



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE
DETERMINADO POR MATERIAL
PARTICULADO PM10 Y PM2,5 EN EL CANTÓN
DE ESMERALDAS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE
LICENCIADO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTOR

ANTHONY KLEY CASTRO PONCE

ASESOR

MGT. CRISTÓBAL BAIXAULI PÉREZ

Esmeraldas – 2021

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el Reglamento de Grado de la PUCE – Sede Esmeraldas previo a la obtención del título de LICENCIADO EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

Mgt. Karla Solís Charcopa

Lector 1

Ph.D. Jorge Velazco

Lector 2

Mgt. Karla Solís Charcopa

Coordinadora de la Escuela de Ambiental

Mgt. Cristobal Baixauli Pérez

Director de Tesis

Esmeraldas,.....de.....2021.

Autoría

AUTORÍA Yo, Anthony Kley Castro Ponce, portador de la cédula de ciudadanía N° 0802814731, declaro que el presente trabajo de investigación es de mi propia autoría, respetando las diferentes fuentes de información, realizando las debidas citas correspondientes.

Anthony Kley Castro Ponce

C.I. 0802814731

Dedicatoria

Esta tesis va dedicada a Dios por darme la salud y la fuerza para concluir esta carrera de Gestión Ambiental que me parecía interminable pero no imposible.

A mis padres por estar siempre pendiente de mis estudios, brindándome su apoyo incondicional desde mis inicios educativos y dándome los mejores consejos para convertirme en una persona de bien.

A mi Bisabuela Irene y mi Abuela BÉlgica que aunque algunos no lo noten, su presencia y su apoyo a diario me han permitido tener esa paz y tranquilidad de saber que tengo una familia que confía en mí y me alientan de todas las maneras. A mi tía Geovanna, que a pesar de que no vive cerca de nosotros ha hecho todo lo posible por verme triunfar en cada acontecimiento de mi vida.

A Paulette que me demostró que la distancia no es un impedimento para darme ese apoyo diario que me anima siempre a seguir adelante. Y por último a mi amuleto de la buena suerte, mi mejor amiga y fiel compañera, la que se desvelaba conmigo viéndome hacer tareas y brindándome su alegría, a pesar de que no estés físicamente con nosotros te dedico también esta tesis con todo mi corazón, gracias Lazy.

Anthony Kley Castro Ponce

Agradecimientos

Gracias a mi Universidad por la educación y capacitación brindada para poner en práctica los conocimientos adquiridos en la vida cotidiana, gracias a las personas que estuvieron presentes y participaron en mi proceso estudiantil de cualquier forma. A mis padres que son los benefactores de mayor importancia en mi vida y han estado presentes desde que tengo memoria.

A los colaboradores de la recolección de datos de mi tesis: David Santiago Prado, Frank Antonio Robles, a mis lectores Karla Solís y Jorge Velazco que estuvieron pendientes de mi investigación y han ayudado con sus conocimientos y colaboraciones para desarrollar mi tesis, gracias a mi asesor de tesis Cristóbal Baixauli Pérez que a pesar de ser un hombre muy ocupado en sus labores, siempre estuvo pendiente de los detalles para que mi tesis sea exitosa, brindándome sus conocimientos que me servirán en un futuro para desenvolverme en el área laboral.

Anthony Kley Castro Ponce

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Presentación del tema de investigación.....	12
1.2. Planteamiento del problema	13
1.3. Justificación	13
1.4. Objetivos.....	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Bases teórico-científicas	16
2.2. Antecedentes.....	22
2.3. Marco Legal	24
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Área de estudio.....	27
3.2. Población y Muestra.....	27
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	32
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	35
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	37
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXOS	44
Anexo 1. Recomendaciones previas a la encuesta	45
Anexo 2. Diseño de Encuesta	46

Abreviaturas

PM: Material Particulado

US EPA: United States Environmental Protection Agency

OMS: Organización Mundial de la Salud

GCA: Guías de la Calidad del Aire

ECA: Estándares de la Calidad del Aire

UV: Ultra Violeta

AQI: Índice de Calidad del Aire

AQL: Nivel de Calidad del Aire

AERMOD: Modelo Regulador de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de la Sociedad Americana de Meteorología

MoniCA: Sistema de Monitoreo de Contaminantes atmosféricos

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

PUCESE: Pontificia Universidad Católica Sede Esmeraldas

Lista de figuras

Figura 1. Zonas específicas de Material Particulado dentro del organismo(11).	18
Figura 2. Medidor de partículas PCE-MPC(18).....	21
Figura 3. Índice de la calidad del aire(19).	22
Figura 4. Zona de muestreo	28
Figura 5. Ecuaciones AQI(31).....	30
Figura 6. Denominaciones de formula AQI(31).	31
Figura 7. Puntos de cortes AQI(31).....	31

Lista de Tablas

Tabla 1. Posibilidades a fallecer por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16
Tabla 2. Material particulado de acuerdo con el tamaño: PM10 Y PM 2,5.....	19
Tabla 3. Muestra en función del tiempo.	28
Tabla 4. Presentación de la muestra por su localización respecto de la refinería.	29
Tabla 5. Concentración de PM en función de la ubicación y el tiempo.	32
Tabla 6. Concentración Material Particulado en mg/m^3 en la muestra.....	34

RESUMEN

La calidad del aire mundial se ha convertido en un factor de preocupación para los gobiernos y la población en general, por las elevadas concentraciones de material particulado que han causado una serie de prejuicios críticos en la salud humana. La presente investigación muestra un análisis de la concentración de material particulado PM 10 y PM 2,5 en zonas urbanas y rurales específicas que tienen proximidad a la refinería, central termoeléctrica y el tráfico vehicular dentro de la ciudad de Esmeraldas-Ecuador. Se utilizaron cuatro sensores medidores de partículas, y se generó un análisis descriptivo de bivariantes con las medias de las concentraciones de material particulado para cada variable de interés: día de la semana, hora del día y lugar del detector. Se utilizaron las ecuaciones recomendadas por el índice de Calidad del Aire, una vez determinado el resultado de la ecuación, los datos se relacionaron con los puntos de cortes del índice de calidad del Aire para la previa obtención de los resultados. El resultado fue que el 95% de los registros de PM 2,5 se encontraron por debajo de los 12 mg/m³, pero no todos porque el máximo fue 15,0 mg/m³, entonces se supone que tan solo el 5% de registros pasaron esos niveles de contaminación. Por otro lado el 100% de las mediciones el PM10 se encontraban en la categoría encontraban dentro del rango permitido que es de 0 -54 mg/m³ con valores de 34 mg/m³. El material particulado comprende su punto máximo a las 19:00pm siendo el día Viernes donde se efectúan los concentraciones más altas, concluyendo que el 95% de los registros de PM2,5 y el 100% de los registros de PM10 se encuentran dentro de la categoría "Buena" establecida por el Índice de Calidad del Aire (AQI).

Palabras Claves: Contaminación del aire, Material particulado, área urbana, Central Termoeléctrica, Refinería.

ABSTRACT

Global air quality has become a factor of concern for governments and the population in general, due to the high concentrations of particulate matter that have caused a series of critical prejudices in human health. The present investigation shows an analysis of the concentration of particulate matter PM 10 and PM 2.5 in specific urban and rural areas that have proximity to the refinery, thermoelectric power plant and vehicular traffic within the city of Esmeraldas-Ecuador. Four particulate matter-measuring sensors were used, and a descriptive bivariate analysis was generated with the means of the particulate matter concentrations for each variable of interest: day of the week, time of day and detector location. The equations recommended by the Air Quality Index were used. Once the result of the equation was determined, the data were related to the cut-off points of the Air Quality Index to obtain the results. The result was that 95% of the PM 2.5 records were below 12 mg/m³, but not all of them because the maximum was 15.0 mg/m³, so it is assumed that only 5% of the records passed those pollution levels. On the other hand, 100% of the PM10 measurements were within the permitted range of 0-54 mg/m³ with values of 34 mg/m³. Particulate matter peaks at 19:00 pm with the highest concentrations on Friday, concluding that 95% of the PM2.5 records and 100% of the PM10 records are within the "Good" category established by the Air Quality Index (AQI).

Keywords: Air pollution, Particulate matter, urban area, Thermal Power Plant, Refinery.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación del tema de investigación

La calidad del aire mundial se ha convertido en un factor de preocupación para los gobiernos y la población en general, por las elevadas concentraciones de material particulado generado por contaminantes que han causado una serie de prejuicios críticos en la salud humana. Los Materiales Particulados (PM) son indicadores muy comunes debido a que afectan a los seres humanos mucho más que cualquier distinto contaminante. Las partículas que poseen 10 micrómetros de diámetro (PM10) o menos, tienen la capacidad de penetrar las vías respiratorias, sin embargo, existen las que son de 2,5 micrómetros de diámetro (PM2,5) o menos, que pueden originar daños directamente al torrente sanguíneo y ocasionar muertes prematuras, asma letal, enfermedades cardíacas o disminuciones en la actividad pulmonar. (1)

Los originales componentes del PM son: el amoníaco, sulfatos, hollín, polvos de minerales y el cloruro de sodio (NaCl). Estos contaminantes son generados por la unión de partículas sólidas y líquidas de sustancias dispersas en el aire. (2)

La Organización mundial de la Salud junto a la United States Environmental Protection Agency (US EPA) determinan que algunos países de América Latina y el Caribe no realizan las actualizaciones correspondientes sobre la calidad del aire. Ecuador y Colombia destacan debido a que establecen sus normativas y datos en periodos actuales según los objetivos de las GCA (Guías de la Calidad del Aire) que lleva a cabo la OMS. Estos índices de calidad disponen alrededor de 5 a 6 niveles que parten desde lo deseable hasta lo peligroso, siendo el material particulado PM 10 y PM 2,5 los contaminantes más monitoreados de los países de América Latina y el Caribe. (3)

La calidad del aire adquiere comportamientos estacionales que están asociados a la ventilación de la atmosfera en distintas épocas de todo el año. Los contaminantes que provienen de orígenes antrópicos con fuentes fijas como la Industria Petroquímica y los de origen deslocalizado como el tráfico vehicular por su poca ventilación atmosférica, amenazan la naturaleza y a la salud humana por sus elevadas emisiones de contaminantes tanto primarios como

secundarios. Cabe recalcar que el comportamiento atmosférico varía según el tipo de contaminante y las condiciones meteorológicas que se establecen en la zona. (4)

1.2. Planteamiento del problema

Los países en vías de desarrollo son los principales afectados en el área de la salud pública debido a los episodios que se suscitan sobre la contaminación de la calidad del aire. Esto ha obligado a los gobiernos a implementar medidas que articulen acciones de mejoramiento pero evidentemente los niveles de contaminación siguen ascendiendo debido al crecimiento poblacional, a pesar de los avances tecnológicos y estipulaciones en las normas de cada país(5).

En este caso existe la incertidumbre que demuestra la repercusión negativa en la calidad del aire que afecta directamente a la salud de las personas de la ciudad de Esmeraldas. Se distinguen diferentes escenarios, intentando abordar las principales fuentes de contaminación en la ciudad: tráfico vehicular, refinería y central termoeléctrica, principalmente. A nuestro entender por un lado el alto flujo vehicular urbano como fuente de contaminación móvil o deslocalizada, emite concentraciones de este material que sobrepasan los valores que son estipulados como recomendables para el hombre según la Organización Mundial de la Salud (OMS) (6). Por otra parte, las actividades de la Refinería, y la central termoeléctrica, situadas a escasos metros de distancia, son consideradas como la fuente puntual principal del estudio.

Pregunta de investigación

¿Cómo se ve afectada la concentración de PM en el aire respirable con relación al tiempo y al espacio en la ciudad de Esmeraldas?

1.3. Justificación

La contaminación atmosférica es un tema de mucha preocupación en el mundo debido a los daños que causan en el ecosistema. Los costes sociales que se

enlazan a este tema son muy elevados y no existen las acciones suficientes para mitigar esta problemática. Millones de personas en el mundo padecen enfermedades que atacan a su sistema respiratorio regularmente y otras que agravan sus enfermedades debido a la exposición de este contaminante. Muchos países cumplen con los límites permisibles de materiales particulados suspendidos, pero a largo plazo estos igualmente pueden llegar a afectar a la población. Existen partículas que son imposibles de ver a simple vista como las sus fuentes de emisiones son puntuales o deslocalizadas.

Este proyecto busca ser innovador a nivel local con la finalidad de informar a las personas sobre cuáles son los tipos de contaminantes atmosféricos al que se están enfrentando a diario y buscar una propuesta ideal de mitigación para mejorar la calidad de vida de los habitantes y del medio ambiente, mediante herramientas modernas de tecnologías aplicadas sujetas a conocimientos científicos que certifiquen validez y efectividad, aportando al desarrollo de la ciudad y del país.

Se obtendrán datos en tiempo real con variables meteorológicas como iniciativa para promover al diseño de una vigilancia a futuro sobre la calidad atmosférica en la ciudad de Esmeraldas.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Analizar la concentración de material particulado PM_{2,5} y PM₁₀ en función de su ubicación y el tiempo en la ciudad de esmeraldas y sus alrededores

Objetivos Específicos

- Cuantificar la concentración de material particulado en diferentes ubicaciones
- Cuantificar la concentración de material particulado en función del tiempo incluyendo los ciclos diario y semanal.

- Calcular el indicador cualitativo de calidad del aire AQI (índice de Calidad del Aire) para las concentraciones obtenidas.

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teórico-científicas

Contaminantes atmosféricos y los efectos en la salud

El ser humano al exponerse al material particulado a corto o largo plazo corre el riesgo de verse afectado por la morbimortalidad que está relacionada con patologías tanto de enfermedades cardiovasculares y del sistema respiratorio. Según estudios realizados de acuerdo con el enfoque que relaciona los efectos de la salud con la contaminación atmosférica, se estima que el riesgo a fallecer por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de exposición receptada a largo plazo es de (Ver tabla 1):

Tabla 1. Posibilidades a fallecer por cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Concentraciones de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
No incidentales	6%
Enfermedades respiratorias	21%
Enfermedades cardiovasculares	14%

Fuente: Basantes Cristian(7).

Cabe recalcar que aquellos datos demostrados son a causa del tráfico excesivo que presentan las zonas urbanas y las industrias químicas afectando a la población muy independientemente de su género, edad y ubicación geográfica. (7)

El material particulado de 10 μm ingresa sencillamente al organismo a veces sin percatarse, incorporándose hacia los pulmones y teniendo la capacidad de reducir la calidad de vida mediante la disminución de visibilidad en el entorno. Las nano-partículas de 2,5 μm o menores, son las más agresivas para la salud humana ya que pueden llegar a penetrar hasta la tráquea causando grandes problemas respiratorios como bronquitis y afectaciones al torrente sanguíneo (8). Existe una gran diferencia al momento de comparar la vulnerabilidad de los niños

con relación a la de los adultos. En niños su sistema respiratorio no se ha desarrollado en su totalidad debido a que casi el 80% de sus alveolos evolucionan en la etapa postnatal, es por esta razón que son más susceptibles a las concentraciones que ingresan a su organismo. En cambio, los adultos ya tienen su sistema pulmonar desarrollado, sin embargo, pueden llegar a contraer estas enfermedades a largo o corto plazo, como el Cáncer. (9)

En mujeres embarazadas también puede ser muy perjudicial debido a que si se adquieren altas concentraciones de este contaminante el peso del bebé podría verse afectado, o se disminuiría el periodo de gestación a tal punto que la presión y la sangre de la placenta se reduciría, causando muertes prematuras. (10)

Hay factores que influyen al momento de la respiración de material particulado como:

- Dirección y velocidad del viento.
- Propiedades del material particulado.
- Circulación del aire alrededor del cuerpo.
- Fuente de contacto: Nariz/Boca.

Generalmente existen muchos factores que podrían generar prejuicios en la salud humana, tomándose en cuenta que también variará dependiendo las defensas de cada persona. (7)

No todo material particulado es altamente tóxico, cada uno varía dependiendo su composición. Se puede observar como las partículas mayores a 10 μg no pueden penetrar más allá de la Faringe, no obstante, las partículas menores a 4.7 μg hasta 0.43 μg , pueden llegar hasta la última zona del organismo que son los alveolos (Ver figura 1). (11)

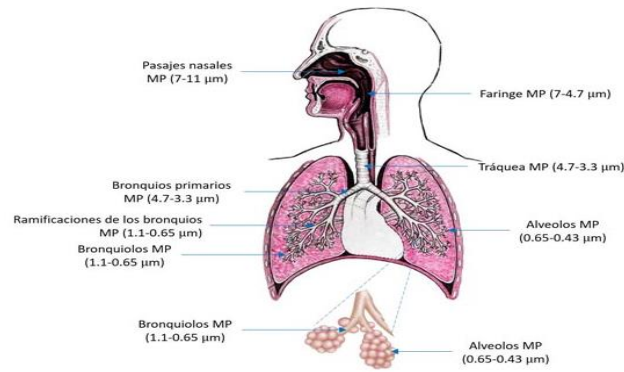


Figura 1. Zonas específicas de Material Particulado dentro del organismo(11).

Contaminantes del Aire

Se define como contaminantes atmosféricos a la agrupación de partículas que se encuentran en suspensión dentro de la atmosfera, en lapsos de vida cortos ya sea en estado sólido o líquido, sin incluir al agua, y siendo generadas por origen antrópico o natural (12). Existen partículas que poseen un diámetro aerodinámico que sobrepasa los 20 micrómetros y se las conoce como partículas sedimentables, estas impactan directa e indirectamente al medio ambiente independientemente de las concentraciones que disponen, causando alteraciones genéticas y desestructurando al ecosistema. A corto plazo estas partículas pueden afectar a la flora por la absorción de nutrientes que obtienen de la humedad de los suelos, y a la fauna por su ciclo en la cadena alimenticia (13).

Existen otras partículas que son $\leq 10 \mu\text{m}$ (fracciones gruesas) o $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (fracciones finas), son los mejores indicadores de contaminación urbana puesto que varían debido a su concentración, trayendo consigo grandes alteraciones que perjudican al ecosistema y a las futuras generaciones. Este material es uno de los más analizados del mundo ya que engloba un sinnúmero de compuestos que disponen de un extenso rango de propiedades termodinámicas, químicas y físicas (Ver tabla 2) (14).

Al PM se lo conoce también como “aerosol atmosférico”, debido a que se genera por algunos componentes como:

- Productos de combustión
- Material sintético

- Polvos de Minerales
- Aerosoles
- Hollín
- Amoniacos
- Lluvias acidas
- Cenizas
- Desgaste de carreteras
- Polen en grano

Tabla 2. Material particulado de acuerdo con el tamaño: PM10 Y PM 2,5.

Características	Pm 10 µm Diámetros	Pm 2,5 µm Diámetros
Compuestos	Fuentes naturales como compuestos de la flora, sal de mar, moho, carbón, cenizas volcánicas, cenizas de basura, polvo de la superficie terrestre y Óxidos como Magnesio, Hierro, Aluminio, Silicio, etc.	Nitratos, Hidrógeno, Carbono, Amonios, Metales, Níquel, Vanadio, Zinc, Cobre, partículas orgánicas y Sulfatos.
Fuentes de emisión	Desgaste de los suelos asfaltados, suelos usados, minería, agricultura, rocío salino, combustiones de petróleo y de vehículos a base de combustible fósiles.	Industrias petroleras, combustión de transportes, y compuestos que pasan por procesos de transformación de elevadas temperaturas como Sulfatos y Nitratos.
Duración de vida	Segundos a día	Días – Mes
Distancia de recorrido	1Km a 10Km	100Km – 1000km

Fuente: Espinoza José, 2018 (15).

Existen 2 tipos de mecanismos de formación por contaminantes atmosféricos:

Contaminantes primarios

Son las partículas que se generan desde el punto de origen de emisión hacia la atmósfera, proviniendo de fuentes antrópicas como el tráfico de transporte terrestre, procesos de combustión y las industrias petroquímicas o de fuentes naturales que no son ocasionadas por interacciones humanas, como elementos de la flora, mares y océanos, volcanes activados y zonas áridas.

Contaminantes secundarios

Estas no provienen de una fuente de emisión y se derivan del resultado de procesos de transformación química de los contaminantes primarios, como el nitrógeno (N), Amonio y óxidos de azufre (SO₂) (12).

Ozono

Al existir series de reacciones fotoquímicas frecuentemente entre compuestos como, óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos, se origina el ozono troposférico, un oxidante que compone fundamentalmente al smog fotoquímico, causando grandes impactos ambientales y afectaciones graves a la salud del ser humano.

La manifestación del ozono en el aire se debe a varios factores meteorológicos como:

- Altas temperaturas
- Fuertes radiaciones UV
- Vientos (concentración, dirección)

Este oxidante puede mantenerse durante semanas en la atmósfera y su aparición está ligada a la interrelación entre los medios de transportes, actividades que generan el desarrollo económico de la población, fuentes de emisión, asolamiento de la capa de ozono, etc. (16).

Sensor medidor de partículas

La calidad del aire en los países desarrollados y en vías de desarrollo, es un tema muy importante y extenso de abarcar debido a que la población busca realizar sus necesidades cotidianas mediante fuentes comerciales o industriales sin analizar los efectos nocivos inmediatos que pueden ocasionar en el ambiente y en los humanos. Las zonas urbanas de las ciudades son las más vulnerables al ser el epicentro de estos contaminantes en distintos diámetros y en grandes cantidades (17).

Existen medidores de partículas específicos que se utilizan para obtener información sobre la calidad del aire mediante procesos especiales que permiten contar y valorar las partículas del sitio a estudiar (Ver figura 2). Estos se denominan “sensores” debido a que son muy utilizados en lugares donde el polvo se concentra. Una característica muy común de estos sensores es la emisión de luz láser, ya que determina las concentraciones y el tamaño del material particulado que se encuentra en suspensión (18).



Figura 2. Medidor de partículas PCE-MPC(18).

Estos sensores tienen la ventaja de poseer parámetros de humedad y temperatura. También la desventaja de reducir su eficacia con humedades relativas a 70%. En la parte inferior del dispositivo se encuentra una barra en donde se detallan colores que muestran el peligro de concentración que posee el contaminante. En la figura 3 se puede observar el índice de la calidad del aire mundial con valores que varían del 0 a >300 ($\mu\text{m}/\text{m}^3$) del material particulado

que se concentra en el aire caracterizándose por barras de colores que varían del color verde al color granate, dependiendo el nivel de concentración que determine el sensor medidor de partículas (Ver figura 3).

PM2.5(ug/m ³)	Air Quality Index	Air Quality Level	Color
0~35	0~50	Excellent	Green
36~75	51~100	Good	Yellow
76~115	101~150	Slight Pollution	Orange
116~150	151~200	Moderate Pollution	Red
151~250	201~300	Heavy Pollution	Purple
>250	>300	Severe Pollution	Maroon

Figura 3. Índice de la calidad del aire(19).

2.2. Antecedentes

El ser humano durante los últimos años ha ido adoptando nuevas destrezas para el aprovechamiento de los recursos naturales sin medir las posibles consecuencias que podría ocasionar por optar al abastecimiento y al desarrollo económico del mundo. El medio ambiente ha sufrido daños incomparables en donde la calidad atmosférica es una de sus principales afectadas debido a las acciones humanas(20). En un estudio realizado en el año 2015 por Bazante Paúl (21) para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, sobre la calidad del aire, se determinó que algunos contaminantes atmosféricos en PM2.5 adquieren comportamientos distintos de acuerdo a variables meteorológicas como la radiación solar, velocidad del viento y temperatura. Se llegó a la conclusión de que las PM2.5 no disminuían su concentración a pesar de las temperaturas bajas, pero si la velocidad del viento aminoró las concentraciones de contaminantes primarios en la atmosfera al anochecer, no obstante en el día a causa de la radiación solar se redujeron los contaminantes a los cuales se los

denomina “mixtos” que son la mezcla de los contaminantes primarios con los contaminantes secundarios.

En el año 2012, Garrido Angélica (Ingeniera Ambiental) y Camargo Yiniva (Ingeniera Química) realizaron un estudio sobre las partículas respirables en el aire en donde determinaron que en América Latina las ciudades con acelerado desarrollo son parte del daño causado hacia la calidad del aire, generalmente por las elevadas concentraciones de material particulado causados por fuentes de origen antrópicos como lo son:

- Fuentes móviles, especialmente transportes terrestres a bases de combustibles fósiles.
- Procesos Industrializados.

A pesar de las fuertes concentraciones de materiales particulados es indudable el crecimiento del transporte vehicular en los países de Latinoamérica como Chile, Brasil y México con aproximadamente un 220% según los autores. También recalcaron que en Quito (Ecuador) el 52% del PM se debe a las compañías térmicas, el 25% al sistema de combustión de las industrias, el 20% al tráfico vehicular y por último el 5% al resto de actividades poblacionales. El informe anual emitido por Quito comunica que el PM10 no supera los límites permisibles de ninguna de las 9 estaciones de monitoreo, sin embargo las PM2.5 exceden en todas las estaciones los límites anuales que se permiten (22).

En el 2016, Arrieta Alvaro Javier de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia realizó un estudio sobre el PM10 y su relación con variables meteorológicas y topográficas en donde se creó un modelo de software nombrado “AERMOD View” que consistía en recopilar información topográfica e información meteorológica en un formato .SAM que permitió estudiar zonas modeladas como el Municipio de Sogamoso y el Municipio de Socha y se determinó que existieron 3 fuentes de emisiones predominantes: puntuales, móviles y dispersas. El monitoreo realizado era diario y anual y se determinó que el flujo del viento era calmado en zonas topográficas simples (Sogamoso), mientras que en las zonas con topografía más compleja (Socha), el flujo del viento tiende a ser más turbulento. Se diagnosticó que el material particulado

PM10 provenía de fuentes locales y tenía un alcance de 200m de disposición(23).

En el 2017, Montenegro Edgar y Luján Marcos (24) del departamento de Ciencias Exactas e Ingeniería de la Universidad Católica Boliviana, realizaron un estudio espacial y estacional en la ciudad de Cochabamba para determinar los contaminantes primarios presentes en el aire, con ayuda de una red de monitoreo llamado "MoniCA". Se necesitaron:

- Información Meteorológica
- Cartografía de la ciudad
- Longitud de la ciudad

Mediante todos estos parámetros se llegó a la conclusión previo a la información obtenida, que, la atmosfera efectúa cambios de disminución dependiendo de las altas temperaturas de épocas del año, los contaminantes primarios se concentran de mayor forma en las épocas de invierno, el tráfico vehicular emana en su mayor parte contaminantes primarios y el comportamiento que adopta el ozono tiene relación con los rayos UV.

2.3. Marco Legal

Constitución del Ecuador

La constitución de la República del Ecuador 2008, establece qué:

Artículo 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 (25)".

Artículo. 276.- "Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso

equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural(25)".

Plan Nacional para el Buen Vivir

Uno de los objetivos del régimen del desarrollo que plantea el Plan Nacional del Buen Vivir 2017-2021, garantiza qué es necesario "Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural(26)".

Código Orgánico del Ambiente

Según el **artículo 27 numeral 9** es necesario "Generar normas y procedimientos para prevenir, evitar, reparar, controlar y sancionar la contaminación y daños ambientales, una vez que el Gobierno Autónomo Descentralizado se haya acreditado ante el Sistema Único de Manejo Ambiental" y el **numeral 10** que indica "Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido (27)".

Artículo 152.- "Del arbolado urbano para el desarrollo urbano sostenible. Con el fin de promover el desarrollo urbano sostenible, se reconoce como de interés público el establecimiento, conservación, manejo e incremento de árboles en las zonas urbanas, priorizando los árboles nativos en las zonas territoriales respectivas. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos o Municipales incluirán estas actividades en su planificación territorial como estrategias esenciales para disminuir la contaminación del aire y acústica, mejorar el microclima, fortalecer el paisaje y equilibrio ecológico, apoyar al control de las inundaciones, mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse al mismo, favorecer la estética de las ciudades, promover oportunidades educativas ambientales, mejorar la calidad de vida, salud física y mental de los habitantes, entre otros (27)".

Artículo 191.- “Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Se dictarán y actualizarán periódicamente las normas técnicas, de conformidad con las reglas establecidas en este Código. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (27)”.

Artículo 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 (27)”.

3. CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

Esmeraldas es una provincia que se encuentra ubicada geográficamente en la región Costa del Ecuador, limitando al Norte con la provincia de Tumaco, al Sur con Manabí y Santo Domingo, al Este con Imbabura y Carchi y al Noroeste con el Océano Pacífico, con una franja marítima referenciada con unos 230Km de longitud. La capital de esta provincia es la ciudad de Esmeraldas que comprende alrededor de 14,893km², convirtiéndose en la metrópoli mayormente poblada y grande de la provincia y la séptima provincia más grande del país en lo que se refiere a extensión (28).

Esmeraldas llega a convertirse en la octava provincia del Ecuador con más habitantes con un número de 643,654 personas según los estudios realizados por la INCEC en proyecciones poblacionales hacia el año 2020.

En el territorio Esmeraldeño existen veranos cálidos con lapsos de tiempo cortos que pasan mayormente nublados y secos con temperaturas que oscilan entre los 24°C A 31°C; los inviernos en esta provincia también son totalmente nublados, cortos, húmedos y con altas temperaturas que varían entre 23° a 32°, generándose constantemente durante todo el año (29).

3.2. Población y Muestra

Se observa la ubicación de los cuatro detectores en sitios estratégicos que han sido representados mediante íconos que figuran una industria emisora de contaminantes atmosféricos (Ver Figura 4).

El muestreo se realizará en cuatro diferentes ubicaciones del cantón Esmeraldas, como:

- Ciudadela Julio Estupiñan
- Vía San Mateo
- Centro de la Ciudad
- Tachina

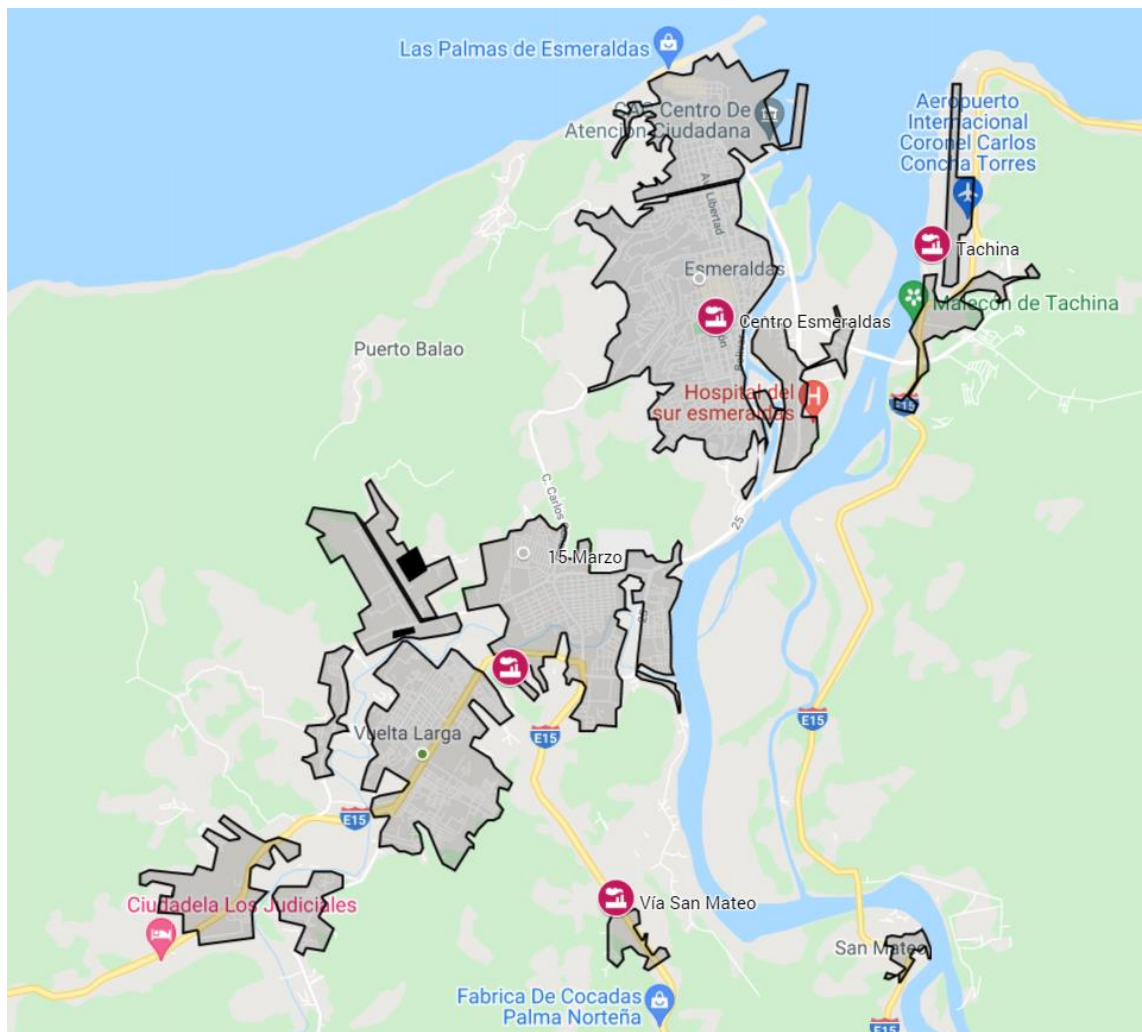


Figura 4. Zona de muestreo

Recolección de Datos

Los datos sobre la concentración de contaminantes se recogieron de forma georreferenciada, así como especificada temporalmente y fueron adquiridos en una ventana temporal de 32 días, entre los meses de enero y febrero respectivamente (Ver tabla 3).

Tabla 3. Muestra en función del tiempo.

Variable / Valor	Días	N
Meses		
Enero	12	182
Febrero	20	317
Día Semana		
Domingo	4	59
Lunes	4	61
Martes	4	63
Miércoles	5	74
Jueves	5	83
Viernes	5	76
Sábado	5	83
Hora de medición		
'07:00	32	107
'11:00	32	100
'15:00	32	97
'19:00	32	99
'23:00	32	96

Fuente: Programa Aire.

Nota. N: Número

Se utilizaron cuatro sensores en cuatro zonas distintas. Los hogares escogidos de cada zona se situaban en diferentes distancias cerca a la fuente puntual de emisión por lo que se optó por georreferenciar las áreas seleccionadas para saber su punto exacto de muestreo y se procedió a continuación con la configuración los sensores dispositivos (Ver tabla 4).

Tabla 4. Presentación de la muestra por su localización respecto de la refinería.

Localización			Respecto Refinería		
Ubicación	Área	Georreferenciación	Distancia (Km)	Orientación	n
Centro Esmeraldas	Urbana	0.96226, - 79.65426	5	NE 55°	140
Tachina	Rural	0.97122, - 79.62880	7,9	NEE 60°	174
Vía San Mateo	Rural	0.89572, - 79.66576	5	SEE 150°	136
Julio Estupiñan	Urbana	0.92216, - 79.67781	1,8	SE 135°	137

Fuente: Programa Aire.

Previo a la configuración se evaluaron que algunas variables meteorológicas como la radiación solar, humedad, temperaturas extremas etc., sean óptimas según el rango permitido por el dispositivo

Se verificó que la ubicación del aparato dentro de los hogares no este expuesto a vibraciones o impactos fuertes, también se comprobó que el área esté alejada de sitios con peligros de explosión.

Se precisó el número de puntos en cada ciclo para establecer los cortes que se basan en medición continua para la obtención de una media aritmética de las concentraciones de materiales particulados en diferentes medidas que se tomaron a lo largo de ese corte. La idea es que estos detectores recojan en tiempo real las concentraciones del contaminante y la almacenen en la memoria interna para generar un análisis descriptivo de bivariantes con las medias de las concentraciones de PM para cada variable de interés: día de la semana, hora del día y lugar del detector.

Se utilizó las ecuaciones recomendadas por el Índice de Calidad del Aire (Ver figura 5 y 6).

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}.$$

Figura 5. Ecuaciones AQI(30).

Donde I_p = el índice del contaminante p

C_p = la concentración truncada de contaminante p

BP_{Hi} = el punto de corte de concentración que es mayor o igual que C_p

BP_{Lo} = el punto de corte de concentración que es menor o igual que C_p

I_{Hi} = el valor de AQI correspondiente a BP_{Hi}

I_{Lo} = el valor AQI correspondiente a BP_{Lo}

Figura 6. Denominaciones de formula AQI(30).

Una vez determinado el resultado de la ecuación, los datos se relacionaron con los puntos de cortes de AQI para la previa obtención de los resultados (Ver figura 7).

These Breakpoints...							...equal this AQI	...and this category
O ₃ (ppm) 8-hour	O ₃ (ppm) 1-hour ¹	PM _{2.5} (µg/m ³) 24-hour	PM ₁₀ (µg/m ³) 24-hour	CO (ppm) 8-hour	SO ₂ (ppb) 1-hour	NO ₂ (ppb) 1-hour	AQI	
0.000 - 0.054	-	0.0 – 12.0	0 - 54	0.0 - 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Good
0.055 - 0.070	-	12.1 – 35.4	55 - 154	4.5 - 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Moderate
0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 – 55.4	155 - 254	9.5 - 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Unhealthy for Sensitive Groups
0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	(55.5 - 150.4) ³	255 - 354	12.5 - 15.4	(186 - 304) ⁴	361 - 649	151 - 200	Unhealthy
0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	(150.5 - 250.4) ³	355 - 424	15.5 - 30.4	(305 - 604) ⁴	650 - 1249	201 - 300	Very unhealthy
(²)	0.405 - 0.504	(250.5 - 350.4) ³	425 - 504	30.5 - 40.4	(605 - 804) ⁴	1250 - 1649	301 - 400	Hazardous
(²)	0.505 - 0.604	(350.5 - 500.4) ³	505 - 604	40.5 - 50.4	(805 - 1004) ⁴	1650 - 2049	401 - 500	Hazardous

Figura 7. Puntos de cortes AQI(30).

4. CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Se puede observar que de los 499 datos que se recogieron, se representaron las concentraciones promedio en cada uno de los valores de cada dimensión.

La dimensión “ubicación” la hemos categorizado en cuatro posiciones distintas que son: El centro ciudad, Julio Estupiñan, Vía San Mateo y Tachina. El promedio que se ha registrado en cada una de las ubicaciones, resaltan valores que son la aproximación de lo que pudo haber sido el promedio anual pero como se realizó el muestreo solo 32 días, de Lunes a Domingo. Por otra parte la dimensión “hora” nos señala que las 19:00pm es la hora del día con más concentración de material particulado (Ver tabla 5), estos valores obtenidos son lo más parecido a lo que podemos comparar a un valor promedio anual y los podemos comparar con respecto a la norma Air Quality Index (AQI) que nos establecen límites de concentraciones para determinados contaminantes.

Tabla 5. Concentración de PM en función de la ubicación y el tiempo.

Variable / Valor	Concentración		AQI			Categoría
	PM 2,5	PM 10	PM 2,5	PM 10	Total	
Ubicación						
Julio Estupiñan	4,3 (3,5-5,0)	11,1 (9,7-12,4)	17,9	10,3		Buena
Centro Esmeraldas	4,1 (3,3-4,9)	8,9 (7,4-10,3)	17,1	8,2		Buena
Vía San Mateo	3,2 (2,3-4,0)	7,7 (6,1-9,2)	13,3	7,1		Buena
Tachina	3,1 (2,3-3,8)	7,3 (6,0-8,7)	12,9	6,8		Buena
Día de la semana						
Lunes	2,8 (1,6-3,9)	6,8 (4,7-8,8)	11,7	6,3		Buena
Martes	3,8 (2,7-4,9)	8,9 (6,9-10,9)	15,8	8,2		Buena
Miércoles	3,9 (2,9-5,0)	9,2 (7,3-11,1)	16,3	8,5		Buena
Jueves	3,5 (2,5-4,4)	8,6 (6,9-10,3)	14,6	8,0		Buena
Viernes	4,7 (3,7-5,7)	10,9 (9,1-12,7)	19,6	10,1		Buena
Sábado	4,0 (3,0-4,9)	9,3 (7,6-11,0)	16,7	8,6		Buena
Domingo	2,8 (1,7-3,9)	7,1 (5,1-9,1)	11,7	6,6		Buena
Hora del día						
07:00	3,3 (2,5-4,2)	8,0 (6,5-9,5)	13,8	7,4		Buena
11:00	3,0 (2,1-3,9)	7,5 (5,9-9,0)	12,5	6,9		Buena
15:00	3,3 (2,4-4,2)	8,2 (6,6-9,8)	13,8	7,6		Buena
19:00	4,9 (4,0-5,8)	11,3 (9,7-12,9)	20,4	10,5		Buena
23:00	3,9 (3,0-4,8)	9,2 (7,6-10,7)	16,3	8,5		Buena

Fuente: Programa Aire.

A continuación se presenta un resumen estadístico básico de la distribución de valores que han tomado las mediciones haciendo uso de una serie de estadísticos que representan la concentración de material particulado medidas en miligramo sobre metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Ver tabla 6). Los datos de las dos variables estudiadas fueron comparados con los puntos de corte de la tabla de concentraciones de AQI en donde:

El cuartil 1 en el PM_{2,5} representa al percentil 25 que quiere decir que los primeros 25% de las mediciones que tomaron los valores más pequeños del estudio, estuvieron comprendidos entre 0,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir que de las 499 muestras en total recogidas, tan solo 125 de ellas estuvieron entre valores del mínimo 0,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del cuartil 1, correspondientes al PM_{2,5}. Por otra parte analizando los datos de PM₁₀ se puede analizar que sus valores estaban comprendidos entre el mínimo de 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 4,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del cuartil 1.

En otras palabras, una de cada cuatro veces que se realizaban las mediciones se encontraban valores entre 0,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2,5} y valores entre 1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 4,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM₁₀.

El cuartil 2, representa a la mediana de los datos, que quiere decir que la siguiente cuarta parte de los valores son superiores a los valores del cuartil 1 llegando hasta los valores intermedios comprendidos entre 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del cuartil 1 a 3,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del cuartil 2, correspondientes al PM_{2,5}. El cuartil 2 del PM₁₀ contiene valores que están entre 4,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 8,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El cuartil 3 representa a la tercera cuarta parte de los datos que manifiesta que del PM_{2,5} existen valores que van entre 3,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 5,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, es decir que se sitúan los valores de las mediciones que estaban por encima del 50% de la muestra y llegaron hasta el 75%. Del PM₁₀ se obtuvieron valores que están entre 8,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Y para finalizar los últimos 25% de los valores superiores que se registraron en PM2,5 estaban entre 5,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y del PM10 existieron valores que van de 12,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del cuartil 3 a 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del máximo de la muestra establecida.

La media o promedio en la tabla es el valor central de los datos y la desviación estándar es una medida orientativa de la dispersión de los datos a mayor desviación mayor dispersión de los datos de concentración de contaminante.

Tabla 6. Concentración Material Particulado en mg/m^3 en la muestra.

Concentración (mg/m^3)	PM2,5	PM10
Media	4,1	9,3
Mediana	3	8
Mínimo	0	1
Máximo	15	34
Cuartil 1	1,5	4
Cuartil 2	3	8
Cuartil 3	5	12
Desviación estándar	4,4	7,8

Fuente: Programa Aire.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La concentración promedio de PM10 en las zonas urbanas del estudio que son la Ciudadela Julio Estupiñan y el Centro de la Ciudad, ES DE 10,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 8,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, contienen valores más elevados de PM10 que los que disponen las zonas límites rurales como Tachina y la Vía San Mateo con 6,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 7,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos resultados tienen concordancia y se los se puede asociar a las características del estudio de Inza Ainhoa (31), donde se tuvo como propósito analizar los impactos que podría ocasionar las actividades dentro de una industria siderometalúrgica y sus concentraciones en zonas específicas, concluyendo que las actividades industriales pueden ser mucho más alarmantes para las zonas urbanas que para las zonas rurales, esto debido a los contaminantes que se acumulan dependiendo las características de cada zona y a su cercanía con las fuentes puntuales. Estos resultados obtenidos no sobrepasan los límites de concentraciones de PM10 que determinan las normas AIR Quality Index (AQI) que son de 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El resultado Máximo de PM2,5 obtenido en el estudio fue de 15,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, este valor supera en su minoría a los valores que establece la norma Air Quality Index (AQI). Se categorizan como “Bueno” a los valores que estén dentro del rango entre 0-12, sin embargo en este caso los valores superan estos límites permitidos teniendo proximidad a la siguiente categoría denominada “Moderada”. Estos niveles de contaminantes pueden ser no perceptibles para la población, sin embargo se debe procurar llevar a cabo algunas precauciones como lo manifiestan Martínez Elkin; Quiroz Carlos & Rúa Jessica (32) en su estudio de Morbilidad respiratoria realizado en Medellín-Colombia, en donde detallan que es de vital importancia realizar los respectivos monitoreos de concentración del material particulado en mención, puesto que existen evidencias que indican que las partículas más finas repercuten de manera más avanzada en los indicadores de mortalidad y morbilidad en la población y el ecosistema.

Otros factores que influyen en la disposición de material particulado son la hora y el día. Se comprobó que a inicios de los últimos días de la semana existen niveles más altos de material particulado probablemente por comportamientos perceptibles de congestiones vehiculares por las actividades que ejecutan las

personas para aprovechar sus días libres, siendo las 19:00pm la hora promedio de mayor acumulación de material particulado, tal como lo reporta Vázquez Carlos; Beristain Fernando & Audelo Estela (33) en su estudio de patrón de comportamiento de Partículas en suspensión que fue realizado en el Valle de Mexico, en donde acotan que el comportamiento del PM10 se ve influenciado por las actividades antropogénicas; según lo estimado por estos autores, existe una mayor influencia de alto tráfico vehicular dentro de las zonas urbanas, estimando un amplio resultado con relación al PM2,5 y valores de PM10 asociadas a actividades distintas al transporte.

Las partículas PM10 alcanzaron un promedio máximo de $34,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, las concentraciones reportadas en el presente estudio son inferiores a las concentraciones de $63,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 reportadas por Celis José; Morales José; Zaror Claudio & Carvacho Omar (34), en un estudio de análisis del material particulado suspendido en el aire atmosférico realizado en Chillán-Chile, en donde manifiestan que el material particulado en mención se ve influenciado por los talleres, tráfico vehicular urbano, dirección de vientos, trabajos de construcción, industrias, vías en mal estado, entre otros.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- El 95% de los registros de PM_{2,5} se encuentran por debajo de los 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la categoría “Buena”, solo el 5% de registros que pasaron esos niveles de contaminación se categorizaron automáticamente según la tabla AQI, al siguiente nivel como “Moderado”. Por otro lado, el 100% de las mediciones el PM₁₀ se encontraban en la categoría “Buena” por encontrarse dentro del rango permitido que es de 0 -54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con valores de 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- La variación con respecto a la dimensión “hora” del PM₁₀ y PM_{2,5} en la Ciudad de Esmeraldas, tiene su máximo a las 19:00 pm, mientras que se visualizan los valores mínimos durante la mañana. La hora del día con más niveles de contaminación por material particulado son las 19:00pm asociándose a las altas emisiones de vehículos que transitan por la ciudad y se congestionan por la culminación de jornadas laborales diarias.
- En los días de semana los valores más altos de concentración de material particulado se dan los días viernes, esto se debe a los patrones de usos y a las costumbres de la ciudadanía Esmeraldeña que optan por aprovechar sus días de descanso, mientras que en los días Domingos se registran valores mínimos, debido a que por ser terminación de semana, las actividades antropogénicas y la transportación vehicular disminuyen notablemente hasta el día lunes que es el inicio de semana.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la Municipalidad de la ciudad de Esmeraldas implemente un sistema de vigilancia que monitoree la calidad del aire incluyendo los contaminantes de criterio: PM10, PM2,5, SO₂, NO₂, O₃.
- Se recomienda realizar monitoreos continuos sobre la calidad del aire situando las estaciones de medición en lugares representativos del área urbana poblada, pudiendo colocar dos estaciones, una en el núcleo urbano sur próximo a la refinería, y otro en el núcleo urbano norte en el centro de la ciudad de Esmeraldas.
- Se recomienda que se realicen estudios similares a este para reducir la incertidumbre de las posibles afectaciones de las fuentes contaminantes hacia la población.
- Se recomienda a las autoridades desarrollar medidas de control, prevención y mitigación hacia los responsables de emisiones contaminantes con el propósito de reducir en grandes cantidades la transmisión de contaminantes atmosféricos.
- Sugiero que para futuros proyectos sobre la calidad del aire se pueda contar con más equipos de alta tecnología que puedan brindar la obtención de datos de manera automática en sitios estáticos y con mayor resistencia a variables meteorológicas.
- Se recomienda realizar una metodología más rigurosa en la que puedan participar toda la población de la ciudad de Esmeraldas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amparo GC. Contaminación del aire en medellín por pm10 y pm2.5 y sus efectos en la salud. Bogotá; 2017.
2. Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire ambiente (exterior) y salud [Internet]. 2018 [cited 2020 Jul 18]. Available from: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
3. Morantes G, Pérez N, Santana R, Rincón G. Revisión de instrumentos normativos de la calidad del aire y sistemas de monitoreo atmosférico: América latina y el Caribe. *Interciencia* [Internet]. 2016;41:235–42. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33944929003.pdf>
4. Tobar L. Análisis espacio-temporal de los contaminantes criterio atmosféricos en la zona urbana del distrito metropolitano de quito, mediante el uso de tecnologías geoespaciales para los años 2013, 2014 y 2015. 2018.
5. Rojas D, Salazar J, Montoya D, Muñoz C. Problemática de la contaminación del aire en Colombia y estrategias de solución para la calidad del aire en Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Antioquia). *Rev Ambient Éolo* [Internet]. 2019;109–22. Available from: <http://revistaeolo.fconvida.org/index.php/eolo/article/view/12/11>
6. Segura J, Franco J. Exposición de peatones a la contaminación del aire en vías con alto tráfico vehicular. *Salud Pública* [Internet]. 2016;18(2):179–87. Available from: <https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2016.v18n2/179-187/es>
7. Lara C. Determinación de las concentraciones de material particulado orgánico volátil en el barrio la esperanza, ciudad de Riobamba, por incidencia de aserraderos. Universidad Nacional de Chimborazo; 2018.
8. Suárez V, Páez C. Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras. 2006;308–22. Available from: http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v3n2/v3n2_a10.pdf
9. Oyarzún M, Matus P. Impacto del Material Particulado aéreo (PM_{2,5}) sobre

- las hospitalizaciones por enfermedades respiratorias en niños : estudio caso-control alterno. 2019;90(2):166–74. Available from: https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v90n2/0370-4106-rcp-rchped_v90i2_750.pdf
10. Vargas S, Onatra W, Osorno L, Páez E, Sáenz O. Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños , en mujeres embarazadas y en adultos mayores. 2006; Available from: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/600/551>
 11. Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro. Material Particulado [Internet]. 2017 [cited 2020 Jul 19]. Available from: <http://www.cemcaq.mx/contaminacion/particulas-pm>
 12. Aldabe J. Cracterización Físico-Química del material particulado en la comunidad foral de Navarra [Internet]. Universidad Navarra; Available from: http://www.parquedebertiz.es/imgx_new/bertiz/bertiz/documentos_pdf/TE SIS Caracterización.pdf
 13. Durán J, Moscoso L. Análisis correlacional de datos de MP10 y partículas sedimentables, su composición fisicoquímica y mineralógica, en la zona norte de la ciudad de Bogotá [Internet]. Universidad de la Salle Ciencia Unisalle; 2018. Available from: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1755&context=ing_ambiental_sanitaria
 14. Suarez L, Álvarez D, Bendezú Y, Pomalaya J. Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú. 2017; Available from: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n2/a05v83n2.pdf>
 15. Espinoza JA. Evaluación espacial y temporal del material particulado pm10 y pm2,5 en lima metropolitana para el periodo 2015-2017 [Internet]. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2018. Available from: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3739/espinoza-guillen-jose-abel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 16. González Riaño VC. Análisis del efecto de ozono de fin de semana en

- Bogotá [Internet]. Universidad Nacional de Colombia; 2016. Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/55908/>
17. Rojano R, Pérez J, Freyle E, Ambiente M. Efecto de la humedad relativa en la determinación de PM10 utilizando un DataRam 4, en una zona costera de Colombia. 2012;204–12.
 18. PCE Instruments. Medidor de partículas PCE-MPC 10 [Internet]. [cited 2020 Jul 20]. Available from: https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-de-particulas-pce-instruments-medidor-de-part_culas-pce-mpc-10-det_5853257.htm
 19. Feng C, Tian Y, Gong X, Que X, Wang W. MCS-RF: mobile crowdsensing-based air quality estimation with random forest. *Int J Distrib Sens Networks* [Internet]. 2018; Available from: file:///C:/Users/i5HP/Downloads/MCS-RF_mobile_crowdsensing-based_air_quality_estim.pdf
 20. Yan O, Mirth R, Anel H, Janet C. Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos . Caso de estudio. 2018;90–103. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n1/ind08118.pdf>
 21. Paúl B. Análisis de la concentración de contaminantes atmosféricos de origen primario y mixto en relación a la variación de las condiciones meteorológicas en el Distrito Metropolitano de Quito [Internet]. Universidad San Francisco de Quito USFQ; 2015. Available from: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4786/1/120741.pdf>
 22. Camargo Y, Garrido A. Partículas respirables en el aire : generalidades y monitoreo en Latinoamérica. INGE CUC [Internet]. 2012;8:293–312. Available from: [http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2667/Partículas respirables en el aire generalidades y monitoreo en latinoamérica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/2667/Partículas%20respirables%20en%20el%20aire%20generalidades%20y%20monitoreo%20en%20latinoamérica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
 23. Arrieta AJ. Dispersión de material particulado (pm10), con interrelación de factores meteorológicos y topográficos. 2016;16:43–54. Available from: https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5445/4515

24. Montenegro E, Pérez ML. Análisis de la variación estacional de la contaminación atmosférica y su relación con variables climáticas en el valle central de Cochabamba, Bolivia. ActaNova [Internet]. 2017;8:451–66. Available from: http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v8n3/v8n3_a11.pdf
25. Asamblea Constituyente. Constitución del Ecuador [Internet]. 2008 [cited 2020 Aug 11]. Available from: <https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec030es.pdf>
26. Consejo Nacional de Planificación. Plan Nacional Para el Buen Vivir 2017-2019 [Internet]. 2017 [cited 2020 Aug 11]. Available from: <https://www.gobiernoelectronico.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2017-2021.pdf>
27. Presidencia de la República. Código Orgánico del Ambiente [Internet]. 2017 [cited 2020 Aug 11]. Available from: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Codigo-Organico-del-Ambiente.pdf>
28. Provincia de Esmeraldas - Prefectura de Esmeraldas. Provincia de Esmeraldas [Internet]. [cited 2020 Aug 22]. Available from: <https://prefecturadeesmeraldas.gob.ec/index.php/provincia-de-esmeraldas/>
29. Weather Spark. Clima promedio en Esmeraldas, Ecuador, durante todo el año - Weather Spark [Internet]. [cited 2020 Aug 22]. Available from: <https://es.weatherspark.com/y/19369/Clima-promedio-en-Esmeraldas-Ecuador-durante-todo-el-año>
30. Mintz D. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI). Environ Prot [Internet]. 2013;(May):1–28. Available from: <https://airnowtest.epa.gov/sites/default/files/2018-05/aqi-technical-assistance-document-may2016.pdf>
31. Inza A. Estudio de series temporales y composición química del material particulado atmosférico en distintas áreas del país Vasco [Internet]. Universidad del País Vasco; 2010. Available from: [file:///C:/Users/i5HP/Downloads/Estudio de series temporales y](file:///C:/Users/i5HP/Downloads/Estudio%20de%20series%20temporales%20y)

composicion quimica del material particulado atmosferico en distintas areas del Pais Vasco (2).pdf

32. Martínez E, Quiroz C, Rúa J. Morbilidad respiratoria asociada con la exposición a material particulado en el ambiente. *Fac Nac Salud Pública* [Internet]. 2011;29:454–60. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/120/12021522011.pdf>
33. Vázquez C, Beristain F, Audelo E. Caracterización del Patrón de Comportamiento de las Partículas en Suspensión en el Valle de México. *Inf Tecnológica* [Internet]. 2012;23(3):3–10. Available from: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v23n3/art02.pdf>
34. Celis JE, Morales JR, Zaror CA, Carvacho O. Contaminación del Aire Atmosférico por Material Particulado en una Ciudad Intermedia : El Caso de Chillán (Chile). *Inf Tecnológica* [Internet]. 2007;18(3):49–58. Available from: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v18n3/art07.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Recomendaciones previas a la encuesta

Concentracion Material Particulado - Recolección Datos

Plantilla digital de recolección de datos sobre la concentración de material particulado. Instrucciones: Recoger al menos 5 medidas diarias. En los horarios aproximados 7:00, 11:00, 15:00, 19:00 y 23:00. Todos los días de la semana. Si en alguna ocasión no se pudiera recoger el registro, recojase otro en su defecto, las horas propuestas deben intentar cumplirse pero son orientativas, si no se puede a las 11:00 pero si a las 11:16 pues vale, pero indicando siempre la hora real.

Ajustes: Ajustar y enviar fotografía por whatsapp al telefono 0981731775 para comprobar ajustes.

Date/Time --> Ajustar usando internet.
Sample time: 5 min
Unidad de temperatura: °C
Concetracion de masa/partículas: Mass
Auto Power Off: Desabilitado

* Obligatorio

1. Nombre y apellidos del alumno: *

Anexo 2. Diseño de Encuesta

*** Obligatorio**

1. Nombre y apellidos del alumno: *

2. Perfil del recolector *

- Horas de Vinculación
- Trabajo de Tesis

3. Código del instrumento: *

- Contador de Particulas PM 21100138
- Contador de Particulas PM 21100139
- Contador de Particulas PM 21100140
- Contador de Particulas PM 21100141
- Estación Meteorológica EM 2170016x

4. Ubicación georeferenciada (latitud, longitud): - Si no se mueve del sitio no es necesario repetir la ubicación en cada ocasión.

5. Fecha de la medición: *

Formato: d/M/AAAA

6. Hora de la medición en 24h (HH:MM): *

7. Temperatura ambiental °C (XX,X): *

8. Humedad del aire relativa %h.r. (XX,X): *

9. Concentración PM2,5 (microgramos/metro cubico): *

10. Concentración PM10 (microgramos / metro cubico): *

11. Observaciones, puede contestar libremente si lo cree necesario: *