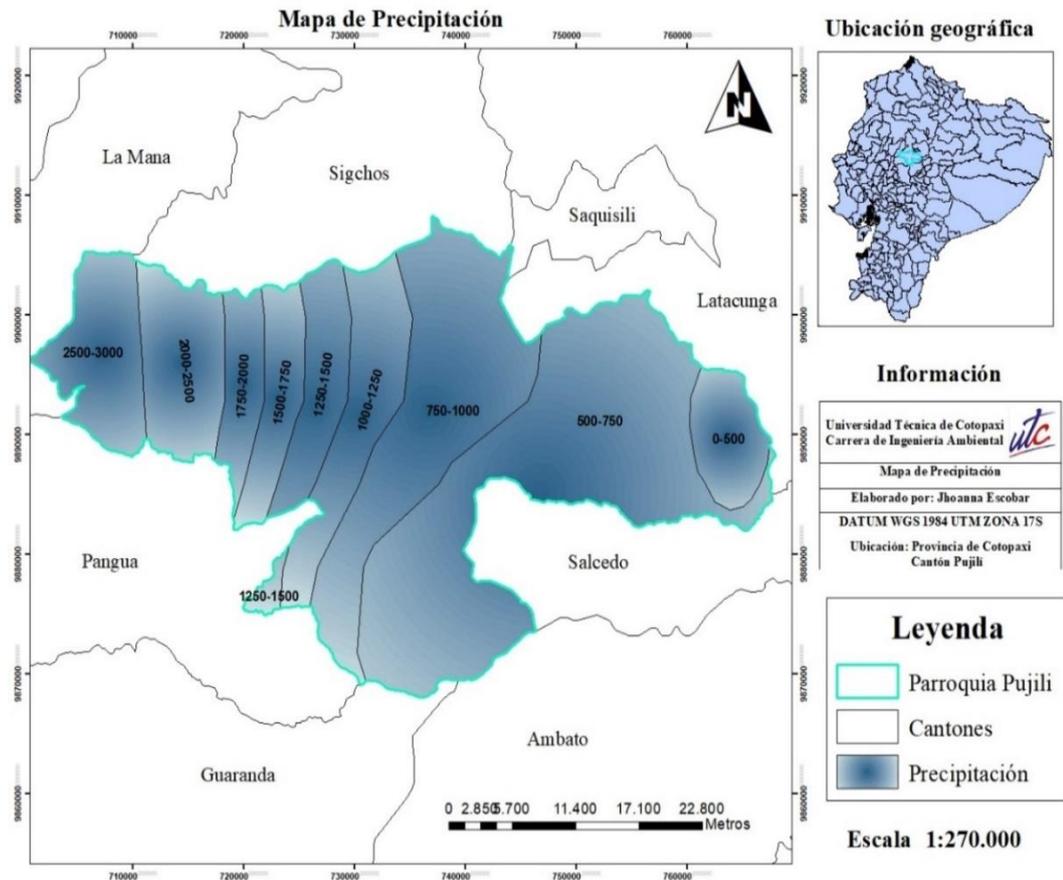
Nota: El color rojo y sus diferentes tonalidades, junto con los diferentes rangos de temperatura, representan las variaciones de temperatura existentes en todos los sectores pertenecientes al cantón Pujilí, además, las líneas divisorias representan las zonas en las cuales se registraron dichos valores de temperatura.

En la Figura 2, se indica la variación de temperatura en el cantón Pujilí durante el año 2022, los valores de temperatura fluctúan entre 6°C y 24°C, dependiendo de la zona, los valores más altos de temperatura se encuentran registrados en el Este del cantón, debido a que esta zona se encuentra posesionada en el subtrópico andino del Ecuador, mientras que en el sector La Matriz de la parroquia Pujilí, ubicado en el callejón interandino del país, presenta valores de temperatura que van de 10°C a 16°C.

b. Precipitación

Figura 3.

Mapa de Precipitación anual del cantón Pujilí



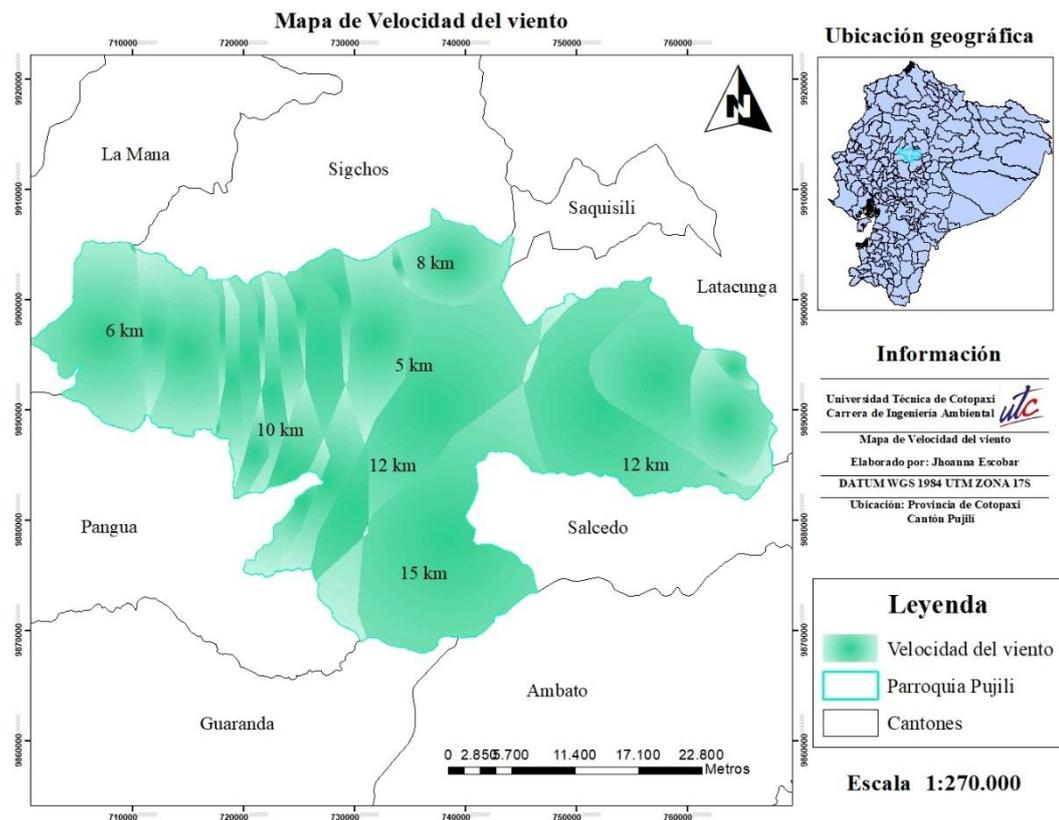
Nota: El color azul y sus diferentes tonalidades, junto con los diferentes rangos de precipitación, representan las variaciones de precipitación existentes en todos los sectores pertenecientes a la parroquia Pujilí, además, las líneas divisorias representan las zonas en las cuales se registraron dichos valores de precipitación.

En la Figura 3, se observa la variación de los valores de precipitación registrados durante el año 2022 en el cantón Pujilí, estos valores ascienden hasta los 3000 mm, en el sector La Matriz de la parroquia de Pujilí los valores de precipitación fluctúan entre 0 mm y 750 mm, además la probabilidad de precipitación en la zona durante el mes de diciembre varió entre el 47% y 51%.

c. Velocidad del Viento

Figura 4.

Mapa de Precipitación anual del cantón Pujilí



Nota: El color verde y sus diferentes tonalidades, junto con los diferentes valores de velocidad de viento, representan las velocidades de viento existentes en todos los sectores pertenecientes al cantón Pujilí, además, las líneas divisorias representan las zonas en las cuales se registraron y prevalecen los valores de velocidad de viento.

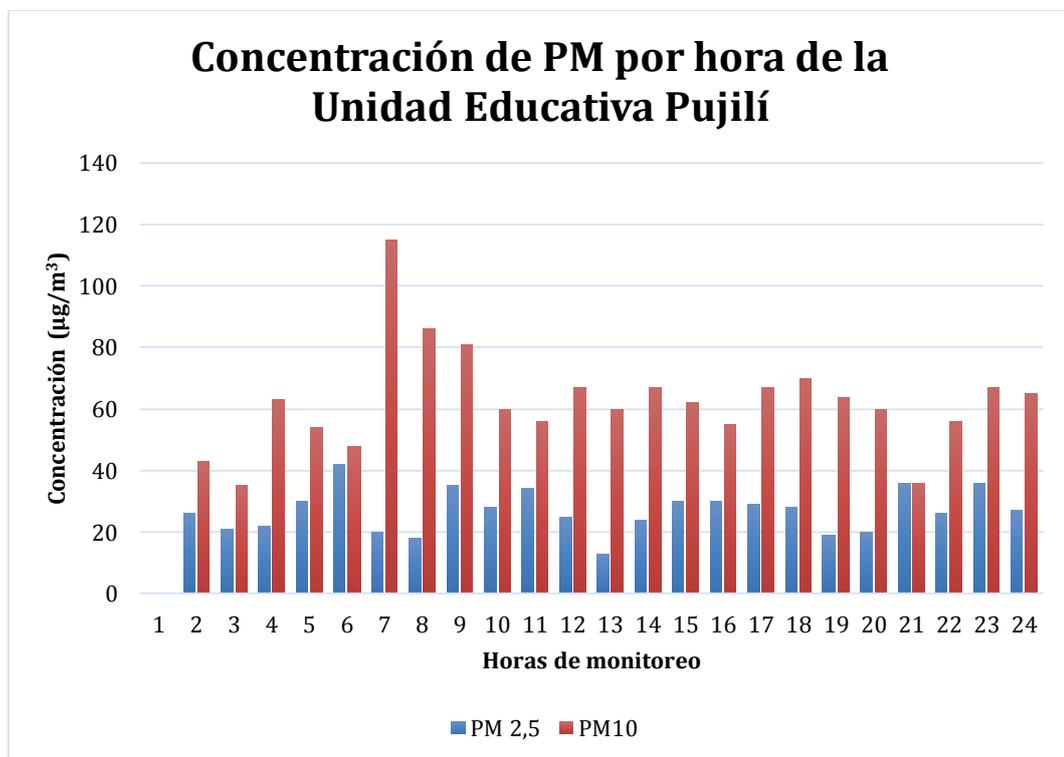
En la Figura 4, se encuentra representado el mapa de velocidad de viento del cantón Pujilí durante el año 2022, donde dichas velocidades varían entre 5 km/h y 15 km/h, dependiendo la zona, en el sector La Matriz de la parroquia Pujilí, presenta una velocidad promedio anual de 12 km/h, durante el mes de diciembre la dirección del viento que prevaleció fue de oeste a este, además, la velocidad promedio durante este mes fue de 6 km/h.

10.1.2 Datos de concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10

A continuación, se encuentran presentados los datos pertenecientes a la concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 registrados durante el monitoreo del aire en los puntos de estudio previamente establecidos.

Figura 5.

Concentración de PM 2,5 y PM 10 en la Unidad Educativa Pujilí.



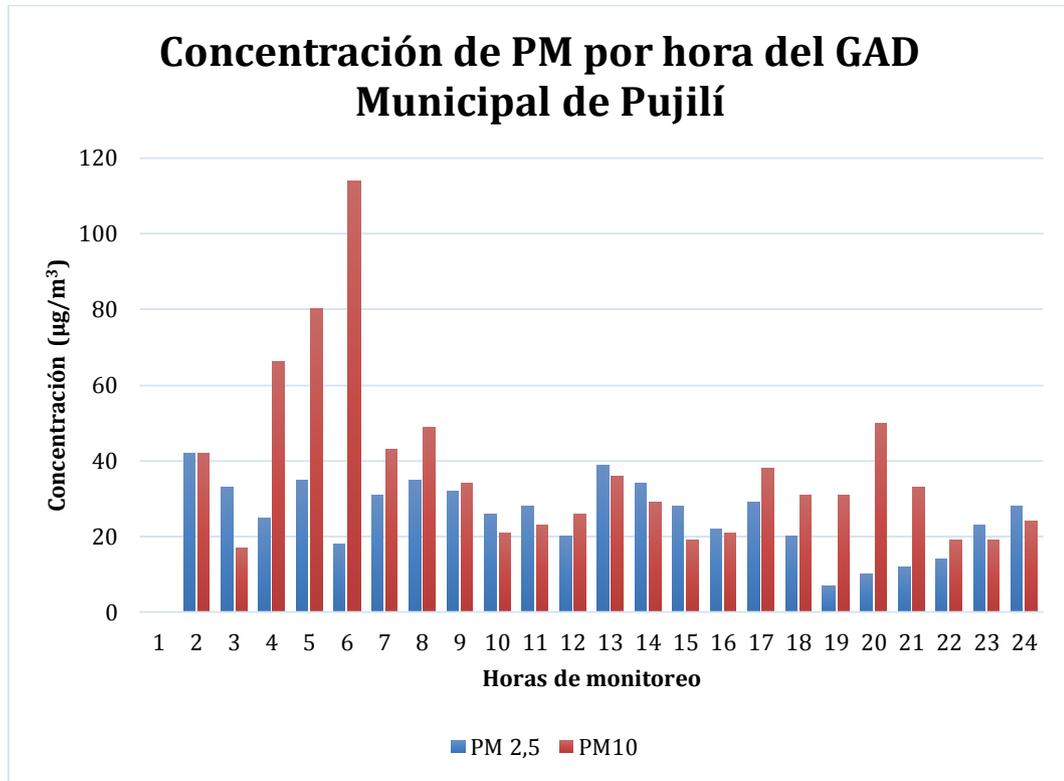
Elaborado por: Escobar Jhoanna

Según la Figura 5, a partir de los datos de concentración de material particulado obtenidos en el monitoreo de aire en la Unidad Educativa Pujilí, podemos mencionar que la concentración de PM 10 es mayor con respecto a la concentración de PM 2,5.

Durante las 24 horas de monitoreo, la concentración de PM 2,5 varía dentro de un rango de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo la concentración más alta registrada en la hora 6 de monitoreo, mientras que la concentración de PM 10 registra un rango de concentración que va de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en la hora 7 de monitoreo se registra la concentración más alta, los valores de concentración mínima para los dos tamaños de partículas se registraron durante la primera hora de monitoreo.

Figura 6.

Concentración de PM 2,5 y PM 10 en el GAD Municipal de Pujilí.

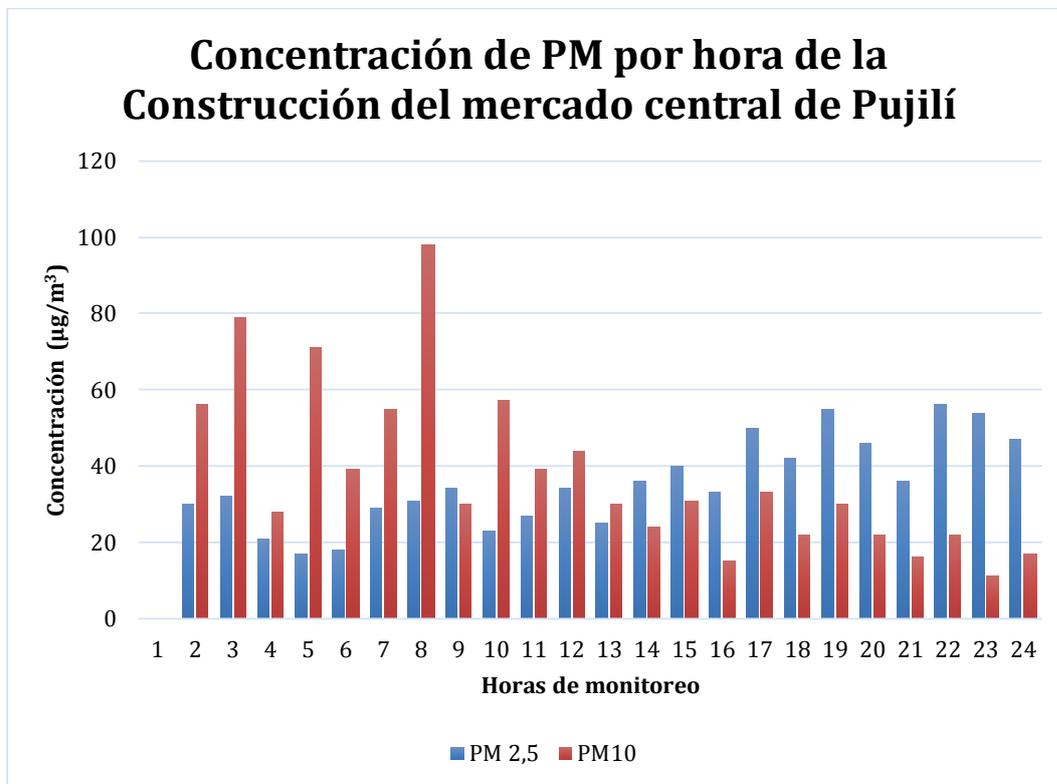


Elaborado por: Escobar Jhoanna

Según la Figura 6, los valores de concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10, durante las 24 horas de monitoreo de aire obtenidos en el segundo punto muestral, perteneciente al GAD Municipal de Pujilí, podemos indicar que el valor de concentración mínima de material particulado PM 2,5 es de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, obtenida durante la primera hora de monitoreo y la concentración máxima es de $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, registrada en la segunda hora de monitoreo; las concentraciones de material particulado PM 10 oscilan entre $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores registrados durante la primera y sexta hora de monitoreo respectivamente, además, la concentración de PM 10 es significativamente mayor que la concentración de PM 2,5.

Figura 7.

Concentración de PM 2,5 y PM 10 en la Construcción del mercado central de Pujilí.



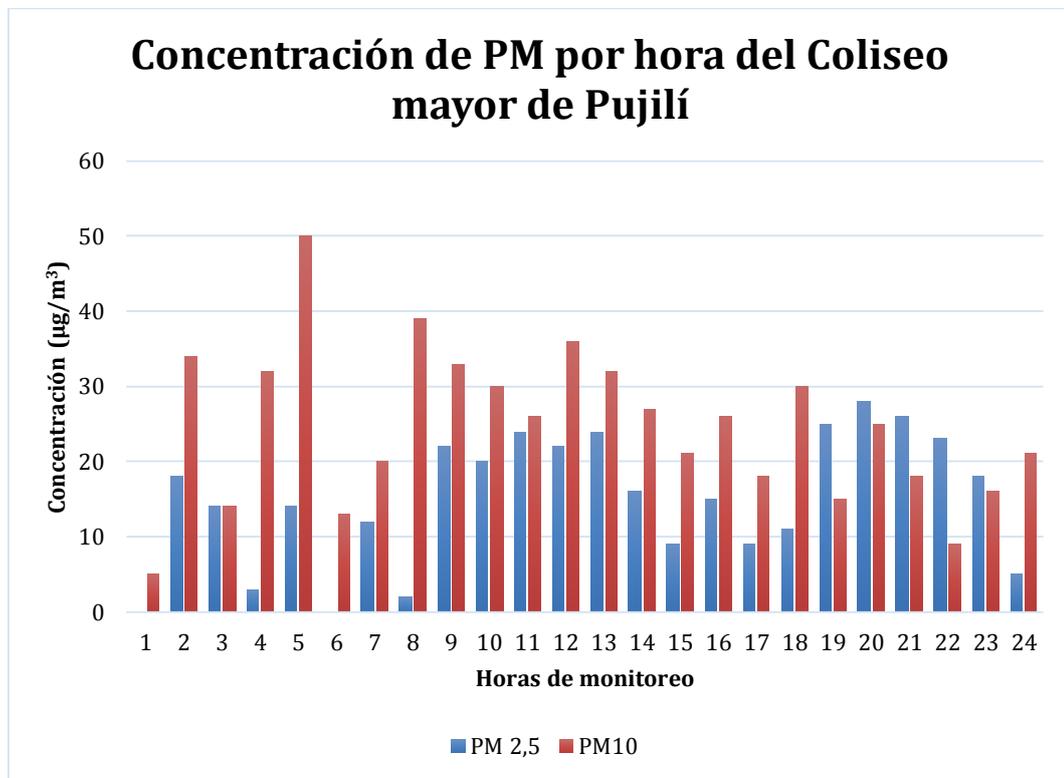
Elaborado por: Escobar Jhoanna

Según la figura 7, las concentraciones de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 obtenidas en el monitoreo de aire de la Construcción del mercado central de Pujilí podemos mencionar que los valores de concentración varían de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el material particulado PM 2,5 y el material particulado PM 10 respectivamente, los valores mínimos se registraron durante la primera hora de monitoreo para los dos tamaños de material particulado, mientras que los valores máximos se registraron en la hora 22 y la hora 8 de obtención de muestras correspondiente al material particulado PM 2,5 y al material particulado PM 10.

Adicionalmente, se observa que la concentración de PM 10 es mayor a la concentración de PM 2,5 durante las 12 primeras horas de monitoreo, luego esta relación cambia, por lo que en las últimas 12 horas la concentración de PM 2,5 es mayor a la concentración de PM 10.

Figura 8.

Concentración de PM 2,5 y PM 10 del Coliseo mayor de Pujilí.



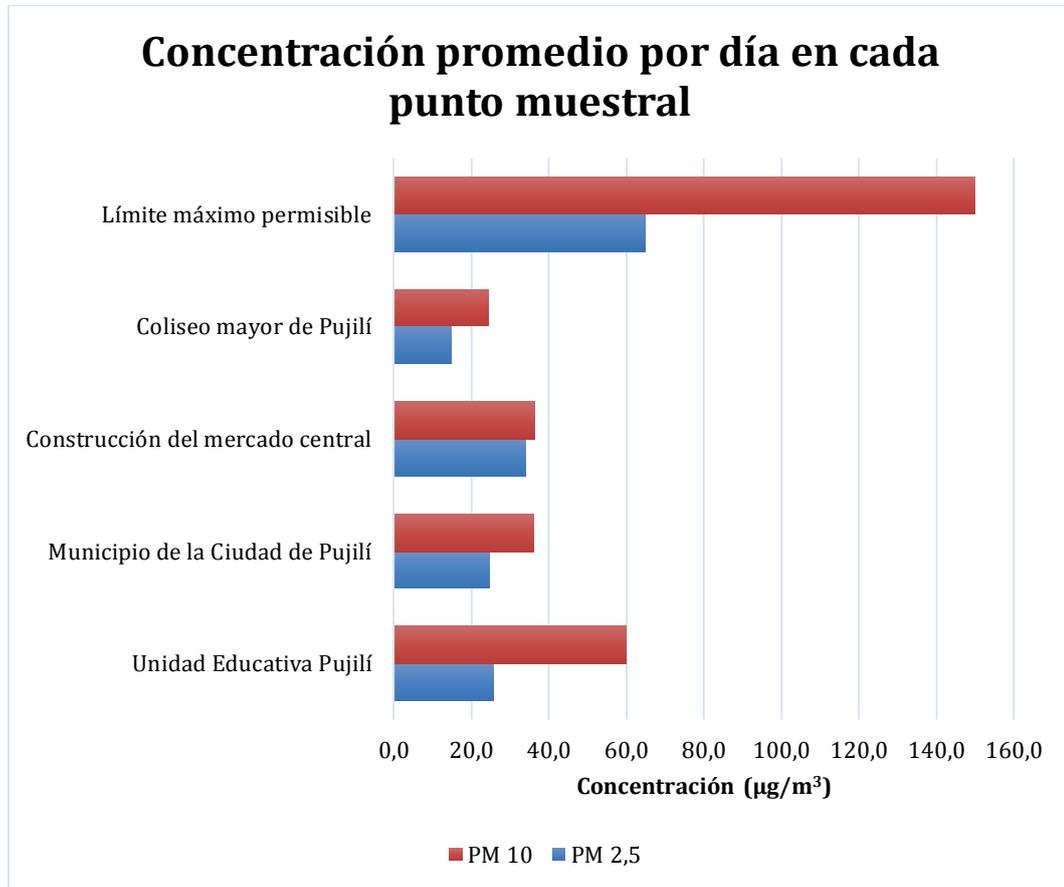
Elaborado por: Escobar Jhoanna

En la Figura 8, se encuentran los datos de concentración detallados para cada hora de monitoreo, podemos observar que los datos de concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 obtenidos del monitoreo del Coliseo mayor de Pujilí indican que la concentración de material particulado PM 10 prevalece sobre la concentración de material particulado PM 2,5.

También podemos mencionar que el material particulado PM 2,5 varía dentro del rango de concentración de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el material particulado PM 10 varía entre los valores de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los valores mínimos se registraron en la primera hora para los dos casos y los valores máximos en la hora 20 y la hora 5 respectivamente para material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10.

Figura 9.

Concentración de PM 2,5 y PM 10 por día.



Elaborado por: Escobar Jhoanna

En la Figura 9, a partir de los datos de concentración registrados, se representaron los valores de concentración promedio de las 24 horas de monitoreo realizadas para la obtención de valores de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 en cada punto muestral establecido, obteniendo una concentración de $25,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $59,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Unidad Educativa Pujilí; de $24,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $36,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el GAD Municipal de Pujilí; de $34,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $36,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Construcción del mercado central de Pujilí y de $15,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $24,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el Coliseo mayor de Pujilí para material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 respectivamente.

Tabla 5.

Comparación de los datos de concentración de PM 2,5 y PM 10 con los límites máximos permisibles establecidos en la Normativa Legal Vigente

Unidad educativa Pujilí		GAD Municipal de Pujilí		Construcción del mercado central		Coliseo mayor de Pujilí		Límite máximo permisible	
PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM 2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0	0	0	0	0	0	0	5	65,0	105,0
26	43	42	42	30	56	18	34	65,0	105,0
21	35	33	17	32	79	14	14	65,0	105,0
22	63	25	66	21	28	3	32	65,0	105,0
30	54	35	80	17	71	14	50	65,0	105,0
42	48	18	114	18	39	0	13	65,0	105,0
20	115	31	43	29	55	12	20	65,0	105,0
18	86	35	49	31	98	2	39	65,0	105,0
35	81	32	34	34	30	22	33	65,0	105,0
28	60	26	21	23	57	20	30	65,0	105,0
34	56	28	23	27	39	24	26	65,0	105,0
25	67	20	26	34	44	22	36	65,0	105,0
13	60	39	36	25	30	24	32	65,0	105,0
24	67	34	29	36	24	16	27	65,0	105,0
30	62	28	19	40	31	9	21	65,0	105,0
30	55	22	21	33	15	15	26	65,0	105,0
29	67	29	38	50	33	9	18	65,0	105,0
28	70	20	31	42	22	11	30	65,0	105,0
19	64	7	31	55	30	25	15	65,0	105,0
20	60	10	50	46	22	28	25	65,0	105,0
36	36	12	33	36	16	26	18	65,0	105,0
26	56	14	19	56	22	23	9	65,0	105,0
36	67	23	19	54	11	18	16	65,0	105,0
27	65	28	24	47	17	5	21	65,0	105,0

Elaborado por: Escobar Jhoanna

En la Tabla 5, se obtuvieron 289 datos de concentración por cada punto monitoreado dentro de un rango de 24 horas por cada 5 minutos, es decir, se registraron 2312 datos de concentración de material particulado durante 192 horas de monitoreo. Además se observan los valores de promedios de concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10, junto con los valores de concentración pertenecientes a los límites máximos permisibles establecidos en la normativa legal vigente del Ecuador, Libro VI, Anexo 4, Norma de Calidad del Aire (Republica del Ecuador, 2017). Es necesario mencionar que, al comparar los valores de concentración obtenidos, así como los promedios establecidos con los límites máximos permisibles de $65,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $150,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 respectivamente, ningún valor sobrepasa dichos límites.

La mayor concentración de material particulado PM 10 se registró en la Unidad Educativa de Pujilí, seguido de la Construcción del mercado centra de Pujilí, el GAD Municipal de Pujilí y el Coliseo Mayor de Pujilí, mientras que la mayor concentración de material particulado PM 2,5 se encuentra en la Construcción del mercado centra de Pujilí, seguido de la Unidad Educativa de Pujilí, el GAD Municipal de Pujilí y el Coliseo Mayor de Pujilí.

El hecho de que dos puntos muestrales posean la mayor cantidad de concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 se debe al hecho de que la Unidad Educativa se encuentra ubicada junto a una carretera bastante transitada, ya que es una vía de conexión hacia una carretera perimetral y es la única vía de acceso a la ciudad, por lo que el flujo de tránsito es constantes durante el día; en el mercado central se lleva a cabo una remodelación lo que lleva a la constante existencia de material de construcción y escombros, generando una atmósfera llena de polvo, sobre todo al momento de realizar los trabajos: mientras que el GAD Municipal de Pujilí y el Coliseo Mayor de Pujilí se encuentran ubicados en lugares donde no existe mayor flujo del parque automotor, siendo el Coliseo el que posee casi nula presencia de vehículos y de personas, ya que es utilizado para eventos específicos.

10.2 Discusión

En base a los 4 puntos de monitoreo de aire establecidos previamente, podemos mencionar que la Unidad Educativa Pujilí alberga estudiantes (de primaria a secundaria) en sus instalaciones, por lo que existe un peligro latente de generación de daños a la salud de este grupo de personas; en los alrededores de la Construcción del mercado central de Pujilí existen viviendas, entidades financieras, actividad comercial y estaciones de transporte, lo que genera una presencia constante de personas, sobre todo en horas pico; el GAD Municipal de Pujilí alberga una cantidad considerable de personas durante la jornada laboral, de lunes a viernes; mientras que el Coliseo mayor de Pujilí es el menos transitado de los puntos muestrales establecidos, esto debido a que su ubicación no es cercana una vía principal y que la mayoría de tiempo no posee presencia de persona, ya que es utilizado en eventos específicos, sin embargo, para dichos eventos la presencia de personas aumenta considerablemente.

Mediante observación de campo se pudo determinar que el flujo del parque automotor en la carretera junto a la Unidad Educativa Pujilí aumenta considerablemente en horas pico, existe mayor presencia de autos durante el día y mayor presencia de personas en la hora de ingreso y salida de estudiantes.

En la Construcción del mercado central de Pujilí se llevan a cabo trabajos de remodelación, dichos trabajos no son constantes por lo que hay días con mayor actividad, además el sector se encuentra rodeado por entidades bancarias, casas, comercios de suvenires, estaciones de carros, farmacias, entre otros, por lo que el flujo de personas es constante durante el día y las primeras horas de la noche, sin embargo, el flujo de personas aumenta considerablemente durante los días miércoles, debido a la feria de alimentos que existe en el sector.

El GAD Municipal de Pujilí alberga un número específico de personal que se encuentra presente en las instalaciones, de forma regular de lunes a viernes durante 9 horas al día, a partir de las 08:00 am, la población que necesita realizar algún tipo de trámite acude a estas instalaciones, por lo que existe un flujo adicional de personas y autos durante el día, el mismo que disminuye durante el medio día y puede aumentar durante los días miércoles, día en el que existe feria de alimentos.

Respecto al Coliseo Mayor de Pujilí, ponemos mencionar que durante los días de monitoreo no existió ningún tipo de actividad, además, las instalaciones son utilizadas para eventos específicos durante el día o la noche, previa autorización del GAD Municipal, es decir, estas instalaciones no poseen una rutina de trabajo constante y al no estar ubicado en la arteria de acceso principal al sector La Matriz del Cantón Pujilí no existe un flujo continuo de vehículos ni de personas.

11. PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y PM 10

Tomando en cuenta los resultados obtenidos del monitoreo del aire, se establece las siguientes propuestas que ayudaran con la mitigación de concentración de PM 2,5 y PM 10.

Tabla 6.

Propuestas para disminuir y mitigar concentración de PM 2,5 y PM 10

Propuesta 1: Control mecánico del parque automotor de la ciudad de Pujilí	
Problema	A pesar del buen funcionamiento de un carro, el mismo genera contaminación mientras se encuentra en funcionamiento, sin embargo, los dueños de gran parte del parque automotor de la ciudad no realizan el mantenimiento preventivo de sus vehículos, lo que genera una mayor emisión de gases que contribuyen al aumento de la concentración de PM 2,5 y PM 10, además, en otras ciudades del país, como Quito, existe una revisión vehicular rigurosa, razón por la cual dueños de carros que se encuentran en mal estado viajan a otras ciudades, como Pujilí, en donde la revisión vehicular es considerablemente más flexible, aportando a la contaminación generada por los vehículos en mal estado.
Justificación	En la actualidad la contaminación de aire es una de las principales problemáticas de la degeneración del ambiente, además, de ser un problema que genera afecciones a la salud, que pueden llegar a ser mortales, una de las causas es la contaminación proveniente de la combustión vehicular, por esta razón se pretende generar mecanismos de control y mitigación que contribuyan al cuidado del aire.

Objetivo	Disminuir la concentración de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10 proveniente de los gases emitidos por el parque automotor existente en el sector La Matriz de la parroquia Pujilí y los vehículos que transitan por las principales vías de acceso.
Propuesta	Se propone implementar un sistema de revisión técnica vehicular avanzado por parte del GAD Municipal ya que es la entidad competente autorizada para emitir la matriculación vehicular, de esta manera se garantiza que el parque automotor de la ciudad mantenga el buen funcionamiento de sus vehículos, además, de implementar controles vehiculares en la principal arteria de circulación de la parroquia y ejercer la Ley que sanciona los vehículos que se encuentren circulando con daños en su sistema, principalmente por las emisiones que generan y son visibles al ojo humano. De esta manera se ejerce un control de los vehículos de la ciudad y los autos provenientes de otras ciudades.
Propuesta 2: Control de trabajos de construcción.	
Problema	Las construcciones dentro de la ciudad sin los permisos de construcción requeridos de manera previa por el GAD Municipal para la realización de las mismas y prórrogas demasiado extensas en construcciones municipales.
Justificación	El producto secundario generado de la actividad constructiva puede convertirse en un factor contaminante ambiental, sobre todo para el aire, llegando a ocasionar diversos problemas a la salud de la población, razón por la cual se pretende generar mecanismos de control y mitigación que contribuyan al cuidado del aire y bienestar poblacional.
Objetivo	Disminuir la concentración de material particulado PM 2,5 y PM 10 proveniente de las construcciones no controladas y aplazadas, junto con el material de construcción almacenado de forma incorrecta. en el sector La Matriz de la parroquia Pujilí.
Propuesta	Control por parte de las autoridades para dar cumplimiento con la Ley, es importante cumplir con los permisos de construcción, los mismos que deben de adaptarse a los estudios de ambiente y estar en constante actualización, por ejemplo, el no colocar material de construcción en las calles y aceras de la ciudad, el correcto almacenamiento y cubrimiento del mismo, permite eliminar la atmósfera de polución en el sector.

	<p>Mientras que la normativa existente dentro del GAD Municipal con respecto a las obras de construcción y remodelación a cargo del mismo, deben actualizarse y cumplirse a cabalidad, teniendo en cuenta la norma CPE INEN 5 Parte 1 (Instituto ecuatoriano de normalización, 2001) y Parte 10 (Instituto ecuatoriano de normalización, 1992), además de todas las normas referentes a la Seguridad Laboral, Seguridad Ambiental y Estudios Ambientales y de Factibilidad previos a la ejecución de la obra. Otro aspecto de importancia es el tiempo de duración de la obra, al disminuir los tiempos de construcción o remodelación se garantiza la minimización de molestias y daños generados, un correcto estudio de factibilidad, viabilidad, ambiente y costos garantizará que la obra sea ejecutada de forma eficaz, disminuyendo la contaminación producida.</p>
<p>Propuesta 3: Trabajos de concientización y de tratamiento de desechos.</p>	
Problema	<p>Actualmente existe un plan de tratamiento de desechos por parte de la mayoría de GAD Municipal de país, sin embargo, en Pujilí es necesario actualizar dicho plan e implementar planes de concientización a la ciudadanía sobre la forma correcta de desechar sus desperdicios.</p>
Justificación	<p>El incorrecto tratamiento y manejo de desechos genera contaminación ambiental que sigue en aumento, principalmente se percibe en el aire, debido al olor que genera, sin embargo, la contaminación va más allá, generando daños a la salud; el planteamiento de mecanismos de control y mitigación pretenden contribuir al cuidado del aire.</p>
Objetivo	<p>Disminuir la contaminación de PM 2,5 y PM 10 generado por el incorrecto tratamiento y eliminación de desechos provenientes de la población del sector La Matriz de la parroquia Pujilí.</p> <p>Concientizar a la población sobre los efectos adversos que ocasionan el incorrecto tratamiento y eliminación de desechos.</p>
Propuesta	<p>El GAD Municipal debe implementar un plan de tratamiento de desechos que permita generar el menor impacto ambiental posibles, sin embargo, la población de la parroquia también de ser responsable de desechar los desperdicios generados de forma correcta, lo que significa no botar basura en las calles ni aceras de la ciudad, colocar el recipiente correspondiente el desecho y de ser posible reciclar los desperdicios; por lo que es importante un plan que genere concientización y promueva la cultura de limpieza y reciclaje.</p>

Elaborado por: Escobar Joanna

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

- Mediante la visita de observación se pudo identificar la actividad diaria que se lleva a cabo en los puntos de monitoreo de aire establecidos, el flujo de personas, la actividad comercial y el comportamiento antropogénico del sector, además se obtuvieron 289 datos de concentración de material particulado PM 2,5 y PM 10, en cada uno de los 4 puntos monitoreados establecidos en el Sector La Matriz de la parroquia de Pujilí en un periodo de 24 horas cada 5 minutos.
- La concentración de PM 10 y PM 2,5 obtenidos en los cuatro puntos monitoreados no sobrepasan los límites máximos permisibles, de 65,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM 2,5 y 150,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM 10, estipulados en la normativa legal vigente del Ecuador, sin embargo, la Unidad Educativa Pujilí y la Construcción del mercado central de Pujilí son los puntos monitoreados con mayor concentración de PM 10 y PM 2,5, además son los sitios que poseen concentraciones bastantes cercanas a los límites máximos permisibles.
- En base a los resultados obtenidos del monitoreo del aire se pudo identificar que las fuentes generadoras de concentración de material particulado PM 10 y material particulado PM 2,5, que son el parque automotor de la ciudad en mal estado, los trabajos de construcción y las actividades de comercio del sector, a partir de lo cual se propuso la implementación de medidas que permitan controlar y verificar el correcto funcionamiento de los vehículos en la ciudad y los aspectos referentes a la construcción.

12.2 Recomendaciones

- Se recomienda a las autoridades de turno del cantón Pujilí tener un constante monitoreo de la concentración de material particulado PM 2,5 y PM 10, junto con la implementación de las medidas propuestas y cualquier otra medida que ayude con el control y mitigación de la concentración de dicho material.
- Se recomienda a las autoridades de turno del cantón Pujilí la realización de estudios complementarios de suelo y agua para poder conocer el nivel de contaminación ambiental en la zona, además de estudiar la relación existente entre los niveles de contaminación y las actividades que se encuentren desarrollándose en ese momento.
- Se sugiere a las autoridades del cantón Pujilí evaluar las propuestas planteadas en el presente trabajo de investigación con el fin de implementarlas y de ser posible

mejorarlas, con el fin de disminuir las concentraciones de material particulado PM 2,5 y material particulado PM 10.

14. IMPACTOS

Dentro del presente trabajo de investigación se establece el impacto social, ambiental y económico que generó dicha investigación, los mismos que se encuentran descritos en los párrafos subsecuentes.

14.1 Impacto Social

La determinación exacta de la concentración de material particulado PM 2,5 y PM 10 en Pujilí permite conocer a su población y autoridades municipales si se deben tomar acciones para eliminar la presencia de dicho material, a pesar de que ningún sitio muestreado sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en la normativa legal vigente del Ecuador, Libro VI, Anexo 4, Norma de Calidad del Aire (Presidencia de la Republica del Ecuador, 2017), es necesario tener un seguimiento de control, ya que la concentración del material particulado puede generar daños a la salud de los habitantes provocando problemas respiratorios, asma, irritación de la vías respiratorias, en caso extremos y combinado con enfermedades pre existentes cáncer, entre otros.

14.2 Impacto Ambiental

El material particulado PM 2,5 y PM 10 al encontrarse en altas concentraciones, llega a contaminar el aire, dicha contaminación puede transferirse al agua y suelo de la zona, debido a que en las periferias de Pujilí y en las parroquias rurales aledañas existe gran cantidad de cultivos, estos pueden verse afectados y contaminados por dicho material, lo que conlleva a generar afecciones en la salud de los habitantes y personas que consuman dichos alimentos.

Además, el material particulado genera daños en la flora y fauna del sector, alterando la calidad del suelo, aire y agua, por lo que el ecosistema se ve visiblemente alterado y deteriorado.

14.3 Impacto Económico

Junto con las afecciones en la salud de los habitantes donde exista contaminación por presencia de material particulado por PM 2,5 y PM 10 existe una mayor inversión en el sistema de salud pública por parte de las autoridades competentes, esto debido a los costos que generan las

diversas afecciones, además existirá un gasto personal como consecuencia de los tratamientos a seguir para la eliminación de dichas afecciones.

También se generan gastos económicos debido a los daños estructurales en viviendas debido al deterioro de pintura y exteriores de las viviendas, existe deterioro en los monumentos e instituciones públicas, junto con los costos adicionales en el sector agrícola debido a la disminución de la calidad del suelo y la inversión extra que se debe realizar para recuperar parte de los nutrientes necesarios para los cultivos.

16. BIBLIOGRAFIA

- Arciniegas, C. A. (2015). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM10.
- Campos, G., & Lule, N. (2012). La observación, un método para el estudio de la realidad., VII(13), 45–60.
- Choez, P. V., Moya, C. G., Mora, F. M., Choez, P. V., Moya, C. G., & Mora, F. M. (2016). Cálculo referencial de material particulado en el aire como factor de contaminación ambiental en el área urbana de la ciudad de Pujilí.
- Dirección General del Aire. (2021). Estación de Monitoreo de Calidad de Aire de Asunción.
- Echeverri, C. A., & Maya, J. G. (2008). Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín.
- Environmental Protection Agency. Application guide for source PM10 Measurement with constant sampling rate (1989).
- Environmental Protection Agency. Application guide for measurement of PM 2.5 at stationary sources (1990).
- Flacso, Mae, Pnuma. (2008). Geo Ecuador: Informe sobre el Estado del Medio Ambiente.
- Generalitat Valenciana. (2022). Composición química. Calidad Ambiental. Retrieved from <https://agroambient.gva.es/es/web/calidad-ambiental/composicion-quimica>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Intercultural del Cantón Pujilí. (2022). GADMIC Pujilí.
- Gómez, E., Fernando, D., Aponte, G., & Betancourt, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *Dyna*, 81, 158–163.
- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, (3), 163–173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)

- Instituto ecuatoriano de normalización. Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 5. Código ecuatoriano de la construcción C.E.C. Código de práctica para ordenanza municipal básica de urbanización y lotización. Parte 10. (1992).
- Instituto ecuatoriano de normalización. Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 5. Código ecuatoriano de la construcción. Requisitos generales de diseño. Parte 1. (2001).
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2010). Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo provincial Cotopaxi.
- Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología. (2006). Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. Vol 44. Retrieved from https://www.unicef.org/ecuador/media/6611/file/Ecuador_el_aire_que_respiramos.pdf
- Lopera, J., Ramírez, C., Zuluaga, M., & Ortiz, J. (2010). El Método Analítico como Método Natural, 25.
- Mazzini, A. (2022). Propuesta de diseño para el monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Guayaquil. Universidad Espiritu Santo.
- Met One Instruments. (2008). Manual Operación E-BAM.
- Nájera, C., & Paredes, B. (2017). Identidad e Identificación : Investigación de Campo como Herramienta de Aprendizaje en el Diseño de Marcas, 2(10), 155–164.
- Normalización Española. (2015). UNE-EN 12341_2015.
- Organización Mundial de la Salud. (2022). Miles de millones de personas siguen respirando aire insalubre nuevos datos de la OMS. Retrieved from <https://www.who.int/es/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data>
- Palacios, E., (2014). Contaminación Del Aire Exterior. Cuenca - Ecuador, 2009 -2013.Posibles Efectos En La Salud. Revista de La Facultad de Ciencias Médicas.
- Pérez, R. (2013). Estudio del contenido de hidrocarburos policíclicos aromáticos y metales en partículas atmosféricas de diferentes diámetros aerodinámicos de La Comarca

Lagunera, México. CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S.C.

Prefectura Cotopaxi. (2023). Prefectura Cotopaxi Pujilí. Retrieved from <https://www.cotopaxi.gob.ec/index.php/2015-09-20-00-13-36/2015-09-20-00-15-41/pujili>

Presidencia de la Republica del Ecuador. Texto unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI Anexo 2. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (2017).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2007). GEO4_Summary_Spanish.pdf.

Real Academia Española. (2021). Diccionario de la Lengua Española RAE.

República del Ecuador. Código Organico del Ambiente (2017).

República del Ecuador. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Medio Ambiente. Libro VI. Anexo 4. Norma de Calidad del Aire Ambiente (2017).

República del Ecuador. Constitución de la República del Ecuador (2021).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología. (2011). Guía metodológica para la estimación de emisiones de PM 2.5. México.

Tonato, M., & Cucurí, C. (2016). Diálogo cantonal sobre educación Pujilí.

United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2017). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. vol. II

UNICEF. (2021). El aire que respiramos. Retrieved from https://www.unicef.org/ecuador/media/6611/file/Ecuador_el_aire_que_respiramos.pdf

World Bank and Institute for Health Metrics and Evaluation. (2016). The Cost of Air Pollution: Strengthening the Economic Case for Action.

17. ANEXOS**Anexo No. 1. Hoja de Vida del Tutor****DATOS INFORMATIVOS PERSONAL DOCENTE****DATOS PERSONALES**

NOMBRES : Oscar René

APELLIDOS : Daza Guerra

NACIONALIDAD: : Ecuatoriano

ESTADO CIVIL: : Casado

CEDULA: : 040068979-0

DIRECCIÓN: Calle Alejandro Villamar 2-17 y Maldonado

TELÉFONO: : 0995058997

EMAIL: : oscar.daza@utc.edu.ec

**ESTUDIOS REALIZADOS Y TITULOS OBTENIDOS**

NIVEL	TITULO OBTENIDO	FECHA DE REGISTRO EN EL CONESUP	CODIGO DE REGISTRO CONESUP
TERCER	INGENIERO FORESTAL	23-09-2002	1015-07-667219
CUARTO	MAGISTER EN GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN	01-10-2007	1020-03-399385

Anexo No. 2. Hoja de Vida del Estudiante**HOJA DE VIDA****DATOS PERSONALES**

NOMBRES	: Jhoanna Abigail
APELLIDOS	: Escobar Gutierrez
NACIONALIDAD:	: Ecuatoriano
FECHA DE NACIMIENTO:	: 15 de enero del 2001
ESTADO CIVIL:	: soltera
CEDULA:	: 050418299-9
LUGAR DE NACIMIENTO:	: Pujilí
DIRECCIÓN:	: Barrio Aldea Modelo
TELÉFONO:	: 0987765403
EMAIL:	: jhoanaabigutierrez15@gmail.com

**FORMACIÓN ACADÉMICA:**

Escuela " Leonardo Moscoso Moreno"

SECUNDARIA:

Colegio Técnico Pujilí

SUPERIOR:

Universidad Técnica de Cotopaxi – Egresada de Ingeniería Ambiental

Anexo No. 3. Resumen de los puntos y horarios de los puntos de monitoreo de aire.

Puntos de recolección	Muestra	Inicio de la toma de muestra		Fin de la toma de muestra	
		Día	Hora	Día	Hora
Unidad Educativa Pujilí.	PM 2,5	Lunes 28 de noviembre	07:50	Martes 29 de noviembre	07:50
	PM 10	Martes 29 de noviembre	09:00	Miércoles 30 de noviembre	09:00
GAD Municipal de Pujilí.	PM 2,5	Miércoles 30 de noviembre	11:00	Jueves 01 de diciembre	11:00
	PM 10	Jueves 01 de diciembre	12:00	Viernes 02 de diciembre	12:00
Construcción del mercado central de Pujilí.	PM 2,5	Lunes 05 de diciembre	09:00	Martes 06 de diciembre	09:00
	PM 10	Martes 06 de diciembre	10:00	Miércoles 07 de diciembre	10:00
Coliseo mayor de Pujilí.	PM 2,5	Miércoles 07 de diciembre	11:00	Jueves 08 de diciembre	11:00
	PM 10	Jueves 08 de diciembre	12:00	Viernes 09 de diciembre	12:00

Elaborado por: Escobar Jhoanna

Anexo No. 4. Evidencia fotográfica del monitoreo del aire

Punto 1, monitoreo en la Unidad Educativa Pujilí



Fuente: Escobar Jhoanna

Punto 2, monitoreo en la Construcción del mercado central de Pujilí



Fuente: Escobar Jhoanna

Punto 3, monitoreo en el GAD Municipal de Pujilí



Fuente: Escobar Johanna

Punto 4: monitoreo en el Coliseo mayor de Pujilí



Fuente: Escobar Johanna

Anexo No. 5. Aval del Traductor



AVAL DE TRADUCCIÓN

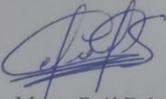
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO DE PM 2,5 Y PM 10 EN EL SECTOR LA MATRIZ, PARROQUIA PUJILÍ, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2022 – 2023”** presentado por: **Escobar Gutierrez Jhoanna Abigail** egresada de la Carrera de: **Ingeniería Ambiental**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a la peticionaria hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2023.

Atentamente,




Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CC: 0502666514