UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TEMA:

CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA CIUDAD DE PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA DURANTE EL PERIODO MAYO 2019 – FEBRERO 2020.

AUTORES:

GÉNESIS IVONE FERNÁNDEZ ANTONIETA

JUAN CARLOS TANDALLA AREQUIPA

TUTOR:

DR.C. RICARDO ABRIL

PASTAZA – ECUADOR

2020

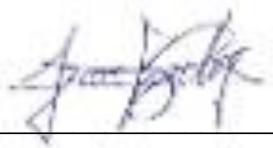
Declaración de autoría y cesión de derechos

Quien suscribe Fernández Antonieta Génesis Ivone portadora de la cédula de identidad N° 140114364- 7 y Tandalla Arequipa Juan Carlos portador de la cédula de identidad N° 050369136-2 hacemos constar que somos los autores del proyecto de investigación con el título "CONCENTRACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE EN LA CIUDAD DE PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA, DURANTE EL PERIODO MAYO 2019 – FEBRERO 2020", el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con dirección del tutor Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, en tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica para que pueda realizar publicaciones sobre las mismas, así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

En la ciudad de Puyo, a los 27 días del mes de agosto del 2020.



Fernández Antonieta Génesis Ivonne
1401143647



Tandalla Arequipa Juan Carlos
0503691362

Certificado de aprobación por el tribunal de sustentación

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "Concentración de material particulado sedimentable en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza durante el periodo mayo 2019 – febrero 2020".



Msc. Angélica María Tasambay Salazar

Presidenta del tribunal



Msc. Paul Marcelo Manobanda Pinto

Miembro del tribunal



Mcs. Santiago Nicolás Aguiar Novillo

Miembro del Tribunal

Certificado de porcentaje de similitud obtenido en el sistema anti plagio

Quien suscribe el presente documento Dr. C. Ricardo Vinicio Abril Salto con CI: 1803113321 certifica que eñ Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: "Concentración de material particulado sedimentable en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza durante el periodo mayo 2019 – febrero 2020" ha sido examinado a través del sistema antipagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 5%.

En el cantón Pastaza, a los 27 días del mes de agosto de 2020.



Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos

Director del Proyecto de Investigación

Agradecimiento

A Dios por permitirme haber cumplido una de las metas más importantes tanto para mí, como para mi familia, por ser mi luz en la oscuridad y por ser mi fortaleza cuando sentía que desmayaba ante los obstáculos que se atravesaron el mi camino.

A mi difunto esposo el Cap. Israel Viteri, piloto de la Amazonía, quien fue mi compañero inseparable durante toda la carrera y que hace pocos meses tuvo que volar más alto, hacía la eterna felicidad. Por ser mi apoyo incondicional, por darme ánimos, por comprenderme y tenerme paciencia con las múltiples tareas universitarias que debía cumplir y por ayudarme cuidando a nuestro amado hijo Ingaru cuando debía ausentarme. Estoy segura estará contento y orgulloso por que este, no solo es un logro mío, sino también de él.

A mis dos mamás Gladys y Carmita, por darme la vida, por cuidarme, por animarme a ser una luchadora como ellas y por ser mi inspiración para continuar en este duro camino hacía el éxito. Por brindarme su amor incondicional y estar presente en las buenas, malas y peores, sin ellas no hubiese cumplido este reto tan grande.

A mi padrino Jorge por ser el padre que nunca tuve, porque con su silencioso y gran apoyo siempre ha estado presente y orgulloso de verme una profesional, porque estoy seguro soy una hija más para él, porque se nota el brillo de sus ojos cuando me ve feliz y realizada profesionalmente.

A mis hermanos de madre biológica: Paola, Galo, Hugo, Henry y a mis hermanas de madre adoptiva: Heidy, Tania y Daniela; porque siempre conté con ellos para lo que necesité, por que se dieron los modos de ayudarme tanto económica como emocionalmente, todos pusieron un granito de arena, éste también es un logro de ellos.

A mis amigas Franca, Daniela, María Belén y Karla por que demostraron su cariño incondicional y me bridaron su apoyo cuando más necesité y lo más importante siempre me animaron a que continúe con mis estudios universitarios.

A mi estimado compañero de tesis Juan Carlos, porque a parte de ser mi compañero de tesis, es mi único mejor amigo hombre, por demostrarme el verdadero significado del compañerismo y amistad durante toda la carrera, por ser mi complemento perfecto en la vida estudiantil, por enseñarme a ser puntual y sobre todo por tenerme mucha paciencia.

A mi tutor Dr. Ricardo Abril por guiarnos en el desarrollo de este gran trabajo académico y necesario para titularnos como Ingenieros Ambientales.

A mi ex profesor de la UEA, el Blgo. Xavier Carvajal por incentivarnos a desarrollar una investigación en el campo de la calidad del aire y ayudarnos con las herramientas necesarias para llevar a cabo tan importante trabajo.

Génesis

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida y permitirme gozar de buena salud, por ser mi fuerza y mi eterna compañía en todos los buenos y malos momentos de mi vida.

A mis padres Juan Tandalla y María Dioselina Arequipa, por el esfuerzo y los modos posibles que tuvieron que hacer constantemente para que pudiera continuar y culminar felizmente mis estudios.

A mis hermanos y amigos, que de manera incondicional me supieron extender una mano más de una vez para que pudiera solventar mis gastos.

A mi tutor de tesis el Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos, que de buena voluntad acepto y tomo la responsabilidad de ser nuestro guía en la elaboración de este proyecto.

Al Blgo. Xavier Carvajal, que a más de haber sido mi docente en la Universidad Estatal Amazónica, fue también un gran amigo que siempre estuvo dispuesto a ayudar y compartir parte de sus conocimientos.

Finalmente agradezco a la Universidad Estatal Amazónica, por acogerme y hacerme parte de su familia, por formarme académicamente y prepararme para la vida profesional.

Juan Carlos

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedico en primer lugar a mi hijo Ingaru y mi difunto esposo Israel por ser mi inspiración y mis ganas de luchar cada día para alcanzar este logro tan importante para mí, por haberme otorgado la gran alegría de conocer el amor verdadero y el significado de un hogar y una familia.

A mi padrino, mis dos mamás, hermanos y familia en general, porque este logro no solo es mío, sino también de ellos, por estar presentes en mi vida cotidiana y mi vida estudiantil, por apoyarme incondicionalmente con lo poco o mucho que ellos poseen, por aportar con un granito de arena a esta etapa de mi vida.

A mis amigos y las personas que me aprecian porque sé que se alegran al verme realizada profesionalmente y porque de una u otra forma se han hecho presentes para demostrarme su apoyo y cariño en este camino.

Génesis

El presente trabajo investigativo en primera instancia se lo dedico a Dios, por ser el autor de mi existencia, mi mayor fuente de inspiración y quien le da valor a mi vida.

A mis padres y hermanos, quienes han estado pendientes todo el tiempo de mi bienestar y de cada una de mis necesidades básicas con el apoyo verbal y económica. Y a toda mi familia en general.

A cada uno de mis amigos, por brindarme su amistad y aceptarme tal cual soy, aquellos con quienes he pasado buenos y malos momentos.

A mi novia María Arena, que en poco tiempo de conocerla me ha demostrado que en esta vida siempre habrá alguien especial que te ame, te respete y te valore.

Juan Carlos

Resumen

Se determinó la concentración de material particulado sedimentable en la ciudad de Puyo, con la finalidad de conocer su nivel de contaminación, estableciendo propuestas para mitigar sus concentraciones. Se empleó un diseño Descriptivo cuantitativo y Exploratoria cualitativa - Documental en el periodo mayo 2019 – febrero 2020.

La metodología consistió en solicitar datos de laboratorio a la consultora Verdevida, proporcionando los valores de concentración de material sedimentable, obtenidos en 5 puntos de muestreo: El Obrero, El Centro, Universidad Estatal Amazónica, La Merced y Picolino, mediante la técnica de método gravímetro para la captación de partículas en envases abiertos y expuestos al ambiente por 30 días durante 10 meses.

Los resultados de análisis indica una diferencia en las concentraciones en todos los puntos de muestreo, siendo el sector "El Picolino" donde existe mayor concentración con un valor de 0.09258 mg/cm^2 y el lugar con menor concentración corresponde al sector "La merced" con un valor de 0.000084 mg/cm^2. Estos valores al ser comparados con las concentraciones máximas permisibles establecidas por la Organización Mundial de la Saludo (0,5 mg/cm^2) y La Norma de Calidad de Aire Ambiente del Ecuador (1 mg/cm^2) /cm2), se determinó que ningún sitio excede los niveles de contaminación.

Palabras clave: Material particulado sedimentable, calidad de aire, dispersión atmosférica, contaminación del aire.

Abstract

The concentration of sedimentable particulate matter were determined in the city of Puyo in order to know its level of contamination and to establish proposals to mitigate the concentrations. A quantitative Descriptive and Qualitative Exploratory - Documentary design were used in the period from May 2019 to February 2020.

The methodology consisted in requesting laboratory data from the consulting firm Verdevida, providing the concentration values of sedimentable matter obtained in 5 sampling points: El Obrero, El Centro, Universidad Estatal Amazónica, La Merced and Picolino by using the gravimeter method technique for capturing particles in open containers that were exposed to the environment for 30 days during 10 months.

The analysis results indicate a difference in the concentrations in all the sampling points, being "El Picolino" the sector that had the highest concentration with a value of 0.09258 mg / cm2 and the place with the lowest concentration corresponds to "La Merced" sector with a value of 0.000084 mg / cm2. These values were compared with the maximum permissible concentrations established by the World Health Organization (0.5 mg / cm2) and with the Environmental Air Quality Standard established by the Ecuadorian regulations (1 mg / cm2) / cm2), through these comparisons it was determined that any of the sampling sites exceeds the contamination levels.

Keywords: Sedimentable particulate matter, air quality, atmospheric dispersion, air pollution.

Tabla de contenidos

Declaración de autoría y cesión de derechos ..... **ii**
Certificado de aprobación por el tribunal de sustentación ..... **iii**
Certificado de porcentaje de similitud obtenido en el sistema anti plagio ..... **iv**
Agradecimiento ..... **v**
Dedicatoria ..... **vii**
Resumen ..... **viii**
Abstract ..... **ix**
Capítulo 1. Introducción 1
1.1 Planteamiento del Problema 1
1.2 Formulación del Problema 2
1.3 Objetivos 2
Objetivo General 2
Objetivos específicos 2
1.4 Justificación 3
Capítulo 2. Fundamentación Teórica **4**
2.1 Atmósfera 4
2.2 Estructura de la atmósfera 4
2.3 Elementos del clima y tiempo 5
2.4 Medición de los fenómenos meteorológicos 6
2.5 Contaminación atmosférica 6
2.6 Tipos de contaminantes 6
2.7 Niveles de contaminación para cada contaminante atmosférico 8
2.8 Concentraciones máximas permitidas en el Ecuador 10
2.9 Monitoreo de la contaminación atmosférica 12
2.10 Tipos de monitoreos 12
2.12 Marco legal 15
Capítulo 3. Metodología de la investigación **16**
3.1 Localización. 16
3.3 Metodología de la investigación. 17
Capítulo 4. Resultados **19**
4.1 Propuesta de Mitigación de Material Particulado para la ciudad de Puyo 31
Conclusiones **35**
Recomendaciones **36**
Referencias **37**
Anexos **39**

Índice de tablas

Tabla 1 Métodos de medición de contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinogénicos del aire ambiente. 10

Tabla 2 Marco Legal en relación con el cuidado y control del componente aire. 15

Tabla 3 Ubicación de las estaciones de monitoreo. 17

Tabla 4 Valores de concentración observada en gramos de MPS, obtenidas en el Laboratorio durante el período mayo 2019-febrero 2020. 19

Tabla 5 Valores de concentración de MPS en 30 días, durante el período mayo 2019-febrero 2020, en los diferentes sitios de muestreo de la cabecera cantonal Puyo. 20

Tabla 6 Valores meteorológicos obtenidos de la estación M0008. 21

Tabla 7 Relación del flujo vehicular por los diferentes puntos de muestreo. 27

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Puyo. 16

Figura 2. Concentraciones medias de MPS en los diferentes puntos de muestreo. 20

Figura 3. Dirección del Viento en la cabecera cantonal Puyo para el período mayo 2019-febrero 2020. 22

Figura 4. Porcentaje de velocidades de viento para el período mayo 2019-febrero 2020. 23

Figura 5. Cantidad de precipitación durante en la cabecera cantonal Puyo para el período mayo 2019-febrero 2020. 24

Figura 6. Valores de concentración de MPS durante el período mayo 2019-febrero 2020. 24

Figura 7. Comparación de los valores de MPS en relación con los parámetros máximos permisibles de la OMS y NCAA. 25

Figura 8. Relación de la concentración de MPS con los factores de Lluvia. 29

Figura 9. Dirección de viento en la ciudad de Puyo. 30

Figura 10. Retención de MPS por barreras geográficas en la ciudad de Puyo. 30

Figura 11. Áreas sin cobertura vegetal en diferentes puntos de la cabecera cantonal Puyo. ..31

Figura 12. Identificación de caminos de tercer orden existentes en la cabecera cantonal de Puyo. 32

Figura 13. Identificación fuentes fijas que existen en la cabecera cantonal de Puyo. 32

Figura 14. Identificación de las zona y horas con mayor flujo vehicular. 33

Figura 15. Monitoreo de fuentes móviles. 34

Capítulo 1. Introducción

La contaminación ambiental es uno de los mayores problemas mundiales que afecta la salud humana. Aproximadamente 7 millones de personas mueren por año debido a enfermedades relacionadas con la contaminación del aire. Con el crecimiento de la población y de las fuentes de emisión de contaminantes, es un desafío cada vez mayor el control de la calidad del aire (Ortiz 2018).

Tituaña (2019) asegura que en el transcurso del año 2017 se ha generado un incremento de contaminación por material particulado en la ciudad de Madrid, que se encuentran influenciados por las condiciones meteorológicas y por el incremento en el tráfico vehicular, ya que este último es el factor más importante por las emisiones de los automóviles, no solo en Madrid en todas las ciudades del mundo

En Ecuador, el mayor índice de contaminación por material particulado $PM_{2,5}$ y PM_{10} son Quito, Cuenca y Ambato, ya que cuentan con redes o estaciones de monitoreo pasivo y automático en diferentes puntos ya que estas ciudades presentan un número elevado de vehículos, así como gran actividad industrial (Chuquer et al., 2018; EMOV EP. 2018, Mayorga et al., 2020)

Las mayorías de ciudades de la región amazónica no poseen un seguimiento de la calidad de aire por lo que se desconoce las concentraciones de contaminantes atmosféricos.

1.1 Planteamiento del Problema

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud humana, provocando cada año, dos millones de muertes relacionados a problemas respiratorios y cardiovasculares, por lo que varios países han implementado un sistema de monitoreo para determinar la concentración de los agentes contaminantes y crear medidas de prevención (OPS, 2018).

En Ecuador, pocas son las ciudades que realizan análisis de calidad de aire, de las cuales Quito, Cuenca y Ambato se destacan por haber implementado sistemas de monitoreo, obteniendo datos actualizados de la concentración de los contaminantes atmosféricos. Actualmente, en la región amazónica, no existen datos que ayuden a comprender la dinámica de esta problemática y las posibles consecuencias que puedan causar al ambiente y a salud. (Chuquer et *al*., 2018; EMOV EP. 2018, Mayorga et *al*., 2020)

1.2 Formulación del Problema

El cantón Pastaza es una de las ciudades que en los últimos 10 años ha incrementado su crecimiento poblacional por actividades como el turismo, comercio y educación superior (GADP Pastaza, 2010), por lo que el incremento de partículas suspendidas y agentes contaminantes podrían llegar a causar problemas en la salud de los habitantes. Sin embargo, hasta la presente fecha no se han realizado estudios sobre la calidad del aire que tiene la zona urbana, por los que se hace necesario obtener datos del estado actual de contaminación

1.3 Objetivos

Objetivo General

Determinar las concentraciones de material particulado sedimentable en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza en el periodo mayo 2019 – febrero 2020.

Objetivos específicos

- ✓ Determinar las concentraciones de material particulado sedimentable de la cabecera cantonal de Pastaza.
- ✓ Caracterizar los puntos de monitoreo comparando la Normativa Ecuatoriana de Calidad de Aire Ambiente.
- ✓ Determinar los factores ambientales que incidan en la concentración y dispersión del material particulado
- ✓ Proponer estrategias para mitigar las concentraciones de material particulado en la cabecera cantonal de Puyo.

1.4 Justificación

Se considera tener un aire limpio como un requisito básico para la salud y el bienestar humanos, sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo. Según una evaluación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos). Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo (OMS, 2006).

En el año 2005 se registraron en el Ecuador 991744 casos de infecciones respiratorias agudas, muchas de ellas podrían deberse a la calidad de aire de las zonas urbanas. Además, según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se estima que cada año mueren 500 personas en el Ecuador debido a la contaminación del aire. Existe evidencia que indica que el material particulado produce efectos adversos a la salud sobre todo en poblaciones urbanas tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, es decir nuestro país no es la excepción para ser afectado de manera irremediable por la presencia de este componente del aire (Sánchez, 2013).

En el cantón Pastaza, según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, no tiene información acerca de contaminantes que alteren la calidad del Aire, por lo que no se cuenta con datos para poder realizar un análisis o un diagnóstico del mismo (PDOT, 2015).

Con los antecedentes antes expuestos, el presente trabajo fue ejecutado con el uso de Data secundaria por estudios realizados de material particulado sedimentable de la consultora Verdevida.

Capítulo 2. Fundamentación Teórica

2.1 Atmósfera

Está formada por aire y partículas en suspensión. El aire es una mezcla gaseosa en distinta proporción, los más importantes son: nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y otros gases en menor proporción. En la atmósfera también flotan diversas cantidades de partículas diminutas como polen, arena fina, cenizas volcánicas, bacterias, entre otras, todas ellas componen el polvo atmosférico. La combinación de los gases que conforman la atmósfera permite la vida sobre la Tierra.

La atmósfera químicamente está formada por Nitrógeno (N_2) representando el 78 % total del aire, es un gas que no reacciona con casi ninguna otra sustancia; Oxígeno (O_2) representando el 21 %, es un gas muy reactivo, se combina con otras sustancias oxidándolas; Dióxido de carbono (CO_2) representando el 0.033 % del total, producido por la combustión de los combustibles fósiles así como la respiración de las plantas; Otros gases que representan menos del 1% siendo los Gases nobles (Ar, Kr; Ne; He), Hidrógeno y metano.

La atmósfera cumple un rol importante ya que actúa como una tibia cobija de aire para el planeta, su presencia permite que la diferencia entre la temperatura existente en el día y la noche no sea tan amplia. Sin ella tendríamos temperaturas extremas en la Tierra, de alrededor de 82°C en el día que descendería hasta cerca de los 140°C bajo cero en la noche, tal como sucede en la Luna. La vida sería imposible en un ambiente con una variación diaria de temperatura de más de 200°C. (Domínguez, 2004)

2.2 Estructura de la atmósfera

La atmósfera parece una capa uniforme, pero su temperatura varia de forma irregular con la altitud (Ramírez, 2011). Estas variaciones de temperatura sirven para diferenciar distintas zonas o capas de la atmósfera siendo:

- Troposfera. - Es la capa de la atmósfera que está en contacto con la superficie de la Tierra y es donde se producen todos los fenómenos meteorológicos que influyen en los seres vivos, además en esta capa, el aire alcanza su máxima densidad ya que aquí se concentra la mayor parte del oxígeno y del vapor de agua actuando como un regulador térmico del planeta.

- Estratosfera. - Su nombre se debe a que está dispuesta en capas más o menos horizontales. A medida que se sube, la temperatura aumenta debido a la incidencia de los rayos ultravioleta transforman el oxígeno en ozono (Ozonosfera). Se extiende aproximadamente entre los 15 - 40 km de altitud y reúne el 90 % del O3 presente en la atmósfera, actuando como filtro, o escudo protector, de las radiaciones nocivas que llegan a la Tierra.

- Mesosfera. - Es la zona más fría de la atmósfera debido a la baja densidad del aire en la mesosfera determinando la formación de turbulencias La temperatura disminuye a medida que se aumenta la altura, hasta llegar a unos -80 ºC e incluso -90 °C. En esta capa se observan las estrellas fugaces que son meteoroides que se han desintegrado en la termosfera.

- Termosfera. - Conocida también como ionosfera, dentro de esta capa la radiación ultravioleta (rayos gamma y los rayos X provenientes del Sol), provocan la ionización de átomos y moléculas. En dicho proceso los gases que la componen elevan su temperatura varios cientos de grados. En las regiones polares las partículas cargadas portadas por el viento solar son atrapadas por el campo magnético terrestre dando lugar a la formación de auroras.

- Exosfera. - Es la zona de tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio. En esta capa de la atmósfera los gases van perdiendo sus propiedades físico-químicas y poco a poco se dispersan hasta que la composición es similar a la del espacio.

2.3 Elementos del clima y tiempo

Un estudio del tiempo meteorológico incluye el conocimiento de un número de parámetros descriptivos, denominados a menudo, elementos meteorológicos (Fritschy, 2013), que pueden dividirse en los siguientes grupos: 1. Temperatura del aire, 2. Presión atmosférica, 3. Vientos, dirección y velocidad del aire en movimiento horizontal, 4. Humedad atmosférica (que comprende humedad por contenido de vapor de agua, nubes-niebla y precipitación). Estos elementos no actúan en toda la Tierra en forma igual.

Existen factores que influyen en ellos haciendo que su comportamiento varíe de distinta manera en cada lugar de la troposfera. Estos factores geográficos son: la latitud, altitud, relieve, influencia oceánica, vegetación, obras humanas.

2.4 Medición de los fenómenos meteorológicos

Los fenómenos meteorológicos cambian en el tiempo y también en el espacio (Ramírez, 2011), para lo cual se han establecido estaciones meteorológicas, organizadas en forma de red.

La densidad de las estaciones meteorológicas de una red determinada depende de:

1. El propósito de las observaciones (sinóptico, climatológico, etc.),
2. Los fenómenos meteorológicos a medir (para datos de lluvia se necesitan muchas más estaciones que para presiones)
3. Otros, por razones no meteorológicas relacionadas con las medidas políticas locales

2.5 Contaminación atmosférica

De acuerdo con Oyarzún (2010), define a la contaminación atmosférica a la presencia de elementos contaminantes que alteran su composición y que afectan a cualquier componente del ecosistema. Según su origen los contaminantes se clasifican en antropogénicos, derivados de la actividad humana, o naturales, resultantes de procesos de la naturaleza, por ejemplo, erupciones volcánicas o polen en suspensión

2.6 Tipos de contaminantes

Las Directrices de la OMS sobre la Calidad del Aire (OMS, 2006) ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosférica clave que entrañan riesgos sanitarios. Las Directrices señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM_{10}) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico (μg/m) es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire.

Las Directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación, realizada por expertos, de las pruebas científicas actuales concernientes a: Partículas (PM), Ozono (O_3), Dióxido de nitrógeno (NO_2) y Dióxido de azufre (SO_2).

- Material Partículado (MP) Las partículas dependiendo de su tamaño pueden ingresar al organismo a través de las vías respiratorias y alojarse en los pulmones. En caso de existir una exposición intensa, la presencia de las partículas en el organismo puede provocar el desarrollo de enfermedades cardiacas y respiratorias como el cáncer de pulmón. Generalmente se realizan mediciones y monitoreo del material particulado 10, material particulado 2.5. Puesto que los efectos que estos pudieran causar son diversos; se ha establecido una relación bastante estrecha entre las altas concentraciones de material particulado con las altas tasas de mortalidad a diario y largo plazo.

- Ozono (O3) Esta sustancia se considera contaminante cuando se encuentra a nivel del suelo, en contacto con los seres vivos, puesto que forma parte de la niebla tóxica presente en las grandes ciudades, no debe confundirse con el ozono presente en la capa de ozono en la estratósfera. Este se forma de la reacción entre la luz solar con óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles que provienen de emisiones de la industria y vehículos respectivamente. Esta sustancia tiene un sinnúmero de efectos en el sistema respiratorio, originando varias enfermedades pulmonares, una de las más frecuentes es el asma.

- Dióxido de nitrógeno (NO2) Es un contaminante atmosférico que se presenta en altas concentraciones por periodos cortos, se encuentra en estado gaseoso y puede provocar inflamaciones respiratorias. En cuanto a la salud provocan la disminución de la función pulmonar y puede provocar enfermedades como la bronquitis en niños asmáticos.

- Dióxido de azufre (SO2) Es un gas incoloro con un olor bastante penetrante que proviene de la combustión de combustibles fósiles que en su composición contienen azufre, que generalmente son empleados para calefacción, electricidad y motor de los autos.

2.7 Efectos de la contaminación.

La contaminación del aire es un problema ambiental que afecta a todas las propiedades biológicas de un ecosistema. Según la Norma de Calidad de Aire Ambiente-NCAA, (MAE, 2012) define a la contaminación atmosférica como: cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

Para Ramírez (2011), Las principales sustancias que el ser humano emite a la atmósfera son gases nocivos y partículas sólidas o líquidas. Los gases emitidos son principalmente óxidos de nitrógeno y de azufre que provocan la lluvia ácida. Los Clorofluorocarbonos (CFCs) presentes en sistemas de refrigeración, frigoríficos y aerosoles destruyen la capa de ozono de la ionosfera. El metano y el dióxido de carbono alteran el efecto invernadero natural de la atmósfera. Una elevada concentración de estos gases impide la salida de la radiación infrarroja con el consiguiente aumento del efecto invernadero favoreciendo así el cambio climático.

La contaminación produce sobre los seres humanos y animales: bronquitis crónica, catarros y dificultades respiratorias, cansancio y cefaleas, irritación de los ojos y mucosas, afecta a la inteligencia de los niños, produce modificaciones genéticas y malformaciones en los fetos. Algunos de estos son cancerígenos. Sobre las plantas producen alteración de diversos mecanismos vitales y daños en las hojas, flor y fruto.

La acción de los contaminantes atmosféricos sobre los materiales causa daños irreparables sobre los objetos y los monumentos de alto valor histórico-artístico bien por la sedimentación de partículas sobre la superficie de estos, afeando su aspecto externo, o por ataque químico al reaccionar el contaminante con la piedra. Otro efecto a tener en cuenta es la corrosión de los metales en puentes y otras estructuras.

2.7 Niveles de contaminación para cada contaminante atmosférico

Algunas partículas provienen de fuentes naturales tales como el rocío del agua de mar, partículas de polen, erupciones volcánicas, así como de materiales arrastrados por los vientos derivados de la erosión del suelo. Generalmente las partículas provenientes de fuentes naturales tienden a ser gruesas (Tituaña, 2019).

Según las características de las partículas las fuentes de emisión de material particulado pueden ser clasificadas en:

- Fuentes primarias: Emiten el material particulado directamente a la atmósfera.

- Fuentes secundarias: Emiten sustancias que forman el material particulado a partir de precursores en la fase gaseosa como consecuencia de procesos físicos y químicos a nivel atmosférico.

Se utilizan para evaluar los efectos en la salud y permiten conocer la carga de mortalidad y morbilidad de los niveles presentes de contaminación del aire (Ver Tabla 1), así como las mejoras de la salud (OMS, 2006)

- Nivel de Alerta: Informar al público, mediante los medios de comunicación, del establecimiento del Nivel de Alerta.

Restringir la circulación de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos.

Estas últimas acciones podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como soplado de hollín, o solicitar a determinadas fuentes fijas no reiniciar un proceso de combustión que se encontrase fuera de operación.

- Nivel de Alarma: Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma.

Restringir, e inclusive prohibir, la circulación de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alarma.

- Nivel de Emergencia: Informar al público del establecimiento del Nivel de Emergencia.

Prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia.

Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental.

Tabla 1
Métodos de medición de contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o carcinogénicos del aire ambiente.

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de Carbono Concentración promedio en ocho horas (µg/m3)	15000	30000	40000
Ozono Concentración promedio en ocho horas (µg/m3)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora (µg/m3)	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas (µg/m3)	200	1000	1800
Material particulado PM 10 Concentración en veinticuatro horas (µg/m3)	250	400	500
Material Particulado PM 2,5 Concentración en veinticuatro horas (µg/m3)	150	250	350

Fuente: OMS. 2006; Elaborado por: Autores.

2.8 Concentraciones máximas permitidas en el Ecuador

La Autoridad Ambiental Nacional establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas de los siguientes contaminantes establecidas en la Norma de Calidad de Aire Ambiente (NCAA):

- Material Particulado sedimentable (MPS). - La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado (1 mg/cm2 x 30 d).

- Material particulado menor a 10 micrones (PM_{10}). - El promedio aritmético de la concentración de PM10 de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 mg/m3).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 mg/m3).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado PM10 cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un periodo anual en cualquier estación monitora sea mayor o igual a (100 mg/m3).

- Material particulado menor a 2,5 micrones ($PM_{2,5}$). - El promedio aritmético de la concentración de $PM_{2,5}$ de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico (15 mg/m3).

El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 mg/m3).

Se considera sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado $PM_{2.5}$ cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitora sea mayor o igual a (50 mg/m3)

- Dióxido de azufre (SO_2).- La concentración SO_2 en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico (125 mg/m3), la concentración de este contaminante para un periodo de diez minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico (500 mg/m3).

El promedio aritmético de la concentración de SO_2 de todas las muestras en un año no deberá exceder de sesenta microgramos por metro cúbico (60 mg/m3).

- Monóxido de carbono (CO). - La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico (10,000 mg/m3) no más de una vez al año. La concentración máxima en (1) una hora de monóxido de carbono no deberá exceder treinta mil microgramos por metro cúbico (30,000 mg/m3) no más de una vez al año.

- Ozono. -La máxima concentración de ozono, obtenida mediante muestra continua en un período de (8) ocho horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 mg/m3), más de una vez en un año.

- Dióxido de nitrógeno (NO_2). -El promedio aritmético de la concentración de Dióxido de nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico (40 mg/m3). La concentración máxima en (1) una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico (200 mg/m3).

2.9 Monitoreo de la contaminación atmosférica

Son todas las metodologías o técnicas empleadas para muestrear, analizar y procesar las concentraciones de sustancias contaminantes que se encuentran en el aire de manera continua, y se realiza en un lugar determinado durante un periodo de tiempo establecido (Espert, 2004).

De acuerdo con Inche (2004), la realización de un monitoreo atmosférico es importante debido a:

- Los datos obtenidos permiten realizar estudios epidemiológicos, relacionándolos con el número de enfermedades producidas por dichos contaminantes.
- Es necesario para cumplir con la legislación ambiental vigente
- Ayuda a detectar las fuentes de donde proviene la contaminación.
- Permite desarrollar planes de reducción o mitigación de la contaminación.

2.10 Tipos de monitoreos

Las técnicas para muestreo dentro del monitoreo atmosférico, de acuerdo con Inche (2004) pueden ser divididos en cinco tipos genéricos:

- Muestreadores pasivos. - Colectan un contaminante específico por medio de su adsorción y absorción en un sustrato químico seleccionado. Después de su exposición por un apropiado período de muestreo, que varía desde un par de horas hasta un mes, la muestra se regresa al laboratorio, donde se realiza la desorción del contaminante y después se le analiza cuantitativamente. Tienen ventajas de uso ya que son de bajo costo y permite extender muchas unidades para proveer información en cuanto a la distribución espacial de los contaminantes. sin embargo, el tiempo de resolución de esta técnica es limitado. Muy utilizado para determinar la calidad del aire urbano y no se aplica para fuentes fijas.

Existen dos Técnicas que incluyen el análisis de NO2, SO2, NH3, Compuestos Orgánicos Volátiles-COV's, y O3. 1) En puntos fijos de muestreo, para monitorear calidad de aire, especialmente para estudios de fondo y muestreos de amplia cobertura espacial; 2) Exposición personal y estudios epidemiológicos.

- Muestreadores reactivos. - Estos equipos requieren energía eléctrica para bombear el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. Tipos Los muestreadores activos más utilizados actualmente son los burbujeadores acidimétricos para SO2, el método de filtración para PST de la OECD y el método gravimétrico de Altos Volúmenes (High Vol.) para partículas totales y fracción respirable de la EPA. Otros tipos También existen técnicas de muestreos activos disponibles para la mayoría de los contaminantes gaseosos, como el método de Gries- Saltzman para NO2 y el método NBKI (Neutral Buffered Potassium Iodide, Solución amortiguadora neutra de yoduro de potasio) para O3, sin embargo, la mayoría de estas técnicas han sido reemplazadas por analizadores automáticos.

- Monitores automáticos. - El aire muestreado entra en una cámara de reacción donde, ya sea por una propiedad óptica del gas que pueda medirse directamente o por una reacción química que produzca quimiluminiscencia o luz fluorescente, se mide esta luz por medio de un detector que produce una señal eléctrica proporcional a la concentración del contaminante muestreado. Son utilizados para detectar valores máximos de concentraciones de contaminantes y situaciones de alerta para implementar medidas de contingencia. Estos instrumentos se basan en propiedades físicas o químicas del gas que va a ser detectado continuamente, utilizando métodos optoelectrónicos.

- Sensores remotos. - Proporcionan mediciones integradas de multicomponentes a lo largo de una trayectoria específica en la atmósfera (normalmente mayor a 100 m.), y sistemas más complejos, pueden hasta proveer mediciones con rangos de resolución a lo largo de la trayectoria. Se han llegado a detectar por ejemplo hasta 5 ppb de SO2, en un patrón de 1 km. Sistemas móviles pueden proporcionar mapas tridimensionales detallados de concentraciones de contaminantes dentro de un área por un período de tiempo limitado.

- Bioindicadores. - Actualmente se ha mostrado gran interés en el uso de bioindicadores para estimar algunos factores ambientales, entre los que se incluyen la calidad del aire, particularmente en la investigación de sus efectos. El término biomonitoreo, (el cual implica generalmente el uso de plantas para monitorear el aire) cubre una multitud de muy diferentes muestreos y enfoques de análisis con muy diferentes grados de sofisticación y desarrollo

2.11 Material particulado, clasificación y fuentes

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera. Se emiten directamente desde fuentes primarias (partículas primarias) o se forman por la condensación de los contaminantes gaseosos (partículas secundarias). Una vez en el aire, las partículas pueden cambiar en concentración, de tamaño y forma, afectando potencialmente el balance energético de la atmósfera. Las partículas secundarias se forman como consecuencia de la condensación o licuefacción de sus precursores gaseosos, principalmente hidrocarburos, NO_x y SO_2 (Cuenca, 2015).

Los criterios más comunes para clasificar el material particulado son: Según el tipo de fuente generadora: fuentes naturales y fuentes antrópicas; según la naturaleza de las partículas emitidas fuentes primarias y fuentes secundarias (Tituaña, 2019).

Las fuentes antrópicas de contaminación atmosférica por partículas son muy variadas: incluyen procesos industriales de extracción y trasformación, procesos de generación de calor a nivel industrial y doméstico, quema de combustibles fósiles, quema de residuos a campo abierto, actividades de transporte, almacenamiento y traslado de materiales, y vehículos, entre otras (Tituaña, 2019).

Algunas partículas provienen de fuentes naturales tales como el rocío del agua de mar, partículas de polen, erupciones volcánicas, así como de materiales arrastrados por los vientos derivados de la erosión del suelo. Generalmente las partículas provenientes de fuentes naturales tienden a ser gruesas (Tituaña, 2019).

Según las características de las partículas las fuentes de emisión de material particulado pueden ser clasificadas en:

- Fuentes primarias: Emiten el material particulado directamente a la atmósfera.
- Fuentes secundarias: Emiten sustancias que forman el material particulado a partir de precursores en la fase gaseosa como consecuencia de procesos físicos y químicos a nivel atmosférico.

2.12 Marco legal

Para el Marco Legal del estudio, se analizaron 5 leyes/códigos/acuerdos que rigen el cuidado del recurso aire a nivel nacional (Tabla 2).

Tabla 2
Marco Legal en relación con el cuidado y control del componente aire.

Ley/Código/Acuerdo	Artículos/Anexos	Fecha	Institución responsable
Constitución de la República del Ecuador	Art. 14, Art. 276	R.O. No. 449 del 20 de octubre de 2008.	Ministerio del Ambiente y Agua
Código Orgánico Del Ambiente	Art 27, Art 191, Anexo 3	R.O. Edición Especial No. 387 - Miércoles 4 de noviembre de 2015.	Ministerio del Ambiente y Agua
Código Orgánico Integral Penal	Art. 253	Registro Oficial N.º 180 -- Lunes 10 de febrero de 2014	Ministerio del Ambiente y Agua
Ley Orgánica de la Salud	Art. 7.	Registro Oficial Suplemento 423 del 22 de diciembre de 2006. Ultima modificación: 18 de diciembre de 2015 Estado: Reformado	Ministerio de Salud Pública-Ministerio del Ambiente y Agua
Acuerdo Ministerial 061	Art 52, Art 219,	Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril de 2017	Ministerio del Ambiente y Agua
Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa	Norma de calidad de Aire Ambiente	Registro Oficial 387 Año III, Suscrito el 30 de julio de 2015	Ministerio del Ambiente y Agua

Fuente: CRE, 2008; COA,2017; COIP, 2014; Ley Orgánica de la Salud, 2015; MAE, 2017; MAE, 2015. Elaborado por: Autores

Capítulo 3. Metodología de la investigación

3.1 Localización.

El presente proyecto se encuentra ubicado en la cabecera cantonal de Puyo del cantón Pastaza, con una población de 36,659 habitantes y su extensión es de 96.65 km^2 (GADP Pastaza, 2015) se encuentra a una altitud de 950 m.s.n.m. Sus coordenadas son: 17M 833618.60 m E 9835052.02 m S (Figura 1). Posee una temperatura media de 21.60°C, una precipitación anual de 4524.7 mm^3/año, los vientos alisios circulan entre los trópicos, desde los 30°-35°de latitud hacia el Ecuador.



Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Puyo. Indica la extensión del área de estudio, así como la localización de las estaciones de monitoreo pasivo. Elaborado por los autores mediante la utilización de programa ARCGIS 10.3.

3.2 Tipo de investigación.

El presente estudio corresponde al siguiente diseño de investigación:

- Diseño Descriptivo cuantitativo. - Debido a que únicamente se compararan los datos obtenidas del Proyecto de calidad de aire de la consultora Verdevida con los parámetros máximos de la Normativa Ecuatoriana.

- Exploratoria cualitativa – Documental. - Debido a que se analizará un reducido número de muestras pasivas de calidad de aire obtenidas por la consultora.

3.3 Metodología de la investigación.

Se solicitó al represente de la consultora Verdevida (Anexo 1), los datos que se obtuvieron en cinco puntos ubicados en la ciudad de Puyo de acuerdo a la distribución territorial y poblacional, los cuales fueron obtenidos por estaciones de monitoreo pasivos (Figura 1) que estuvieron expuestas al ambiente por un lapso de 30 días durante un periodo de 10 meses que inicio desde mayo de 2019 hasta febrero de 2020. La selección de las estaciones por parte de la consultora fue realizada en base a criterios de densidad poblacional, densidad edificada, flujo vehicular y características de la capa de rodadura de las vías, a partir de ello fueron identificados 5 sectores urbanos para la toma de muestras detalladas en la Tabla 3.

Tabla 3
Ubicación de las estaciones de monitoreo.

N° Punto	Sector	Coordenada UTM	
		X	Y
1	Centro de la ciudad	17 M 833806.97	833806.97
2	La Merced	18 M 167415.40	9834652.51
3	El Obrero	17 M 833795.44	9836307.42
4	Picolino	17 M 832341.02	9834374.29
5	Universidad Estatal Amazónica (UEA)	18 M 166440.46	9837595.35

Fuente: Verdevida; Elaborado: Autores

La metodología utilizada por la consultora para obtener los valores de MPS consistió mediante la técnica de método gravímetro mediante captación de partículas en envases abiertos, para cual se utilizó recipientes cilíndricos de 45 cm de alto con un diámetro de 15 cm, recubiertos de una malla con una abertura a < 23 cm. Estos recipientes se colocaron sobre estaciones a una altura de 2.5 m alejados de muros, edificios, árboles u otras estructuras (Anexo 2).

Los valores de cantidad de material particulado sedimentable fueron obtenidos en el laboratorio mediante el trastorno, pesado inicial, secado (a 150° C en una estufa) y pesado final del contenido que se obtuvo en cada recipiente (Anexo 3).

Los valores se corrigieron de acuerdo con las condiciones de la localidad en que se efectuó las mediciones, para lo cual se utilizará la ecuación que establece la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire Ambiental (NCAA, 2012). (Ecuación 1):

$$\boldsymbol{Cc} = Co * \frac{760 mmHg}{Pbl mmHg} * \frac{(273 + t°C)°K}{298°K}$$

(1)

Donde:
Cc: concentración corregida

Co: concentración observada

Pbl: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

T°C: temperatura local, en grados centígrados

Pbl: 1012.4 mmHg

TºC: 21,6 ºC

Capítulo 4. Resultados

Se obtuvieron los resultados del laboratorio entregados por la consultora Verdevida donde se muestran 50 valores que hacen referencia a las Concentraciones Observables (Co) de cada uno de los sitios de muestreo. (Tabla 4).

Tabla 4

Valores de concentración observada en gramos de MPS, obtenidas en el Laboratorio durante el período mayo 2019-febrero 2020.

Fecha	UEA	EL OBRERO	PICOLINO	CENTRO	LA MERCED
may-19	0,0067	0,0069	0,016	0,0047	0,0098
jun-19	0,0062	0,0086	0,011	0,0057	0,0199
jul-19	0,0098	0,0078	0,0032	0,0205	0,0107
ago-19	0,0148	0,0267	0,0073	0,0089	0,0023
sep-19	0,0069	0,0974	0,0213	0,0765	0,0358
oct-19	0,0274	0,0064	0,0206	0,0019	0,0023
nov-19	0,0249	0,0355	0,658	0,0127	0,0013
dic-19	0,0058	0,0022	0,0105	0,0016	0,0081
ene-20	0,0147	0,0332	0,0158	0,0183	0,0229
feb-20	0,0097	0,0082	0,0156	0,0066	0,0006

Fuente: Verdevida. Elaborado por: Autores

Estos datos fueron corregidos y ajustados con la Ecuación 1 (Anexo 4), obteniendo los valores de Concentración Corregida de MPS (Cc) que se muestran en la Tabla 5, donde se puede observar que el mes que presentó mayor concentración fue noviembre de 2019 en el punto de "El Picolino" con un valor de 0.09258 mg/cm^2 y el mes que presentó menor concentración fue el mes de febrero de 2020 en el punto "La Merced" con un valor de 0.000084 mg/cm^2. En cuanto a los valores medios en los meses de estudio el punto "Picolino fue el que presentó mayor concentración con un valor de 0.01096 mg/cm^2 y el punto con menor concentración fue "La Merced" con 0.00159 mg/cm^2 (Figura 2)

Tabla 5

Valores de concentración de MPS en 30 días, durante el período mayo 2019-febrero 2020, en los diferentes sitios de muestreo de la cabecera cantonal Puyo.

Fecha	UEA		EL OBRERO		PICOLINO		CENTRO		LA MERCED	
	Co mg/cm2	**Cc** mg/cm2	**Co** mg/cm2	**Cc** mg/cm2	**Co** mg/cm2	**Cc** mg/cm2	**Co** mg/cm2	**Cc** mg/cm2	**Co** mg/cm2	**Cc** mg/cm2
may-19	0.00122	0.00094	0.00126	0.000971	0.00292	0.00225	0.0009	0.00066	0.0018	0.001379
jun-19	0.00113	0.00087	0.00157	0.00121	0.00201	0.00155	0.001	0.0008	0.0036	0.0028
jul-19	0.00179	0.00138	0.00143	0.001097	0.00058	0.00045	0.0037	0.00288	0.002	0.001506
ago-19	0.0027	0.00208	0.00488	0.003757	0.00133	0.00103	0.0016	0.00125	0.0004	0.000324
sep-19	0.00126	0.00097	0.0178	0.013705	0.00389	0.003	0.014	0.01076	0.0065	0.005037
oct-19	0.00501	0.00386	0.00117	0.000901	0.00376	0.0029	0.0003	0.00027	0.0004	0.000324
nov-19	0.00455	0.0035	0.00649	0.004995	0.12024	0.09258	0.0023	0.00179	0.0002	0.000183
dic-19	0.00106	0.00082	0.0004	0.00031	0.00192	0.00148	0.0003	0.00023	0.0015	0.00114
ene-20	0.00269	0.00207	0.00607	0.004671	0.00289	0.00222	0.0033	0.00257	0.0042	0.003222
feb-20	0.00177	0.00136	0.0015	0.001154	0.00285	0.00219	0.0012	0.00093	0.0001	8,44E-05
Med	**0.0023**	**0.0018**	**0.0043**	**0.0033**	**0.0142**	**0.01096**	**0.0029**	**0.0022**	**0.0021**	**0.00159**
Desvesta	0.0014	0.0011	0.0053	0.0040	0.0373	0.0287	0.0041	0.0031	0.0021	0.00159

Fuente: Verdevida; Elaborado por: Autores

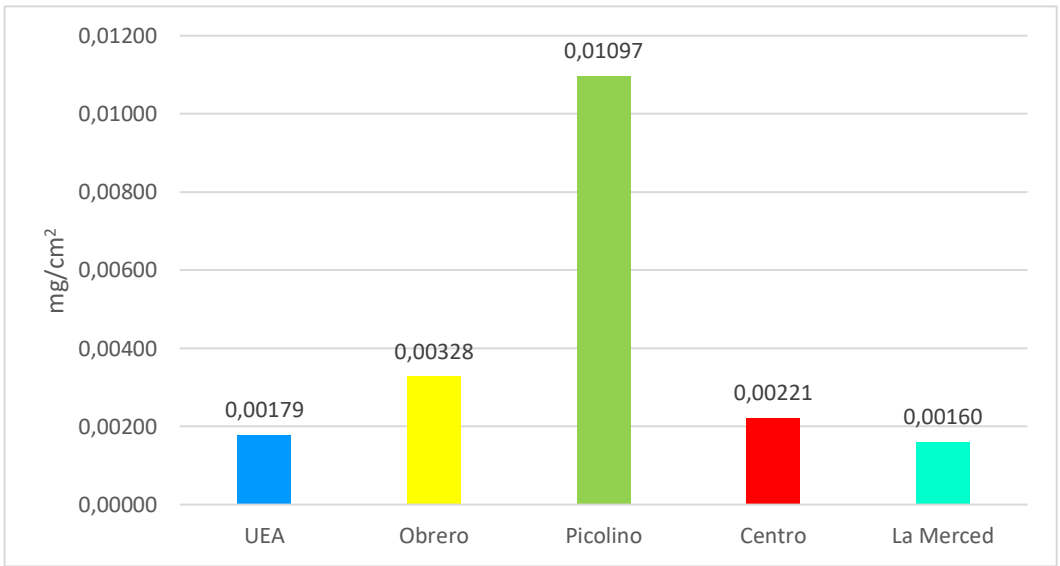


Figura 2. Concentraciones medias de MPS en los diferentes puntos de muestreo. Elaborado por los autores mediante la utilización de los valores corregidos.

Para comprender la dinámica del MPS en la ciudad, se realizó la solicitud al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) sobre la información obtenida de la estación M0008 ubicada en el km 45 vía Veracruz del cantón Pastaza sobres los datos meteorológicos de los meses de mayo de 2019 hasta febrero de 2020, cuyos valores se detallan en la Tabla 6, en donde se puede observar que el valor medio de la velocidad de viento es de 1.2 m/s y registrando una velocidad máxima de 62 m/s en el mes de noviembre de 2019. La temperatura media es de 17.2°C registrando una máxima de 18°C en los meses de octubre de 2019 hasta febrero de 2020. La precipitación media es de 423.5 mm registrando una máxima de 589.1 mm registrado en el mes octubre de 2019 y una mínima de 266.5 mm en el mes de septiembre de 2019.

Tabla 6
Valores meteorológicos obtenidos de la estación M0008.

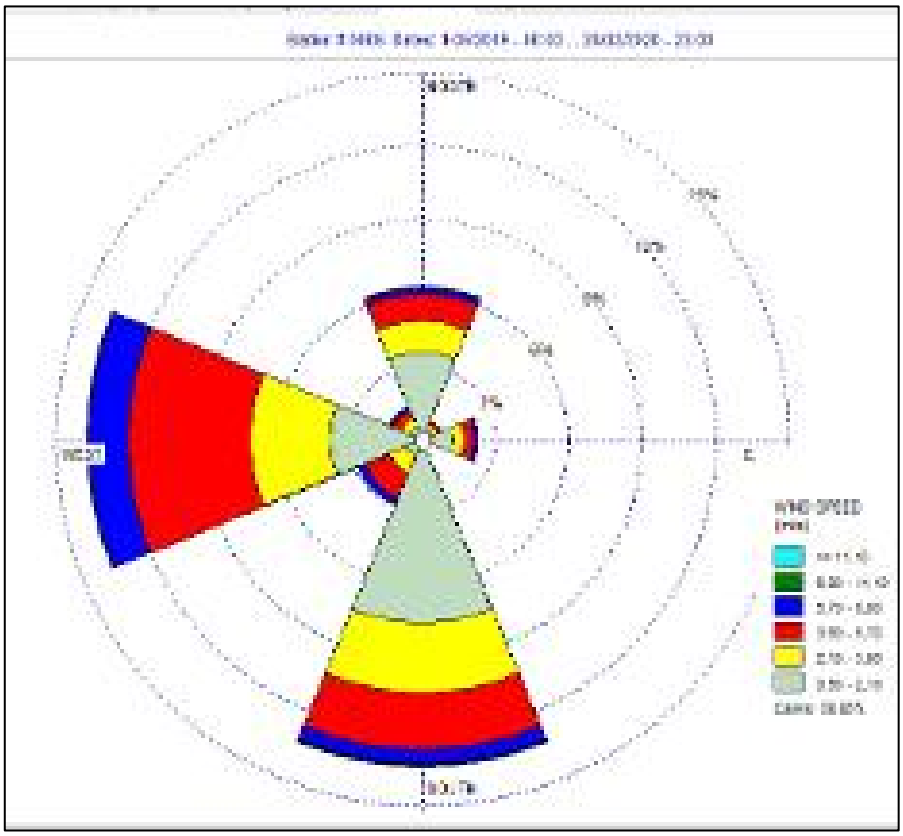
Mes	Velocidad viento (m/s)			Temperatura (°C)	Precipitación (mm)
	min	med	máx.	mensual	mensual
may-19	0,0	1,3	9,0	15	303,4
jun-19	0,0	1,1	14,1	16	425,2
jul-19	0,0	1,1	9,5	17	378,3
ago-19	0,0	1,3	12,6	17	285
sep-19	0,0	1,5	13,4	17	266,5
oct-19	0,0	1,3	9,0	18	589,1
nov-19	0,0	1,2	62,0	18	484,4
dic-19	0,0	1,0	9,1	18	545,3
ene-20	0,0	1,1	6,6	18	422,2
feb-20	0,0	1,1	6,6	18	535,9
Media	**0,0**	**1,2**	**15,2**	**17,2**	**423,5**

Fuente: INAMHI; Elaborado por: Autores

Se utilizaron los datos totales de cada mes de para conocer tendencia de la dirección del viento (Anexo 5), mediante la aplicación del Programa WRPLOT 8.0.2. Por defecto, las gráficas del Wind Rose que se obtiene del programa señalan el origen de la dirección de viento, pero para interpretar la dispersión de contaminantes, se realizó el cambio de las gráficas para que indique hacia donde se dirige el viento y de esa manera interpretar la dispersión del MPS en la zona de estudio.

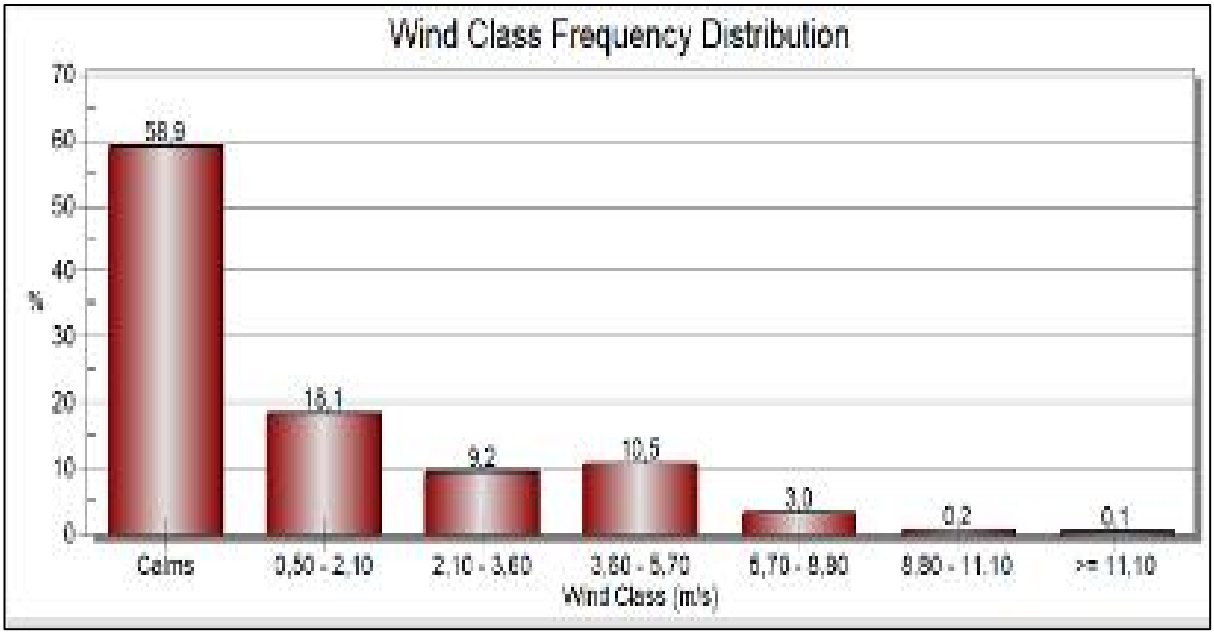
Se analizaron 7296 datos (Anexo 6) durante el periodo de estudio, los cuales indican dos flujos de aire predominantes en la cabecera cantonal de Puyo, el primero que tiene una dirección que va hacia el Oeste y otro que tiene una dirección que va hacia el Sur, siendo la

tendencia de dirección Suroeste (Figura 3). En cuanto a los porcentajes de la velocidad del viento, existe una tendencia a la calma ya que las velocidades más frecuentes que se registraron van desde 0.0 m/s a 5.7 m/s (Figura 4).



Fuente: INHAMI. Elaborado por: Autores

Figura 3. Dirección del Viento en la cabecera cantonal Puyo para el período mayo 2019-febrero 2020. Elaborado por los autores mediante la utilización del programa WRPLOT 8.0.2

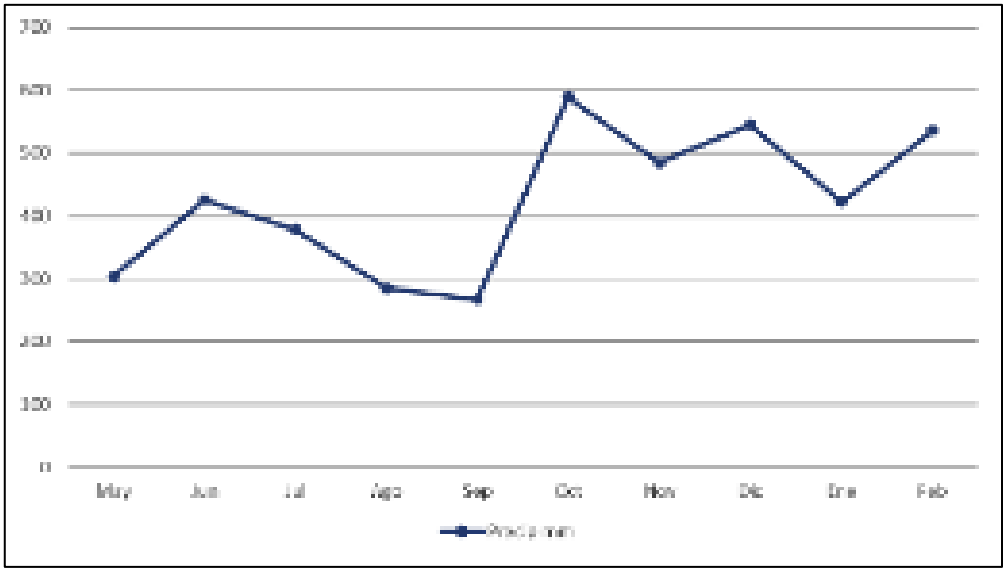


Fuente: INAMHI. Elaborado por: Autores

Figura 4. Porcentaje de velocidades de viento para el período mayo 2019-febrero 2020. Elaborado por los autores mediante la utilización del programa WRPLOT 8.0.2

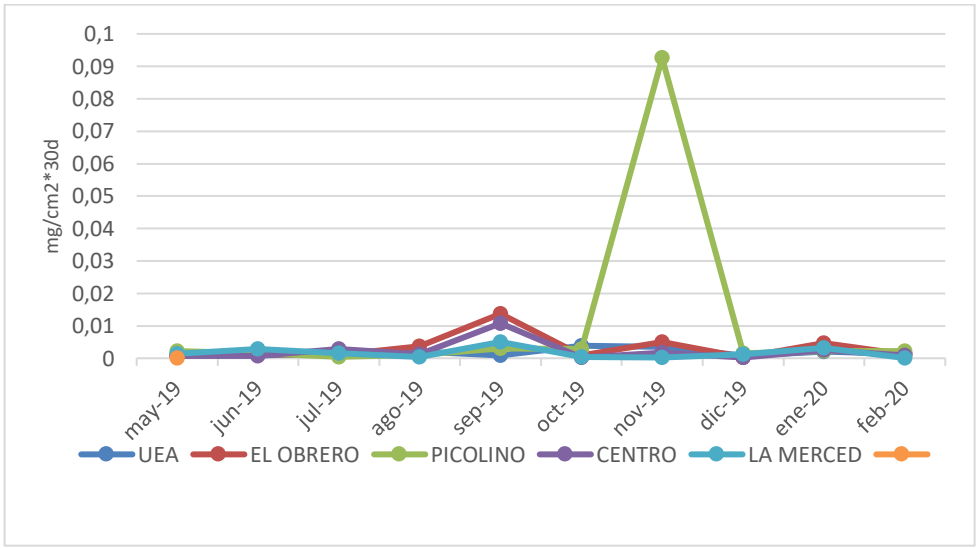
Sobre el análisis de valores medios de precipitación en los meses de estudio, indica la mayor cantidad de lluvias distribuidas en 5 meses, siento el registro más alto en el mes de octubre de 2019 con valor de 589.1 mm y el más bajo en el mes de septiembre de 2019 con un valor de 266.5 (Figura 5)

El análisis de la concentración de MPS durante el período mayo 2019-febrero 2020, indica tres valores significativos, siendo el Punto 4 del sector "El Picolino" el que presenta mayor concentración, con un valor de 0.092 mg/cm^2*30d registrado en el mes de noviembre de 2019, los otros dos valores menos representativos se registraron en el mes de septiembre de 2019 en los puntos de "El Obrero" y "El Centro" con valores de 0.0137 y 0.0107 mg/cm^2*30d respectivamente. El resto de concentraciones en los diferentes puntos y meses presentan valores menores a 0.015 mg/cm^2*30d (Figura 6).



Fuente: Verdevida. Elaborado por: Autores

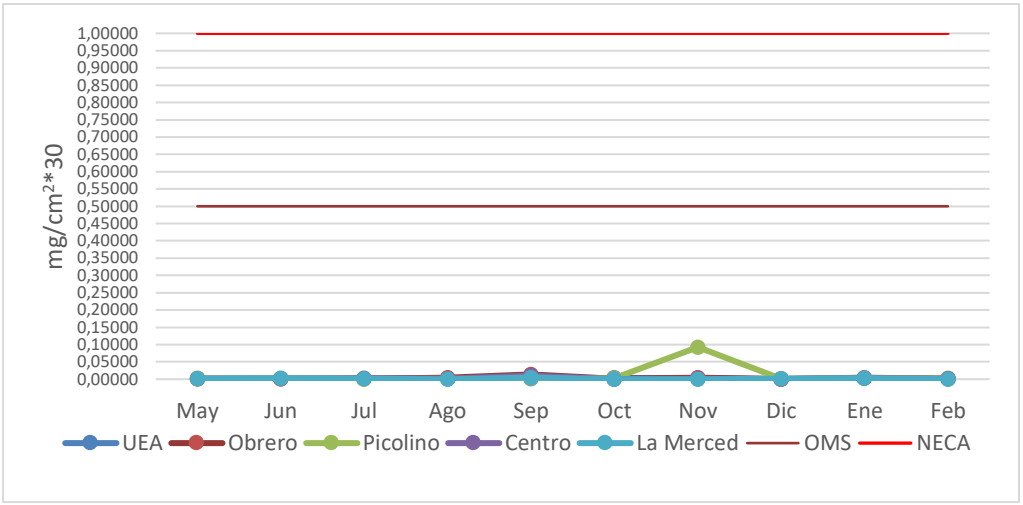
Figura 5. Cantidad de precipitación durante en la cabecera cantonal Puyo para el período mayo 2019-febrero 2020. Elaborado por los autores mediante la utilización de los datos recopilados de la Estación meteorológica de 0008 del INHAMI



Fuente: Verdevida. Elaborado por: Autores

Figura 6. Valores de concentración de MPS durante el período mayo 2019-febrero 2020. Elaborado por los autores mediante la utilización de los valores corregidos

Los valores obtenidos de MPS en los meses de estudio, al compararse con los parámetros máximos permitidos de la OMS (cuya concentración mensual es de 0.5 mg/cm^2*30) y la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (cuya concentración mensual es de 1 mg/cm^2*30) indican que todos los puntos se encuentran por debajo de los valores establecido en la normativa de control (Figura 7)



Fuente: Verdevida. Elaborado por: Autores

Figura 7. Comparación de los valores de MPS en relación con los parámetros máximos permisibles de la OMS y NCAA. Elaborado por los autores

Para tener una idea de la cantidad de fuentes móviles en la ciudad, se determinó la cantidad aproximada de vehículos, utilizando los datos Salazar F. (2011) complementados con las frecuencias de buses (urbanos, parroquiales y provinciales) y los análisis de porcentaje de circulación vehicular hecha por Instituto de la Ciudad del DMQ (2018), que se detalla a continuación:

Se utilizó la fórmula establecido por Salazar (2011), sobre la proyección del volumen del tráfico (TF) (Ecuación 2) y cantidad de vehículos determinados que circulan en un día (inventario realizado desde las 08:00 a 18:00) por un sector.

TF= TA (1+i)^n

(2)

Donde:

TA= Tráfico actual, es la cantidad de vehículos que circulan (siendo 6890)

i=Tasa de crecimiento; i (livianos) = 4%, i(buses) = 3.5%), i(pesados) = 5%)

n = Período de proyección expresado en años (8 años).

TF livianos= $6890\ (1+0{,}04)^{8}= 9429$

TF pesados= $6890\ (1+0{,}05)^{8}= 680$

La obtención del TF de buses, se utilizó las frecuencias de las unidades de cada una de las cooperativas de transporte urbano, parroquial e interprovincial del cantón (Anexo 7), determinando 1156 unidades que circulan actualmente por las vías internas y periféricas de la ciudad.

Con los datos obtenidos de TF se obtuvo el Volumen del tráfico promedio (TPDA)= TF livianos+ TF buses+ TF pesados

TDPDA= 6890+1156+680= 11265 vehículos que transitan por día.

Para determinar el porcentaje de circulación por los diferentes sectores de la ciudad del Puyo, se utilizó los porcentajes y categorías establecidos Instituto de la Ciudad del DMQ, siendo: 90% de circulación en el centro de la ciudad; 7% en los barrios y 3% en las vías de acceso, por lo tanto, la circulación vehicular para los tres sectores del Puyo sería: Centro de la ciudad con 10138 unidades, en los Barrios con 789 unidades y para las Vías de acceso con 338 unidades.

Se realizó una comparación de la cantidad de vehículos que circulan por las diferentes rutas en relación con los 5 puntos de muestreo (Tabla 7), determinando que el punto 4 “El Picolino” posee mayor circulación vehicular con 678 unidades, seguido del punto 1 “El Centro con 583 unidades, el punto 2 “La Merced” con 446 vehículos, el punto 3 “El Obrero” con 412 y finalmente el punto 5 “UEA” con 281 vehículos.

Tabla 7

Relación del flujo vehicular por los diferentes puntos de muestreo.

Livianos			Buses			Pesados		
# vehículos	Ruta	Puntos	# vehículos	Ruta	Puntos	# vehículos	Rutas	Puntos
			8	Puyo - El Rosal - Simón Bolívar	P1			
			52	Centro de Puyo - Arbolito	P1			
			52	Barrio Cumandá - Centro de Puyo	P1, P3			
			52	Redondel - Centro de Puyo	P1, P3, P5			
			8	Puyo - Llandia	P1, P3			
			17	Puyo-Arajuno	P2			
			8	Puyo - Km 16 Vía a Macas	P2			
			14	Puyo-Canelos	P2			
			8	Puyo-Pomona	P2			
			6	Puyo - Cabeceras del Bobonaza	P2			
			8	Puyo - Veracruz	P2			
			111	Veracruz - Barrio El Recreo	P2			
			32	Puyo-Macas	P2			
			8	Puyo - Km 16 Vía a Macas	P2			
	Vías de la ciudad	P1, P2, P3, P4, P5	111	Barrio El Recreo - Los Ángeles	P1, P2, P3		Vías de la ciudad	P1, P2, P3, P4, P5
9429			111	Colegio Milenio - Barrio Obrero	P1, P2	680		
			12	Puyo-Ambato	P4			
			12	Puyo (Sur)-Quito	P4			
			12	Puyo-Riobamba	P4			
			237	Puyo-Shell	P4			
			30	Puyo-Mera	P4			
			6	Puyo - Madre Tierra - Shell	P4			
			6	Puyo - Madre Tierra - Santa Ana	P4			
			6	Puyo - Encañada - Santa Ana	P2, P4			
			6	Puyo - Encañada - Puyupungo	P2, P5			
			8	Puyo - Santa Clara	P5			
			18	Puyo-Quito	P5			
			8	Puyo - Tnte. Hugo Ortíz	P5			
			8	Puyo - Tnte. Hugo Ortíz - Alishungo	P1, P3, P5			
			70	Fátima - Barrio Santo Domingo	P1, P3, P5			
			111	Plaza Aray - Barrio Obrero	P1, P3, P5			
Cantidad Total de unidades vehiculares que circulan por día= 11265								

Fuente:DMQ. Elaborado por: Autores

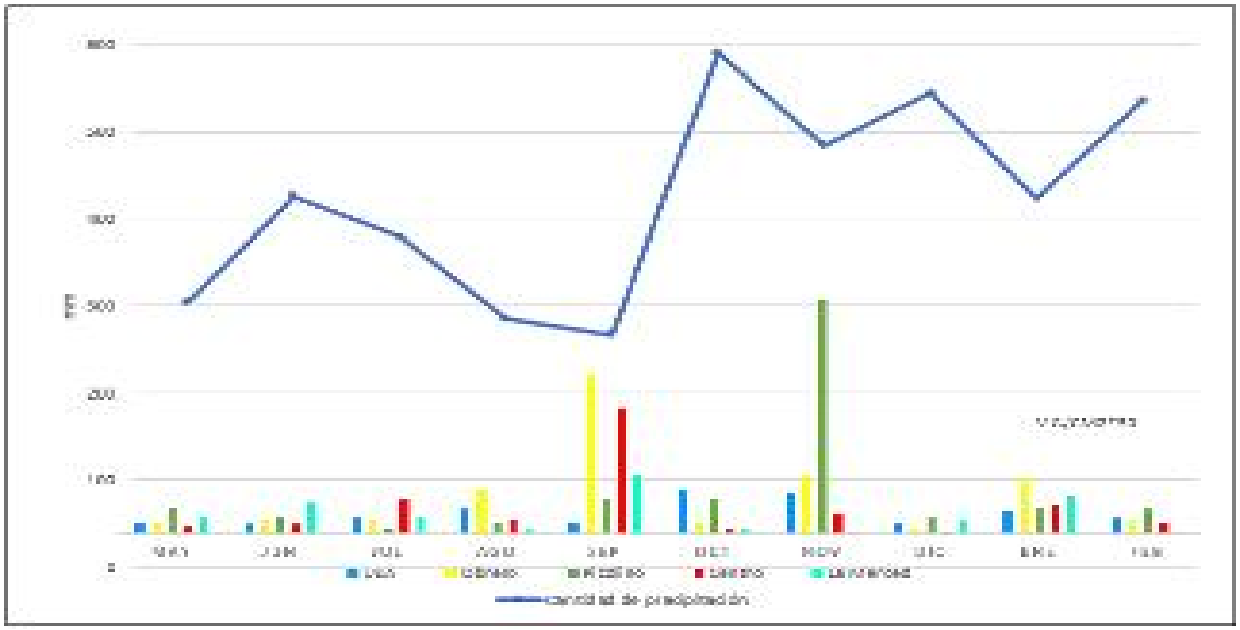
Como se observa en la Imagen 5 y Tabla 7, todos los puntos presentan concentraciones muy bajas a pesar de que la ciudad posee un parque automotor donde circulan aproximadamente 11265 vehículos diarios, por tal razón, se procedió a realizar un análisis de los factores que posiblemente incidan con los valores de concentración.

Relación de la concentración de MPS con los factores de Lluvia y viento

Existe una fuerte relación entre la cantidad y frecuencia de precipitación que existe en un sector con las concentraciones de MPS, ya que los meses que muestran mayor cantidad de lluvias suelen presentar menor concentración de MPS debido a que las gotas de agua ejercen un efecto de limpieza de partículas suspendidas en el aire, depositándolas en el suelo, evitando su resuspensión (IHOBE, 2006).

El boletín climatológico Mensual del INAMHI (2020), menciona que la cabecera cantonal del Puyo es la ciudad del Ecuador con la máxima cantidad de precipitación, presentando una variable de 24 días de lluvia al mes, acumulando 459 mm de agua.

Por este motivo se puede observar en la Figura 8, cómo incide la cantidad de precipitación en la cabecera cantonal de Puyo en relación a las concentraciones mínimas de MPS durante el período mayo 2019- febrero 2020, en donde los meses con menor cantidad de precipitación (de mayo a setiembre de 2019) son los que presentan mayor concentración, al contrario de los meses con mayor precipitación (octubre de 2019 a febrero de 2020) que presentan menor concentración, a excepción del sector de “El Picolino” en el mes de noviembre, que presenta la mayor concentración de MPS (0,092 mg/cm^2*30d) durante el periodo de análisis.



Fuente: INAMHI, Verdevida. Elaborado por: Autores

Figura 8. Relación de la concentración de MPS con los factores de Lluvia. Elaborado por los autores mediante la comparación de los valores de precipitación de la estación M0008 del INAMHI con las concentraciones corregidas durante el período de estudio.

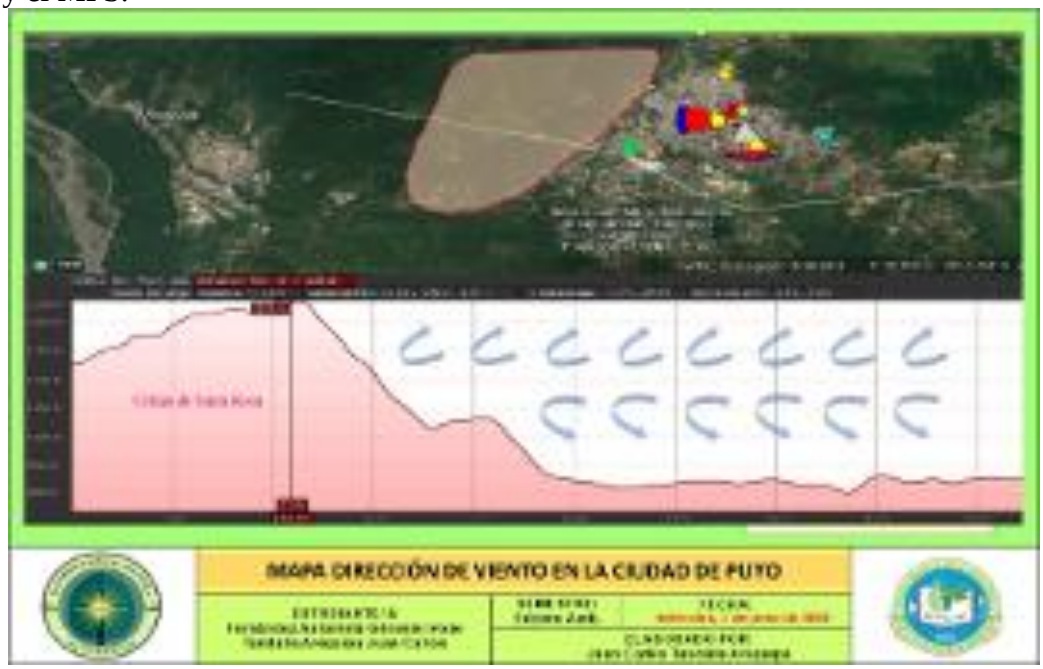
Hidalgo, J. (2015) menciona la existencia de una relación inversa entre la velocidad del viento con las concentraciones de material particulado, es decir que, si hay un aumento de las concentraciones de material particulado, se asociará con la presencia de un viento débil o viceversa.

Frente a esta relación, la ciudad del Puyo presenta una velocidad de viento promedio de 1.2 m/s y una dirección que va hacia el Suroeste, por lo que el MPS disperso en el aire es arrastrado desde la parte Noreste de la ciudad (Figura 9). Este trayecto de aire es retenido por una elevación geográfica (Colina de Santa Rosa, altitud aproximada de 1250 m.s.n.m.) ubicado al costado Oeste de la ciudad (Figura 10), por lo que, en el sector Suroeste de la ciudad se produciría el mayor depósito de material y por consecuencia el punto 3 registra la mayor concentración de MPS.



Fuente: INAMHI, IGM. Elaborado por: Autores

Figura 9. Dirección de viento en la ciudad de Puyo. Elaborado por los autores mediante la utilización de los programas ARGIS 10.3 y WIRPLOT, para determinar la dirección del viento y el MPS.



Fuente: INAMHI, IGM. Elaborado por: Autores

Figura 10. Retención de MPS por barreras geográficas en la ciudad de Puyo. Elaborado por los autores mediante la utilización de los programas ARGIS 10.3 y WIRPLOT.

4.1 Propuesta de Mitigación de Material Particulado para la ciudad de Puyo

Si bien la cabecera cantonal de Puyo presenta una concentración muy baja de MPS, debido a las características geográficas y meteorológicas, estos valores podrían incrementarse afectando a la calidad de aire de la ciudad, lo que provocaría en la población, un aumento de enfermedades relacionadas con afecciones al sistema respiratorio, por tal razón, el presente estudio presenta las siguientes propuestas:

Propuesta 1. Mitigar las fuentes de material Particulado

- ✓ **Actividad 1. Identificar las áreas sin cobertura vegetal**

Consiste en realizar un levantamiento de información de las áreas que presentan suelo desnudo para iniciar actividades de recuperación de suelo (Figura 11) y ser lugares designados para la reforestación o también para la creación de parques lineales.

Responsables: GAD Municipalidad de Pastaza, GAD Provincial de Ministerio del Ambiente y Agua



Figura 11. Áreas sin cobertura vegetal en diferentes puntos de la cabecera cantonal Puyo. Fotografía obtenida por los autores.

- ✓ **Actividad 2. Cubrir los caminos de tercer orden**

Realizar la identificación de caminos de tercer orden (Figura 12), dando prioridad a los que presentan mayor flujo vehicular, con el fin de asfaltar o adoquinar

Responsables: GAD Municipalidad de Pastaza

Elaborado por los autores mediante la utilización de los valores corregidos



Figura 12. Identificación de caminos de tercer orden existentes en la cabecera cantonal de Puyo. Fotografía capturada por los autores.

Propuesta 2. Identificar la fuentes fijas y móviles que generen MPS

- ✓ **Actividad 1. Elaborar una línea base de las actividades que generen MPS**

Consiste en identificar las actividades que generen MPS ya sea a nivel industrial o artesanal (Figura 13), con lo cual se elaborar un listado y mapa de ubicación.

Responsables: GAD Municipalidad de Pastaza



Figura 13. Identificación fuentes fijas que existen en la cabecera cantonal de Puyo. Tomado de Ecoamazónico (2015) y Pastaza.travel (2019).

- ✓ **Actividad 2. Determinar las zonas, horas y fechas de mayor tráfico vehicular**

Se realizará un estudio de los sectores de ciudad para identificar cuáles son las calles y barrios que poseen mayor tráfico vehicular (Figura 14), así como las horas pico, con lo cual le tendrá una línea base de las zonas que estarían expuestas al incremento de MPS

Responsables: GAD Municipalidad de Pastaza



Figura 14. Identificación de las zona y horas con mayor flujo vehicular. Tomado de Shutterstock (2016).

Propuesta 3. Monitoreo de las fuentes fijas y móviles

- ✓ **Actividad 1. Monitoreo de fuentes fijas**

Consiste en realizar un monitoreo periódico de las actividades industriales o artesanales que generen emisiones. Este monitoreo puede ser mediante muestreadores reactivos o sensores remotos.

Para el caso de las industrias que posean chimeneas, se solicitara a los dueños que presenten los informes periódicos de medición de contaminantes, aplicando conforme a lo establecido en el Acuerdo Ministerial 97-A (MAE, 2015) en el punto 4.6 sobre Métodos de medición de emisiones desde fuentes fijas de emisión.

En el caso de la alguna actividad sobrepase los niveles establecidos con Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire se solicitará a los dueños realizar las medidas necesarias para que su actividad disminuya los niveles de concentración.

Responsables: GAD Municipalidad de Pastaza, MAAE, Empresa pública y Privada

- ✓ **Actividad 2. Monitoreo de fuentes móviles**

Consiste en realizar monitoreos periódicos a los vehículos que son utilizados en el transporte público con el fin de controlar las emisiones que estos puedan generar (Figura 15) ya que diariamente circulan por la ciudad un número aproximado de 1156 vehículos de transporte público (transporte provincial 55 vehículos, transporte cantonal 182, transporte interprovincial 243, transporte urbano 670)

El monitoreo se lo realizará con un Opacímetro y los resultados servirán como requisito para la matriculación y permisos de operación.

Responsables: GAD Municipalidad de Pastaza, Agencia Nacional de Transporte, Empresa Privada



Figura 15. Monitoreo de fuentes móviles. Tomado de EL Telégrafo (2015).

Propuesta 4. Empoderamiento Municipales en cuanto a la calidad de aire

- ✓ **Actividad 1. Implementar un sistema de monitoreo del Cantón Pastaza**

Con el fin de mantener un seguimiento de la calidad del aire, el GAD Municipal de Pastaza deberá implementar un sistema de monitoreo, pudiendo empezar con un sistema pasivo para después implementar un sistema automático además de incluir más parámetros como NO_x, SO_x, CO, O_3 Compuestos Orgánicos volátiles.

Responsables: GAD Municipalidad de Pastaza

- ✓ **Actividad 2. Establecer ordenanzas Municipales**

Con la información obtenida de las estaciones de monitoreo y la dinámica que puedan presentar las concentraciones de los contaminantes, la Municipalidad de Pastaza podrá generar ordenanzas para mitigar las emisiones de los contaminantes, así como acciones en contra de las actividades que las incumplan

Responsables: GAD Municipalidad de Pastaza

Propuesta 5. Educación Ambiental en relación con la calidad de atmosférica

- ✓ **Actividad 1. Capacitación a las empresas y/o comercios que generen contaminación atmosférica**

Una vez generado las ordenanzas municipales, se realizarán talleres de capacitación a los representantes de los diferentes gremios, cámara de comercio y cooperativas de transporte sobre los efectos a la salud que pueden causar los niveles altos de contaminación, así como las medidas que tomará la Municipalidad con lo establecido en la ordenanza.

Conclusiones

Se realizó el análisis de los datos proporcionados por la consultora Verdevida en cuanto a la concentración de Material Particulado Sedimentable obtenidos en 5 sitios de muestreo distribuidos en la cabecera cantonal del Puyo durante el período de 10 meses cuya mayor concentración registrada fue en el sector de "El Picolino" en el mes de noviembre de 2019 con un valor de 0.092 mg/cm^2*30d y la menor cantidad registrada en el sector de la Merced 0.000084 mg/cm^2*30d. Sin embrago estos registros son muy bajos al comprarlos con los parámetros máximos permisibles de la OMS (0.5 mg/cm^2*30d) y la NCAA (1mg/cm^2*30d) por lo que se concluye que la calidad de aire en la cabecera cantonal del Puyo es buena

La baja concentración de MPS en los diferentes puntos está influenciado por los parámetros meteorológicos principalmente por la gran cantidad de precipitación que posee el Puyo, ya que de acuerdo con el informe mensual del 2020 del INAMHI la ciudad presenta una variable de 24 días de lluvia por lo que los sedimentos suspendidos en el aire son arrastrados hasta el suelo por las gotas de agua.

La dirección del viento se origina en el NE y se dirige hacia el SO por tal razón, cierta cantidad de material particulado generado por las emisiones móviles (aproximadamente 11265 vehículos que circulan a diario) o fijas (actividades artesanales y/o industriales), y que no hayan sido arrastrado por la lluvia, son trasladadas hasta la colina de Santa Rosa, por lo que la probabilidad de aumento de concentración de MPS en punto del Picolino sean mayores, además existe la posibilidad de que las emisiones de la planta industrial Arboriente incida en el aumento de MP en este sector.

Se planteó 5 propuestas con 9 actividades que ayudarán a que las cantidades de MPS no sobrepasen los niveles máximos establecidos por la normativa

Recomendaciones

Se recomienda seguir con el análisis de material particulado mensual para mantener un seguimiento de las variaciones que pueden presentar las concentraciones de material particulado

Incluir estaciones de monitoreo pasivo en la colina de Santa Rosa, ya que en este sector es en donde se depositan gran parte del MP que ha sido arrastrado por los vientos.

Incrementar otros parámetros como NOx, SOx, COV's, CO, O_3, para tener una mejor interpretación de la calidad de aire ambiente en la cabecera cantonal del Puyo

Realizar las gestiones necesarias para que la propuesta de mitigación establecidas en este estudio se ejecute.

Referencias

Chuquer, Davis.; Santiago, Ampudia.; Puertas De La Cruz, Carolina.; Leonardo, Bustamante.; Reina, Carlos.; Francisco, Ramírez. (2018). Contaminación del aire a filo de calle en Quito, caso estudio Guayaquil y Espejo. Revista Científica PERFILES. Número 20 Vol. 2

Código Orgánico Integral Penal. (2017).

Constitución de la República del Ecuador (2008). Ciudad Alfaro: Asamblea Constituyente

Cuadrat, Jota. (1997). Climatología. Madrid-España: Catedra S.A, 1997.

Domínguez, Patricio. (2004). Nuestra atmósfera. México-Distrito Federal: Lectorum, 2004.

EcoAmzónico. (2015). Gases a la atmósfera generados por Arboriente causan molestias a los vecinos de El Dorado y Las Palmas. Recuperado de https://ecoamazonico.com/gases-a-la-atmosfera-generados-por-arboriente-causan-molestias-a-los-vecinos-de-el-dorado-y-las-palmas/

El Telégrafo. (2015). Multa de AMT por emisión de gases es de $ 200. Recuperado de https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/1/multa-de-agencia-metropolitana-de-transito-por-emision-de-gases-es-de-200

EMOV EP. (2018). Informe de calidad del aire Cuenca 2018. Alcaldía de Cuenca. Red de Monitoreo EMOV EP. Cuenca-Ecuador. 121 p.

Espert, Vicent; & López, Amparo. (2004). Dispersión de contaminantes en la atmósfera. México-Distrito Federal: Alfaomega, 2004.

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza-GADMP Pastaza. (2010). Datos Estadísticos del Diagnóstico del Componente Socio – Cultural. Consejo de planificación Componente -Socio-Cultural

Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Pastaza-GADMP Pastaza. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Pastaza. Puyo.

Hidalgo Jacqueline. (2015). Episodios de Contaminación por Material Particulado en Curicó y su relación con Variables Meteorológicas. Dirección Meteorológica de Chile Sección de Investigación y Meteorología Aplicada, Oficina de Estudios Meteorológicos.

IHOBE – Sociedad Pública de Gestión Ambiental. (2006). Plan de Acción de calidad del aire en la comarca del Bajo Nervión- Diagnóstico de la contaminación atmosférica

Inche, Jorge. (2004). Gestión de la calidad del aire: Causas, efectos y soluciones. Lima-Perú: Instituto de investigación de Ingeniería industrial-UNMSM.

Instituto de la Ciudad Quito. (2018). La Movilidad Urbana en El Centro Histórico de Quito. Quito: Instituto Metropolitano de Quito, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

Ley Orgánica de la Salud. 2015.

Mayorga, César M.; Ruiz, Mery E.; Aldas, Darwin S. (2020). Percepciones acerca de la contaminación del aire generada por el transporte urbano en Ambato, Ecuador. Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015. Vol. 41 (Nº 17) Año 2020.

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa. Norma de calidad de Aire Ambiente

Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de Normativa, Reforma Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente

Ministerio del Ambiente. (2012). Norma de Calidad del Aire Ambiente-NCAA. Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Libro VI Anexo 4.

Organización Mundial de la Salud-OMS. (2006). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Global update 2005: summary of risk assessment. World Health Organization.

Organización Panamericana de la Salud-OPS. (2018). Contaminación del aire ambiental exterior y en la vivienda: Preguntas frecuentes.

Ortiz, D. (2018). Sistema de monitoreo de contaminación del aire con redes de sensores inalámbricos en tiempo real. Quito, Pichincha, Ecuador

Pastaza.travel (2019). Listado de Servicios. Recuperado de https://pastaza.travel/servicios-turisticos/restaurante-wijao/galeria/#https://pastaza.travel/servicios-turisticos/restaurante-wijao/attachment/g_bijao_01/

Salazar, Franklin. (2011). “La Capa de Rodadura de la Vía Ceslao Marín y su incidencia en el tráfico vehicular de la ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza”. Proyecto de Titulación. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato

Sánchez, M. (2013). Estimación de las Emisiones de PM10 y PM2.5 por Resuspensión Eólica en Ecuador durante el Año 2010. Quito

Shutterstock (2016). Taxi in the downtown streets. Recuperado de https://www.shutterstock.com/es/image-photo/puyo-ecuador-july-26-2016-taxi-467822822

Tituaña, C. (2019). Validación del método para la determinación de material particulado PM10 y PM-2,5 en aire ambiente. Ambato, Tungurahua, Ecuador.

Anexos

Anexo 1. Solicitud de los datos obtenidos en el laboratorio a la consultora Verdevida



Puyo, 15 de junio de 2020

Señores
CONSULTORA VERDE VIDA
Presente,

De nuestra consideración:

Reciban un cordial y afectuoso saludo, a la vez nuestros deseos de éxitos en las labores a usted encomendadas.

Para vuestro conocimiento, nosotros como estudiantes del décimo semestre de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal Amazónica, nos encontramos próximos a desarrollar nuestro proyecto de tesis, para lo cual nos interesa presentar como Tesis: Concentración de Material Particulado Sedimentable en la ciudad de Puyo, parroquia de Pastaza y conocemos que su empresa cuenta con datos de muestreo del parámetro mencionado que han sido monitoreados en la ciudad de Puyo.

Con este antecedente, acudimos hacia ustedes para solicitar de la manera más atenta nos proporcionen los datos recopilados y toda la información necesaria para elaborar nuestro proyecto de tesis.

Con sentimientos de consideración, respeto, estima y en espera de recibir una respuesta positiva a nuestro pedido, nos suscribimos, no sin antes emitir nuestros sinceros agradecimientos.

Atentamente,

Génesis Fernández
ESTUDIANTE UEA

Juan Carlos Tandalla
ESTUDIANTE UEA

Anexo 2: Estaciones de monitoreo pasivo de la consultora Verdevida.



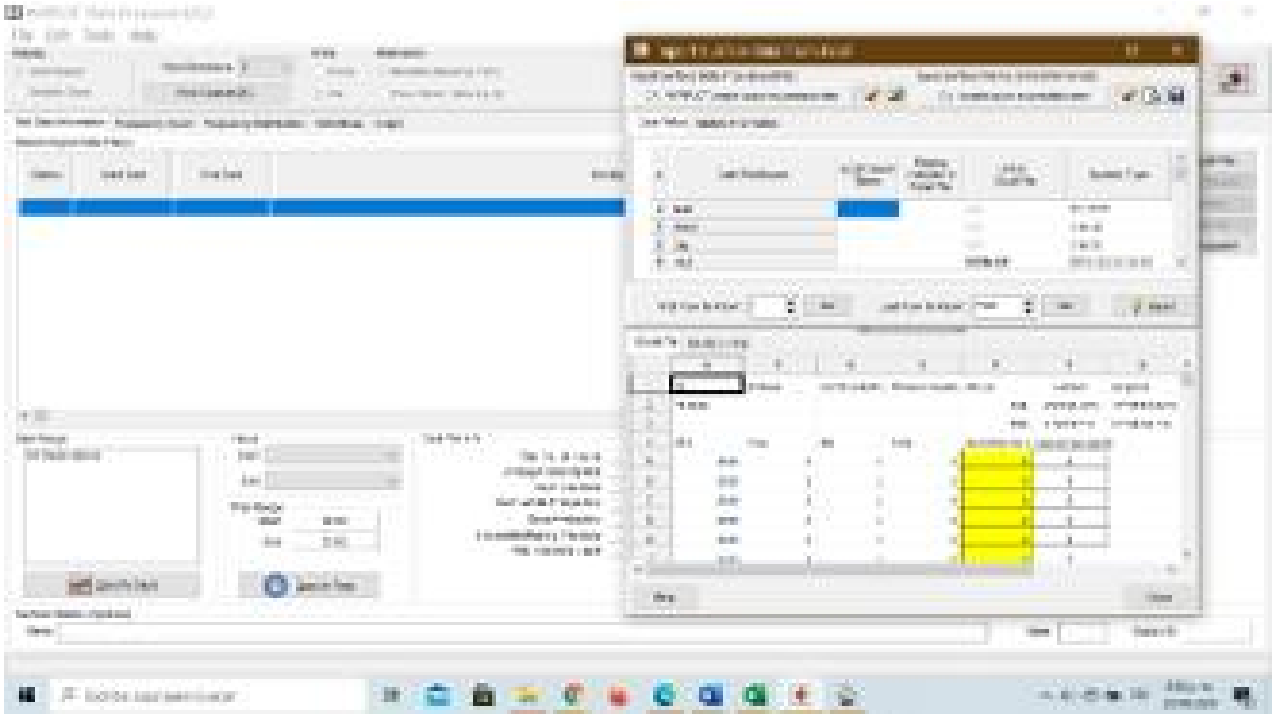
Anexo 3: Tratamiento de las muestras en el laboratorio.



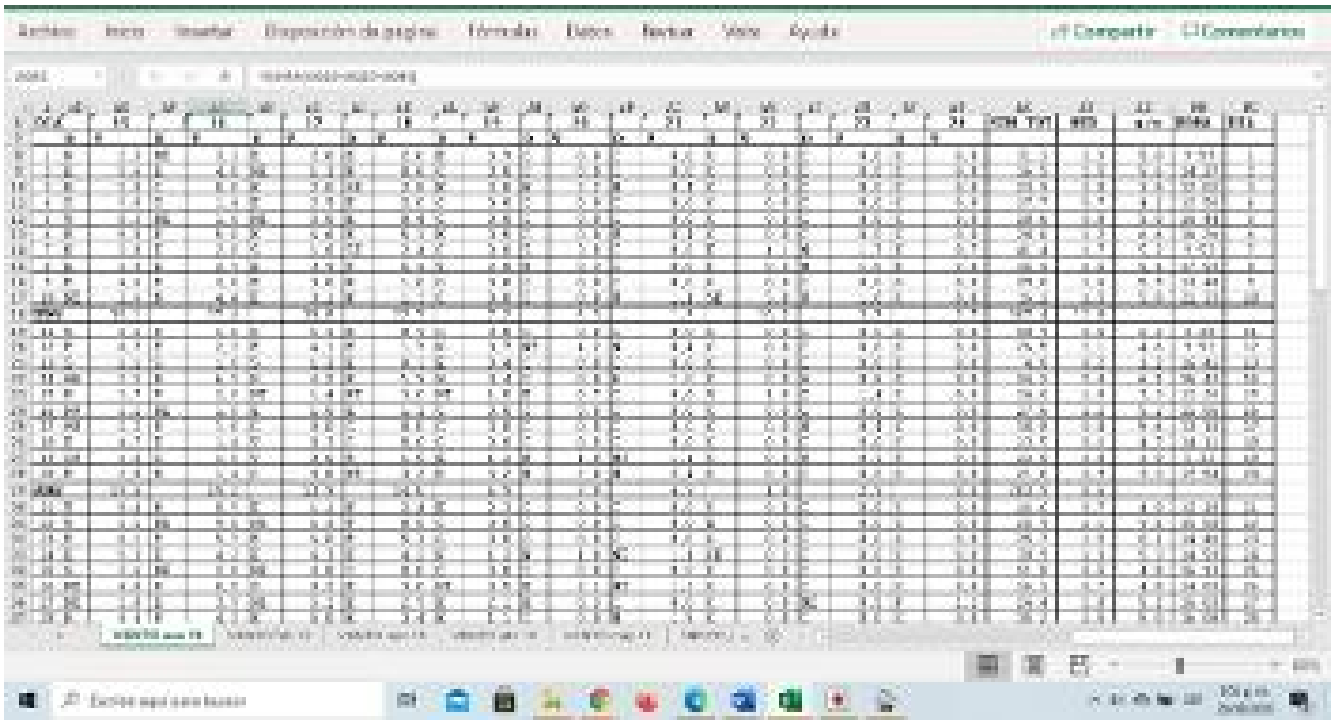
Anexo 4: Análisis de los valores obtenidos del laboratorio.



Anexo 5: Uso del programa WRPLOT



Anexo 6: Datos meteorológicos de la estación M0008



Anexo 7: Frecuencia de transporte urbano en la ciudad del Puyo

