



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NO_x A LA QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS LAS PERSONAS QUE FRECUENTAN EL SECTOR DEL TERMINAL TERRESTRE – LATACUNGA

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para obtener el grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: MIGUEL ALEJANDRO PARDO IBARRA

DIRECTORA: ING. MARÍA RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

©2019, Miguel Alejandro Pardo Ibarra

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.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: **DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE NO_x A LA QUE SE ENCUENTRAN EXPUESTAS LAS PERSONAS QUE FRECUENTAN EL SECTOR DEL TERMINAL TERRESTRE – LATACUNGA**, de responsabilidad del señor egresado: Miguel Alejandro Pardo Ibarra, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. María Rafaela Viteri Uzcategui.

DIRECTORA DEL

.....

28 de febrero del 2019

TRABAJO DE TITULACIÓN

Ing. Juan Carlos Gonzáles García.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

28 de febrero del 2019

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Miguel Alejandro Pardo Ibarra, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 28 de febrero del 2019

Miguel Alejandro Pardo Ibarra

CI: 0503242307

Yo, Miguel Alejandro Pardo Ibarra, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de investigación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

MIGUEL ALEJANDRO PARDO IBARRA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mis Padres: Alberto Pardo y Yolanda Ibarra, además a mis hermanos: Jorge, Paúl y Adrián, de igual manera a mi abuelito Alberto Pardo Chuquimarca, mis abuelitas Rosa Castillo y Rufina Salazar, mi bisabuelita María Moya y todas las demás personas que han sabido alentarme y guiarme en el camino hacia esta meta, la familia siempre estará para nosotros y todos nuestros logros son el reflejo de la tenacidad y paciencia que han tenido hacia mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia, amigos, docentes y compañeros quienes de alguna manera han influenciado en el cumplimiento de mi carrera universitaria: Cristian Chicaiza, Denis Vega, Jairon Bermeo, Christian Suarez, Gabriela Freire, Marcelo Ramírez, Jorge Luis Simba, Jordano Quisiguiña, David Cabezas, Pandora Riera, Carla Haro, Deysi Taipicaña, Carlos Barrera, Miguel Santillan, Juan Carlos Gonzales y Rafaela Viteri. El tiempo y la gratitud hacia ustedes siempre me será infinita y en mi recuerdo siempre estarán como mi inspiración y grandes amigos.

Agradezco a mi familia, sin ellos nada de esto sería posible, los llevaré conmigo hasta la eternidad.

Finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por ser mi alma mater y formarme académicamente, dándome las herramientas necesarias para superarme profesional y humanamente. “Poli”, me brindaste los mejores años de mi vida, gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xiv
SUMARY	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	5
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Antecedentes	5
1.2 Bases Teóricas Generales.....	6
1.2.1 Calidad de Aire.....	6
1.2.2 Fuentes contaminantes del aire.....	7
1.2.3 Combustibles Fósiles.....	7
1.2.4 Fuentes de NO _x	8
1.2.5 Fuentes de emisión y aplicaciones de los óxidos de nitrógeno.....	9
1.2.6 Motores de Combustión.....	10
1.2.6.1 El motor cíclico Otto.....	11
1.2.6.2 El motor Diesel.....	11
1.2.7 Formación de Óxidos de Nitrógeno.....	11
1.2.8 Cómo reacciona el NO _x con el ambiente.....	13
1.2.9 Afecciones en la Salud Ocasionadas por los NO _x	15
1.2.10 Técnicas de Muestreo.	18
1.2.11 Métodos Continuos y Métodos Discontinuos.....	19
1.2.12 Programas de muestreo.....	19
1.2.13 Métodos de Medición de Calidad del Aire.....	20
1.2.13.1 Muestreo pasivo.....	20
1.2.14 Métodos automáticos.....	22
1.2.15 Método óptico de percepción remota.	22
1.2.16 Modelación Matemática.	24
CAPITULO II	25
2 METODOLOGÍA	25
2.1 Localización del Proyecto	25

2.2	Obtención de la muestra.....	26
2.2.1	Población de estudio.....	26
2.2.2	Muestra.....	26
2.2.3	Tamaño de la muestra.....	26
2.2.4	Selección de la muestra.....	27
2.2.5	Técnicas de recolección de datos.....	28
2.3	Procesos metodológicos.....	29
2.3.1	Preparación de Muestreadores Pasivos.....	29
2.3.2	Muestreadores para Dióxido de Nitrógeno (NO _x).....	30
2.3.3	Exposición y recolección de tubos pasivos.....	31
2.4	Análisis de muestreadores de Óxidos de Nitrógeno (NO _x).....	31
 CAPITULO III.....		 35
3	RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
3.1	Análisis, interpretación y discusión de resultados.....	35
3.1.1	Concentraciones Ambiente de NO _x	35
3.1.2	Diferencia de concentración de NO _x en los puntos de monitoreo.....	40
3.1.3	Determinación del flujo peatonal por PTV Vissim y Viswalk.....	50
3.1.4	Análisis de las concentraciones de NO _x mediante la evaluación de los puntos de monitoreo en ArcGIS.....	54
 CONCLUSIONES.....		 58
RECOMENDACIONES.....		60
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Estados de Oxidación Comunes para el Nitrógeno	12
Tabla 2-1: Ventajas e inconvenientes de las técnicas de medida, de contaminantes atmosféricos	23
Tabla 3-2: Coordenadas puntos de monitoreo NO _x , Terminal Terrestre –Latacunga.	27
Tabla 4-2: Relación entre absorbancia - concentración de nitritos en el tubo.....	33
Tabla 5-3: Concentración Ambiente de NO _x Terminal Terrestre – Latacunga (ug/m ³).	35
Tabla 6-3: Concentración Ambiente de NO _x Mensual promedio Terminal Terrestre – Latacunga (ug/m ³).....	37
Tabla 7-3: Concentraciones mínimas, máximas y promedio de NO _x Mensual Terminal Terrestre – Latacunga (µg/m ³).	38
Tabla 8-3: Promedio de Vehículos (Sector Terminal Terrestre Latacunga).	51
Tabla 9-3: Promedio de personas (Sector Terminal Terrestre Latacunga).....	51
Tabla 10-3: Promedio de personas (Sector Terminal Terrestre Latacunga).....	53
Tabla 11-3: Exposición Total (Sector Terminal Terrestre Latacunga)	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Captadores Pasivos.....	20
Figura 2-1: Tubos de difusión.....	21
Figura 3-1: Equipo básico para el muestreo de partículas: 1.- Sostenedor del filtro, 2. Medidor del flujo, 3. Bomba, 4.- Batería.....	21
Figura 4-1: Estación automática para monitoreo	22
Figura 5-1: Monitoreo de la calidad del aire desde el espacio por medio de sensores remotos.	22
Figura 6-2: Georreferenciación de la zona de estudio para el análisis de NOx, Terminal Terrestre – Latacunga.....	26
Figura 7-2: Georreferenciación de los puntos de monitoreo para el análisis de NOx, Terminal Terrestre – Latacunga.....	27
Figura 8-3: Mapa en Google Earth, Flujo Vehicular y Peatonal del Sector del Terminal Terrestre–Latacunga.....	50
Figura 9-3: Captura de pantalla, Simulación de PTV Vissim para el Sector del Terminal Terrestre-Latacunga.	52
Figura 10-3: Mapa de ArcGIS, Concentración de NOx en el Terminal Terrestre – Latacunga (Marzo 2018).....	54
Figura 11-3: Mapa de ArcGIS, Concentración de NOx en el Terminal Terrestre – Latacunga (Abril 2018).....	54
Figura 12-3: Mapa de ArcGIS, Concentración de NOx en el Terminal Terrestre – Latacunga (Mayo 2018).....	55
Figura 13-3: Mapa de ArcGIS, Concentración de NOx en el Terminal Terrestre – Latacunga (Marzo - Mayo 2018).....	55
Figura 14-3: Mapa de ArcGIS, Malla de Emisiones Terminal Terrestre – Latacunga (Marzo - Mayo 2018).....	56

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1-2: Curva de calibración utilizada para NOx.....	33
Gráfico 2-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 1, Terminal Terrestre-Latacunga.....	40
Gráfico 3-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 2, Terminal Terrestre-Latacunga.....	41
Gráfico 4-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 3, Terminal Terrestre-Latacunga.....	41
Gráfico 5-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 4, Terminal Terrestre-Latacunga.....	42
Gráfico 6-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 5, Terminal Terrestre-Latacunga.....	42
Gráfico 7-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 6, Terminal Terrestre-Latacunga.....	43
Gráfico 8-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 7, Terminal Terrestre-Latacunga.....	43
Gráfico 9-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 8, Terminal Terrestre-Latacunga.....	44
Gráfico 10-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 9, Terminal Terrestre-Latacunga.....	44
Gráfico 11-3: Diferencia de concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana10, Terminal Terrestre-Latacunga.....	45
Gráfico 12-3: Diferencia de concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 11, Terminal Terrestre-Latacunga.....	45
Gráfico 13-3: Diferencia de concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 12, Terminal Terrestre-Latacunga.....	46

Gráfico 14-3: Diferencia de concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Promedio General, Terminal Terrestre-Latacunga.	47
Gráfico 15-3: Diferencia de Concentraciones Promedio de NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el mes de Marzo, Terminal Terrestre-Latacunga.	47
Gráfico 16-3: Diferencia de Concentraciones Promedio de NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el mes de Abril, Terminal Terrestre-Latacunga.	48
Gráfico 17-3: Diferencia de Concentraciones Promedio de NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para el mes de Mayo, Terminal Terrestre-Latacunga.	48
Gráfico 18-3: Diferencia de Concentraciones mínimas, máximas y promedio de NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), Terminal Terrestre-Latacunga.	49

RESUMEN

Determinar la concentración de Óxido de nitrógeno (NO_x) en el ambiente representa un punto de estudio importante para definir la calidad del aire, en el sector del Terminal Terrestre de la ciudad de Latacunga – Ecuador se llevó a cabo el proyecto de titulación denominado: “Determinación de la concentración de NO_x a la que se encuentran expuestas las personas que frecuentan el sector del Terminal Terrestre - Latacunga”. Para analizar la concentración promedio de NO_x en este sector se usaron captadores pasivos con Trietanolamina, agua destilada y N-butanol, los mismo que mediante el principio de difusión y la ley de Fick absorbían el NO_x presente en el ambiente, los mismos se llevaron a analizar en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias, mediante el uso de reactivos colorantes preparados con elementos como ácido sulfamílico, Naftilamina, y ácido acético, posteriormente y mediante el uso del espectrofotómetro se obtuvieron valores de absorbancia a 540 nm, mediante los cálculos necesarios de ingeniería se pudo determinar un valor promedio de la concentración de NO_x a la que se encuentran expuestas las personas que frecuentan el Terminal Terrestre de Latacunga, de igual manera todos los valores recopilados de los 40 puntos de monitores se tomaron en cuenta para los cálculos en base a la temperatura ambiente de más factores meteorológicos influyentes para calcular la concentración ambiente de NO_x, los valores calculados nos ayudaron a entender de mejor manera la realidad de este sector respecto a la calidad del aire y nos brindó una mejor idea para tener directrices de cómo mitigar el impacto ambiental del parque automotor en el sector y la presencia de vendedores ambulantes y gran afluencia peatonal.

PALABRAS CLAVES: <BIOTECNOLOGIA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <CALIDAD DEL AIRE> < ÓXIDO DE NITRÓGENO (NO_x)> <CONCENTRACIÓN DE NO_x> <CAPTADORES PASIVOS > < PARQUE AUTOMOTOR > <LATACUNGA (CANTÓN)>

SUMMARY

To determine the concentration of Nitrogen Oxide (NO_x) in the environment represents an important point of study to define air quality; in the sector of the Terrestrial Terminal of the city of Latacunga – Ecuador, the degree project entitled “Determination of NO_x concentration to which the people who frequent the Terrestrial Terminal – Latacunga are exposed to” was carried out. To analyze the average concentration of NO_x in this sector, passive sensors with Triethanolamine, distilled water and N-butane were used, those which by the principle of diffusion and Fick's Law absorbed the NO_x present in the environment, they were analyzed in the Research Laboratory of the Faculty of Sciences, through the use of coloring reagents prepared with elements such as sulfamyl acid, Naphthylamine, and acetic acid; afterwards and using the spectrophotometer, absorbance values were obtained to 540 nm, by means of the necessary engineering calculations, it was possible to determine an average value of the concentration of NO_x to which the people who frequent the Terrestrial Terminal of Latacunga are exposed. In the same way, all the values collected from the 40 monitoring points were taken into account for calculations based on the ambient temperature of more influential meteorological factors to calculate the NO_x ambient concentration. The calculated values helped to better understand the reality of this sector with respect to air quality and provided a better idea to have guidelines on how to mitigate the environmental impact of the vehicle fleet in the sector and the presence of street vendors and large pedestrian traffic.

Keywords: Biotechnology, Environmental Engineering, Air Quality, Nitrogen Oxide (NO_x), NO_x concentration. Passive collectors, Automotive Park, Latacunga (Canton).

INTRODUCCIÓN

Identificación del problema.

La Organización Mundial de la Salud (2016) describe: “La contaminación del aire representa un importante riesgo ambiental para la salud”. “Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de movilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma.” (Organización Mundial de la Salud, 2016)

Los NOx son precursores de contaminantes secundarios de alto impacto en el ambiente, como es el caso del ozono troposférico. “La detección de altos niveles de ozono troposférico en las ciudades va asociado a la aparición de altas concentraciones de humo oscuro que se difumina en ocasiones en forma de niebla. Sin embargo, esta niebla tiene unas gravísimas consecuencias tanto para la salud humana como para nuestros ecosistemas.” (Román, 2013).

Las emisiones de NOx al ambiente alteran notablemente la calidad del aire, estos son altamente reactivos y se ven asociados a la producción de Smog o niebla tóxica, al igual que en la formación de tóxicos químicos y disminución de la visibilidad. Es importante mantener un control de la calidad del aire para reducir el impacto que estos generan en el mismo.

Los NOx son resultado principalmente de la quema de combustibles fósiles (carbón, gas natural e hidrocarburos) y pueden desencadenar enfermedades que alteran el sistema respiratorio teniendo a los niños, adultos mayores y enfermos crónicos respiratorios y cardiovasculares como los principales afectados de estas emisiones.

Siendo el sector del Terminal Terrestre en la ciudad de Latacunga una zona con alta concurrencia vehicular y con la presencia constante de vendedores ambulantes y peatones, es importante evaluar la calidad del aire en esta zona y verificar que se encuentren sus emisiones bajo los niveles permisibles de NOx, según la OMS que es una de las principales entidades internacionales que estiman los parámetros de contaminación en base a la afección en la salud pública y las normas ecuatorianas para óxidos de nitrógeno según el Acuerdo Ministerial 097A Libro VI Anexo 4 Calidad del Aire.

Un foco importante de emisiones de NOx en la zona está determinada en el Terminal Terrestre de la ciudad de Latacunga, por la presencia constante de vehículos con motores que funcionan a Diesel, como es el caso en los buses de transporte urbano, interprovincial e intercantonal, además de los vehículos de transporte pesado que transitan en la zona y demás, un parámetro importante a tener en cuenta para la emisión de NOx a la atmosfera es el estado de los vehículos

y el mantenimiento de los mismos, ya que las emisiones de estos al ambiente dependerán del estado del motor y de si cuenta con catalizadores.

Justificación del proyecto.

Con este proyecto de investigación se prevé realizar una cuantificación aproximada de las emisiones de NOx vehicular, para así determinar la calidad del aire en el sector del Terminal Terrestre – Latacunga, dejando así un estudio previo en base a las emisiones de NOx vehicular al ambiente, evidenciando el estado de la calidad del aire en esta zona y analizando los niveles de exposición a la que se encuentran sometidas las personas que frecuentan este lugar, verificando si los mismos se hallan por debajo de los umbrales legislados, resguardando así la salud pública de la zona y sus habitantes o si los mismos se exceden, dejando un antecedente previo para posibles estudios futuros.

Además mediante los datos obtenidos en este proyecto de investigación se busca tener una perspectiva real y clara de las emisiones de NOx vehicular en la zona del Terminal Terrestre – Latacunga, ya que el mismo, como se explica anteriormente es precursor para la formación de ozono troposférico, el cual se considera un problema “sin umbral” porque incluso en muy pequeñas cantidades en el aire tiene efectos nocivos en la salud humana, siendo considerada la exposición a una concentración promedio en ocho horas mayor a 200 ug/m³ como motivo de alerta. La exposición de ozono se ha vinculado con la mortalidad prematura y enfermedades del sistema cardiovascular y respiratorio como consecuencia de morbilidad, como admisiones en hospitales y síntomas de asma según varias investigaciones.

En la provincia de Cotopaxi existen 55.015 vehículos motorizados matriculados según el Anuario de Estadísticas de Transporte 2014 (INEC, 2016) y teniendo en cuenta que la ciudad de Latacunga y exclusivamente el sector del “Terminal Terrestre - Latacunga” es un paso obligatorio para trasladarse de cantón a cantón, y siendo un paso crucial para trasladarse a lo largo de nuestro país, ya que se ubica en el centro del mismo, tiene una gran cantidad de afluencia vehicular, aunque Cotopaxi cuenta con el 3.4% del total de vehículos matriculados en el Ecuador (INEC, 2016) se busca hacer una estimación cuantitativa de los vehículos en la zona al igual que peatones y personas y principalmente personas que frecuentan el lugar como comerciantes e incluso transportistas.

Es importante recalcar que estratégicamente el sector del “Terminal Terrestre - Latacunga” se volvió una zona sumamente concurrida en base a las personas que frecuentan el lugar, englobando a comerciantes informales, comerciantes formales, peatones, pasajeros y choferes de vehículos transportistas como los principales afectados por la calidad del aire en este lugar, por lo que se vuelve imperativo evaluar la calidad del aire en esta zona, por el hecho de ser considerado un foco de emisiones de NOx representativo para la calidad del aire en este sector, teniendo en cuenta de antemano el impacto que el mismo genera o podría generar en el ecosistema.

Objetivos.

Objetivo General:

- Determinar la concentración de NOx a la que se encuentran expuestas las personas que frecuentan el sector del “Terminal Terrestre - Latacunga”.

Objetivos Específicos:

- Determinar la concentración de NOx en el sector del “Terminal Terrestre - Latacunga”.
- Analizar la concentración de NOx emitido por el parque automotor en el “Terminal Terrestre - Latacunga”.
- Comparar si las emisiones de NOx en el sector del “Terminal Terrestre - Latacunga” se encuentran dentro de los límites permisibles para la legislación de la Calidad del Aire en el Ecuador y OMS.
- Proponer un plan de mitigación para evitar la emisión de este contaminante.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

La mala calidad del aire urbano es una de las principales preocupaciones ambientales en todo el mundo. Según la OMS, (Organismo Mundial de la Salud) la contaminación del aire exterior causó 3.7 millones de muertes prematuras. En 2012, la mayoría de ellas en zonas urbanas donde tanto las fuentes de emisión y concentración de la población son elevadas, las superposiciones de las normas de la calidad del aire son comunes en las grandes áreas urbanas, particularmente para partículas (PM) y dióxido de nitrógeno (NO₂).

Se han realizado un sin número de estudios sobre este tema a lo largo de los años, tal es el caso de Europa en donde se realizó un análisis comparativo entre la concentración de O₃ en los días laborables frente a la concentración de este durante el fin de semana, obteniéndose que, durante los meses de verano, donde la radiación UV es muy elevada se reporta una concentración de O₃ superiores a los 200 µg/m³ (100 ppb). A través de este estudio se llegó a la conclusión que para disminuir el ozono troposférico es necesario controlar las emisiones de sus precursores tal es el caso de los COVs y NO_x, los cuales en presencia de la luz solar no solo producen O₃ si no muchos más oxidantes fotoquímicos como el peroxiacetilnitrato (PAN), ácido nítrico, aldehídos secundarios, entre otros. (Environment Pollutions, 2017).

En el artículo científico denominado "Uso de muestreadores pasivos para la determinación de dióxido de nitrógeno en dos municipios del área metropolitana de Costa Rica en 2004-2013", se evaluó la eficiencia de los dispositivos pasivos para la determinación de dióxido de nitrógeno en varios puntos de los cantones de San José y Belén, donde determinaron en al menos 5 sitios de San José y 4 de Belén, concentraciones mayores a los 40 µg/m³ recomendados por la OMS, debido a la elevada afluencia vehicular además se registra un incremento del 11 al 13% en comparación a años anteriores. (Herrera et al., 2014, p. 3)

Atmospheric Environment en si volumen 140, septiembre del 2016, páginas 432 – 445 detalló mediante un trabajo investigativo y experimental la mala calidad del aire en las ciudades y como esta es una de las principales preocupaciones ambientales en todo el mundo. Esta

contribución presenta la metodología y principales resultados experimental de una intensa campaña llevada a cabo en varios puntos representativos de contaminación en Madrid (España), durante tres semanas se recopiló información detallada sobre parámetros meteorológicos y variaciones espacio - temporales de los más relevantes contaminantes (NO₂ y PM) junto con la información necesaria para simular flujos peatonales. Los resultados mostraron la fuerte dependencia de las concentraciones ambientales sobre las emisiones locales y meteorológicas dando como resultado una fuerte variaciones espacial y temporal, El análisis de los resultados muestreó que los altos niveles de concentración se encuentran en puntos calientes urbanos y dependen extremadamente de complejo procesos dinámicos que no pueden ser capturados por mediciones tomadas rutinariamente. La gran influencia del tráfico local en las zonas concentradas destaca la necesidad de una descripción detallada de las variables específicas que determinan emisiones y dispersión a nivel de microescala, esto también indica que la intervención en la ciudad a gran escala puede ser complementada con medidas de control y gestión de la exposición, para mejorar la calidad del aire y reducir los efectos en la salud de la contaminación del aire con mayor eficacia. (Borge, R. 2016)

1.1 Bases Teóricas Generales

1.1.1 Calidad de Aire.

De acuerdo a la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador en convención al marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se dice que en el momento en que la sociedad visualice el real problema de la contaminación, deberá originarse un fenómeno de movilidad social que busque mejorar los hábitos y preferencias de uso y consumo, esto repercutirá en el mejoramiento de la salud y el desarrollo social. El marco normativo aplicable a la gestión del aire se caracteriza por su fundamento constitucional y de derecho internacional, a nivel nacional hay normas legales, orgánicas y ordinarias; así como normas secundarias (reglamentos, acuerdos, etc.) que regulan la gestión del aire. El marco institucional competente en la gestión del aire se caracteriza por la existencia de varias instituciones, cuyo ámbito de acción es nacional, seccional o sectorial. La gestión de la calidad del aire en el país tiene como referente la ciudad de Quito, como resultado de la problemática de la contaminación en la ciudad, en febrero del 2004, se creó la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE) como una organización de derecho privado, por iniciativa del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, entre las tareas a cumplir por parte de la CORPAIRE se encuentra la operación de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ), la revisión técnica

vehicular y el desarrollo del Índice Quiteño de Calidad del Aire. En la ciudad de Guayaquil no existe una red de monitoreo permanente de la calidad del aire, de manera que no es posible establecer tendencias de deterioro de la calidad en forma cierta. En la ciudad de Cuenca el monitoreo de la calidad del recurso aire está a cargo de la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca (ETAPA). Una comparación de los datos existentes con los de la ciudad de Quito indica que los problemas de contaminación son de menor consideración.

1.1.2 Fuentes contaminantes del aire.

De acuerdo a la Cumbre Pueblos (2017). La contaminación del aire suele ser un problema ambiental que se ha ido agravando con el paso de los años y tiene múltiples causas; producto de la vida industrial de todo el planeta. Se trata de una contaminación especial, basada en la alteración de los gases suspendidos en la atmósfera. Cada uno de los problemas que involucran a la atmósfera; van dejando secuelas no solo en el ambiente sino también en todos sus habitantes, seres humanos; flora y fauna igualmente.

Las sustancias que inundan la capa de la atmósfera van incrementándose a partir de las fuentes contaminantes. En el aire respirable; la contaminación tiene intervención a partir de diferentes sustancias que modifican la capa natural y todos los componentes que están en ella. Son muchas las causas que generan estos resultados en la capa atmosférica; dando lugar a que el aire no esté totalmente puro, como se requiere para la vida de todos los seres vivos. Al ser un problema de máxima gravedad; el aire contaminado va afectando la calidad de vida de todos los seres humanos y con ello; el equilibrio climático del planeta, creando distintos eventos meteorológicos negativos que causan daños terrestres permanentes. (Cumbre Pueblos, 2017)

1.1.3 Combustibles Fósiles

Descrito en la Cumbre Pueblos (2017), una de las máximas fuentes contaminantes del aire son los combustibles fósiles; tales como la energía que emanan los automóviles por su combustible; el cual emite dióxido de carbono, óxido de nitrógeno (NOx) y más contaminantes que van ascendiendo hasta la capa atmosférica.

Cualquier tipo de autos, vehículos pesados y otros medios de transporte van presentando estos detalles de contaminación siendo más o menos graves; de acuerdo con el tipo de combustible

que usen, para el caso de los NO_x, aquellos que usen como combustible diésel. (Cumbre Pueblos, 2017)

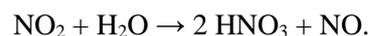
Las fuentes de energía y la emisión de combustibles fósiles no solo tienen descarga desde los automóviles; sino también desde las fábricas y plantas de energía eléctrica incluso fuentes naturales. (Cumbre Pueblos, 2017)

1.1.4 Fuentes de NO_x

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término NO_x se refiere a la combinación de ambas sustancias. (Autor anónimo, p. 1)

Los NO_x se pueden generar de tres formas: NO_x combustible, NO_x térmico y NO_x inmediato; el NO_x combustible es producido por la oxidación del nitrógeno en la fuente del combustible. La combustión de combustibles con alto contenido de nitrógeno, tales como el carbón y los aceites residuales, producen mayores cantidades del NO_x que aquellos con bajo contenido en nitrógeno, tales como aceite destilado y gas natural. El NO_x térmico se forma por la fijación de nitrógeno y oxígeno molecular a temperaturas mayores a 3600 °F (2000°C). El NO_x inmediato se forma de la oxidación de radicales de hidrocarburos cerca de la flama de la combustión. (Autor anónimo, p. 1, cap. 1)

Según la publicación (Ministerio para la Transición Ecológica, del Gobierno de España, 2017), refiere que el dióxido de nitrógeno es el principal contaminante de los óxidos de nitrógeno (NO_x), y se forma como subproducto en todas las combustiones llevadas a cabo a altas temperaturas. Se trata de una sustancia de color amarillento, que se forma en los procesos de combustión en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas. El NO_x presenta características tóxicas, irritante y es precursor de varios contaminantes en la atmósfera, que conllevan la producción de ácidos y elevados niveles de PM_{2.5} en el ambiente. Presenta buena solubilidad en agua, reaccionando y formando ácido nítrico (HNO₃) según la siguiente reacción:



Esta sustancia es un oxidante fuerte y reacciona violentamente con materiales combustibles y reductores, pudiendo atacar materiales metálicos en presencia de agua. (Ministerio para la Transición Ecológica, del Gobierno de España, 2017)

Propiedades físicas de los óxidos de nitrógeno.

- Fórmula química: NO₂

- Masa molecular: 46.01 g/mol
- Punto de ebullición: 21.2 °C
- Punto de fusión: -11.2 °C
- Densidad relativa del líquido (agua = 1g/ml): 1.45
- Solubilidad en agua: Buena.
- Temperatura crítica: 158° C
- Presión de vapor: (kPa a 20° C): 96
- Densidad relativa del gas (aire = 1g/ml): 1.58

1.1.5 Fuentes de emisión y aplicaciones de los óxidos de nitrógeno.

La producción de NOx más repetitiva en la naturaleza descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, los incendios forestales, quema de rastrojos y la actividad volcánica. Las principales fuentes antropogénicas de emisión se producen en los escapes de los vehículos motorizados y en la quema de combustibles fósiles. Otros focos de menor relevancia se llevan a cabo en los procesos biológicos de los suelos, en los que se produce la emisión de nitritos (NO₂) por parte de los microorganismos. (Ministerio para la Transición Ecológica, del Gobierno de España, 2017)

De acuerdo a los impactos producidos en el medio ambiente, se trata de una sustancia que tiene una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, ya que al combinarse con otros contaminantes atmosféricos (por ejemplo: los Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano o COVDM) influye en las reacciones de formación de ozono en la superficie de la tierra. (Ministerio para la Transición Ecológica, del Gobierno de España, 2017)

Por otra parte, el NO₂ se forma a partir de la oxidación del óxido nítrico (NO), y tiene una vida corta en la atmósfera ya que se oxida rápidamente a nitratos (NO₃⁻) o a HNO₃ (ácido nítrico). En este último caso, se produce el fenómeno de la lluvia ácida que consiste en la reacción de los nitratos (NO₃) con la humedad existente en el ambiente, dando lugar a ácido nítrico (HNO₃), que precipita causando grandes destrozos en los bosques y la acidificación de las aguas superficiales. (Ministerio para la Transición Ecológica, del Gobierno de España, 2017)

1.1.5.1 Movilización De Nitrógeno Almacenado

Al aumentar la tasa de fijación y liberar el nitrógeno de las reservas geológicas, las actividades humanas movilizan el nitrógeno almacenado a largo plazo de las reservas de almacenamiento

biológico como en la materia orgánica de los suelos y los troncos de los árboles, así contribuyendo aún más a la proliferación del nitrógeno biológicamente disponible. Las actividades que ejercen este efecto incluyen la quema de bosques, leña y pastizales, las cuales emiten más de 40 Tg de nitrógeno anualmente; el drenaje de humedales, que establece el estado de oxidación de la materia orgánica del suelo, podría movilizar 10 Tg de nitrógeno al año o más; y el desmonte para tierras de cultivo, que podrían movilizar hasta 20 Tg anualmente. (Ministerio para la Transición Ecológica, del Gobierno de España, 2017)

1.1.5.2 Fijación Por Actividades Humanas vs Fijación Natural.

En conjunto, la producción de fertilizantes, los cultivos de leguminosas y la quema de combustibles fósiles depositan aproximadamente 140 Tg de nitrógeno nuevo hacia los ecosistemas terrestres cada año, cifra que igual las estimaciones más altas de fijación natural por organismos en dichos ecosistemas. Este nitrógeno adicional se esparce de manera heterogénea a través de la superficie terrestre: algunas áreas como el norte de Europa están siendo alteradas profundamente, mientras que otras zonas, como algunas regiones remotas del hemisferio sur reciben poca influencia directa del nitrógeno generado por actividades humanas. Sin embargo, no hay región que no esté siendo afectada de alguna manera. El incremento de nitrógeno fijado que circula en el globo y que llega a los suelos por deposición seca o húmeda es fácil de detectar, inclusive en las muestras de las perforaciones en el hielo glacial de Groenlandia. (Tópicos en Ecología, 1991, p.3)

1.1.6 Motores de Combustión.

De acuerdo al resumen de (Salazar, R.2012, p.1), un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Existen varios tipos de motores de combustión interna, entre ellos:

1.1.6.1 El motor cíclico Otto

Cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo inventó, Nikolaus August Otto, es el motor convencional de gasolina que se emplea en automoción y aeronáutica. (Salazar, R.2012, p.1)

1.1.6.2 El motor Diesel

Llamado así en honor del ingeniero alemán nacido en Francia Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente y suele consumir gasóleo. Casi todos los automóviles de hoy utilizan lo que es llamado un ciclo de combustión de cuatro tiempos para convertir gasolina o gasóleo a movimiento. El ciclo de cuatro tiempos también es conocido como ciclo de OTTO, en honor a Nikolaus Otto. Estos son (Salazar, R.2012, p.1)

- **Admisión (1):** El pistón baja en el momento en que la válvula de admisión se abre, permitiendo el ingreso de la mezcla aire/gasolina o gasóleo.
- **Compresión (2):** El pistón sube comprimiendo la mezcla aire/gasolina o gasóleo, las dos válvulas están cerradas.
- **Explosión (3):** El pistón llega al máximo de su recorrido TDC (Top Dead Center o Punto Muerto Superior), la bujía entrega la chispa, se produce la explosión y el pistón es impulsado hacia abajo.
- **Escape (4):** El pistón sube nuevamente, pero esta vez la válvula de escape se encuentra abierta permitiendo la salida de los gases quemados.

Estos motores pueden ser, básicamente, atmosféricos o sobrealimentados por medio de un turbo. Todos ellos con inyección electrónica. Aunque también funcionaban mediante un sistema de carburación, pero este tipo de ingreso de combustible ya ha quedado rezagado. (Salazar, R.2012, p.1)

1.1.7 Formación de Óxidos de Nitrógeno

El nitrógeno forma una serie de óxidos en los que el estado de oxidación del Nitrógeno (N) puede tomar cualquier valor en el intervalo de estados de +1 a +5. (Textos científicos, 2006)

Tabla 1-1: Estados de Oxidación Comunes para el Nitrógeno

Estado de oxidación	Fórmula	ΔH_f° a 298K (KJ/mol)	Comentario
+1	N ₂ O	82.0	Gas incoloro; usado como anestésico dental
+2	NO	90.3	Gas incoloro; contaminante del aire
+3	N ₂ O ₃	83.7	Gas café rojizo
+4	NO ₂	33.2	Gas café naranja; venenoso y contaminante del aire
+4	N ₂ O ₄	9.16	Líquido incoloro a amarillo
+5	N ₂ O ₅	11.3	Sólido incoloro, volátil

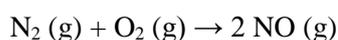
Realizado por: Pardo, M. 2019.

El dióxido de nitrógeno N₂O(g) puede obtenerse en el laboratorio a partir de una interesante reacción de desproporción, la descomposición de NH₄NO₃(s) a temperaturas de 200-260 °C (Textos científicos, 2006):



El átomo de N en el NH₄⁺ está en el estado de oxidación -3 y en el NO₃⁻ el estado de oxidación del N es de +5. En el N₂O ambos átomos de N están en estado de oxidación +1. La disminución en el estado de oxidación de un átomo de N es compensada exactamente por el aumento en el estado de oxidación del otro, o cual permite ajustar muy fácilmente la ecuación redox. (Textos científicos, 2006)

El monóxido de nitrógeno (óxido nítrico), NO(g), se obtiene comercialmente mediante la oxidación catalítica del NH₃ (primera reacción del proceso Ostwald). Otra fuente de NO, normalmente no deseada, son los procesos de combustión a altas temperaturas, tales como los que tienen lugar en los motores de los automóviles y en las plantas de energía eléctrica. Cuando el combustible se combina con el oxígeno del aire para producir una temperatura alta, el N₂(g) y el O₂(g) del aire caliente se combinan en cierta medida para formar NO(g) (Textos científicos, 2006):



Con frecuencia se ve el óxido de nitrógeno marrón, NO_2 (g) en las reacciones del ácido nítrico. De interés para los químicos de la atmósfera es el papel clave que juega el NO_2 (g) en la formación de las nubes de contaminación fotoquímica. (Textos científicos, 2006).

1.1.8 Cómo reacciona el NO_x con el ambiente.

Hace unos 100 años apareció una palabra nueva en la lengua inglesa: smog, nube de contaminación. Se refería a una situación, frecuente en Londres, en la que una combinación de humo (smoke) y niebla (fog) disminuía la visibilidad y producía riesgos para la salud (incluso mortales). Estas situaciones se asocian a menudo con la industria pesada. Este tipo de nube de contaminación se llama ahora nube de contaminación industrial. (Textos científicos, 2006)

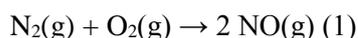
La forma de contaminación del aire que más corrientemente se considera como nube de contaminación procede de la acción de la luz solar sobre los productos de la combustión. Las reacciones químicas causadas por la luz se llaman reacciones fotoquímicas y la nube de contaminación formada por dichas reacciones es la nube de contaminación fotoquímica. (Textos científicos, 2006)

La nube de contaminación fotoquímica se origina a partir de procesos de combustión a altas temperaturas, como los que tienen lugar en los motores de los automóviles. Debido a que la combustión de la gasolina se realiza en el aire, en lugar de oxígeno puro, el NO (g) obtenido por la reacción directa entre O_2 (g) y N_2 (g) está inevitablemente presente en los escapes de los automóviles. Otros productos encontrados en los escapes son hidrocarburos (gasolinas sin quemar) e hidrocarburos parcialmente oxidados. Estos después son los materiales de partida los precursores de la nube fotoquímica de contaminación. (Textos científicos, 2006).

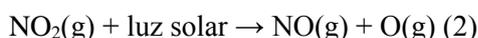
Han sido identificadas muchas sustancias en el aire de la nube de contaminación, incluyendo NO , NO_2 , ozono (O_3) y una variedad de compuestos orgánicos derivados de los hidrocarburos de la gasolina. El ozono es muy reactivo y es en gran parte el responsable de las dificultades respiratorias que experimentan algunas personas durante la nube de contaminación. Otra sustancia perjudicial encontrada en la nube de contaminación es un compuesto orgánico conocido como el nitrato de peroxacetilo (NPA). El NPA es un potente lacrimógeno, es decir, ocasiona la formación de lágrimas en los ojos. Los componentes de la nube de contaminación fotoquímica producen daños importantes en las cosechas y el deterioro de objetos de goma. Y, por supuesto, el síntoma mejor conocido de la nube de contaminación es el aire marrón brumoso que ocasiona una visibilidad reducida. (Textos científicos, 2006).

Los químicos que han estudiado la formación de nubes de contaminación fotoquímica desde hace varias décadas han establecido que los precursores citados anteriormente, se convierten en componentes observables de la nube de contaminación a través de la acción de la luz solar. Debido a que las reacciones químicas implicadas son muy complejas y todavía no totalmente conocidas, se dará solamente un esquema breve, simplificado, que muestre cómo se forma la nube de contaminación fotoquímica. (Textos científicos, 2006).

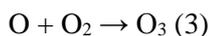
El precursor en la formación de la nube es el NO(g) producido por la reacción que tiene lugar en los motores de los automóviles:



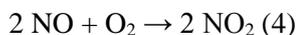
El NO(g) se convierte después en NO₂(g), que absorbe radiación ultravioleta de la luz solar y se descompone:



Este proceso es seguido por la formación de ozono:



Por lo tanto, una gran acumulación de ozono en la nube de contaminación fotoquímica precisa de una fuente abundante de NO₂. En el pasado se pensó que esta fuente era la reacción:



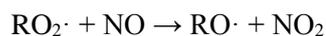
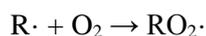
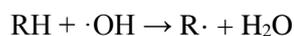
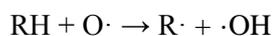
Sin embargo, actualmente está bien establecido que la reacción anterior tiene lugar a una velocidad demasiado lenta para proporcionar los niveles requeridos de NO₂ en la nube de contaminación fotoquímica. El NO se convierte rápidamente en NO₂ cuando reacciona con O₃ (Textos científicos, 2006):



pero si bien esta reacción da cuenta de la formación del NO₂ conduce a la destrucción del ozono. Así la formación de la nube de contaminación fotoquímica no puede tener lugar únicamente a través de la secuencia de reacción (1), (5), (2) y (3). El ozono debería consumirse tan rápidamente como se forma y por lo tanto no debería acumularse en absoluto. (Textos científicos, 2006)

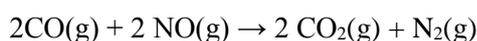
Ahora se sabe que los compuestos orgánicos, especialmente los hidrocarburos sin quemar de los escapes automovilísticos proporcionan una vía de conversión de NO a NO₂. La secuencia de reacción siguiente explica algunos fragmentos moleculares extremadamente reactivos conocidos como radicales libres y representados por fórmulas escritas con un punto en negrita. RH representa una molécula de hidrocarburo, y R· es un fragmento de una molécula de

hidrocarburo, un radical libre. Los átomos de oxígeno, fragmentos de la molécula de O₂, se representan también como radicales libres, igual que los grupos hidroxilo, fragmentos de la molécula de agua. (Textos científicos, 2006)



La etapa final de esta secuencia da cuenta de la conversión rápida de NO a NO₂ que parece esencial para la formación de la nube de contaminación. (Textos científicos, 2006)

Para controlar la nube de contaminación, los automóviles están provistos ahora de un convertidor catalítico. El CO y los hidrocarburos son oxidados hasta CO₂ y H₂O en presencia de un catalizador de oxidación (como los metales platino o paladio) El NO debe ser reducido a N₂, y esto requiere un catalizador de reducción. Un sistema de catalizador-dual utiliza ambos tipos de catalizadores. Alternativamente se utiliza una relación adecuada combustible-aire del motor para producir algo de CO e hidrocarburos sin quemar. Estos compuestos actúan después como agentes reductores para reducir el NO a N₂ (Textos científicos, 2006):



A continuación, los gases de la combustión se pasan a través de un catalizador de oxidación que oxida los hidrocarburos sobrantes y el CO a CO₂ y H₂O. Las medidas de control futuras pueden incluir también la utilización de combustibles alternativos, tales como metanol o hidrógeno, y el desarrollo de automóviles movidos por energía eléctrica. (Textos científicos, 2006)

1.1.9 Afeciones en la Salud Ocasionadas por los NO_x.

En el país se cuenta con pocas investigaciones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud de las personas, estos temas no han sido incluidos en los programas de desarrollo urbano y no se han llevado a cabo estudios epidemiológicos relacionados con la contaminación del aire. En los últimos años, la Fundación Natura a través de su proyecto “Calidad del Aire” ha efectuado algunos estudios muy puntuales sobre los efectos a la salud provocados por la

contaminación atmosférica en Quito. En el año 2000 se realizó un estudio sobre el incremento de enfermedades respiratorias en escolares de Quito, por contaminación atmosférica de origen vehicular cuyos resultados determinaron que los niños que estudiaban en un sector urbano central presentaron un promedio de carboxihemoglobina superior a los valores aceptados como normales (COHB 5%), lo que confirmó que dichos estudiantes están ubicados en una zona de alta contaminación y tienen un riesgo cuatro veces mayor de presentar infecciones respiratorias agudas altas (IRAA) que los niños de un sector urbano periférico (COHB 2,5%) y rural (COHB 0,7%), que tienen niveles más bajos de carboxihemoglobina. De igual forma, un estudio sobre la incidencia de enfermedades respiratorias altas en niños escolares de Quito, según áreas de contaminación atmosférica, realizado en el año 2002, revela que los escolares expuestos a creciente contaminación ambiental (sectores de alta circulación vehicular) tienen un riesgo mayor de presentar infecciones respiratorias altas graves que los niños y niñas menos expuestos a contaminantes del aire ambiente (zonas de baja circulación vehicular). Se llegó a esta conclusión después de determinar las concentraciones de carboxihemoglobina en la sangre de una muestra de 1.189 escolares, el mismo hecho de haber determinado esta cantidad de hemoglobina reducida o con mayor afinidad a los compuestos con carbono ha llevado a un alto índice de patologías respiratorias, consecuentemente ha conllevado a alteraciones de la función normal de otros órganos que se afectan directamente por el déficit de oxígeno tisular o hipoxia celular. (Plan Nacional de la Calidad de Aire, 2010, p.4)

Por acción del viento los óxidos de nitrógeno pueden crear problemas complicados. Los diversos mecanismos secundarios a la contaminación atmosférica de los NO_x y los efectos negativos para la salud se comentarán a continuación. (No a la Incendiadora de la Biomasa en (Monzón, 2016)

- a) “Smog (niebla tóxica) Se forma cuando los NO_x y componentes volátiles orgánicos reaccionan en presencia del calor y de la luz solar y generan la formación de ozono a ras del suelo. Ocasiona los siguientes problemas respiratorios” No a la Incendiadora de la Biomasa en (Monzón, 2016):
 - “Irritación del sistema respiratorio: produce tos, irritación nasal y de garganta y molestias internas en el tórax. Después de una - dos horas de exposición, las molestias se vuelven dolorosas. Aparecen mucosidad y jadeos.” No a la Incendiadora de la Biomasa en (Monzón, 2016)
 - “Reducción de la función pulmonar: La función pulmonar se refiere al volumen de aire que se inhala con una inspiración profunda ya la velocidad con que se inhala, por tanto, hace más difícil la respiración profunda y rigurosa. La reducción de la función

pulmonar puede ser un problema importante para los trabajadores al aire libre, los atletas y las restantes personas que vivan alrededor.” (No a la Incendiadora de la Biomasa (Monzón, 2016)

- “Agravamiento de alergias respiratorias y asma: produce una mayor sensibilidad de las personas alérgicas a los alérgenos ambientales (ácaros del polvo, hongos, polen, etc.). Los enfermos requieren además medicamentos y mayor atención médica y hospitalaria”. (Monzón, 2016)
- “Lesiona las células mucosas que cubren el interior de los pulmones de forma similar a los efectos de sol sobre la piel. Es debido a los efectos del ozono y de las partículas menores de 2,5 micras. favorece las bronquitis y bronconeumonías bacterianas y víricas”. (Monzón, 2016)
- “Empeoramiento de las enfermedades respiratorias crónicas como el enfisema pulmonar y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Además, se sugiere que el ozono reduce la capacidad del sistema inmunológico del aparato respiratorio.” (Monzón, 2016)
- Estos efectos a mediano o corto plazo tienden a tener personas vulnerables.
- “Los niños: los niños activos son el grupo de mayor riesgo por su actividad cotidiana y de vacaciones al aire libre y por la inmadurez anatómica y funcional del sistema respiratorio. Normalmente, los niños son los que sufren más asma y otras enfermedades respiratorias. El asma es la enfermedad crónica más frecuente los niños.” (Monzón, 2016)
- “Adultos que viven al aire libre. Los adultos saludables de todas las edades que hagan ejercicio o trabajan vigorosamente al aire libre son otro grupo de riesgo por su nivel más alto de exposición a los contaminantes del smog.” (Monzón, 2016)
- “Personas con enfermedades crónicas respiratorias y cardiovasculares. Personas saludables con mayor sensibilidad al ozono ya otros irritantes o contaminantes del aire.” (Monzón, 2016).

b) Lluvia ácida:

Los NO_x , por la humedad ambiental y las radiaciones ultravioletas solares, reaccionan con radicales hidroxilos para formar ácido nítrico que conjuntamente con los ácidos sulfuroso y sulfúrico que se forman desde el SO_2 modifican el pH del agua, y forman las llamadas precipitaciones ácidas. Las personas respiramos aire, bebemos agua y comemos alimentos que están contaminados e impregnados de precipitación ácida. Los problemas más importantes son los respiratorios: asma, bronquitis, tos, irritación de garganta y nasal. También producen conjuntivitis y cefaleas. Indirectamente, la lluvia ácida disuelve metales tóxicos que están en la tierra, pasando a los vegetales, árboles, agua y animales, y a través de la cadena alimentaria a los humanos. Las personas más vulnerables son los niños y los

ancianos, produciendo alteraciones gastrointestinales, renales, hepáticas y neurológicas (deterioro sensorial y cognitivo, pérdida de memoria, enfermedad de Alzheimer), que pueden desencadenar muertes prematuras. (Monzón, 2016)

Tóxicos químicos

“En el aire el NO_x reacciona rápidamente con químicos orgánicos, y forman una amplia variedad de productos químicos tóxicos, algunos de los cuales pueden causar mutaciones biológicas: radicales nitratos y nitrosaminas.” (Monzón, 2016)

Continuando con la clasificación de las afecciones de lo NO_x:

c) Calentamiento global

“Uno de los miembros de la familia de los NO_x, el óxido nitroso, es un gas de efecto invernadero. Se acumula en la atmósfera con otros gases y causa un paulatino aumento de la temperatura de la tierra. Incrementa los peligros para la salud humana enumerados en el apartado del CO₂. e) Disminución de la visibilidad Las partículas de nitrato y dióxido de nitrógeno pueden bloquear la transmisión de luz, que reduce la visibilidad y contribuye potencialmente a un mayor riesgo de accidentes”.

d) Disminución de la visibilidad

“Las partículas de nitrato y dióxido de nitrógeno pueden bloquear la transmisión de luz, que reduce la visibilidad y contribuye potencialmente a un mayor riesgo de accidentes.” (Monzón, 2016)

1.1.10 Técnicas de Muestreo.

Según (Fernández, R.2012. pp. 404,405), en el muestreo y análisis de contaminantes atmosféricos se debe distinguir entre emisión e inmisión. El concepto de emisión implica la concentración de un contaminante que es lanzado o vertido por un foco emisor, mientras que aire ambiente (a veces, llamado inmisión) se refiere a la concentración de un contaminante, existente a nivel del suelo y es, por tanto, el que respira el ser humano. De estos conceptos, se derivan las diferentes magnitudes existentes en emisión y aire ambiente y, por tanto, la necesidad de diferentes técnicas de muestreo y/o análisis.

1.1.11 Métodos Continuos y Métodos Discontinuos.

Los métodos continuos implican la captación y análisis del contaminante en el punto de muestreo, de forma continua y automática, mientras que los métodos discontinuos suponen la captación del contaminante en el punto de muestreo, el transporte del contaminante captado al laboratorio y el posterior análisis en el laboratorio. Tanto los métodos continuos como los discontinuos son aplicables en las medidas de emisión y aire ambiente. (Fernández, 2012. pp. 404,405)

En contaminación atmosférica va totalmente ligado el muestreo o captación del contaminante al análisis, pues la captación del contaminante atmosférico va por lo general, ligada al método de análisis. Por ejemplo, si se va a determinar en el laboratorio el dióxido de azufre por el método del tetracloromercuriato-pararosanilina, la captación se realiza con solución de tetracloromercuriato, pero si el análisis se realiza por el método de la torina, la captación se realiza con solución de agua oxigenada. Además de las soluciones captadoras, varían como caudal de muestreo, diseño del captador. (Fernández, 2012. pp. 404,405)

1.1.12 Programas de muestreo.

El muestreo de contaminantes atmosféricos va unido a los objetivos del mismo, pudiéndose diferenciar tres tipos de muestreo:

- a) Muestreo continuo: Consiste en tomar muestras de forma continua a lo largo del año. Este muestreo continuo puede ser en tiempo real (en el caso de los analizadores automáticos) o en períodos de 24 horas o tiempos inferiores o superiores predefinidos. (Fernández, 2012. pp. 404,405)
- b) Muestreo periódico. Basado en un plan predefinido y consistente básicamente en: Muestreo por estaciones, por ejemplo, un mes o dos semanas cada período estacional. Un día cada ocho, muy útil cuando hay limitaciones económicas o de recursos humanos. De esta manera, se tienen muestras representativas de todos los días del año y muestreo puntual, determinados días y horas. (Fernández, 2012. pp. 404,405)

1.1.13 Métodos de Medición de Calidad del Aire.

Existen muchas formas de medir la contaminación del aire los cuales abarcan métodos químicos simples o métodos de algunas técnicas electrónicas más sofisticadas. De manera general podemos distinguir cuatro métodos principales para medir la contaminación del aire. (Revista Scribd, 2017, pp. 2-11)

1.1.13.1 Muestreo pasivo

Son métodos de calidad aire confiables y costos efectivos. Son buenos indicadores de la concentración promedio de contaminación en periodos de semanas a meses. Se denomina muestro pasivo porque los equipos de muestreo no tienen sistema de bombeo alguno. En lugar de ello el flujo de aire se controla por un proceso físico, tal como la difusión. El mejor ejemplo de esta técnica son los tubos de difusión que con un diseño simple emplean varias formulaciones de absorbentes apropiadas para un amplio rango de aplicaciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Sin embargo, los más confiables y por ende más comúnmente usados son para óxidos de nitrógeno y benceno. (Revista Scribd, 2017, pp. 2-11)



Figura 1-1: Captadores Pasivos

Fuente: (Revista Scribd, 2017)

Los tubos tienen una longitud de 71 mm con un diámetro interno de 11 mm y en uno de sus extremos contienen una fina malla de acero recubierta con trietanolamina, la cual convierte el dióxido de nitrógeno a nitrito quedando atrapado para su posterior análisis en el laboratorio. El otro extremo del tubo se encuentra abierto y colocado hacia abajo para prevenir la entrada del agua de lluvia o polvo de manera directa. Para asegurarse que todo el nitrito atrapado en la

La muestra es representativa del sitio de muestreo los tubos son sellados antes y después de la exposición. Los tubos se distribuyen y colectan de manera manual. (Revista Scribd, 2017, pp. 2-11)



Figura 2-1: Tubos de difusión

Fuente: (Revista Scribd, 2017)

1.1.13.2 Muestreo activo

Se los determina cómo activos ya que los mismos necesitan de una bomba para emitir un volumen conocido de aire a través de un colector (un filtro a una solución química) por un periodo de tiempo conocido, El colector se remueve del sistema de bombeo y es mas tarde analizado en el laboratorio. De manera general, el muestreo activo utiliza métodos físicos o químicos para coleccionar el aire contaminado. (Revista Scribd, 2017, pp. 2-11)

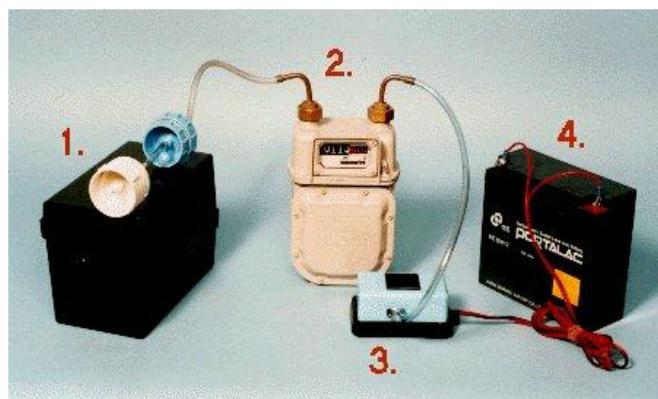


Figura 3-1: Equipo básico para el muestreo de partículas: 1.- Sostenedor del filtro, 2. Medidor del flujo, 3. Bomba, 4.- Batería.

Fuente: (Revista Scribd, 2017)

1.1.14 Métodos automáticos

Estos métodos son los mejores en términos de la alta resolución de sus mediciones, permitiéndonos la realización de un monitoreo continuo para concentraciones horarias hasta menores. El espectro de contaminantes que se pueden determinar va desde el contaminante criterio (PM10-PM2.5, CO, SO2, NO2, O3) hasta contaminantes en el aire como el plomo y los COVs. (Revista Scribd, 2017, pp. 2-11)



Figura 4-1: Estación automática para monitoreo de contaminantes criterio (PM10, CO, SO2, NO2, O3).
Fuente: (Revista Scribd, 2017)

1.1.15 Método óptico de percepción remota.

Estos métodos se basan en técnicas espectroscópicas. Con ellos es posible hacer mediciones en tiempo real de la concentración de un buen número de contaminantes entre los que se incluyen NO2 y SO2. (Revista Scribd, 2017, pp. 2-11)



Figura 5-1: Monitoreo de la calidad del aire desde el espacio por medio de sensores remotos.
Fuente: (Revista Scribd, 2017)

Algunas aplicaciones clave de los métodos de percepción remota incluyen:

- Análisis de la tendencia de la calidad del aire ambiente
- Validación de modelos de dispersión
- Evaluación de las acciones implementadas para reducir las emisiones
- Evaluación de los riesgos a la salud
- Evaluaciones de impacto ambiental
- Identificación de fuentes de contaminación del aire y suelo
- Impacto de las emisiones provenientes de procesos y zonas industriales.
- Mantenimiento de los objetivos de calidad del aire
- Estudios de higiene ocupacional
- Ventajas:
 - Sin contacto directo
 - Sin contaminación
 - Alto nivel de seguridad
 - Tiempo Real
 - Cuantificación (relativa/absoluta)

Tabla 2-1: Ventajas e inconvenientes de las técnicas de medida, de contaminantes atmosféricos

Método	Ventajas	Inconvenientes
Muestreadores pasivos	Muy bajo coste. Muy sencillos. Útiles para estudio de base.	No útiles para algunos contaminantes. En general, dan medias mensuales y semanales.
Muestreadores activos	Bajo coste. Fácil de operar. Operación segura.	Medias diarias Trabajo intensivo. Requiere análisis en el laboratorio.
Analizadores automáticos	Datos históricos.	Complejos.

	Comprobados. Altas características. Datos históricos. Información en tiempo real.	Costosos. Requieren gran adiestramiento. Costes elevados.
--	--	---

Realizado por: Pardo, M; 2019.

1.1.16 Modelación Matemática.

1.1.16.1 PTV Vissim.

“Puede simularse la situación del tráfico a la perfección, tanto la comparación de operar con distintos tipos de intersecciones como el análisis de implementar medidas de prioridad al transporte público o el impacto de un distinto plan de semaforización. PTV Vissim, como software líder mundial para la simulación microscópica del tráfico, en un solo modelo permite representar a todos los usuarios de la vía pública y estudiar sus interacciones: autos, transporte de carga y cualquier tipo de transporte público, ya sea ferroviario o convencional. Para ello, los modelos de comportamiento vehicular, científicamente desarrollados y validados, proporcionan una simulación realista de todos los agentes.” (PTVGroup, 2019)

CAPITULO II

2 METODOLOGÍA

2.1 Localización del Proyecto

El Sector del Terminal Terrestre – Latacunga es uno de los pasos obligatorios para trasladarse dentro y fuera de la ciudad, en este sector se ubicaba el paso de la Panamericana, lo que la convirtió en una zona con mayor tránsito vehicular, siendo el mismo un lugar ideal para la presencia de locales comerciales y vendedores ambulantes, además de la presencia de vehículos particulares, vehículos de tres ejes y más, como buses, camiones y tráileres, tomando en cuenta los mismo para transporte intercantonal, interprovincial y urbano. Con el paso del tiempo la gran afluencia vehicular y la necesidad de mejorar la movilidad a nivel nacional, obligó al estado a realizar la construcción de nuevas carreteras en todo el país, entre ellas la E35 en zonas menos pobladas y alejadas del centro de la ciudad, buscando disminuir el tránsito vehicular en la zona del Terminal Terrestre – Latacunga; sin embargo, este sector sigue siendo un lugar con gran tránsito vehicular y peatonal, siendo el mismo un foco importante para la evaluación de las emisiones de NOx al ambiente, teniendo en cuenta el impacto que se genera en la calidad del aire y la incidencia que el mismo tiene en la salud pública.

El sector del Terminal Terrestre – Latacunga se encuentra en las calles Rio Guayas, entre Marco Aurelio Subía y Panamericana, donde las coordenadas (-0.934460, -78.621043) se tomaron en cuenta como el punto central, para del mismo evaluar la calidad del aire a 250 m a la redonda.



Figura 6-2: Georreferenciación de la zona de estudio para el análisis de NO_x, Terminal Terrestre – Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

2.2 Obtención de la muestra

2.2.1 Población de estudio

- **Alcance:** Sector de Terminal Terrestre – Latacunga.
- **Elementos:** Concentraciones de NO_x, afluencia vehicular, concurrencia peatones.
- **Tiempo:** Marzo – Mayo 2018.
- **Unidades de muestreo:** Captadores Pasivos de NO_x.

2.2.2 Muestra

Concentraciones de NO_x una vez por semana durante 3 meses

2.2.3 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se definió para el sector del Terminal Terrestre - Latacunga, ya que la investigación que se realizó involucra a la calidad del aire en esta zona de la ciudad.

2.2.4 Selección de la muestra

Para seleccionar la muestra se utilizó em método de muestreo aleatorio simple, el que consiste en la selección de 40 puntos de monitoreo al azar dentro de zona de estudio, en este caso el sector del Terminal Terrestre – Latacunga.



Figura 7-2: Georreferenciación de los puntos de monitoreo para el análisis de NOx, Terminal Terrestre – Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

Tabla 3-2: Coordenadas puntos de monitoreo NOx, Terminal Terrestre –Latacunga.

Puntos	x	y
1	764812	9896412
2	764793	9896441
3	764768	9896483
4	764752	9896513
5	764736	9896545
6	764718	9896582
7	764682	9896640
8	764668	9896658
9	764658	9896669

10	764598	9896770
11	764629	9896775
12	764682	9896796
13	764740	9896801
14	764724	9896822
15	764782	9896824
16	764899	9896851
17	764768	9896718
18	764723	9896713
19	764681	9896705
20	764756	9896693
21	764792	9896674
22	764800	9896651
23	764808	9896628
24	764803	9896597
25	764787	9896550
26	764776	9896553
27	764770	9896595
28	764768	9896624
29	764763	9896650
30	764756	9896677
31	764719	9896643
32	764574	9896640
33	764514	9896600
34	764659	9896483
35	764619	9896461
36	764657	9896437
37	764458	9896403
38	764874	9896839
39	764955	9896675
40	764973	9896633

Realizado por: Pardo, M; 2019.

2.2.5 Técnicas de recolección de datos

- Observación.
- Conteo.
- Muestreo.

- Aplicación de Modelaciones Matemáticas

2.3 Procesos metodológicos

Una vez analizada el área de estudio al constituirse una ruta de elevada afluencia vehicular se fijó a criterio técnico 40 puntos de muestreo ubicados dentro del sector del Terminal Terrestre de Latacunga, de manera aleatoria considerando las trayectorias marcadas con gran afluencia vehicular y peatonal.

Para establecer cada punto de muestreo se tomó en cuenta, la cercanía con fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos, la afluencia vehicular, paradas de buses, afluencia peatonal y los lugares estratégicos para ubicar nuestros captadores pasivos por razones de prevención y comodidad.

Los captadores pasivos fueron preparados, colocados y analizados en base a los procedimientos explicados posteriormente, los mismos nos ayudarán a determinar la concentración de NO_x en el ambiente, de igual manera a continuación se explica las formulas usadas y programas de modelación matemática que nos ayudaron a determinar la concentración de NO_x a la que se encuentran expuestas las personas que frecuentan el Terminal Terrestre de Latacunga.

2.3.1 Preparación de Muestreadores Pasivos

El procedimiento descrito para la elaboración de los captadores pasivos se define en 3 pasos secuenciales, primero debemos preparar los captadores pasivos en base a la metodología detallada a continuación, secundando la colocación de los captadores pasivos en los puntos de monitoreo determinados y finalizando con la extracción y análisis de los mismos en el espectrofotómetro UV-Visible. La preparación de los muestreadores pasivos se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias ESPOCH y se utilizó tubos de polipropileno de 75mm de alto y 12 de ancho, estos se trasladaron para su análisis y colocación en base a las normas de técnicas de monitoreo que definen parámetros como temperatura, exposición a la luz y demás (Jiménez y Rojas, 2011: p. 47).

Para el monitoreo muestreamos en periodos de 7 días, durante 12 semanas entre los meses de marzo y mayo del año 2018, los captadores pasivos cada 7 días fueron retirados, reemplazados y

llevados al Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH a cargo de Ingeniero Hanibal Brito.

2.3.2 *Muestreadores para Dióxido de Nitrógeno (NO_x)*

2.3.2.1 *Materiales y Reactivos*

- Balanza digital.
- Pipeta de 10 ml.
- Vaso de precipitación 500 mL.
- Vaso de precipitación 1000 mL.
- Frasco ámbar de 1 L.
- Cooler.
- Hielo.
- Guantes, mandil y mascarilla.
- Trietanolamina. (TEA).
- N-butanol.
- Agua destilada.

2.3.2.2 *Preparación del tubo de muestreo*

Se empezó preparando el “líquido absorbente”, el mismo que se colocó dentro de los tubos de polipropileno (captadores pasivos).

Se pesó 15g de trietanolamina y se diluyó en 500 ml de agua destilada, a esta dilución se añadió 3 ml de solución N-butanol, este actuó como disolvente y se realizó una mezcla homogénea. Como siguiente paso se aforó con agua destilada hasta llegar a 1 litro de volumen. De acuerdo a las técnicas de monitoreo es recomendable preservar el reactivo preparado en una botella ámbar y a refrigeración para evitar la reacción del mismo con el ambiente y sea afectado por la luz. Por último, se colocó 3,5 ml del reactivo preparado en cada tubo que fue colocado en los puntos de muestreo (Manrique y Ossa, 2010)

2.3.3 Exposición y recolección de tubos pasivos

La altura del muestreador en base a la técnica sugerida por Inche, nos recomienda que en base a criterios técnicos se deben ubicar los captadores pasivos entre las alturas de 1,5 m. y 4 m. sobre el nivel del piso, para estimar exposiciones potenciales del ser humano y por cuestiones de seguridad, se prefirió instalar entre 2,5 m. y 3 m. (Inche, 2004, p. 73).

Los tubos de muestreo pasivo fueron transportados en el cooler y tapados, al llegar a los diversos puntos de monitoreo se retiró la tapa de cada captador pasivo para que estos reacciones con el flujo de aire existente en el sector. Al retirar los captadores pasivos se volvió a tapar nuevamente cada uno de ellos y se mantenían en el cooler hasta el regreso al laboratorio donde fueron analizados (Swisscontact, 2001)

Se ubicó cada uno de los captadores en cada punto de monitoreo previamente determinado, 40 tubos a lo largo de todo el sector del Terminal Terrestre - Latacunga apuntando las coordenadas geográficas de localización (UTM) y posteriormente cada 7 días se retiró estos y se colocó nuevamente otros tubos en el mismo punto, logrando así 12 repeticiones en el mismo punto para determinar la concentración de NO_x en esta zona.

Se etiquetó cada tubo muestreador señalando el punto de monitoreo, con una numeración simple del 1 al 40, teniendo en cuenta la semana y punto de monitoreo, por ejemplo, si era el captador pasivo del punto 7 y la semana 3, se lo numeró como 7.3.

De acuerdo con el método de muestreo utilizado se tomó en cuenta la posible presencia de NO_x y los factores que podrían de alguna manera afectar las mediciones de las mismas, como por ejemplo colocar los tubos en zonas con cubierta para evitar el ingreso de agua por la lluvia. Se colocó tubos de monitoreo en parqueaderos, sitios de expendio de comida, parada de buses, entrada y salida al terminal, zonas con vendedores ambulantes, toma de buses, paradas de taxis y afluencia peatonal, entre otras. (Casal y Mateu, 2003)

2.4 Análisis de muestreadores de Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Cada 7 días se cambiaron los captadores pasivos, para llevar a analizar los mismos en el laboratorio, para llevar a cabo el análisis de los mismos se prepararon compuestos colorantes, los cuales definiremos como reactivo 1 y reactivo 2.

2.4.1.1 *Materiales y Reactivos*

- Balanza digital
- pipetas de 1 ml
- probetas de 100 ml
- Tubos muestreadores (recogidos después del periodo de monitoreo)
- Guantes, mandil, mascarilla
- Espectrofotómetro UV-Visible
- Naftilamina
- Agua destilada
- Ácido acético
- Ácido sulfamílico

2.4.1.2 *Pruebas Colorimétricas*

Se realizó una prueba de color que indicaría la presencia de NO_x en las muestras; para esta prueba se prepararon 2 reactivos a los cuales llamamos: R1 y R2

- R1.- Se diluyó 0.4 g de Naftilamina en 80 ml de ácido acético.
- R 2.- Se diluyó 0.64 g de ácido sulfamílico en 80 ml de ácido acético. (Periago, Ma. Jesús, et al.,2008)

Se añadió 0,5 ml de cada reactivo de color en todos los tubos muestreadores y estos presentaron un cambio de coloración a rosado, con variación de tono claro a magenta. Luego de la reacción colorimétrica se procede a medir las Absorbancias en un espectrofotómetro UV-Visible a una longitud de onda de 540 nm. (Periago y Murcia, 2008)

2.4.1.3 *Método para obtener la concentración de NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*

Se usó una curva de calibración mediante la cual usamos los datos de nuestras absorbancias con la concentración de nitrito en el tubo. Los datos para la curva de calibración fueron los siguientes:

Tabla 4-2: Relación entre absorbancia - concentración de nitritos en el tubo

DISOLUCIÓN ESTÁNDAR	CONCENTRACIÓN DE CALIBRACIÓN ESTÁNDAR (ug/ml)	CONCENTRACIÓN DE NITRITO EN EL TUBO (ug/ml)	ABSORBANCIA A 540 nm
A	60	0,741	1,05
B	30	0,37	0,54
C	15	0,185	0,27
BLANCO	0	0	0

Fuente: Borge, et al., 2015

Realizado por: Pardo. M, 2019

g

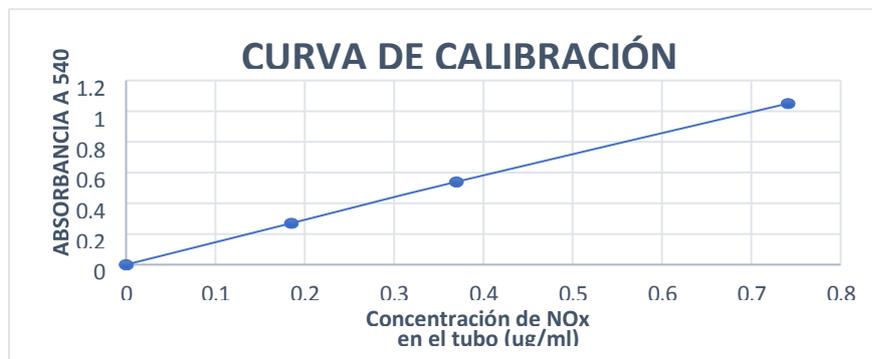


Gráfico 1-2: Curva de calibración utilizada para NOx

Fuente: BERMEO, Jairon; & VEGA Denis, 2017

Realizado por: Pardo. M, 2019

El cálculo de la concentración de nitrito en tubo se realizó mediante una regla de 3 que relaciona la curva de calibración con la absorbancia de la muestra: (Borge, et al., 2015)

$$C2 \text{ (ug/ml)} = \frac{C1 * Abs 2}{Abs 1} \quad [\text{Ec. 1-2}]$$

Dónde:

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 J.; Vega D.)

A continuación, se calculó la masa de los nitritos contenida en cada en los tubos muestreadores con la siguiente fórmula: (Borge, et al., 2015)

$$m \text{ (ug)} = C2 * V \quad [\text{Ec. 2-2}]$$

Dónde:

m (ug)= masa de nitritos en el tubo.

C2 (ug/ml) = concentración obtenida mediante la regla de tres.

V (ml)= volumen de los reactivos de color añadido.

Finalmente se realizó el cálculo de la concentración de NOx en el ambiente: (Borge, et al., 2015)

$$C = \frac{m * L}{D_{12} * A * t} \quad [\text{Ec. 3-2}]$$

Dónde:

C (ug/m³) = concentración de NOx en el ambiente m (ug) = masa de nitritos

L (m) = longitud del tubo

D₁₂ (m²/s) = coeficiente de difusión entre NOx-Aire

A (m²) = área transversal del tubo

t (s) = periodo de muestreo

CAPITULO III

3 RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados

3.1.1 Concentraciones Ambiente de NOx

Tabla 5-3: Concentración Ambiente de NOx Terminal Terrestre – Latacunga (ug/m3).

PUNTO	MARZO				ABRIL				MAYO			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
1	90,6	90,7	93,4	89,9	92,0	92,0	91,6	94,1	91,7	93,8	94,1	91,5
2	90,3	91,6	90,2	93,0	90,9	91,0	90,6	128,9	99,1	99,8	99,5	99,7
3	89,8	90,8	90,1	89,7	90,5	90,6	90,2	91,3	90,1	91,1	90,0	90,6
4	89,8	90,5	89,9	93,4	90,8	90,6	90,6	92,2	91,9	92,6	92,3	92,4
5	113,6	113,1	113,2	115,7	114,7	115,1	115,0	113,5	113,4	114,8	119,4	116,4
6	113,6	114,5	113,3	114,5	117,7	114,2	118,0	116,6	116,4	116,1	117,1	117,4
7	116,0	113,9	114,0	114,8	115,9	116,4	114,1	115,4	116,2	114,6	116,2	123,3
8	154,0	154,4	154,1	158,3	155,9	156,1	155,5	157,1	156,9	158,2	158,1	158,6
9	154,0	154,3	155,1	154,7	155,1	154,8	154,1	155,5	155,0	156,1	155,9	156,1
10	154,5	155,2	155,3	154,2	157,2	158,1	157,6	161,1	156,1	164,2	163,5	163,5
11	154,1	154,1	153,6	154,1	158,7	160,0	158,0	159,2	158,7	159,9	159,7	159,8
12	154,4	155,0	155,9	154,5	157,8	157,6	157,3	157,1	158,7	157,8	157,5	157,9
13	154,9	156,1	154,8	156,0	158,3	158,6	157,8	159,3	159,0	160,5	159,8	159,5
14	154,7	154,6	154,3	153,9	156,9	156,7	155,9	156,6	156,3	157,5	157,0	157,1
15	116,5	112,8	113,5	113,6	116,1	116,2	115,8	119,5	121,6	122,5	122,1	122,4
16	114,0	113,4	113,2	113,8	114,4	114,3	113,8	115,1	114,9	115,5	115,5	115,6
17	159,1	160,5	156,2	154,9	156,4	155,9	154,9	160,3	160,0	160,9	160,6	161,2
18	113,4	114,7	115,8	112,7	115,0	114,9	114,4	249,6	249,8	251,3	251,5	252,3
19	155,0	153,4	154,6	154,5	156,4	156,6	154,2	155,7	156,1	158,3	158,2	158,8
20	113,8	113,6	113,8	113,4	113,9	113,9	113,2	114,5	114,3	115,1	115,0	115,1
21	114,1	114,0	113,1	113,1	115,3	115,2	114,7	119,6	119,1	119,9	119,6	118,2
22	113,9	114,3	114,8	114,2	114,8	114,5	114,0	115,9	115,8	116,4	116,4	116,4
23	114,0	114,3	115,9	115,2	115,5	115,4	114,8	116,2	115,9	116,9	116,9	117,2
24	115,3	113,3	115,3	114,9	135,5	133,9	131,9	116,6	116,3	117,1	117,1	117,2
25	114,5	114,8	114,0	113,7	115,9	115,7	115,3	115,1	114,9	115,5	115,5	115,7

26	154,4	155,0	153,9	154,8	156,0	155,6	155,0	166,6	166,1	167,2	167,3	167,4
27	154,8	155,2	154,6	154,3	155,1	155,1	154,8	158,2	158,0	159,0	158,6	158,8
28	154,3	154,3	154,7	154,1	155,1	155,1	154,4	156,4	156,1	157,2	156,9	157,0
29	154,9	154,0	153,9	153,7	155,9	155,8	155,2	157,4	157,1	158,2	157,9	158,2
30	154,4	154,6	154,6	153,9	156,7	157,0	156,6	156,0	155,6	156,6	156,4	156,8
31	154,5	155,1	155,4	153,8	157,0	157,2	156,8	156,2	155,9	156,8	156,2	156,5
32	89,8	91,4	93,6	89,4	91,1	91,1	90,7	93,2	93,0	93,5	93,3	93,7
33	90,0	91,0	89,9	90,0	90,4	90,3	89,9	90,4	90,3	90,9	90,7	90,8
34	90,0	90,8	89,6	90,2	92,1	91,9	91,5	90,5	90,5	91,0	92,7	92,8
35	90,0	93,3	90,9	90,9	91,7	91,7	91,2	93,4	93,6	92,4	92,4	92,0
36	89,8	91,1	90,5	89,9	91,0	90,9	90,6	91,1	90,9	91,6	91,6	91,7
37	89,8	90,5	90,4	90,4	91,0	90,8	90,4	91,2	91,0	91,7	91,4	91,5
38	113,9	114,1	112,9	113,9	116,4	116,1	149,8	114,7	114,1	117,1	114,7	115,0
39	89,9	91,2	91,1	89,3	91,1	91,2	90,6	91,9	92,1	93,1	106,0	109,4
40	90,4	90,4	90,3	90,2	91,2	91,1	90,7	92,9	92,8	93,4	93,3	93,5

Realizado por: Pardo, M; 2019.

En la Tabla 5-3 las concentraciones de NOx en el Ambiente de manera general mantienen un patrón similar respecto a los puntos que se encuentran rodeando al terminal terrestre, los mismo sobrepasan la concentración de NOx establecidos por la norma, definida en 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por día, esto en base al ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA, en los puntos 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 26, 27, 28, 29, 30 y 31 los niveles sobrepasan la norma, mientras que los demás se encuentran en un nivel moderado y elevado en base las concentraciones analizadas en el laboratorio, a diferencia del punto 18, el cual en las últimas 5 semanas se encontró sobrepasando la norma con concentraciones similares a los 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que resulta inquietante ya que el mismo sobrepasa la norma por casi el doble de la concentración permitida y representa un foco importante de NOx, teniendo en cuenta los factores que alteran la calidad del aire y puntos de emisión de NOx al ambiente se determinó que el punto 18 llega a tales niveles por varios factores importantes, entre ellos la presencia de comerciantes que en determinado punto preparan comidas rápidas con el uso de leña y carbón, ya que venden pinchos, tortillas de maíz y demás tipos de comidas rápidas características del sector y la zona, además de manera general se determinó que en los puntos que sobrepasan los niveles de NOx se evidencia la presencia de paradas de buses interprovinciales, buses intercantonales, semáforos, arranques constantes de vehículos y la presencia constante de taxis, transporte urbano y público que generan una notable incidencia en la emisión de NOx al ambiente, mientras tanto en los puntos con concentraciones moderadas y elevadas se obtienen concentraciones menores en comparación a las detalladas por la disminución del flujo vehicular ya que estos puntos de monitoreo se encontraban un poco más alejados del terminal terrestre, ayudándonos a entender así la influencia que tienen los

vehículos en las emisiones de NOx al ambiente y como los mismos afectan la calidad del aire en el sector.

Tabla 6-3: Concentración Ambiente de NOx

Mensual promedio Terminal Terrestre – Latacunga (ug/m³).

PUNTO	MARZO	ABRIL	MAYO
	[] M1	[] M2	[] M3
1	91,1	92,4	92,8
2	91,3	100,4	99,5
3	90,1	90,7	90,4
4	90,9	91,0	92,3
5	113,9	114,6	116,0
6	114,0	116,6	116,8
7	114,7	115,4	117,6
8	155,2	156,2	157,9
9	154,5	154,9	155,8
10	154,8	158,5	161,8
11	154,0	159,0	159,5
12	155,0	157,5	158,0
13	155,4	158,5	159,7
14	154,4	156,5	157,0
15	114,1	116,9	122,1
16	113,6	114,4	115,4
17	157,7	156,9	160,7
18	114,1	148,5	251,2
19	154,4	155,7	157,9
20	113,6	113,9	114,9
21	113,6	116,2	119,2
22	114,3	114,8	116,3
23	114,9	115,5	116,7
24	114,7	129,5	116,9
25	114,3	115,5	115,4
26	154,5	158,3	167,0
27	154,7	155,8	158,6
28	154,4	155,3	156,8

29	154,1	156,1	157,8
30	154,4	156,6	156,4
31	154,7	156,8	156,4
32	91,0	91,5	93,4
33	90,2	90,3	90,7
34	90,2	91,5	91,7
35	91,3	92,0	92,6
36	90,3	90,9	91,5
37	90,3	90,9	91,4
38	113,7	124,2	115,2
39	90,4	91,2	100,2
40	90,3	91,5	93,2

Realizado por: Pardo, M; 2019.

Los datos presentados en la Tabla 6-3 representan los promedios de las concentraciones en base a los meses de monitoreo en el sector del Terminal Terrestre – Latacunga, al igual que lo explicado en la Tabla 1-3 se evidencia los niveles de concentración de NOx en este sector, dónde los puntos de interés o detallados anteriormente tales como son: 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 26, 27, 28, 29, 30 y 31 mantienen los niveles de concentración de NOx sobre los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ definidos por la norma y el punto de monitoreo 18 excede en 251,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el último mes de monitoreo, en las últimas 5 semanas se pudo evidenciar el aumento en la presencia de comerciantes de comidas rápidas lo que en base al captador pasivo analizado en el laboratorio, dio un aumento considerable de la concentración de NOx.

Tabla 7-3: Concentraciones mínimas, máximas y promedio de NOx Mensual Terminal Terrestre – Latacunga ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

PUNTO	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
	[] MIN	[] MAX	[] PRO
1	89,9	94,1	92,0
2	90,2	128,9	109,6
3	89,7	91,3	90,5
4	89,8	93,4	91,6
5	113,1	119,4	116,2
6	113,3	118,0	115,6

7	113,9	123,3	118,6
8	154,0	158,6	156,3
9	154,0	156,1	155,1
10	154,2	164,2	159,2
11	153,6	160,0	156,8
12	154,4	158,7	156,6
13	154,8	160,5	157,6
14	153,9	157,5	155,7
15	112,8	122,5	117,6
16	113,2	115,6	114,4
17	154,9	161,2	158,1
18	112,7	252,3	182,5
19	153,4	158,8	156,1
20	113,2	115,1	114,1
21	113,1	119,9	116,5
22	113,9	116,4	115,2
23	114,0	117,2	115,6
24	113,3	135,5	124,4
25	113,7	115,9	114,8
26	153,9	167,4	160,7
27	154,3	159,0	156,7
28	154,1	157,2	155,7
29	153,7	158,2	156,0
30	153,9	157,0	155,5
31	153,8	157,2	155,5
32	89,4	93,7	91,5
33	89,9	91,0	90,4
34	89,6	92,8	91,2
35	90,0	93,6	91,8
36	89,8	91,7	90,7
37	89,8	91,7	90,8
38	112,9	149,8	131,3
39	89,3	109,4	99,3
40	90,2	93,5	91,8

Realizado por: Pardo, M; 2019.

Los datos presentados en la Tabla 7-3 representan las concentraciones mínimas, máximas y promedios de NOx en el sector del Terminal Terrestre – Latacunga, al igual que lo explicado en la Tabla 1-3 y 2-3 se evidencia los niveles de concentración de NOx en este sector, dónde los puntos de interés o detallados anteriormente tales como son: 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 26, 27, 28, 29, 30 y 31 mantienen los niveles de concentración de NOx sobre los 150 µg/m³ definidos por la norma y el punto de monitoreo 18 en este caso, para la concentración máxima excede en 252,3 µg/m³ para todas las semanas y puntos de monitores, de la misma manera el punto 38 se obtiene el punto con menor concentración analizada con 89. 3 µg/m³ en base al captador pasivo analizado en el laboratorio, ya que el mismo se encontraba alejado del sector del terminal terrestre de Latacunga y presentaba una menor cantidad de afluencia vehicular, principalmente de automotores que funcionen a diésel.

3.1.2 Diferencia de concentración de NOx en los puntos de monitoreo.

Cómo se puede observar en los valores demostrados en las gráficas 2-3 hasta la 5-3, las diferencias de concentraciones se mantienen similares, demostrando que durante estas 4 semanas de monitoreo las concentraciones o emisiones de NOx en los puntos (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 26, 27, 28, 29, 30, y 31) monitoreados una vez por semana han sobrepasado los 150 µg/m³ establecidos por la norma,

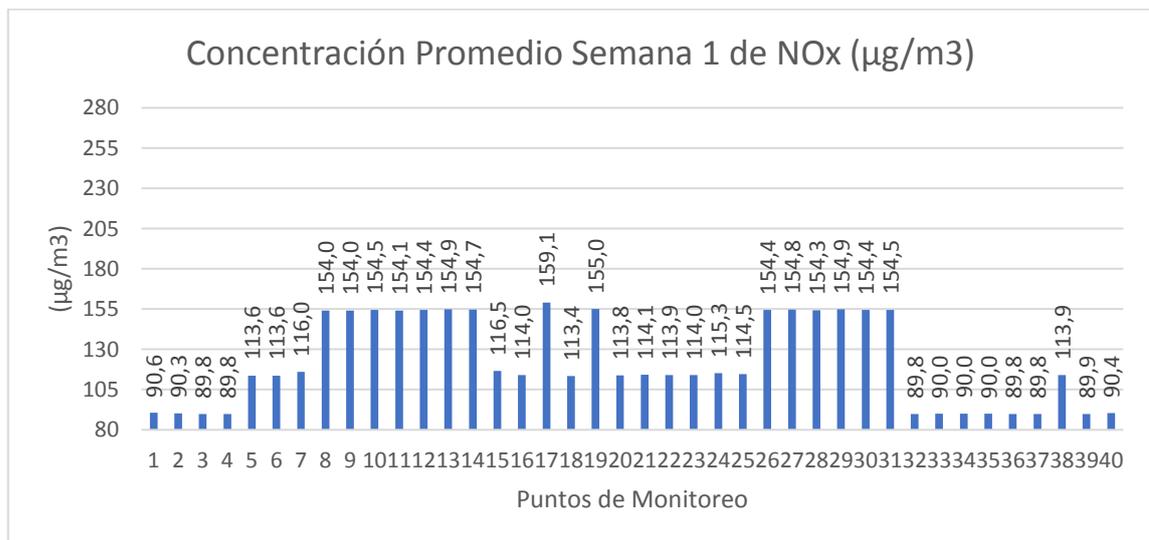


Gráfico 2-3: Diferencia de Concentración NOx (µg/m³) Semana 1, Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

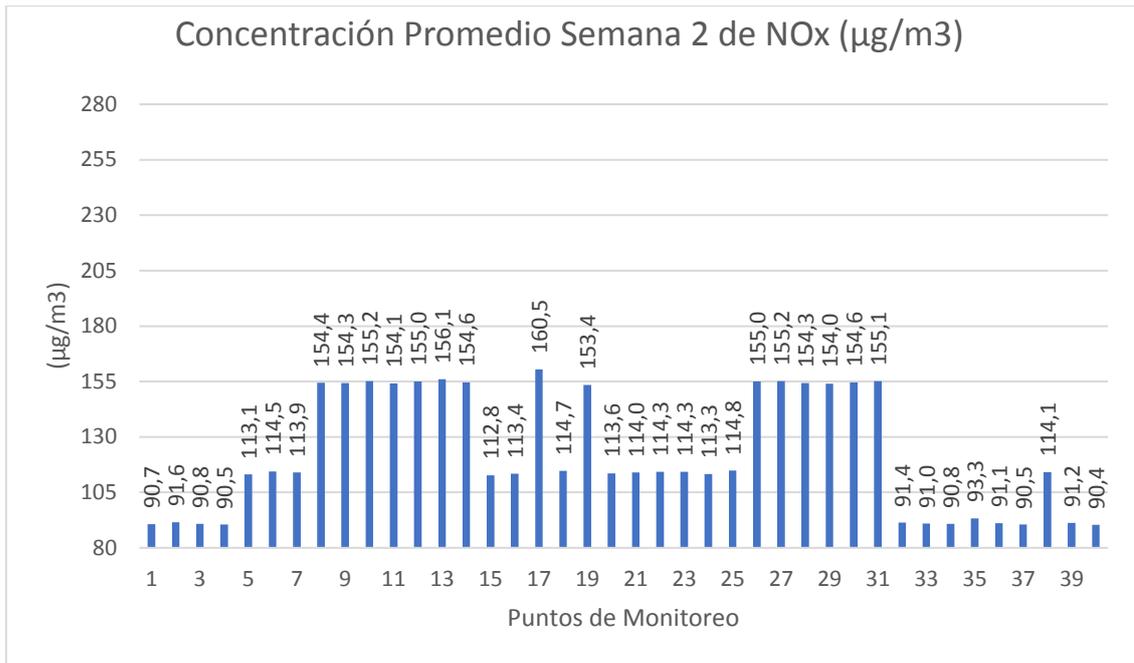


Gráfico 3-3: Diferencia de Concentración NOx (µg/m3) Semana 2, Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

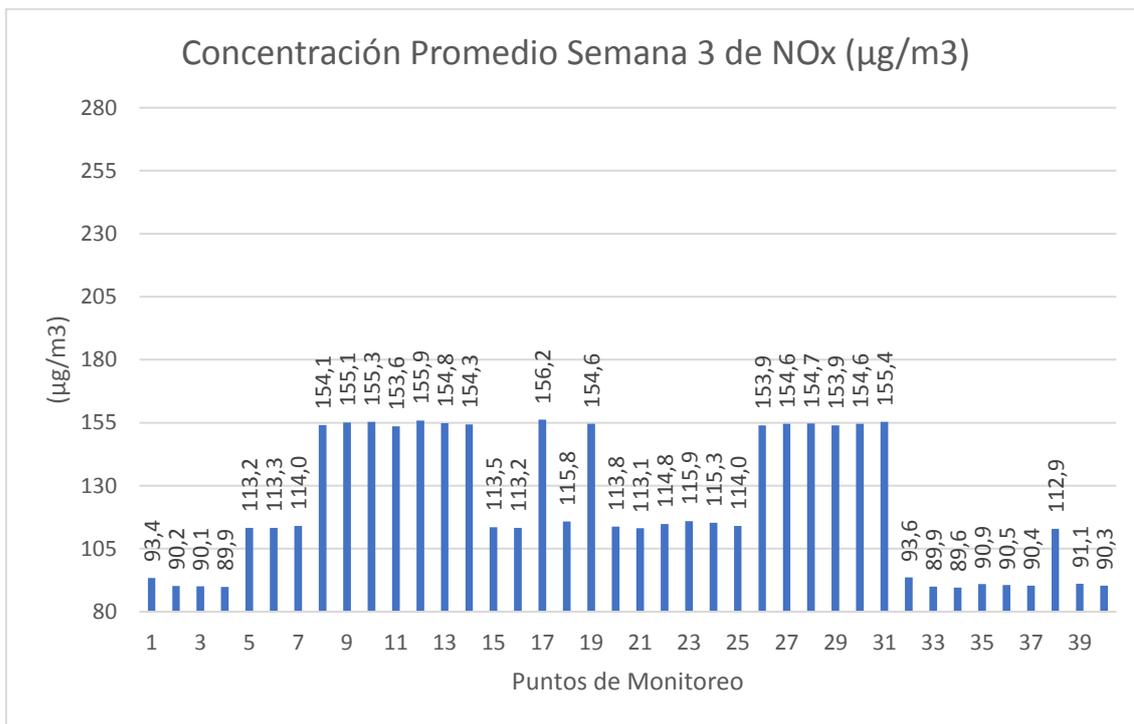


Gráfico 4-3: Diferencia de Concentración NOx (µg/m3) Semana 3, Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

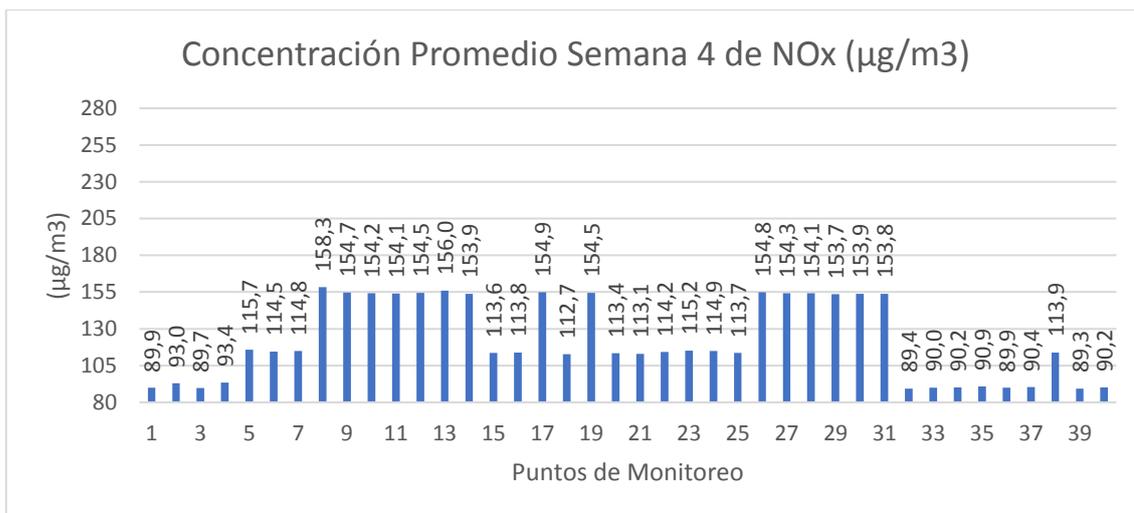


Gráfico 5-3: Diferencia de Concentración NOx (µg/m³) Semana 4, Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

En las gráficas 6-3, 7-3 y 8-3 detalladas en la siguiente página hemos podido evidenciar concentraciones similares a los monitoreo de las siguientes semanas, éstas gráficas pertenecen a las concentraciones promedio por semana en base a los puntos de monitoreo y representan a las semanas 5, 6 y 7 respectivamente, es importante recalcar que las concentraciones o emisiones de NOx en los puntos (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 26, 27, 28, 29, 30, y 31) monitoreados una vez por semana han sobrepasado los 150 µg/m³ establecidos por la norma, en base al ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA y los demás puntos se encuentran dentro de niveles moderados y altos de acuerdo a la OMS.

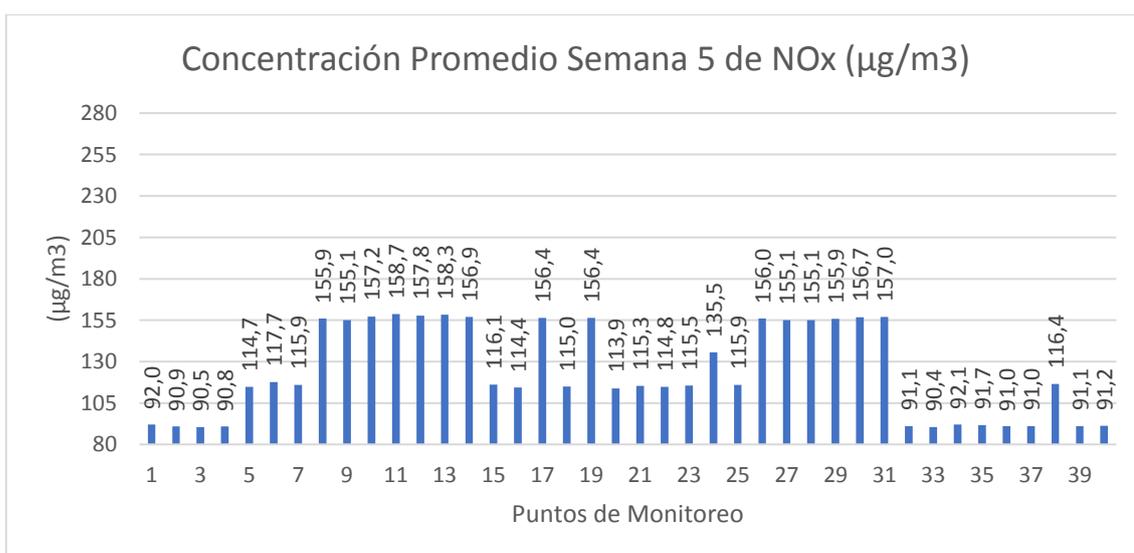


Gráfico 6-3: Diferencia de Concentración NOx (µg/m³) Semana 5, Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

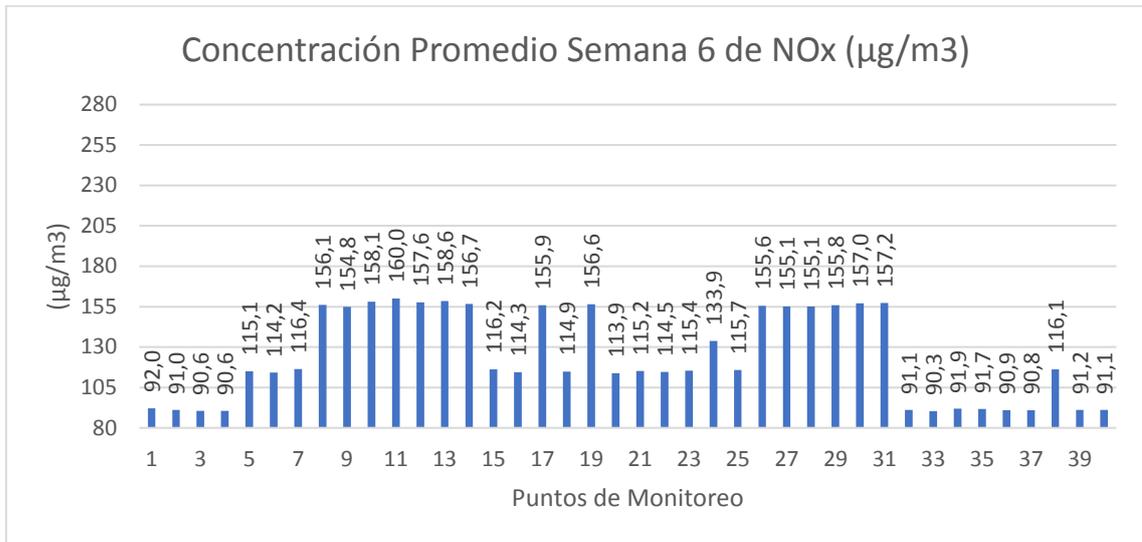


Gráfico 7-3: Diferencia de Concentración NOx (µg/m³) Semana 6, Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

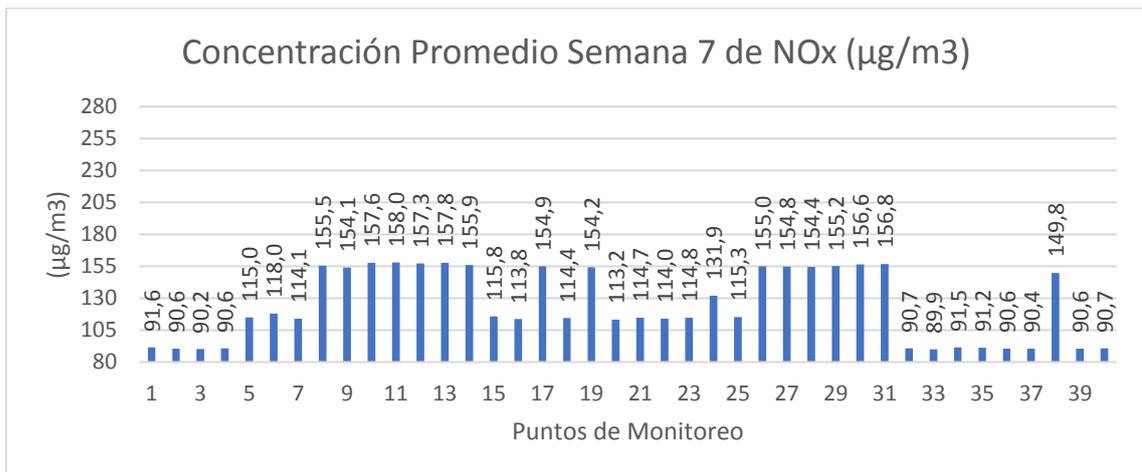


Gráfico 8-3: Diferencia de Concentración NOx (µg/m³) Semana 7, Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

He decidido describir los resultados de manera conjunta para las gráficas 9-3, 10-3, 11-3, 12-3 y 13-3 ya que éstas muestran un cambio representativo en el punto de monitoreo 18, por ende es importante definir este comportamiento y en base a la Implicación de los NOx en la química atmosférica (Galán. M; Fernández. P, 2006) se puede determinar que las emisiones de NOx al ambiente están delimitadas por parámetros antropológicos y naturales. Para los parámetros antropogénicos se describe como fuentes de emisión principales al uso de combustibles fósiles, cómo son los hidrocarburos, carbón y gas natural, involucrando como principal precursor al diésel, además de factores industriales y demás actividades antropogénicas cómo la quema de biomasa, en el punto de monitoreo 18 se evidencio la presencia de comerciantes ambulantes, preparación de alimentos con carbón y leña en estas últimas semanas a diferencia de las demás,

por lo que el aumento de la concentración de NOx analizado fue alrededor de los 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sobrepasando de manera considerable los niveles de emisión establecidos según la OMS y el ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA. Los demás puntos explicados anteriormente se mantienen en rangos similares a los descritos por lo que el punto de monitoreo 18 se ve afectado directamente por la cercanía de los comerciantes a las coordenadas de monitoreo, es importante también detallar que el mismo se encuentre en la entrada al Terminal Terrestre donde a más de existir comerciantes se observó la presencia constante de taxis y buses.

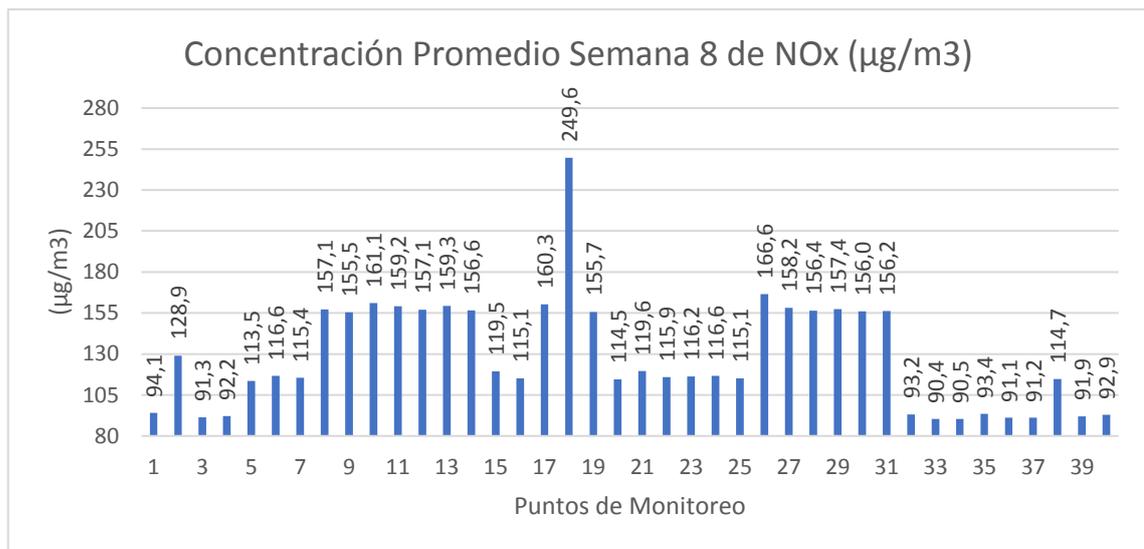


Gráfico 9-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 8, Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

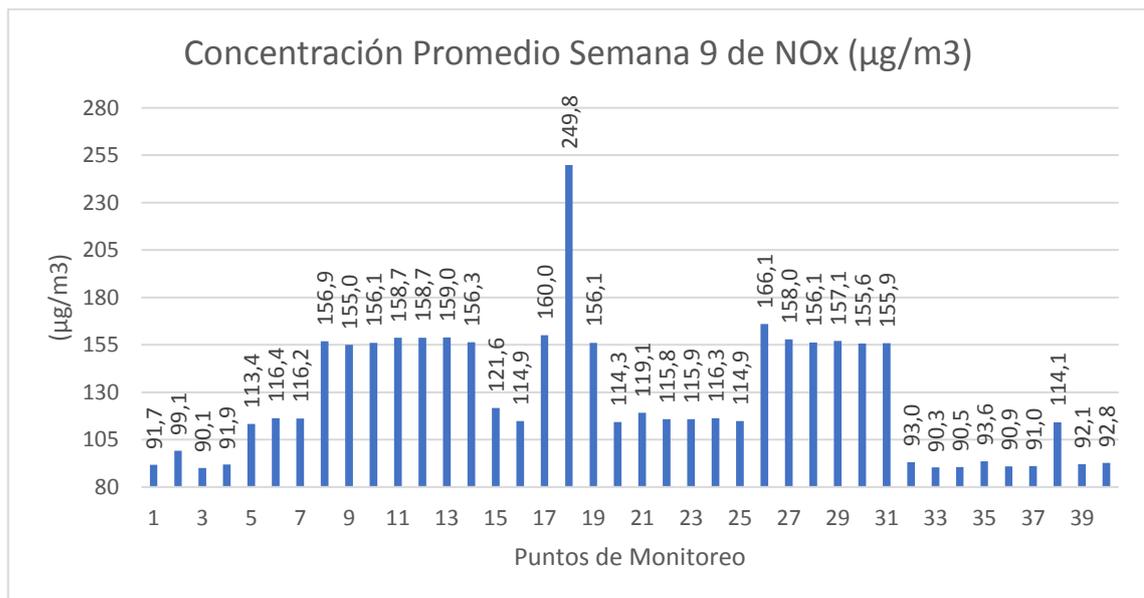


Gráfico 10-3: Diferencia de Concentración NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Semana 9, Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

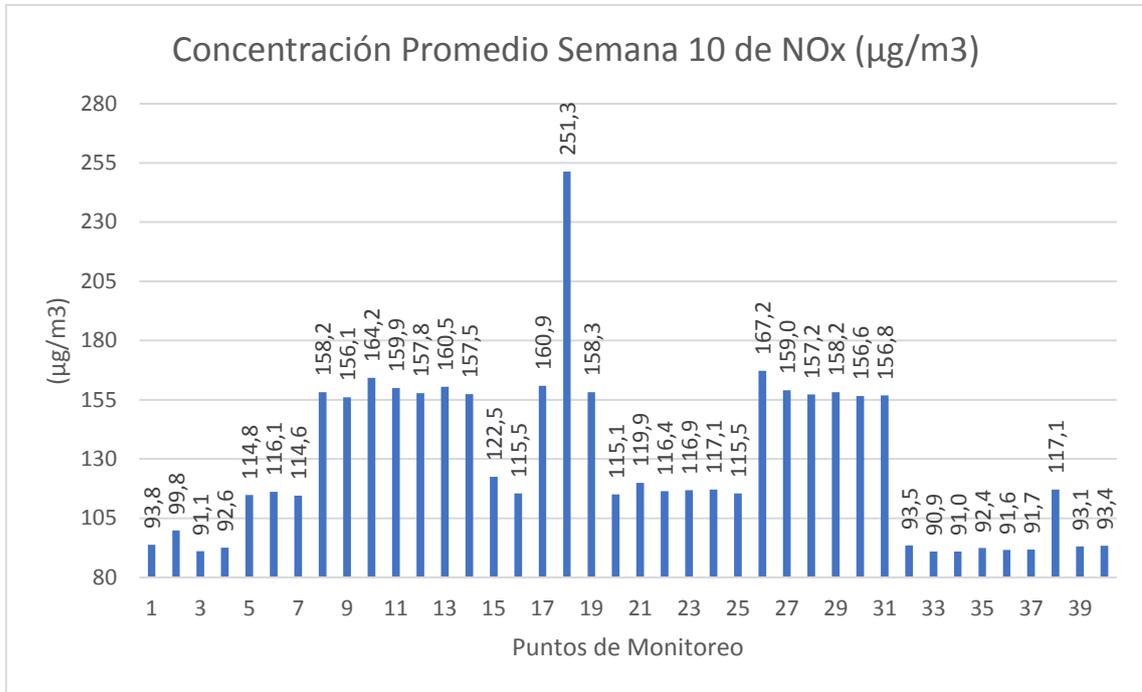


Gráfico 11-3: Diferencia de concentración NOx (µg/m3) Semana 10, Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

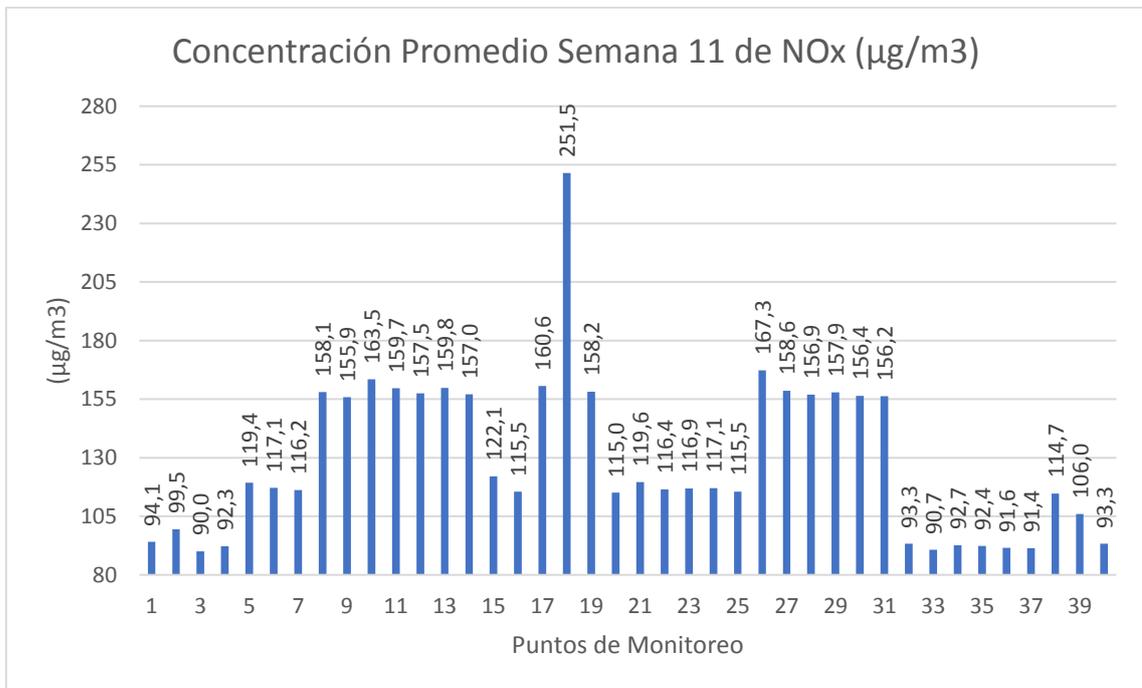


Gráfico 12-3: Diferencia de concentración NOx (µg/m3) Semana 11, Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

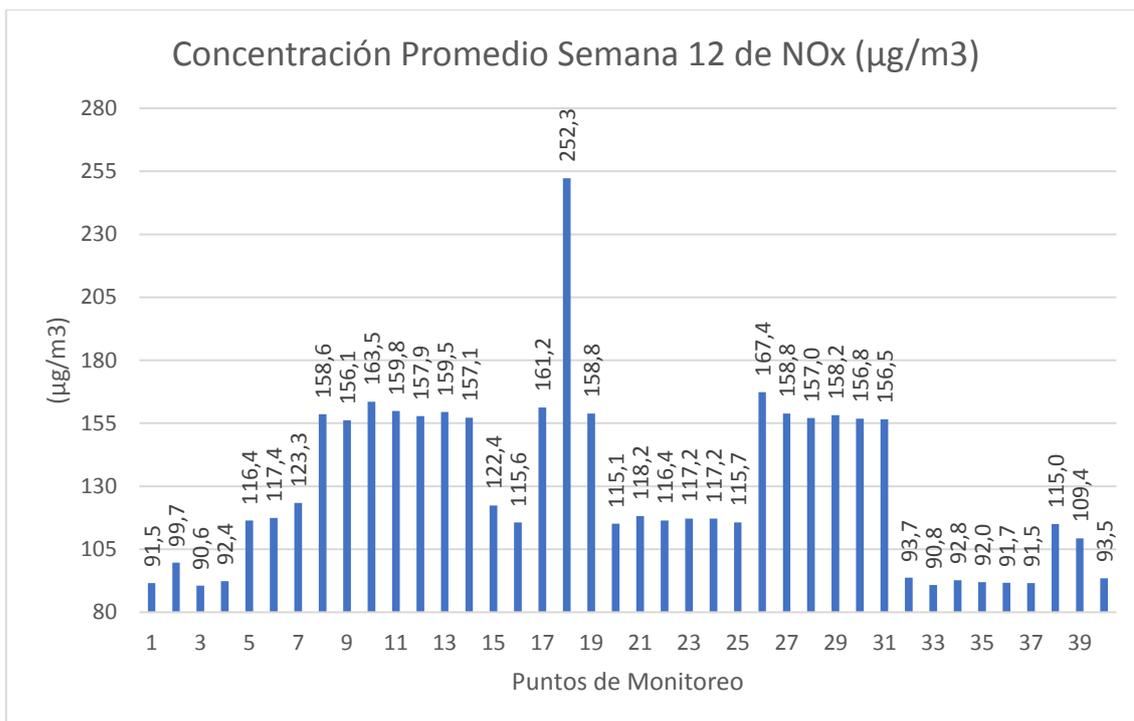


Gráfico 13-3: Diferencia de concentración NOx (µg/m³) Semana 12, Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

En las gráficas 14-3, 15-3, 16-3 y 17-3 mostramos el promedio general de todas las semanas de monitoreo y como es razonable las mismas presentan niveles similares respecto a las gráficas anteriores, en los puntos (8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 26, 27, 28, 29, 30, y 31) monitoreados una vez por semana han sobrepasado los 150 µg/m³ establecidos por la norma, en base al *ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA* y los demás puntos se encuentran dentro de niveles moderados y altos de acuerdo a la OMS, y los niveles de concentración se encuentran justificados en base a la presencia constante de fuentes antropológicas de emisión de NOx, los puntos especificados que sobrepasan la norma se encuentran rodeando el sector del Terminar Terrestre de Latacunga y dentro del mismo, por lo que se hace evidente la polución que existe en el mismo.

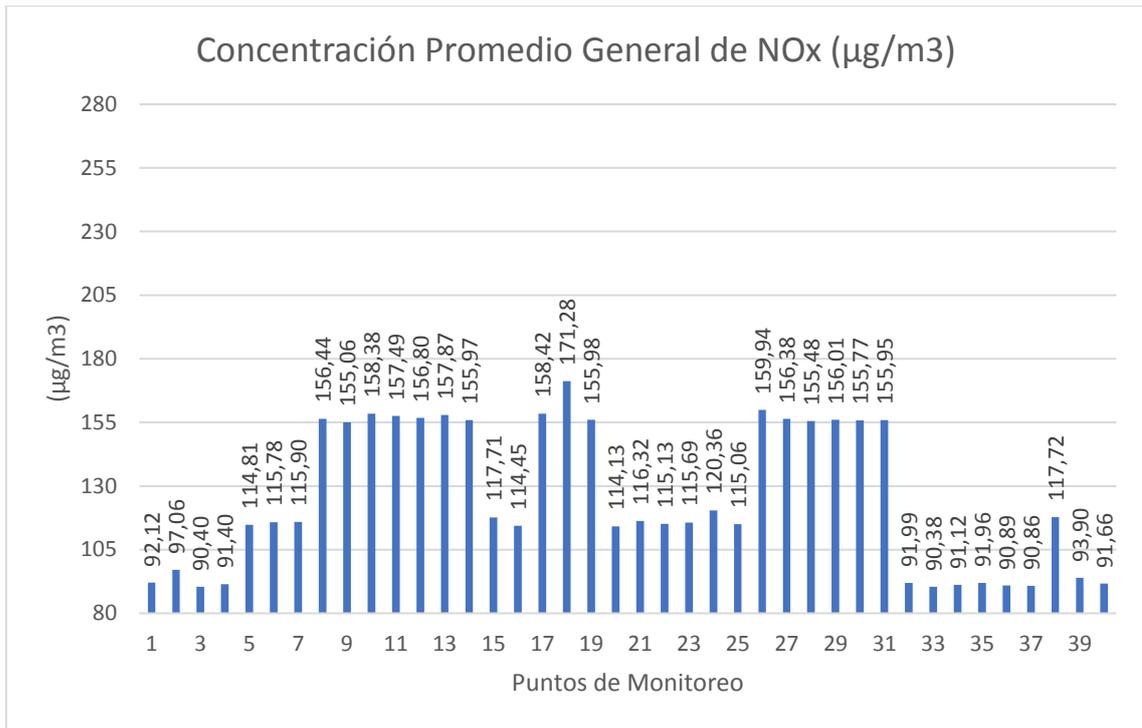


Gráfico 14-3: Diferencia de concentración NOx (µg/m³) Promedio General, Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

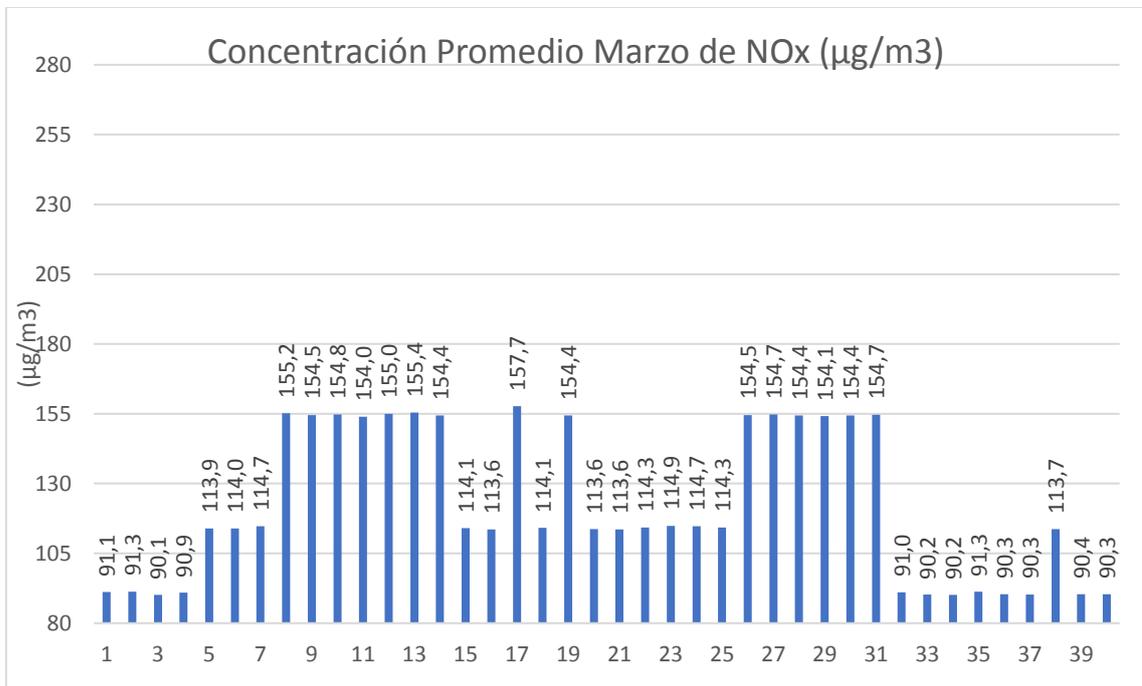


Gráfico 15-3: Diferencia de Concentraciones Promedio de NOx (µg/m³) para el mes de Marzo, Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

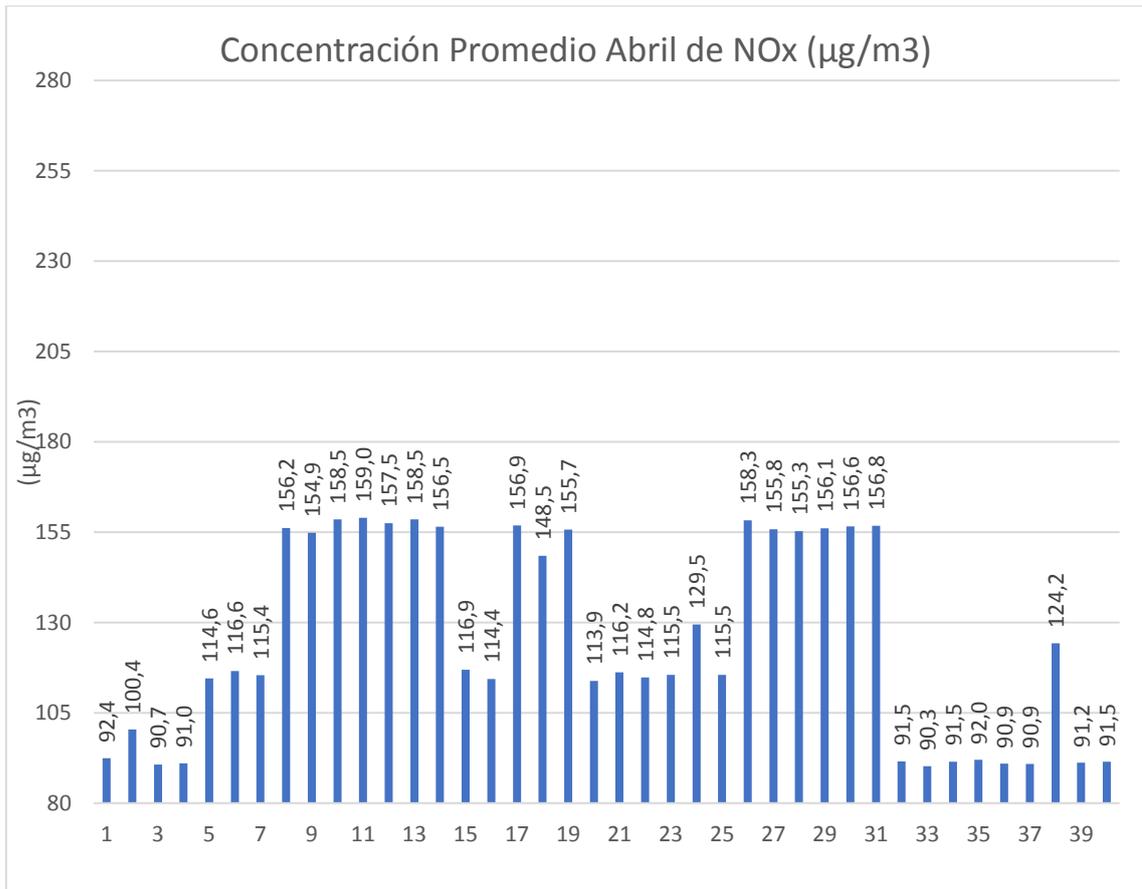


Gráfico 16-3: Diferencia de Concentraciones Promedio de NOx (µg/m³) para el mes de Abril, Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

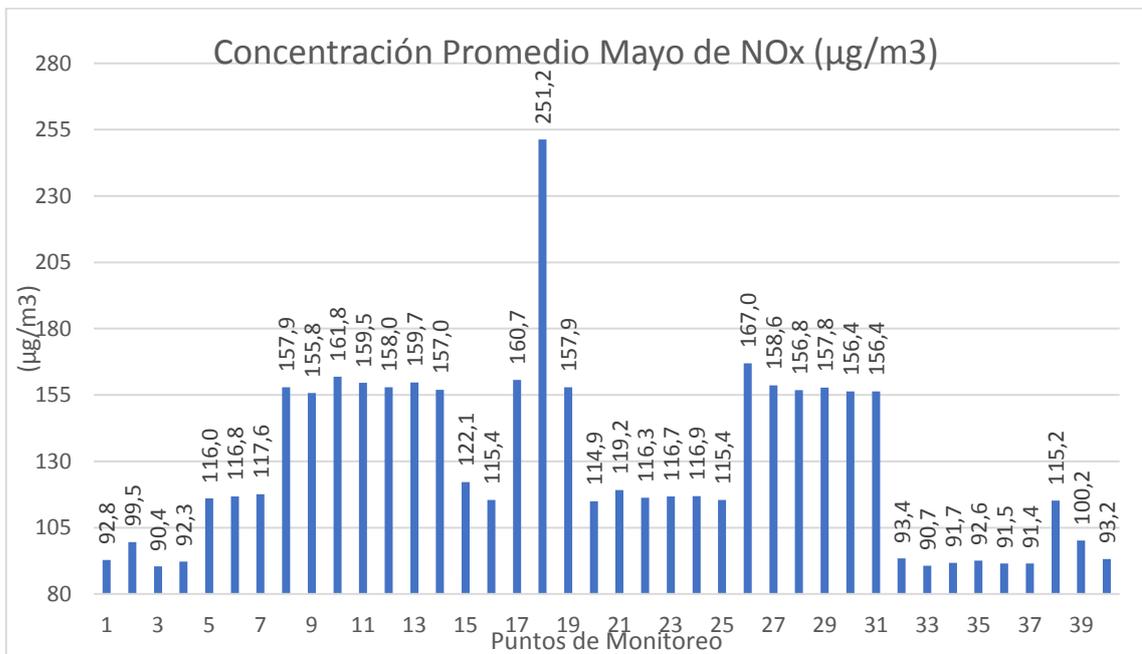


Gráfico 17-3: Diferencia de Concentraciones Promedio de NOx (µg/m³) para el mes de Mayo, Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

Los valores presentados en la gráfica 18-3 se evidencian los valores de concentraciones mínimos, máximos y promedios de manera general para todos los análisis que se realizaron durante el periodo de monitoreo en cada punto para los meses de marzo, abril y mayo del 2018, la gráfica muestra una tendencia similar en las concentraciones de NO_x a lo largo del periodo de investigación y de igual manera resalta la diferencia de concentración que existió entre el punto de monitoreo 18 y los demás, anteriormente ya se justificó la razón por la que este valor se encuentra sobre la norma de manera considerable ayudándonos a entender la incidencia que los factores antropogénicos tuvieron en los puntos de monitoreo.

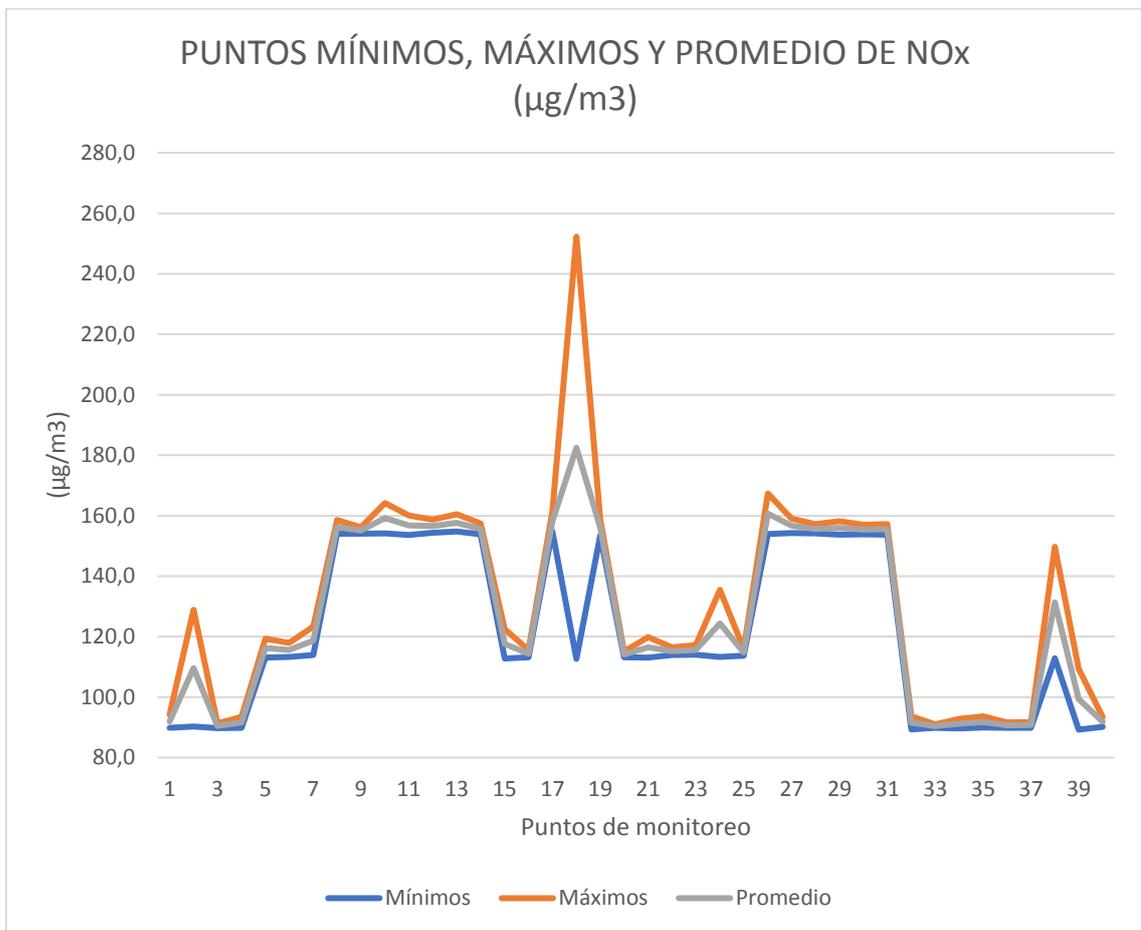


Gráfico 18-3: Diferencia de Concentraciones mínimas, máximas y promedio de NO_x (µg/m³), Terminal Terrestre-Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

3.1.3 Determinación del flujo peatonal por PTV Vissim y Viswalk.



Figura 8-3: Mapa en Google Earth, Flujo Vehicular y Peatonal del Sector del Terminal Terrestre–Latacunga.

Realizado por: Pardo, M; 2019.

El mapa presentado en la Figura 1-3 representa mediante líneas de colores las rutas que siguen los vehículos y personas de manera general en el sector del terminal terrestre de la ciudad de Latacunga, mediante la cual a partir de promedios nos ayudó a obtener el número de personas y vehículos que transitan por la zona, el conteo se realizó una vez al mes, durante una hora y las rutas se tomaron de referencia en base a la dirección de las carreteras del sector del terminal terrestre, teniendo en cuenta semáforos y pasos peatonales, ya que los mismo inciden en la emisión y captación de NOx por parte de las personas que frecuentan determinado lugar.

A continuación se detallan en la Tabla 4-3 el promedio del flujo vehicular, tomando en cuenta el tipo de vehículo, ya que el uso de determinado combustible (gasolina o diésel), afecta los valores de emisiones en la simulación que se obtendrá mediante el uso de los softwares PTV Vissim y PTV VisWalk, de igual manera en la Tabla 5-3 se describe el promedio de personas que pasaban en el sector del terminal terrestre tomando en cuenta las líneas de colores destalladas en la Figura 1-3 para ambos casos, siendo representada de la siguiente manera:

- 1: Negro.
- 2: Verde.
- 3: Celeste
- 4: Vino
- 5: Roja
- 6: Amarillo

- 7: Morado

Las circunferencias naranjas y rosas representan las zonas con mayor afluencia peatonal y vehicular, por ende, las definí como puntos críticos.

Tabla 8-3: Promedio de Vehículos

(Sector Terminal Terrestre Latacunga).

# Línea	Automóviles	Buses	Camiones
1	643	74	12
2	983	71	8
3	735	34	11
4	637	65	13
5	533	34	14
6	642	43	15
7	454	16	7

Realizado por: Pardo, M; 2019.

Tabla 9-3: Promedio de personas

(Sector Terminal Terrestre Latacunga)

# Línea	Personas
1	4567
2	3178
3	4622
4	3634
5	2709
6	2045
7	1944

Realizado por: Pardo, M; 2019.

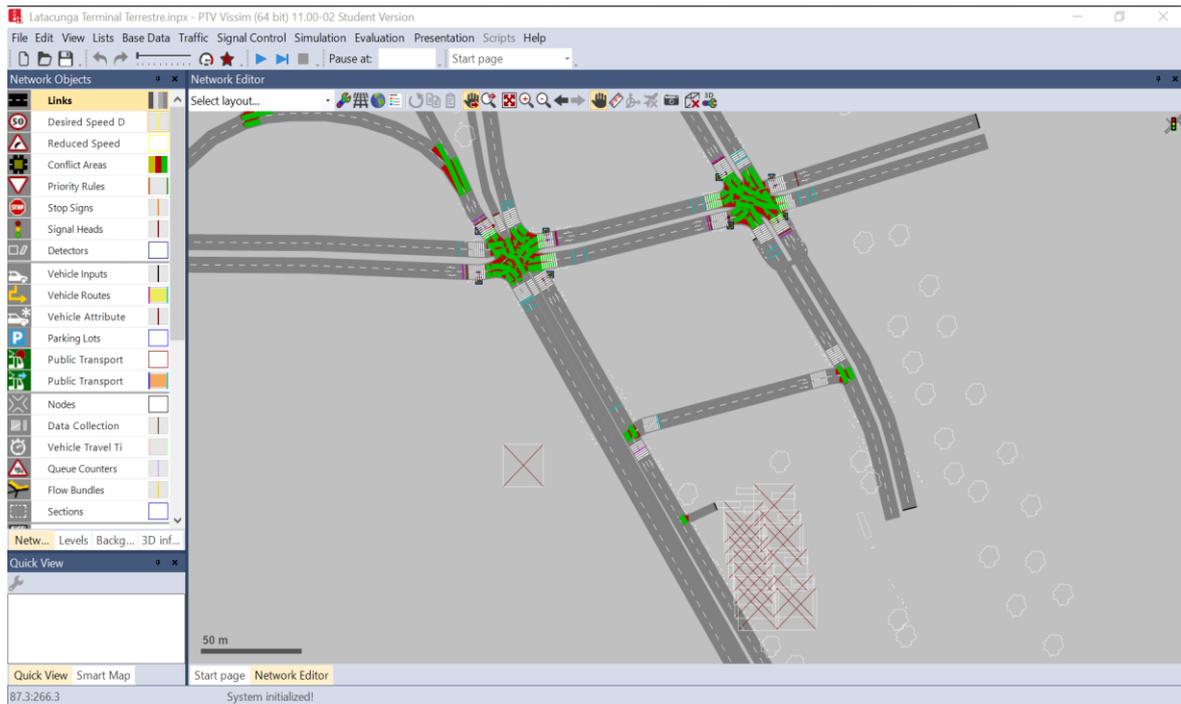


Figura 9-3: Captura de pantalla, Simulación de PTV Vissim para el Sector del Terminal Terrestre-Latacunga.
Realizado por: Pardo, M; 2019.

Para realizar la simulación de PTV Vissim y VisWalk fue necesaria la obtención de los datos descritos en las Tablas 8-3 y 9-3, ya que mediante el ingreso de las mismas en el Software se pudo obtener los valores necesarios para determinar la concentración de NOx a la que se encuentran las personas que frecuentan el Terminal Terrestre – Latacunga.

Lo que la simulación hace es definir el comportamiento del tráfico vehicular y peatonal en base a la cantidad de vehículos, sus tipos y el número de personas en el sector, mediante la generación de estos datos el Software arroja archivos con valores en cuanto al comportamiento de vehículos, zonas de conflicto, arranques, velocidades, carreteras y entre estos, los valores de cuantas personas interactuaron el nuestro dominio y cuál es su comportamiento de manera real, el valor que obtuvimos de la misma fue de: 420000 personas por segundo en todo nuestro dominio, valor que usaremos para el último calculo que será necesario para obtención del valor en base a las unidades de persona.s.µg/m³.

Para los cálculos necesario haremos uso de los mapas desarrollados en ArcGIS en base a las concentraciones analizadas en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, determinando una malla de emisión involucrando celdas de 5x5 m. como explica Borge R. en su trabajo de investigación C involucrando las zonas de conflicto dónde tienen injerencia los peatones, siendo estas las calles cercanas al sector del Terminal Terrestre – Latacunga cómo muestran las figuras 10-3, 11-3, 12-3, 13-3 y 14-3 ha continuación.

Tabla 10-3: Promedio de personas

(Sector Terminal Terrestre Latacunga).

# Línea	Personas
1	4567
2	3178
3	4622
4	3634
5	2709
6	2045
7	1944

Realizado por: Pardo, M; 2019.

3.1.4 Análisis de las concentraciones de NOx mediante la evaluación de los puntos de monitoreo en ArcGIS.

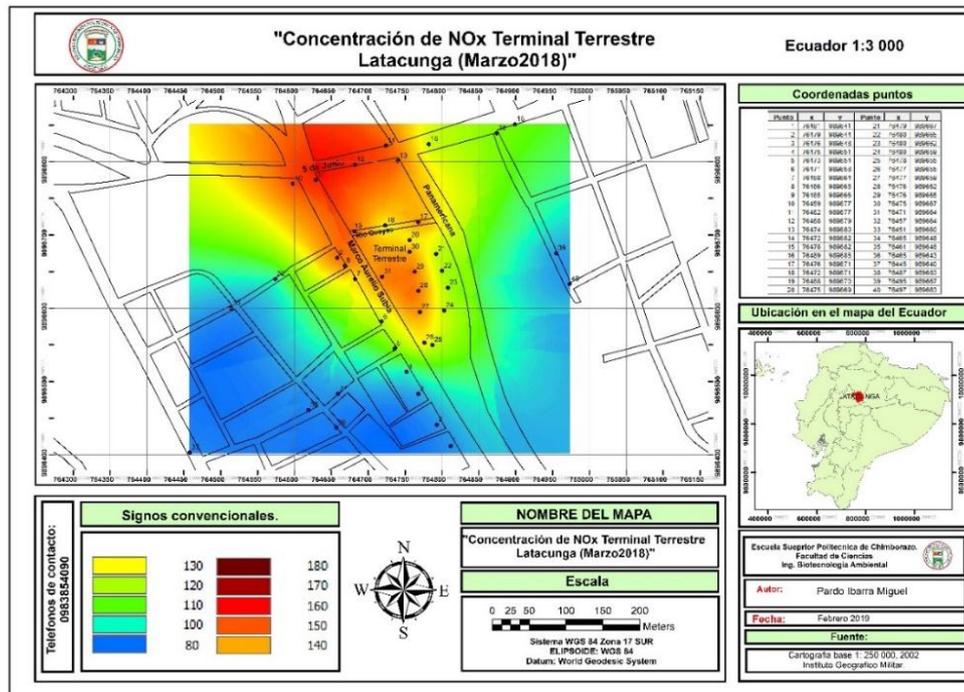


Figura 10-3: Mapa de ArcGIS, Concentración de NOx en el Terminal Terrestre – Latacunga (Marzo 2018).

Realizado por: Pardo, M; 2019.

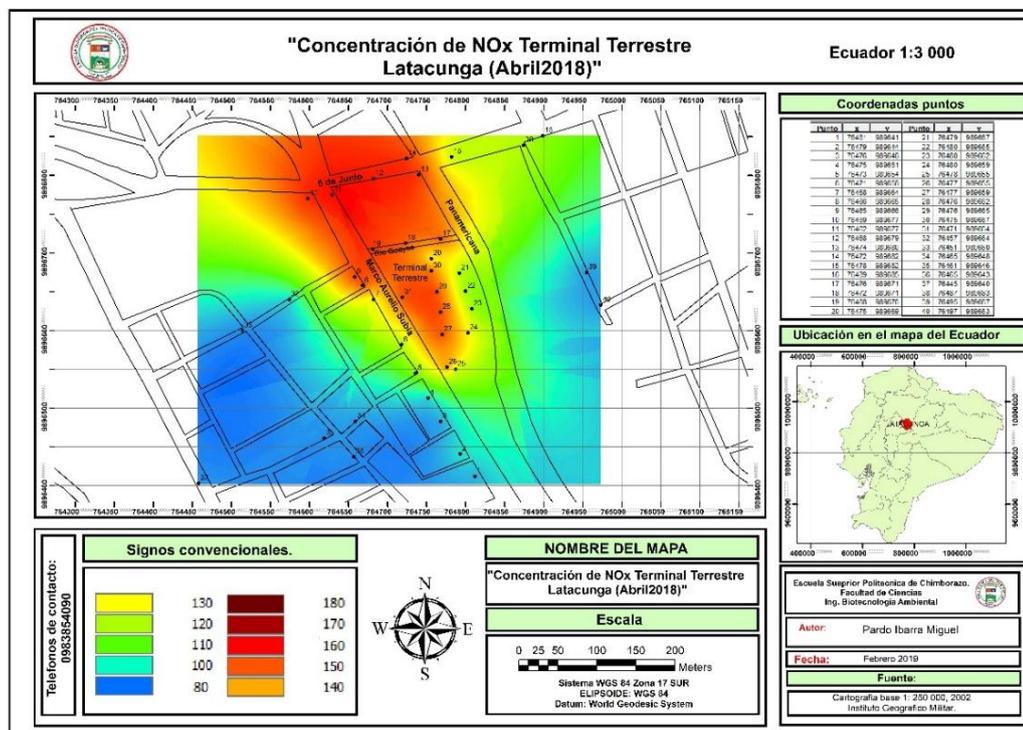


Figura 11-3: Mapa de ArcGIS, Concentración de NOx en el Terminal Terrestre – Latacunga (Abril 2018).

Realizado por: Pardo, M; 2019.

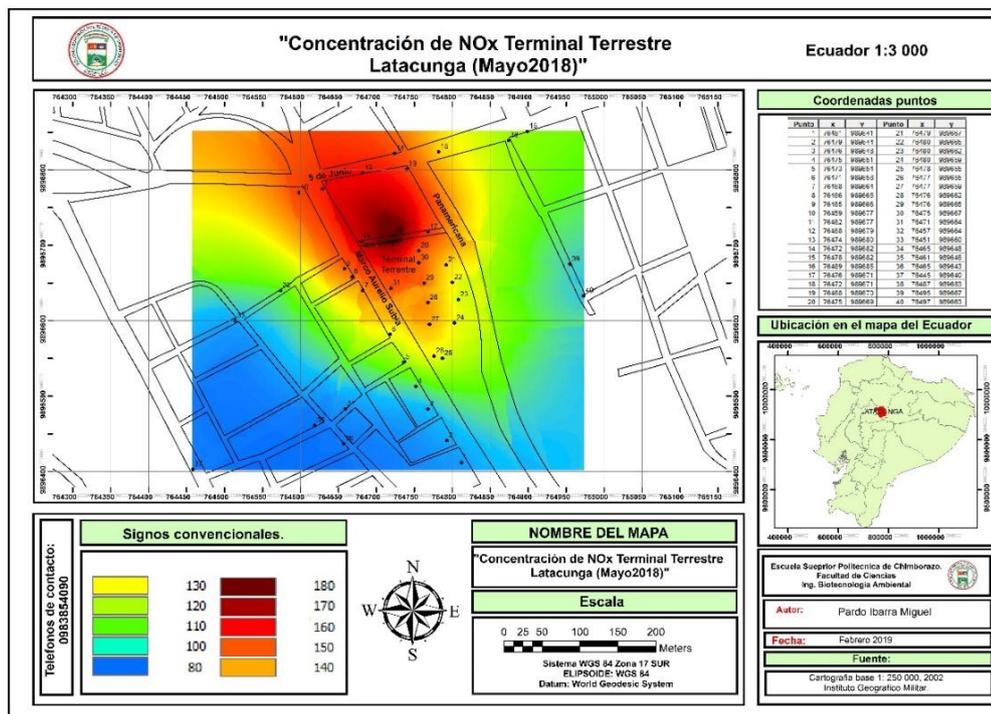


Figura 12-3: Mapa de ArcGIS, Concentración de NOx en el Terminal Terrestre – Latacunga (Mayo 2018).
Realizado por: Pardo, M; 2019.

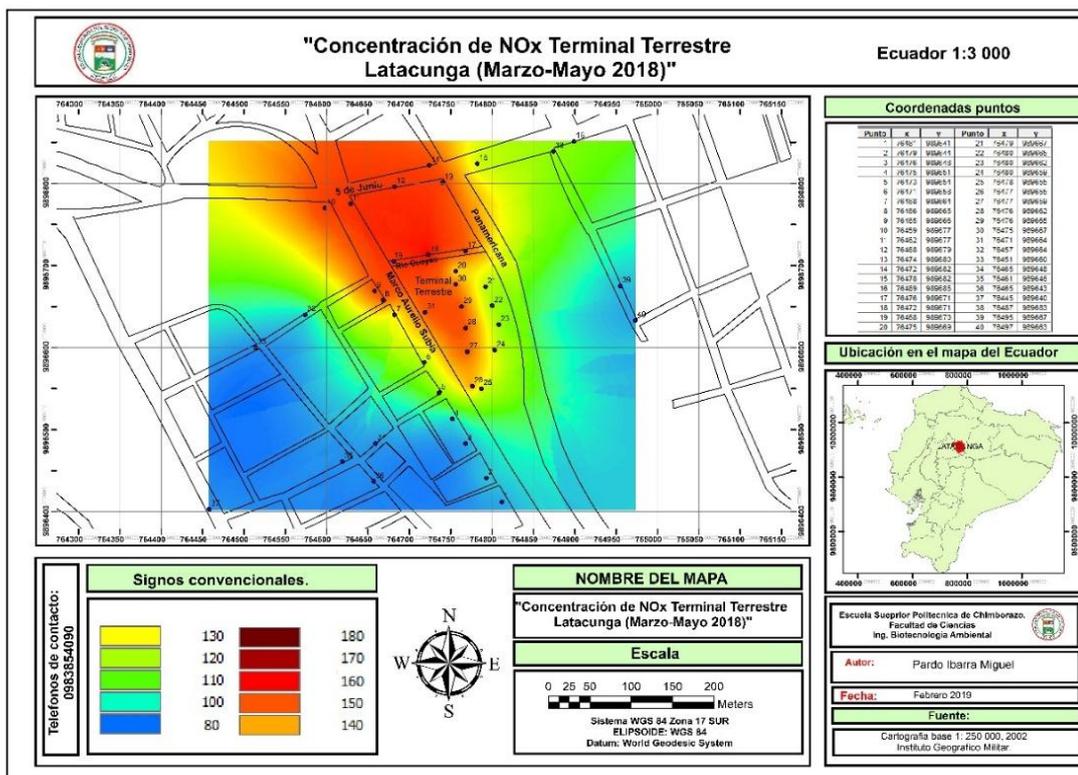


Figura 13-3: Mapa de ArcGIS, Concentración de NOx en el Terminal Terrestre – Latacunga (Marzo - Mayo 2018).
Realizado por: Pardo, M; 2019.

Los mapas de ArcGIS ilustrados en las Figuras 10-3, 11-3, 12-3 y 13-3 son mapas en formato raster que se generaron en ArcGIS a partir de los valores de concentración de NOx en base a las Tablas 2-3 y 3-3, de igual manera con las Gráficas 14-3, 15-3, 16-3 y 17-3 respectivamente.

Las Figuras 310-3, 11-3, 12-3 y 13-3 nos dan una evidencia clara y visual de los niveles de emisión de NOx en el sector del Terminal Terrestres – Latacunga en base a los meses de monitoreo y de manera promedio, además de brindarnos una idea del comportamiento del contaminante en la atmósfera y cómo esté muestra sus puntos de emisión alrededor de la zona definida como el Terminal Terrestre de manera crítica, siendo el mismo identificado como un lugar con emisiones de NOx que sobrepasan los $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en base al ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA.

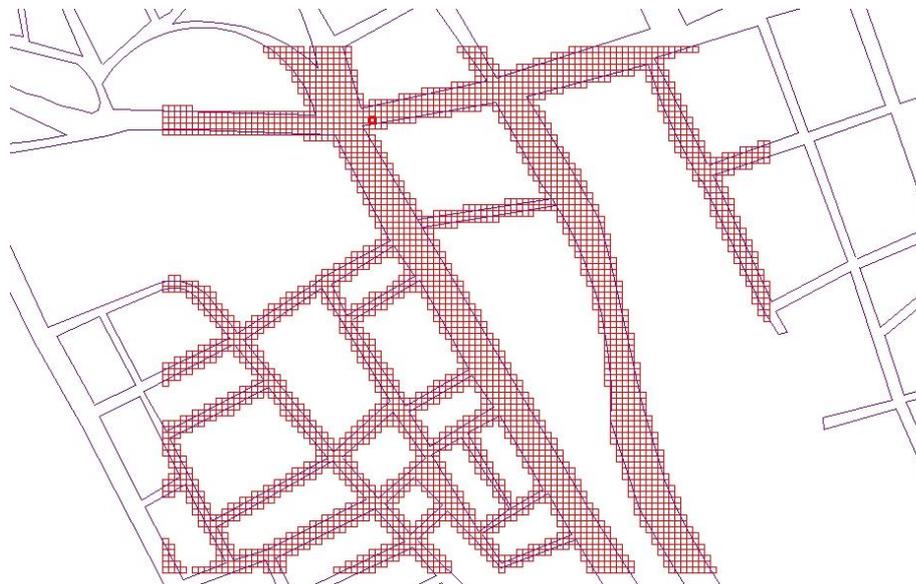


Figura 14-3: Mapa de ArcGIS, Malla de Emisiones Terminal Terrestre – Latacunga (Marzo - Mayo 2018).

Realizado por: Pardo, M; 2019.

En la figura 14-3 se muestra la malla de emisiones desarrollada en ArcGIS, la misma involucra las zonas de conflicto para los peatones, ya que en esta se centra nuestro trabajo de investigación, la malla fue desarrollada en base al trabajo descrito por Borge R denominado “Assessment of microscale spatio-temporal variation of air pollution at an urban hotspot in Madrid (Spain) through an extensive field campaign”. De este procedimiento se pudo obtener 3117 celdas con dimensiones de 5x5 m. Este valor se dividió para el número de peatones a partir de PTV Vissim y VisWalk que fue de 420000 personas dándonos como resultado la interacción de 135 personas.s en cada celda. El análisis de estos datos se determinó por la

multiplicación de este valor para los valores mínimos, máximos y promedios de concentración de NOx obtenidos por la malla como se representa en la Tabla 11-3 a continuación.

Tabla 11-3: Exposición Total

(Sector Terminal Terrestre Latacunga)

	Concentración	Exposición
Mínimo	89,00	11992
Máximo	254,97	34356
Promedio	119,69	16128

Realizado por: Pardo, M; 2019.

Los valores encontrados de exposición total descritos en la Tabla 11-3 en base a los analizados por Borge R. en su proyecto de investigación llamado “Assessment of microscale spatio-temporal variation of air pollution at an urban hotspot in Madrid (Spain) through an extensive field campaign” nos ayudan a entender que los niveles de exposición total permanecen entre moderados y bajos ya que se encuentran en rangos de 11922 y 34356 personas.s. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Borge R. describe rangos de 60000 y 1000000 personas.s. $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como exposiciones límite o medias, sin embargo debemos tomar en cuenta que las emisiones al ambiente sobrepasaron los niveles de concentración de NOx de acuerdo a la OMS y el ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA.

CONCLUSIONES

- Los niveles de concentración de NOx a la que se encuentran expuestas las personas que frecuentan el sector del “Terminal Terrestre - Latacunga” mediante los análisis y cálculos desarrollados nos dieron como resultado una Exposición Total entre los rangos de 11922 y 34356 personas.s. $\mu\text{g}/\text{m}^3$, teniendo como promedio 16128 personas.s. $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que mediante comparación en base a la investigación de Borge R. nos hace concluir que la exposición total para este sector se encuentra en niveles moderados y bajos.
- Mediante el monitoreo de los 40 puntos definidos en el Sector del Terminal Terrestre de Latacunga a partir de captadores pasivos por el periodo de 3 meses, de los cuales se muestreo una vez por semana, se pudo obtener los valores correspondientes a la concentración de NOx Ambiente en dicho sector, descritos en la Tabla 5-3, para la obtención de los mismos fue necesario usar la solución absorbente, reactivos de coloración y el espectrofotómetro UV existente en el laboratorio de investigación y detallados en la técnica, además del uso adecuado de las ecuaciones descritas por R. Borge y la curva de calibración para los cálculos de las mismas.
- Analizando el Sector del Terminal Terrestre- Latacunga en base a las emisiones obtenidas de NOx se pudo evidenciar el impacto ambiental que tiene el parque automotor en este lugar, los vehículos que tienen gran inferencia en las emisiones de NOx son los buses y transportes pesados, ya que los mismos usan diésel como combustible y esté al momento de ser destilado del petróleo presenta mayores cantidades de nitritos y sulfatos a diferencia de la gasolina, por lo que al momento de oxidarse el mismo genera mayores emisiones de NOx al ambiente, razón por la cual los puntos cercanos al terminal terrestre mostraron mayores niveles de concentración, sobrepasando la norma en su mayoría, despreciando las actividades antropogénicas en este lugar, teniendo en cuenta que este también tuvo incidencia en las emisiones NOx al ambiente cómo se pudo determinar en el punto de monitoreo 18 para las últimas 5 semanas de muestreo.
- En base a la norma para óxidos de nitrógeno (NOx) que es $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por día, según el ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA para la calidad del aire, los puntos de monitoreo 9, 10,

11, 12, 13, 14, 17, 18, 19, 26, 27, 28, 29, 30, y 31 sobrepasaron la norma cómo se detalló en las tablas, gráficas y figuras explicadas en el capítulo III de resultados, es inquietante la falta de información, estudios y prevenciones que se tiene a nivel nacional sobre la calidad del aire, permitiendo esta falta de investigación e información la exposición desprevenida a este tipo de contaminantes, sin tomar precauciones algunas e ignorando el impacto que las mismas pueden generar en nuestra salud, además en base a la guía para la calidad del aire de la OMS que define los parámetros de exposición a NOx en $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la media anual y $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la media de una hora, podemos definir que se sobrepasó este límite de exposición en el punto de monitoreo 18 con $252 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que resulta grave ya que en este punto estratégicamente se encuentra la entrada al Terminal Terrestre, la presencia del supermercado Santa María, paradas de buses y taxis y la presencia de comerciantes informales y de lugares de comida, los estudios realizados sobre la capacidad de respuesta bronquial en los asmáticos parecen indicar que aumenta con niveles superiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según Las Guías de calidad del aire de la OMS, lo que puede convertir al sector del Terminal Terrestre de Latacunga en un problema de Salud Pública.

- En base al estudio investigativo realizado en este proyecto de titulación se pudo observar que el Terminal Terrestre de Latacunga debe actualizar su parque automotor, respecto a los buses que ingresan o hacen uso del mismo, además de realizar controles constantes del estados de los vehículos y verificar la presencia de catalizadores en los mismos como primera instancia para reducir los niveles de emisión de NOx al ambiente, también se debe reubicar la presencia de comerciantes formales e informales en este sector y primordialmente se debe generar en los mismos una conciencia de cuidado hacia nuestra salud y el cuidado del ecosistema mediante capacitaciones y charlas infundidas por parte de las autoridades de control de la ciudad o provincia.

RECOMENDACIONES

- Es importante promover investigaciones de este tipo a nivel nacional sobre la calidad del aire para generar una base de datos representativa de los límites de contaminación a la que nos encontramos expuestos como personas.
- Es importante colocar los captadores pasivos en zonas que puedan pasar desapercibidos, ya que en ciertos sectores existen personas que son fines desconocidos retiraban los mismos y los dañaban
- Para realizar el conteo de personas y vehículos se recomienda usar cámaras o varios tipos de tecnología que nos ayuden a obtener información más real y eficiente de acuerdo a las necesidades de investigación que se tenga.
- Al momento de preparar los reactivos de coloración tomar en cuenta las temperaturas y niveles de agitación ya que a mayor temperatura y agitación de los mismos se tenía mejores resultados, sin embargo, no se debe exceder en el uso de temperaturas ya que el ácido acético tendía a evaporarse.
- Dar una charla o capacitación a las personas que se veían involucradas en este sector como son los comerciantes del lugar ya que los mismos al ignorar la investigación que se estaba realizando por temor e ignorancia solían retirar los captadores pasivos.
- Reforzar cátedras sobre el uso de softwares como PTV y ArcGIS para el desarrollo de trabajos de investigación de esta índole dentro de la malla curricular de nuestra carrera.

BIBLIOGRAFÍA

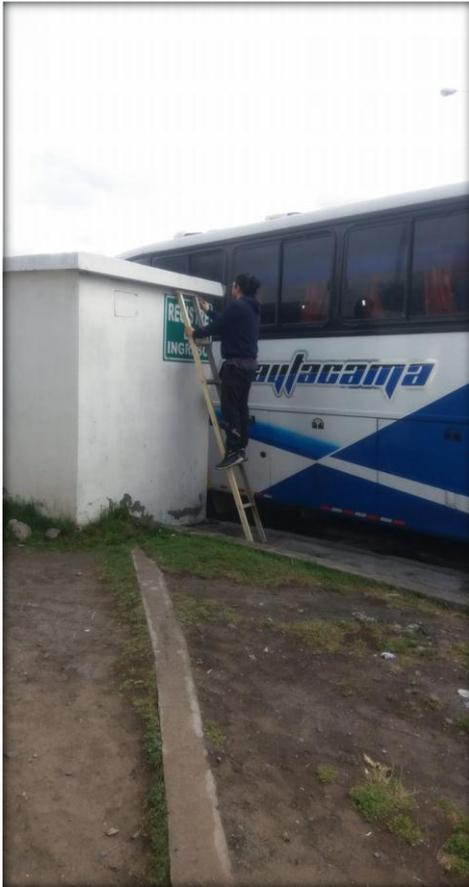
- ÁLVAREZ, M., DIEGO, F., & ROMERO, M.** (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana e Higiene y Epidemiología*, 44(2).
- ARÁNGUEZ; et al.** (1999). Contaminantes Atmosféricos y su vigilancia. *Rev. Esp. Salud Publica*, 73(2), 123-132.
- BOADA, M., & TOLEDO, V.** (2011). *El planeta, nuestro cuerpo*. (F. d. económico, Ed.) Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=LemgpM0SfPQC&dq=ozono+contaminante&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- BOADA, M., & TOLEDO, V.** (2014). *El planeta, nuestro cuerpo*. (E. F. económico, Ed.) Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=LemgpM0SfPQC&dq=ozono+contaminante&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- BORGE, R.** (30 de Mayo de 2915). *Experimental Campaign in a Heavily Trafficked Roundabout in Madrid for the Assessment of Air Quality Monitoring Station Representativeness in Terms of Population Exposure to NO2*. Obtenido de <https://dukekunshan.edu.cn/sites/default/files/u587/37.pdf>
- CANO, V., & DELGADO, J.** (2009). *Medida de contaminantes atmosféricos: Métodos Pasivos frente a Métodos Automáticos*. Obtenido de <http://www.upv.es/upl/U0455035.pdf>
- CARDELÚS, B., & GUIJARRO, T.** (2012). *El Gran Camino Inca*. Madrid: Cápac Ñan.
- CASAL, J., & MATEU, E.** (2003). Tipos de Muestreo. *Rev. Epidem. Med. Prev*, 1(1), 3-7.
- CIFUENTES, C.** (2014). *Validación del método para medir gases contaminantes (so2, no2 y o3) mediante captadores pasivos, incluyendo un análisis microbiológico de la calidad del aire, en una fábrica industrial*. (D. d. Escuela Superior Politécnica del Ejercito, Editor) Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8942>
- MINISTERIO ECOLÓGICA ESPAÑA,** (2017). *Emisiones y transferencia de residuos por encima de cero*. Recuperado el 11 de Febrero de 2019, de <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidados-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>

- ESTRUCPLAN.** (2015). *Transporte y Dispersión de Contaminantes en el Aire Ambiente*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2019, de <https://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-efluentes-liquidos-y-gaseosos/transporte-y-dispersion-de-contaminantes-en-el-aire-ambiental/>
- FERNÁNDEZ, R.** (2012). *Técnicas de Muestreo de Calidad de Aire*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/93674191/Tecnicas-de-Muestreo-de-Calidad-Del-Aire>
- GALÁN, D.** (2013). Química medioambiental. Metodología pasiva empleada para la toma de muestra de contaminantes atmosféricos. *Avances en Química*, 8(2), 2-3.
- GALLEGO, M.** (2012). *Contaminación atmosférica*. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=7xYvtMyRP7EC&dq=contaminación+atmosférica&hl=es&source=gbs_navlinks_s.
- GONZÁLEZ, T.** (2015). *Determinación de la calidad del aire en la Universidad Libre Seccional Bogotá - Sede Bosque Popular*. Obtenido de Universidad Libre Seccional Bogotá, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Ambiental (Bogotá-Colombia): <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/7951>
- INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.** (2012). *Motores de Combustión Interna*. Recuperado el 19 de Enero de 2019, de <https://www.monografias.com/trabajos94/motor-combustion-interna/motor-combustion-interna.shtml>
- JIMÉNEZ, I., & ROJAS, O.** (2012). Evaluación de un sistema de muestreo pasivo de CPVC para dióxido de nitrógeno en el aire. *Tecnología en Marcha*, 25(1), 44-55.
- MAZÓN, A.** (6 de Enero de 2016). *No a la Incineradora de Biomasa en Monzón*. Obtenido de <http://incineradoraenmonzonno.blogspot.com/2016/01/normal-0-21-false-false-false-es-x-none.html>
- LOZANO, C.** (2009). *Propuesta de un plan de control de la calidad del aire de Partículas*. Riobamba: ESPOCH, Facultad de Ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.
- MANRIQUE, A.** (2010). *Validación de los métodos espectrofotométricos para la determinación de SO_x y NO_x en muestras de aire*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/5439825/validacion-de-los-metodos-espectrofotometricos>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE.** (2010). *Plan Nacional de Calidad de Aire*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>

- MINISTERIO DEL AMBIENTE.** (2014). *Plan Nacional de Calidad de Aire*. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>
- PERIAGO, M. J.** (2008). *Determinación de nitritos en productos cárnicos*. Recuperado el 04 de Junio de 2017, de Departamento de Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología, Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia: <http://ocw.um.es/cc.-de-la-salud/higiene-inspeccion-y-control-alimentario-1/practicas1/practicas-carne-nitritos>
- PTV GROUP.** (s.f.). *Emissions Modelling*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2018, de <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/use-cases/emissions-modelling/>
- PUEBLA, C.** (Octubre de 2017). Recuperado el 14 de Enero de 2019, de <https://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/contaminacion/aire/>
- RAMÍREZ, T; et al.** (2001). Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión CORINAIR. *ACODAL*(191), 42-49.
- RAMÍREZ, V.** (2014). *Química General Serie Bachiller*. Recuperado el 21 de Diciembre de 2019, de https://books.google.com.ec/books?id=CqCEBgAAQBAJ&dq=SO2+CONTAMINANTE&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- RAMÍREZ, V.** (2016). *Química 2* (2 ed.). México: Patria.
- SKOOG, D.** (2001). *Química Analítica* (7 ed.). México: S.A de C.V.
- SUAREZ, J.** (2006). Estudio de la variación estacional de ozono troposférico y aerosoles del Perú relacionado a las quemas de vegetación en la Amazonía. *Mosaico Científico*, 3(2), 36-41.
- SWISSCONTACT.** (2001). *Manual de Laboratorio, Monitoreo del Aire*. Recuperado el 20 de Febrero de 2019, de <http://www.ingenieroambiental.com/Manual-laboratorio-analisis-aire.pdf>

ANEXOS

ANEXO A Colocación del captador pasivo en los puntos de monitoreo. a) Estacionamiento de los buses; b) Avenida cercana al terminal terrestre-Latacunga.



a)

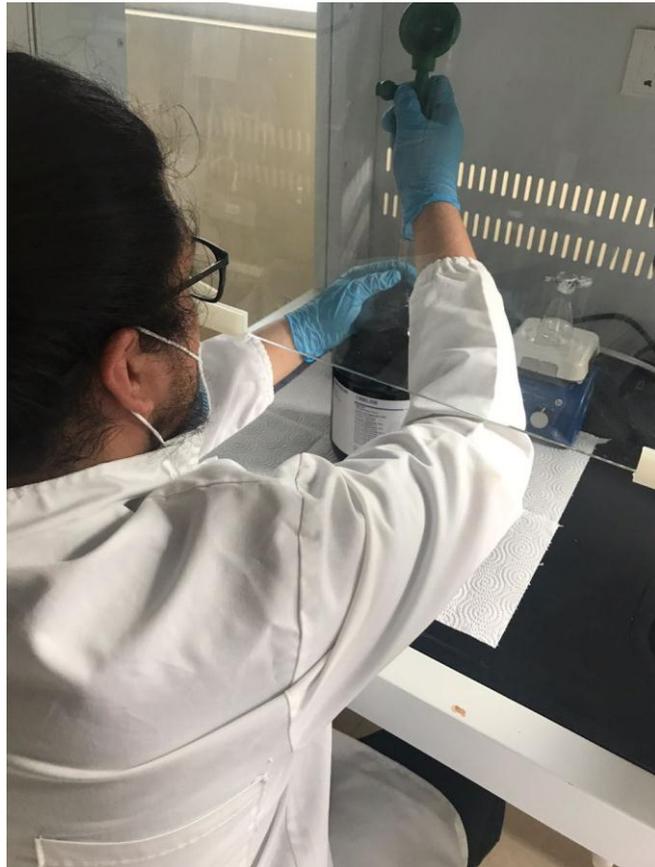


b)

ANEXO B Cambio del captador pasivo de los distintos puntos de monitoreo.



ANEXO C Preparación de reactivos colorantes con ácido acético.



ANEXO D Colocación del blanco en el espectrofotómetro, para análisis de absorbancia de Nitritos.



ANEXO E Retiro de los tubos, luego de la medición de la absorbancia.



ANEXO F Registro de datos obtenidos de la medición de absorbancia en el espectrofotómetro.

