



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y SU
INFLUENCIA EN LA CALIDAD DEL AIRE EN LA PARROQUIA
SAN FRANCISCO, DEL CANTÓN AMBATO**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: ANNETTE EMILIA VILLEGAS GALARZA

DIRECTORA: ING. MARÍA SOLEDAD NUÑEZ MORENO

Riobamba- Ecuador

2023

©2023, Annette Emilia Villegas Galarza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Annette Emilia Villegas Galarza, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de julio de 2023

A handwritten signature in blue ink, reading "Annette Villegas", with a large, stylized flourish above the name.

Annette Emilia Villegas Galarza

180358118-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Proyecto Técnico, **EVALUACIÓN DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DEL AIRE EN LA PARROQUIA SAN FRANCISCO, DEL CANTÓN AMBATO**, realizado por la señorita: **ANNETTE EMILIA VILLEGAS GALARZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA



Ing. Paul Rolando Armas Pesantez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

13-07-2023



Ing. María Soledad Núñez Moreno
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

13-07-2023



Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui
ASESORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

13-07-2023

DEDICATORIA

Con profundo amor a mis padres JOHNNY y CECILIA, porque gracias a su infinito amor y dedicación, permitieron que los cimientos con los que me formaron como persona, permitieran hacer realidad el gran anhelo de saberme profesional.

Annette

AGRADECIMIENTO

Mi primer pensamiento de agradecimiento es a Dios por la vida y haber permitido que gracias a su misericordia y sabiduría pude superar las dificultades logrando mi objetivo. A mis padres, cuyo sacrificio siempre fue manifiesto y constituyo el más grande estímulo para luchar por alcanzar la meta. A mis queridos abuelitos, que me brindaron su gran apoyo emocional en todo momento y con su ejemplo me enseñaron a seguir adelante pese a las adversidades. A mi hermano Luis Alfonso que siempre estuvo cerca para compartir con sinceridad mis triunfos y desalientos. Un reconocimiento y agradecimiento especial a la Ingeniera María Soledad Núñez directora del presente trabajo, mujer de grandes virtudes y sabiduría, quien con su sencillez y generosidad contribuye a la permanente contribución de la juventud que se forma en la ESPOCH.

A TODOS GRACIAS, INFINITAS GRACIAS.

Annette

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO EL PROBLEMA.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1. Atmósfera.....	5
2.1.1. <i>Composición de la atmósfera</i>	5
2.1.2. <i>Las capas de la atmósfera</i>	6
2.1.2.1. <i>Tropósfera</i>	6
2.1.2.2. <i>Estratósfera</i>	6
2.1.2.3. <i>Mesósfera</i>	7
2.1.2.4. <i>Termósfera</i>	7
2.2. Contaminación atmosférica.....	7
2.3. Tipos de contaminantes.....	8
2.4. Fuentes de contaminación.....	9
2.5. Principales contaminantes atmosféricos.....	9
2.5.1. <i>Compuestos nitrogenados</i>	9
2.5.2. <i>Dióxido de azufre</i>	9
2.5.3. <i>Monóxido de carbono</i>	9
2.6. Las principales fuentes de emisión.....	10
2.6.1. <i>Fuentes emisión de localización fija</i>	10

2.6.2.	<i>Fuentes de emisión difusas</i>	10
2.6.3.	<i>Dispersión de los contaminantes</i>	10
2.7.	Dióxido de nitrógeno	10
2.7.1.	<i>Efectos en la salud</i>	11
2.8.	Monitoreo atmosférico	11
2.8.1.	<i>Muestras</i>	11
2.8.1.1.	<i>Muestras relacionados con un área o región</i>	11
2.8.1.2.	<i>Muestras de la contaminación causada por fuentes emisoras</i>	12
2.8.1.3.	<i>Muestras específicos</i>	12
2.8.2.	Parámetros para cumplir los objetivos del monitoreo	12
2.8.2.1.	<i>Definición del número de sitios de muestreo y de su ubicación</i>	12
2.8.2.2.	<i>Localización de los sitios de muestreo</i>	13
2.8.2.3.	<i>Números de puntos de muestreo requeridos</i>	13
2.8.2.4.	<i>Requerimientos de los sitios de muestreo</i>	13
2.8.2.5.	<i>Duración del programa de monitoreo y frecuencia de las mediciones</i>	14
2.9.	Mediciones	14
2.9.1.	<i>Muestreadores pasivos</i>	14
2.9.1.1.	<i>Procedimiento de muestreo</i>	14
2.9.1.2.	<i>Transporte y almacenamiento</i>	15
2.10.	Calidad del aire	16
2.10.1.	<i>Índice de la calidad del aire</i>	16
2.10.2.	<i>Calidad del aire en el Ecuador</i>	16
2.11.	ArcGIS	17
2.12.	SOFTWARE PT VISSIM	17

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	18
3.1.	Localización de la zona de estudio	18
3.2.	Bosquejo de estudio	18
3.3.	Unidad de análisis	18
3.4.	Cuantificación de la muestra	19
3.4.1.	<i>Selección de los puntos de estudio</i>	19
3.4.1.1.	<i>Método de muestreo</i>	19
3.5.	Etapas de investigación	21
3.5.1.	<i>Técnicas de preparación para la recolección y análisis de datos</i>	21
3.5.1.1.	<i>Materiales</i>	21

3.5.2.	<i>Recolección y exposición de los muestreadores pasivos</i>	22
3.5.3.	<i>Análisis de muestreadores pasivos de Dióxido de Nitrógeno (NO₂)</i>	23
3.5.3.1.	<i>Materiales y equipos</i>	23
3.5.3.2.	<i>Cálculo de las concentraciones de NO₂</i>	24
3.5.4.	<i>Corrección de datos de NO₂ de acuerdo con la normativa vigente</i>	26
3.6.	Conteo vehicular	27
3.7.	Simulación PTV VISSIM	28
3.8.	Mapas de ArcGIS	28
3.8.1.	<i>Elaboración de mapas de dispersión del contaminante con el software ArcGIS</i>	29
3.9.	Análisis estadístico	29

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	Concentración de NO₂ corregida en base a las condiciones de la muestra tomada de la normativa vigente	30
4.1.1.	<i>Concentración de NO₂ en la semana 1</i>	31
4.1.2.	<i>Concentración de NO₂ en la semana 2</i>	32
4.1.3.	<i>Concentración de NO₂ en la semana 3</i>	33
4.1.4.	<i>Concentración de NO₂ en la semana 4</i>	34
4.1.5.	<i>Concentración de NO₂ en los puntos de monitoreo</i>	35
4.1.6.	<i>Comparación de concentración de NO₂ mediante los parámetros permisibles</i>	36
4.2.	Simulación PTV VISSIM	38
4.2.1.	<i>Conteo vehicular</i>	38
4.2.2.	<i>Simulación en el software PTV VISSIM</i>	39
4.3.	Análisis de concentraciones de NO₂ usando el software ArcGIS	39
4.3.1.	<i>Generación de mapa de dispersión del contaminante</i>	39
4.4.	Análisis estadístico	40
4.4.1.	<i>Prueba de Kolmogórov-Smirnov</i>	40
4.4.2.	<i>Análisis de ANOVA para las concentraciones de NO₂</i>	41
	CONCLUSIONES	43
	RECOMENDACIONES	44
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Escalas espaciales para diferentes extensiones de monitoreo definidas por la EPA	12
Tabla 2-2: Obstáculos que impiden un buen monitoreo	13
Tabla 3-2: Criterio de la altura de la toma de la muestra	14
Tabla 1-3: Puntos georreferenciados en la parroquia San Francisco	20
Tabla 2-3: Valores de concentración y absorbancia de disoluciones patrón de NO ₂	26
Tabla 3-3: Puntos de observación de recuento de automotores	27
Tabla 1-4: Concentración corregida por semana de estudio	30
Tabla 2-4: Concentración diaria de NO ₂	36
Tabla 3-4: Conteo vehicular mes de agosto 2022	38
Tabla 4-4: Datos adicionales software PTV VISSIM	39
Tabla 5-4: Prueba no paramétrica de Kolmogórov-Smirnov	41
Tabla 6-4: ANOVA concentraciones de NO ₂	42

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Estructura vertical de la atmósfera.....	5
Ilustración 2-2: Fuentes de contaminación.....	9
Ilustración 1-3: Zona de estudio Parroquia San Francisco	18
Ilustración 2-3: Zona de estudio para el análisis	19
Ilustración 3-3: Puntos de monitoreo	20
Ilustración 4-3: Curva de calibración	27
Ilustración 5-3: Puntos de observación de recuento de automotores.....	28
Ilustración 1-4: Concentración de NO ₂ semana 1	31
Ilustración 2-4: Concentración de NO ₂ semana 2	32
Ilustración 3-4: Concentración de NO ₂ semana 3.....	33
Ilustración 4-4: Concentración de NO ₂ semana 4	34
Ilustración 5-4: Concentración de NO ₂ semana 1 - 4.....	35
Ilustración 6-4: Concentración diaria de NO ₂	37
Ilustración 7-4: Captura de imagen de simulación del conteo vehicular.....	39
Ilustración 8-4: Mapa de dispersión contaminante de NO ₂	40

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: COLOCACIÓN DE LOS MUESTREADORES PASIVOS

ANEXO B: ETIQUETADO DE LOS MUESTREADORES PASIVOS

ANEXO C: ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS

RESUMEN

El presente estudio fue realizado con el fin de determinar la concentración del Dióxido de Nitrógeno (NO_2), durante cuatro semanas consecutivas tomando 25 puntos de muestreo en la Parroquia San Francisco, del cantón Ambato, de la provincia de Tungurahua, localizada en zona céntrica de la ciudad de Ambato, delimitado por al norte Av. Maldonado, al sur Av. Juan León Mera, al este Av. Lizardo Ruiz y al oeste Av. 12 de noviembre, partiendo mi interés por el índice elevado de comercialización que conlleva a un alto flujo vehicular, cuyas cifras serán detalladas en base al análisis semanal en los diferentes puntos ya mencionados, siendo el objetivo principal evaluar el Dióxido de Nitrógeno y su influencia en la calidad del aire. Los puntos de muestreo se han considerado teniendo en cuenta la ubicación de estos, además los vehículos que circulan durante las horas pico se clasificaron en autobuses, automóviles y camiones. Los tubos de muestreo se encargan de la recolección del dióxido de nitrógeno, una vez retirados los tubos de muestreo, se llevan al laboratorio para el respectivo análisis en el espectrofotómetro así logrando calcular la absorbancia donde se hallará la concentración de dióxido de nitrógeno emitido por los automotores. Del presente trabajo de investigación se concluye que de acuerdo a los diferentes puntos de ubicación distribuidos en la Parroquia San Francisco, y bajo la utilización de muestreadores pasivos con la ayuda de software especializados existe un alto flujo vehicular que guarda relación con la mayor concentración promedio de NO_2 , lo cual implica que en base al Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria se traduce en una ALARMA por su alta contaminación ambiental, pues se convierte en un punto álgido para el Ministerio de Salud Pública en relación con el elevado índice de afección respiratorias.

Palabras clave: <DIÓXIDO DE NITRÓGENO>, <BIOTECNOLOGÍA>, <CONTAMINACIÓN>, <CALIDAD DEL AIRE>. <ESPECTROFOTOMETRÍA>, <MUESTREADORES PASIVOS>.



1443-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the concentration of Nitrogen Dioxide (NO₂) during four consecutive weeks, taking 25 sampling points in the San Francisco Parish, in the Ambato canton, in the Tungurahua province, located in the downtown area of the city of Ambato, bounded by Maldonado Av. to the north, Juan León Mera Av. to the south, Lizardo Ruízy Av. to the east, and 12 de Noviembre Av. to the west. Based on my interest in the high rate of commercialization that leads to a high vehicular flow, whose figures will be detailed based on the weekly analysis of the points already mentioned, the main objective is to evaluate Nitrogen Dioxide and its influence on air quality. The sampling points have been considered, considering their location; the vehicles that circulate during peak hours were classified as buses, cars and trucks. The sampling tubes are responsible for collecting nitrogen dioxide; once the samples are removed, they are taken to the laboratory for the respective analysis in the spectrophotometer, thus calculating the absorbance where the concentration of nitrogen dioxide emitted by the samples will be found. Automotive. From this investigation, it is concluded that according to the different location points distributed in the San Francisco Parish and under the use of passive samplers with the help of specialized software, there is a high vehicular flow that is related to the highest average concentration of NO₂, which implies that, based on Annex 4 of Book VI of the Unified Text of Secondary Legislation, it translates into an ALARM due to its high environmental contamination, since it becomes a critical point for the Ministry of Public Health concerning the high rate of respiratory condition.

Keywords: <NITROGEN DIOXIDE>, <BIOTECHNOLOGY>, <POLLUTION>, <AIR QUALITY>, <SPECTROPHOTOMETRY>, <PASSIVE SAMPLERS>.



Ing. Paul Obregón Mgs.

060192712-2

INTRODUCCIÓN

El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un gas tóxico que constituye un contaminante atmosférico habitual. Es un subproducto de la combustión y puede encontrarse en las emisiones de vehículos, centrales eléctricas e instalaciones industriales. Las fuentes más comunes de emisiones de NO_2 son el transporte, especialmente los motores diésel, y la generación de energía, sobre todo las centrales eléctricas de carbón.

Este elemento es considerado un gas muy reactivo y puede existir tanto en forma de gas como de partículas. En forma gaseosa, es de color marrón rojizo y tiene un olor acre. En forma de partículas, es un componente de las partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$) y puede encontrarse en forma de pequeñas partículas suspendidas en el aire, este contribuye en gran medida a la contaminación atmosférica y, en niveles elevados, puede tener graves efectos sobre la salud. La exposición a corto plazo a niveles elevados de NO_2 puede causar problemas respiratorios, como bronquitis, asma y agravamiento de afecciones respiratorias ya existentes. La exposición prolongada al NO_2 también puede provocar problemas respiratorios crónicos y se ha relacionado con un mayor riesgo de cáncer de pulmón.

El NO_2 también contribuye a la lluvia ácida, provocada por la reacción del dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno con el vapor de agua del aire para formar ácido sulfúrico y ácido nítrico. Esta lluvia ácida puede dañar plantas y animales, así como edificios, estatuas y otras estructuras.

Es importante señalar que la reducción que este contaminante atmosférico no basta para evitar los problemas de salud ya que generalmente se presenta en combinación con varios elementos como las partículas finas y el ozono, que pueden tener efectos aditivos e incluso sinérgicos sobre la salud humana. Por lo tanto, eliminar las emisiones de NO_2 por sí solo no será suficiente para mejorar la calidad del aire y proteger la salud pública. Para lograrlo, es necesario reducir las emisiones de todos los contaminantes que contribuyen a la mala calidad del aire.

JUSTIFICACIÓN

La contaminación del aire es un riesgo significativo para el ambiente, como también para la salud y seguridad de los seres humanos, existen factores como la alta afluencia vehicular y poblacional que genera un foco de emisión del NO_2 ; conocido como un gas altamente contaminante, el cual tiene consecuencias negativas como la lluvia ácida que es considerada la más destructiva, pues su contacto con ciertos materiales deteriora considerablemente la apariencia del patrimonio, como su estructura. Siempre es necesario ejecutar muestreos para prevenir el aumento de la contaminación mediante estrategias medio ambientales.

El presente estudio será realizado en la parroquia de San Francisco, del cantón Ambato de la provincia de Tungurahua, que se encuentra delimitada al norte la calle Maldonado, al sur la calle Juan León Mera, al este la avenida Lizardo Ruiz y al oeste avenida 12 de noviembre, con la finalidad de conocer los niveles de contaminación basados en la presencia del NO_2 en el aire del lugar de estudio de donde se desprenderán datos estadísticos y veraces de la concentración de NO_2 .

El objetivo de este proyecto es ofrecer un seguimiento de las fuentes más importantes de emisiones de dióxido de nitrógeno para que la Municipalidad del cantón Ambato pueda efectuar los controles de calidad. Los resultados recogidos se compararán con la legislación actualmente vigente con ellas elaborará un informe que revele el nivel de contaminación atmosférica, lo que contribuirá a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

La concentración del dióxido de nitrógeno se determinará mediante muestreadores pasivos, registrando los datos acerca de la contaminación existente en el sector, estos serán ubicados en puntos estratégicos para de esta manera conocer cuál es la concentración del NO_2 , serán ubicados en cajas metálicas en cuyo interior existe un tubo de ensayo previamente cubierto evitando la exposición a la luz y capturando las concentraciones emitidas por la industria automotriz que transita por la Parroquia San Francisco del cantón Ambato.

La ubicación de estos muestreadores pasivos ha sido previamente analizada para ser colocada en las zonas con mayor afluencia vehicular, ya que estas son las principales vías utilizadas como corredores de circulación de líneas de buses urbanos y una gran cantidad de vehículos por la presencia de escuelas, mercados, supermercados y la zona comercial céntrica de la ciudad de Ambato.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

(Criollo Tenesaca, 2018), en el estudio establece sobre la valoración de la concentración de dióxido de nitrógeno atmosférico en el área urbana donde como resultado se observó que la concentración de dióxido de nitrógeno de 20-39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ esta presenta en 44% del área, mientras que la concentración de 40-45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es la de menor porcentaje de área con tan solo 0,5% en la ciudad de Cuenca.

Según, (Mendoza Castillo, 2017), en su tesis “Concentración de dióxido de nitrógeno y su incidencia en las infecciones respiratorias agudas en niños menores de 5 años en el distrito de puente piedra” explica sobre el acelerado incremento de la industrialización y comercialización con un gran flujo y congestión vehicular, por ello donde generaron altos niveles de concentración de dióxido de nitrógeno en el distrito analizado ocasionando su incidencia en las infecciones respiratorias agudas en niños menores de 5 años, pudo inferir que la variación de la concentración de NO_2 , como resultado encontró una variación en 41 de los casos de infecciones respiratoria aguda, con lo cual se pudo concluir que existe una correlación positiva fuerte de la concentración de dióxido de nitrógeno con los casos de infecciones respiratorias agudas en niños menores de 5 años, la cual se ve en detalle que las concentraciones de NO_2 influyen en 74.3 % sobre los casos de IRAs (Infecciones respiratorias agudas).

(Delgado Altamirano, 2016), en el trabajo de titulación “Evaluación de la Calidad del Aire Referente a Emisiones de Gases de Combustión: Monóxido de Carbono (CO) Dióxido de Azufre (SO_2) y Dióxido de Nitrógeno (NO_2) Generados por los Vehículos que Transitan en el Sector de Durán.” Indica que el incremento del número de vehículos, se considera que es directamente proporcional a la emisión de gases de combustión, por lo que se puede interpretar que esto ya se convierte en un problema general de tipo ambiental, además, se da el hecho de que hay una gran cantidad de vehículos viejos y en estado de vetustez, que aún se mantienen circulando especialmente los vehículos pesados, siendo visible la fuerte contaminación que estos vehículos generan lo que representa una fuerte carga de contaminantes al ambiente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el dióxido de nitrógeno y su influencia en la calidad del aire en la Parroquia San Francisco, del cantón Ambato.

1.2.2. Objetivos específicos

- Establecer la concentración de NO₂ en la parroquia San Francisco mediante el uso de muestreadores pasivos.
- Comparar las concentraciones de NO₂ de la parroquia San Francisco de acuerdo con los parámetros permisibles aplicados en la Calidad de Aire en el Ecuador.
- Determinar el flujo de vehículos que circulen en la zona.

siendo una excepción se encuentra limitado en a la tropósfera por los procesos de condensación y precipitación, donde puede alcanzar valores hasta el 4% en volumen en algunos puntos o casi ausente en su totalidad en otros.

El ozono varía notoriamente a través de la atmósfera y se halla principalmente en la estratósfera, debido a la combinación de reacciones de destrucción y producción fotoquímica junto con su gran reactividad frente a otros componentes atmosféricos. Las proporciones relativas de los componentes mayoritarios permanecen casi invariables, al menos hasta los 80 km. A mayor altura, la producción de oxígeno y nitrógeno atómico es considerable, lo que cambia la composición porcentual de estos dos componentes (Spedding, 2017).

2.1.2. Las capas de la atmósfera

2.1.2.1. Tropósfera

Es la capa que se encuentra en contacto con la superficie de la Tierra, por ende, es la más cercana a nuestro planeta, siendo la capa donde los seres vivos desarrollan su ciclo vital. El espesor de esta capa es de 12 km de altitud, donde puede variar según la latitud, siendo máxima en el Ecuador y mínima en los polos. Es la capa más dinámica, siempre en movimiento: vientos, nubes, lluvias, etc. También es donde se generan la mayoría de los fenómenos de contaminación atmosférica que pueden, entre otras cosas modificar el clima (Gallego Picó, 2013).

La composición química de la tropósfera es aproximadamente constante en todo su volumen. El gas mayoritario es el nitrógeno (N_2), que constituye el 78% del volumen total. El segundo en importancia es el oxígeno (O_2 , con un 21% y el tercero el argón (0,9%). El resto de los gases (en total, el 0,1% restante) son una gran variedad de compuestos, minoritarios en comparación con los anteriores, donde juegan un papel muy importante en las reacciones químicas en esta región de la atmósfera (Gallego Picó, 2013).

2.1.2.2. Estratósfera

Comprende entre los 12 y los 50 km. de altura y se caracteriza por una ausencia de corrientes verticales y escasa concentración de vapor de agua. En su composición química se encuentra la mayor parte del ozono, entre los 25 y 30 km de altitud, en la llamada capa de ozono. Es una capa protectora para la Tierra, ya que es la encargada de evitar el paso de los rayos ultravioleta, es llamada ozonósfera, también se produce a esa altitud, el metano (CH_4), óxidos de nitrógeno

(NO_x). El límite superior se conoce como estratopausa, que forma el límite con la mesósfera (Gallego Picó, 2013).

2.1.2.3. Mesósfera

La mesósfera es la capa más delgada de la atmósfera, la cual contiene el 0,1% de la masa de aire total en ella se pueden alcanzar temperaturas de -80 °C. al final de la mesósfera se encuentra la mesopausa, la capa límite que separa la mesósfera y la termósfera, con unos 85-90 km de altura en ella la temperatura es estable y muy baja (Carreño Díaz, 2022).

2.1.2.4. Termósfera

Esta capa que se amplía desde 75 hasta 450 km por encima de la Tierra es extremadamente caliente, compuesta por partes de mesósfera, termósfera y exósfera; se distingue porque es ionizada. Desempeña un papel importante en la electricidad atmosférica. El aumento en este caso es debido a la absorción de la radiación solar más energética y a la baja densidad de la atmósfera a elevadas altitudes. Esta capa también recibe el nombre de Ionósfera debido a la formación de capas ionizadas, que tienen la capacidad de reflejar las ondas radioeléctricas. La superficie del Sol está a una temperatura de unos 5.500 °C, esto hace que emita radiación. El 99% de esta radiación está repartida, según el denominado espectro electromagnético, entre la radiación ultravioleta, la luz visible y la radiación infrarroja. Siendo la radiación más energética la de longitud de onda más corta (Bueche, 2021).

2.1.2.5. Exósfera

Es la región más exterior de la atmósfera, empezando a unos 450km por encima de la Tierra considerada como el tránsito entre la atmósfera terrestre y el espacio. En ésta los gases van perdiendo sus propiedades fisicoquímicas, mismos que se dispersan hasta que la composición es similar a la del espacio. Más cerca de la Tierra, la densidad de la atmósfera resulta ser cada vez mayor. Las capas inferiores de la exósfera no pueden distinguirse claramente, la exósfera se mezcla con la termósfera (Bueche, 2021).

2.2. Contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica posee varias definiciones, frecuentemente se la define como la alteración del aire causada por las actividades del hombre, también se puede derivar en actividades que no se encuentra incluida el hombre, la contaminación atmosférica también se da por acciones

naturales, que en implica molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, vienen de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. A escala mundial, la combustión es la principal causa de la contaminación. La demanda de energía y la combustión, así como el crecimiento de la población y la actividad industrial, han intensificado fuertemente la contaminación del aire, en particular, en el nivel urbano y de los corredores industriales (Echeverri Londoño, 2019).

2.3. Tipos de contaminantes

En principio toda sustancia extraña que exista en el aire puede considerarse como contaminación en el sentido de que contribuye a cambiar la naturaleza del aire. Aunque no sean nocivos para la salud, algunos contaminantes pueden resultar insoportables por ser molestos y desagradables, en cuyo caso es evidente la necesidad de combatirlos, sin que sea preciso demostrar su nocividad (Echeverri Londoño, 2019).

- **Contaminantes Primarios**

Los contaminantes primarios son emitidos directamente por las fuentes, se encuentran en el ambiente tal y como fueron producidos, como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO₂), hidrocarburos (HC), partículas y metales pesados.

- **Contaminantes Secundarios**

Son los formados en la atmósfera por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y los componentes atmosféricos normales, entre estos tenemos los oxidantes fotoquímicos, la lluvia ácida y el smog (Echeverri Londoño, 2019).

2.4. Fuentes de contaminación

Naturales
<ul style="list-style-type: none">•Comprenden las emisiones de contaminantes generados por la actividad natural de la geósfera, la biósfera, la atmósfera y la hidrósfera.•Las erupciones volcánicas, una de las principales causas de la contaminación, aportan a la atmósfera compuestos de azufre (SO₂, H₂S) y una gran cantidad de partículas.
Antropogénicas
<ul style="list-style-type: none">•Son consecuencia de la presencia y actividades del ser humano. Entre las actividades humanas generadoras.•Uso de automóviles y aviones. El grado de contaminación provocada depende de la clase de combustible utilizado y el tipo de motor, entre otros.

Ilustración 2-2: Fuentes de contaminación

Fuente: Echeverri Londoño, 2019

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

2.5. Principales contaminantes atmosféricos

2.5.1. *Compuestos nitrogenados*

Son los que se pueden clasificar en compuestos oxidados (óxidos de nitrógeno) o compuestos reducidos, de los cuales el más representativo es el amoníaco. Estos óxidos de nitrógeno son un conjunto de gases, donde los más representativos son el óxido nitroso como N₂O y los NO_x; esos últimos conforman el dióxido de nitrógeno y el monóxido de nitrógeno (Gallego Picó, 2013).

2.5.2. *Dióxido de azufre*

Es conocido como un gas de olor desagradable e irritante, en las fuentes antropogénicas mayoritariamente contribuyen a las emisiones generadas por la energía eléctrica en centrales de combustión y las industriales manufactureras y de la construcción, mientras que las fuentes naturales son por erupciones volcánicas y las emisiones procedentes de los océanos (Gallego Picó, 2013).

2.5.3. *Monóxido de carbono*

Es un contaminante incoloro e inodoro de carácter asfixiante, cuando se asocia con el CO posee la capacidad de disminuir el oxígeno, conduciendo a una asfixia (Gallego Picó, 2013).

2.6. Las principales fuentes de emisión

2.6.1. Fuentes emisión de localización fija

Se localizan en un punto determinado, e incluyen actividades de generación de electricidad por vía térmica convencional y cogeneración; procesos industriales; combustión comercial, institucional y residencial; uso de disolventes; tratamiento y eliminación de residuos y actividades agrícolas (Pasquali, 2020).

2.6.2. Fuentes de emisión difusas

Difícilmente medibles en su origen de emisión, pues no tienen una localización puntual fija (Pasquali, 2020).

2.6.3. Dispersión de los contaminantes

La capacidad de la atmósfera de dispersar las concentraciones de los contaminantes viene determinada por las condiciones meteorológicas, siendo los parámetros meteorológicos que más directamente se relacionan con la contaminación atmosférica y su dispersión la velocidad del viento, la dirección y la variación de la temperatura con la altura. La intensidad y la dirección del viento son factores imprescindibles para tener en cuenta para valorar la capacidad de la dispersión de los contaminantes. La variación de la temperatura en la vertical, o gradiente térmico, puede dar origen a la inversión térmica dependiendo de la estabilidad de la atmósfera. Este fenómeno puede causar una capa de inversión, que retiene los contaminantes en un área localizada, impidiendo su dispersión.

En zonas costeras, en las montañas y laderas, la circulación cerrada del viento limita la dispersión de los contaminantes. Las ciudades originan las llamadas “islas térmicas” que provocan el calentamiento de las áreas colindantes. Los obstáculos como barrancos, montañas, etc., originan turbulencias que pueden producir un efecto de dispersión de la masa de aire, o una mayor incidencia de la contaminación en esa área (Pasquali, 2020).

2.7. Dióxido de nitrógeno

El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un contaminante atmosférico cuyas fuentes fundamentales son el tráfico rodado, así como las emisiones de determinadas industrias y de calefacciones de carbón (en desuso actualmente). Sus niveles en la atmósfera están aumentando en los últimos años por la

mayor utilización de gasolina diésel. Su presencia en el aire contribuye a la formación y modificación de otros contaminantes atmosféricos tales como el ozono y las partículas en suspensión (PM y PM_{2,5}).

Es importante resaltar que los efectos sobre la salud de la contaminación atmosférica por NO₂ no pueden valorarse de manera aislada. Dado su origen del tráfico urbano, los niveles elevados de NO₂ pueden ir acompañados de niveles altos de partículas en suspensión, así como de otros contaminantes como los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos o los metales pesados (Pasquali, 2020).

2.7.1. Efectos en la salud

Niveles elevados de dióxido de nitrógeno pueden irritar los pulmones y disminuir la función pulmonar, así como disminuir la resistencia a infecciones respiratorias. Y es que la irritación que provoca este contaminante se relaciona con un aumento de la mucosidad de las vías altas respiratorias, lo que puede hacer aumentar las infecciones respiratorias y reagudizar los síntomas de pacientes con enfermedades crónicas respiratorias, asmáticos y alérgicos. De hecho, recientes estudios científicos relacionan la exposición a NO₂ con una mayor incidencia de bronquitis, especialmente en mayores e inmunodeprimidos, así como de bronquiolitis en niños (OPS/OMS, 2015).

2.8. Monitoreo Atmosférico

El monitoreo atmosférico es un conjunto de metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias, generalmente contaminantes, presentes en el aire en un cierto lugar durante un tiempo determinado, aporta una serie de datos que nos ayuda verificar el cumplimiento de la normativa ambiental, estimar los efectos de los contaminantes en la población y en el ambiente, medición de efectos de control en la calidad del aire, entre otros (Pasquali, 2020).

2.8.1. Muestreos

2.8.1.1. Muestreos relacionados con un área o región

Enfocados en establecer los niveles de contaminación de una o varias localidades o de una región determinada. Estos sirven para dar la información de la calidad del aire, para así poder evaluar las tendencias o correlaciones de los datos (Pasquali, 2020).

Tabla 1-2: Escalas espaciales para diferentes extensiones de monitoreo definidas por la EPA

Microescala	Concentraciones en el aire en áreas de algunos metros hasta 100 m.
Escala media	Concentraciones en el aire en áreas de 100 m a 500 m.
Escala local	Concentraciones con un uso de suelo relativamente uniforme de 0,5km a 4km.
Escala urbana	Todas las condiciones de una ciudad con dimensiones en un rango de 4km a 50 km.
Escala regional	Usualmente es un área rural de geografía relativamente homogénea y se extiende desde decenas hasta cientos de kilómetros
Escalas nacional y global	Concentraciones características de la nación y del mundo

Fuente: EPA, 2016

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

2.8.1.2. Muestreos de la contaminación causada por fuentes emisoras

Determina la contaminación causada por una o varias fuentes como las industrias, mineros, rellenos sanitarios y basurales como fuente emisoras fijas, en cuenta una carretera y su periferia como fuentes emisoras móviles (Pasquali, 2020).

2.8.1.3. Muestreos específicos

Son los relacionados con las personas ya que son los más comunes que sirven para determinar el impacto de los contaminantes atmosféricos en la salud (Pasquali, 2020).

2.8.2. Parámetros para cumplir los objetivos del monitoreo

2.8.2.1. Definición del número de sitios de muestreo y de su ubicación

Se delimitan las áreas de estudio y los parámetros ambientales que son necesarios para monitorear se deben seleccionar los puntos de toma de muestras y las frecuencias de muestreo (Pasquali, 2020).

2.8.2.2. Localización de los sitios de muestreo

Existen varios procedimientos de selección de los lugares de instalación de los sitios de muestreo, en donde el procedimiento más simple es la elaboración de una cuadrícula del área a monitorear, colocando los sitios de monitoreo en los vértices de la cuadrícula; mientras las formas más elaboradas de seleccionar los sitios de monitoreo es el modelo de estadístico complejos que proporcionan el número y distribución óptima de los puntos de muestreo (Pasquali, 2020).

2.8.2.3. Números de puntos de muestreo requeridos

Los criterios que recomiendan un número de estaciones basándose en la densidad de población de una zona sino también en las concentraciones de los contaminantes que se van a medir: en las zonas que presentan mayor densidad de población con altas concentraciones de contaminantes que excedan los valores límites se debe incrementar la cantidad de estaciones de muestreo.

Para utilizar métodos estadísticos para determinar la cantidad de estaciones de muestreo se debe tener un conocimiento de la meteorología, las emisiones y datos previos de la calidad del aire de la zona. Si no se dispone de un conocimiento profundo del área en estudio se recomienda basarse en criterios tales como la densidad de población y estadísticas de actividades económicas (Pasquali, 2020).

2.8.2.4. Requerimientos de los sitios de muestreo

Una vez definidas las áreas de muestreo donde se llevará acabo los muestres se las divide en zonas y se señala el número de sitios en cada zona monitoreada. Al momento de la ubicación de los puntos o sitios de muestreo se debe tener en cuenta algunas consideraciones (Pasquali, 2020).

Tabla 2-2: Obstáculos que impiden un buen monitoreo

Obstáculo	Distancia
Árboles y edificios	Recomendación un radio libre de por lo menos 10m alrededor del sitio de muestreo
Fuentes de emisión industriales	Recomendación por lo menos 20m de distancia al sitio del muestreo.

Fuente: Pasquali, 2020

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

Tabla 3-2: Criterio de la altura de la toma de la muestra

Altura de la toma de la muestra	Tipo de estudio
1,5 a 2,5 m	Estudios epidemiológicos o tráfico vehicular.
2,5 a 4 m y hasta 8 m	Estudios de la calidad del aire de fuentes fijas.
10 m	Determinaciones de parámetro meteorológicos.

Fuente: Pasquali, 2020

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

2.8.2.5. Duración del programa de monitoreo y frecuencia de las mediciones

Si no se utilizan analizadores automáticos, que realizan muestreos y análisis continuos, para establecer valores medios anuales se recomiendan muestreos individuales con una frecuencia de 1 a 2 veces por semana, dependiendo de las concentraciones y variando el día de la semana. Una forma de lograr esto último es realizando muestreos cada 6 días (Pasquali, 2020).

2.9. Mediciones

2.9.1. Muestreadores pasivos

El procedimiento pasivo de captación de muestras tiene su fundamento en los fenómenos de difusión y permeación, por los cuales las moléculas de un gas, que están en constante movimiento, son capaces de penetrar y difundirse espontáneamente a través de la masa de otro gas hasta repartirse uniformemente en su seno, así como de atravesar una membrana sólida que le presente una determinada capacidad de permeación. Debido a estos fenómenos, situado en un ambiente contaminado durante cierto tiempo, será capaz de incorporar sobre el material captador dispuesto en su interior una determinada cantidad del contaminante que será proporcional, entre otros factores, a la concentración ambiental del mismo (Pasquali, 2020).

2.9.1.1. Procedimiento de muestreo

Los captadores pasivos deben mantenerse en todo momento, aparte del periodo de muestreo, perfectamente cerrados o al abrigo de sus envoltorios de protección. Por esta razón, la apertura y preparación de estos dispositivos deberá realizarse de modo inmediato antes de iniciar la toma de muestras. La elección de los puntos de muestreo y colocación de los captadores pasivos se debe

realizar con los mismos criterios empleados con los sistemas activos para asegurar la representatividad de las muestras, cuidando el aspecto ya señalado de evitar los lugares en los que el aire pudiera estar en completo reposo. Transcurrido el periodo de muestreo, se volverá a cerrar los captadores con cuidado, identificándolos adecuadamente y anotando los correspondientes tiempos de muestreo. Debido al hecho de no precisar sistemas de bombeo, ni perturbar de modo apreciable la labor del trabajador, los captadores pasivos son adecuados para realizar muestreos simultáneos con dos o más unidades, a efectos de promediar resultados o resaltar diferencias significativas de exposición o nivel de contaminación ambiental. Esta posibilidad tiene particular interés en situaciones de gran irregularidad en el nivel de presencia del contaminante o de la exposición personal. No obstante, en los casos de toma de muestras simultáneas es recomendable no acumular demasiados dispositivos en una vecindad inmediata, para evitar una captación competitiva que proporcionaría resultados inferiores a los reales (Pasquali, 2020).

2.9.1.2. Transporte y almacenamiento

En su manipulación los captadores pasivos deben ser objeto de los mismos cuidados que los dispositivos de muestreo activo. En el caso de los muestreadores que utilizan material de captación por adsorción se deberá cuidar particularmente de la temperatura a la que puedan estar sometidos, recomendándose su conservación en nevera siempre que sea posible. En estas condiciones la estabilidad de los captadores pasivos, debidamente cerrados, es suficiente para la práctica analítica habitual, permitiendo un almacenamiento en nevera de hasta dos semanas sin pérdidas apreciables. Para enviar las muestras al laboratorio deberán tenerse en cuenta las instrucciones generales sobre la toma y envío de muestras, relativas principalmente a la muestra "blanco", al etiquetado e identificación y a la solicitud de análisis (Pasquali, 2020).

2.9.1.3. Muestreadores activos

A diferencia de los muestreadores pasivos, los activos requieren de energía eléctrica para bombear el aire a través de un medio de colección físico o químico. El alto volumen de aire muestreado aumenta la sensibilidad de la medición y disminuye el tiempo de muestreo. Existen técnicas de muestreo activo para la mayoría de los contaminantes gaseosos, la mayoría de las cuales están siendo reemplazadas por analizadores automáticos. Algunos muestreadores activos poseen un sistema de bombeo manual, en los que el aire es aspirado al presionar un fuelle. El aire aspirado pasa por un tubo que contiene un reactivo que se combina con la sustancia contaminante que se desea analizar. En esta reacción se produce un compuesto coloreado, cuya intensidad es proporcional a la concentración del contaminante en el aire (Pasquali, 2020).

2.10. Calidad del aire

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor de 249 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire exterior y alrededor de 83 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire debido al uso de combustibles sólidos en la vivienda en las Américas en 2016. Además, los contaminantes climáticos de vida corta, como el carbono negro, son poderosos forzadores del clima con posibles consecuencias negativas sobre el calentamiento global y su impacto en la salud. Todas las personas pueden estar expuestas a la contaminación del aire. Sin embargo, se perciben grandes diferencias entre grupos de población y localidades geográficas. Por ejemplo, quienes residen cerca de carreteras o recintos industriales a menudo están expuestos a elevados niveles de contaminación ambiental exterior; o las personas que usan combustibles sólidos como fuente de energía doméstica pueden ser las más afectadas por la contaminación del aire ambiental en espacios interiores. En algunos casos, las diferencias de exposición entre los grupos de población pueden estar vinculadas con las inequidades en el desarrollo, la implementación y el cumplimiento de las leyes, reglamentos y políticas ambientales (OPS/OMS, 2015).

2.10.1. Índice de la calidad del aire

El Índice de Calidad del Aire (AQI, por sus siglas en inglés) es una herramienta usada por la EPA y otras agencias para proveerle al público información oportuna y fácil de comprender sobre la calidad del aire local. También indica si los niveles de polución son perjudiciales a la salud. El AQI informa al público si la condición del aire debe preocuparle por su salud. El AQI se enfoca en los efectos de salud que pueden pasar dentro unas horas o días después de respirar el aire (Cuevas 2019).

2.10.2. Calidad del aire en el Ecuador

En la actualidad, Ecuador posee pocas investigaciones acerca de los efectos que produce la contaminación del aire en la salud de las personas; de igual manera los problemas ambientales se presentan en mayor parte en ciudades donde la concentración de habitantes es grande, tales como Quito, Guayaquil y Cuenca. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, el aire limpio es un derecho inalienable de la población para su salud y bienestar, por lo cual es indispensable que Ecuador incorpore las normas de prevención y control de contaminación atmosférica propuestos en el Plan Nacional de la Calidad del Aire (Cantuña Escalante, 2019).

2.11. ArcGIS

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio (ArcGIS, 2019).

Los mapas constituyen una forma muy efectiva de organizar, comprender y proporcionar grandes cantidades de información de un modo comprensible universalmente. ArcGIS permite crear una amplia variedad de mapas, entre ellos, mapas Web accesibles en navegadores y dispositivos móviles, diseños de mapa impresos de gran formato, mapas incluidos en informes y presentaciones, libros de mapa, atlas, mapas integrados en aplicaciones, etc. Independientemente de cómo se publica, un mapa de ArcGIS es un mapa inteligente que muestra, integra y sintetiza completas capas de información geográfica y descriptiva de diversas fuentes (ArcGIS, 2019).

2.12. SOFTWARE PT VISSIM

Software de simulación de vehículos considerando la toma de tiempos y determinar el tráfico en las zonas urbanas en el sector de estudio. Permite ver a los automotores animados en 2D y 3D. Una vez que son ingresados los datos se construye una red vial, considerando el número de carriles, sus direcciones con vías georreferenciadas (PTV GROUP 2019).

Se considera el número de vehículos por hora, previos datos tomados anteriormente. La composición de los vehículos que se encuentran en la zona será colocada en inputs. Signal Head: Coloca a los semáforos y la temporización que estos presentan; es decir el tiempo en que van cambiando su luz.

- Vehicle Routes: la ruta que tomara el conductor en la carretera.
- Public Transport Stop: paradas de los buses donde la gente espera.
- Public Transport Line: el tránsito de las líneas de bus que están circulando por la vía de acuerdo con la operación que cada una tiene (Group, 2019).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Parroquia San Francisco que es delimitado entre las Av. Juan León Mera, hacia el sur; Av. Maldonado hacia el norte; Av. Lizardo Ruiz al oeste y Av. Doce de Noviembre al este, sector céntrico de la ciudad de Ambato, Provincia de Tungurahua, como se muestra en la figura 1-3:

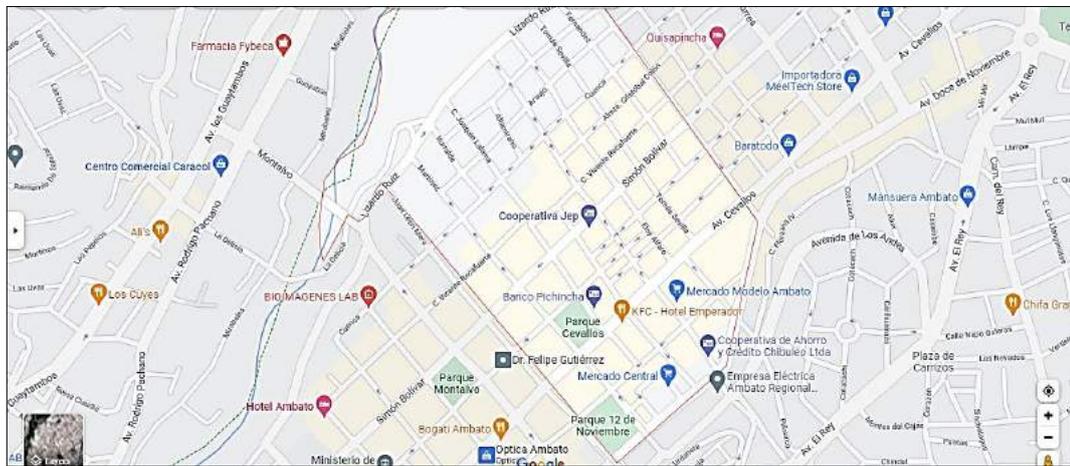


Ilustración 1-3: Zona de estudio Parroquia San Francisco

Fuente: Earth, 2019

3.2. Bosquejo de estudio

El estudio está basado en la recolección de varios valores o datos existentes en la predominación directa de NO_2 , con la determinación del flujo automovilístico que circula en la zona y las concentraciones de NO_2 analizado mediante los programas ArcGIS y PTV VISSIM.

3.3. Unidad de análisis

El trabajo de titulación se efectuó en la provincia de Tungurahua en el cantón Ambato, parroquia San Francisco, localizada en la Cordillera de los Andes, con una altitud de 2577 m.s.n.m, sus coordenadas geográficas son $1^\circ 14'56.7''$ S y $78^\circ 37.005'$ O. La zona de estudio se cotejó en la parroquia de San Francisco, donde se enfoca el mayor flujo vehicular sector céntrico del cantón

Ambato, entre las intersecciones de Av., Juan León Mera, hacia el sur; Av. Maldonado hacia el norte; Av. Doce de Noviembre al este y Av. Lizardo Ruiz al oeste.

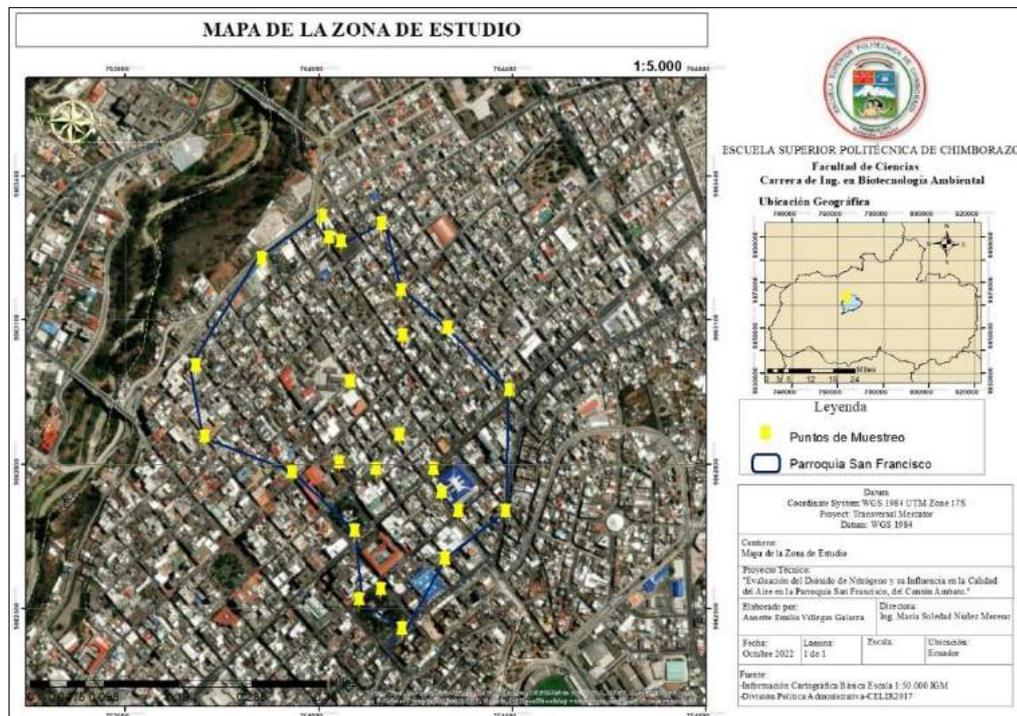


Ilustración 2-3: Zona de Estudio para el análisis

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

3.4. Cuantificación de la muestra

3.4.1. Selección de los puntos de estudio

3.4.1.1. Método de muestreo

Designada la zona de investigación se realizó la selección de puntos basados en la técnica de muestreo estratificado simple, situando 25 muestreadores pasivos, en 25 puntos respectivamente; en los cuales se consideró lugares con mayor flujo vehicular por las actividades cotidianas de venta y comercialización de la parroquia San Francisco, con el fin de poder determinar las concentraciones de este elemento contaminante.



Ilustración 3-3: Puntos de Monitoreo

Fuente: Earth, 2019

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

Tabla 1-3: Puntos georreferenciados en la parroquia San Francisco

PUNTOS DE MONITOREO	COORDENADAS	
	X(La)	Y (Lo)
PC1	764130	9863294
PC2	764047	9863256
PC3	764022	9863265
PC4	763882	9863222
PC5	764007	9863310
PC6	764171	9863155
PC7	764119	9862783
PC8	764167	9862854
PC9	764237	9862783
PC10	764387	9862695
PC11	764288	9862696
PC12	764254	9862735
PC13	764261	9862597
PC14	764128	9862533
PC15	764083	9862511
PC16	764173	9862451
PC17	764074	9862654
PC18	763945	9862777
PC19	764064	9862966
PC20	764174	9863062
PC21	764042	9862796
PC22	764395	9862947
PC23	764266	9863078
PC24	763747	9862999
PC25	763765	9862850

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

3.5. Etapas de investigación

3.5.1. Técnicas de preparación para la recolección y análisis de datos

Este estudio se aplicó mediante la técnica de muestreo pasivo para el contaminante NO₂, la que consiste en preparar, ubicar, adecuar, recolectar y trasladar los colectores pasivos para posteriormente ser llevados al laboratorio de Química Instrumental y analizados por el espectrofotómetro UV-Visible.

Los colectores fueron elaborados en tubos de vidrio vacíos estériles de 10 mL, los cuales fueron realizados y etiquetados de acuerdo con el punto de estudio en el laboratorio. Adicionalmente, se fabricaron cajas metálicas para cada colector como un mecanismo de protección de las inclemencias del tiempo de la zona y como un soporte que lo mantendrá sujeto al punto específico que fue designado para realizar este muestreo de la manera correcta.

Los muestreadores pasivos permanecieron por 7 días y fueron llevados al laboratorio para su respectivo análisis, por un período de 4 semanas, del 01 de agosto al 01 de septiembre de 2022.

3.5.1.1. Materiales

Materiales de campo:

- Cajas de metal
- Alambre de aluminio
- Taípe negro
- Cooler
- Hielo
- Cámara fotográfica
- GPS
- Escalera
- Etiquetas adhesivas

Materiales de laboratorio:

- Balanza digital
- Espátula

- Guantes, mandil y mascarilla
- Pipeta de 10mL
- Frasco ámbar de 1L
- Refrigeradora
- Tubos de ensayo
- Vaso de precipitación de 500mL
- Vaso de precipitación de 1000mL

Sustancias y reactivos:

- Trietanolamina (TEA)
- N-butanol
- Agua destilada

Preparación:

Añadir a la preparación absorbente 15g de Trietanolamina (TEA) en 500mL de agua destilada, aumentando 3mL de N-butanol, aforando con agua destilada hasta conseguir 1L (Ibarlucía, 2017).

Preservación:

Conservar la preparación del compuesto, en una botella ámbar en refrigeración para impedir que se reaccione con el ambiente; colocar 3,5 mL del reactivo preparado en cada uno de los tubos de ensayo, posteriormente colocar en los puntos de muestreo (Ibarlucía, 2017).

3.5.2. *Recolección y exposición de los muestreadores pasivos*

El líquido previamente preparado se ocupó colocando 6mL en tubos de ensayo previamente cubiertos con cinta negra impidiendo la entrada de la luz solar. Los tubos se instalaron en base a los razonamientos técnicos a una altura de 2,5 a 3 metros sobre el nivel del suelo de acceso óptimo, y los mismos, inmovilizados con alambre, se fijaron a las cajas metálicas con cinta adhesiva de doble cara, por cuestiones de seguridad (Ibarlucía, 2017).

Se retiró el tapón del tubo durante 7 días y se transportó la muestra al laboratorio para su análisis. Cada uno de los colectores fue colocado en cada punto de monitoreo previamente determinado, 25 tubos a lo largo de toda la Parroquia de San Francisco señalando las coordenadas geográficas

del lugar (UTM) y luego cada 7 días estos eran retirados y se colocaban nuevamente otros tubos en el mismo punto, realizando así 4 repeticiones en el mismo punto para determinar la concentración de NO₂ en esa zona (Ibarlucía, 2017).

3.5.3. *Análisis de muestreadores pasivos de Dióxido de Nitrógeno (NO₂)*

Los muestreadores pasivos se cambiaban cada 7 días para su análisis en el laboratorio de instrumentación. Para llevar a cabo el análisis de los muestreadores, se prepararon compuestos colorantes, que definiremos como reactivo 1 y reactivo 2.

3.5.3.1. *Materiales y equipos*

- Balanza analítica
- Espectrofotómetro Uv-Visible
- Cámara extractora de gases
- Agitadores magnéticos
- Varillas de agitación
- Una probeta de 100mL
- 2 vasos de precipitación de 100mL
- Guantes, mascarilla y mandil
- Tubos captadores de NO₂
- Sustancias y Reactivos:
- Naftilamina (NEDA)
- Ácido acético
- Á. sulfamílico
- Agua destilada

Pruebas colorímetros:

Se realizó una prueba de color para indicar la presencia de NO₂ en las muestras. Para esta prueba, se prepararon 2 reactivos que denominamos A1 y A2.

- A1 Se diluyeron 0,4 g de Naftilamina en 80 mL de ácido acético.
- A2 Se diluyeron 0,64 g de ácido sulfamílico en 80 mL de ácido acético (Ibarlucía, 2017).

Se añadieron 0,5 ml de cada reactivo de color a todos los tubos de muestra y éstos mostraron un cambio de color a rosa, con una variación de claro a magenta. Tras la reacción de coloración, las absorbancias se midieron en un espectrofotómetro UV-Visible a una longitud de onda de 545 nm (Ibarlucía, 2017).

3.5.3.2. Cálculo de las concentraciones de NO_2 .

Basándose en la ecuación de Griess-Saltzman, se determina la concentración de los muestreadores, conociendo el volumen de reactivo por el número de moles totales de NO_2 absorbidos. Determinando la concentración de la muestra y conociendo el volumen de reactivo colorante añadido (HRV), se puede calcular el número de moles absorbidos por la TEA según la siguiente ecuación (Bermeo, 2018).

$$Q_1 = C * V_{RC} \quad (\text{Ecuación 1-3})$$

Donde:

- C = Concentraciones (mol/L)
- V_{RC} = Cantidad de volumen de reactivo (Bermeo, 2018).

Despejando:

$$C_1 \left(\frac{ug}{m^3} \right) = \frac{C \left(\frac{mol}{L} \right) * PM \left(\frac{g}{mol} \right) * 10^6 \left(\frac{ug}{g} \right) * V_{RC} * z (cm) * 10^6 \left(\frac{cm^3}{m^3} \right)}{D_{NO_2} \left(\frac{cm^2}{s} \right) * 3600 \left(\frac{s}{h} \right) * \pi * r^2 (cm^2) * t (h)} \quad (\text{Ecuación 2-3})$$

Donde:

- C_1 = Concentración de NO_2 promedio durante el tiempo de exposición en el aire
- C = Concentración de NO_2 en el muestreador
- V_{RC} = Volumen del color del reactivo
- z = Difusión en distancia (longitud del tubo que se usa para el muestreo)
- D_{NO_2} = Coeficiente de difusión en el aire del NO_2 que tiene un valor de $0.154 m^2/s$
- r = Radio del tubo
- t = Tiempo total de exposición (Bermeo, 2018).

Las ecuaciones de absorbancia y concentración para obtener datos normalizados de la cantidad de nitrito en el tubo, se aplica una regla de tres para determinar la concentración de nitrito de los tubos de muestra (véase la ecuación 3) aplicando la absorbancia obtenida por espectrofotometría (Bermeo, 2018).

$$m(\mu g) = C_2 * V \quad (\text{Ecuacion3-3})$$

Donde:

- **m(μg)** = Masa de nitritos en el tubo
- **C₂** = Concentración obtenida (Regla de tres)
- **V** = Volumen de reactivos de los reactivos añadidos (Bermeo, 2018).

Estimación de la masa de nitrito aplicamos la ecuación correspondiente para cada muestra:

$$C_2 \left(\frac{\mu g}{mL} \right) = \frac{C_1 * Abs_2}{Abs_1} \quad (\text{Ecuación 4-3})$$

Donde:

- **Abs₁** = Absorbancia en la curva de calibración
- **C₁** = concentración correspondiente a la absorbancia 1 en la curva de calibración.
- **Abs₂** = Absorbancia de la muestra.
- **C₂** = Concentración de nitrito en el tubo (Bermeo, 2018).

Para finalizar el cálculo, se aplica la concentración ambiental de NO₂.

$$C = \frac{m * L}{D_{12} * A * t} \quad (\text{Ecuación 5-3})$$

Donde:

- **C (μg / m³)** = Concentración de NO₂ en el ambiente
- **m(μg)** = Masa de nitritos
- **L(m)** = longitud del tubo
- **D₁₂(m² / s)** = Coeficiente de difusión entre NO₂- Aire
- **A (m²)** = Área transversal del tubo

- **T (s)**= Periodo de muestreo (Ibarlucía, 2017).

3.5.4. Corrección de datos de NO₂ de acuerdo con la normativa vigente

Una vez aplicadas las ecuaciones, se establecieron los valores de concentración de NO₂, junto con su corrección por las condiciones ambientales del lugar de estudio, tal como dicta el Acuerdo Ministerial 097A Libro VI Anexo 4 de la Calidad del Aire. Dónde recomienda que las medidas observadas de las concentraciones de contaminantes atmosféricos comunes se corrijan en función de las condiciones de la localidad en la que se realicen las mediciones, para las que se utilizará el método gravimétrico, mediante la recogida de partículas en recipientes abiertos. Hay que recordar que el NO₂ representa el 10% del total de NO_x. Por lo tanto, se utilizó la siguiente ecuación para determinar el valor real de NO_x.

$$C_c = C_o * \frac{760\text{mmHg}}{P_{bl}\text{mmHg}} * \frac{(273+t^\circ\text{C})^\circ\text{K}}{298^\circ\text{K}} \quad (\text{Ecuación 6-3})$$

Donde:

- **C_c**= Concentración corregida
- **C_o** = Concentración observada
- **P_{bl}**= Presión atmosférica local, en milímetros de mercurio
- **T °C**= Temperatura local, grados centígrados
- **P_{bl}**= 760,50mmHg
- **T °C**= 15,7°C (El Ministerio de Ambiente, 2014).

Tabla 2-3: Valores de concentración y absorbancia de disoluciones patrón de NO₂

Concentración de calibración estándar (µg/mL)	Masa de los nitritos en el tubo (µg)	Concentración de nitritos en el tubo(µg/mL)	Absorbancia a 545nm
120	5,5	1,6	2,2
90	4,7	1,1	1,7
60	3,1	0,9	1,1
30	1,4	0,5	0,5
15	0,8	0,2	0,3
0,0	0,0	0,0	0,0

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

Se elaboró una curva de calibración teniendo en cuenta a la absorbancia y la masa de nitrito realizando con estos datos una regresión lineal.

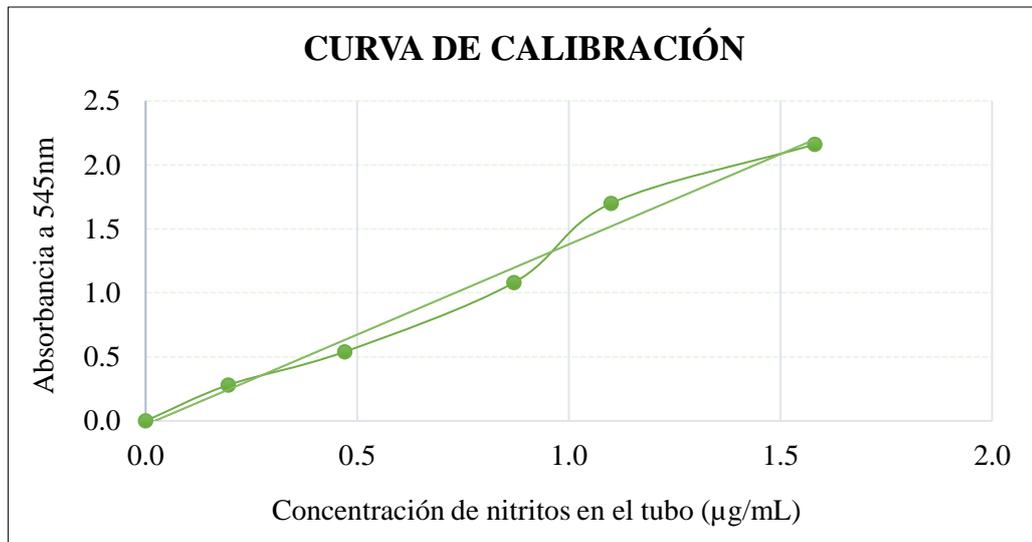


Ilustración 4-3: Curva de Calibración

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

3.6. Conteo vehicular

Para el conteo vehicular se tomaron varios puntos de muestreo, considerados sitios estratégicos de alta afluencia vehicular de la Parroquia San Francisco. Se realizó el respectivo conteo de vehículos que circulan en la zona durante las horas pico de 7:00-8:00; 13:30-14:30; 18:00-19:00, durante el periodo de una semana. Los automotores se clasificaron en autobuses, camiones y automóviles. En la Tabla 2-3 muestra los puntos de observación de los recuentos de automotores donde se recopilaron los datos, posteriormente se utilizarán para la simulación en el programa PTV VISSIM (Criollo Tenesaca, 2018).

Tabla 3-3: Puntos de observación de recuento de automotores

Puntos de muestreo de recuento de automotores		
Puntos	X	Y
1	764130	9863294
2	764173	9862451
3	764074	9862654
4	764064	9862966
5	764266	9863078
6	763765	9862850

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023



Ilustración 5-3: Puntos de observación de recuento de automotores

Fuente: Earth, 2019

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

3.7. Simulación PTV VISSIM

Basándose en la información cartográfica secundaria de Google Earth, para obtener el mapa de la zona de estudio, abra el mapa BACKGROUND en PTV Vissim, seleccione la herramienta LINKS y dibuje las carreteras en el mapa según las necesidades del estudio. Con la herramienta IMPUESTOS VEHICULARES, introduzca los datos recogidos sobre el número de vehículos censados en cada carretera, con la herramienta IMPUESTOS VEHICULARES, introduzca el número de vehículos censados en cada carretera (Group, 2019).

La herramienta COMPOSICIONES nos permite introducir la clase, velocidad y porcentaje de tráfico que circula en el ramal de la intersección, las calles principales y secundarias se identifican con la herramienta ZONAS DE CONFLICTO y con la herramienta NODOS determinamos el flujo de vehículos en cada punto de medición, lo que nos permite determinar la (Walton, 2012) aceleración y desaceleración. Una vez estructurado el mapa, se puede reproducir el tráfico de vehículos; el tiempo de simulación fue de una hora. Una vez finalizada la simulación, se generará un documento con los respectivos resultados (Group, 2019).

3.8. Mapas de ArcGIS

Para la elaboración de los mapas de emisión se utilizó el programa Arc GIS 10.5 y se realizó la modelización de los datos de concentración (ArcGIS, 2019).

Una vez obtenida la parte cartográfica, se utilizó la herramienta IDW con la concentración de los puntos de muestreo que facilitará la interpolación de los datos, después se optó por la herramienta Kriging para ayudar a la validación estadística de los datos. Al final del procedimiento, el archivo ráster presenta la información sobre la dispersión de los contaminantes en cada área (ArcGIS, 2019).

3.8.1. Elaboración de mapas de dispersión del contaminante con el software ArcGIS

Con los datos de concentración de NO₂, almacenados en el documento Excel, tras el proceso de análisis, se realizó un mapa de dispersión para cada semana de muestreo, para cada contaminante respectivamente, con el objetivo de evaluar su comportamiento en cada punto de muestreo. Para ello se utilizó un software especializado, en este caso ArcGIS10.5, con el que se obtuvo un SHAPEFILE de los puntos de control de cada contaminante. A continuación, utilizando la herramienta SPLINE (3D Analyst) de ArcGIS, que funciona como un sistema de interpolación, con la estimación de valores mediante una determinada función matemática, que define la regularidad de la superficie interpolada, se generó una imagen ráster con los datos de concentración de NO₂. Por último, se realizó la edición final de cada mapa con sus respectivos datos geográficos e informativos (ArcGIS, 2019).

3.9. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se utilizó una prueba de Kolmogórov-Smirnov, con el fin de verificar diferencias significativas en los resultados obtenidos visualizando si realizan una misma distribución de los datos. Subsiguientemente se realizó ANOVA, para así poder constatar el cumplimiento de la hipótesis (Ibarlucía, 2017).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentración de NO₂ corregida en base a las condiciones de la muestra tomada de la normativa vigente

Una vez efectuado el procedimiento en base al Acuerdo Ministerial 097A en el Libro VI. Anexo 4 de la Calidad del Aire, se procedió al cálculo de la concentración de NO₂ para su corrección en función de las condiciones ambientales de la muestra de estudio. En la tabla 1-4 se refleja los resultados obtenidos de NO₂ desde la semana 1 a la semana 4 y su promedio.

Tabla 1-4: Concentración corregida por semana de estudio

Concentración Corregida; Agosto-Septiembre					
Puntos	S1	S2	S3	S4	Promedio
1	1737,35	2666,17	1836,83	2830,77	2267,78
2	870,03	1068,09	2281,80	1458,79	1419,68
3	907,11	2207,64	3028,83	2344,20	2121,95
4	1636,96	1971,59	2076,50	3200,67	2221,43
5	1492,26	1012,02	2081,02	3231,42	1954,18
6	632,17	737,99	1290,58	1504,01	1041,19
7	858,27	1749,11	1965,26	2268,23	1710,22
8	600,52	1046,39	1069,90	2249,24	1241,51
9	709,95	1248,07	1712,03	2230,25	1475,07
10	1337,61	2262,81	2562,16	2868,75	2257,83
11	928,82	1651,43	2001,43	2192,26	1693,49
12	1038,25	1853,11	2010,48	3077,67	1994,88
13	1147,68	2054,79	2471,72	2154,28	1957,12
14	1257,11	2256,47	2028,57	3039,68	2145,46
15	1366,55	2458,16	2037,61	2116,29	1994,65
16	1475,98	2659,84	2709,58	2459,06	2326,11
17	1585,41	1957,12	2469,01	2695,11	2176,66
18	790,44	1254,40	2559,45	2505,18	1777,37
19	1804,28	3264,88	2073,79	2231,15	2343,52
20	737,99	1657,76	1721,07	2021,33	1534,54
21	2023,14	955,04	1187,48	193,54	1089,80
22	685,53	1156,73	1196,52	1983,35	1255,53
23	819,39	1449,75	635,79	2211,25	1279,05
24	1447,04	836,57	2571,21	1040,96	1473,94
25	1655,05	1269,78	454,91	1484,12	1215,96

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

4.1.1. Concentración de NO₂ en la semana 1

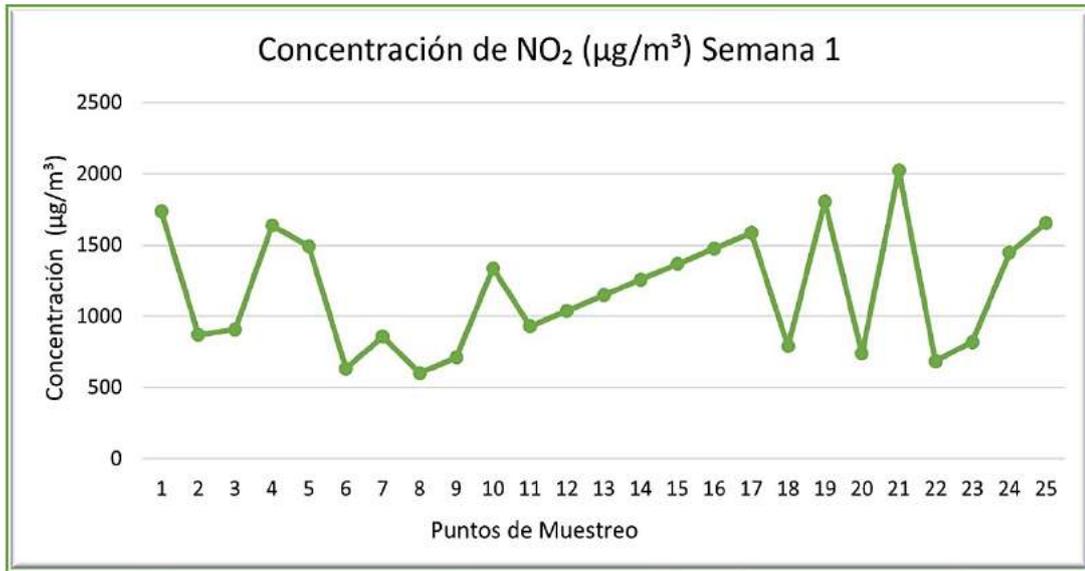


Ilustración 1-4: Concentración de NO₂ semana 1

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

Según como nos establece la ilustración 1-4 de la primera semana de monitoreo encontramos que en el punto 8 localizado en (Heladería Oasis) se refleja una menor concentración de NO₂ equivalente a 600,52 µg/m³, mientras que el de mayor concentración que es 2023,14 µg/m³ se ubica en el punto 21 localizado en (Coop. OSCUS) lo que implica que en base al promedio (1181,80 µg/m³), de acuerdo con la Normativa de Calidad de Aire dichos valores sobrepasan los límites permitidos (150 µg/m³), transformándose en una alerta al superar los 1200 µg/m³ de concentración promedio de NO₂ en la calidad del aire, pues lamentablemente el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Ambato ha contribuido a que estas sean las consecuencias, al no existir estudios técnicos que contribuyen a mitigar esta problemática, motivo del presente estudio (Ambato, 2019).

4.1.2. Concentración de NO₂ en la semana 2

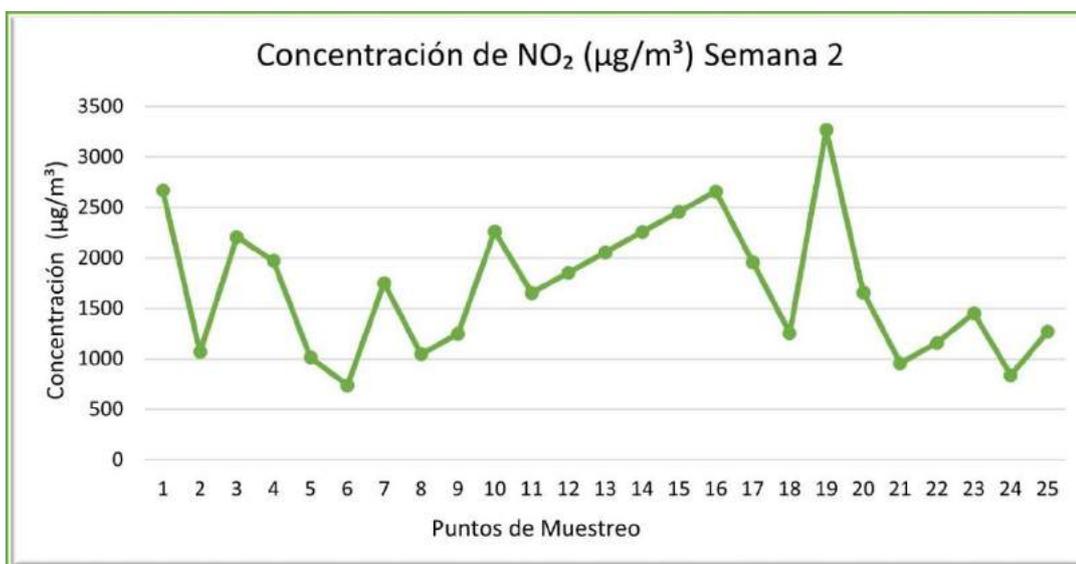


Ilustración 2-4: Concentración de NO₂ semana 2

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

En la ilustración 2-4 correspondiente a la semana dos, se observa que en el punto 6 ubicado en la avenida Maldonado entre Cristóbal Colón y Fernández se encuentra una menor concentración con un valor de 737,99 µg/m³; mientras que la mayor concentración se identifica en el punto 19 que corresponde a la Calle Vicente Rocafuerte y Eugenio Espejo (esquina) con una cifra de 3264,88 µg/m³, estableciendo así un promedio durante la segunda semana de 1708,23 µg/m³, lo que implica una ALERTA de acuerdo a la normativa vigente en relación al valor de la concentración promedio de NO₂, y que genera una preocupación social debido a que en dicha localización geográfica se encuentra ubicada la U.E. “Juan Montalvo” (Ministerio de Ambiente, 2014).

4.1.3. Concentración de NO₂ en la semana 3

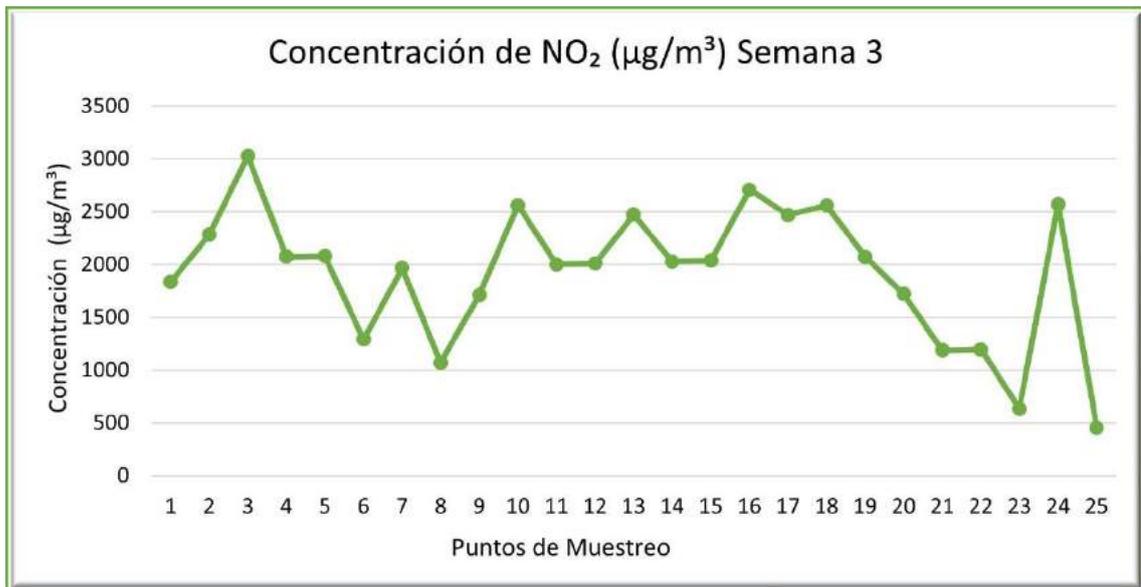


Ilustración 3-4: Concentración de NO₂ semana 3

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

En relación con lo observado en la ilustración 3-4 que corresponde a la semana 3 del monitoreo se identifica que la menor concentración de NO₂ se presentó en las calles Juan León Mera y Cuenca, que corresponde al punto 25 con un valor referencial de 454,91 µg/m³, entre tanto en el punto 3 perteneciente a las calles Tomás Sevilla y García Moreno (esquina), con un valor de 3028,83 µg/m³ se sitúa la mayor concentración NO₂, decretando una ALERTA tendiendo a convertirse en una EMERGENCIA en base al valor promedio (1921,34 µg/m³), lo que genera una preocupación en razón de que en los puntos establecidos, se genera comercio formal e informal de manera permanente con predominio de alimentos altamente susceptibles de contaminación, debido a la ordenanza desactualizada de la red de plazas y mercados (Hora, 2023).

4.1.4. Concentración de NO₂ en la semana 4

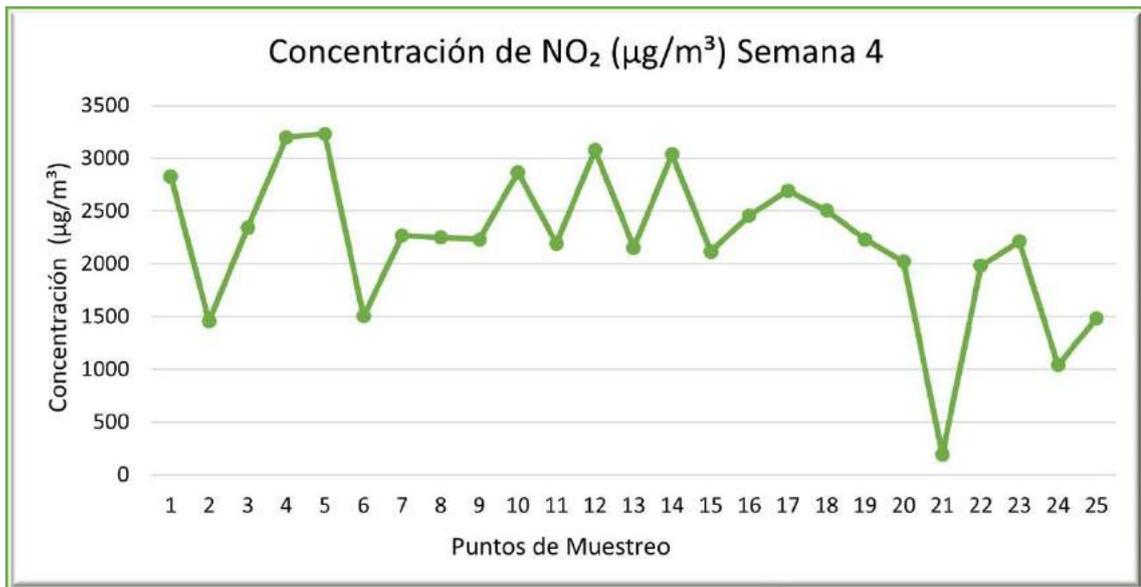


Ilustración 4-4: Concentración de NO₂ semana 4

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

De manera importante en la ilustración 4-4, que muestra la mayor y menor concentración de la semana 4 de monitoreo, misma en la que se determina que con un valor de 193,54 µg/m³ que corresponde al punto 21 (calles Lalama y Bolívar), existe la menor concentración de NO₂ con relación a las 4 semanas monitoreadas, no obstante, el valor promedio no deja de existir una ALERTA.

4.1.5. Concentración de NO₂ en los puntos de monitoreo

Durante el tiempo de estudio (cuatro semanas), se efectuó el monitoreo en los 25 puntos que se encuentran detallados en la tabla 5-4, y que corresponden a la Parroquia San Francisco del cantón Ambato, de dicha investigación se desprende la siguiente gráfica 5-4 con su respectivo análisis:

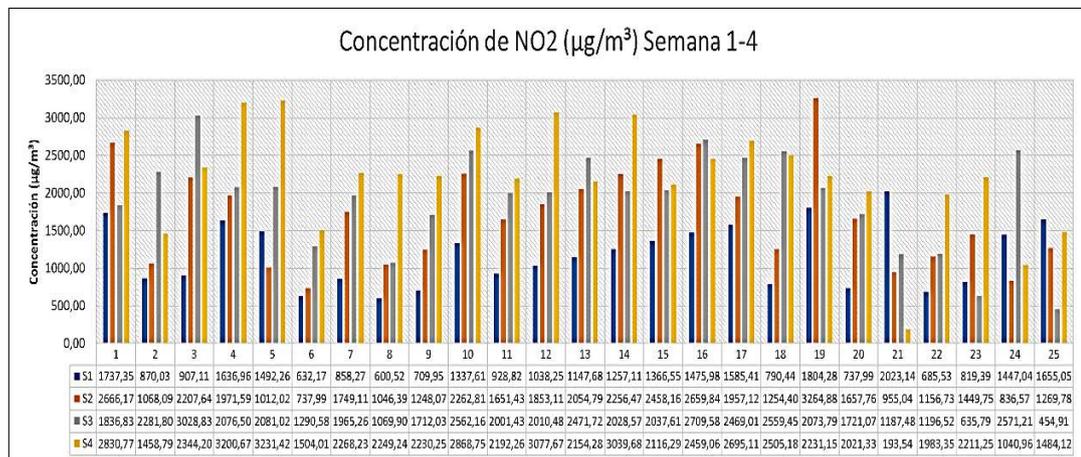


Ilustración 5-4: Concentración de NO₂ semana 1 - 4

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

En base al análisis de la ilustración 5-4 se determina que los resultados del plan de estudio de la semana 1 a la semana 4 reflejan que en el punto 8 (600,52 µg/m³) de la semana 1; punto 6 (737,99 µg/m³) de la semana 2; punto 23 (183,59 µg/m³) de la semana 3; y punto 21 (193,54 µg/m³) de la semana 4 existen una menor concentración de NO₂, debido a que en los puntos detallados se evidencio una baja concentración vehicular por ende el nivel de contaminación es mínimo.

Por otro lado, dentro de la misma ilustración gráfica, se visualiza que en el punto 21 (2023,14 µg/m³) de la semana 1; punto 19 (3264,88 µg/m³) de la semana 2; punto 3 (3028,83 µg/m³) de la semana 3; y punto 5 (3231,42 µg/m³) de la semana 4 existió una mayor concentración de NO₂, guardando relación en que la mayor concentración es debido al alto índice de comercialización por ende el flujo vehicular es máximo, siendo esto un punto álgido para el Ministerio de Salud Pública en relación con el elevado índice de afección respiratorias en grupos etarios < 5 años y > 65 años, que de acuerdo con la OMS están catalogados grupos vulnerables. (OPS/OMS, 2015), lo cual impla un reto importante para el MAAE en coordinación con el GAD Municipal de Ambato para redistribuir las rutas en el transporte público que son las principales emisiones de NO₂, y de esta manera reducir la contaminación del aire.

4.1.6. Comparación de la concentración de NO₂ mediante los parámetros permisibles en base al Acuerdo Ministerial 097A en el Libro VI Anexo 4 de la Calidad del Aire del Ecuador

Tabla 2-4: Concentración diaria de NO₂

Promedio Diario NO₂ (µg/m³)	
Puntos	Promedio diario
1	323,97
2	202,81
3	303,14
4	317,35
5	279,17
6	148,74
7	244,32
8	177,36
9	210,73
10	322,55
11	241,93
12	284,98
13	279,59
14	306,49
15	284,95
16	332,30
17	310,95
18	253,91
19	334,79
20	219,22
21	155,69
22	179,36
23	182,72
24	210,56
25	173,71

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

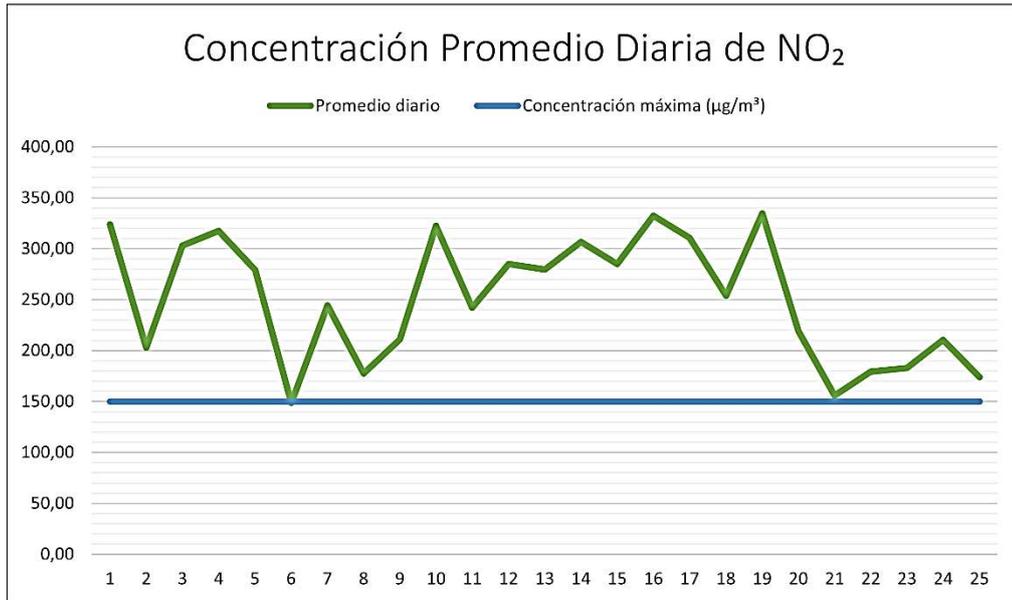


Ilustración 6-4: Concentración diaria de NO₂

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

En la gráfica 6-4 se evidencia que los resultados de la concentración promedio diaria durante las 4 semanas de estudio muestran que de los 25 puntos analizados todos sobrepasan los límites permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097A en el Libro VI. Anexo 4 de la Calidad del Aire. Todo esto debido a que en los puntos detallados se encuentran ubicada la más alta zona comercial, además unidades educativas, entidades financieras, empresas públicas y privadas que implican una elevada concurrencia vehicular.

4.2. Simulación PTV VISSIM

4.2.1. *Conteo vehicular*

Para la simulación realizada en el mes de agosto en las vías de la parroquia San Francisco, se realizó a un conteo vehicular, y tomando en cuenta la alta afluencia fueron considerados 6 puntos de referencia estipuladas en la tabla 2-4.

Tabla 3-4: Conteo vehicular mes de agosto 2022

Cantidad de Automotores			
Punto Maldonado			
Hora	Automotores	Autobuses	Camiones
7:00-8:00	230	45	11
13:30-14:30	300	42	7
18:00-19:00	205	39	5
Cantidad de Automotores			
Punto Cevallos y Lalama			
Hora	Automotores	Autobuses	Camiones
7:00-8:00	565	2	18
13:30-14:30	577	2	22
18:00-19:00	589	2	14
Cantidad de Automotores			
Punto Maldonado y Bolívar			
Hora	Automotores	Autobuses	Camiones
7:00-8:00	477	36	16
13:30-14:30	499	42	21
18:00-19:00	421	30	10
Cantidad de Automotores			
Punto Av. 12 de noviembre			
Hora	Automotores	Autobuses	Camiones
7:00-8:00	546	75	23
13:30-14:30	589	82	21
18:00-19:00	521	79	12
Cantidad de Automotores			
Punto Vicente Rocafuerte y Espejo			
Hora	Automotores	Autobuses	Camiones
7:00-8:00	436	30	17
13:30-14:30	475	35	22
18:00-19:00	486	28	10
Cantidad de Automotores			
Punto Escuela Juan León Mera			
Hora	Automotores	Autobuses	Camiones
7:00-8:00	365	0	12

13:30-14:30	350	0	9
18:00-19:00	386	0	7

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

La tabla 2-4 representa el total del conteo vehicular, llevado a cabo en las vías de la parroquia San Francisco, en el mes de agosto, efectuado durante 4 semanas, mismo en el que se consideró la alta afluencia vehicular para la utilización en la simulación con el software PTV VISSIM.

4.2.2. Simulación en el software PTV VISSIM

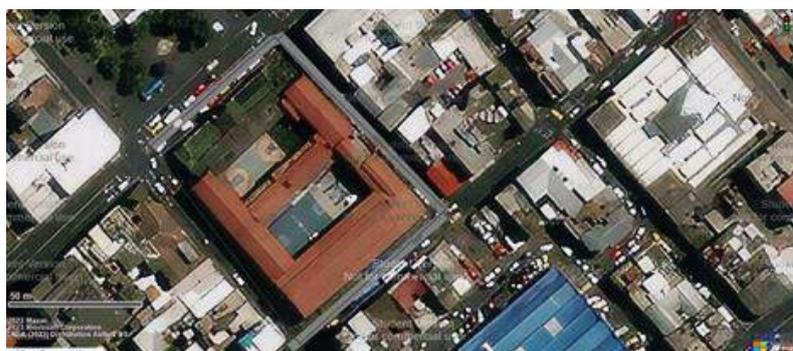


Ilustración 7-4: Captura de imagen de simulación del conteo vehicular en software PTV VISSIM

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

Tabla 4-4: Datos adicionales software PTV VISSIM

Aceleración (m ² /s)	Velocidad (km/h)	Velocidad Teórica (km/h)	Diferencia de velocidades (km/h)
0,012387564	5,234181754	45,09605067	405,9859434

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

4.3. Análisis de concentraciones de NO₂ usando el software ArcGIS

4.3.1. Generación de mapa de dispersión del contaminante

El mapa generado mediante el software ArcGIS, con la implementación de muestreadores pasivos que fueron distribuidos en los 25 puntos antes mencionados, indica sus resultados en diferentes tonalidades que van desde verde claro hasta rojo intenso, siendo su interpretación:

En la figura 2-4 podemos identificar que la mayor dispersión del contaminante se encuentra localizado en los puntos: Punto 16 ubicado en el parque 12 de noviembre; Punto 15 situado en la Cooperativa Ecu futuro; Punto 14, colocado Comercial Yolanda Salazar; Punto 13, Mercado Artesanal; Punto 11, Mercado Modelo y Punto 10, La Novia Pastelería.

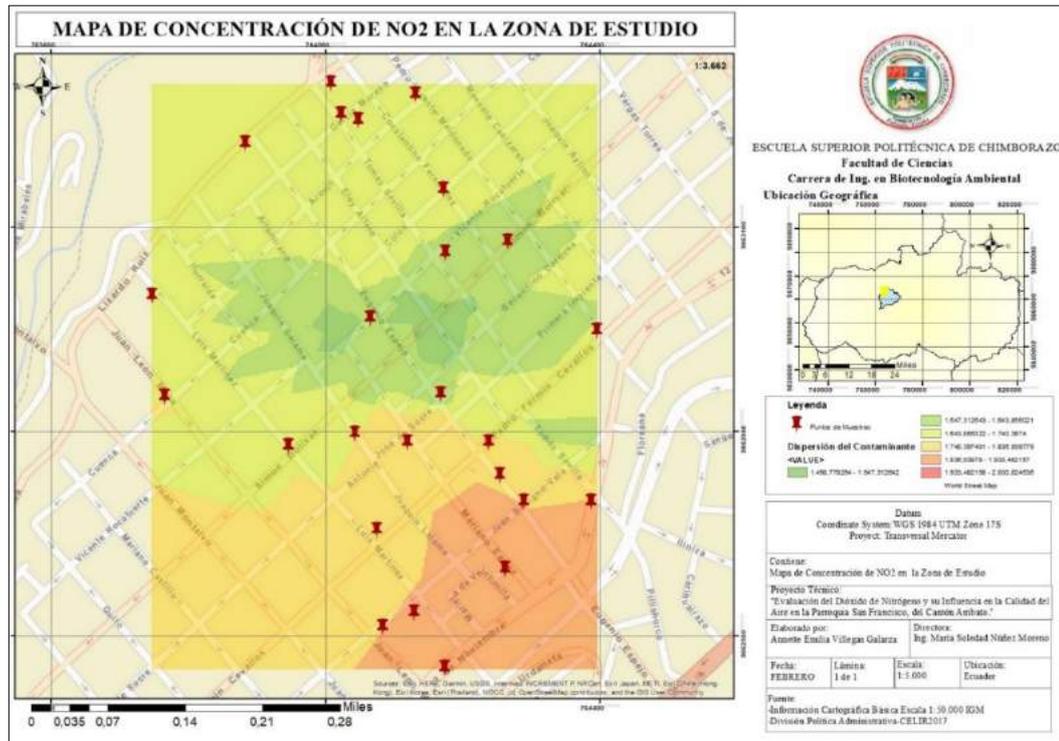


Ilustración 8-4: Mapa de dispersión contaminante de NO₂

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

4.4. Análisis estadístico

4.4.1. Prueba de Kolmogórov-Smirnov

Con la finalidad de validar de los datos de concentración de NO₂, se recurrió a la prueba no paramétrica de Kolmogórov-Smirnov, cuyos resultados son reflejados a continuación en la tabla 3-4, en los que se evidencia que durante el periodo de 4 semanas su distribución fue normal.

Tabla 5-4: Prueba no paramétrica de Kolmogórov-Smirnov

Prueba de Kolmogórov-Smirnov para una muestra					
		SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA
		1	2	3	4
N		25	25	25	25
Parámetros normales ^{a, b}	Media	1181,7879	1708,2279	1932,1932	2223,6627
	Desv. estándar	421,75258	662,31906	724,80550	701,49892
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,166	0,146	0,198	0,166
	Positivo	0,166	0,146	0,092	0,075
	Negativo	-0,095	-0,071	-0,198	-0,166
Estadístico de prueba		0,166	0,146	0,198	0,166
Sig. asin. (bilateral) ^c		0,075	0,178	0,012	0,074

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

La identificación de la desviación estándar para los datos de concentración se realizó mediante la aplicación de la estadística descriptiva, donde de acuerdo con cada semana encontraremos los siguientes valores:

- Semana 1: 421,75
- Semana 2: 662,32
- Semana 3: 724,81
- Semana 4: 701,50

Encontrando además una variación de valores en cuanto a la media, de cuyos resultados se determina que la distribución de la prueba es normal y que sus valores fueron determinación mediante datos.

4.4.2. Análisis de ANOVA para las concentraciones de NO₂

Con la finalidad de determinar las concentraciones de NO₂ se utilizó el intervalo de confianza del 95% cuyo nivel de significancia es de 0,05, resultado que apunta de acuerdo con la prueba, un rango de normalidad; de cuyo análisis resalta la siguiente hipótesis.

H_0 = Datos de la concentración de NO₂ cumple con la prueba de normalidad.

H_i = Datos de la concentración de NO₂ cumple con la prueba de normalidad.

Tabla 6-4: ANOVA concentraciones de NO₂

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	14450207,66	3	4816735,887	12,62613332	5,01222E-07	2,699392598
Dentro de los grupos	36622981,35	96	381489,3891			
Total	51073189,01	99				

Realizado por: Villegas Galarza, Annette, 2023

Del análisis de varianza de NO₂ se obtiene que: $V_p = 2,699 > 0,05$, lo que indica que la hipótesis nula (H_0) refleja valores normales en la parroquia de San Francisco, del cantón Ambato, mientras que, al ser el valor de p mayor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis alternativa (H_i) ya que no existe una diferencia significativa entre sus concentraciones.

CONCLUSIONES

- Una vez realizada la evaluación del dióxido de nitrógeno correspondiente a la parroquia San Francisco, del cantón Ambato se concluye que, durante un periodo de 4 semanas con la utilización de muestreadores pasivos que fueron distribuidos en 25 puntos en la zona de estudio, en razón del alto flujo vehicular (servicio público, urbanos, transporte pesado y transporte liviano) se determinó una mayor emisión de gases al ambiente, obteniendo de esta manera la mayor concentración promedio de NO_2 con un valor de $2343,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que de acuerdo a la Reforma del LIBRO VI Anexo 4 dicho valor se traduce en una ALARMA pues se convierte en un punto álgido para el Ministerio de Salud Pública en relación con el elevado índice de afección respiratorias en grupos etarios < 5 años y > 65 años, que de acuerdo con la OMS están catalogados grupos vulnerables (OPS/OMS, 2015).
- El empleo de los muestreadores pasivos con la aplicación del líquido absorbente (N-butanol + Trietanolamina) efectuado y analizado en los laboratorios de la institución, nos permitió demostrar la concentración de NO_2 y verificar la existencia de mayor concentración en los puntos 1,4,10,16,19 que corresponden a las zonas céntricas de la parroquia en estudio debido al alto tránsito vehicular y masiva comercialización de la parroquia.
- El Acuerdo N.061 de la Reforma del libro VI del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, en su párrafo 8 del literal 4.1.2. de las normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente indica: “...El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como NO_2 , y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más de dos (2) veces en un año.”, por lo que de la presente investigación se desprende un valor promedio de $2343,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuyo resultado muestra valores altos en la emisión de NO_2 , reflejando que los valores permisibles sobrepasan al valor promedio, guardando relación con la alta congestión vehicular en horas pico (El Ministerio de Ambiente, 2014)
- Partiendo del conteo vehicular previo a la simulación con la utilización del software PTV VISSIM, en puntos específicos como: Av. Cevallos, Av. 12 de noviembre y Av. Vicente Rocafuerte perteneciente a la zona céntrica de la parroquia San Francisco, se determina que producto de las condiciones de alto tráfico, el promedio vehicular es de 586 automotores en marcha, que se traduce a un elevado flujo vehicular.

RECOMENDACIONES

- Fomentar la investigación sobre la calidad del aire, con la implementación de software para simulaciones y cartografía.
- Realizar los recuentos de vehículos mediante cámaras o contadores automáticos, para la obtención de una mayor precisión.
- Es necesario ampliar el seguimiento de los resultados para ser más reveladores en el estudio con mayor eficacia.
- Animar a las autoridades a seguir impartiendo conferencias sobre la calidad del aire, a promover acciones de control de la contaminación para que los ciudadanos velen por su bienestar y el de las generaciones futuras en materia de salud y calidad del aire.
- Colocar señalización en los puntos de muestreo para evitar que se destruyan, y se pierda información importante al momento del análisis de estos.
- Además, se recomienda ampliar a otros sitios con alto tráfico peatonal con el fin de capturar muestras más grandes, incluyendo las diferentes áreas socioeconómicas y las horas pico de la mañana y la tarde.

GLOSARIO

Emisión atmosférica: Descarga a la atmósfera continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía procedentes, directa o indirectamente, de cualquier fuente susceptible de producir contaminación atmosférica (Méndez, et al., 2011).

Disoluciones: mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias que no reaccionan entre sí (Chen, et al., 2014).

Solución Patrón: Preparación de forma directa o por normalización con un patrón primario (Riaño, 2017)

Absorbancia: Es la cantidad de luz absorbida por una solución (Walton, 2012).

Geo procesos: Es un marco y un conjunto de herramientas que permiten procesar datos geográficos y otros datos relacionados (Cañada, et al., 2014).

Longitud de onda: Es la distancia física entre dos puntos a partir de los cuales la onda se repite (Walton, 2012)

Simulador: Es una máquina que reproduce el comportamiento de un sistema en ciertas condiciones (Moraleda, 2016).

Espectrofotómetro Uva-Vis: Es un instrumento diseñado para medir la absorbancia en la región UV-VIS mediante la ley de Beer-Lambert (Valcárcel, 2021).

BIBLIOGRAFÍA

AMBATO, GAD MUNICIPALIDAD DE. 2019. Fiel web Estudio Jurídico. [En línea] 11 de 04 de 2019. [Citado el: 12 de 06 de 2023.] <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2021-05/PLAN-ORDENAMIENTO-TERRITORIAL-AMBATO.pdf>. 466.

ARCGIS. 2019. ArcGIS Resources. [En línea] 2019. [Citado el: 16 de Julio de 2022.] <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>.

BERMEO, J & VEGA,D. 2018. Evaluación de contaminantes atmosféricos en los principales (Trabajo de titulación). Riobamba, Ecuador : ESPOCH, 2018. págs. 36-71.

BUECHE, F. 2021. *Ciencias Físicas*. Barcelona : Reverté, 2021. pág. 330. 978-84-291-9065-6-

CANTUÑA ESCALANTE, KATHERINE LIZETH & SATIÁN GUAMÁN, DANIELA FERNANDA. 2019. Análisis de rendimiento de la tecnología LoRaWAN aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol Riobamba. Riobamba : DSpace ESPOCH, 2019. págs. 26-27. 11026.

CAÑADA, ROSA Y CERVERA, BEGOÑA. 2014. *Sistemas y Análisis de la información Geográfica*. Segunda. Madrid : RA-MA, 2014. pág. 565. 978-84-9964-326-7.

CARREÑO DÍAZ, LUZ ÁNGELA. 2022. *Química verde: conceptos básicos y aplicaciones*. Santander : UIS, 2022. pág. 54. 978-629-7549-09-8.

CHEN, YO-YING Y DEL VALLE, MARÍA ANGÉLICA. 2014. *Mediciones y métodos de uso común en el Laboratorio de Química*. Chile : Ediciones UC, 2014. págs. 23-24. 978-956-14-1483-9.

CRIOLLO TENESACA, CHRISTIAN PAUL. 2018. VALORACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO. (Trabajo de Titulación). Cuenca, Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2018. págs. 51-52.

DELGADO ALTAMIRANO, PLINIO AQUILES. 2016. Evaluación de la Calidad del aire referente a emisiones de gases de combustión: Monóxido de Carbono (CO) Dióxido de Azufre (SO₂) y Dióxido de Nitrógeno (NO₂) generados por los vehículos que transitan en el sector de

Durán. (*Trabajo de Titulación*)(*Maestría*). Guayaquil : Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, 2016. pág. 53.

EARTH, GOOGLE. 2019. Google Earth. [En línea] 11 de 01 de 2019. [Citado el: 23 de 03 de 2022.] <https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>.

ECHEVERRI LONDOÑO, CARLOS ALBERTO. 2019. *Contaminación atmosférica*. Bogotá : Ediciones de la U, 2019. págs. 79-80. 978-958-762-942-2.

EL MINISTERIO DE AMBIENTE, AGUA Y TRANSICIÓN ECOLÓGICA (MAATE). 2014. NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE. *ANEXO 4 DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE* . Quito : MAATE, 2014.

EPA. 2016. Environmental Protection Agency. [En línea] 2016. [Citado el: 17 de Julio de 2022.] https://www3.epa.gov/ttnecat1/cica/help/hhapmval_s.html.

GALLEGO PICÓ, ALEJANDRINA. 2013. *Contaminación atmosférica*. Madrid : UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2013. págs. 11-13. 9788436265231.

GROUP, PTV. 2019. PTV Group. [En línea] 2019. [Citado el: 16 de Julio de 2022.] <https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-vissim/>.

HORA, DIARIO LA. 2023. La Hora. *Ordenanza desactualizada complica el comercio informal en Ambato*. Digital, 24 de 01 de 2023.

IBARLUCÍA, GISELLE. 2017. Determinación del NO₂ (Dióxido de Nitrógeno) atmosférico en la ciudad de Tandil mediante muestreadores pasivos y una técnica espectrofotométrica. (*Trabajo de Titulación*). Buenos Aires, Argentina : Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas, 2017.

MÉNDEZ, FAVIO RICO Y LÓPEZ, RAFAEL. 2011. *Daños a la salud por contaminación atmosférica*. Toluca : IMSS, 2011. pág. 130. 968-835-570-4.

MENDOZA CASTILLO, Jairo Jerson. 2017. Concentración de Dióxido de Nitrógeno y su incidencia en las infecciones respiratorias agudas en niños menores de 5 años en el distrito de Puente Piedra. *Trabajo de Titulación*. Lima, Perú : Universidad César Vallejo, 2017. págs. 2-3.

MORALEDA, ALFONSO URQUÍA. 2016. *Métodos de Simulación y modelado.* Madrid : UNED, 2016. pág. 12. 978-84-362-7132-4.

OPS/OMS. 2015. OPS/OMS. [En línea] Organización Panamericana de la Salud , 2015. [Citado el: 16 de Julio de 2022.] <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>.

PASQUALI, RICARDO. 2020. *Química Ambiental.* Córdoba : Jorge Sarmiento Editor/Universitas, 2020. 978-987-572-020-6.

RIAÑO, Nestor. 2017. *Fundamentos de química analítica básica.* Tercera. Manizales : Universidad de Caldas, 2017. pág. 164. 978-958-8319-00-1.

SPEDDING, D.J. 2017. *Contaminación atmosférica.* Barcelona : Reverté, 2017. págs. 4-5. 978-84-291-9196-7.

VALCÁRCEL, M. 2021. *La calidad en los laboratorios analíticos.* Córdoba : Reverté, 2021. pág. 149. 978-84-291-9210-0.

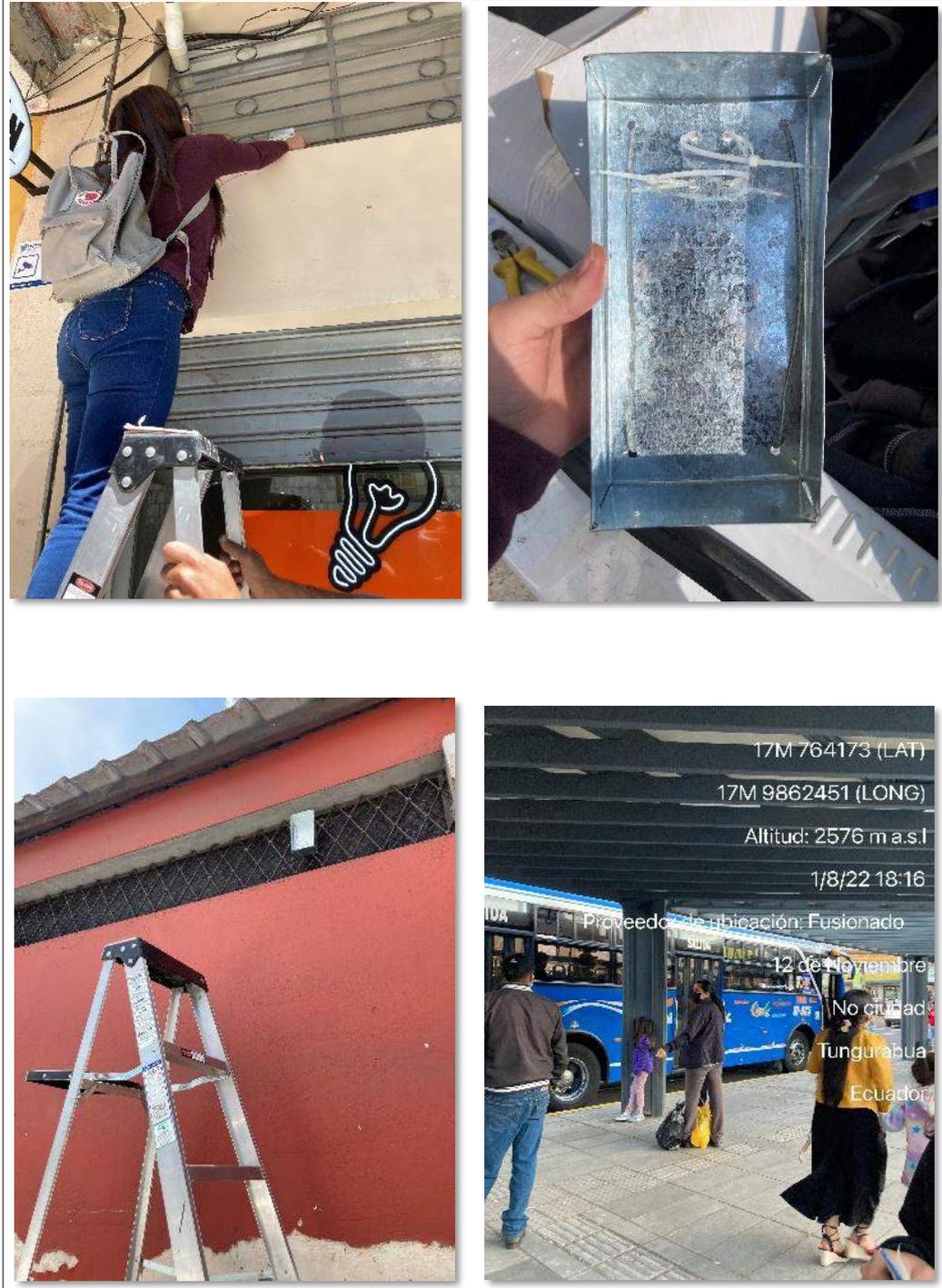
WALTON, HAROLD F. 2012. *Análisis Químico e Instrumental Moderno.* Colorado : Reverté, 2012. pág. 147. Vol. 1. 84-291-7519-9.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rafael Uribe', is written over a circular blue stamp. The stamp contains the text 'UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE COLOMBIA' and 'UNIDAD DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS' around a central emblem.

1443-DBRA-UPT-2023

ANEXOS

ANEXO A: COLOCACIÓN DE LOS MUESTREADORES PASIVOS



ANEXO B: ETIQUETADO DE LOS MUESTREADORES PASIVOS



ANEXO C: ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS OBTENIDAS





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 25 / 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Annette Emilia Villegas Galarza
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería en Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera en Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1443-DBRA-UPT-2023