



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ANÁLISIS AMBIENTAL MEDIANTE EL MÉTODO DE TUBOS PASIVOS PARA LA
DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE OZONO (O₃) EN EL AIRE EN LAS
ZONAS RURALES DE LA CIUDAD DE CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Ambiental

AUTORES: BRANDON KEVIN PARRA ARGUDO

FABIÁN PATRICIO BARRERA SEGARRA

TUTOR: ING. RUBÉN FERNANDO JERVES COBO, PhD.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Brandon Kevin Parra Argudo con documento de identificación N° 0106813595 y Fabián Patricio Barrera Segarra con documento de identificación N° 0105890438; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 09 de noviembre del 2023

Atentamente,



Brandon Kevin Parra Argudo

0106813595



Fabián Patricio Barrera Segarra

0105890438

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Brandon Kevin Parra Argudo con documento de identificación N° 0106813595 y Fabián Patricio Barrera Segarra con documento de identificación N° 0105890438, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “Análisis ambiental mediante el método de tubos pasivos para la determinación de concentraciones de ozono (O₃) en el aire en las zonas rurales de la ciudad de Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 09 de noviembre del 2023

Atentamente,

Brandon Kevin Parra Argudo

0106813595

Fabián Patricio Barrera Segarra

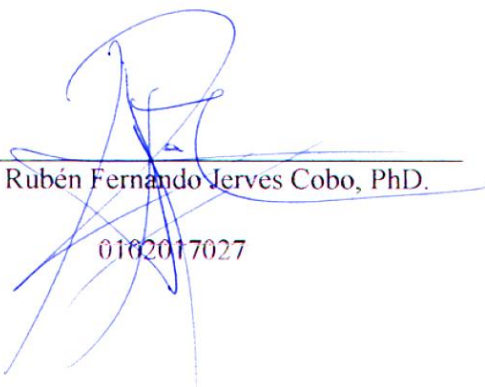
0105890438

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rubén Fernando Jerves Cobo con documento de identificación N° 0102017027, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS AMBIENTAL MEDIANTE EL MÉTODO DE TUBOS PASIVOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE OZONO (O₃) EN EL AIRE EN LAS ZONAS RURALES DE LA CIUDAD DE CUENCA, realizado por Brandon Kevin Parra Argudo con documento de identificación N° 0106813595 y por Fabián Patricio Barrera Segarra con documento de identificación N° 0105890438, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 09 de noviembre del 2023

Atentamente,



Ing. Rubén Fernando Jerves Cobo, PhD.
0102017027

DEDICATORIA

*A mi padre **Francisco Barrera**, que desde el cielo me ilumina a seguir adelante con mis proyectos, quien ha sido mi inspiración de perseverancia, superación y un gran ejemplo a seguir quien me ha demostrado que los sueños se hacen realidad con perseverancia y humildad.*

*A mi madre **Lucia Segarra**, por todo su amor incondicional, quien me ha guiado por un buen camino con buenos hábitos y valores.*

*A mis hermanos **Diego, Mayra y Andres**, por todo su apoyo con cada una de esas palabras de aliento para poder continuar y no rendirme.*

Gracias a todas esas personas importantes por ser ese pilar fundamental, con cada una de sus palabras que me motivaron a seguir cumpliendo mis sueños y por siempre estar presentes.

Fabián Barrera Segarra

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme sabiduría para culminar esta etapa y por darme una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación.

Gracias a toda mi familia por su apoyo incondicional, quienes fueron un pilar fundamental en esta etapa que, con sus consejos y experiencias, han ayudado que cumpla cada uno de mis objetivos.

Mi gratitud a mi tutor Ruben Jerves Cobo Ph.D. por su tiempo brindado y por el apoyo recibido con el aporte de su conocimiento durante el desarrollo del mismo.

Fabián Barrera Segarra

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a:

*Mis padres, **Orfelina** y **Henry** por su amor, trabajo y esfuerzo por hacer esto posible y guiarme a ser una buena persona y motivarme a lograr todos mis objetivos.*

*A mis hermanos, **Paul**, **Jorge** y **Katherine** por aquellos consejos, apoyo y guía que me han brindado desde el comienzo de todo, y siempre estar ahí en todas las etapas de nuestras vidas.*

*A mi abuelo **Miguel Argudo**, porque sin él no sería nada, por haberme criado para ser la persona que soy y haberme motivado a siempre seguir hacia adelante hasta lograr mis objetivos.*

Brandon Parra Argudo

AGRADECIMIENTO

*Les agradezco a mis padres **Orfelina** y **Henry** por todo el apoyo que me han brindado, por el esfuerzo que realizaron y por siempre guiarme a ser una buena persona.*

*A mis hermanos **Paul**, **Jorge** y **Katherine** por guiarme por el camino correcto y motivarme a ser como ellos y nunca dejarme solo en esta trayectoria tan complicada de lograr.*

*A **Fabián** por el apoyo y paciencia para que juntos podamos lograr culminar con esta investigación y podamos convertirnos en profesionales a pesar de todas las dificultades que se presentaron en el proceso.*

*A mi tutor el **Ruben Jerves Ph.D.** por todo el conocimiento y apoyo que nos brindó durante todo este tiempo de investigación y dentro del aula de clases y motivarnos a ser grandes profesionales.*

¡Gracias!

Brandon Parra Argudo

Resumen

El ozono es uno de los principales componentes del smog fotoquímico y una de las principales preocupaciones para la salud humana. Por tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar los niveles de ozono en las zonas rurales de la ciudad de Cuenca utilizando el método de tubos pasivos. Se instalaron cuatro estaciones de muestreo de ozono troposférico en las parroquias Tarqui y Baños, al suroeste de la ciudad, denominadas "NERO," "SJI", "SJA" y "ACC". El muestreo se llevó a cabo durante los meses de abril a julio de 2023. Mediante estadística descriptiva y análisis de varianza (ANOVA) se evaluó la concentración de ozono, así mismo, se examinó la posible influencia de la dirección del viento en los resultados de medición. Como parte del estudio, también se realizó un análisis de tres estaciones urbanas, a saber, "Ictocruz", "Colegio Rafael Borja" y "Machángara", para comprender los patrones de niveles de ozono en la ciudad. Los resultados mostraron concentraciones de ozono en la zona de estudio que oscilaron entre 24.00 y 28.40 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$, valores que se encuentran por debajo del límite máximo permisible establecido. No se encontraron diferencias significativas (p -valor = 0.854) en las concentraciones de ozono registradas en las cuatro estaciones de en la zona rural. En cuanto a las estaciones urbanas, se observaron niveles de ozono en un rango de 5.72 a 31.70 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$, y se evidenció una diferencia significativa (p -valor = 0.047) entre estas estaciones. Este estudio deja información de línea base sobre el estado actual de la calidad del aire respecto al ozono troposférico, destacando la importancia de seguir monitoreando regularmente para obtener información actualizada.

Palabras clave: Ozono troposférico, smog fotoquímico, precursores químicos, medición pasiva.

Abstract

Ozone is one of the main components of photochemical smog and one of the main concerns for human health. Therefore, the objective of this research was to evaluate the ozone levels in the rural areas of the city of Cuenca using the passive tube method. Four tropospheric ozone sampling stations were installed in the Tarqui and Baños parishes, located in the southwest of the city, named "NERO," "SJI," "SJA" and "ACC". The sampling was conducted from April to July 2023. Using descriptive statistics and analysis of variance (ANOVA) the ozone concentration was evaluated, likewise, the possible influence of the wind direction on the measurement results is probably. As part of the study, an analysis of three urban stations, namely "Ictocruz", "Colegio Rafael Borja" and "Machángara", was also conducted to understand the patterns of ozone levels in the city. The results showed ozone concentrations in the study area ranging from 24.00 to 28.40 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$, values that are below the established maximum permissible limit. No significant differences (p-value = 0.854) were found in the ozone concentrations recorded in the four stations in the rural area. Regarding the urban stations, ozone levels were observed in a range of 5.72 to 31.70 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$, and a significant difference (p-value = 0.047) was found between these stations. This study provides a baseline of information on the current state of air quality concerning tropospheric ozone, highlighting the importance of regular monitoring to obtain up-to-date information.

Keywords: Tropospheric ozone, photochemical smog, chemical precursors, passive measurement.

Índice

CAPÍTULO I.....	1
1. Introducción	1
1.1 Problemática.....	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Justificación.....	6
1.4 Delimitación.....	7
1.4.1 Delimitación geográfica	7
1.4.2 Delimitación sectorial	7
1.5 Objetivos	8
1.5.1 Objetivo general	8
1.5.2 Objetivos específicos	8
1.6 Hipótesis.....	8
CAPÍTULO II	9
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 La atmósfera.....	9
2.2 Contaminación atmosférica.....	9
2.3 Factores meteorológicos que influyen en la contaminación atmosférica.....	10
2.4 Oxidantes fotoquímicos	12
2.5 Historia del Ozono	12

2.6 Propiedades físicas y químicas del Ozono	13
2.6.1 Propiedades físicas del Ozono	14
2.6.2 Propiedades químicas del Ozono	14
2.7 Reacciones químicas del ozono en la tropósfera.....	15
2.8 Reacciones químicas del ozono en la estratósfera	16
2.9 Contaminación fotoquímica.....	17
2.10 Precursores de los oxidantes fotoquímicos	18
2.10.1 Óxidos de nitrógeno (NO _x).....	19
2.10.2 Compuestos orgánicos volátiles (COV).....	20
2.11 Efectos a la salud por Ozono.....	21
2.12 Efectos en la vegetación por el Ozono.....	22
2.13 Efectos en los materiales de construcción por el Ozono.....	23
2.14 Efecto invernadero	24
2.15 Toxicidad del Ozono	25
2.16 Contaminación atmosférica en Ecuador.....	26
2.17 Contaminación ambiental por emisión de gases de automóviles.....	26
2.18 Normativa Ecuatoriana sobre calidad del aire.....	27
2.19 Métodos para la evaluación de la calidad del aire.....	29
2.19.1 Métodos activos	29
2.19.2 Métodos pasivos.....	29

3. MARCO METODOLÓGICO	30
3.1 Área de estudio.....	30
3.2 Tubos pasivos para medición de Ozono (O ₃).....	33
3.3 Proceso de medición de Ozono (O ₃)	34
3.4 Técnica de cuantificación de Ozono (O ₃)	35
3.5 Fase de Campo	36
3.5.1 Identificación de tubos pasivos de Ozono.....	36
3.5.2 Exposición de tubos pasivos de Ozono.....	37
3.6 Fase de laboratorio	39
3.6.1 Preparación de tubos	39
3.7 Determinación de la concentración de Ozono	42
3.8 Cálculo de la concentración de Ozono (µg/m ³).....	43
3.9 Influencia de los vientos.....	44
3.10 Análisis estadístico.....	44
CAPÍTULO III	45
4. Resultados y discusión	45
4.1 Resultados	45
4.1.1 Cálculos de estadísticos.....	45
4.1.2 Análisis de las estaciones de la EMOV EP cercanas a la ciudad	48
4.1.3 Concentraciones de Ozono.....	52

4.2	Discusión.....	57
4.3	Acciones para mitigar el impacto del Ozono en la zona rural de Cuenca.....	60
5.	Conclusiones y Recomendaciones	63
5.1	Conclusiones	63
5.2	Recomendaciones.....	64
6.	Referencias bibliográficas	65
7.	Anexos.....	78
7.1	Registro de datos para cada estación de muestreo.	78
7.2	Área de estudio.....	79
7.3	Rosa de los vientos periodo de abril – julio.	80
7.4	Colocación de estaciones en las zonas de monitoreo.	81
7.5	Preparación de la solución portadora.	81
7.6	Análisis de muestras en el laboratorio.	83

Índice de figuras

Fig. 1:	Efectos de las condiciones meteorológicas en la contaminación del aire.....	10
Fig. 2:	Perfil de ozono vertical. aumentos en el ozono cerca de la superficie son el resultado de la contaminación de las actividades humanas.	17
Fig. 3:	Mecanismo de formación de ozono.....	19
Fig. 4:	Efectos del ozono.....	21

Fig. 5: Localización de puntos de muestreo en las zonas rurales de la ciudad de Cuenca.....	30
Fig. 6: Recomendaciones para la ubicación de estaciones de vigilancia.	31
Fig. 7: Rosa de los vientos: ciudad de Cuenca, periodo 2013 – 2022.....	32
Fig. 8: Rosa de los vientos: ciudad de Cuenca, periodo 1990 – 2011.....	33
Fig.9: Modelo de tubo pasivos de medición.	34
Fig.10: Tubos pasivos de medición de ozono.	35
Fig.11: Etiquetado de los tubos de medición de ozono.....	36
Fig.12: Soporte para los contenedores de los tubos de medición pasiva.	37
Fig.13: Colocación de tubos de medición en el contenedor.....	38
Fig.14: Estación de monitoreo.	39
Fig.15: Preparación de la solución portadora.....	41
Fig.16: Preparación de los tubos pasivos con la solución portadora.....	42
Fig.17: Proceso previo a la determinación de la absorbancia.	43
Fig. 18: Prueba de normalidad calculada (Normal Q-Q plot): estaciones de muestreo.	46
Fig. 19: Diagrama de cajas y bigotes: estaciones de muestreo	48
Fig. 20: Prueba de normalidad calculada (Normal Q-Q plot): estaciones urbanas.....	50
Fig. 21: Diagrama de cajas y bigotes: estaciones EMOV EP.	51
Fig. 22: Niveles de ozono registrados por estaciones en los distintos muestreos	55
Fig. 23: Rosa de los vientos, abril-junio - Cuenca.....	56

Fig. 24: Registro de radiación solar (24-04-2023 y 03-07-2023)	57
--	----

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades físicas del Ozono	14
Tabla. 2: Efectos tóxicos del ozono gaseoso en los seres humanos.....	25
Tabla 3. Concentraciones de niveles de alerta, alarma y emergencia en la calidad del aire....	28
Tabla 4: Ubicación de los puntos de muestreo.....	31
Tabla 5. Estadísticos calculados: estaciones de muestreo.....	45
Tabla 6. Prueba de normalidad para los grupos de datos.	46
Tabla 7. Prueba de homogeneidad.	47
Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA).	47
Tabla 9. Estadísticos calculados: estaciones urbanas.....	49
Tabla 10. Valores atípicos.....	49
Tabla 11. Prueba de normalidad para los grupos de datos.	49
Tabla 12. Prueba de homogeneidad.	50
Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA).	51
Tabla 14. Prueba post hoc.	52
Tabla 15. Reporte de las mediciones de ozono troposférico.....	53

CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1 Problemática

A nivel mundial, la contaminación del aire se destaca como el principal riesgo individual para la salud ambiental, ya que su exposición crónica tiene graves repercusiones en la salud pública, lo que conlleva el desarrollo de enfermedades tanto a nivel local como sistémico, con distintos niveles de gravedad, y, en última instancia, resulta en una disminución de la esperanza de vida (Abbasi-Kangevari et al., 2023). Según State of Global Air, (2019), los niveles actuales de polución atmosférica han disminuido la esperanza de vida promedio en aproximadamente 1 año y 8 meses a escala global. En 2019, la contaminación del aire ambiental tanto en entornos urbanos como rurales causó 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo. Esta mortalidad se atribuye a la exposición a partículas finas, las cuales son responsables de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer. Del total de muertes prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior en ese año, aproximadamente el 37% fue debido a cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, el 18% a enfermedad pulmonar obstructiva crónica, el 23% a infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores, y el 11% a cáncer en las vías respiratorias (OMS, 2019).

La calidad del aire es un tema de gran relevancia en Ecuador, país situado en América del Sur, especialmente en ciudades como Cuenca. En la zona urbana de Cuenca, el tráfico vehicular es la fuente más importante de emisión, así mismo, al noroccidente de la zona urbana, se destaca adicionalmente el aporte de las emisiones industriales (EMOV EP, 2021). Existen diversos contaminantes que contribuyen a la contaminación del aire ambiental, sin embargo, la OMS ha

establecido que ciertos elementos tienen un impacto bien documentado en la salud humana, estos incluyen, las partículas (PM), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono troposférico (O₃), además, otros contaminantes como el dióxido de azufre (SO₂), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) también tienen un papel crucial en la generación de la contaminación atmosférica y sus impactos en la salud de las personas (Quintyne & Kelly, 2023).

El ozono (O₃) es una sustancia química atmosférica de gran importancia que tiene impactos negativos tanto en el ecosistema como en la salud de las personas, especialmente a nivel superficial, además es importante destacar que en la troposfera superior, el ozono también actúa como un gas de efecto invernadero (Xu et al., 2020). La presencia de ozono en la superficie se debe principalmente a reacciones fotoquímicas entre compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno (NO_x) (X. Li et al., 2022). Según Brancher, (2021), en entornos donde las proporciones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno (NO_x) son altas (bajos niveles de NO_x), se encuentra un régimen limitado por NO_x. En consecuencia, un aumento en los niveles de NO_x resultará en un aumento en la formación de ozono (O₃). Este régimen se observa con mayor frecuencia en áreas rurales y suburbanas. Por otro lado, en entornos con bajas proporciones de COV/NO_x (altos niveles de NO_x), se encuentra un régimen saturado por NO_x o limitado por COV. En esta situación, aumentar los niveles de COV tendría un impacto limitado en la formación de ozono, ya que la presencia de una gran cantidad de NO_x en relación con los COV ya satura el proceso químico.

Investigaciones epidemiológicas recientes han confirmado que el ozono tiene efectos perjudiciales para la salud humana, independientemente de otros contaminantes del aire, es así que se estima que en el año 2010, la exposición prolongada al ozono resultó en aproximadamente 1.1

millones de muertes prematuras anuales en todo el mundo, principalmente debido a enfermedades respiratorias (Malley et al., 2017; Sicard et al., 2020).

Según Quintyne & Kelly, (2023), para abordar eficazmente la contaminación del aire, es crucial contar con una sólida colaboración multisectorial y promover la alfabetización ambiental entre la población. En este contexto, la evaluación de los niveles de ozono en las zonas rurales de la ciudad de Cuenca permite comprender el impacto de este contaminante en el ambiente y la salud de la población local. Este estudio busca proporcionar una visión más completa de la calidad del aire en las áreas rurales de Cuenca y sentar las bases para la implementación de medidas de control adecuadas, encaminadas a preservar la salud y el bienestar de la comunidad, así como a promover un entorno ambientalmente sostenible.

1.2. Antecedentes

La calidad del aire es un aspecto crucial para la salud humana y el ambiente. La ciudad de Cuenca, al igual que muchas otras áreas urbanas y rurales, enfrenta el desafío de mantener una buena calidad del aire en un contexto de crecimiento urbano y desarrollo industrial. Según (Xu et al., (2020), el ozono (O₃), uno de los principales contaminantes del aire, es un gas oxidante que puede tener efectos negativos en la salud y en los ecosistemas cuando se encuentra en concentraciones elevadas .

Según Feuerbacher et al., (2015), Cuenca está experimentando un significativo crecimiento poblacional y expansión urbana, superando proporcionalmente el aumento demográfico. La flota vehicular ha aumentado rápidamente, con un crecimiento anual del 12% en vehículos no comerciales desde 1975. Además, se observa un cambio de preferencia hacia el transporte en vehículo particular o individual en lugar del transporte público, con un aumento del 20% al 43%

en el uso de automóviles particulares o taxis como principal medio de transporte entre 1992 y 2012. Estas tendencias han afectado la calidad del aire en Cuenca, mostrando deficiencias en comparación con otras ciudades ecuatorianas en la concentración de material particulado y ubicándose en un punto intermedio en comparación con centros urbanos internacionales.

En Cuenca, se pueden identificar las industrias y las gasolineras como fuentes específicas de emisiones. La industria se concentra principalmente en el Parque Industrial al noreste de la ciudad, donde aproximadamente operan 145 empresas industriales. Por otro lado, las estaciones de servicio (gasolineras) se distribuyen a lo largo de las principales vías de la ciudad (Jerves & Armijos-Arcos, 2016).

Sellers & Espinoza, (2017), mencionan que en Cuenca se ha implementado un sistema de monitoreo de la calidad del aire mediante el uso de sensores pasivos desde el año 2005. Estos sensores registran de manera continua y a intervalos de un segundo diversos contaminantes atmosféricos, como el dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3), y partículas de tamaño 2,5 micrómetros ($\text{PM}_{2,5}$). A pesar de esta implementación, se han detectado dos limitaciones en el sistema: la falta de un análisis completo que proporcione un índice general de la calidad del aire en la ciudad, abarcando todos los contaminantes principales, y una gestión deficiente de la información recolectada, lo que dificulta el análisis y la interpretación de la evolución temporal de los contaminantes.

El crecimiento poblacional acelerado y el desarrollo industrial han generado un incremento significativo en la contaminación del aire, especialmente debido a la presencia de partículas en suspensión y la formación de ozono. La exposición recurrente a concentraciones bajas de ozono, como ocurre en días con altos niveles de contaminación atmosférica, induce un estado crónico de

estrés oxidativo (Bello-Medina et al., 2022). Esta situación destaca la urgencia de enfrentar de manera eficiente los asuntos vinculados con la calidad del aire y cómo afectan a la salud de las personas.

Se han descrito diversas técnicas analíticas en la literatura para medir los niveles de ozono en la troposfera, como la espectrofotometría UV-vis y la quimioluminiscencia. El método de referencia utilizado en las redes de monitoreo de la calidad del aire se basa en la absorción del ozono en la región ultravioleta. Una alternativa prometedora para el monitoreo asequible del ozono troposférico es el muestreo pasivo combinado con sensores de bajo costo, que permite obtener concentraciones promedio en múltiples puntos basadas en el tiempo de exposición en régimen difusivo. Los métodos químicos de muestreo pasivo implican una reacción del ozono con un reactivo y la medición del producto formado utilizando una técnica analítica adecuada (Cerrato-Alvarez et al., 2018).

Varios estudios reportados en todo el mundo (Quintyne & Kelly, 2023; J. Zhang et al., 2019; Zhao et al., 2022; Wang et al., 2021; Brancher, 2021), han obtenido resultados que resaltan las significativas interacciones de la contaminación por ozono (O_3) y la necesidad imperante de esfuerzos colaborativos interregionales para controlar este tipo de contaminación. Además, los resultados obtenidos por X. Li et al., (2022), puntualizan que para la reducción de la contaminación por ozono, es importante el control sinérgico de precursores clave, incluidos los óxidos de nitrógeno, y compuestos orgánicos volátiles para contrarrestar el efecto reducido de la titulación de NO mediante la inhibición de la producción fotoquímica de ozono, destacando la importancia de establecer más sitios regionales para evaluar de manera integral los cambios espaciotemporales en los contaminantes del aire superficial.

Así mismo, en un estudio realizado por Rollin et al., (2022), se ha demostrado que el ozono tiene un efecto modulador en la interacción entre la exposición a pesticidas y la temperatura en los polinizadores de cultivos. Esto incrementa la probabilidad de impactos negativos en la polinización de los cultivos. En particular, se observó que cuando los niveles de ozono son elevados, el efecto del pesticida en los polinizadores es más del doble que cuando los niveles de ozono son moderados. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar la contaminación del aire en los planes y políticas de gestión dirigidos a preservar la biodiversidad y fomentar prácticas sostenibles en la producción de alimentos.

1.3. Justificación

La ejecución del estudio para determinar las concentraciones de ozono (O_3) en el aire en las zonas rurales de la ciudad de Cuenca, es fundamental para contar con información precisa y actualizada sobre los niveles de ozono en estas áreas para evaluar el impacto de este contaminante en el medio ambiente y en la salud de la población local.

La falta de datos específicos de concentraciones de ozono en las zonas rurales de Cuenca limita la comprensión del problema y dificulta la implementación de estrategias eficaces de mitigación. Mediante este análisis, se obtendrá información valiosa que permitirá evaluar el nivel de exposición de las personas y su posible relación con problemas respiratorios y otros efectos adversos para la salud.

Además, la utilización del método de tubos pasivos ofrece una ventaja significativa, ya que es una técnica confiable y rentable para medir las concentraciones atmosféricas de ozono. Esto nos permite realizar un monitoreo continuo y a largo plazo en diferentes puntos de las zonas rurales,

obteniendo así datos representativos y consistentes que respalden nuestras conclusiones y recomendaciones.

La implementación de medidas de control adecuadas requiere de una comprensión completa de la calidad del aire en las zonas rurales de Cuenca. Mediante este análisis, podremos identificar áreas de preocupación y formular recomendaciones efectivas para mitigar los efectos negativos del ozono, preservando así la salud y el bienestar de la comunidad local.

1.4 Delimitación

1.4.1 Delimitación geográfica

El presente estudio se ejecutó en el cantón Cuenca, provincia del Azuay, en zonas que comprenden las parroquias Baños y Tarqui, donde se seleccionaron áreas específicas para llevar a cabo el análisis ambiental de las concentraciones de ozono en el aire.

1.4.2 Delimitación sectorial

Los análisis respectivos se realizaron en el laboratorio del área de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar los niveles de ozono en las zonas rurales de la ciudad de Cuenca mediante el método de tubos pasivos, con la finalidad de formular recomendaciones para mitigar el impacto negativo de este contaminante.

1.5.2 Objetivos específicos

- Determinar de las zonas rurales a la ciudad de Cuenca, en donde se deben realizar las mediciones de ozono de acuerdo con las condiciones meteorológicas existentes.
- Realizar mediciones en las zonas establecidas por un periodo de entre cuatro a seis meses.
- Analizar los datos obtenidos y verificar sus niveles de concentración de acuerdo con las normativas ambientales vigentes.
- Formular recomendaciones sobre las posibles acciones para mitigar el impacto negativo que ocasiona el ozono troposférico en la zona rural de la ciudad de Cuenca.

1.6 Hipótesis

Se espera que las concentraciones de ozono (O_3) en el aire en las zonas rurales de la ciudad de Cuenca sean inferiores a los límites máximos permisibles establecidos en la normativa ecuatoriana, debido a la menor presencia de fuentes de emisión, la influencia de la dirección del viento y otros factores meteorológicos que transporta y/o dispersa los contaminantes hacia áreas más alejadas de las zonas rurales.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 La atmósfera

La atmósfera terrestre es una capa de gases que rodea nuestro planeta y está adherida gravitacionalmente a la Tierra, y es esencial para la vida en la Tierra. La atmósfera está compuesta aproximadamente por 78% de nitrógeno y oxígeno alrededor de un 21%, junto con trazas de otros gases como argón, dióxido de carbono, vapor de agua y gases nobles (Olaoluwa et al., 2022). Cumple múltiples funciones, como proteger la tierra al absorber la radiación solar dañina y los rayos cósmicos, y ayudar a regular la temperatura global. También desempeña un papel clave en el ciclo del agua, facilitando procesos como la evaporación, la condensación y la precipitación. Además, es el medio a través del cual se producen los fenómenos meteorológicos, como el viento, las nubes y las tormentas (Dellasala, 2018).

2.2 Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica hace referencia a la existencia de compuestos o sustancias en el aire, tanto de origen natural como resultado de actividades humanas, que amenazan la salud humana, los ecosistemas y el ambiente en general (Duffney et al., 2023). Las fuentes de contaminación incluyen emisiones de combustibles fósiles en industrias, centrales eléctricas y vehículos, liberación de gases tóxicos en procesos industriales, emisiones agrícolas y quema de biomasa. Estas actividades emiten CO₂, NO_x, SO_x, partículas en suspensión, COV y otros contaminantes que contribuyen a la contaminación atmosférica y sus impactos negativos (Miller, 2017).

Según Jerves, (2010), la atmósfera contiene una amplia gama de sustancias que pueden originarse tanto de fuentes naturales como resultado de actividades humanas. Estas sustancias se pueden dividir en dos grupos distintos:

- **Contaminantes primarios:** Son liberados directamente a la atmósfera desde fuentes puntuales como chimeneas, conductos o fuentes lineales como vehículos en movimiento. Estos contaminantes son los más significativos en términos de cantidad e incluyen sustancias como SO_2 , H_2S , NO , NH_3 , CO , CO_2 , HCL , HF , así como partículas sedimentables y en suspensión.
- **Contaminantes secundarios:** Se forman a través de interacciones químicas entre los contaminantes primarios y los componentes naturales de la atmósfera. Algunos ejemplos de contaminantes secundarios son SO_3 , H_2SO_4 , NO_2 , HNO_3 , O_3 , PAN, formaldehído, entre otros.

2.3 Factores meteorológicos que influyen en la contaminación atmosférica

Los factores meteorológicos desempeñan un papel crucial en la contaminación atmosférica, ya que pueden influir en la dispersión, transporte y acumulación de contaminantes (Figura 1) (Y. Zhang, 2019). Los factores meteorológicos son complejos y varían según la ubicación y las condiciones locales, es por ello que modelos meteorológicos y la monitorización en tiempo

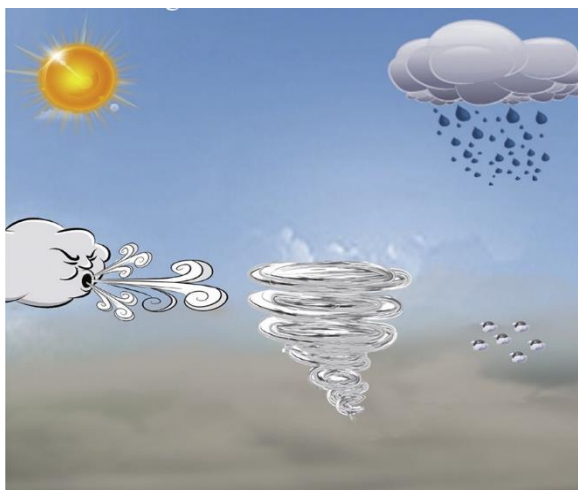


Fig. 1: Efectos de las condiciones meteorológicas en la contaminación del aire

Fuente: (Y. Zhang, 2019)

real ayudan a estudiar estas interacciones y mejorar nuestra comprensión de la contaminación atmosférica.

Algunos de los factores meteorológicos más relevantes son los siguientes:

- **Viento:** La velocidad y dirección del viento afectan la dispersión de contaminantes. Un viento fuerte puede ayudar a dispersarlos y alejarlos de las fuentes de emisión, mientras que una falta de viento puede favorecer la acumulación de contaminantes en áreas locales (Reiminger et al., 2020).
- **Estabilidad atmosférica:** La estabilidad atmosférica se refiere a la tendencia de la atmósfera a resistir la mezcla vertical de aire. Una capa de aire estable puede atrapar los contaminantes cerca del suelo, causando una acumulación y empeorando la calidad del aire. Por otro lado, una atmósfera más inestable favorece la dispersión vertical y horizontal de los contaminantes (Hu & Yoshie, 2020).
- **Inversión térmica:** La inversión térmica es una capa de aire cálido que se forma sobre una capa más fría cerca del suelo. Actúa como una tapa que atrapa los contaminantes en la capa fría, evitando su dispersión vertical. Esto puede conducir a la acumulación de contaminantes en áreas bajas y empeorar la calidad del aire.
- **Precipitación:** La lluvia y otras formas de precipitación pueden lavar los contaminantes del aire, reduciendo temporalmente sus concentraciones. La precipitación también puede ayudar a dispersar los contaminantes en el aire y limpiar la atmósfera (Yang et al., 2022).
- **Radiación solar:** La radiación solar juega un papel importante en la formación de contaminantes fotoquímicos, como el ozono troposférico. La intensidad y duración de la radiación solar pueden influir en las reacciones químicas que dan lugar a la formación de contaminantes secundarios (X. Zhang et al., 2022).

2.4 Oxidantes fotoquímicos

Los oxidantes fotoquímicos son compuestos químicos que se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas impulsadas por la radiación solar. Estos oxidantes, como el ozono (O_3) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), son altamente reactivos y pueden causar daños en los tejidos vivos y en los materiales. La formación de oxidantes fotoquímicos ocurre principalmente en áreas urbanas y en presencia de contaminantes primarios, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). La radiación solar actúa como catalizador en las reacciones químicas que transforman estos contaminantes en oxidantes fotoquímicos (Rahman et al., 2023).

Según Gad, (2014), el oxidante de importancia crítica en la atmósfera fotoquímica es el ozono (O_3). Varias millas sobre la superficie de la tierra, en la troposfera, hay suficiente luz ultravioleta (UV) de onda corta para dividir directamente el O_2 molecular en O atómico para combinarlo con O_2 y formar O_3 .

2.5 Historia del Ozono

A lo largo de la historia, se han realizado descubrimientos significativos sobre el ozono y sus funciones en la atmósfera. En 1785, Martinus van Marum estableció la existencia del ozono, y en 1840, Christian Friedrich Schönbein acuñó el término para describir su forma triatómica altamente reactiva. Posteriormente, en 1865, Jacques-Louis Soret determinó su fórmula (O_3). En 1882, W. Hartley descubrió la banda de absorción del ozono alrededor de los 300 nanómetros, lo cual sugiere una mayor presencia natural de ozono en la alta atmósfera en comparación con la superficie de la tierra (Mordecai, 2001).

Se comprendió que el ozono estratosférico desempeña un papel beneficioso al actuar como una barrera protectora contra la radiación ultravioleta dañina. Sin embargo, también se descubrió que, en la troposfera, cerca de la superficie de la tierra, el ozono puede convertirse en un contaminante, el mismo que se forma como resultado de reacciones químicas complejas cuando los contaminantes primarios, como los óxidos de nitrógeno (NOx) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), interactúan en presencia de luz solar (EEA, 2016).

A medida que se ha avanzado en el conocimiento de la historia del ozono como contaminante, se han implementado medidas y regulaciones para reducir las emisiones de los contaminantes precursores del ozono y mejorar la calidad del aire a nivel mundial. Se busca mantener un equilibrio entre el papel beneficioso del ozono en la estratosfera y su impacto negativo como contaminante en la troposfera (EEA, 2016).

2.6 Propiedades físicas y químicas del Ozono

El ozono es un gas compuesto por moléculas triatómicas de oxígeno (O₃) que se encuentra tanto en la estratosfera como en la troposfera de la atmósfera terrestre. En la estratosfera, el ozono desempeña un papel fundamental al actuar como un escudo protector contra la radiación ultravioleta del sol, previniendo así daños en la salud y en los ecosistemas. Sin embargo, en la troposfera, cerca de la superficie terrestre, el ozono puede actuar como un contaminante cuando se forma como resultado de reacciones químicas complejas entre contaminantes primarios y la luz solar, lo que puede tener efectos negativos en la calidad del aire y en la salud de los seres vivos (Gordon et al., 2014).

2.6.1 Propiedades físicas del Ozono

El ozono (del griego significa desprender olor) es una molécula natural pero inestable. El gas puro tiene un suave color azul cielo con un olor acre. La molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno y, el peso molecular, en comparación con la molécula diatómica de oxígeno (32,00) es de 48,00. El ozono posee una estructura cíclica con una distancia de 1,26 Å entre los átomos de oxígeno y se encuentra en diversos estados mesoméricos en un equilibrio dinámico. Debido a su alta solubilidad en agua, el ozono puede reaccionar rápidamente con cualquier compuesto soluble y biomoléculas presentes en los fluidos biológicos. (Tabla 1) (Bocci, 2010).

Tabla 1. Propiedades físicas del Ozono

Propiedades físicas del Ozono	
Formula molecular	O ₃
T° de ebullición	-112 °C
T° de congelación	-251 °C
Calor de formación	-34.41 Kcal/mol
Estado físico	Gas azul pálido, irritante y picante
Densidad (0°C, 760 mm)	2.144 g/L
Solubilidad en agua a 12°C 1 y atm	20 cm ³ /L

Fuente: (Bocci, 2010)

2.6.2 Propiedades químicas del Ozono

El ozono presenta varias propiedades químicas distintivas. Es un oxidante fuerte y altamente reactivo debido a la presencia de su tercer átomo de oxígeno, lo que le confiere una mayor capacidad para reaccionar con otras sustancias, capaz de donar su átomo de oxígeno adicional, lo que le permite participar en reacciones de oxidación en diferentes entornos químicos (Bocci, 2010). Esta capacidad oxidante del ozono es aprovechada en aplicaciones como la desinfección

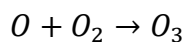
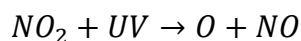
del agua y el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, el ozono también puede ser tóxico y corrosivo en altas concentraciones, lo que requiere precauciones en su manejo y uso, así mismo, debido a su naturaleza inestable, el ozono tiende a descomponerse rápidamente en condiciones normales, lo que limita su tiempo de vida útil (Gordon et al., 2014).

2.7 Reacciones químicas del ozono en la tropósfera

En la troposfera, la capa cercana a la superficie de la tierra, el ozono se genera mediante reacciones fotoquímicas entre contaminantes primarios, como los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, en presencia de luz solar. Estos contaminantes reaccionan con el oxígeno molecular (O_2) para producir ozono (O_3). A su vez, el ozono puede reaccionar con otros compuestos presentes en la troposfera, como los hidrocarburos, generando compuestos orgánicos volátiles oxidantes y otros productos químicos secundarios (Gad, 2014).

El ozono troposférico es un importante contaminante del aire y un gas de efecto invernadero, y también juega un papel clave en la química atmosférica (Lu et al., 2021).

Según Gad, (2014), en esta región, el dióxido de nitrógeno absorbe eficientemente la luz ultravioleta de longitud de onda más larga, lo que conduce a la siguiente serie simplificada de reacciones:



Este proceso es cíclico, con NO_2 regenerado por la reacción de NO y O . En ausencia de hidrocarburos, esta serie de reacciones se aproximaría a un estado estacionario sin exceso o

acumulación de O_3 . Sin embargo, cerca de la superficie terrestre, los hidrocarburos, especialmente las olefinas y los compuestos aromáticos sustituidos, son atacados por el O atómico libre, que, junto con el NO, produce más NO_2 . Por lo tanto, el equilibrio de las reacciones que se muestra en las reacciones anteriores se altera de modo que los niveles de O_3 se acumulan, particularmente cuando la intensidad del Sol es mayor al mediodía (Gad, 2014).

2.8 Reacciones químicas del ozono en la estratósfera

Alrededor del 90 % del ozono atmosférico reside en la estratosfera inferior entre aproximadamente 15 y 35 km de altitud (a menudo denominada "capa de ozono"), mientras que solo ~ 10 % se encuentra en la troposfera (Figura 2) (Langematz, 2019).

En la estratosfera, el ozono desempeña un papel crucial al absorber la radiación ultravioleta del sol. Las reacciones químicas en la estratosfera son principalmente impulsadas por la radiación ultravioleta. El oxígeno molecular (O_2) se divide en átomos de oxígeno individuales por la radiación UV, y estos átomos de oxígeno se combinan luego con otras moléculas de oxígeno para formar ozono (O_3). A su vez, el ozono se descompone nuevamente por la radiación UV liberando oxígeno molecular y átomos de oxígeno. Este ciclo de formación y descomposición del ozono en la estratosfera es fundamental para mantener una capa de ozono que proteja la tierra de la radiación ultravioleta perjudicial (Langematz, 2019).

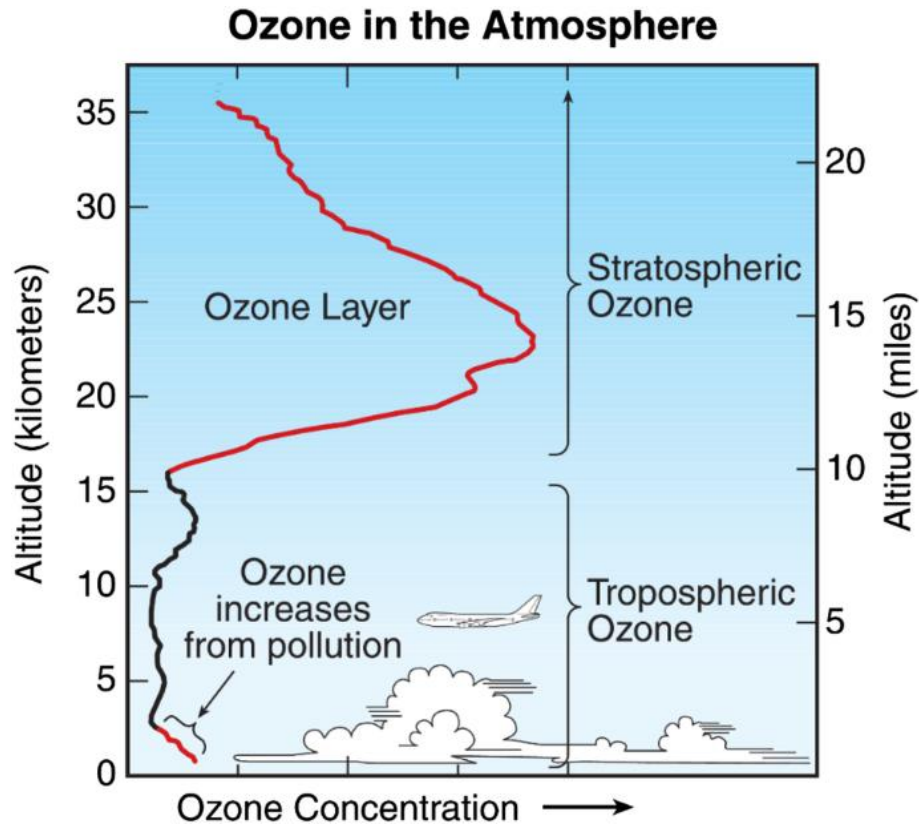


Fig. 2: Perfil de ozono vertical. aumentos en el ozono cerca de la superficie son el resultado de la contaminación de las actividades humanas.

Fuente: (Langematz, 2019)

2.9 Contaminación fotoquímica

La contaminación fotoquímica, también conocida como smog fotoquímico, se refiere a la forma de contaminación del aire que se produce cuando ciertos contaminantes químicos interactúan con la luz solar. Es una forma específica de contaminación atmosférica que se caracteriza por la presencia de altas concentraciones de ozono troposférico y otros oxidantes fotoquímicos (Sher, 1998).

Su formación se debe principalmente a la interacción de los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles y la radiación solar, los mismos que se liberan principalmente por las emisiones

de vehículos automotores, industrias y actividades humanas relacionadas con la combustión de combustibles fósiles. Cuando estos contaminantes se liberan en la atmósfera, reaccionan bajo la influencia de la luz solar y forman una serie de compuestos químicos, incluyendo ozono troposférico (O_3) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), entre otros (Wei et al., 2020).

El smog fotoquímico, más común en los meses de verano, se produce debido a la intensa luz solar y condiciones atmosféricas estables que favorecen la acumulación de contaminantes, especialmente en áreas urbanas con altas concentraciones de vehículos e industrias. Para combatirlo, es necesario reducir las emisiones de contaminantes, promover el uso de tecnologías más limpias y fomentar el transporte público y no motorizado (Liu et al., 2023).

2.10 Precursores de los oxidantes fotoquímicos

Los principales precursores de los oxidantes fotoquímicos son los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV). Los NO_x son generados principalmente por fuentes antropogénicas como las emisiones de vehículos, las centrales eléctricas y las industrias. Los COV pueden tener tanto fuentes naturales como antropogénicas, siendo las fuentes antropogénicas más significativas las emisiones de disolventes, productos químicos industriales y escapes de combustibles (Figura 3) (Fu et al., 2020).

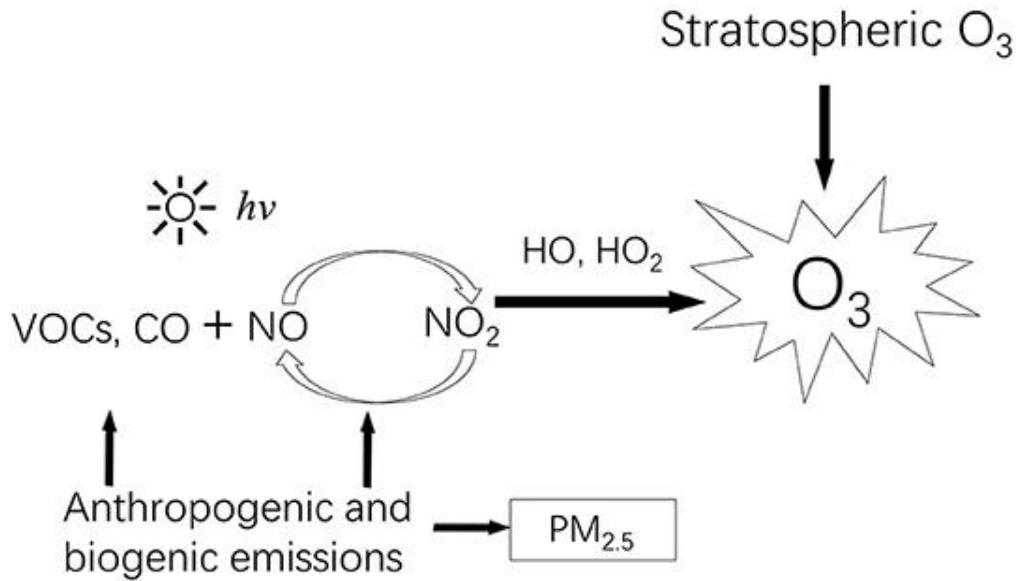


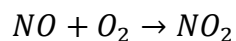
Fig. 3: Mecanismo de formación de ozono.

Fuente: (J. Zhang et al., 2019)

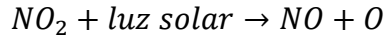
2.10.1 Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Los óxidos de nitrógeno desempeñan un papel importante en diversos efectos ambientales, como la lluvia ácida, la eutrofización en aguas costeras y la formación de ozono (Shugart, 2005). De acuerdo con Jhun et al., (2015), los óxidos de nitrógeno (NO_x), principalmente el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂), juegan un papel clave en la formación de ozono (O₃) en la atmósfera. El proceso de formación de ozono a partir de los NO_x involucra reacciones fotoquímicas complejas que se describen a continuación:

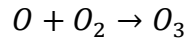
En presencia de luz solar, el óxido nítrico (NO) puede reaccionar con el oxígeno molecular (O₂) para formar dióxido de nitrógeno (NO₂) mediante la siguiente reacción:



El dióxido de nitrógeno (NO_2) también puede formarse directamente a partir de la oxidación del óxido nítrico (NO) por el oxígeno molecular (O_2). A continuación, el dióxido de nitrógeno (NO_2) puede reaccionar con la luz solar para descomponerse en radicales de oxígeno (O):



Estos radicales de oxígeno (O) pueden luego reaccionar con el oxígeno molecular (O_2) para formar ozono (O_3):



En resumen, los NO_x , en presencia de luz solar, reaccionan para formar dióxido de nitrógeno (NO_2), que luego se descompone en radicales de oxígeno (O). Estos radicales reaccionan con el oxígeno molecular (O_2) para generar ozono (O_3) (Jhun et al., 2015).

2.10.2 Compuestos orgánicos volátiles (COV)

En la troposfera, el ozono se produce mediante la fotólisis del dióxido de nitrógeno (NO_2) a monóxido de nitrógeno (NO) en presencia de oxígeno molecular. Sin embargo, el ozono producido se consume rápidamente a través de un proceso inverso, lo que resulta en un equilibrio de ozono que tiende a cero. No obstante, la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COVs) puede alterar este equilibrio. Cuando hay COVs presentes, reaccionan con los radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$) en presencia de oxígeno molecular, lo que conduce a la formación de radicales peróxido alquilo ($\cdot\text{RO}_2$) y radicales hidropéroxilo ($\cdot\text{HO}_2$). Estos radicales pueden oxidar el NO a NO_2 sin consumir ozono, lo que provoca un aumento en las concentraciones de NO_2 en la atmósfera (Da Silva et al., 2018).

Además Da Silva et al.,(2018), menciona que la formación y eliminación de ozono en la atmósfera dependen de las concentraciones de óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Sin embargo, la relación entre el ozono, los NOx y los COVs está influenciada por complejos procesos fotoquímicos no lineales. Estos procesos se ven afectados por las proporciones COV/NOx y la reactividad de la mezcla de COVs, que se determina mediante el coeficiente de velocidad de reacción de cada COV con los radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$). Esta reactividad desempeña un papel importante en la producción de ozono, incluyendo la reactividad de los intermediarios en el mecanismo de reacción (considerada como reactividad mecanística). Además de las proporciones COV/NOx, las concentraciones de ozono en el ambiente también son influenciadas por las condiciones meteorológicas y los procesos de transporte

2.11 Efectos a la salud por Ozono

El ozono presente en el aire que respiramos puede ser perjudicial para nuestra salud (Figura 4), especialmente durante los días calurosos y soleados, cuando los niveles de ozono pueden llegar a ser nocivos, e incluso niveles relativamente bajos de ozono pueden tener efectos negativos en nuestra salud (EPA, 2020).

Según J. Zhang et al., (2019), la evidencia científica respalda de manera contundente los efectos a la salud debido al ozono, estos efectos, como se ha

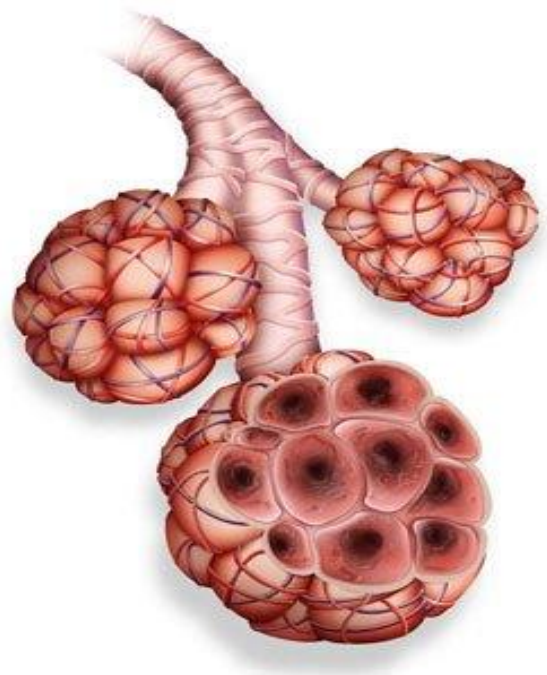


Fig. 4: Efectos del ozono: puede contraer los músculos de las vías respiratorias, causando sibilancias y dificultad para respirar.

Fuente: (EPA, 2020).

demostrado en diversas investigaciones recientes, e incluyen lo siguiente:

- El ozono puede causar efectos respiratorios adversos, como dificultad para respirar (p. ej., dificultad para respirar y dolor al respirar profundamente) e inflamación de las vías respiratorias en la población general. Estos efectos pueden agravar enfermedades pulmonares como el asma, el enfisema y la bronquitis crónica.
- La exposición a largo plazo al ozono es una de las muchas causas del desarrollo del asma.
- La exposición al ozono puede causar muertes prematuras, y la evidencia es más sólida para la mortalidad debida a enfermedades respiratorias que para la debida a otras enfermedades.
- Los niños corren un mayor riesgo por la exposición al ozono, ya que los niños tienen una dosis relativamente más alta por masa corporal y el pulmón de los niños aún se está desarrollando.

Debido a la limitada solubilidad del ozono en el agua, el tracto respiratorio superior no es tan eficaz para eliminar el ozono del aire inhalado como lo es para los contaminantes más solubles en agua, tales como el dióxido de azufre (SO₂) o el cloro gaseoso (Cl₂). En consecuencia, la mayor parte del ozono inhalado alcanza el tracto respiratorio inferior, donde se disuelve en la delgada capa de líquido que recubre el revestimiento epitelial a lo largo de las vías respiratorias principales del pulmón (OMS, 2023).

2.12 Efectos en la vegetación por el Ozono

El ozono en la troposfera es uno de los agentes contaminantes del aire más perjudiciales para las plantas. Las plantas pueden alterar la concentración de ozono atmosférico de dos maneras diferentes: (i) mediante la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) que actúan como precursores del ozono; y (ii) a través de la deposición seca, que implica la difusión del ozono en

la vegetación a través de los estomas y su degradación por vías no estomáticas. Las plantas liberan isopreno, monoterpenos y terpenoides superiores en cantidades que modifican la presencia de ozono troposférico (Wedow et al., 2021).

La vegetación puede experimentar una disminución en su productividad y biomasa debido a una exposición prolongada a concentraciones elevadas de ozono. La deposición de ozono en las plantas está influenciada por la conductancia estomática, las características estructurales de las hojas y la capacidad de desintoxicación del apoplasto. Aunque no se comprende completamente qué sucede bioquímicamente con el ozono una vez que ingresa a las hojas y reacciona con las superficies acuosas, las técnicas de monitoreo e identificación de productos iniciales más recientes tienen el potencial de arrojar luz sobre este enigma (Qinyi et al., 2023; Wedow et al., 2021).

2.13 Efectos en los materiales de construcción por el Ozono

El ozono puede dañar los materiales de construcción, al ser un gas altamente reactivo compuesto por tres átomos de oxígeno. Aunque en la atmósfera superior el ozono juega un papel importante al absorber los rayos ultravioleta dañinos del sol, a nivel del suelo puede ser perjudicial (Nicolas et al., 2007).

El ozono puede causar degradación y deterioro en una variedad de materiales utilizados en la construcción, especialmente aquellos que contienen componentes orgánicos. Algunos ejemplos de materiales que pueden verse afectados son (Lin & Hsu, 2015; Nicolas et al., 2007; Shen & Gao, 2018):

- Elastómeros y caucho: El ozono puede causar agrietamiento, endurecimiento y pérdida de flexibilidad en los elastómeros y productos de caucho utilizados en juntas, sellos y revestimientos.
- Plásticos: Los plásticos como el polietileno, el polipropileno y el PVC son susceptibles al daño por ozono. Pueden experimentar decoloración, agrietamiento y pérdida de resistencia mecánica.
- Pinturas y recubrimientos: El ozono puede deteriorar la apariencia y la integridad de las pinturas y recubrimientos en las superficies expuestas, lo que resulta en decoloración, descamación y pérdida de brillo.
- Selladores y adhesivos: Los selladores y adhesivos que contienen componentes orgánicos pueden sufrir un deterioro significativo debido a la exposición al ozono. Esto puede resultar en una disminución de la adhesión y una reducción de la vida útil del sellado.

Es importante tener en cuenta que la sensibilidad de los materiales a la exposición al ozono puede variar. Algunos materiales son más resistentes que otros y pueden tener aditivos o tratamientos especiales para protegerlos del daño del ozono. Además, la concentración de ozono en un área determinada y la duración de la exposición también pueden influir en el grado de deterioro de los materiales (Nicolas et al., 2007).

2.14 Efecto invernadero

El ozono tiene un efecto invernadero, pero su contribución al calentamiento global es mucho menor en comparación con otros gases de efecto invernadero más conocidos como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). En la atmósfera superior, en la región conocida como estratosfera, el ozono desempeña un papel importante al absorber gran parte de la

radiación ultravioleta del sol, actuando como un escudo protector para la vida en la Tierra. Esta absorción de radiación ultravioleta contribuye al calentamiento de la estratosfera, lo que puede considerarse un efecto invernadero en sentido amplio (F. Li et al., 2018).

2.15 Toxicidad del Ozono

La respiración prolongada de ozono provoca una toxicidad progresiva que se puede ejemplificar tal como se muestra en la tabla 2:

Tabla. 2: Efectos tóxicos del ozono gaseoso en los seres humanos.

Concentraciones de O ₃ en el aire (ppmv)	Efectos tóxicos
0.1	Lacrimación e irritación de las vías respiratorias superiores
1.0 – 2.0	Rinitis, tos, dolor de cabeza, ocasionalmente náuseas y dificultad para respirar.
2.0 – 5.0 (10-20 min)	Los sujetos predispuestos pueden desarrollar asma. Progresivamente aumenta la disnea (dificultad respiratoria), espasmo bronquial y dolor retroesternal.
5.0 (60 min)	Edema pulmonar agudo y ocasionalmente parálisis respiratoria.
10.0	Fallecimiento en un plazo de 4 horas.
50.0	Fallecimiento en cuestión de minutos.

Fuente: (Bocci, 2002)

La toxicidad DL₅₀ en ratas después de la inhalación de ozono a una concentración de 4-6 ppmv es de 4 horas. Los efectos toxicológicos son peores si el sujeto respira aire ozonizado mezclado con CO, NO_x, vapores ácidos, etc., como ocurre en la inhalación de aire muy contaminado. Esta mezcla gaseosa puede tener un pH tan bajo como 3 y no puede neutralizarse por la débil capacidad de amortiguación y antioxidante de los líquidos de transporte del epitelio respiratorio de la mucosa.

Se debe destacar que la toxicidad del ozono para las vías respiratorias no puede extrapolarse a la sangre debido a condiciones anatómicas, bioquímicas y metabólicas notablemente diferentes (Bocci, 2002).

2.16 Contaminación atmosférica en Ecuador

La urbanización y el crecimiento demográfico van de la mano con la contaminación del aire, un fenómeno global que también afecta a Ecuador, un país andino en desarrollo situado en el noroeste de América del Sur. Las ciudades más grandes de Ecuador son especialmente propensas a altos niveles de contaminación atmosférica debido a la concentración de habitantes, el número de vehículos en circulación y la presencia de industrias (Borja-Urbano et al., 2021).

En Ecuador, la contaminación atmosférica surge debido a deficiencias en diversos aspectos, tales como la planificación urbana de asentamientos humanos, las prácticas industriales, la utilización de tecnologías obsoletas en la producción y transporte, la baja calidad de los combustibles y la minería a cielo abierto, entre otros factores. Desafortunadamente, en el país existe una escasez de investigación sobre los impactos de la contaminación del aire en la salud humana. Estos asuntos no han sido considerados en los programas de desarrollo urbano y no se han realizado estudios epidemiológicos relacionados con la calidad del aire (MAE, 2010).

2.17 Contaminación ambiental por emisión de gases de automóviles

El sector del transporte es ampliamente reconocido a nivel mundial como una fuente importante y en constante crecimiento de contaminación del aire. En muchas ciudades de países en desarrollo, el aumento insostenible de vehículos en las carreteras ha llevado a un nivel alarmante de emisiones contaminantes, lo que representa graves riesgos para la salud (Venkatram & Schulte, 2018).

La rápida urbanización en las ciudades y el crecimiento socioeconómico de la población son las principales causas detrás de la gran cantidad de vehículos en circulación. Las emisiones provenientes del sector del transporte tienen un impacto significativo en la contaminación del aire exterior, lo cual representa el principal riesgo para la seguridad ambiental mundial. Tanto en megaciudades como en áreas rurales, las emisiones vehiculares son responsables del preocupante deterioro de la calidad del aire al aire libre (Bej & Chattaraj, 2023).

2.18 Normativa Ecuatoriana sobre calidad del aire

El Artículo 276, inciso 4 de la Constitución del 2008 de Ecuador establece la importancia de recuperar y conservar el medio ambiente, así como mantener un entorno saludable y sostenible que garantice a todas las personas y comunidades un acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo. Además, asegura el acceso a los beneficios provenientes de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural (Constitución-Ecuador, 2008).

La normativa ecuatoriana referente al ozono se encuentra en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Específicamente, en el Anexo 4, se establece la Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión. Contiene disposiciones relacionadas con la medición, evaluación y control de los niveles de ozono y otros contaminantes en el aire ambiente, estableciendo límites máximos permisibles para la concentración de ozono en diferentes zonas y períodos de tiempo, con el fin de prevenir y mitigar los efectos negativos en la salud humana y los ecosistemas (Acuerdo Ministerial 097-A. TULSMA, 2015).

De acuerdo con la normativa vigente, se establece que la concentración máxima de ozono, medida de forma continua durante un período de ocho horas, no debe superar los cien microgramos

por metro cúbico ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de una vez en un año (Acuerdo Ministerial 097-A. TULSMA, 2015).

Así mismo se han establecido niveles de alerta, alarma y emergencia en relación con la calidad del aire. Cada uno de estos niveles será declarado por la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable, acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuando se exceda la concentración establecida para uno o más de los contaminantes criterio indicados en la tabla 3, o cuando se considere que las condiciones atmosféricas previstas serán desfavorables en las próximas 24 horas (Acuerdo Ministerial 097-A. TULSMA, 2015).

Tabla 3. Concentraciones de niveles de alerta, alarma y emergencia en la calidad del aire.

Contaminante y periodo de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de Carbono (Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$))	15000	30000	40000
Ozono (Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$))	200	400	600
Dióxido de nitrógeno (Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$))	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre (Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$))	200	1000	1800
Material particulado PM 10 (Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$))	250	400	500
Material particulado PM 2.5 (Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$))	150	250	350

Fuente: (Acuerdo Ministerial 097-A. TULSMA, 2015)

2.19 Métodos para la evaluación de la calidad del aire

Existen varios métodos utilizados para evaluar la calidad del aire, los mismos que proporcionan información sobre la concentración de contaminantes presentes en el aire y permiten determinar si los niveles de contaminación cumplen con los estándares establecidos (IARC, 2015). A continuación, se mencionan algunos de los métodos comunes utilizados para la evaluación de la calidad del aire:

2.19.1 Métodos activos

El método activo es una técnica utilizada para evaluar la calidad del aire mediante la recolección activa de muestras de aire utilizando equipos de muestreo activo, como bombas de aire. Este método implica la aspiración controlada de una cantidad determinada de aire a través de un dispositivo de captura, como un filtro o un tubo de absorción, durante un período de tiempo específico. A diferencia del método pasivo, en el que no se utiliza un flujo de aire controlado, el método activo permite una mayor precisión y flexibilidad en el muestreo de contaminantes atmosféricos (IARC, 2015).

2.19.2 Métodos pasivos

Este método implica el uso de dispositivos pasivos, como tubos de absorción o filtros, para recolectar muestras de aire durante un período de tiempo determinado. Estas muestras se analizan posteriormente en laboratorio para medir la concentración de contaminantes específicos (Rosario et al., 2016). Se involucra la acumulación de gases sobre un filtro impregnado por difusión ocurrida de acuerdo a la ley de Fick. Las principales ventajas de este método son: equipo de muestreo económico, operación sin uso de electricidad y ausencia de requisitos estrictos de calificación para

el personal que instala el equipo de muestreo pasivo. Por lo tanto, debido a estas características, este método es universal y puede estimar las condiciones del aire en lugares de difícil acceso, como montañas, bosques, áreas acuáticas entre otros lugares (Khuriganova et al., 2019).

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Área de estudio

El presente estudio fue realizado en la zona rural del Cantón Cuenca, provincia del Azuay, que comprende las parroquias Tarqui y Baños, donde se ubicaron cuatro estaciones de muestreo (Tabla 4; Figura 5). Previo a la selección de las estaciones de muestreo se analizó la zona en base a la metodología propuesta por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (MINAMBIENTE-COLOMBIA, 2010).

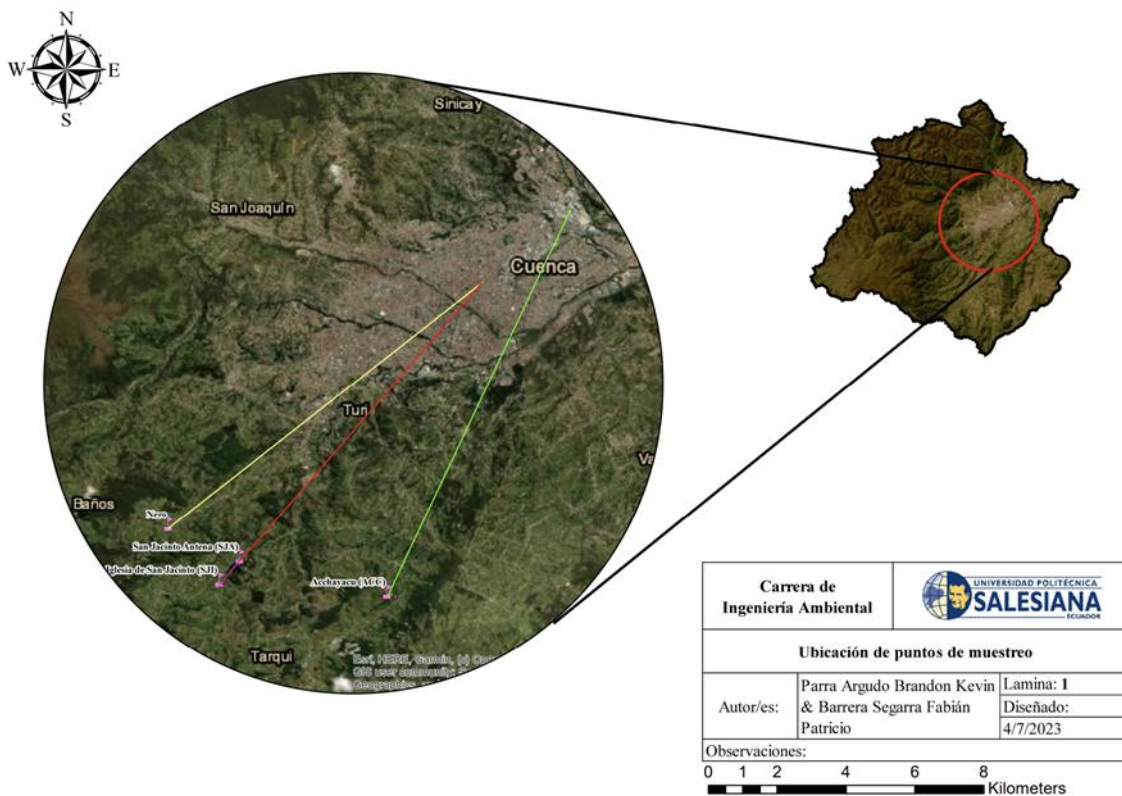


Fig. 5: Localización de puntos de muestreo en las zonas rurales de la ciudad de Cuenca.

Tabla 4: Ubicación de los puntos de muestreo.

Estación	Referencia	Coordenadas	
		x	y
Punto 1 (NERO)	Nero-parte alta; Parroquia Baños	713180.00	9672688.00
Punto 2 (SJI)	Iglesia de San Jacinto; Parroquia Tarqui	715257.00	9671741.00
Punto 3(SJA)	San Jacinto-antena; Parroquia Tarqui	714665.00	9671076.00
Punto 4 (ACC)	Acchayacu-cementerio; Parroquia Tarqui	719532.00	9670724.00

Para la selección de la zona de estudio y la ubicación las estaciones (Figura 6), se verificaron criterios importantes, estos incluyen: 1) evitar puntos cercanos a salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones de edificios, 2) descartar zonas de parqueo y depósitos de químicos, 3) evitar sitios cercanos a almacenamiento de residuos sólidos o líquidos, y 4) seleccionar lugares alejados de carreteras, campos deportivos, lotes sin cobertura vegetal o fuentes emisoras de material particulado (MINAMBIENTE-COLOMBIA, 2010). Estos criterios garantizaron una ubicación idónea para las estaciones de muestreo, asegurando la representatividad de las muestras.

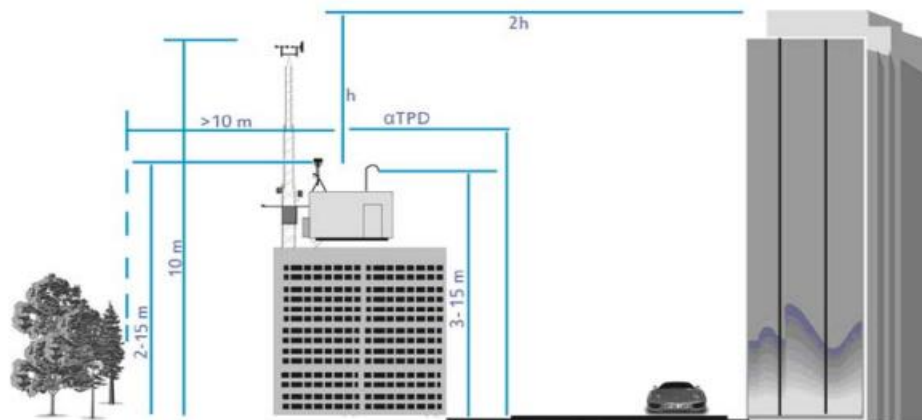


Fig. 6: Recomendaciones para la ubicación de estaciones de vigilancia.

Fuente: (MINAMBIENTE-COLOMBIA, 2010)

Se elaboró la rosa de los vientos correspondiente a la zona de muestreo, considerando que las condiciones meteorológicas, como la velocidad y dirección del viento, pueden tener un impacto en la formación del ozono troposférico en lugares diferentes y generalmente distantes de las fuentes de emisión (Haider et al., 2022).

El uso de la rosa de los vientos al contribuir a una mejor comprensión de la dispersión de los contaminantes, garantiza una selección óptima de las estaciones de muestreo, con el fin de capturar las variaciones espaciales y temporales del ozono de manera efectiva (Haider et al., 2022). Para la creación de esta se utilizó el software “WRPLOT View” y se recolectaron los datos de un periodo de diez años de la estación meteorológica “El Vecino” (Figura 7).

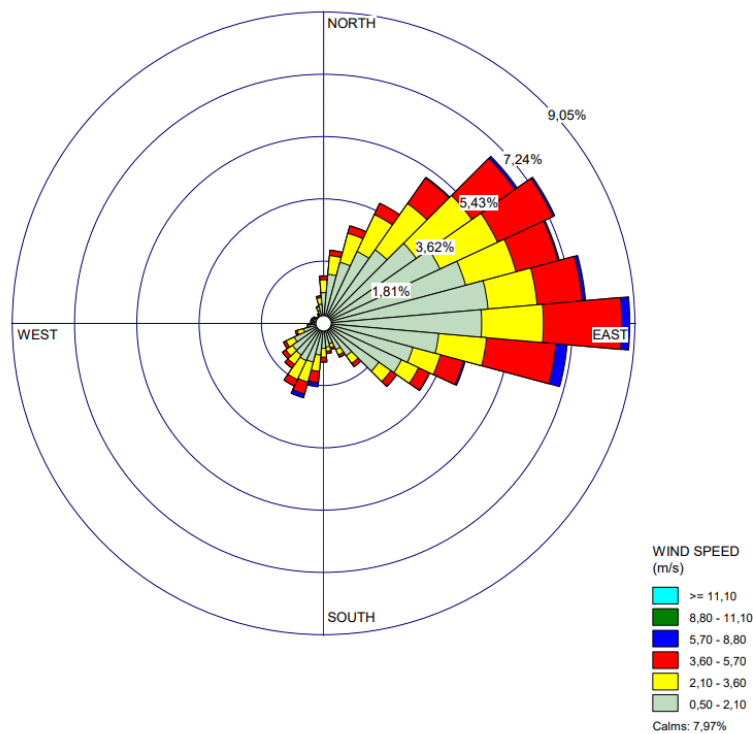


Fig. 7: Rosa de los vientos: ciudad de Cuenca, periodo 2013 – 2022.

Además, se consideró la información de la rosa de los vientos obtenida de la estación meteorológica del aeropuerto Mariscal Lamar, publicada en la revista LA GRANJA en 2016 (Jerves & Armijos-Arcos, 2016). Esto permitió realizar una comparación con los datos del periodo 2013-2022 y así definir los puntos de muestreo en función de la dirección y velocidad del viento (Figura 8).

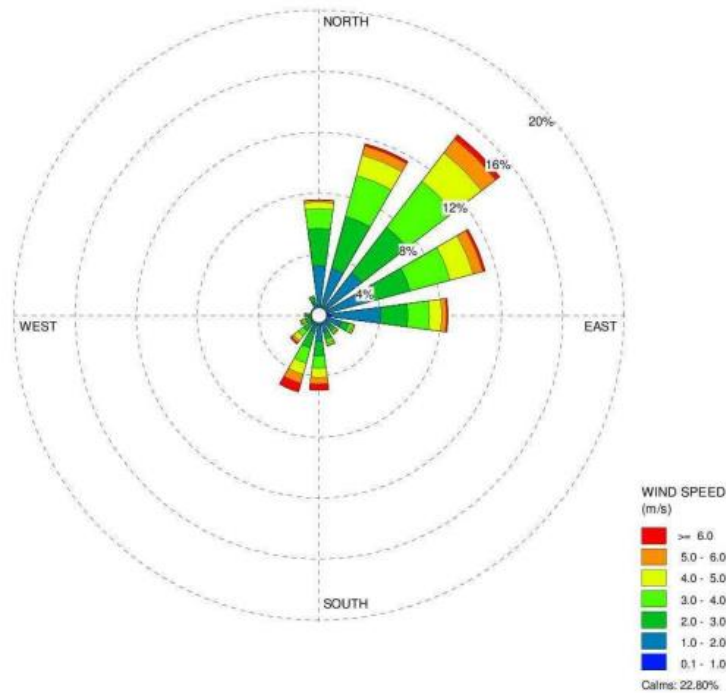


Fig. 8: Rosa de los vientos: ciudad de Cuenca, periodo 1990 – 2011.

3.2 Tubos pasivos para medición de Ozono (O_3)

Consiste en tubos de plástico que tienen como objetivo medir compuestos inorgánicos, como dióxido de nitrógeno, óxido nítrico, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, gases ácidos, ozono y amoníaco. Funcionan mediante un proceso llamado difusión molecular, donde los compuestos se desplazan desde áreas de alta concentración hacia áreas de baja concentración. Debido a que la concentración de los compuestos en el aire es mayor que la del tubo, se produce la difusión de los

compuestos dentro del tubo, acumulándose en el absorbente ubicado en el extremo del mismo (Figura 9) (Perez & Vásquez, 2018).

La absorción de los compuestos mantiene una concentración baja en el tubo, lo que permite que el proceso de difusión continúe, además, la velocidad a la que los compuestos se desplazan dentro del tubo se conoce como tasa de absorción, que es una medida conocida y utilizada en los cálculos durante el análisis (Perez & Vásquez, 2018). Es común que muchos de estos tubos sean transparentes, ya que se requiere la presencia de luz durante el proceso de absorción.

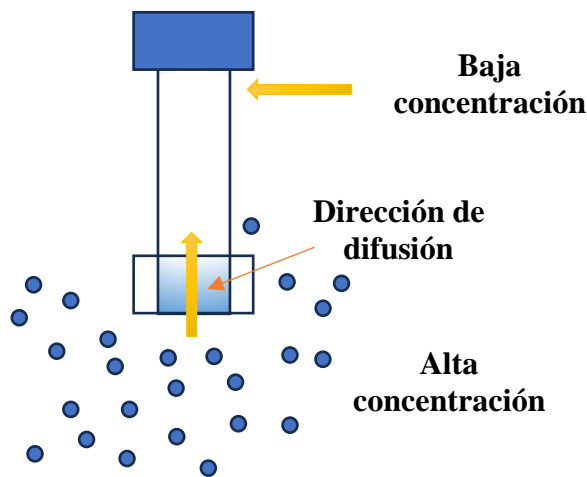


Fig.9: Modelo de tubo pasivos de medición.

3.3 Proceso de medición de Ozono (O₃)

De acuerdo con lo proporcionado por la Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte de la Municipalidad de Cuenca (EMOV EP, 2023), se realizó el siguiente proceso:

1. Preparación de los tubos
2. Identificación de tubos pasivos de Ozono (O₃)
3. Exposición-recolección de los tubos

4. Análisis de muestras
5. Determinación de la concentración

3.4 Técnica de cuantificación de Ozono (O_3)

Para cuantificar el ozono (O_3), se empleó tubos de polipropileno con un diámetro interno de 9.5 mm y una longitud de 5.5 cm. Estos tubos contienen un medio absorbente en forma de un filtro pequeño hecho de fibras de vidrio humedecidas con el reactivo DPE (1,2di-4piridil-etileno) (Figura 10). El ozono presente se descompone, generando un aldehído cuya concentración se determina al final mediante espectrofotometría a 442 nm, utilizando celdas de 1.0 cm. Los colectores o tubos pasivos utilizados para monitorear el ozono se ubicaron en contenedores pequeños para minimizar la influencia de condiciones climáticas como vientos fuertes, luz solar y lluvia. Estos dispositivos no requieren energía eléctrica para su funcionamiento (EMOV EP, 2023).



Fig.10: Tubos pasivos de medición de ozono.

3.5 Fase de Campo

3.5.1 Identificación de tubos pasivos de Ozono

La identificación de los tubos consistió en su codificación (Figura 11), teniendo en cuenta los siguientes aspectos (EMOV, 2023).

- El lugar (código del sitio de muestreo).
- El tipo de tubo (Ozono O₃).
- La posición en el contenedor (entre 1 y 3)

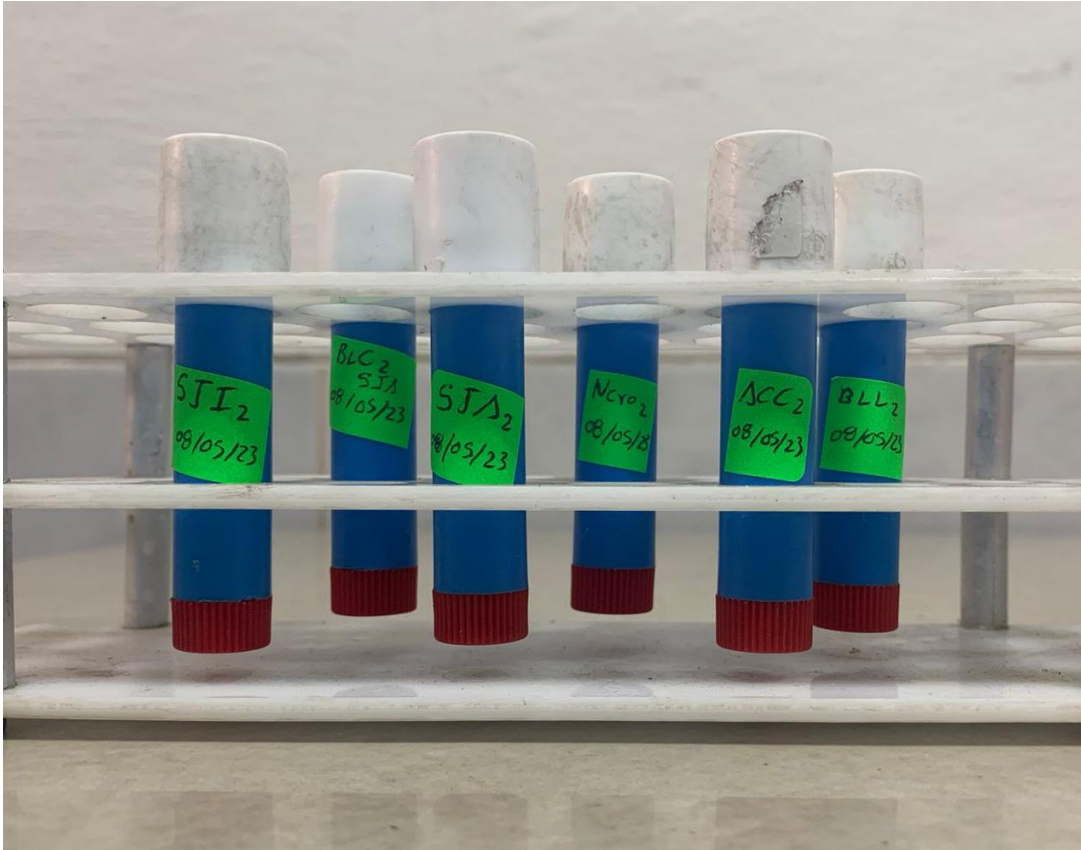


Fig.11: Etiketado de los tubos de medición de ozono.

3.5.2 Exposición de tubos pasivos de Ozono

Los tubos pasivos se expusieron a una altura de 2 a 3 metros sobre el nivel del suelo. Para proteger los tubos, se utilizaron contenedores fabricados con pedazos de tubo PVC, madera y material plástico. Se emplearon tubos galvanizados de aproximadamente 1.4 a 1.5 metros de altura, con una unión roscada en la mitad para alcanzar la altura deseada de 2 a 3 metros. Además, se utilizó un tubo adicional de un metro de longitud como soporte de los contenedores sobre el suelo (Figura 12).

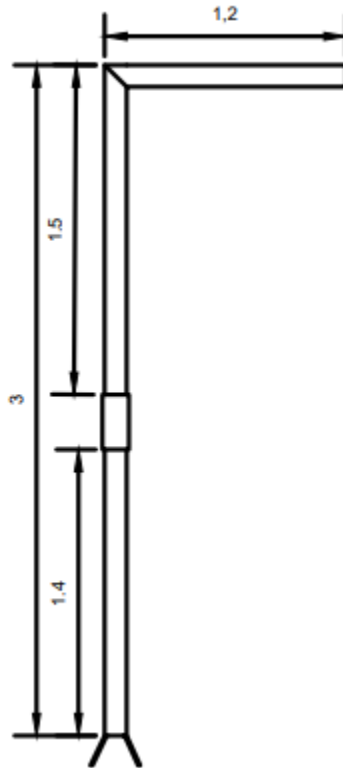


Fig.12: Soporte para los contenedores de los tubos de medición pasiva.

De acuerdo con las directrices proporcionadas por la EMOV EP, (2023), se consideró lo siguiente:

- Se recogieron todos los tubos preparados de O₃ del refrigerador y se colocaron en un recipiente adecuado.
- Los tubos fueron transportados a las estaciones de monitoreo.
- Se colocó la escalera y con precaución se accedió al contenedor de muestreo, donde se retiraron los tubos que habían terminado su periodo de exposición. Luego, se colocaron los nuevos tubos para su exposición en el contenedor.
- Los tubos expuestos fueron colocados en el cooler y se procedió a dirigirse al nuevo punto de monitoreo.



Fig.13: Colocación de tubos de medición en el contenedor.



Fig.14: Estación de monitoreo.

3.6 Fase de laboratorio

3.6.1 Preparación de tubos

En la preparación de los tubos de ozono, se utilizó los varios materiales y reactivos como los que se enlistan a continuación:

Materiales:

- Tubos pasivos de Ozono (9.5 mm de diámetro y 5.5 cm de largo).
- Papel filtro de fibra de vidrio.
- Espátula metálica.
- Vaso de precipitación de 150 ml.
- Varilla de vidrio.
- Pipetas graduadas.
- Succionador para pipeta.

- Pedazo de vidrio.

Reactivos:

- Agua destilada.
- 1,2 di (4 piridil) etileno (DPE).
- Ácido acético glacial.
- Dicloro metano.
- Etilenglicol.

Identificados todos los materiales y reactivos, se procedió a preparar la solución portadora (Figura 15), que consiste en el siguiente procedimiento:

- En una cápsula de vidrio se pesaron 2.5 g de DPE.
- Se tomó 9 ml de cloruro de metilo con una pipeta y se diluyó el DPE en un baño maría, evitando la ebullición.
- La solución diluida se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Después de enfriar la solución en un recipiente con hielo durante aproximadamente 15 minutos, se completó la formación de cristales.
- Se realizó una filtración al vacío para separar los cristales del cloruro de metilo.
- Se pesaron 0.5 g de DPE cristalizado (1,2 di (4 piridil) etileno).
- Se diluyó 1.25 ml de etilenglicol, DPE en 6.25 ml de ácido acético (grado analítico), y 0.83 ml de agua destilada, agitando hasta que los cristales de DPE se disolvieran por completo.



Fig.15: Preparación de la solución portadora.

Posteriormente corresponde preparar los tubos pasivos con la solución elaborada (Figura 16).

Para ello se procede de la siguiente manera:

- Se confeccionó el papel filtro de fibra de vidrio en tiras de 1 x 1 cm.
- En una cápsula de porcelana, se colocó la solución portadora. Utilizando una pinza metálica recubierta con papel film, se sumergieron uno a uno los filtros cortados en la solución portadora. Luego, se dejaron secar sobre una lámina de vidrio durante 15 minutos.
- Con la ayuda de una pinza plástica, se colocaron los filtros en la ranura de los tubos pasivos de ozono.
- Se cerraron los tubos pasivos en sus dos extremos con los tapones correspondientes (teflón y plástico).
- Los tubos pasivos se refrigeraron hasta el momento de su exposición.

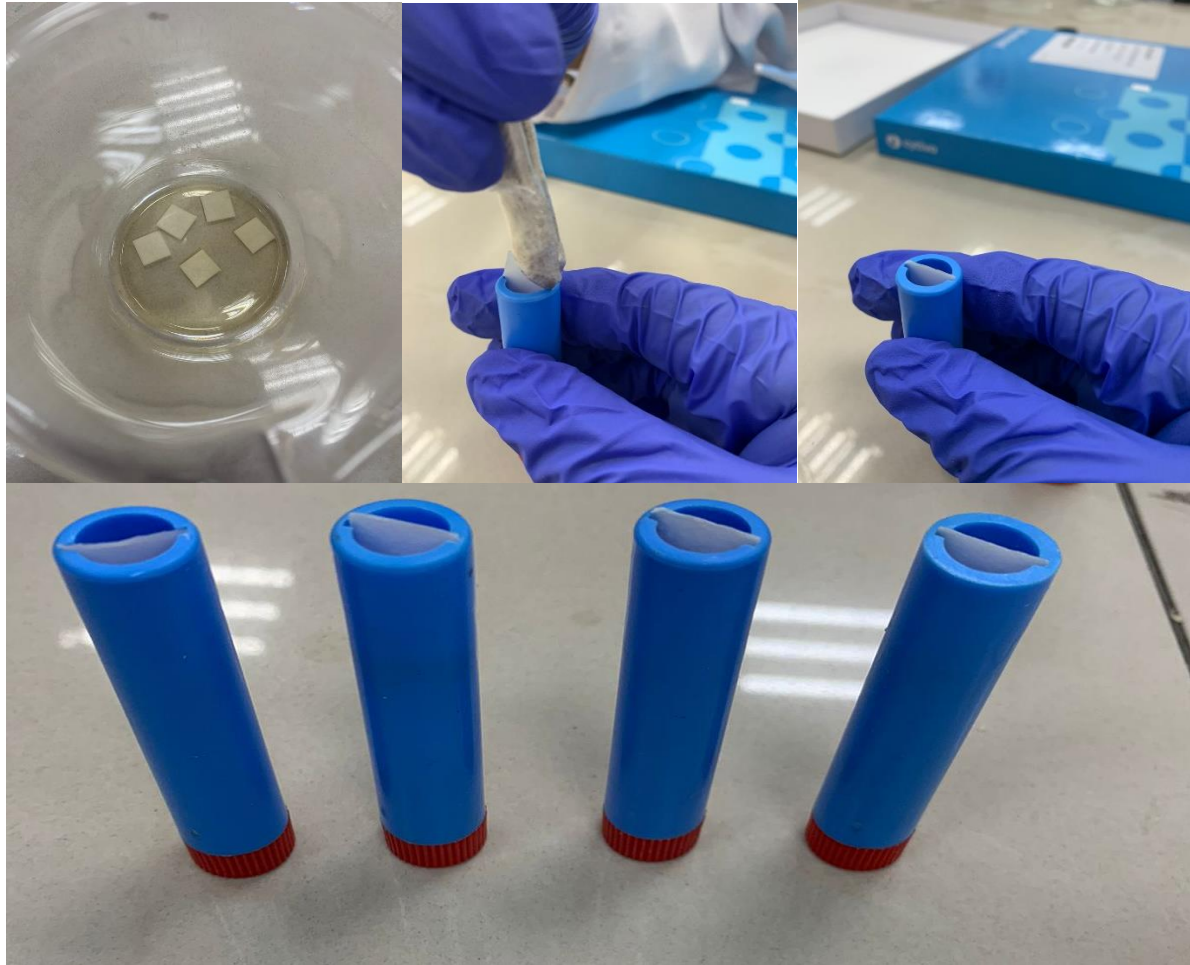


Fig.16: Preparación de los tubos pasivos con la solución portadora.

3.7 Determinación de la concentración de Ozono

Las concentraciones de ozono fueron determinadas de acuerdo al siguiente procedimiento (Figura 17):

- Se tomó 2 ml de reactivo de color y se agregó a cada tubo de ensayo a utilizar.
- Se destaparon los tubos pasivos y con una pinza de plástico se retiró el papel filtro, trasladándolo a los tubos de ensayo que contenían el reactivo.
- Se transfirió la etiqueta del tubo pasivo al tubo de ensayo que se utilizó.

- Los tubos de ensayo se dejaron reposar durante 30 minutos y se agitaron. Después de esperar 20 minutos, se volvió a agitar suavemente el tubo de ensayo. Luego de esperar 10 minutos adicionales, se agitó nuevamente.
- Para determinar la absorbancia, se colocó el contenido de cada tubo en una celda y se introdujo en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 442 nm. Se registró el valor obtenido y se tomó el registro correspondiente.

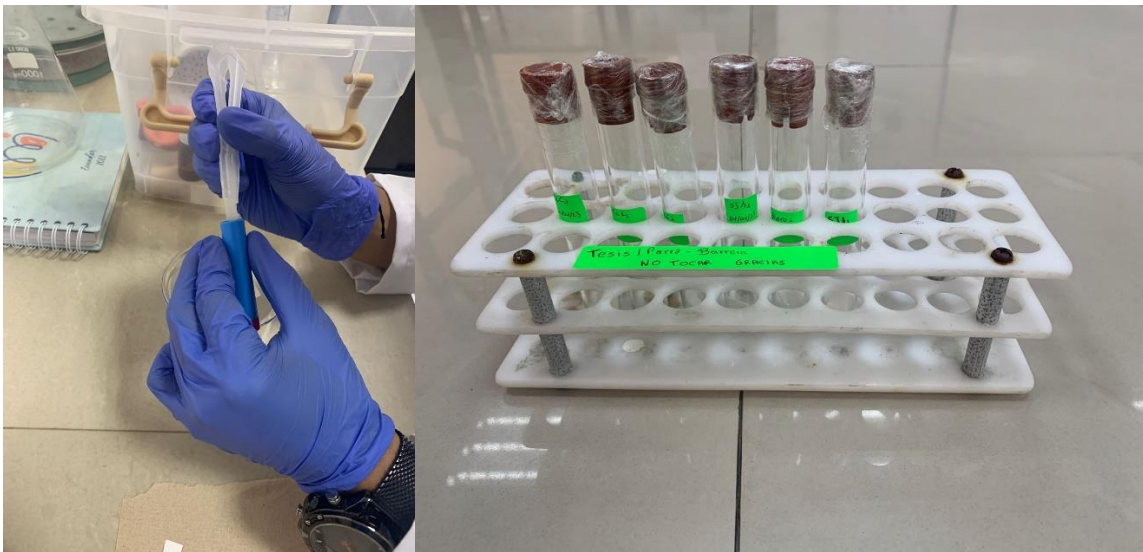


Fig.17: Proceso previo a la determinación de la absorbancia.

3.8 Cálculo de la concentración de Ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Según Oliva et al., (2001), para obtener la concentración de ozono en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se emplea la siguiente ecuación:

$$O_3[\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{(mAbs_{\text{muestra}} - mAbs_{\text{blanco}})}{0.0255 * t_{\text{muestreo}}}$$

Donde:

- **mAbs** = Miliabsorción ($1000 \cdot \text{Abs}$)
- **t** = Tiempo de exposición en horas

Los parámetros necesarios son la miliabsorción, que corresponde a 1000 veces el valor de absorción, tanto para la muestra ($m\text{Abs}_{\text{muestra}}$) como para el blanco ($m\text{Abs}_{\text{blanco}}$), el tiempo de muestreo (t_{muestreo}) en horas y el factor empírico de 0.0255. Este factor considera la geometría constante del colector y la calibración realizada con dispositivos de medición (Oliva et al., 2001).

3.9 Influencia de los vientos

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la relación entre los patrones de viento y las concentraciones de ozono detectadas. Se examinó de cerca cómo la velocidad y dirección del viento afecta la presencia y distribución del ozono en el área de estudio. Este análisis permitió obtener una comprensión más precisa de cómo el viento puede afectar los niveles de ozono en el entorno estudiado (Austin et al., 2015).

3.10 Análisis estadístico

Se calcularon estadísticos descriptivos, como la media, mediana, moda y desviación estándar, en los grupos de datos. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las estaciones de medición de ozono. Previo a realizar el ANOVA, se verificaron los supuestos necesarios, como la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de varianzas utilizando la prueba de Levene (Aenab et al., 2013; Estrada, 2022). En caso de encontrar diferencias significativas en el grupo de datos, se realizó una prueba post hoc utilizando el método de Tukey para identificar en

qué grupos específicos se observan estas diferencias. Todos los análisis se realizaron con el programa Rstudio y el paquete estadístico “rstatix” (Kassambara, 2023).

CAPÍTULO III

4. Resultados y discusión

4.1 Resultados

En esta sección se muestran los resultados obtenidos en forma tabulada. Se realizó el análisis estadístico en Rstudio (Kassambara, 2023), donde se determinó mediante análisis de varianzas la existencia o no, de diferencias entre los grupos de datos.

4.1.1 Cálculos de estadísticos

.En la tabla 5, se muestra los estadísticos calculados tales como la media, mediana y desviación estándar (Aenab et al., 2013).

Tabla 5. Estadísticos calculados: estaciones de muestreo.

Estación	Estadísticos		
	Media ($\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$)	Mediana ($\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$)	Desviación estándar ($\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$)
NERO	26.96	25.50	10.29
SJI	24.00	20.00	9.15
SJA	25.60	24.90	7.40
ACC	29.13	28.35	9.87

Además, se llevaron a cabo análisis para identificar posibles valores atípicos en los grupos de datos, encontrándose un valor nulo para este campo.

4.1.1.1 Prueba de normalidad

Se llevó a cabo la prueba de Shapiro-Wilk (Estrada, 2022) para evaluar la normalidad en cada grupo de datos. Los resultados obtenidos (Tabla 6, Figura 18) indican que se cumple el supuesto de normalidad, considerando un p-valor mayor a 0.05. Por lo tanto, los datos se consideran normales.

Tabla 6. Prueba de normalidad para los grupos de datos.

Prueba	Estación	p-valor
Shapiro-Wilk normality test	NERO	0.6156
	SJI	0.07873
	SJA	0.9365
	ACC	0.6447

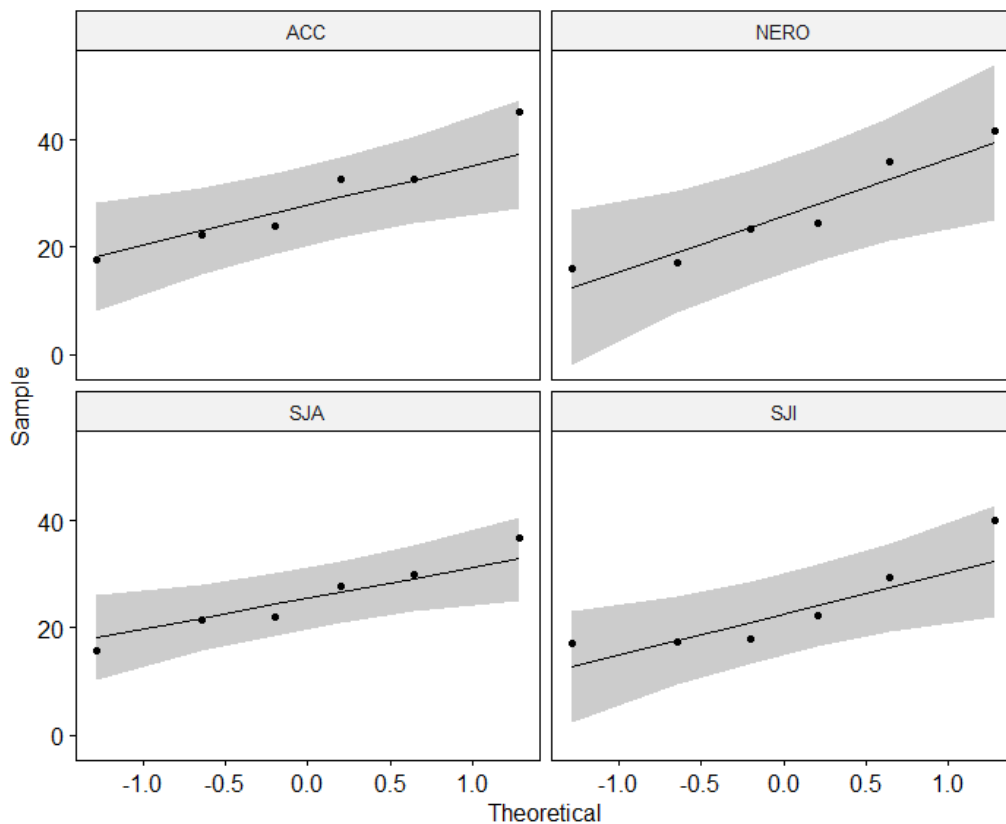


Fig. 18: Prueba de normalidad calculada (Normal Q-Q plot): estaciones de muestreo.

4.1.1.2 Prueba de homogeneidad

Para evaluar la homogeneidad, se utilizó la prueba de Levene_test (Estrada, 2022) para datos paramétricos. Los resultados obtenidos (Tabla 7) indican que los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad (p-valor >0.05).

Tabla 7. Prueba de homogeneidad.

Prueba paramétrica	p-valor
Levene_test of homogeneity of variances	0.850

4.1.1.3 ANOVA

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar posibles diferencias significativas entre los grupos de datos. Los resultados obtenidos señalan que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones de muestreo, lo que sugiere una igualdad estadística entre ellas (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA).

Prueba estadística	p-valor
Análisis de varianza (ANOVA)	0.802

De igual forma el diagrama de cajas y bigotes (Figura 19) muestra que las concentraciones de ozono troposférico en todas las estaciones de muestreo están dentro de un rango similar. No se observan diferencias significativas entre las estaciones, ya que las cajas se superponen o presentan rangos muy similares. Esto indica que las concentraciones de ozono en todas las estaciones se mantienen dentro de un rango establecido y no hay estaciones que destaquen como puntos problemáticos o con una calidad del aire notablemente diferente.

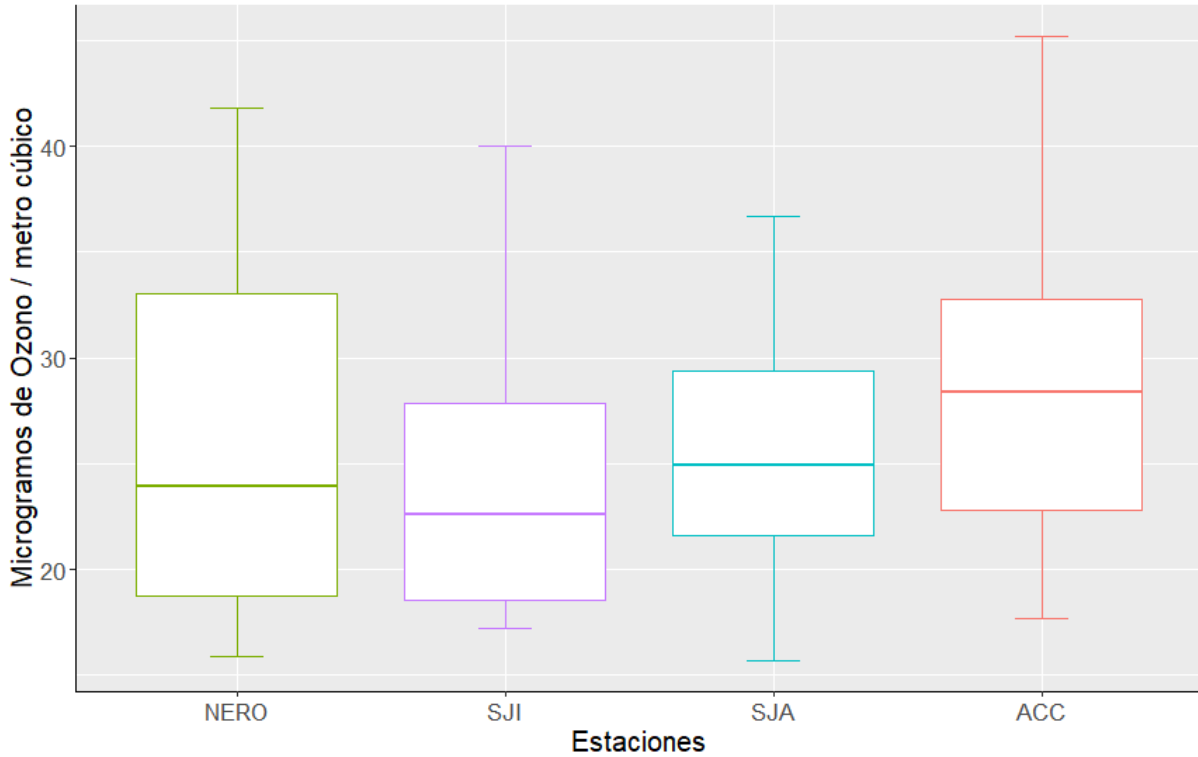


Fig. 19: Diagrama de cajas y bigotes: estaciones de muestreo

4.1.2 Análisis de las estaciones de la EMOV EP cercanas a la ciudad

Se evaluaron tres estaciones urbanas de monitoreo de ozono por parte de la EMOV EP, que son "Ictocruz", "Colegio Rafael Borja" y "Machángara". Se analizaron las concentraciones de ozono registradas durante los meses de abril, mayo, junio y julio de 2023 en estas estaciones.

En la tabla 9, se muestra los estadísticos calculados tales como la media, mediana y desviación estándar.

Tabla 9. Estadísticos calculados: estaciones urbanas.

Estación	Estadísticos		
	Media ($\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$)	Mediana ($\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$)	Desviación estándar ($\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$)
ICTOCRUZ	54.73	50.75	10.12
COLEGIO RB	31.70	28.60	12.53
MACHANGARA	36.45	32.85	12.03

Además, se realizaron análisis para identificar posibles valores atípicos en los grupos de datos, y los resultados indicaron la existencia de dos valores atípico en la estación Ictocruz y Machangara (Tabla 10).

Tabla 10. Valores atípicos.

Estación	Valor atípico	Mes de registro
ICTOCRUZ	69.6	Abril
MACHANGARA	53.8	Abril

4.1.2.1 Prueba de normalidad

Se llevó a cabo la prueba de Shapiro-Wilk (Estrada, 2022), para evaluar la normalidad en cada grupo de datos. Los resultados obtenidos indican que se cumple el supuesto de normalidad, ya que los valores de p-valor son mayores a 0.05. Por lo tanto, los datos se consideran normales

Tabla 11. Prueba de normalidad para los grupos de datos.

Prueba	Estación	p-valor
Shapiro-Wilk normality test	ICTOCRUZ	0.515
	COLEGIO RB	0.0843
	MACHANGARA	0.279

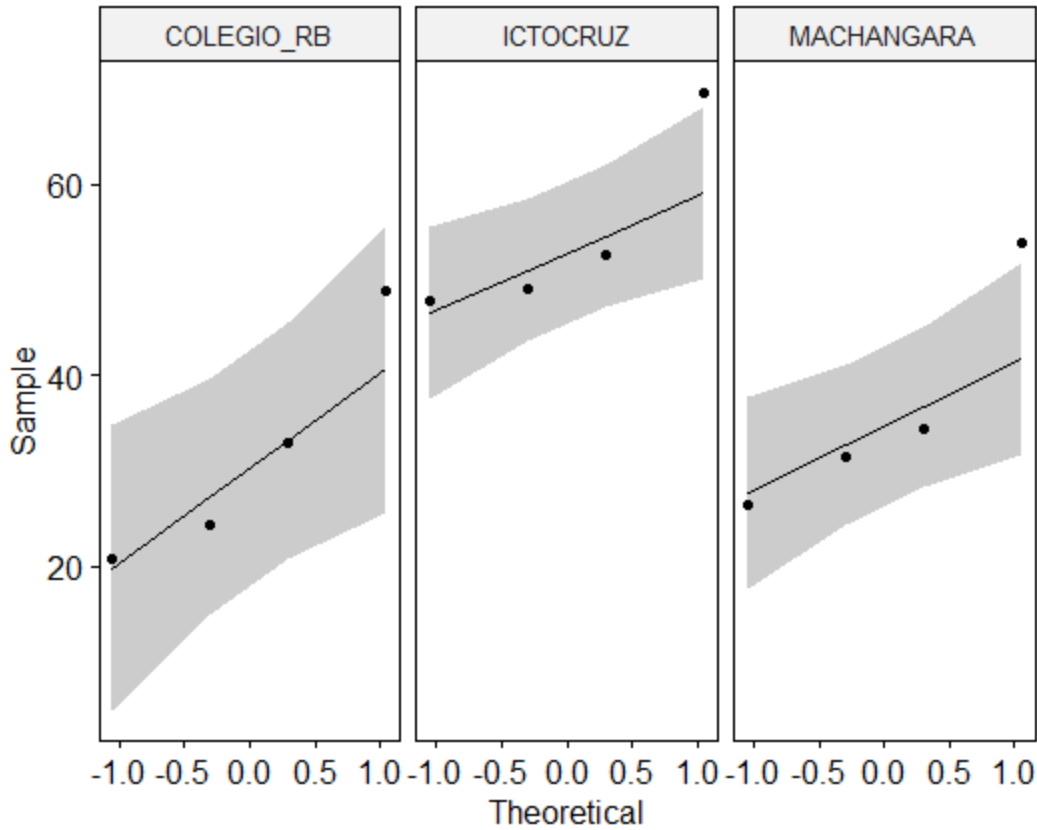


Fig. 20: Prueba de normalidad calculada (Normal Q-Q plot): estaciones urbanas.

4.1.2.2 Prueba de homogeneidad

Para evaluar la homogeneidad, se utilizó la prueba de Levene_test (Estrada, 2022), para datos paramétricos. Los resultados obtenidos indican que los datos cumplen con el supuesto de homogeneidad (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba de homogeneidad.

Prueba paramétrica	p-valor
Levene_test of homogeneity of variances	0.924

4.1.2.3 ANOVA

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre los grupos de datos. Los resultados obtenidos señalan que se observan diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones de muestreo, lo que sugiere una diferencia estadística entre estas (Tabla 3).

Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA).

Prueba estadística	p-valor
Análisis de varianza (ANOVA)	0.047

De igual forma, el diagrama de cajas y bigotes (Figura 21) muestra que las concentraciones de ozono troposférico en las estaciones monitoreadas por la EMOV EP, presentan diferencias significativas, lo que sugiere la necesidad de realizar una prueba post hoc.

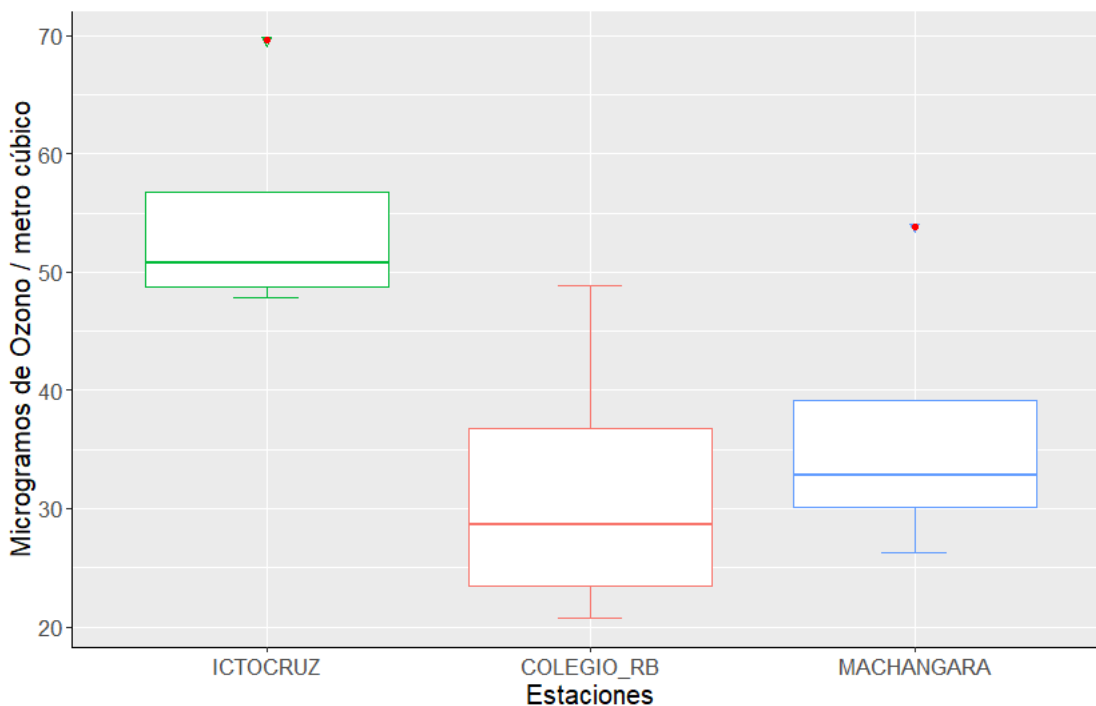


Fig. 21: Diagrama de cajas y bigotes: estaciones EMOV EP.

4.1.2.4 Prueba post hoc

Se realizó un análisis de Tukey para identificar las diferencias significativas entre los grupos de datos. La tabla 14 muestra claramente que hay diferencias significativas entre dos pares de estaciones: "Colegio RB" e "Ictocruz", así como entre "Ictocruz" y "Machangara".

Tabla 14. Prueba post hoc.

Estaciones		p-valor	Detalle
COLEGIO RB	ICTOCRUZ	0.049	S
COLEBIO RB	MACHANGARA	0.835	NS
ICTOCRUZ	MACHANGARA	0.041	S

4.1.3 Concentraciones de Ozono

Según los cálculos realizados, se ha observado un rango de concentración de ozono medido en todas las estaciones que oscila entre 24.00 y 29.13 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. Estos valores se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos establecidos por la normativa ecuatoriana (Acuerdo Ministerial 097-A. TULSMA, 2015). La estación que presenta los reportes promedio más altos de ozono es la ubicada en Acchayacu-cementerio, en la Parroquia Tarqui, con una concentración de 29.13 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. Por otro lado, la estación ubicada en el sector de la Iglesia de San Jacinto; Parroquia Tarqui, registra los valores más bajos de ozono, con una concentración de 24.00 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$ (Tabla 15).

Tabla 15. Reporte de las mediciones de ozono troposférico.

Código de estación	Ubicación	Medición			Ozono medido ($\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$)	Límite máximo permisible
		Fecha inicio	Fecha final	Número muestreos		
Nero	Nero-parte alta; Parroquia Baños	24/04/2023	17/07/2023		26.96	
SJI	Iglesia de San Jacinto; Parroquia Tarqui	24/04/2023	17/07/2023		24.00	
SJA	San Jacinto-antena; Parroquia Tarqui	24/04/2023	17/07/2023	5 (cada 15 días de exposición)	25.60	100 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$
ACC	Acchayacu-cementerio; Parroquia Tarqui	24/04/2023	17/07/2023		29.13	

Así mismo, en la figura 22 se presenta la información de los distintos muestreos realizados durante el período de abril a julio:

- En el primer muestreo (M1), llevado a cabo en abril-mayo, se observó un rango de concentraciones de ozono entre 15.7 y 22.4 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. La estación de muestreo con la concentración más alta se ubicó en Acchayacu-cementerio, en la parroquia Tarqui (ACC).
- En el segundo muestreo (M2), realizado en el mes de mayo, las concentraciones de ozono oscilaron entre 17.2 y 21.5 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. La estación de San Jacinto-antena, en la parroquia Tarqui (SJA), registró la concentración más alta durante este periodo.

- En el tercer muestreo (M3), que se dio entre los meses de mayo y junio, las concentraciones se situaron en un rango de 24.0 y 29.9 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. La estación de San Jacinto-antena (SJA) nuevamente mostró la concentración más alta.
- En el cuarto muestreo (M4), realizado en junio, las concentraciones de ozono se encontraron entre 36.7 y 40.0 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. La estación ubicada en la Iglesia de San Jacinto, en la parroquia Tarqui (SJI), presentó la concentración más alta durante este periodo.
- En el quinto muestreo (M5), llevado a cabo entre junio y julio, se observaron concentraciones de ozono en un rango de 27.5 y 45.2 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. Nuevamente, la estación de Acchayacu-cementerio (ACC), en la parroquia Tarqui, registró la concentración más alta.
- Por último, en el sexto muestreo (M6), llevado a cabo entre junio y julio, se observaron concentraciones de ozono en un rango de 17.2 y 41.8 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. La estación de Nero-parte alta en la Parroquia Baños, registró la concentración más alta.

A lo largo de los distintos muestreos realizados, se identificaron diferentes rangos de concentraciones de ozono en las estaciones de muestreo. La estación de Acchayacu-cementerio (ACC) y la estación de San Jacinto-antena (SJA) fueron las que presentaron las concentraciones más altas en diferentes momentos del período analizado.

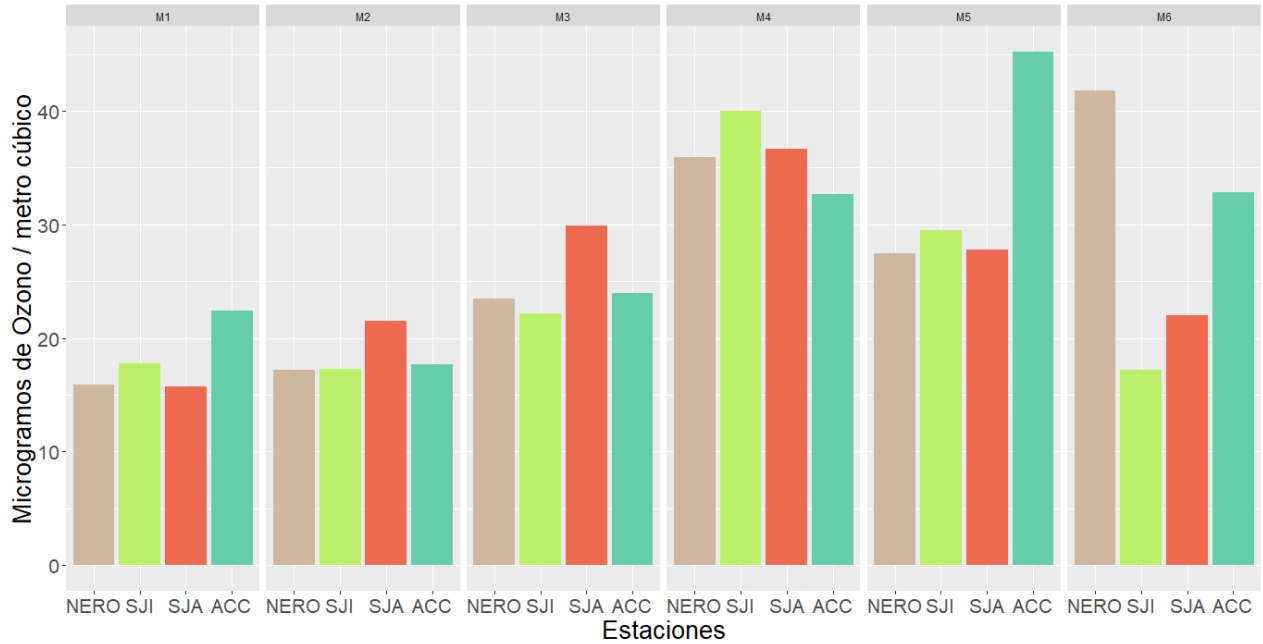


Fig. 22: Niveles de ozono registrados por estaciones en los distintos muestreos

Es importante resaltar que la dirección del viento es un factor relevante que puede tener influencia en estos resultados. En la figura 23 se evidencia claramente que los vientos predominantes soplan hacia el oeste de la ciudad, dirigiéndose en dirección a las estaciones de muestreo seleccionadas. Este patrón de vientos puede contribuir al transporte de contaminantes y explicar, al menos en parte, las concentraciones de ozono registradas en las estaciones (Austin et al., 2015).

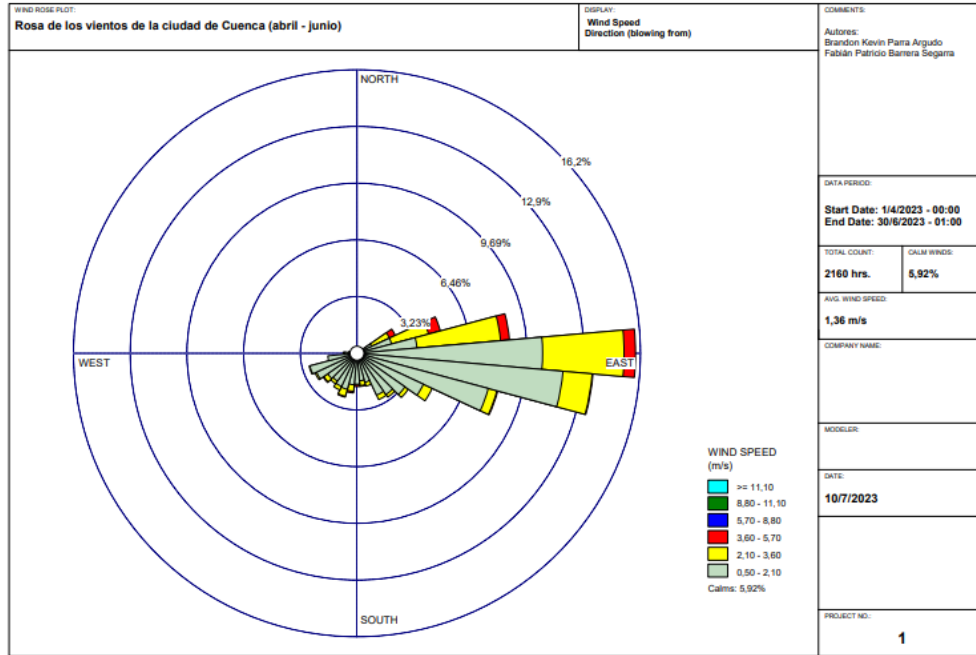


Fig. 23: Rosa de los vientos, abril-junio - Cuenca

Se realizaron análisis de los registros de radiación solar proporcionados por la EMOV EP para la zona urbana de la ciudad de Cuenca, centrándose en los datos correspondientes a los muestreos realizados desde el 24 de abril hasta el 3 de julio de 2023. Se observó una amplia variabilidad en los valores de radiación solar, que abarcó un rango extenso desde 0.086 hasta 996.151 W/m², estos valores fueron registrados en el intervalo horario entre las 7:00 y las 19:00 horas. Se destacó una mayor intensidad de radiación solar durante el intervalo comprendido entre las 11:00 y las 14:00 horas (Figura 23).

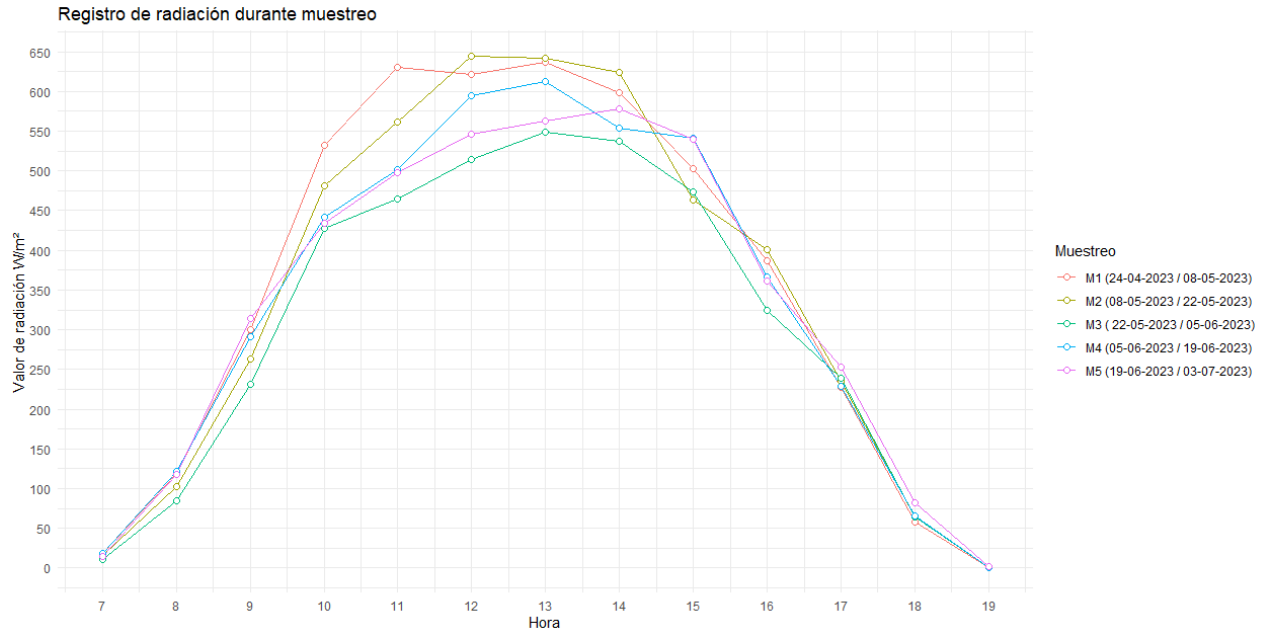


Fig. 24: Registro de radiación solar (24-04-2023 y 03-07-2023)

4.2 Discusión

En el marco de la presente investigación se llevaron a cabo mediciones de ozono troposférico con el objetivo de evaluar la calidad del aire en las áreas rurales que corresponde a las parroquias Baños y Tarqui de la ciudad de Cuenca. Los resultados obtenidos revelaron concentraciones de ozono relativamente bajas en comparación con los límites máximos permisibles establecidos, con valores promedio oscilando entre 24.00 y 29.13 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. Estos resultados indican que las concentraciones de ozono en el área rural objeto de estudio aún se mantiene en niveles aceptables y dentro de los estándares establecidos por las normativas ambientales vigentes (Acuerdo Ministerial 097-A. TULSMA, 2015).

Según el análisis de los datos, se observa que, durante el periodo de muestreo, la dirección predominante del viento tiende a ser hacia el oeste de la ciudad, con dirección a las estaciones de muestreo ubicadas al suroeste. A lo mencionado, resulta interesante destacar que, a pesar de esta

condición favorable para la acumulación de contaminantes, se observaron concentraciones de ozono bajas en las estaciones de estudio. Esto plantea un escenario intrigante, y conforme a Díaz-Torres et al., (2022), la presencia de otros factores podrían estar contrarrestando el efecto esperado del viento en el aumento de las concentraciones de ozono.

Una posible explicación para este fenómeno podría estar relacionada con la contribución limitada de precursores de ozono en el área. Aunque la dirección del viento puede transportar contaminantes hacia las estaciones de muestreo, es probable que la disponibilidad de precursores de ozono sea reducida en la región. De acuerdo con investigaciones realizadas (Austin et al., 2015; Jammalamadaka & Lund, 2006; Jasaitis et al., 2016), estos precursores, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), son fundamentales para la formación de ozono en la atmósfera, por lo tanto si existe una escasez de estos precursores incluso con la dirección del viento favorable, las concentraciones de ozono resultarán bajas. Otro aspecto a considerar es la interacción entre la dirección del viento y otros factores meteorológicos, como la temperatura y la radiación solar. Según Otero et al., (2021) y Shangguan et al., (2019), estos elementos pueden afectar la velocidad de las reacciones químicas que participan en la formación de ozono. En el caso de condiciones meteorológicas desfavorables, como temperaturas más bajas o una menor incidencia de radiación solar, la formación de ozono puede estar limitada, lo que también podría explicar las concentraciones bajas observadas (EPA, 2023b; Lu et al., 2019).

Además, se observó una diferencia significativa en las concentraciones de ozono registradas en las estaciones monitoreadas por la EMOV EP, específicamente en las estaciones "Ictocruz", "Colegio Rafael Borja" y "Machángara". Durante el período de abril a julio, se encontraron diferencias en los valores de concentración de ozono. Para la estación "Ictocruz", las concentraciones oscilaron entre 47.80 y 69.60 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$, para la estación "Colegio RB" se

registraron valores entre 20.70 y 48.9 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$, y para la estación "Machángara" se observaron concentraciones que variaron entre 26.30 y 53.8 $\mu\text{gO}_3/\text{m}^3$. Estos hallazgos indican que existe una variabilidad significativa en las concentraciones de ozono entre las diferentes estaciones de monitoreo, y que según Nguyen et al., (2022), puede estar relacionado con la influencia de diversas fuentes de emisión y condiciones ambientales específicas en cada ubicación, destacando la influencia de la topografía del terreno y los patrones de circulación del aire en las áreas de muestreo, lo cual podrían contribuir a las discrepancias observadas.

Por otro lado, se observó los patrones de radiación solar en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, dado que no se disponía de registros de radiación para la zona rural y, en particular, para la zona de estudio. Aunque no se pudo establecer relaciones directas entre la radiación solar y los resultados de este estudio, estos datos nos brindan información sobre los niveles de radiación en la ciudad durante el período de muestreo. Durante esta etapa, las mediciones de radiación solar variaron ampliamente, con valores que oscilaron entre 0.086 y 996.151 W/m^2 , abarcando desde el 24 de abril hasta el 03 de julio de 2023. Jasaitis et al., (2016) destacan la importancia de considerar que la interacción entre la radiación solar y los precursores del ozono, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), puede dar lugar tanto a un aumento como a una disminución de la concentración de ozono troposférico, dependiendo de las condiciones específicas. Además, Gad, (2014) y Jhun et al., (2015) mencionan que la relación entre la radiación solar y el ozono troposférico no es lineal y puede estar influenciada por otros factores, como la disponibilidad de precursores de ozono. Por lo tanto, en situaciones donde exista una abundancia de precursores de ozono, un mayor nivel de radiación solar puede resultar en una mayor formación de ozono, por otro lado, si la disponibilidad de precursores es limitada, el aumento de la radiación solar puede tener un efecto insignificante en la concentración de ozono.

Es importante mencionar que previo al análisis de los datos, se llevaron a cabo pruebas de normalidad y homogeneidad para evaluar la distribución y la variabilidad de las concentraciones de ozono. Se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la prueba de homogeneidad de Levene para verificar estas suposiciones estadísticas (Aenab et al., 2013; Estrada, 2022). Los resultados indicaron que los datos presentan una distribución normal y que las varianzas son homogéneas entre las estaciones de muestreo. Estos hallazgos respaldan la validez de los análisis posteriores y permiten interpretar los resultados con mayor confianza.

4.3 Acciones para mitigar el impacto del Ozono en la zona rural de Cuenca

Si bien los resultados demuestran que las concentraciones de ozono se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos, es fundamental proponer acciones para mitigar y prevenir en el futuro el impacto del ozono troposférico en la zona rural de Cuenca. A continuación, se presentan algunas medidas recomendadas:

1. Monitoreo de la calidad del aire: el aumento de las emisiones contaminantes hacia los compartimentos ambientales se ha enmarcado como una preocupación de Salud Pública. Por ello es fundamental establecer sistemas de monitoreo de la calidad del aire para realizar un seguimiento regular de los niveles de ozono y otros contaminantes en la zona rural de Cuenca. Esto permitirá tener datos actualizados y fundamentar las medidas de mitigación como por ejemplo (i) controlar la exposición del ser humano a los contaminantes atmosféricos, (ii) apoyar la toma de decisiones sobre gestión de la calidad del aire. (Madruga, 2020).
2. Educación y concientización: Realizar programas educativos y de sensibilización con el propósito de informar a la población rural sobre los riesgos asociados con el ozono

troposférico y las acciones que pueden tomar para reducir su exposición. Esto incluye promover prácticas saludables y proporcionar pautas para protegerse de la contaminación del aire (Höfner & Schütze, 2021).

3. Control de emisiones agrícolas: Implementar prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno (NOx), que son precursores del ozono troposférico. Esto implica promover técnicas de manejo agrícola adecuadas, reducir el uso de agroquímicos y fomentar el uso de fertilizantes y pesticidas más amigables con el medio ambiente (EPA, 2023a).
4. Gestión del tráfico y transporte: Implementar medidas para reducir las emisiones de los vehículos, como promover el uso de transporte público, fomentar el uso de vehículos eléctricos o híbridos, y fomentar el vehículo compartido y el uso de bicicletas. Además, se pueden establecer restricciones de tráfico en áreas sensibles y promover el mantenimiento adecuado de los vehículos para reducir las emisiones contaminantes (York Bigazzi & Rouleau, 2017).

En la ciudad de Cuenca, se ha reconocido la importancia de impulsar un transporte más amigable con el ambiente, y como parte de estas iniciativas se ha implementado el sistema de tranvía (Municipio de Cuenca, 2021). Esta alternativa de transporte público contribuye a reducir las emisiones contaminantes y descongestionar las vías urbanas. Además, es relevante destacar que Cuenca fue la segunda ciudad en Ecuador en implementar el proceso de Revisión Técnica Vehicular (RTV) desde el 2008, el cual tiene como objetivo preservar y conservar los recursos naturales mediante la minimización de fuentes de contaminación generadas por los automóviles (Farfán et al., 2018).

5. Control de emisiones industriales: La rápida industrialización se está convirtiendo en una seria preocupación por el aire y la vida saludable, y esto se debe a una compleja interacción de dispersión y emisión de contaminantes tóxicos de fábricas. Es indispensable regular y supervisar las emisiones de las industrias instaladas en la ciudad de Cuenca para garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales. Esto puede incluir la adopción de tecnologías más limpias, la mejora de los sistemas de control de emisiones y la promoción de prácticas de producción más sostenibles (Munsif et al., 2021).
6. Promoción de energías renovables: La promoción de energías renovables implica fomentar el uso y la adopción de fuentes de energía sostenibles y limpias en la ciudad de Cuenca. Para lograrlo, es necesario diversificar las fuentes de energía y disminuir la dependencia de combustibles fósiles, que son una fuente significativa de emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, incluyendo los precursores del ozono troposférico (Blazy et al., 2021).
7. Planificación urbana sostenible: La urbanización rápida y de alta intensidad ha promovido significativamente los estándares de vida mientras consume una gran cantidad de recursos naturales y causa una serie de problemas ambientales a nivel mundial. Es importante coordinar el crecimiento urbano y rural de manera sostenible, evitando la expansión descontrolada y la fragmentación del territorio. Promover una planificación urbana que fomente el uso eficiente del suelo, el transporte sostenible y la protección de áreas verdes (Yao et al., 2022).

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Las concentraciones de ozono en la zona estudiada de la ciudad de Cuenca, se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por las normativas ambientales vigentes, lo que indica que la calidad del aire en términos de ozono troposférico en estas zonas, se mantiene en niveles aceptables.

La dirección del viento, aunque tiende a transportar contaminantes hacia las estaciones de muestreo ubicadas al suroeste de la ciudad, no parece ser el único factor determinante en las concentraciones de ozono observadas en el área de estudio. A pesar de la condición favorable para la acumulación de contaminantes, se registraron concentraciones bajas de ozono. Esto sugiere la presencia de otros factores que podrían estar contrarrestando el efecto esperado del viento en el aumento de las concentraciones de ozono.

La disponibilidad limitada de precursores de ozono en el área de estudio puede ser una posible explicación para las concentraciones bajas de ozono observadas. La presencia de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV), fundamentales para la formación de ozono en la atmósfera, puede ser reducida en la región, lo que limita la formación de ozono incluso con la dirección del viento favorable.

Otros factores meteorológicos, como la temperatura y la radiación solar, también pueden influir en las concentraciones de ozono. Si las condiciones meteorológicas son desfavorables, como temperaturas más bajas o una menor incidencia de radiación solar, la formación de ozono puede estar limitada, lo que explicaría las concentraciones bajas observadas.

Se observó una diferencia significativa en las concentraciones de ozono entre las estaciones monitoreadas por la EMOV EP, específicamente en las estaciones "Ictocruz", "Colegio Rafael Borja" y "Machángara". Estos hallazgos pueden estar relacionados con la influencia de diversas fuentes de emisión y condiciones ambientales específicas en cada ubicación.

Además, es crucial resaltar la importancia de realizar pruebas de normalidad y homogeneidad en los datos previo el análisis estadístico, ya que esto respalda la validez de los resultados obtenidos en este estudio, fortaleciendo la interpretación de los resultados y proporcionando una base sólida para las conclusiones alcanzadas.

5.2 Recomendaciones

Si bien se han observado concentraciones bajas de ozono en la zona de estudio, es importante continuar con el monitoreo y la evaluación regular de estas concentraciones. Las condiciones atmosféricas, incluida la dirección del viento, pueden variar a lo largo del tiempo, lo que podría influir en las concentraciones de ozono. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo estudios más amplios y prolongados para obtener una comprensión más completa de los factores que afectan estas concentraciones.

Estos estudios pueden abarcar la investigación de otras variables ambientales, como la actividad industrial y el tráfico vehicular, y la identificación de las fuentes de emisión de precursores de ozono en la zona urbana y rural. Además, es crucial contar con un equipo adecuado de estaciones de monitoreo que permita medir y registrar de manera precisa los diferentes factores relacionados. La disponibilidad de datos más detallados y completos sobre la meteorología, las emisiones de precursores y otros parámetros relevantes será fundamental para realizar análisis más precisos y desarrollar estrategias efectivas de gestión y control de la calidad del aire.

6. Referencias bibliográficas

- Abbasi-Kangevari, M., Malekpour, M. R., Masinaei, M., Moghaddam, S. S., Ghamari, S. H., Abbasi-Kangevari, Z., Rezaei, N., Rezaei, N., Mokdad, A. H., Naghavi, M., Larijani, B., Farzadfar, F., Murray, C. J. L., Saeedi Moghaddam, S., Aali, A., Abdollahzade, S., Abdulrahman, S. A., Abubaker Ali, H., Ahmad, A., ... Zarehshahrabadi, Z. (2023). Effect of air pollution on disease burden, mortality, and life expectancy in North Africa and the Middle East: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Planetary Health*, 7(5), e358–e369. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00053-0)
- Acuerdo Ministerial 097-A. TULSMA. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A, REFORMA LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE*. Ministerio del Ambiente Ecuador. <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- Aenab, A. M., Singh, S. K., & Lafta, A. J. (2013). Critical assessment of air pollution by ANOVA test and human health effects. *Atmospheric Environment*, 71, 84–91. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2013.01.039>
- Austin, E., Zanobetti, A., Coull, B., Schwartz, J., Gold, D. R., & Koutrakis, P. (2015). Ozone Trends and their Relationship to Characteristic Weather Patterns. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 25(5), 532. <https://doi.org/10.1038/JES.2014.45>
- Bej, D., & Chattaraj, N. (2023). Air pollution from vehicle-tailpipe emissions and diagnostic approaches through cyber–physical platform - a review. *Microprocessors and Microsystems*, 98, 104805. <https://doi.org/10.1016/J.MICPRO.2023.104805>

- Bello-Medina, P. C., Rodríguez-Martínez, E., Prado-Alcalá, R. A., & Rivas-Arancibia, S. (2022). Ozone pollution, oxidative stress, synaptic plasticity, and neurodegeneration. *Neurología (English Edition)*, 37(4), 277–286. <https://doi.org/10.1016/J.NRLENG.2018.10.025>
- Blazy, R., Błachut, J., Ciepiela, A., Łabuz, R., & Papież, R. (2021). Renewable Energy Sources vs. an Air Quality Improvement in Urbanized Areas - the Metropolitan Area of Kraków Case. *Frontiers in Energy Research*, 9, 767418. <https://doi.org/10.3389/FENRG.2021.767418/BIBTEX>
- Bocci, V. (2002). Ozone Toxicity: Biological Risk, Toxicology and First Aid. *Oxygen-Ozone Therapy*, 41–42. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9952-8_5
- Bocci, V. (2010). Physical-Chemical Properties of Ozone – Natural Production of Ozone: The Toxicology of Ozone. *OZONE*, 1. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9234-2_1
- Borja-Urbano, S., Rodríguez-Espinosa, F., Luna-Ludeña, M., & Toulkeridis, T. (2021). Valuing the Impact of Air Pollution in Urban Residence Using Hedonic Pricing and Geospatial Analysis, Evidence From Quito, Ecuador. <https://doi.org/10.1177/11786221211053277>, 14(1). <https://doi.org/10.1177/11786221211053277>
- Brancher, M. (2021). Increased ozone pollution alongside reduced nitrogen dioxide concentrations during Vienna's first COVID-19 lockdown: Significance for air quality management. *Environmental Pollution*, 284, 117153. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.117153>
- Cerrato-Alvarez, M., Miró-Rodríguez, C., & Pinilla-Gil, E. (2018). A passive sampling – voltammetric detection approach based on screen-printed electrodes modified with indigotrisulfonate for the determination of ozone in ambient air. *Sensors and Actuators B:*

Chemical, 273, 735–741. <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2018.06.114>

Constitución-Ecuador. (2008). *CONSTITUCIÓN DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR*.

Da Silva, C. M., Da Silva, L. L., Corrêa, S. M., & Arbilla, G. (2018). A minimum set of ozone precursor volatile organic compounds in an urban environment. *Atmospheric Pollution Research*, 9(2), 369–378. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2017.11.002>

Dellasala, D. A. (2018). Atmospheric Sciences and Global Change: All I Need is the Air That I Breathe. *Encyclopedia of the Anthropocene*, 1–5, 387–389. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.05872-9>

Díaz-Torres, J. de J., Ojeda-Castillo, V., Hernández-Mena, L., Vergara-Sánchez, J., Saldarriaga-Noreña, H. A., & Murillo-Tovar, M. A. (2022). Long-Term Analysis of Tropospheric Ozone in the Urban Area of Guadalajara, Mexico: A New Insight of an Alternative Criterion. *Atmosphere* 2022, Vol. 13, Page 152, 13(2), 152. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13020152>

Duffney, P. F., Stanek, L. W., & Brown, J. S. (2023). Air pollution: Sources, regulation, and health effects. *Reference Module in Biomedical Sciences*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00754-5>

EEA. (2016). 2. *Tropospheric ozone: background information* — European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/publications/TOP08-98/page004.html>

EMOV EP. (2021). *Informe de Calidad de Aire Cuenca*. Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte de la Municipalidad de Cuenca. <https://www.emov.gob.ec/calidad-de-aire/>

EMOV EP. (2023). *Procedimiento para determinar O3 en el aire ambiente con tecnología pasiva*.

Red de monitoreo de calidad del aire de Cuenca. Empresa Pública de Movilidad, Tránsito y Transporte de la Municipalidad de Cuenca.

EPA. (2020). *Health Effects of Ozone Pollution | US EPA*. <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/health-effects-ozone-pollution>

EPA. (2023a). *Agriculture and Air Quality | US EPA*. Environmental Protection Agency | US EPA. <https://www.epa.gov/agriculture/agriculture-and-air-quality>

EPA. (2023b). *Trends in Ozone Adjusted for Weather Conditions | US EPA*. <https://www.epa.gov/air-trends/trends-ozone-adjusted-weather-conditions>

Estrada, S. (2022). *Parametric Methods*. University of Texas at Tyler. <https://n9.cl/40z84>

Farfán, E., Vásquez, C., & Vázquez, J. (2018). *Metodología de evaluación de factibilidad para la implementación de CRTV para los GADs en el Ecuador* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15123>

Feuerbacher, A., Mira-Salama, D., & Sander, K. (2015). The Cost of Air Pollution - A Case Study for the city of Cuenca, Ecuador. *World Bank Group*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33009.79203>

Fu, X., Wang, T., Gao, J., Wang, P., Liu, Y., Wang, S., Zhao, B., & Xue, L. (2020). Persistent Heavy Winter Nitrate Pollution Driven by Increased Photochemical Oxidants in Northern China. *Environmental Science and Technology*, 54(7), 3881–3889. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B07248>

Gad, S. C. (2014). Photochemical Oxidants. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 926–927.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00906-4>

Gordon, T., Stanek, L. W., & Brown, J. (2014). Pollution, Air in Encyclopedia of Toxicology. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 995–1002. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00530-3>

Haider, S. A., Siddhi, Y. S., Masoom, J., Sheel, V., & Kuroda, T. (2022). Impact of dust loading on ozone, winds and heating rates in the atmosphere of mars: Seasonal variability, climatology and SPICAM observations. *Planetary and Space Science*, 212, 105424. <https://doi.org/10.1016/J.PSS.2022.105424>

Höfner, S., & Schütze, A. (2021). Air Quality Measurements and Education: Improving Environmental Awareness of High School Students. *Frontiers in Sensors*, 2, 657920. <https://doi.org/10.3389/FSENS.2021.657920>

Hu, T., & Yoshie, R. (2020). Effect of atmospheric stability on air pollutant concentration and its generalization for real and idealized urban block models based on field observation data and wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 207, 104380. <https://doi.org/10.1016/J.JWEIA.2020.104380>

IARC. (2015). *Outdoor Air Pollution* (Vol. 109). <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Outdoor-Air-Pollution-2015>

Jammalamadaka, S. R., & Lund, U. J. (2006). The effect of wind direction on ozone levels: a case study. *Environmental and Ecological Statistics* 2006 13:3, 13(3), 287–298. <https://doi.org/10.1007/S10651-004-0012-7>

- Jasaitis, D., Vasiliauskiene, V., Chadyšiene, R., & Pečiuliene, M. (2016). Surface Ozone Concentration and Its Relationship with UV Radiation, Meteorological Parameters and Radon on the Eastern Coast of the Baltic Sea. *Atmosphere* 2016, Vol. 7, Page 27, 7(2), 27. <https://doi.org/10.3390/ATMOS7020027>
- Jerves, R. (2010). *Contaminación atmosférica y control de emisiones al aire*.
- Jerves, R., & Armijos-Arcos, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador. *La Granja*, 23(1), 28–38. <https://doi.org/10.17163/LGR.N23.2016.03>
- Jhun, I., Coull, B. A., Zanobetti, A., & Koutrakis, P. (2015). The impact of nitrogen oxides concentration decreases on ozone trends in the USA. *Air Quality, Atmosphere, & Health*, 8(3), 283. <https://doi.org/10.1007/S11869-014-0279-2>
- Kassambara, A. (2023). *Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests [R package rstatix version 0.7.2]*. <https://cran.r-project.org/package=rstatix>
- Khuriganova, O. I., Obolkin, V. A., Golobokova, L. P., Bukin, Y. S., & Khodzher, T. V. (2019). Passive Sampling as a Low-Cost Method for Monitoring Air Pollutants in the Baikal Region (Eastern Siberia). *Atmosphere* 2019, Vol. 10, Page 470, 10(8), 470. <https://doi.org/10.3390/ATMOS10080470>
- Langematz, U. (2019). Stratospheric ozone: down and up through the anthropocene. *ChemTexts*, 5(2), 1–12. <https://doi.org/10.1007/S40828-019-0082-7/FIGURES/12>
- Li, F., Newman, P., Pawson, S., & Perlwitz, J. (2018). Effects of Greenhouse Gas Increase and

- Stratospheric Ozone Depletion on Stratospheric Mean Age of Air in 1960–2010. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(4), 2098–2110.
<https://doi.org/10.1002/2017JD027562>
- Li, X., Yuan, B., Parrish, D. D., Chen, D., Song, Y., Yang, S., Liu, Z., & Shao, M. (2022). Long-term trend of ozone in southern China reveals future mitigation strategy for air pollution. *Atmospheric Environment*, 269, 118869.
<https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2021.118869>
- Lin, C. C., & Hsu, S. C. (2015). Deposition velocities and impact of physical properties on ozone removal for building materials. *Atmospheric Environment*, 101, 194–199.
<https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2014.11.029>
- Liu, T., Lin, Y., Chen, J., Chen, G., Yang, C., Xu, L., Li, M., Fan, X., Zhang, F., & Hong, Y. (2023). Pollution mechanisms and photochemical effects of atmospheric HCHO in a coastal city of southeast China. *Science of The Total Environment*, 859, 160210.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.160210>
- Lu, X., Zhang, L., & Shen, L. (2019). Meteorology and Climate Influences on Tropospheric Ozone: a Review of Natural Sources, Chemistry, and Transport Patterns. *Current Pollution Reports* 5:4, 5(4), 238–260. <https://doi.org/10.1007/S40726-019-00118-3>
- Lu, X., Zhang, L., & Shen, L. (2021). Tropospheric ozone interacts with weather and climate. *Air Pollution, Climate, and Health: An Integrated Perspective on Their Interactions*, 15–46.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820123-7.00006-1>
- Madruca, D. G. (2020). Importance of Air Quality Networks in Controlling Exposure to Air

- Pollution. *Environmental Emissions*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.92335>
- MAE. (2010). *Plan Nacional de la Calidad de Aire*. Ministerio del Ambiente Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- Malley, C. S., Henze, D. K., Kuylenstierna, J. C. I., Vallack, H. W., Davila, Y., Anenberg, S. C., Turner, M. C., & Ashmore, M. R. (2017). Updated Global Estimates of Respiratory Mortality in Adults ≥ 30 Years of Age Attributable to Long-Term Ozone Exposure. *Environmental Health Perspectives*, 125(8). <https://doi.org/10.1289/EHP1390>
- Miller, B. G. (2017). Coal-Fired Emissions and Legislative Action. *Clean Coal Engineering Technology*, 311–417. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811365-3.00007-7>
- MINAMBIENTE-COLOMBIA. (2010). *Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.
- Mordecai, B. (2001). The History of Ozone. THE SCHÖNBEIN PERIOD, 1839-1868. *Bull. Hist. Chem*, 26. [http://acshist.scs.illinois.edu/awards/OPA Papers/2001-Rubin.pdf](http://acshist.scs.illinois.edu/awards/OPA%20Papers/2001-Rubin.pdf)
- Municipio de Cuenca. (2021). *Tranvía de Cuenca cumple un año de operación comercial / Tranvía*. <https://n9.cl/n732u>
- Munsif, R., Zubair, M., Aziz, A., Zafar, M. N., Munsif, R., Zubair, M., Aziz, A., & Zafar, M. N. (2021). Industrial Air Emission Pollution: Potential Sources and Sustainable Mitigation. *Environmental Emissions*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.93104>
- Nguyen, D. H., Lin, C., Vu, C. T., Cheruiyot, N. K., Nguyen, M. K., Le, T. H., Lukkhasorn, W.,

- Vo, T. D. H., & Bui, X. T. (2022). Tropospheric ozone and NO_x: A review of worldwide variation and meteorological influences. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102809. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2022.102809>
- Nicolas, M., Ramalho, O., & Maupetit, F. (2007). Reactions between ozone and building products: Impact on primary and secondary emissions. *Atmospheric Environment*, 41(15), 3129–3138. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2006.06.062>
- Olaoluwa, E. E., Olorunsaye, O., Durowoju, O. S., Orimoloye, I. R., Daramola, M. T., & Ayobami, A. A. (2022). Understanding weather and climate extremes. *Climate Impacts on Extreme Weather: Current to Future Changes on a Local to Global Scale*, 1–17. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88456-3.00008-3>
- Oliva, P., García, K., Cortez, R., Dávila, R., Alfaro, M., & Duke, V. (2001). *Manual de laboratorio - Monitoreo del Aire*. Swisscontact.
- OMS. (2019). *Ambient (outdoor) air pollution*. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- OMS. (2023). *Health Effects of Ozone in the General Population | US EPA*. <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/health-effects-ozone-general-population>
- Otero, N., Rust, H. W., & Butler, T. (2021). Temperature dependence of tropospheric ozone under NO_x reductions over Germany. *Atmospheric Environment*, 253, 118334. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2021.118334>

- Perez, S., & Vásconez, J. (2018). *Evaluación de niveles de ozono en el centro urbano de la ciudad de Guayaquil, para formular recomendaciones sobre el control de este contaminante*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Qinyi, W., Mei, H., Shaoqiang, W., Bin, C., Zhenhai, L., Zhaosheng, W., Shiliang, C., Hui, L., Tongtong, Z., Donghui, L., Yuelin, L., Hu, L., & Leigang, S. (2023). Evaluation of the impacts of ozone on the vegetation productivity of woodland and grassland ecosystems in China. *Ecological Modelling*, 483, 110426. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2023.110426>
- Quintyne, K. I., & Kelly, C. (2023). Knowledge, attitudes, and perception of air pollution in Ireland. *Public Health in Practice*, 100406. <https://doi.org/10.1016/J.PUHIP.2023.100406>
- Rahman, S., Mehta, S., & Husen, A. (2023). Plants and their unexpected response to environmental pollution: An overview. *Plants and Their Interaction to Environmental Pollution*, 1–23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99978-6.00004-2>
- Reiminger, N., Jurado, X., Vazquez, J., Wemmert, C., Blond, N., Dufresne, M., & Wertel, J. (2020). Effects of wind speed and atmospheric stability on the air pollution reduction rate induced by noise barriers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 200, 104160. <https://doi.org/10.1016/J.JWEIA.2020.104160>
- Rollin, O., Aguirre-Gutiérrez, J., Yasrebi-de Kom, I. A. R., Garratt, M. P. D., de Groot, G. A., Kleijn, D., Potts, S. G., Scheper, J., & Carvalheiro, L. G. (2022). Effects of ozone air pollution on crop pollinators and pollination. *Global Environmental Change*, 75, 102529. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2022.102529>

- Rosario, L., Monforte, P., & Francesco, S. P. (2016). Comparative Analyses of Urban Air Quality Monitoring Systems: Passive Sampling and Continuous Monitoring Stations. *Energy Procedia*, 101, 321–328. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2016.11.041>
- Sellers, C., & Espinoza, C. (2017). Publicación de contaminantes atmosféricos de la estación de monitoreo de la ciudad de Cuenca, utilizando servicios estándares OGC. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 9(1). <https://doi.org/10.18272/ACI.V9I15.300>
- Shangguan, M., Wang, W., & Jin, S. (2019). Variability of temperature and ozone in the upper troposphere and lower stratosphere from multi-satellite observations and reanalysis data. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 19(10), 6659–6679. <https://doi.org/10.5194/ACP-19-6659-2019>
- Shen, J., & Gao, Z. (2018). Ozone removal on building material surface: A literature review. *Building and Environment*, 134, 205–217. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.02.046>
- Sher, E. (1998). Environmental Aspects of Air Pollution. *Handbook of Air Pollution From Internal Combustion Engines*, 27–41. <https://doi.org/10.1016/B978-012639855-7/50041-7>
- Shugart, L. R. (2005). Nitrogen Oxides. *Encyclopedia of Toxicology*, 244–245. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369400-0/00691-8>
- Sicard, P., Paoletti, E., Agathokleous, E., Araminienè, V., Proietti, C., Coulibaly, F., & De Marco, A. (2020). Ozone weekend effect in cities: Deep insights for urban air pollution control. *Environmental Research*, 191, 110193. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2020.110193>

State of Global Air. (2019). *Impact of Air Pollution on Life Expectancy | State of Global Air*.

<https://www.stateofglobalair.org/health/life-expectancy>

Venkatram, A., & Schulte, N. (2018). *Urban Transportation and Air Pollution*. Joe Hayton.

Wang, X., Fu, T. M., Zhang, L., Cao, H., Zhang, Q., Ma, H., Shen, L., Evans, M. J., Ivatt, P. D.,

Lu, X., Chen, Y., Zhang, L., Feng, X., Yang, X., Zhu, L., & Henze, D. K. (2021). Sensitivities of Ozone Air Pollution in the Beijing-Tianjin-Hebei Area to Local and Upwind Precursor Emissions Using Adjoint Modeling. *Environmental Science and Technology*, 55(9), 5752–5762.

[https://doi.org/10.1021/ACS.EST.1C00131/ASSET/IMAGES/LARGE/ES1C00131_0005.J](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.1C00131/ASSET/IMAGES/LARGE/ES1C00131_0005.JPEG)

PEG

Wedow, J. M., Ainsworth, E. A., & Li, S. (2021). Plant biochemistry influences tropospheric ozone

formation, destruction, deposition, and response. *Trends in Biochemical Sciences*, 46(12),

992–1002. <https://doi.org/10.1016/J.TIBS.2021.06.007>

Wei, W., Zang, J., Wang, X., & Cheng, S. (2020). Peroxyacetyl nitrate (PAN) in the border of

Beijing, Tianjin and Hebei of China: Concentration, source apportionment and photochemical

pollution assessment. *Atmospheric Research*, 246, 105106.

<https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2020.105106>

Xu, X., Lin, W., Xu, W., Jin, J., Wang, Y., Zhang, G., Zhang, X., Ma, Z., Dong, Y., Ma, Q., Yu,

D., Li, Z., Wang, D., & Zhao, H. (2020). Long-term changes of regional ozone in China:

Implications for human health and ecosystem impacts. *Elementa*, 8(1).

<https://doi.org/10.1525/ELEMENTA.409/434754/409-7032-2-PB.PDF>

- Yang, Y., Zhou, W., Gao, Q., Zhao, D., Liu, X., & Wang, Y. (2022). Effects of Air Pollutants on Summer Precipitation in Different Regions of Beijing. *Atmosphere* 2022, Vol. 13, Page 141, 13(1), 141. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13010141>
- Yao, Y., Wang, Y., Ni, Z., Chen, S., & Xia, B. (2022). Improving air quality in Guangzhou with urban green infrastructure planning: An i-Tree Eco model study. *Journal of Cleaner Production*, 369, 133372. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133372>
- York Bigazzi, A., & Rouleau, M. (2017). Can traffic management strategies improve urban air quality? A review of the evidence. *Journal of Transport & Health*, 7, 111–124. <https://doi.org/10.1016/J.JTH.2017.08.001>
- Zhang, J., Wei, Y., & Fang, Z. (2019). Ozone pollution: A major health hazard worldwide. *Frontiers in Immunology*, 10(OCT), 492681. <https://doi.org/10.3389/FIMMU.2019.02518/BIBTEX>
- Zhang, X., Zhang, M., Cui, Y., & He, Y. (2022). Estimation of Daily Ground-Received Global Solar Radiation Using Air Pollutant Data. *Frontiers in Public Health*, 10, 860107. <https://doi.org/10.3389/FPUBH.2022.860107/BIBTEX>
- Zhang, Y. (2019). Dynamic effect analysis of meteorological conditions on air pollution: A case study from Beijing. *Science of The Total Environment*, 684, 178–185. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.05.360>
- Zhao, M., Zhang, Y., Pei, C., Chen, T., Mu, J., Liu, Y., Wang, Y., Wang, W., & Xue, L. (2022). Worsening ozone air pollution with reduced NO_x and VOCs in the Pearl River Delta region in autumn 2019: Implications for national control policy in China. *Journal of Environmental*

7. Anexos

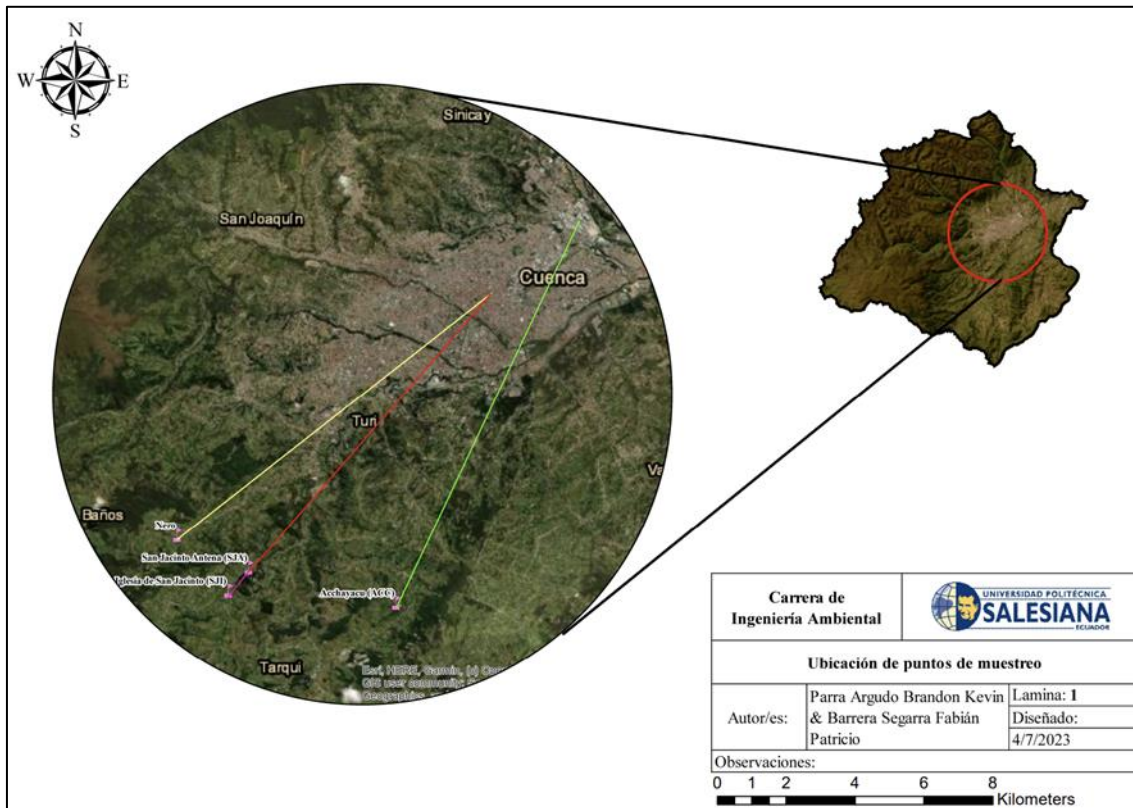
7.1 Registro de datos para cada estación de muestreo.

Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en las zonas rurales de Cuenca												
Red												
Análisis de muestreadores pasivos de Ozono (O ₃)												
Periodo de exposición		1			Año			2023		Fecha de análisis		6/07/2023
No.	CODIGO ESTACION	INICIO			FINAL			Días Completos	Horas Total	µgO ₃ /m ³	OBSERVACIONES	
		Fecha	Hora	Minuto	Fecha	Hora	Minuto					
1	ACC	24-04-23	16	52	08-05-23	12	11	13	331.3167	22.4	Ninguna	
2	SJI	24-04-23	17	4	08-05-23	13	10	13	332.1000	17.8	Ninguna	
3	SJA	24-04-23	17	15	08-05-23	13	23	13	332.1333	15.7	Ninguna	
4	Nero	24-04-23	18	40	08-05-23	13	58	13	331.3000	15.9	Ninguna	
BL	Campo	24-04-23	14	7	08-05-23	10	0		332.1333	0.0	Ninguna	
Periodo de exposición		2			Año			2023		Fecha de análisis		6/07/2023
No.	CODIGO ESTACION	INICIO			FINAL			Días Completos	Horas Total	µgO ₃ /m ³	OBSERVACIONES	
		Fecha	Hora	Minuto	Fecha	Hora	Minuto					
1	ACC	24-04-23	16	52	08-05-23	12	11	13	338.5000	17.7	Ninguna	
2	SJI	24-04-23	17	4	08-05-23	13	10	13	338.6667	17.3	Ninguna	
3	SJA	24-04-23	17	15	08-05-23	13	23	13	338.7000	21.5	Ninguna	
4	Nero	24-04-23	18	40	08-05-23	13	58	13	339.1167	17.2	Ninguna	
BL	Campo	24-04-23	14	7	08-05-23	10	0		339.1167	0.0	Ninguna	
Periodo de exposición		3			Año			2023		Fecha de análisis		6/07/2023
No.	CODIGO ESTACION	INICIO			FINAL			Días Completos	Horas Total	µgO ₃ /m ³	OBSERVACIONES	
		Fecha	Hora	Minuto	Fecha	Hora	Minuto					
1	ACC	24-04-23	16	52	08-05-23	12	11	13	332.0333	24.0	Ninguna	
2	SJI	24-04-23	17	4	08-05-23	13	10	13	332.0833	22.2	Ninguna	
3	SJA	24-04-23	17	15	08-05-23	13	23	13	332.2167	29.9	Ninguna	
4	Nero	24-04-23	18	40	08-05-23	13	58	13	331.8833	23.5	Ninguna	
BL	Campo	24-04-23	14	7	08-05-23	10	0		332.2167	0.0	Ninguna	
Periodo de exposición		4			Año			2023		Fecha de análisis		6/07/2023
No.	CODIGO ESTACION	INICIO			FINAL			Días Completos	Horas Total	µgO ₃ /m ³	OBSERVACIONES	
		Fecha	Hora	Minuto	Fecha	Hora	Minuto					
1	ACC	24-04-23	16	52	08-05-23	12	11	13	335.9667	32.7	Ninguna	
2	SJI	24-04-23	17	4	08-05-23	13	10	13	335.5333	40.0	Ninguna	
3	SJA	24-04-23	17	15	08-05-23	13	23	13	335.3333	36.7	Ninguna	
4	Nero	24-04-23	18	40	08-05-23	13	58	13	335.4333	35.9	Ninguna	
BL	Campo	24-04-23	14	7	08-05-23	10	0		335.9667	0.0	Ninguna	

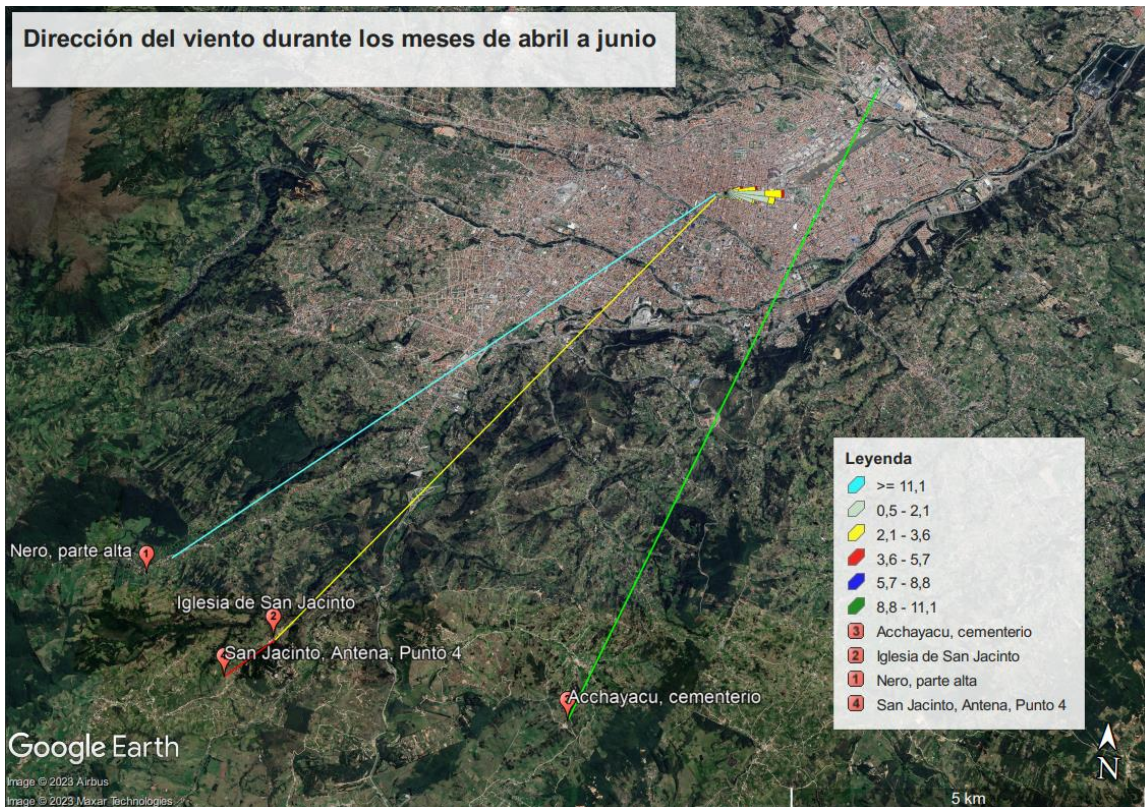
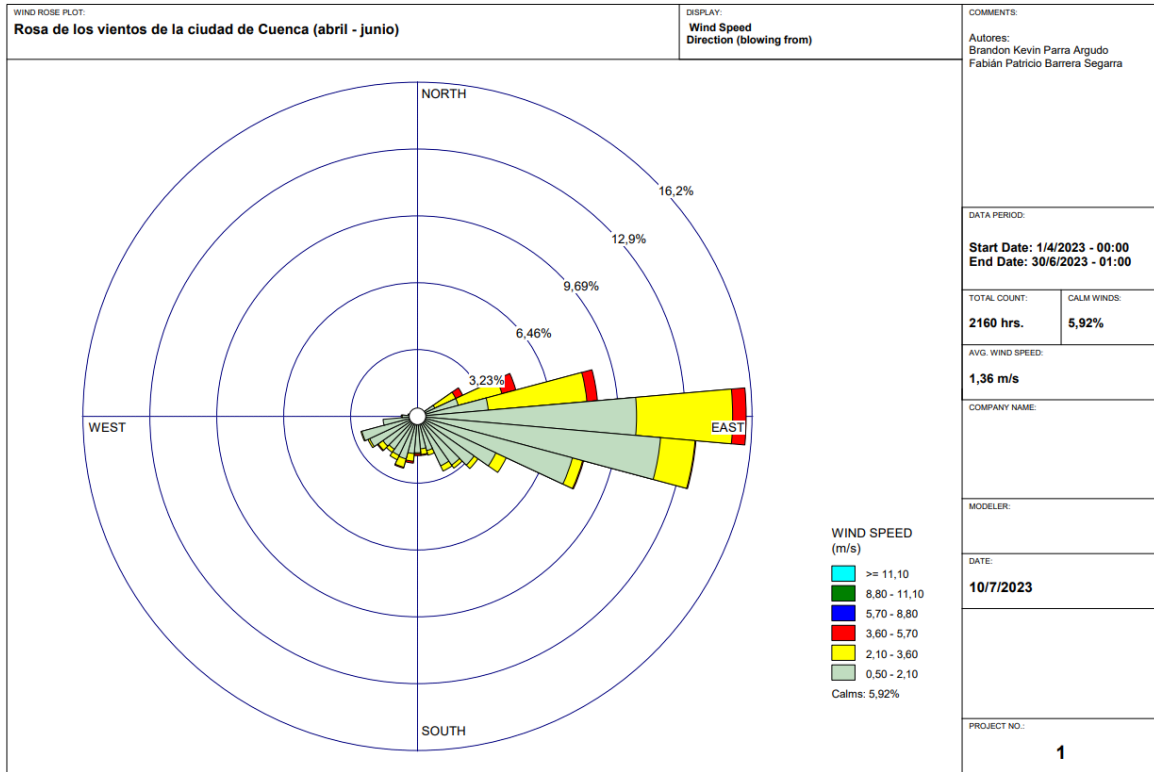
	Periodo de exposición	5			Año	2023				Fecha de análisis	6/07/2023
No.	CODIGO ESTACION	INICIO			FINAL			Días Completos	Horas Total	µgO ₃ /m ³	OBSERVACIONES
		Fecha	Hora	Minuto	Fecha	Hora	Minuto				
1	ACC	24-04-23	16	52	08-05-23	12	11	13	336.8667	45.2	Ninguna
2	SJI	24-04-23	17	4	08-05-23	13	10	13	336.0833	29.5	Ninguna
3	SJA	24-04-23	17	15	08-05-23	13	23	13	336.2833	27.8	Ninguna
4	Nero	24-04-23	18	40	08-05-23	13	58	13	336.5000	27.5	Ninguna
BL	Campo	24-04-23	14	7	08-05-23	10	0		336.8667	0.0	Ninguna

	Periodo de exposición	6			Año	2023				Fecha de análisis	6/07/2023
No.	CODIGO ESTACION	INICIO			FINAL			Días Completos	Horas Total	µgO ₃ /m ³	OBSERVACIONES
		Fecha	Hora	Minuto	Fecha	Hora	Minuto				
1	ACC	03-07-23	10	26	17-07-23	11	58	13	337.5333	32.8	Ninguna
2	SJI	03-07-23	11	41	17-07-23	12	31	13	336.8333	17.2	Ninguna
3	SJA	03-07-23	12	27	17-07-23	12	53	13	336.4333	22.0	Ninguna
4	Nero	03-07-23	13	1	17-07-23	13	47	13	336.7667	41.8	Ninguna
BL	Campo	03-07-23	11	44	17-07-23	12	32		337.5333	0.0	Ninguna

7.2 Área de estudio.



7.3 Rosa de los vientos periodo de abril – julio.



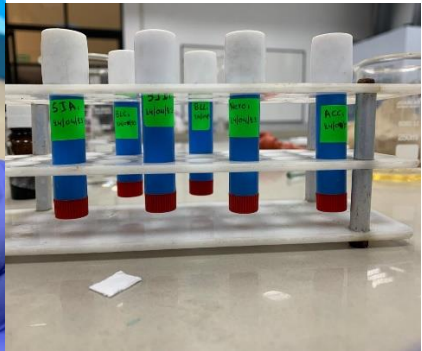
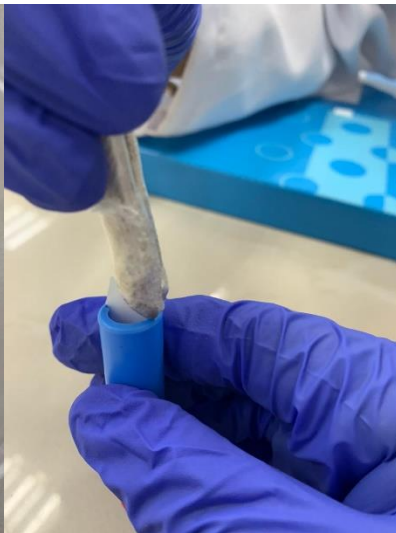
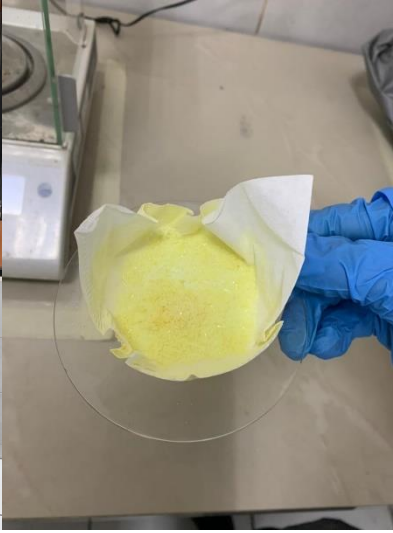
7.4 Colocación de estaciones en las zonas de monitoreo.



7.5 Preparación de la solución portadora.



→
→



7.6 Análisis de muestras en el laboratorio.

