



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

AUTORES:

Mario Antonio Cabrera Miranda

Fabrizio Javier Recalde Hernández

TUTOR:

Ing. Guillermo Gorky Reyes

Análisis ambiental en sectores estratégicos de Quito en los últimos años

QUITO – ECUADOR | 2025

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras familias que siempre estuvieron presentes durante nuestros estudios impulsándonos a ser mejores y demostrando siempre su interés en nuestro progreso además de darnos la guía y ejemplo para nuestra vida personal y profesional.

Agradecemos firmemente a todos nuestros profesores que nos impartieron no solo información para nuestra vida profesional también sus experiencias durante su vida y consejos que llevaremos durante todas nuestras carreras además de impulsarnos a ser mejores en cada una de sus lecciones.

Agradecemos a nuestro tutor el Ingeniero Gorky Reyes por su colaboración y apoyo en el proceso de elaboración del presente artículo además de aportar siempre con nuevas perspectivas en temas de investigación.

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Fabrizio J. Recalde y Mario A. Cabrera**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.

____Mario Antonio Cabrera Mirada____

Mario Antonio Cabrera Miranda

C.I: 1719674523

____Fabrizio Javier Recalde Hernandez____

Fabrizio Javier Recalde Hernández

C.I: 1753423662

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Guillermo Gorky Reyes**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.



Ing. Guillermo Gorky Reyes

Análisis ambiental en sectores estratégicos de Quito en los últimos años

Mario Antonio Cabrera Miranda, Fabricio Javier Recalde Hernández
macabrerami@uide.edu.ec, farecaldehe@uide.edu.ec

Resumen

Durante el 2022 en el Distrito metropolitano de Quito se ha incrementado la cantidad de población hasta llegar a 2,872.351 habitantes y por ende la cantidad de vehículos en circulación provocando mayor contaminación sin embargo existen ciertos sectores de Quito donde el tránsito vehicular es mayor denominados como puntos estratégicos. Este aumento en la contaminación ha llegado a un nivel tan alto que tiene repercusiones en la salud de los peatones que circulan por estos puntos debido a la existencia de hospitales, escuelas, locales, residencias y zonas de trabajo. **Metodología:** Se llevaron a cabo mediciones detalladas de PM2.5, SO₂, CO y O₃ a lo largo del período de estudio, utilizando una metodología analítica descriptiva con enfoque cuantitativo permitió presentar los resultados de las variaciones en la calidad del aire. **Resultados:** Se reveló un aumento leve pero preocupante en PM2.5, mientras que tanto SO₂ como CO se mantuvieron estables, indicando posiblemente estabilidad en las fuentes de emisión o en las políticas de control. La disminución de O₃, aunque inicialmente positiva, requiere una evaluación cuidadosa debido a sus posibles implicaciones para la salud y el medio ambiente. **Conclusión:** Se destaca la importancia de alertar sobre los riesgos asociados al aumento de PM2.5, subrayando la necesidad de vigilancia continua y medidas proactivas para mantener la calidad del aire. Los resultados informan decisiones a residentes y visitantes, abogando por políticas ambientales sostenibles. La investigación destaca la relación entre la calidad del aire y la salud humana, subrayando la importancia de abordar las fuentes de contaminación para proteger la salud pública y promover prácticas sostenibles.

Palabras clave: gases tóxicos, salud humana, calidad del aire, contaminación

Abstract

During 2022 in the Metropolitan District of Quito, the population has increased to reach 2,872.351 inhabitants and therefore the number of vehicles in circulation causing greater pollution, however, there are certain sectors of Quito where vehicular traffic is greater, known as strategic points. This increase in pollution has reached such a high level that it has repercussions on the health of pedestrians who circulate through these points due to the existence of hospitals, schools, premises, residences and work areas. **Methodology:** Detailed measurements of PM2.5, SO₂, CO and O₃ were carried out throughout the study period, using a descriptive analytical methodology with a quantitative approach to present the results of the variations in air quality. **Results:** A slight but worrying increase in PM2.5 was revealed, while both SO₂ and CO remained stable, possibly indicating stability in the emission sources or in the control policies. The decrease in O₃, although initially positive, requires careful assessment due to its potential health and environmental implications. **Conclusion:** The importance of raising awareness of the risks associated with increased PM2.5 is highlighted, underlining the need for continued monitoring and proactive measures to maintain air quality. The results inform decisions for residents and visitors, advocating for sustainable environmental policies. The research highlights the relationship between air quality and human health, underlining the importance of addressing pollution sources to protect public health and promote sustainable practices.

Keywords: toxic gases, human health, air quality, pollution

Introducción

El crecimiento demográfico del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) ha superado 2,872.351 millones de habitantes en los últimos cinco años. Las consecuencias de este crecimiento se reflejan en el aumento de la contaminación del aire debido al aumento exponencial del parque automotor circulante (Quito Como Vamos, 2022). Se puede evidenciar que esta contaminación no mantiene un nivel constante en toda la ciudad, existen zonas específicas donde la concentración de gases contaminantes es superior, estas variaciones a lo largo de la ciudad exigen la importancia de un monitoreo constante que permita identificar las áreas más afectadas e implementar medidas para mitigar la contaminación.

El objetivo del presente trabajo es evaluar estos niveles de contaminación atmosférica en tres áreas clave de Quito: el Valle de los Chillos, Tumbaco y el Centro de la Ciudad. Los objetivos específicos se enfocan en cuantificar las concentraciones de gases tóxicos comúnmente asociados al parque automotor en dichos sectores; en base a un índice de calidad del aire se realiza un análisis de datos históricos y mediciones; y realizar una comparativa de las diferentes variaciones entre máximas y mínimas de los contaminantes a lo largos de los años estudiados. Para este estudio se realizó una investigación bibliográfica sobre las diferentes normativas, mediciones y calidad del aire que rigen a nivel mundial y nacional, estableciendo parámetros cuantitativos de medición.

Marcos (2021) afirma que la calidad del aire es importante para la salud de todo ser vivo, y su evaluación implica la medición de diversos contaminantes atmosféricos como partículas en suspensión, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y monóxido de carbono. La calidad del aire en toda ciudad con las características del DMQ fluctúa depende de su ubicación, la temporada y las actividades humanas, afectando la salud pública y el medio ambiente.

Demostrando lo expuesto, se expone la evolución de la contaminación en Tokio y Santiago de Chile ofrece un importante aprendizaje sobre la gestión ambiental en áreas urbanas. En el caso de Tokio, la transformación de la ciudad más contaminada de los años 70 a una con niveles más bajos de dióxido de carbono en los 90 se atribuye principalmente a cambios en las fuentes de contaminación, que pasaron de ser dominadas por la industria a ser lideradas por vehículos, centrales eléctricas y emisiones industriales. La implementación de la Ley Básica de Control de la Polución Ambiental fue crucial para reducir la densidad de óxido, destacando la importancia de indicadores de medición para monitorear agentes contaminantes y su concentración (Vergara, 2022).

Por otro lado, Santiago de Chile enfrenta desafíos similares debido al tráfico vehicular intenso, la actividad industrial y las condiciones geográficas que propician la acumulación de contaminantes. A pesar de los esfuerzos del gobierno chileno, que incluyen estándares más estrictos para las emisiones vehiculares y la promoción de fuentes de energía más limpias, la ciudad sigue luchando contra la contaminación del aire, especialmente durante los meses de invierno (O’Ryan & Larraguibel, 2020). Ambos casos resaltan la importancia de políticas ambientales efectivas y la necesidad de una acción continua para abordar la calidad del aire en áreas urbanas. La experiencia de Tokio muestra que es posible mejorar la calidad del aire

mediante la implementación de medidas adecuadas, mientras que el caso de Santiago enfatiza la persistencia de los desafíos y la necesidad de seguir innovando y mejorando las políticas ambientales para proteger la salud de los habitantes.

El estudio de Loaiza (2023) confirma la contaminación del aire en Ecuador. Las mediciones realizadas por el Ministerio del Ambiente del Ecuador, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (PAHO), así como los municipios y universidades de las principales ciudades han comprobado que la contaminación sobrepasa los límites permitidos por OMS y la Norma de Calidad del Aire Ecuatoriana. Las causas que lo provocan son todos los vehículos a gasolina o diésel que arrojan partículas finas de ozono, carbón negro y dióxido de nitrógeno. Esta investigación es completa ya que corrobora con investigaciones de organizaciones internacionales que demuestran que el estado de la calidad de aire en Ecuador sumado al cambio climático afecta a la salud violando el derecho de los niños y de la población a vivir en un ambiente sano propicio para el desarrollo como se enuncia en los diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Burgos (2023) realiza una investigación sobre la contaminación del aire en la ciudad de Quito durante el período 2018-2019 y 2020-2021, llegando a la conclusión que durante el segundo período el estado del aire de la ciudad mejoró notablemente debido a las restricciones sanitarias por causa del COVID 19, sin embargo, la condición deseable para el primer período analizado fue del 10% y 20%. Además, se pudo determinar que las parroquias con mayor contaminación son las aledañas a El Camal, mientras que Carapungo, Belisario y Cotacollao; al sur y el Valle de Los Chillos el nivel de contaminación oscila entre Bajo a Muy bajo.

En el DMQ, el monitoreo y control de la calidad del aire es un desafío importante debido a la alta densidad vehicular y la presencia de centros educativos, empresariales y residenciales, que exponen a una gran parte de la población a la contaminación tanto a corto como a largo plazo. Para abordar este problema, es fundamental implementar medidas que reduzcan las emisiones de los vehículos, como la promoción de vehículos eléctricos, el fomento del transporte público eficiente y el diseño de políticas que incentiven el uso compartido de vehículos.

Es necesario mejorar la infraestructura urbana para fomentar medios de transporte más sostenibles, como la construcción de carriles exclusivos para bicicletas y la creación de zonas peatonales. De esta manera, los crecientes flujos vehiculares en las zonas analizadas estarían contribuyendo de manera importante al deterioro de la calidad del aire, siendo la principal fuente de emisiones contaminantes como material particulado, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Teniendo en cuenta la alta densidad residencial, educativa y laboral en estos sectores, un considerable número de personas resultarían vulnerables a padecer problemas respiratorios y cardíacos asociados la exposición de dichos contaminantes.

Marco Teórico

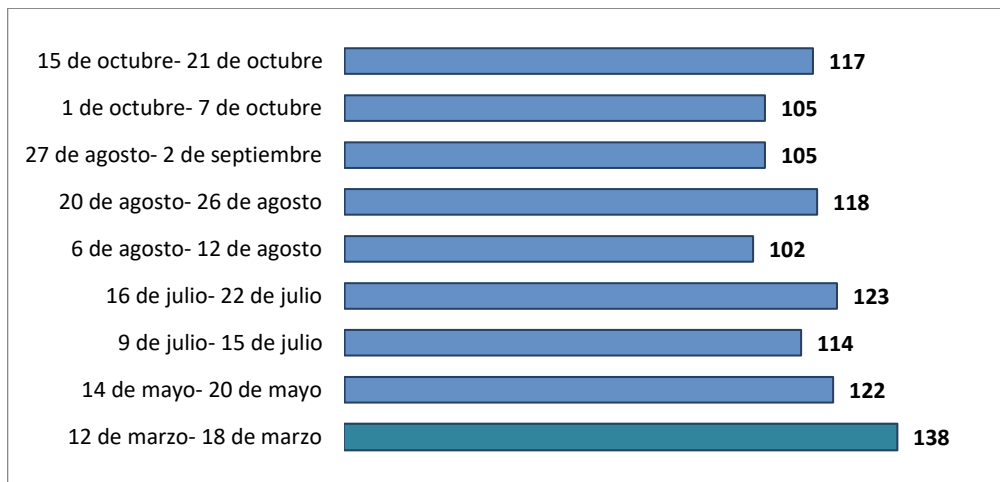
El cambio climático es la afectación mundial más grave que enfrenta la humanidad y los pronósticos científicos demuestran que las ciudades son uno de los factores que más contribuyen para esta afectación. Con un consumo del 78% de energía y la producción del 60% de emisiones de gases de efecto invernadero las zonas urbanas son altamente vulnerables a estos cambios que afectan a toda la humanidad (Naciones Unidas, 2020)

Chamas (2020) manifiesta que la contaminación del medio ambiente es la introducción de sustancias o agentes externos en el entorno natural que causan efectos adversos en los seres vivos y en los sistemas naturales. Estas sustancias pueden ser contaminantes químicos, biológicos o físicos que alteran el equilibrio natural del ambiente. La contaminación puede ocurrir en diferentes medios, como el aire, el agua, el suelo o incluso en organismos vivos. Los principales tipos de contaminación ambiental incluyen la contaminación atmosférica, la contaminación del agua, la contaminación del suelo y la contaminación acústica, entre otros.

Por su parte Gómez (2022) dice que la contaminación del medio ambiente en una zona urbana es principalmente ocasionada por la congestión vehicular, aumentando de esa forma los efectos críticos tanto en el medio ambiente como en la salud de las personas dependiendo de las condiciones de movilidad en la ciudad. La circulación en gran medida de las ciudades genera elevados niveles de emisiones contaminantes debido a que los vehículos circulan a una baja velocidad y por un periodo de tiempo muy elevado para desplazarse con la carga vehicular alta y con gran dependencia de las condiciones de conducción en ciudad.

Adicionalmente según Castillo (2022) el desplazamiento vehicular es proporcional a la generación de contaminación por vía aérea sin embargo, tanto la ubicación de la ciudad como su disposición arquitectónica genera un agrupamiento masivo de los gases contaminantes y por ende los niveles de contaminación y su nivel de impacto. En el caso de Quito, desde el 2018 hasta la actualidad la mala calidad de los combustibles es la principal causa de la contaminación en Quito como lo demuestra la figura 1.

Figura 1
Índice de Calidad de aire en Quito



Nota. Tomado de (Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map, 2024)

Bajo este contexto, la secretaria del Ambiente afirmó que la calidad del aire es preocupante en Quito por el aumento de autos y buses que circulan cada día, lo cual progresivamente puede ir afectando la salud de los niños y personas que viven, trabajan y estudian en Quito.

En los días de mayor contaminación, el aire de Quito llegó a niveles de precaución, es decir, superó los 100 puntos. La secretaria del ambiente afirma que el material particulado PM 2.5, en el que se encuentra el azufre, es cancerígeno y produce complicaciones como: alergias, resfriados, rinitis y problemas pulmonares.

Otros contaminantes son los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono (CO) y los oxidantes fotoquímicos expresados como ozono (O₃) y producidos por aerosoles y pesticidas (Marcos, 2021)

Se destaca que la contaminación del aire provoca millones de muertes al año en todo el mundo, según la declaración de la OMS. En Quito, la principal fuente de contaminación del aire son los 825.763 vehículos en circulación, con el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) como principal área de circulación. Esto se debe a la mala calidad de los combustibles utilizados por el parque automotor, lo que ha resultado en nueve semanas de alta contaminación durante el 2018, como se muestra en la Figura 1. Este impacto se refleja en el aumento de infecciones respiratorias en niños, ya que durante 63 días los habitantes de Quito respiraron aire perjudicial para la salud. En Europa, existen normas como las Euro 5 y 6 que regulan el contenido de azufre en los combustibles fósiles como el diésel y la gasolina, limitando la concentración a 60 partes por millón de azufre. Los vehículos que no cumplan estas normas tienen prohibición de venta y circulación en toda la Unión Europea (Asetrama, 2023)

Para cuantificar concentraciones de contaminantes atmosféricos, se utilizan unidades como partes por millón (ppm) y microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (EPA, 2018). Las partes por millón describen la relación entre el número de partículas de un contaminante por

un millón de partículas de aire, lo que indica su abundancia relativa (NIOSH, 2019). Por ejemplo, 1 ppm significa 1 partícula contaminante por cada millón de partículas de aire. Por otro lado, los $\mu\text{g}/\text{m}^3$ representan la masa absoluta en microgramos de un contaminante en 1 metro cúbico de aire, lo que permite dimensionar la carga total de contaminante por unidad de volumen (OMS, 2005). Ambos parámetros son utilizados en forma complementaria para el monitoreo, estandarización, control y comunicación de riesgos por contaminación atmosférica según diferentes legislaciones ambientales.

Según la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades (2019) la fórmula matemática para realizar la conversión entre ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

De ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$$\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = \text{ppm} * PM * \left(\frac{10^3}{24,5}\right)$$

Ec[1.1]

De $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a ppm.

$$\text{ppm} = \frac{\mu\text{g}/\text{m}^3}{PM * \left(\frac{10^3}{24,5}\right)}$$

Ec[1.2]

Donde:

PM: peso molecular g/mol

Los pesos moleculares de cada tipo de contaminante:

- PM2.5: No tiene un peso molecular exacto dado que engloba una mezcla heterogénea de diferentes compuestos (metales, carbono, nitratos, sulfatos, agua, etc) en forma de partículas con diámetro menor a 2.5 micras. (Kim et al., 2015)
- SO₂ (dióxido de azufre) Peso molecular: 64.06 g/mol
- CO (monóxido de carbono) Peso molecular: 28.01 g/mol
- O₃ (ozono) Peso molecular: 47.98 g/mol (PubChem, s. f.)

Normativas ambientales internacionales y ecuatorianas.

Las normativas ambientales internacionales y ecuatorianas son conjuntos de leyes, regulaciones y políticas diseñadas para proteger el medio ambiente y la salud humana. El objetivo principal de estas normativas es garantizar un equilibrio entre el desarrollo humano y la protección ambiental, promoviendo la sostenibilidad y salvaguardando la salud de las personas y los ecosistemas.

Tabla 1*Normativas ambientales internacionales y ecuatorianas*

	Normativa internacional	Normativa nacional
Material Particulado MP2.5	La Organización Mundial de la Salud establece como límites para proteger la salud humana una media anual de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y una media de 24 horas de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2021).	En Ecuador, la Norma de Calidad del Aire Ambiente fija un valor de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como media de 24 horas (MAE, 2015). Estos están por encima de las recomendaciones de la OMS.
Dióxido de Azufre (SO ₂)	La OMS recomienda un máximo de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como media de 24 horas, y 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 10 minutos, para prevenir efectos agudos (WHO, 2021).	En Ecuador el límite es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como media anual y 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ media diaria, valores más permisivos (MAE, 2015).
Monóxido de Carbono (CO)	La OMS fija un nivel de 18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (o 9.2 ppm) como media móvil de 8 horas, y 6800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (3.5 ppm) en 1 hora (WHO, 2021).	Ecuador limita las concentraciones a 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (4.3 ppm) en 8 horas, más elevado que el standard global (MAE, 2015).
Ozono (O ₃)	El límite según la OMS es de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 8 horas para proteger la salud (WHO, 2021).	En Ecuador el valor es de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 8 horas, ligeramente más alto (MAE, 2015).

Nota: Obtenido de (WHO, 2021) (MAE, 2015)

Gases principales en la contaminación del aire

Los gases y partículas mencionados son contaminantes atmosféricos que tienen implicaciones significativas para la salud humana y el medio ambiente. Provenientes tanto de fuentes naturales como de actividades antropogénicas, estos contaminantes incluyen Material Particulado fino 2.5 (MP2.5), Monóxido de Carbono (CO), Ozono Troposférico (O₃) y Dióxido de Azufre (SO₂).

Tabla 2
Gases principales en la contaminación del aire

Contaminante	Características	Afectaciones a la salud
Material Particulado fino 2.5 (MP2.5)	Hace referencia a partículas en suspensión en el aire con un diámetro aerodinámico menor a 2,5 micrómetros (μm). Está compuesto principalmente por sustancias orgánicas, metales, material geológico y agua (Kim et al, 2015). Las principales fuentes de PM2.5 son la quema de combustibles fósiles por fuentes móviles y fijas, así como procesos industriales y domésticos. También proviene de fuentes naturales como incendios forestales y volcanes (Liu et al, 2019).	Debido a su diminuto tamaño, el PM2.5 puede permanecer suspendido en la atmósfera por días o semanas y viajar cientos de kilómetros. Además, tiene la capacidad de penetrar profundamente en los pulmones y entrar en el sistema cardiovascular (Du et al, 2020).
Monóxido de carbono (CO)	Es un gas incoloro, inodoro e insípido que se produce principalmente por la combustión incompleta de combustibles fósiles (Villeneuve et al., 2012). Las fuentes antropogénicas incluyen emisiones vehiculares, procesos industriales, incineración de residuos, entre otros. Proviene de fuentes naturales como incendios forestales y erupciones volcánicas (Hystad et al., 2011).	El CO tiene una alta afinidad con la hemoglobina, formando carboxihemoglobina e impidiendo el transporte de oxígeno en sangre. La exposición aguda puede causar efectos adversos cardiovasculares y neurológicos. (Link et al., 2013).
Ozono troposférico (O3)	Es un contaminante gaseoso que se forma en la atmósfera inferior por reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (COV), oxígeno y luz solar (Fleming et al., 2018).	El O3 es un oxidante fotoquímico que causa efectos adversos sobre la salud, el clima y los ecosistemas. La exposición al O3 se asocia con inflamación pulmonar, declinación de la función pulmonar y exacerbación de enfermedades respiratorias como el asma (Turner et al., 2016).
Dióxido de azufre (SO2)	Es un gas incoloro con un característico olor irritante que se forma principalmente por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre (Kim et al., 2016). Las principales fuentes antropogénicas de SO2 incluyen centrales termoeléctricas, calderas industriales, fundiciones y refinerías de petróleo y gas (Zhu et al., 2017).	La exposición al SO2 puede causar efectos respiratorios adversos al inflamar el sistema respiratorio y reducir la función pulmonar. Estudios epidemiológicos han relacionado la exposición crónica con un aumento en la morbilidad y mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Guo et al., 2018).

Nota. Obtenido de (Kim et al, 2015) (Liu et al, 2019) (Hystad et al., 2011) (Zhu et al., 2017) (Du et al, 2020) (Link et al., 2013) (Turner et al., 2016) (Guo et al., 2018).

Materiales y Métodos

Método

El método de interpretación de datos inductivo deductivo permitió la obtención e interpretación detallada de cada conjunto de datos sobre la concentración de gases emitidos por vehículos y cuantificarlos. Posteriormente se realizó un modelo que verifica la veracidad de la hipótesis para dar base al desarrollo de un índice de calidad de aire agrupando y comparando datos de años posteriores. Esto permitió que durante el análisis de resultados saber el nivel de gravedad de las emisiones y de esta manera dar a conocer el estado del nivel de contaminación y que posteriormente puedan generar planes de mitigación.

Durante la primera fase del proceso, se llevó a cabo una recopilación de información con el fin de formular una hipótesis, la cual se sustentó utilizando el método bibliográfico. En la segunda fase, se recolectaron datos sobre los niveles de contaminación en cada zona de estudio empleando el método experimental. Una vez agrupada esta información y obtenidos los valores máximos y mínimos para cada periodo de investigación, se procesó mediante el método estadístico

Materiales

Equipo de medición.

Se trata de un dispositivo diseñado para medir los niveles de agentes contaminantes en una zona determinada. Este dispositivo recopila datos a lo largo del día, permitiendo analizar la información según la hora y almacenarla diariamente. El sistema Gaia cuenta con diferentes sensores los que permiten medir tanto las partículas de contaminantes en el aire como sistemas de sensores meteorológicos además de contar con la opción de funcionamiento fuera de red. En cada equipo de monitoreo se encuentran 3 de estos sensores permitiendo verificar cada dato y correlacionarlos para posteriormente ser enviados a la plataforma AQCIN para su publicación (AQCIN, 2012).

Tabla 3

Ficha técnica GAIA

Sensores	Sensor de partículas
	Sensores redundantes x3
	Sensores Meteorológicos
Indicadores visuales	LED RGB
Conectividad	WiFi 2.4G
	Antena externa 3dB
Fuente de alimentación	USB estándar de 5V CC
	Cable resistente al agua de 10 metros
Almacenamiento y transmisión de datos	Accesible a través del sitio web para información histórica
	Almacenamiento en SD por \$50 adicionales

Nota. Datos tomados de (AQCIN, 2012)

El equipo de medición es fijo y opera de manera continua, enviando los resultados a la página oficial de AQCIN, donde se publican para acceso público. Esto contribuye a mejorar la transparencia y facilita el monitoreo de la calidad del aire a lo largo de los años, proporcionando una visión clara sobre el comportamiento de los contaminantes y sus posibles efectos a largo plazo.

Figura 2

Estación de monitoreo de calidad de aire Gaia, Modelo A12.



Nota. Datos tomados de (AQCIN, 2012)

El equipo utilizado en los lugares de pruebas es un monitor de calidad de Aire Gaia propiedad de GAIA Earth Sensing Labs y la compañía a cargo de la página que almacena los datos de las emisiones es World Air Quality Index project.

Las normativas utilizadas son las proporcionadas por Organización de Naciones Unidas (WHO, 2021) en congruencia con las normativas ecuatorianas de calidad de aire del Ministerio de Medio Ambiente (MAE, 2015).

Tiempos de medición

Para llevar a cabo una comparativa detallada de la calidad del aire en el Valle de los Chillos, Quito y Tumbaco, se ha optado por el estudio durante tres meses específicos, centrado en la medición de los niveles máximos y mínimos de contaminantes atmosféricos en enero, mayo y diciembre. La elección de estos meses responde a las diferencias en el comportamiento del parque automotor, lo que permite obtener variaciones más representativas y significativas en los niveles de contaminación.

Enero y diciembre son períodos de alta movilidad debido a las festividades de fin de año y el retorno a la actividad cotidiana posterior, lo que generalmente incrementa las emisiones vehiculares presentando un punto importante en el aumento de producciones contaminantes (Weather Spark, 2022). En contraste, mayo refleja un flujo vehicular más constante y regular, ideal para analizar la calidad del aire en condiciones más estables. Esta selección estratégica permite capturar tanto los picos estacionales como las variaciones en

periodos de actividad moderada, brindando una visión más integral de la relación entre el tráfico vehicular y la calidad del aire en estas zonas. El sistema utilizado en los lugares de pruebas es un monitor de calidad de Aire Gaia Ax propiedad de AQCIN la compañía que almacena los datos de las emisiones (AQCIN, 2012).

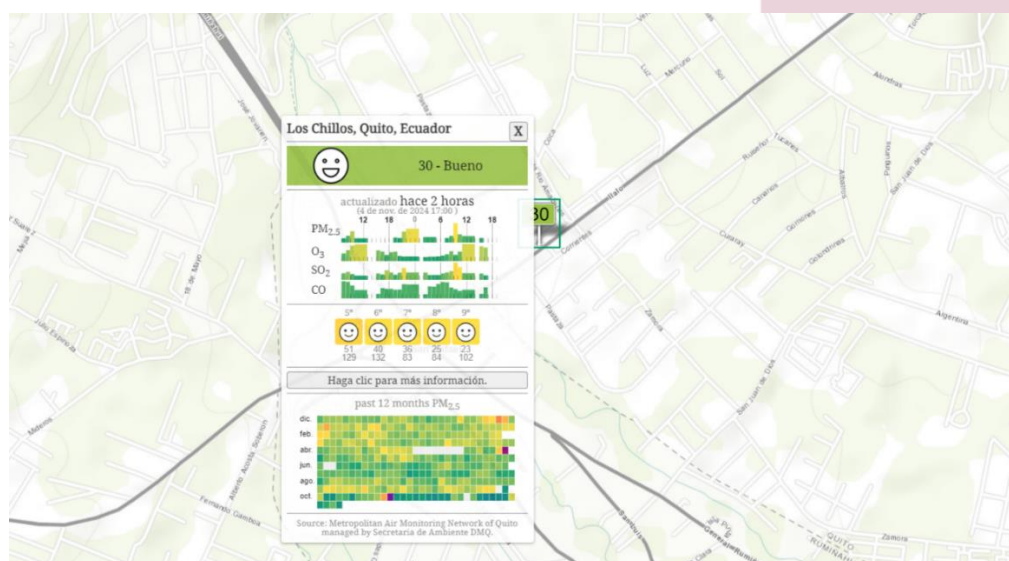
Relacionando los meses de enero y diciembre con el clima, estos meses son época de sequía en el DMQ, mayo es parte de la temporada de lluvias. Las épocas lluviosas facilitan el aumento del flujo de tráfico constante y por consiguiente mayor índice de contaminación. Gracias a la topografía del DMQ permite la generación de diferentes condiciones climáticas lo que en conjunto con la temporada en la que se encuentre aumenta o disminuye las condiciones climáticas. (Secretaria del Ambiente, 2020)

Lugar de pruebas: Para este estudio se seleccionaron el Valle de los Chillos, Tumbaco y el Centro Histórico de Quito, debido a su relevancia en términos de movilidad y crecimiento urbano.

Valle de los chillos: Tiene un alto nivel de población siendo este proporcional a el nivel de movilización vehicular, la presencia de diferentes puntos de reunión popular produce congestiones y por ende altos niveles de emisiones contaminantes. La Autopista General Rumiñahui es la vía principal que une al Valle de los Chillos con el resto de ciudades, sin embargo, la ciudad más poblada, Sangolquí, sufre serias congestiones viales por la ausencia de vías complementarias y el mal estado de algunos tramos de la autopista. De igual forma, estos embotellamientos repercuten en la movilidad y aumentan las emisiones contaminantes, sobre todo en hora pico, por lo que se hace necesario acelerar el proceso de mejora de la infraestructura vial y su planificación urbana en la zona (Gobierno Descentralizado de Rumiñahui, 2020).

En el caso del Valle de los Chillos se estima que cada día hay un desplazamiento de 100000 vehículos diarios provocando graves congestiones y por ende un aumento importante en las emisiones contaminantes. (Machado, 2024)

Figura 3
Mapa Valle de los chillos



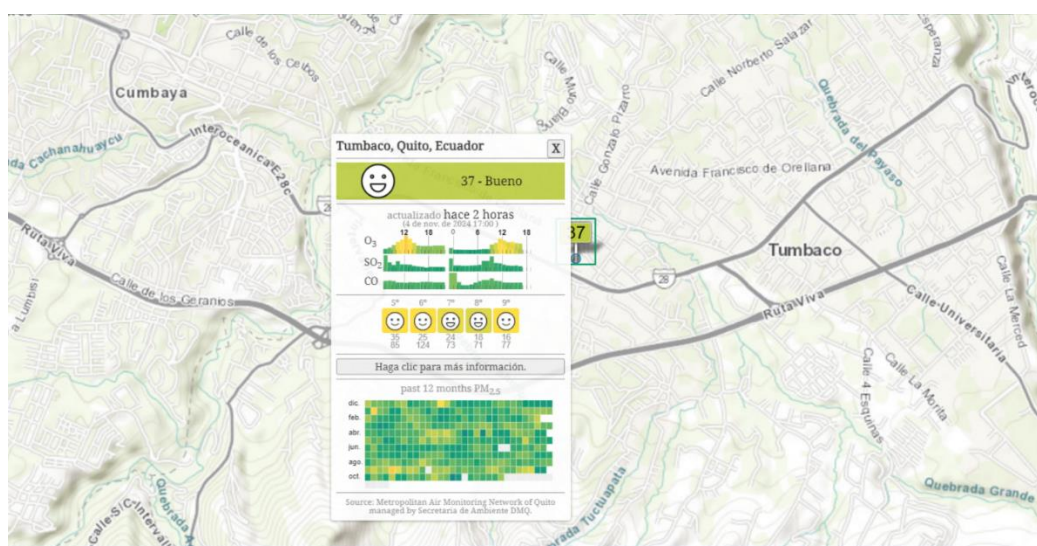
Nota. Datos tomados de (AQCIN, 2012)

Tumbaco: La disposición de Tumbaco proporciona altos niveles de congestión y por ende las emisiones tienden a elevarse principalmente a ciertas horas del día lo cual lo hace un lugar de pruebas apto para la investigación sobre calidad de aire.

En Tumbaco existen irregularidades viales de gran impacto en el desplazamiento vehicular, así como la conexión de diferentes vías principales hacia otros sectores del DMQ dando como resultado vías que no facilitan la conexión entre zonas de Tumbaco y problemas de congestión vial en incremento incluso en sus vías principales existen deficiencia que alargan el tiempo de circulación e incrementan la producción de emisiones contaminantes (Gobierno Autónomo Descentralizado de Tumbaco, 2021).

Figura 4

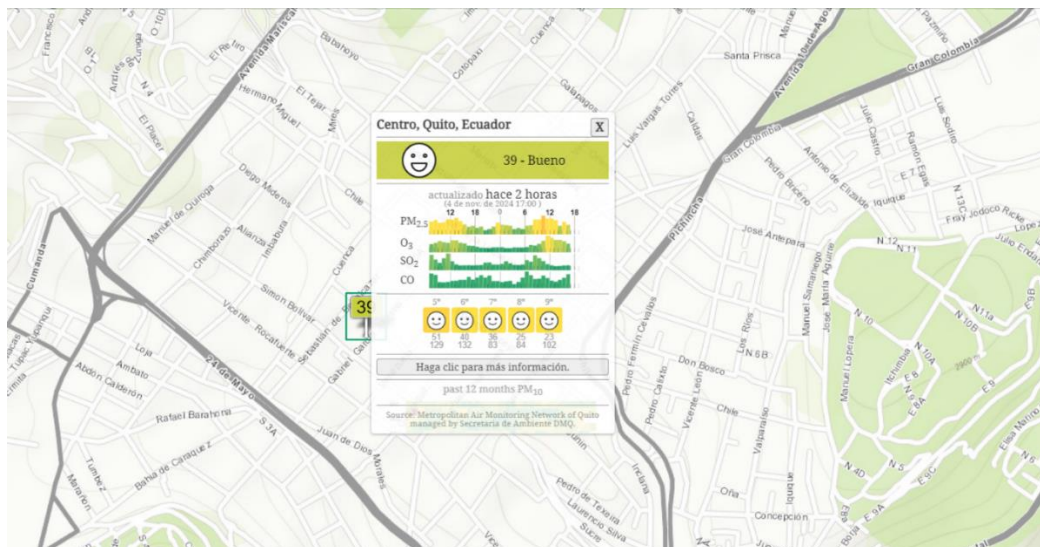
Mapa Tumbaco



Nota. Datos tomados de (AQCIN, 2012)

Centro Histórico: El centro histórico de Quito es una joya arquitectónica llena de vida e historia, debido a esto presenta una gran afluencia vehicular que tiene como resultados grandes atascos los cuales pueden durar mucho tiempo. El Centro Histórico se puede considerar que tanto el sector como sus alrededores carecen de una disposición vial que se considere eficiente, al no poder cumplir con la creciente demanda de movilización vehicular se han buscado métodos que puedan competir en contra del vehículo privado, pese a todo su esfuerzo no han tenido un efecto contra la elección popular de desplazamiento en vehículos personales (Secretaría general de planeación).

Figura 5
Mapa Centro Histórico



Nota. Datos tomados de (AQICIN, 2012)

Se estima un flujo vehicular de 550000 vehículos por todo el DMQ dando como resultado varias situaciones que repercuten en el comportamiento de los niveles de emisiones producidos y su distribución en cada uno de los sectores hacen que sea alarmante. (Bravo, 2022)

Gases normativa

Cada uno de los gases son elementos expulsados mediante la combustión de combustibles fósiles sin importar si la fuente es móvil o fija, sin embargo, en la presente investigación se toman como fuente los vehículos debido a que están sujetos a diferentes condiciones.

Existe una relación directa entre las concentraciones de los contaminantes criterio en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y el Índice de Calidad del Aire (ICA) que se reporta para estos contaminantes. A mayor concentración de los gases en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, peor es la calidad del aire y mayor el ICA.

PM2.5

- 0-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ICA 0-50): Buena
- 12,1-35,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ICA 51-100): Moderada
- 35,5-55,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ICA 101-150): Dañina a grupos sensibles
- 55,6-150,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ICA 151-200): Dañina a la salud
- 150,5-250,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ICA 201-300): Muy Dañina a la salud
- 250,5-> $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ICA 301-500): Arriesgado

SO2

- 0.00-0.035 ppm (ICA 0-50): Buena
- 0.036-0.075 ppm (ICA 51-100): Moderada
- 0.076-0.185 ppm (ICA 101-200): Dañina para grupos sensibles
- 0.186-0.304 ppm (ICA >200): Dañina a la salud

- 0.305-0.604 ppm (ICA 201-300): Muy Dañina a la salud
- 0.605-> ppm (ICA 301-500): Arriesgado

CO

- 0-4.4 ppm (ICA 0-50): Buena
- 4.5-9.4 ppm (ICA 51-100): Moderada
- 9.5-12.4 ppm (ICA >100): Dañina a la salud
- 12.5-15.4 ppm (ICA >200): Dañina a la salud
- 15.5-30.4 ppm (ICA 201-300): Muy Dañina a la salud
- 30.5-> ppm (ICA 301-500): Arriesgado

O3

- 0.00-0.054 ppm (ICA 0-100): Buena
- 0.055-0.070 ppm (ICA 101-200): Moderada
- 0.071-0.085 ppm (ICA 201-300): Dañina a grupos sensibles
- 0.086-0.105 ppm (ICA >300): Dañina a la salud
- 0.106-0.200 ppm (ICA 201-300): Muy Dañina a la salud
- 0.201-> ppm (ICA 301-500): Arriesgado

(Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI), 2018).

La siguiente tabla es la guía sobre el índice de calidad del aire, estas medidas se rigen a nivel mundial, se analiza por escala de magnitud y posible daño perjudicial a la salud. Los datos de las siguientes tablas anuales serán los niveles máximos y mínimos que se presentaron en esos meses, en base a ese nivel máximo y mínimo se analizará esa variación.

Tabla 4

Índice de calidad del aire

ICA (índice de Calidad de Aire)	
0~50	Bueno
50~100	Moderado
100~150	Dañina a la salud de los grupos sensitivos
151~200	Dañina a la salud
20a~300	Muy dañina a la salud
301~500	Arriesgado

Nota. Datos tomados de (AQCIN, 2012)

Análisis de Resultados:

Análisis de las variaciones climáticas 2020 – 2021 - 2022

Los resultados de las emisiones contaminantes tuvieron efectos debido a las condiciones climáticas de cada ubicación sin embargo mediante un análisis de cada variable que podría tener un efecto obtuvieron tablas que muestran un rango específico de cada año como lo demuestra la tabla 4.

Tabla 5

Rango de variaciones climáticas durante el 2020

Variaciones	Los Chillos						Tumbaco						Centro Histórico					
	Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Temperatura °C	18	12	17	12	20	12	24	10	19	11	23	11	20	5	18	9	9	15
Velocidad del Viento KM/h	25	5	50	16	51	20	23	11	25	5	23	7	28	9	29	5	27	10
Humedad °C	8	4	9	3	8	2	8	5	9	1	10	4	9	4	9	5	12	6

Nota: Tomado de (Weather Spark, 2022)

Cada uno de los datos relacionados con las variaciones climáticas con relación a los períodos de estudios fueron analizados debido a si efecta en el comportamiento de las emisiones y por ende en los datos que emite el equipo de medición dando como resultado los niveles de emisiones contaminantes a estudiar.

Análisis 2020

Temperatura: En Los Chillos y Tumbaco, la temperatura tiende a aumentar hacia diciembre (Los Chillos: 20°C máx, 14°C mín; Tumbaco: 23°C máx, 15°C mín), mientras que en el Centro Histórico disminuye (18°C máx, 9°C mín).

Velocidad del Viento: En Los Chillos y Tumbaco, la velocidad del viento aumenta significativamente en mayo (Los Chillos: 50 km/h, Tumbaco: 25 km/h) y se mantiene alta en diciembre (Los Chillos: 51 km/h, Tumbaco: 23 km/h). En el Centro Histórico, la velocidad del viento disminuye hacia diciembre (5 km/h).

Humedad: La humedad es más baja en Los Chillos durante todo el año (3% en diciembre). En Tumbaco, la humedad es extremadamente baja en mayo (1%) y aumenta en diciembre (10%). En el Centro Histórico, la humedad es más alta en mayo (9%).

Tabla 6*Rango de variaciones climáticas correspondientes al 2021*

Variaciones	Los Chillos						Tumbaco						Centro Histórico					
	Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Temperatura °C	19	10	17	10	20	12	54	17	57	23	4	2	19	10	17	10	20	12
Velocidad del Viento KM/h	21	12	20	10	22	14	10	5	12	4	10	6	8	4	6	2	15	5
Humedad °C	13	1	10	4	12	2	8	10	5	1	10	4	15	3	9	2	8	1

Nota: Tomado de (Weather Spark, 2022)**Análisis 2021**

Temperatura: En Los Chillos y Tumbaco, la temperatura tiende a aumentar hacia diciembre (Los Chillos: 20°C máx, 12°C mín; Tumbaco: 23°C máx, 4°C mín), mientras que en el Centro Histórico también aumenta (20°C máx, 12°C mín).

Velocidad del Viento: En Los Chillos, la velocidad del viento disminuye hacia diciembre (14 km/h). En Tumbaco, la velocidad del viento es extremadamente alta en enero (57 km/h) y disminuye significativamente hacia diciembre (6 km/h). En el Centro Histórico, la velocidad del viento disminuye hacia diciembre (5 km/h).

Humedad: La humedad es más baja en Los Chillos durante todo el año (mínima 10% en mayo, máxima 13% en enero). En Tumbaco, la humedad es extremadamente baja en mayo (5%) y aumenta en diciembre (10%). En el Centro Histórico, la humedad se mantiene constante en enero y mayo (9%) y disminuye significativamente en diciembre (1%).

Tabla 7*Rango de variaciones climáticas correspondientes al 2022*

Variaciones	Los Chillos						Tumbaco						Centro Histórico					
	Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Temperatura °C	18	9	20	4	24	8	20	2	20	4	22	3	23	5	20	10	25	4
Velocidad del Viento KM/h	26	12	20	17	25	16	26	10	26	15	28	12	26	10	28	15	27	8
Humedad °C	13	4	9	11	5	3	9	6	10	8	9	5	8	6	9	5	10	7

Nota: Tomado de (Weather Spark, 2022)**Análisis 2022**

Temperatura: En Los Chillos y Centro Histórico, la temperatura tiende a aumentar hacia diciembre (Los Chillos: 24°C máx, 8°C mín; Centro Histórico: 25°C máx, 8°C mín). En Tumbaco, la temperatura máxima varía ligeramente (22°C máx en diciembre) y la mínima también muestra poca variación (3-5°C).

Velocidad del Viento: En Los Chillos, la velocidad del viento disminuye hacia diciembre (15 km/h). En Tumbaco, la velocidad del viento disminuye de enero a mayo (26 km/h a 15 km/h), pero aumenta nuevamente en diciembre (28 km/h). En el Centro Histórico, la velocidad del viento disminuye de enero a mayo (12 km/h a 10 km/h), pero aumenta nuevamente en diciembre (15 km/h).

Humedad: La humedad es más baja en Los Chillos durante todo el año (mínima 4% en mayo, máxima 13% en enero). En Tumbaco, la humedad es más alta en mayo (10%) y disminuye ligeramente en diciembre (9%). En el Centro Histórico, la humedad es más alta en mayo (9%) y disminuye ligeramente en diciembre (7%).

Análisis de variaciones en la contaminación del aire

En el siguiente análisis se demostró las variaciones correspondientes a cada periodo y ubicación de estudio para demostrar el comportamiento de las emisiones y su tendencia en relación con las variaciones climáticas explicadas anteriormente.

Tabla 8

Variaciones en la contaminación del aire durante el 2020

Gases	Los Chillos						Tumbaco						Centro Histórico					
	Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
PM 2.5	55	27	60	39	52	40	54	17	57	23	59	15	68	29	66	26	72	35
O3	58	41	50	16	51	20	58	25	55	17	63	18	45	21	47	13	45	21
CO	8	4	9	3	8	2	8	3	9	1	10	4	9	4	8	1	11	4
SO2	12	5	11	2	22	5	9	2	6	1	11	3	4	1	5	1	6	1

Nota. Datos tomados de (Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map, 2024)

Análisis año 2020

- PM 2.5: Las concentraciones tienden a ser más altas en mayo en Los Chillos y en Tumbaco es alta en diciembre, mientras que en el Centro Histórico las concentraciones son consistentemente altas durante todo el año.
- O3: La concentración es alta en enero en Los Chillos y en Tumbaco es alta en diciembre. En el Centro Histórico, la concentración se mantiene constante.
- CO: Los niveles de CO son relativamente constantes en todas las zonas, con un ligero aumento en diciembre en Tumbaco y el Centro Histórico.
- SO2: El SO2 muestra una tendencia a aumentar en diciembre en Los Chillos y Tumbaco, mientras que, en las otras zonas, la variación es mínima y las concentraciones se mantienen bajas. (Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map, 2024)

Tabla 9

Variaciones de contaminación del aire durante el 2021.

Gases	Los Chillos						Tumbaco						Centro Histórico					
	Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
PM 2.5	52	19	57	23	68	17	67	22	52	24	59	15	115	35	62	20	68	26
O3	47	24	56	29	63	20	56	17	55	17	50	18	51	17	48	13	73	10
CO	6	3	7	4	8	4	8	2	7	3	6	1	8	3	10	3	9	2
SO2	11	6	6	4	6	2	8	1	7	1	11	1	5	2	6	2	5	2

Nota. Datos tomados de (Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map, 2024)

Análisis año 2021

- **PM 2.5:** En Los Chillos, se observa un aumento en mayo y un aumento en diciembre. Tumbaco presenta una variabilidad moderada con un aumento en enero. En el Centro Histórico, hay una alta concentración en enero, una disminución en mayo y un ligero aumento en diciembre.
- **O3:** Los Chillos tiene las mayores concentraciones en mayo y un aumento notable en diciembre. Tumbaco muestra un comportamiento de aumento en enero. El Centro Histórico presenta concentraciones más altas en diciembre.
- **CO:** Los Chillos muestra un aumento constante. Tumbaco presenta un aumento en diciembre, mientras que, en el Centro Histórico, la concentración es generalmente baja con un pico ligero en mayo.
- **SO2:** En Los Chillos, las concentraciones disminuyen de enero a diciembre. Tumbaco muestra un aumento en diciembre. El Centro Histórico mantiene concentraciones bajas, con un ligero aumento en mayo. (Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map, 2024)

Tabla 10

Variaciones de contaminación durante el 2022.

Gases	Los Chillos						Tumbaco						Centro Histórico					
	Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
PM 2.5	54	17	57	23	58	19	70	27	59	24	45	19	77	33	66	25	74	38
O3	55	29	36	14	51	14	53	28	41	14	52	24	67	21	41	6	47	16
CO	5	3	6	4	5	4	3	1	4	2	5	3	6	3	7	5	6	4

Gases	Los Chillos						Tumbaco						Centro Histórico					
	Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre		Enero		Mayo		Diciembre	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
SO2	12	6	11	4	4	2	12	6	5	4	7	1	4	2	6	3	4	2

Nota. Datos tomado de (Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map, 2024)

Análisis año 2022

- **PM 2.5:** La concentración es más alta en mayo y diciembre en Los Chillos y en Tumbaco en enero, mientras que el Centro Histórico muestra niveles consistentemente altos durante todo el año. La disminución en diciembre en Tumbaco puede indicar una reducción en las actividades generadoras de partículas finas.
- **O3:** La concentración de ozono es alta en enero y disminuye en mayo y diciembre en todas las zonas, sugiriendo que los niveles de ozono son más altos en los meses fríos.
- **CO:** Los niveles de CO son relativamente constantes en todas las zonas, indicando fuentes continuas de emisiones, como el tráfico vehicular.
- **SO2:** El SO2 muestra una tendencia a disminuir en diciembre en todas las zonas, mientras que en enero y mayo las concentraciones son más altas, sugiriendo una mayor actividad industrial o uso de combustibles fósiles durante esos meses. (Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map, 2024).

Comparativa de resultados

A continuación, se comparara cada nivel de emisión entre los tres periodos de estudio y en base al Índice de calidad del aire determinar en qué nivel de contaminación y por ende el riesgo por contaminación.

Tabla 11

Resumen de resultados

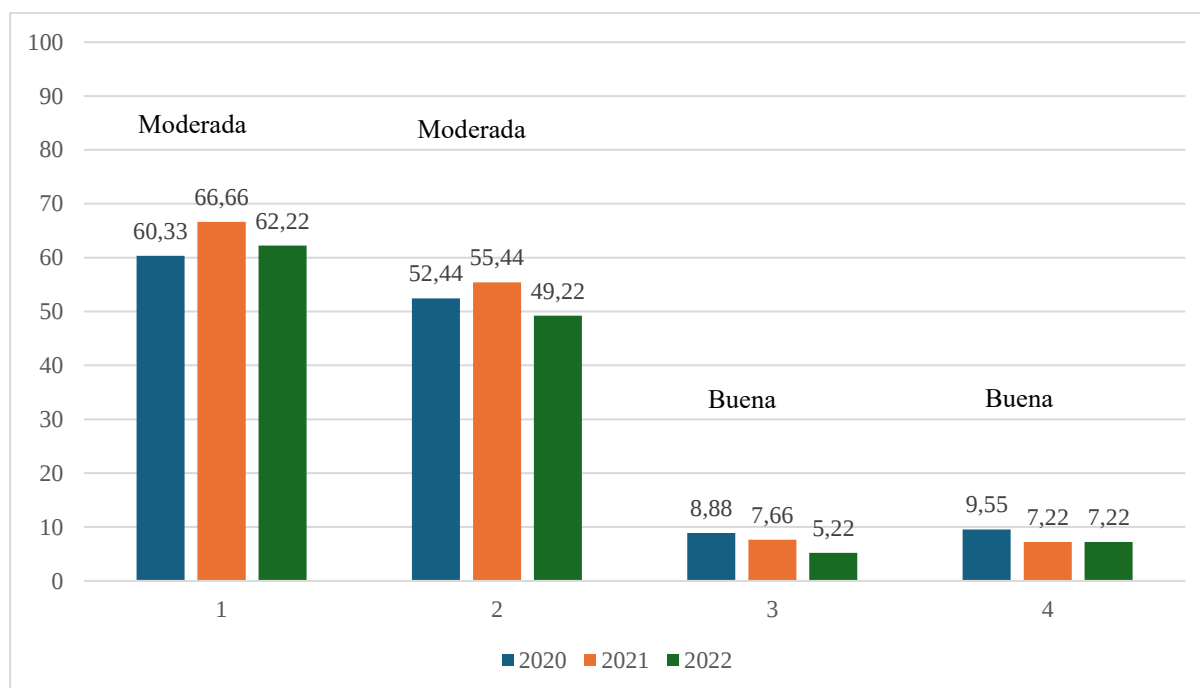
	2020	2021	2022	Rango	Niveles
1-PM 2.5	60,33	66,66	62,22	51-100	Moderada
2-O3	52,44	55,44	49,22	0-100	Moderada
3-CO	8,88	7,66	5,22	0-50	Buena
4-SO2	9,55	7,22	7,22	0-50	Buena

PM 2.5 y O3: Demuestran niveles moderados lo que se expresa en una mayor producción y concentración de estos gases siendo estos mas notables y denotando una mayor complicación y riesgo.

CO y SO2: Los niveles de emisiones de estos contaminantes tienden a ser menores que los niveles de PM2.5 y O3 llegando a ser casi imperceptibles de no ser por una variación constante en torno a su comportamiento.

Figura 6

Representación gráfica del resumen de resultados



La tendencia de la calidad del aire en relación con los niveles de PM2.5, O3, CO y SO2 en los años 2020, 2021 y 2022 se puede observar que los niveles de PM2.5, O3 y CO han disminuido ligeramente de 2020 a 2022, lo cual puede indicar una mejora en la calidad del aire en relación con estos contaminantes. En cambio, los niveles de SO2 muestran fluctuaciones constantes, lo que puede sugerir cambios en las fuentes de emisión o en las condiciones de los combustibles que afectan la concentración de estos gases.

Esta información puede ser útil para evaluar la efectividad de las medidas de control de la contaminación atmosférica implementadas en la región durante estos años, así como para identificar áreas de mejora en la gestión ambiental. Sin embargo, es importante considerar otros factores que puedan influir en la calidad del aire, como las condiciones meteorológicas y las actividades humanas, para tener una visión más completa de la situación ambiental.

Conclusiones

En cuanto a la concentración de gases tóxicos comúnmente asociado al parque automotor en los sectores analizados se concluye que:

El análisis arrojó un comportamiento variable en cada uno de los años y meses de estudio. En el caso del Valle de los Chillos las mediciones generaron picos con variaciones mínimas entre años sin embargo Tumbaco sus variaciones radican en picos ligeramente altos y finalmente el centro histórico evidencia uno de los picos más elevados en cuanto a emisiones.

Las tendencias observadas en la calidad del aire durante los años 2020 a 2022 muestran que las concentraciones de PM 2.5 y O3 son más altas en los meses secos de enero y diciembre,

disminuyendo en mayo en Los Chillos, Tumbaco y Centro Histórico. En Los Chillos, las concentraciones de PM 2.5 alcanzan 35,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero y diciembre, disminuyendo los $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en mayo. En Tumbaco, estas concentraciones son de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero y mayo, aumentando <35,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en diciembre. En contraste, el Centro Histórico presenta niveles consistentemente altos de PM 2.5 durante todo el año, con un promedio de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El análisis conjunto de la temperatura, velocidad del viento, humedad y calidad del aire revela que las condiciones climáticas y la calidad del aire en Los Chillos, Tumbaco y el Centro Histórico varían significativamente a lo largo del año. Los meses más secos tienden a presentar mayores concentraciones de contaminantes como PM 2.5 y O₃, mientras que la humedad y la velocidad del viento muestran patrones distintos en cada zona. Los cambios en la calidad del aire pueden estar correlacionados con las variaciones en las condiciones meteorológicas, sugiriendo que las políticas de control de la contaminación deben adaptarse a las condiciones estacionales específicas de cada área.

Las políticas de control de la contaminación y las estrategias de mitigación deben considerar estas variaciones estacionales y zonales para ser más efectivas. La correlación entre la calidad del aire y los factores meteorológicos sugiere la necesidad de un enfoque integrado que aborde tanto las fuentes de emisiones como las condiciones ambientales, además de seguir con un continuo estudio de evolución de los contaminantes a lo largo de los años y verificar si las normativas y estrategias de contingencia y mitigación son efectivas o se tiene que tomar medidas mas contundentes.

Bibliografía:

- Air Pollution in World: Real-time Air Quality Index Visual Map. (2024). *Contaminación del aire de Los Chillos, Quito*. Obtenido de <https://aqicn.org/city/ecuador/quito/los-chillos/es/>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2019). *Exposición total la arsénico: Estudio de un caso práctico*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/arsenico/conversion_unidades.html
- AQCIN. (s.f.). *AQCIN*. Recuperado el 26 de 03 de 2024, de AQCIN: <https://aqicn.org/products/monitoring-stations/es/>
- Asetrama. (2023). *La norma Euro 1 a la euro 6*. Obtenido de <https://www.asetrama.org/de-la-norma-euro-1-a-la-euro-6/>
- Burgos, J. (2023). Determinación de los niveles de contaminación a la atmósfera por emisiones de CO en el Distrito Metropolitano de Quito. *Universidad Técnica del Cotopaxi*, 1-95.
- Castillo, M. (03 de 2022). Estudio de las emisiones contaminantes producidas por vehiculos mediante metodologias de sistemas suaves. Recuperado el 14 de 9 de 2023, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/30290/MIGUEL%20ANGEL%20CASTILLO%20CORCHADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chamas, P. (2020). Gestión de la salud ambiental en as zonas urbanas: aire, agua, edificaciones, cambio climático, inactividad física. *Desarrollo urbano*.
- Gómez, C. (2022). Análisis de los resultados de emisiones vehiculares reportados por los Centros de Diagnóstico Automotor – CDA que operan en la jurisdicción CORNARE. *Universidad de Antioquia*, 1-46. Recuperado el 14 de 9 de 2023, de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/31906>
- Hu, Z., Larson, S., Farhat, Y., Hoang, V. A., Neumann, R., & Strickman, R. (2024). Effects of elevated CO₂ on MeHg and IHg in rice. *Environmental Advances*, 16.
- Loaiza, Y. (2023). El aire contaminado que respiramos en el Ecuador. *GK sociales*.
- Marcos, F. (2021). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista española de Salud Pública*, 117-127.
- Naciones Unidas. (2020). *Naciones Unidas*. Recuperado el 26 de 02 de 2024, de Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/climatechange/climate-solutions/cities-pollution#:~:text=Las%20ciudades%20son%20uno%20de,la%20superficie%20de%20la%20Tierra>.
- Nieuwenhuijsen, M. (2020). La asociación entre los ambientes naturales al aire libre y los síntomas somáticos comunes. *Health and Place*, 25-45.
- O’Ryan, R., & Larraguibel, L. (2020). Contaminación del aire en Santiago: ¿qué es, qué se ha hecho, qué falta? *Perspectivas*, 4(1), 153-191.
- Quito Como Vamos. (2022). *Quito Como Vamos*. Recuperado el 25 de 9 de 2023, de Quito Como Vamos: <https://quitocomovamos.org/explora-los-datos/#1619104993186-ecd72f21-779b>
- Vergara, D. (2022). *Compromiso con el medio ambiente en Japón*. Obtenido de Cámara Colombo Japonesa de Comercio e Industria: <https://www.camaracolombojaponesa.org/post/compromiso-con-el-medio-ambiente-en-jap%C3%B3n>
- Yan, M., Lin, L., Han, J., Wang, Y., Lu, Q., & Xu, X. (2019). Impacts of selenium supplementation on soil mercury speciation, and inorganic mercury and methylmercury uptake in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Pollution*, 647-654.