



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE NO₂ GENERADAS POR EL CAMPO AUTOMOTOR EN EL SECTOR DEL TERMINAL TERRESTRE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”.

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: ROBERT PAÚL TÚQUERES JAQUE

TUTORA: ING. MARÍA RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI

Riobamba – Ecuador

2017

© 2017, Robert Paul Túqueres Jaque

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 de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo técnico: **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DE NO₂ GENERADAS POR EL CAMPO AUTOMOTOR EN EL SECTOR DEL TERMINAL TERRESTRE DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, de responsabilidad del señor egresado Robert Paul Túqueres Jaque, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. María Rafaela Viteri Uzcátegui, M.Sc

ASESORA DEL PROYECTO DE

TITULACIÓN

Ing. Diego Burbano

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Robert Paul Túqueres Jaque, 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, 29 de junio del 2017

Robert Paul Túqueres Jaque

C.I. 160046824-1

Yo, Robert Paul Túqueres Jaque, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ROBERT PAUL TÚQUERES JAQUE

C.I. 160046824-1

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por ser el pilar fundamental en mi vida y porque nunca perdieron la fe en mí; a mis amigos, porque siempre estuvieron brindándome su apoyo incondicional en este largo proceso.

Robert

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme una razón para levantarme día tras día. A mis padres, Enrique Túqueres y Elsa Jaque por el sacrificio que han hecho todos estos años para permitirme cumplir mis metas y porque a pesar de todas las adversidades siempre estuvieron ahí presentes para mí. También agradezco a mis amigos, por hacer de mi vida más emocionante y por estar siempre apoyándome y motivándome a seguir con este duro y arduo camino.

Robert

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|-----------------|---|
| NO ₂ | Dióxido de Nitrógeno |
| INEC | Instituto Nacional de Estadística y Censos |
| POCH | |
| SO ₂ | Dióxido de sulfuro |
| O | Oxígeno |
| UV | Ultravioleta |
| m | Masa de nitritos recogida por cada captador |
| μg | Microgramos |
| c'_t | Concentración del nitrito en el tubo |
| V | Volumen de los reactivos de color vertidos en cada tubo para la extracción. |
| C | Concentración ambiente medida |
| m | Cantidad del gas absorbido durante la exposición |

A= área transversal del tubo cilíndrico (m^2).

t= tiempo de exposición (s).

l= longitud del tubo (m).

D₁₂= coeficiente de difusión entre el NO₂ y el aire

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN..... | xix |
| SUMMARY | xix |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| CAPÍTULO I | |
| 1. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 1.1 Fuentes contaminantes del aire..... | 5 |
| 1.2 Motores de combustión..... | 6 |
| 1.2.1 Principio de funcionamiento y cinemática del motor..... | 6 |
| 1.2.2 Principal combustible generador de NO_x..... | 7 |
| 1.2.3 Técnica de muestreo | 8 |
| 1.2.3.1 Muestreo simple | 8 |
| 1.2.3.2 Muestreo aleatorio sistemático | 8 |
| 1.2.3.3 Muestreo aleatorio estratificado..... | 9 |
| 1.2.3.4 Muestreo por conglomerados | 9 |
| 1.2.3.5 Muestreo por unidades monetarias..... | 9 |
| 1.2.3.6 Otros tipos de muestreo | 10 |
| 1.2.4 Métodos de medición de la calidad del aire | 10 |
| 1.2.4.1 Muestreo Pasivo..... | 10 |
| 1.2.4.2 Muestreo Activo | 11 |
| 1.2.4.3 Métodos Automáticos..... | 12 |
| 1.2.4.4 Métodos Ópticos de Percepción Remota | 13 |
| 1.2.5 Variables meteorológicas..... | 13 |
| 1.2.5.1 Temperatura..... | 13 |
| 1.2.5.2 Radiación solar..... | 14 |
| 1.2.6 Óxidos de Nitrógeno (NO_x)..... | 14 |
| 1.2.6.1 Propiedades | 15 |

| | | |
|--------------------|--|----|
| 1.2.6.2 | <i>Fuentes</i> | 15 |
| 1.2.7 | <i>Enfermedades provocadas por NO_x</i> | 16 |
| 1.3 | Softwares utilizados en la generación de mapas | 16 |
| 1.3.1 | <i>ArcGis</i> | 16 |
| 1.3.2 | <i>PTV Vissim</i> | 17 |
| CAPITULO II | | |
| 2. | MARCO METODOLÓGICO | 18 |
| 2.1 | Localización del proyecto | 18 |
| 2.2 | Cuantificación de la muestra | 19 |
| 2.2.1 | <i>Selección de puntos de estudio</i> | 19 |
| 2.2.1.1 | <i>Método</i> | 19 |
| 2.3 | Procedimiento del estudio y análisis de emisiones de NO_x | 20 |
| 2.3.1 | <i>Conteo vehicular</i> | 20 |
| 2.3.1.1 | <i>Método</i> | 20 |
| 2.3.2 | <i>Preparación del líquido absorbedor</i> | 21 |
| 2.3.2.1 | <i>Materiales</i> | 21 |
| 2.3.2.2 | <i>Reactivos</i> | 21 |
| 2.3.2.3 | <i>Método</i> | 22 |
| 2.3.3 | <i>Técnicas de Recolección de muestras</i> | 22 |
| 2.3.3.1 | <i>Materiales</i> | 22 |
| 2.3.3.2 | <i>Método</i> | 22 |
| 2.3.4 | <i>Colocación de muestreadores</i> | 23 |
| 2.3.4.1 | <i>Método</i> | 23 |
| 2.3.5 | <i>Muestreo</i> | 23 |
| 2.3.5.1 | <i>Materiales</i> | 24 |
| 2.3.5.2 | <i>Sustancias</i> | 24 |
| 2.3.5.3 | <i>Método</i> | 24 |
| 2.3.6 | <i>Análisis de Datos</i> | 24 |
| 2.3.7 | <i>Preparación de los reactivos colorantes</i> | 25 |

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| 2.3.7.1 | <i>Materiales</i> | 25 |
| 2.3.7.2 | <i>Sustancias</i> | 25 |
| 2.3.7.3 | <i>Método</i> | 25 |
| 2.3.8 | <i>Coloración de las muestras</i> | 25 |
| 2.3.8.1 | <i>Materiales</i> | 25 |
| 2.3.8.2 | <i>Sustancias</i> | 26 |
| 2.3.8.3 | <i>Método</i> | 26 |
| 2.3.9 | <i>Medición de la absorbancia</i> | 26 |
| 2.3.9.1 | <i>Equipos</i> | 26 |
| 2.3.9.2 | <i>Método</i> | 26 |
| 2.3.10 | <i>Cálculo de la concentración:</i> | 27 |
| 2.3.11 | <i>Análisis de condiciones meteorológicas relacionadas con la concentración de NO₂</i> 29 | |
| 2.3.11.1 | <i>Temperatura</i> | 29 |
| 2.3.11.2 | <i>Heliofanía</i> | 29 |
| 2.3.11.3 | <i>Radiación</i> | 30 |
| 2.3.12 | <i>Análisis mediante mapas y simulaciones.</i> | 31 |
| 2.3.12.1 | <i>Construcción de base de datos</i> | 31 |
| 2.3.12.2 | <i>Mapa en ArcGIS</i> | 31 |
| 2.3.12.3 | <i>Simulación PTV Vissim</i> | 32 |
| 2.3.12.4 | <i>Mapa en EnViver</i> | 32 |
| CAPÍTULO III | | |
| 3. | MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ... | 33 |
| 3.1 | Análisis, interpretación y discusión de resultados | 33 |
| 3.1.1 | <i>Análisis del NO_x</i> | 33 |
| 3.1.1.1 | <i>Diferencias de concentraciones en los puntos de muestreo</i> | 34 |
| 3.2 | Simulación vehicular, PTV Vissim | 42 |
| 3.3 | Análisis y simulación de las concentraciones de NO₂ mediante la utilización de Enviver Enterprise y ArcGiss. | 46 |
| 3.3.1.1 | <i>Generación de mapas en Enviver Enterprise</i> | 46 |

| | | |
|---------|---|-----------|
| 3.3.1.2 | <i>Generación de mapa en ArcGiss.....</i> | 47 |
| 3.3.1.3 | <i>Comparación de mapas en el análisis de NO₂.....</i> | 48 |
| | CONCLUSIONES..... | 49 |
| | RECOMENDACIONES..... | 50 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Colocación de los tubos muestreadores a 3 metros del suelo.

ANEXO B Conteo vehicular en las principales calles de la zona de estudio.

ANEXO C Pesaje de alfa naftilamina y ácido sulfámico, para luego ser mezclados con ácido acético en la elaboración de los compuestos colorantes.

ANEXO D Líquido absorbedor listo para su colocación en puntos de muestreo.

ANEXO E Análisis de muestras de los puntos muestreados mediante técnica espectroscópica.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-1. Motor de combustión interna, generación de calor | 6 |
| Figura 2-1. Tubos de difusión para detección de nitrógeno y benceno..... | 10 |
| Figura 3-1. Equipo de muestreo activo de aire..... | 12 |
| Figura 4-1. Centro de monitoreo de emisiones vehiculares..... | 12 |
| Figura 5-1. Técnica espectroscópica para detección de contaminantes en aire | 13 |
| Figura 1-2. Georeferenciación del área de estudio, para el análisis de NO ₂ | 19 |
| Figura 1-3. Captura de imagen de simulación vehicular en software PTV Vissim | 46 |
| Figura 2-3. Mapa Enviver Enterprise, rutas de muestreo, puntos representativos | 47 |
| Figura 3-3. Mapa ArcGIS, puntos con mayor presencia de NO ₂ | 48 |
| Figura 4-3. Comparación simulaciones ArcGis y Enviver Enterprise concentración de NO ₂ | 48 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1-2. Curva de calibración estándar y valores de muestreo..... | 28 |
| Gráfico 1-3. Concentración máxima de NO _x (µg/m ³)..... | 35 |
| Gráfico 2-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 1. | 35 |
| Gráfico 3-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 2.. | 36 |
| Gráfico 4-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 3. | 36 |
| Gráfico 5-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 4.. | 37 |
| Gráfico 6-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 5.. | 38 |
| Gráfico 7-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 6.. | 38 |
| Gráfico 8-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 7.. | 39 |
| Gráfico 9-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 8.. | 40 |
| Gráfico 10-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 9.. | 40 |
| Gráfico 11-3. Concentración promedio de NO _x (µg/m ³), semana 10.. | 41 |
| Gráfico 12-3. Puntos de conteo vehicular..... | 42 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1-2 Coordenadas de puntos de muestreo terminal terrestre Riobamba..... | 20 |
| Tabla 2-2 Puntos de muestro vehicular. | 21 |
| Tabla 3-2 Concentración de absorbancia | 27 |
| Tabla 4-2 Datos de Heliofanía en semanas de estudio..... | 29 |
| Tabla 5-2 Datos de Temperatura y Radiación calculada en 10 semanas de estudios. | 30 |
| Tabla 1-3 Resultado de las concentraciones de NO ₂ | 33 |
| Tabla 2-3 Promedio del conteo vehicular del mes de mayo de 2016..... | 43 |
| Tabla 3-3 Promedio del conteo vehicular del mes de junio de 2016. | 44 |
| Tabla 4-3 Datos adicionales que presenta PTV Vissim | 46 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|---|----|
| Ec.1: Fórmula para el cálculo de nitritos.. | 27 |
| Ec.2: Fórmula para calculo de concentración ambiente de NO_x | 28 |
| Ec.3: Fórmula para calculo de la radiación solar promedio..... | 30 |

RESUMEN

El objetivo fue analizar las emisiones de Dióxido de Nitrógeno, generados por el campo automotor en el sector del Terminal Terrestre de la ciudad de Riobamba durante el segundo trimestre del año 2016. La zona de estudio fue el Terminal Terrestre de la ciudad de Riobamba y sus alrededores, debido a su gran flujo vehicular. Se utilizó tubos muestreadores que fueron colocados en los postes eléctricos a 3 metros sobre el suelo, los puntos fueron seleccionados aplicando la técnica del muestreo aleatorio simple. Los tubos muestreadores se encargan de recolectar el Dióxido de Nitrógeno emitido por los vehículos que transitan por la localidad. Después de retirar los tubos muestreadores, se llevaron al laboratorio a ser coloreados para luego ser puestos en el espectrofotómetro para calcular su absorbancia y por ende encontrar la concentración de Dióxido de Nitrógeno presente en las muestras. Los resultados obtenidos del estudio nos muestran valores de $215,3060451 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $206,2802582 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $182,1567912 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $187,0799478 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los cuales sobrepasan el límite permitido por la norma para Óxidos de Nitrógeno, que es $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por día según el TULSMA libro VI Anexo 4 Calidad del aire. El flujo vehicular fue analizado con el software de simulación vehicular PTV Vissim y los resultados se plasmaron en un mapa, para identificar las zonas con mayor índice de emisión de Dióxido de Nitrógeno. Se concluye que durante el segundo trimestre del año 2016, los valores de Dióxido de Nitrógeno sobrepasaron el límite permitido, puesto que en la zona de estudio se presenta un flujo vehicular continuo, haciendo que los vehículos tiendan a realizar paradas y arranques repentinos por la presencia de otros vehículos, emitiendo mayor cantidad de gases al ambiente. Se recomienda ampliar el monitoreo a un año para obtener resultados más precisos que los encontrados en este estudio.

PALABRAS CLAVE.- <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <MEDIO AMBIENTE>, <DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂)>, <CONTAMINACIÓN DEL AIRE>, <CALIDAD DE AIRE>, <EMISIONES DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO >, <FLUJO VEHICULAR>.

SUMMARY

The objective was to analyze the emissions of Nitrogen Dioxide, generated by the automotive field in the bus station area of the city of Riobamba during the second quarter of 2016. The study area was the bus station of the city of Riobamba and its surroundings, due to its great vehicular flow. Sampling tubes were used that were placed in the poles 3 meters above the ground, the points were selected applying the technique of simple random sampling. The sampling tubes are responsible for collecting Nitrogen Dioxide emitted by the vehicles that transit through the locality. After removing the samplers, they were taken to the laboratory to be colored and then placed in the spectrophotometer to calculate their absorbance and therefore to find the concentration of Nitrogen Dioxide present in the samples. The results obtained from the study show values of $215,3060451\mu\text{g}/\text{m}^3$, $206,2802582\mu\text{g}/\text{m}^3$, $182,1567912\mu\text{g}/\text{m}^3$ and $187,0799478\mu\text{g}/\text{m}^3$, which exceed the limit allowed by the standard for Nitrogen Oxides, which is $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ per day according to the TULSMA book VI Annex 4 Air Quality. The vehicle flow was analyzed with Vissim PTV vehicle simulation software and the results were plotted on a map to identify the areas with the highest emission index of Nitrogen Dioxide. It is concluded that during the second quarter of 2016, Nitrogen Dioxide values exceeded the permitted limit, since in the study zone there is a continuous vehicular flow, causing the vehicles to tend to make stops and sudden starts by the presence of other vehicles, emitting more gases to the environment. It is recommended to extend the monitoring to one year to obtain results more precise than those found in this study.

KEYWORDS: <ENVIROMENTAL ENGINEERING>, <ENVIROMENTAL>, <NITROGEN DIOXIDE (NO₂)>, <AIR CONTAMINATION>, <AIR POLLUTION>, <AIR QUALITY>, <NITROGEN DIOXIDE EMISSIONS>, <VEHICLE FLOW>.

INTRODUCCIÓN

Identificación del Problema

El uso de combustibles fósiles, la problemática del tráfico vehicular y las secuelas de la movilidad de las personas; nos convoca a estudiar estos asuntos, para determinar cuál es la concentración de NO₂ producido en una determinada área de estudio.

La contaminación del aire es uno de los aspectos menos estudiados o investigados en nuestro país, a pesar del incremento del campo vehicular no se han tomado las medidas pertinentes o el control necesario que este se merece, debido a los elevados costos que conlleva realizar este tipo de estudio. Los vehículos automotores propulsados por motores de combustión interna producen, en general, tres tipos de emisiones de gases contaminantes, las emisiones evaporativas, emisiones del ciclo de vida y las emisiones por el tubo de escape. Hay que tener en cuenta que el NO₂ afecta directamente a las personas que están en constante contacto, aumentando así las posibilidades de adquirir problemas respiratorios que podrían desencadenar en graves afecciones a la salud. (Puerto Martín & García Rodríguez, 1986)

En el año 2014 la Organización Mundial de la Salud fija el valor actual de 40 µg/m³ (de media anual) en las Directrices de la Organización Mundial de la Salud el cual fue diseñada para evitar que la población sufra de los efectos perjudiciales del NO₂ gaseoso en la salud, el cual no ha cambiado respecto al recomendado en las directrices anteriores. (Organización Mundial de la Salud, 2014)

Los óxidos de nitrógeno comprenden un factor muy importante en la formación del ozono troposférico debido a que este reacciona con los compuestos orgánicos volátiles, en presencia de radiación solar. Las emisiones de gran relevancia vienen de procesos de combustión interna, tal es el caso de los motores vehiculares y de la generación de energía eléctrica en las centrales térmicas. (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2014)

El tráfico vehicular provoca la generación de grandes cargas de contaminante hacia la atmósfera, estas emisiones son la principal causa de contaminación del aire a nivel nacional, esto se debe a que en el país todos los vehículos utilizan combustibles fósiles, generando contaminantes del mismo grupo, pero en diversas proporciones acorde al combustible y a las condiciones de combustión. (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2014)

En el año 2013, el INEC realiza un Anuario de Estadísticas de Transporte, en el cual se obtiene un total de 43.511 vehículos en la provincia de Chimborazo, de los cuales 40.541 vehículos son

particulares, 1.863 son de alquiler, 835 son del Estado y 272 vehículos son del Municipio de Riobamba. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2013)

Las emisiones causadas por la evaporación de combustible pueden ocurrir cuando el vehículo está estacionado y también cuando está en circulación; su magnitud depende de las características del vehículo, factores geográficos y meteorológicos, como la altura y la temperatura ambiente y, principalmente, de la presión de vapor del combustible. (Comisión Nacional del Medio Ambiente Chile, 2008)

La ciudad de Riobamba es una ciudad en constante crecimiento, y por ende existe un incremento continuo en el campo automotor, la cual se muestra en un estudio realizado en el año 2010, la misma que nos presenta una proyección que va desde el año 2001 en el que existe un índice de crecimiento del 4,32%, hasta el 2011 en el cual se muestra que para ese año la tasa de crecimiento del parque automotor era del 7,81%, el mismo que nos da a entender que este aspecto variara acorde al paso del tiempo, acrecentándose cada vez más, razón por la cual la hace el lugar idóneo para realizar una investigación sobre la calidad del aire, además cabe mencionar que en la ciudad y en la provincia existen estudios realizados en el 2008, mismos que no son útiles debido a que se necesitan datos actuales para la realización de este proyecto. (Masaquiza Yanzapanta & Vizuete Palacios, 2012)

Justificación del proyecto

El gas que será objeto de estudio en esta investigación será el NO₂, debido a que por sus características, se puede decir que este gas es uno de los precursores de la generación de ozono troposférico, por lo tanto a través de esta investigación se tratará de localizar los puntos calientes, los cuales son indicadores de que existe mayor producción o generación de NO₂, la misma que a su vez significaría la generación de ozono troposférico en mayor cantidad, por parte del NO₂ emitido por los automotores. (Puerto Martín & García Rodríguez, 1986)

El Ministerio del Ambiente del Ecuador en el 2014 realizó un inventario de emisiones, tomando como año base el 2010, en el cual se usa el término “óxidos de nitrógeno” para referirse a la suma de NO y NO₂, y a otros óxidos formados por este elemento, que se encuentran en menor cantidad.

A través de esta investigación se trata de obtener datos significativos acerca de la producción de NO₂ y su relación con la temperatura y radiación, en la formación de puntos calientes, los mismos que están estrechamente relacionados con la producción de ozono estratosférico. Por lo tanto un estudio de esta magnitud en la ciudad de Riobamba es muy útil, para obtener datos que servirán a futuras investigaciones o para desarrollar la normativa de la ciudad que ayude a controlar estas

emisiones, sin dejar de lado la eficiencia de este método en comparación con otros métodos más costosos. (Borge, et al., 2015)

Beneficiarios directos e indirectos

Este proyecto va encaminado al beneficio de toda la población de la ciudad de Riobamba, puesto que los datos proporcionados por estudios del Ministerio del Ambiente son limitados, permitiendo de esta manera tener una visión clara de la calidad del aire que posee la ciudad, incentivando a realizar investigaciones profundas en cuanto al tema, las concentraciones de NO_x y NO₂ serán analizadas utilizando muestreo pasivo el mismo que tiene como ventajas su efectividad y bajo costo, aprovechando el flujo normal de aire, además se podrá generar simulaciones vehiculares y mapas que representan los puntos con mayor concentración de óxidos de nitrógeno.

Antecedentes de la investigación

En la ciudad de Cuenca se ha adaptado un sistema para medir la calidad del aire existente, y buscar las principales fuentes de emisión. La tecnología utilizada es el monitoreo pasivo, el mismo que ha sido utilizado en Cochabamba (Bolivia) por más de 8 años, se plantea que al aumentar el parque automotor de la ciudad, la calidad del aire que se respira en la ciudad de Cuenca ha disminuido. Estos análisis tienen el aval del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca. (Barros Andrade & Quezada Méndez, 2006)

El muestreo se realiza con la ayuda de tubos de palmes, que son tubos de vidrio o de plástico que se encuentran abiertos por sus dos extremos. En uno de los extremos se coloca una malla metálica en la que se fijara el NO₂ existente en las emisiones producidas por los vehículos que transiten por los puntos de monitoreo.

La diferencia existente entre las investigaciones es que, una trata solo de determinar cuál es la calidad del aire que existe en la ciudad de Cuenca y cómo esto afecta a la población, además que utiliza un método poco utilizado en el país; mientras que lo propuesto en este estudio es innovador, debido a que se trata de encontrar una relación entre temperatura y emisiones de origen vehicular con la formación de hot spots.

Se utiliza una metodología diferente ya que no se utilizó tubos de palmes, sino que se usó tubos de difusión en los que se encuentra el líquido absorbedor, el cual gracias a la fuerza de gravedad permite que se deposite en su interior el NO₂ emitido por los escapes de los diversos vehículos que transitan por esta zona, además de contar con softwares útiles para simulaciones y generación de mapas, que asienten tener resultados claros de la actual situación de la calidad del aire en un sector determinado.

Objetivos del proyecto

Objetivo General

Analizar las emisiones de NO₂ generadas por el campo automotor en el sector del terminal terrestre de la ciudad de Riobamba durante el segundo trimestre del año 2016.

Objetivos Específicos

- Cuantificar mediante indicadores pasivos la contaminación producida por los automotores en el sector del Terminal Terrestre de la ciudad de Riobamba.
- Aplicar el software VISSIM® para realizar una simulación del tráfico vehicular en el área de estudio.
- Realizar mapas mediante el software ArcGIS® en el cual se permita combinar las emisiones de NO₂ con respecto a las variables meteorológicas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Fuentes contaminantes del aire

Los contaminantes del aire se originan en dos fuentes, las naturales y las antropogénicas. Normalmente el aire lleva consigo contaminantes naturales tales como el polen, el moho, esporas, levaduras, bacterias y hongos, además se debe tomar en cuenta los incendios forestales, las erupciones volcánicas, sequías y los fuertes vientos, que producen grandes cantidades de humo, aerosoles, material particulado y otros contaminantes que luego incorporando al aire. (Etza & Jean G. French, 2000)

Las condiciones meteorológicas adversas también pueden causar acumulación de contaminantes del aire. Una de las condiciones adversas son las bajas velocidades que pueden llegar a tener los vientos, provocando que los contaminantes no se dispersen. Otro inconveniente es la inversión térmica, la cual se da en la superficie terrestre o no muy lejos de la misma, y es ocasionada cuando el aire es más fresco que en la capa aérea inmediatamente superior. (Servicio Evaluación de la Calidad y Control Ambiental, 2014)

A pesar de estos antecedentes, la contaminación de origen natural es mínima a comparación de los efectos producidos por contaminantes que se encuentran relacionados con la actividad humana. Las principales fuentes de contaminación antropogénica incluyen la quema de combustible fósil. En fuentes estacionarias está la quema del carbón, emisiones de fundiciones, plantas de acero y otras empresas manufactureras, mientras que en las fuentes móviles están los autos, camiones, motos y aviones. (Gonzalez, 2012)

El Dióxido de Sulfuro, el Dióxido de Nitrógeno y el Monóxido de Carbono, constituyen los principales contaminantes que son emitidos por las fuentes de mencionadas anteriormente, además de que existen otros contaminantes como el ozono, partículas en suspensión, aerosoles y metales pesados. (Sánchez, et al., 2015)

Existe una gran concentración de contaminantes en el aire en aquellas zonas en donde se produce con frecuencia inversión térmica y existen vientos lentos. El problema se incrementa en lugares donde el paso del aire es restringido, tal es el caso de las montañas y colinas. (Etza & Jean G. French, 2000)

1.2 Motores de combustión

1.3 Principio de funcionamiento y cinemática del motor

Un motor de combustión interna entra en funcionamiento, cuando dentro de un cilindro se quema una mezcla comprimida de aire y combustible, con la finalidad de incrementar la presión para generar la potencia necesaria que permita al pistón realizar un movimiento lineal alternativo. (Molina, 2015)

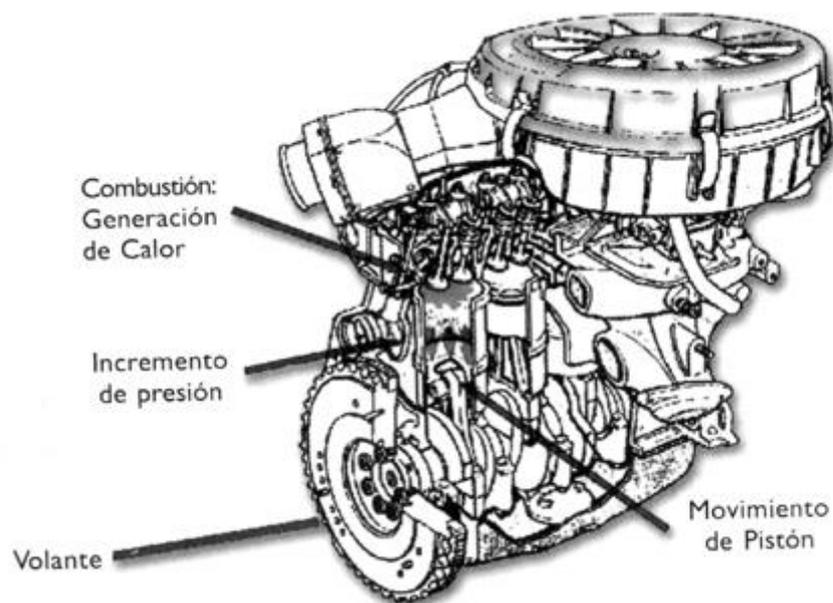


Figura 1-1: Motor de combustión interna, generación de calor.

Fuente: (Molina, 2015)

A través del proceso de combustión que se desarrolla dentro del cilindro, la energía química que se encuentra contenida en el combustible se convierte en energía calórica, parte de la cual se convierte en energía cinética, misma que sirve para el movimiento de las ruedas propulsoras; la otra parte es disipada a través del sistema de refrigeración y el sistema de escape. (Molina, 2015)

La mayoría de los motores de combustión interna trabajan en base a un ciclo de cuatro tiempos, del cual el principio es el ciclo termodinámico de Otto que usa como combustible a la gasolina o el gas, y el ciclo termodinámico de diésel. La eficacia se fundamenta en la variación de la temperatura tanto en el proceso de compresión isentrópico 1, como en el calentamiento a volumen o presión constante. (Mier, 2007)

El ciclo reside en dos carreras ascendentes y dos descendentes realizadas por el pistón, recibiendo el nombre de la acción que realiza en el preciso instante:

- Admisión Compresión
- Combustión – Expansión
- Escape

1.3.1 Principal combustible generador de NOx

Según estudios realizados para el Institut de Ciències de la Terra Jaume Almera sobre “Calidad del aire urbano, salud y tráfico rodado”, se llegó a la conclusión de que los vehículos que usan diésel como combustible, resultan ser cuatro veces más contaminantes que aquellos vehículos que usan gasolina. (López, 2010)

Es cierto que los motores que usan diésel consumen menor cantidad de combustible, pero generan una contaminación 4 veces mayor, esto se debe a que este combustible emite niveles muy altos de dióxido de nitrógeno (NO₂) y partículas en suspensión, los cuales son dos de los principales contaminantes del aire, además de que este tipo de contaminantes resulta ser muy nocivo, también resulta ser más pesado y caen antes al suelo. (Fernandez, 2010)

El estudio nos muestra también que todos los vehículos que tienen motores diésel que fueron construidos antes y después del inicio de los 90, presentan importantes diferencias como el hecho

de que en los motores antiguos se realizaba una mezcla aire-combustible y los nuevos motores constan con inyectores que se van a encargar de pulverizar el combustible, disminuyendo las emisiones. De toda la energía química en la gasolina, sólo el 15 % se convierte en potencia mecánica en cuanto a emisiones, esto se debe a que se han aplicado nuevas tecnologías en los motores, además de que los combustibles se han ido refinando con el pasar del tiempo, para que sean aprovechados de mejor manera. (Cano, 2014) (López, 2010)

En este sentido, los avances en la tecnología aplicada a la mecánica ha permitido reducir de gran manera las emisiones, pero a pesar de este progreso, el 10% del parque en circulación aún genera el 40% de las emisiones contaminantes derivadas del tráfico rodado. (Cano, 2014)

1.3.2 Técnica de muestreo

1.3.2.1 Muestreo simple

El muestreo es aleatorio, cuando se garantiza que en el proceso de clasificación de la muestra todas las muestras de la población siempre y cuando en el proceso de clasificación de la muestra se garanticen que todas las muestras posibles de la población tengan la misma posibilidad de ser elegidas para formar parte de la muestra. Se dice que se realiza un muestreo aleatorio, cuando se elige un elemento con el cual se mide las variables que son necesarias para el estudio y aun así el elemento puede nuevamente ser seleccionado. Esto recibe el nombre de muestreo aleatorio simple. (Puerto Albandoz & Lagares Barreiro, 2001)

1.3.2.2 Muestreo aleatorio sistemático

Esta técnica consiste en extraer elementos de la población mediante una regla sistematizadora que se ha creado con anterioridad. Una vez que se termina de enumerar la población, se elige de forma aleatoria un primer elemento que se usará como base, del cual se partirá, para luego aplicar la regla con la que se conseguirá el resto de elementos hasta conseguir el tamaño muestral adecuado. (Comisión Nacional del Medio Ambiente Chile, 2008)

1.3.2.3 Muestreo aleatorio estratificado

En este muestreo se considera categorías típicas que difieren entre sí, pero que a su vez poseen una gran semejanza interna, sin embargo estos tienden a ser heterogéneos entre sí es decir que existe mucha varianza entre los estratos. La muestra es distribuida entre los diversos estratos predeterminados según cual sea la naturaleza de la población. Se denomina afijación cuando existe una distribución-reparto de la muestra, y esta puede ser de distintas formas:

- Afijación simple: cuando a cada estrato le corresponde igual número de elementos muestrales.
- Afijación proporcional: se da cuando la distribución se hace de acuerdo al peso relativo de cada estrato.
- Afijación óptima: en esta se tiene en cuenta la previsible dispersión de los resultados, de modo que se considera la proporción y la desviación típica. (IESA, 2009)

1.3.2.4 Muestreo por conglomerados

La unidad muestral es un conjunto de elementos propios de una población que forman una unidad de comportamiento específica. Dicha unidad muestra el comportamiento interno y puede ser muy disgregado pero posiblemente poseerá un comportamiento muy parecido a otras unidades muestrales. Las unidades muestrales son estudiadas a fondo hasta construir el tamaño muestral necesario. (Cheung, 2009)

1.3.2.5 Muestreo por unidades monetarias

Este muestreo es propio de una auditoría, trata de dar solución a la problemática planteada por la selección aleatoria de partidas contables que cuentan con diferente monto económico y por ende en un muestreo estrictamente aleatorio se "primaría" la revisión de numerosas partidas pequeñas que resultan ser irrelevantes, dejando sin la debida revisión a las importantes y cuantiosas. Para remediar este problema, se planteó la selección aleatoria de unidades monetarias

de tal forma que el problema anterior es corregido al tener una partida cuantiosa con más posibilidades de ser seleccionada, ya que contaría con más unidades monetarias. (Cheung, 2009)

1.3.2.6 Otros tipos de muestreo

Existen otros tipo de muestreo como las no aleatorias: Cuotas, Intencional, Incidental, bola de nieve, etc. Y otras aleatorias y complejas como el muestreo por superpoblaciones. (Universitat de Valencia, 2000)

1.3.3 Métodos de medición de la calidad del aire

Para medir la contaminación del aire se utilizan una gran variedad de métodos, ya sean químicos simples o métodos que usan diversas técnicas electrónicas que resultan ser sofisticadas.

1.3.3.1 Muestreo Pasivo

Son métodos confiables, efectivos y de bajo costo. Son buenos indicadores de la concentración promedio de la contaminación del aire, además que pueden ser usados en un punto de muestreo durante semanas hasta meses. Se le denomina pasivo porque no usan sistemas de bombeo, se utiliza el flujo normal del aire. La técnica más usada es la de los tubos difusión en la detección de óxidos de nitrógeno y benceno, aunque también se emplean con varios tipos de absorbentes para detectar un amplio rango de contaminantes orgánicos e inorgánicos. (Sumano, 2008)



Figura 2-1: Tubos de difusión para detección de nitrógeno y benceno.

Fuente: (Air Quality and Pollution Control, 2012)

Los dispositivos pasivos de muestreo se manejan bajo principios de adsorción e impregnación, sujetando físicamente a los compuestos determinados que son de interés. Los agentes contaminantes que se están muestreando, tienden a propagarse o a impregnarse a través de una membrana semipermeable, que luego será recogida en un filtro que previamente ha sido tratada químicamente para adsorber los compuestos que son de interés en la investigación. Luego de ser expuesta la muestra, es llevada al laboratorio para ser analiza y medir la cantidad del compuesto de interés que ha sido recogido. Se calcula la concentración promedio que tiene como base la duración de la. (AGAT Laboratorios, 2013)

Las particularidades de la captación pasiva hacen que la utilización de estos dispositivos resulte muy ventajosa en los casos en el que importan muestras promediadas durante un tiempo prolongado de una a varias horas. (Bartual, 2014)

Ventajas del muestreo pasivo

La toma de muestras con captadores pasivos presenta algunas características ventajosas, tales como:

- a) La sencillez operativa del sistema y su mínima necesidad de mano de obra.
- b) La facilidad de su empleo debido a que no es necesario realizar actividades de mantenimiento y calibración de bombas de aire.
- c) Ventaja de utilizar durante tiempos de muestreo prolongados.
- d) Poca posibilidad de que exista errores personales.
- e) La confiabilidad del método resulta ser aceptable. (Bartual, 2014)

1.3.3.2 Muestreo Activo

Este tipo de muestreo se diferencia del muestreo pasivo debido a que bombea un volumen conocido de aire a través de un colector por un periodo de tiempo determinado. Una vez terminado el bombeo, el colector es retirado para luego ser llevado al laboratorio a realizar su respectivo análisis. (Sumano, 2008)

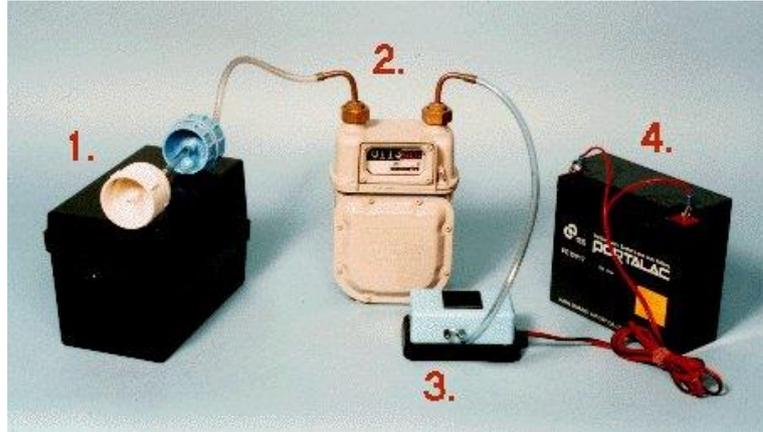


Figura 3-1: Equipo de muestreo activo de aire.

Fuente: (Instituto Nacional de Ecología, 2013)

1.3.3.3 Métodos Automáticos

Se caracteriza por la alta precisión en cuanto a mediciones se refiere, debido a que permite un monitoreo continuo y también porque el sistema nos da las lecturas de las concentraciones de manera automática y en tiempo real. Este método permite determinar desde los contaminantes de criterio, hasta tóxicos en el aire como el plomo y los compuestos orgánicos volátiles. (Sumano, 2008)



Figura 4-1: Centro de monitoreo de emisiones vehiculares.

Fuente: ([http://image.slidesharecdn.com/contaminacion-aire, s.f.\)](http://image.slidesharecdn.com/contaminacion-aire, s.f.))

1.3.3.4 Métodos Ópticos de Percepción Remota

Estos métodos usan técnicas espectroscópicas, con lo que hacen posible realizar mediciones en tiempo real de la concentración de un buen número de contaminantes. (Sumano, 2008)

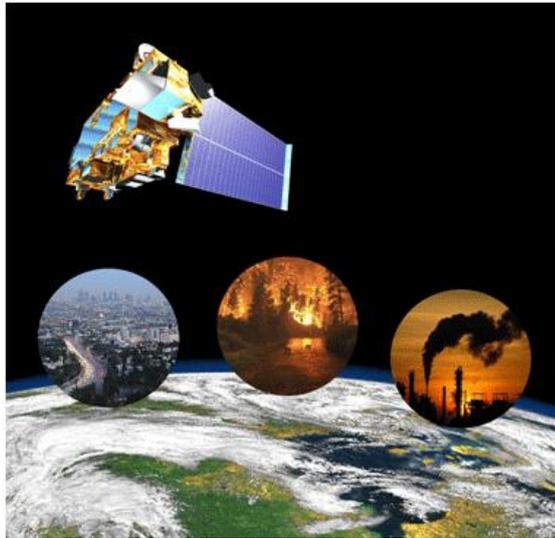


Figura 5-1: Técnica espectroscópica para detección de contaminantes en aire.

Fuente: (Earth Observatory, 2005)

Algunas aplicaciones clave de la 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

1.3.4 Variables meteorológicas

1.3.4.1 Temperatura

Es la medida utilizada para cuantificar la energía cinética promedio existente en las partículas de la materia. En pocas palabras, se puede decir que la temperatura se encuentra relacionada con la rapidez de las partículas que conforman la materia, es decir que mientras más agitadas se

presenten las partículas de la materia, mayor será la temperatura. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2013)

1.3.4.2 Radiación solar

Es la energía que es liberada por el sol hacia la tierra, viajando por el espacio en forma de ondas, que llevan consigo una determinada cantidad de energía. Se puede decir que acorde a la cantidad de energía que lleven las ondas, estas tendrán su clasificación en el espectro electromagnético, por lo tanto se dice que si una onda está cargada con mucha energía, su lugar en la clasificación correspondería al rango del ultravioleta, mientras la cantidad de energía es menor, podría pertenecer al rango de luz visible, seguido de la infrarroja y así sucesivamente hasta llegar a las menos energéticas que pertenecen a las conocidas como ondas de radio. (Universidad Nacional Autónoma de México, 2013)

1.3.5 Óxidos de Nitrógeno (NO_x)

Se denomina óxidos de nitrógeno a los compuestos químicos gaseosos que se originan por la mezcla de óxido y nitrógeno. Acorde a la valencia atómica que utilice el nitrógeno, los compuestos toman diversos nombres y formulaciones, siendo el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) los que sobresalen, esto se debe a que estos compuestos son considerados los mayores contaminantes del aire, a los cuales se los denomina como NO_x. (European Chemicals Agency, 2016)

El monóxido de nitrógeno es un gas incoloro y poco soluble en agua, se halla presente en pequeñas cantidades en los mamíferos. (European Chemicals Agency, 2016)

El óxido de nitrógeno (NO₂) se trata de un agente tóxico, no inflamable, soluble en agua y de color pardo-rojizo. Otros óxidos de nitrógeno que se hallan presentes en la atmosfera son el óxido nitroso, trióxido de dinitrógeno y pentóxido de dinitrógeno. (European Chemicals Agency, 2016)

1.3.5.1 Propiedades

El estado de oxidación del nitrógeno otorga diversas propiedades químicas a los diversos óxidos.

El NO₂ es un agente oxidante de gran potencia, tiende a comportarse como comburente frente a diversos combustibles, se disuelve en varios compuestos orgánicos y al mezclarse con el agua reacciona formando mezclas de ácidos nítrico y nitroso. Al encontrarse a elevadas temperaturas, tiende a descomponerse en NO y O, lo cual hace probable que reaccione de forma violenta con compuestos tales como el boro, óxido de cloro, hidrocarburos, fosfina, oleofinas, nitrobenceno, amoníaco, sulfuro de carbono, hidrocarburos halogenados, entre otros. (Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra, 2014)

El NO además de ser uno de los principales contaminantes de la atmósfera, tiene varias propiedades que van desde el biológico hasta el industrial. Se dice que el cuerpo produce pequeñas cantidades de NO, el cual tiene un papel importante en procesos de supervivencia de los organismos, tales como la regulación de la presión sanguínea, el desarrollo del sistema nervioso central, la transmisión nerviosa en los procesos de aprendizaje y memoria, y la activación de la respuesta inmune. En el campo industrial el NO sirve como conservante. (Gobierno de Navarra, 2008)

1.3.5.2 Fuentes

Los óxidos de nitrógeno se producen de forma natural durante la descomposición bacteriana de los nitratos orgánicos, la combustión vegetal, las tormentas eléctricas, las erupciones volcánicas, etc. (Galán, 2006)

Otra fuente generadora de óxidos de nitrógeno son las actividades humanas, entre ellas las emisiones realizadas por diversos vehículos motorizados, en especial los que usan como combustible al diésel, ya que este es un combustible que genera óxidos de nitrógeno 4 veces más que un motor a gasolina. (Galán, 2006)

Otras actividades humanas que generan óxidos de nitrógeno son procesos tales como la galvanoplastia, detonación de dinamita, combustión de carbón, combustión de petróleo y gas natural. (Gobierno de Navarra, 2008)

1.3.6 Enfermedades provocadas por NO_x

La población está constantemente expuesta a los óxidos de nitrógeno debido a que estos son respirados junto al aire, las personas que viven cerca a áreas donde hay una alta concentración de vehículos motorizados, puede estar expuesta a niveles más altos de óxidos de nitrógeno. (European Chemicals Agency, 2016)

El NO₂ y el NO, sobresalen de entre todos los óxidos de nitrógeno, debido a su grado de toxicidad, de los cuales el NO₂ resulta ser el más nocivo.

Muchos estudios epidemiológicos, indican que una constante exposición a NO₂ podría causar graves afecciones en las vías respiratorias y pulmones, provocando una reducción en la capacidad pulmonar además de cambios irreversibles en la estructura y un aumento en la sensibilidad a los alérgenos. (Galán, 2006)

Las bajas concentraciones de óxidos de nitrógeno en el aire pueden ocasionar irritación en los ojos, la nariz, la garganta y los pulmones, pudiendo ocasionar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náuseas, también se puede producir una acumulación de líquido en los pulmones; mientras que una exposición a altas concentraciones de óxidos de nitrógeno pueden producir severas quemaduras, espasmos y dilatación en los tejidos de la garganta y las vías respiratorias superiores, de esta forma reduciendo la oxigenación de los tejidos en el cuerpo, lo cual podría provocar la muerte. (Gobierno de Navarra, 2008)

1.4 Softwares utilizados en la generación de mapas

1.4.1 ArcGis

ArcGis comprende una serie de aplicaciones, que utilizadas en conjunto, permiten realizar funciones que alimentan y administran un sistema de información geográfica (SIG), desde

creación de mapas, manejo y análisis de información, edición de datos, metadatos y publicación de mapas en la Internet. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2012)

Consulta los datos de patrones de tráfico, demográficos, de clientes y competitivos de una forma completamente nueva con mapas fáciles de leer y paneles intuitivos en tiempo real. ArcGIS te proporciona la capacidad de realizar análisis de datos, selección de sitios, optimización de rutas y modelado predictivo avanzado. (Environmental Systems Research Institute, Inc., 2015)

1.4.2 PTV Vissim

Con 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 plan de semaforización. PTV Vissim, como software líder mundial para la simulación microescala 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. (PTV GROUP, 2014)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Localización del proyecto

El Terminal Terrestre de la ciudad de Riobamba, representa el punto de afluencia idóneo para el estudio, debido a que se localiza en un sector céntrico de la ciudad, está constituido por vías principales con la Av. La Prensa, Av. Canónigo Ramos y Av. Daniel León Borja, las mismas que permiten el paso del transporte público, urbano e interprovincial; asimismo se consideran condiciones como la altitud de la ciudad y la influencia de la radiación solar y vehicular.

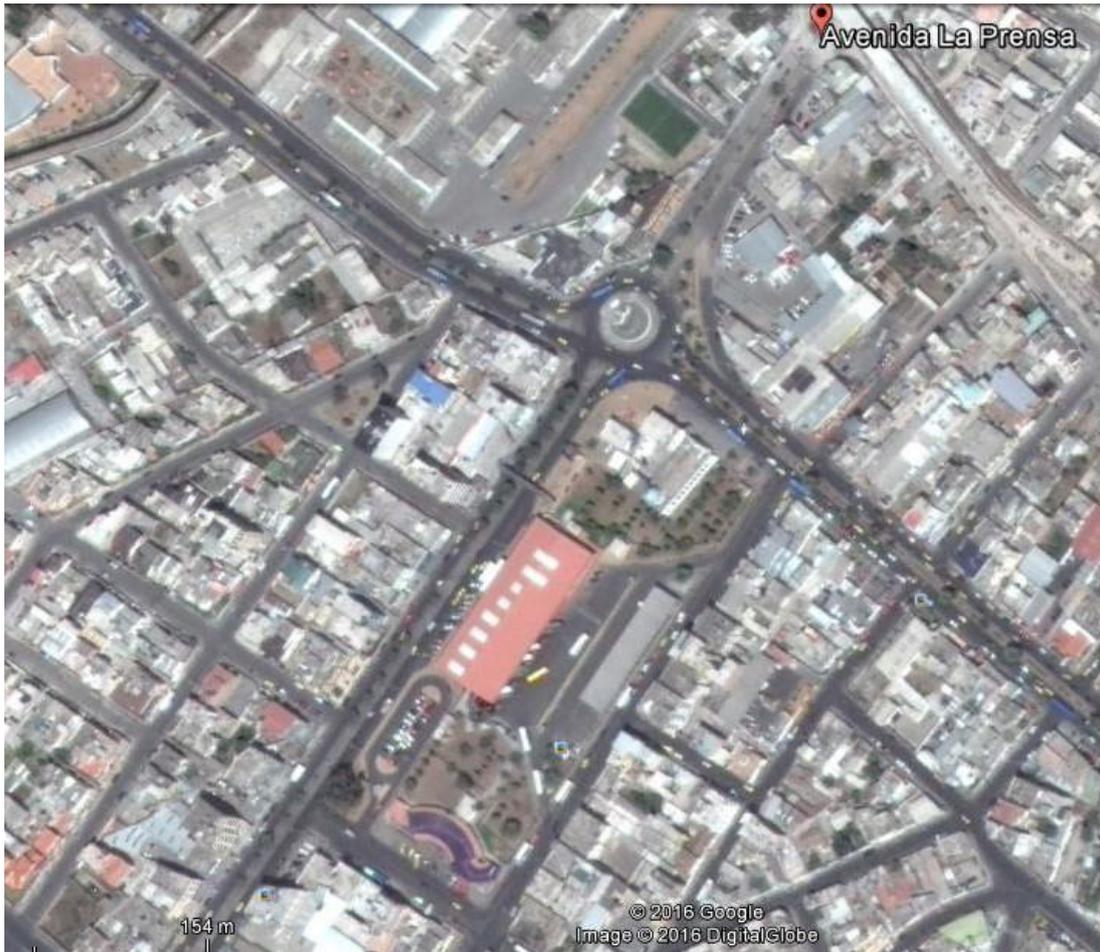


Figura 1-2: Georreferenciación del área de estudio, para el análisis de NO₂.

Realizado por: Túqueres, R, 2016

2.2 Cuantificación de la muestra

2.2.1 Selección de puntos de estudio

2.2.1.1 Método

Para seleccionar los puntos de estudio, se utilizó el muestreo aleatorio simple, el cual consiste en delimitar puntos al azar de una lista predeterminada.

Los datos de temperatura se obtendrán de la estación meteorológica ubicada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La ventaja de la técnica, es que cuenta con diversos paquetes informáticos, que sirven para realizar el cálculo y encontrar la relación con las concentraciones de contaminantes, temperaturas, y los puntos calientes en determinadas zonas del área a estudiar.

Tabla 1-2: Coordenadas de puntos de muestreo terminal terrestre Riobamba.

| PUNTOS | X | Y | PUNTOS | X | Y |
|---------------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| 1 | 760025 | 9816204 | 17 | 7599934 | 9816049 |
| 2 | 760008 | 9816200 | 18 | 759870 | 9815965 |
| 3 | 760005 | 9816175 | 19 | 759882 | 9815956 |
| 4 | 760032 | 9816184 | 20 | 759965 | 9815915 |
| 5 | 760060 | 9816160 | 21 | 760024 | 9816005 |
| 6 | 760045 | 9816199 | 22 | 760088 | 9816103 |
| 7 | 760052 | 9816205 | 23 | 760084 | 9816141 |
| 8 | 760078 | 9816261 | 24 | 760117 | 9816112 |
| 9 | 760109 | 9816343 | 25 | 760171 | 9816062 |
| 10 | 760127 | 9816339 | 26 | 760180 | 9816074 |
| 11 | 760065 | 9816270 | 27 | 760245 | 9816178 |
| 12 | 759964 | 9816204 | 28 | 760217 | 9816214 |
| 13 | 759893 | 9816248 | 29 | 760059 | 9816176 |
| 14 | 759851 | 9816283 | 30 | 759798 | 9816256 |
| 15 | 759993 | 9816145 | 31 | 759895 | 9816112 |
| 16 | 759995 | 9816144 | 32 | 760094 | 9815954 |

Realizado por: Túqueres, R, 2017

2.3 Procedimiento del estudio y análisis de emisiones de NO_x

2.3.1 Conteo vehicular

2.3.1.1 Método

- Para la contabilización de los vehículos, se seleccionaron diversos puntos de muestreo en los alrededores del Terminal Terrestre.
- Se realizó un conteo de los vehículos que transitaban por la zona.
- Los vehículos fueron clasificados en: automóviles, buses y camiones.

- Se realizó el conteo en cada punto durante una hora, tres veces al día, de 07:00 – 08:00, 13:00 – 14:00 y 16:30 – 17:30, respectivamente durante 10 semanas (revisar Anexo II).
- Los datos adquiridos del conteo fueron tabulados para determinar el número de vehículos que habían transitado durante el periodo de 10 semanas. En la Tabla 2-2 se observan las coordenadas de los puntos de muestreo empleados para el estudio. (Manrique Carvajal & Ossa Morales, 2010)

Tabla 2-2: Puntos de muestro vehicular

| PUNTOS DE MUESTRO VEHICULAR | | |
|--|----------|----------|
| PUNTOS | X | Y |
| 1 | 759974 | 9816077 |
| 2 | 760018 | 9816163 |
| 3 | 760067 | 9816265 |
| 4 | 759957 | 9816216 |
| 5 | 760081 | 9816155 |
| 6 | 759937 | 9816178 |

Realizado por: Túqueres, R, 2017

2.3.2 Preparación del líquido absorberdor

2.3.2.1 Materiales

- Probeta 1000 ml
- Vaso de precipitación 500 ml
- Vaso de precipitación 1000 ml
- Frascos Ambar de 1 Litro
- Refrigeradora

2.3.2.2 Reactivos

- Trietanolamina.
- N-butanol.

- Agua destilada.

2.3.2.3 Método

- Se añadió 15g de trietanolamina aproximadamente a 500 ml de agua destilada.
- Se adicionó 3 ml de N-butanol, se realizó una mezcla homogénea y se diluyó hasta 1 L con agua destilada. El N-butanol actúa como surfactante.
- Se mantuvo el reactivo en una botella oscura y bajo refrigeración. (Manrique Carvajal & Ossa Morales, 2010)

2.3.3 Técnicas de Recolección de muestras

Para la recolección de muestras se tomó en cuenta la técnica usada en la investigación de Manrique y Ossa, en la cual se muestra lineamientos para el proceso. (Manrique Carvajal & Ossa Morales, 2010)

2.3.3.1 Materiales

- Tubos plásticos.
- Cinta de seguridad
- Rotuladores
- Cooler
- Escalera

2.3.3.2 Método

Para la recolección de muestras se usaron muestreadores pasivos (tubos de difusión), los cuales fueron colocados en puntos estratégicos (postes de luz a 3m de altura), en los alrededores del Terminal Terrestre de la ciudad de Riobamba, con el fin de monitorear los contaminantes atmosféricos como el NO₂ desprendido por la combustión de los automotores.

2.3.4 Colocación de muestreadores

En la colocación de los tubos muestreadores se tomó como directriz la información descrita en el Manual de calidad del aire del Instituto Nacional de Ecología de México. (Instituto Nacional de Ecología, 2013)

2.3.4.1 Método

- Los muestreadores fueron ubicados en 32 puntos que fueron seleccionados de forma aleatoria, entre los lugares escogidos estaban aquellos en los que se observó una gran conglomeración de vehículos, la misma que se localizaba desde la avenida La Prensa entre Rey Cacha y José Veloz, y la avenida Canónigo Ramos junto con la avenida Daniel León Borja entre Alfonso Villagómez y Jacinto Gonzáles (revisar Anexo I).
- Los tubos muestreadores fueron colocados a 3 metros de altura, debido a que a esta altura existe un flujo de aire sin restricciones y es el rango recomendado para estudios de calidad del aire.

2.3.5 Muestreo

Se realizó el monitoreo pasivo contando con antecedentes de la investigación en la ciudad de Cochabamba (Bolivia) que utilizó este tipo de monitoreo por 8 años, el problema tratado en la investigación antes citada fue el aumento del parque automotor de la ciudad, motivo por el cual la calidad del aire disminuye.

En Ecuador también se aplicó la misma técnica, de la cual los resultados de los análisis tienen el aval del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca, quienes son pioneros en la instalación de esta red de monitoreo.

2.3.5.1 Materiales

- Tubos plásticos.
- Tapones
- Cooler
- Cinta de seguridad Transpore Nexcare 3M

2.3.5.2 Sustancias

- Líquido absorbedor.

2.3.5.3 Método

- Para realizar la toma de muestras de aire, se utilizó el líquido absorbedor y tubos plásticos.
- Se colocó 3.5 ml del líquido absorbedor en los tubos de plástico de 7.5 cm de largo y 1.2 cm de diámetro, después se taparon los tubos para luego ser transportados en un cooler a la zona de muestreo.
- En la zona de muestreo, los tubos fueron ubicados a una altura de 3 metros sobre el suelo en los diversos puntos seleccionados con anterioridad, estos fueron sujetados a las diversas superficies con una cinta “Transpore Nexcare 3M” de uso quirúrgico, debido a su fuerza de agarre y a que no deja residuos en los tubos.
- Las muestras se retiraban semanalmente, para luego ser llevadas al laboratorio para su respectivo análisis.

2.3.6 Análisis de Datos

Para el análisis de las muestras se usaron dos reactivos a los que se conocerán como compuesto A y compuesto B, estos servirán para que el NO₂ reaccione y tome una coloración que va desde el rosado suave hasta el fucsia, acorde a la concentración de este en los tubos captadores.

2.3.7 Preparación de los reactivos colorantes

La metodología que se usó fue empleada por la Universidad de Murcia en un análisis de nitritos en cárnicos (revisar Anexo C).

2.3.7.1 Materiales

- Probeta 500 ml
- Vaso de precipitación

2.3.7.2 Sustancias

- Naftilamina
- Ácido Acético
- Ácido Sulfamilico

2.3.7.3 Método

- Para elaborar el compuesto A se usó Naftilamina y Ácido Acético, se pesó 0.4g de Naftilamina y se mezcló con 80ml de Ácido Acético hasta disolverlo.
- Para la elaboración del compuesto B se utilizó Ácido sulfamilico y Ácido Acético, se pesó 0.64 g de Ácido Sulfamilico y se mezcló con 80ml de Ácido Acético hasta disolverlo. (Universidad de Murcia, 2008)

2.3.8 Coloración de las muestras

2.3.8.1 Materiales

- Pipeta de 1 ml
- Guantes de protección

2.3.8.2 *Sustancias*

- Compuesto A
- Compuesto B

2.3.8.3 *Método*

- Se añadió con la pipeta 0.5 ml del compuesto A y del compuesto B respectivamente en el vial que contenía la muestra recogida con anterioridad (revisar Anexo D).
- Se agitó el vial y se dejó que repose, al instante se observó el cambio en la coloración, pasando de transparente a rosa o fucsia acorde a la concentración de NO₂ presente en la muestra. (Universidad de Murcia, 2008)

2.3.9 *Medición de la absorbancia*

2.3.9.1 *Equipos*

- Espectrofotómetro UV
- Viales

2.3.9.2 *Método*

- Para la medición de la absorbancia se utilizó un espectrofotómetro UV visible.
- Los viales fueron llevados a analizar en el espectrofotómetro UV visible a una longitud de onda de 540nm (revisar Anexo E).
- Se colocaron uno a uno las muestras, para que el espectrofotómetro UV visible calcule su respectiva absorbancia. (Universidad de Murcia, 2008) (Borge, et al., 2015)

2.3.10 Cálculo de la concentración:

Para calcular la concentración del contaminante en el ambiente se utilizaron una serie de ecuaciones, las cuales siguen un orden específico:

- Para calcular la masa de nitritos en cada captador se utilizó la siguiente formula:

$$m(\mu\text{g}) = c'_t(\mu\text{g/ml}) * V(\text{ml}) \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

- m = Masa de nitritos recogida por cada captador.
- c'_t = Concentración del nitrito en el tubo, Según la curva de calibración.
- V = Volumen de los reactivos de color vertidos en cada tubo para la extracción. (Borge, et al., 2015)
- Para encontrar la concentración de nitritos presente en el tubo se realizó una regla del tres, usando una tabla estandarizada en el que se relaciona absorbancia con la concentración de los nitritos en el tubo, debido a que ya se contaba con los datos de absorbancia. (Borge, et al., 2015)

Tabla 3-2: Concentración de absorbancia.

| DISOLUCIÓN ESTÁNDAR | CONCENTRACIÓN DE CALIBRACIÓN ESTANDAR ($\mu\text{g/ml}$) | MASA DE NITRITO EN EL TUBO (μg) | CONCENTRACIÓN DE NITRITO EN EL TUBO ($\mu\text{g/ml}$) | ABSORBANCIA A 541nm |
|---------------------|--|--|--|---------------------|
| A | 120,00 | 6,00 | 1,481 | 2,14 |
| B | 90,00 | 4,50 | 1,111 | 1,60 |
| C | 60,00 | 3,00 | 0,741 | 1,05 |
| D | 30,00 | 1,50 | 0,370 | 0,54 |
| E | 15,00 | 0,75 | 0,185 | 0,27 |
| Z | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,00 |

Realizado por: Túqueres, R, 2017

- Se realizó el Gráfico 1-2: Curva de calibración estándar y valores de muestreo para comprobar si los resultados coinciden con los de la curva de calibración. Los puntos rojos representan los valores encontrados durante el muestreo, correspondiente a la Tabla 3-2:

de la concentración de absorbancia, mientras que la línea celeste es la curva de calibración estándar; se observa que la tendencia es la misma.

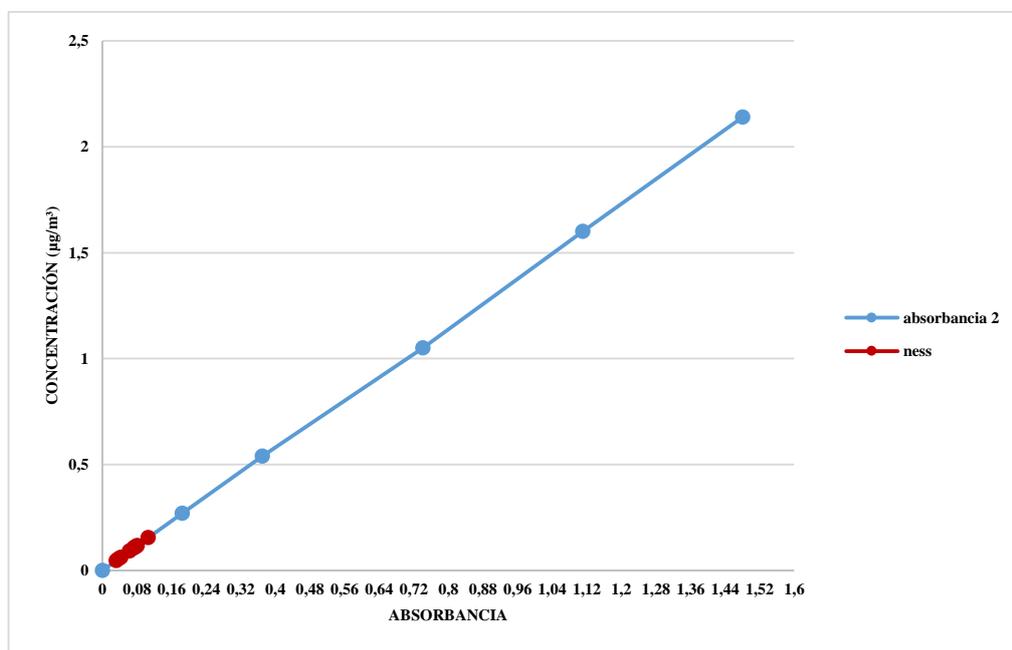


Gráfico 1-2: Curva de calibración estándar y valores de muestreo.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

En el Gráfico 1-2 se observa que la curva de calibración realizada con los datos del estudio (línea roja), tiene la misma tendencia que la curva de calibración estándar (línea azul).

- Para calcular la concentración ambiente se utilizó la siguiente fórmula:

$$c = \frac{m * l}{D_{12} * A * t} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde:

- c = es la concentración ambiente medida ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- m = cantidad del gas absorbido durante la exposición (μg).
- A = área transversal del tubo cilíndrico (m^2).
- t = tiempo de exposición (s).
- l = longitud del tubo (m).
- D_{12} = coeficiente de difusión entre el NO_2 y el aire (m^2/s)

- $D_{12}(\text{m}^2/\text{s}) = 1.36 \cdot 10^{-5} * \left(\frac{T(k)}{273}\right)^{1.81}$, donde T (K) es la temperatura en grados kelvin.
(Borge, et al., 2015)

2.3.11 *Análisis de condiciones meteorológicas relacionadas con la concentración de NO₂*

2.3.11.1 *Temperatura*

Los valores de temperatura se obtuvieron semanalmente de la estación meteorológica de la ESPOCH.

2.3.11.2 *Heliofanía*

La heliofanía representa la duración del brillo solar o en otras palabras las horas sol, su nombre está directamente ligado al instrumento que se utiliza para su medición, heliofanógrafo, el mismo que registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa. (Uruguay, s.f.)

Estos valores al igual que la temperatura se obtuvieron de la estación meteorológica de la ESPOCH.

Tabla 4-2: Datos de Heliofanía en Semanas de estudio.

| Semana | Heliofanía (horas) |
|--------|--------------------|
| 1 | 6,4 |
| 2 | 9,4 |
| 3 | 8 |
| 4 | 6,1 |
| 5 | 7,3 |
| 6 | 9 |
| 7 | 7,4 |
| 8 | 8,3 |
| 9 | 7,5 |
| 10 | 6,2 |

Realizado por: Túqueres, R, 2017

2.3.11.3 Radiación

La radiación solar se define como el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas la cual permite la transferencia de energía solar a la superficie terrestre. Estas ondas electromagnéticas se encuentran en diferentes frecuencias y aproximadamente solo la mitad de las ondas que recibimos pueden ser detectadas por el ojo humano, misma que conocemos como luz visible. (Naciones Unidas, 2014)

Para calcular la radiación solar se utilizó la fórmula de radiación solar promedio.

$$H = Ho * [(a + b) * \frac{nr}{N}] \quad [\text{Ec. 3}]$$

Dónde:

a y b: Constantes de Angstrom. (a=0,23; b=0,56)

N: Horas de sol teóricas. (N=12)

nr: Promedio mensual de Heliofania. (Duffie & Beckman, 2005)

Tabla 5-2: Datos de Temperatura y Radicación calculada en

| estudios. | Temperatura °C | Radiación (W*h/(m ²)*d) | 10 semanas de |
|------------------|----------------|--|---------------|
| semana 1 | 23,2 | 4952,31672 | |
| semana 2 | 19,7 | 6263,77512 | |
| semana 3 | 21,8 | 5651,7612 | |
| semana 4 | 24,6 | 4821,17088 | |
| semana 5 | 19,1 | 5345,75424 | |
| semana 6 | 22,7 | 6088,914 | |
| semana 7 | 23 | 5389,46952 | |
| semana 8 | 23,7 | 5782,90704 | |
| semana 9 | 24 | 5433,1848 | |
| semana 10 | 22,3 | 4864,88616 | |

Realizado por: Túqueres, R, 2017

2.3.12 Análisis mediante mapas y simulaciones.

2.3.12.1 Construcción de base de datos

Los datos obtenidos de las estaciones de muestreo ubicadas en el sector del terminal terrestre de la ciudad de Riobamba en conjunto con las coordenadas geográficas presente en la Tabla 1-2: Coordenadas de puntos de muestreo terminal terrestre Riobamba; se almacenaron en una base de datos en el software Excel, se generó un archivo individual para los promedios mensuales y diarios; esta información fue la base para la implementación del modelo de interpolación.

2.3.12.2 Mapa en ArcGIS

Para la elaboración de los mapas de dispersión se usó el software ArcGIS 10.1, el cual permitió realizar el modelamiento espacial de los datos obtenidos por las estaciones de monitoreo, para esto se implementó la herramienta Geostatistical Analyst, la cual contiene un conjunto de procedimientos que dieron forma a la cartográfica obtenida para el presente estudios, mismos que de describen a continuación:

- Se cargó la base de datos generada en Excel en el software Arc Gis, en el momento de exportar la información, se debe cerciorar que la columna que contiene la información quede asignada al atributo Z; finalmente se almaceno la información en formato shp.
- Se seleccionó la herramienta Geostatistical Analyst, dentro de esta se abrió Geostatistical Winzard, esta opción nos permite ir ingresando la información necesaria para la ejecución del modelo.
- Dentro de la ventana que se despliega al elegir Geostatistical Winzard , primero elegimos el método de interpolación, el escogido para la investigación es el Kriging, seleccionado esto en la parte izquierda de la ventana se configuran los siguientes parámetros:
 - Source Dataset. Seleccionamos el shape que contiene la información.
 - Data Field. Seleccionamos la columna que contiene la información de los contaminantes.
 - En la siguiente ventana se seleccionó el tipo de interpolación, para el caso del contaminante en estudio se seleccionó el tipo Kriging Ordinario de Predicción.

- Finalizada la configuración, el resultado es un archivo de tipo raster que contiene la información de la dispersión de los contaminantes, mismo al que se realizó la edición correspondiente para la presentación del mapa final.

2.3.12.3 *Simulación PTV Vissim*

- Se utilizó Google Maps, para obtener el mapa de la zona de estudio.
- Abrimos el mapa de la zona de estudio en el software PTV Vissim.
- Se seleccionó la herramienta LINKS, y se dibujó las vías sobre el mapa acorde a la necesidad del estudio.
- Luego con la herramienta VEHICLE INPUTS, se ingresó el número de vehículos que se contabilizó en cada vía.
- La herramienta CONFLICT AREAS permitió definir la preferencia vehicular, es decir, que vía es la principal y cuál es la secundaria.
- La herramienta NODES sirvió para medir el flujo vehicular en un determinado punto, la aceleración y desaceleración, además realizó la simulación de emisiones de NO_x, CO₂ y material articulado.
- Una vez terminado de estructurar el mapa se pudo reproducir el tráfico vehicular, el tiempo de simulación fue de una hora.
- Terminada la simulación se generará un documento con los respectivos resultados.

2.3.12.4 *Mapa en EnViver*

EnViVer combinó los resultados obtenidos por el software de simulación de tráfico PTV Vissim con los modelos de emisión.

Para determinar el comportamiento de los coches (speed-time profile) se requirió la información disponible en el software de simulación de tráfico Vissim.

EnViVer enlazó el modelo de emisión TNO VERSIT + con el comportamiento de tráfico simulado en Vissim, de esta forma, EnViVer calculó el impacto sobre las emisiones de una salida de autopista, rotonda, entre otros, y la gestión dinámica del tráfico en las emisiones. A su vez se visualizó el impacto de una medida de tráfico en las emisiones de gases de escape en un mapa.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis, interpretación y discusión de resultados

3.1.1 Análisis del NO_x

Tabla 1-3: Resultado de las concentraciones de NO₂.

| CONCENTRACIÓN DE NO _x (µg/m ³) | | |
|---|-----------------|-----------------|
| PUNTOS | VALORES MÁXIMOS | PROMEDIO DIARIO |
| Punto 1 | 162,1116287 | 158,8538504 |
| Punto 2 | 185,3900547 | 181,6644756 |
| Punto 3 | 167,6381615 | 164,2693225 |
| Punto 4 | 120,243956 | 117,827546 |
| Punto 5 | 134,311494 | 131,6123843 |
| Punto 6 | 121,0813094 | 118,6480721 |
| Punto 7 | 86,74981782 | 85,00650258 |
| Punto 8 | 114,5499525 | 112,2479687 |
| Punto 9 | 219,7215463 | 215,3060451 |
| Punto 10 | 161,6092166 | 158,3615347 |
| Punto 11 | 190,4141754 | 186,5876321 |
| Punto 12 | 210,5106583 | 206,2802582 |
| Punto 13 | 185,8924667 | 182,1567912 |
| Punto 14 | 112,3728335 | 110,1146008 |
| Punto 15 | 178,0213443 | 174,443846 |
| Punto 16 | 168,4755149 | 165,0898486 |
| Punto 17 | 182,5430529 | 178,8746869 |
| Punto 18 | 190,9165875 | 187,0799478 |
| Punto 19 | 135,6512595 | 132,925226 |
| Punto 20 | 122,0861336 | 119,6327034 |
| Punto 21 | 119,0716611 | 116,6788095 |
| Punto 22 | 131,6319629 | 128,9867008 |

| | | |
|----------|-------------|-------------|
| Punto 23 | 133,1391992 | 130,4636478 |
| Punto 24 | 115,889718 | 113,5608104 |
| Punto 25 | 121,4162508 | 118,9762826 |
| Punto 26 | 124,9331353 | 122,4224921 |
| Punto 27 | 122,4210749 | 119,9609139 |
| Punto 28 | 103,999299 | 101,90934 |
| Punto 29 | 162,2790993 | 159,0179556 |
| Punto 30 | 79,88351949 | 78,27818867 |
| Punto 31 | 103,1619455 | 101,0888139 |
| Punto 32 | 86,74981782 | 85,00650258 |

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*: Microgramos / m^3

Realizado por: Túqueres, R., 2017

Los análisis en el laboratorio presentan resultados en los que se observa que varios puntos tienen una concentración que supera lo establecido por la norma para óxidos de nitrógeno, 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, se evidencia niveles moderados y elevados en cuanto a la concentración de NO_2 como se ve en la Tabla 1-3: Resultado de las concentraciones de NO_2 .

3.1.1.1 Diferencias de concentraciones en los puntos de muestreo

Los datos evidenciados en las gráficas muestran valores máximos y el promedio diario de las concentraciones de NO_2 , son valores obtenidos durante el estudio de campo realizado por 10 semanas, citados en la Tabla 1-3 de Resultados de las concentraciones de NO_2 , mostrando así que en ciertos puntos existe mayor concentración, los valores son similares a los resultados obtenidos en investigaciones del Laboratorio de Modelación Ambiental Técnico de la Universidad de Madrid, debido a que las investigaciones muestran que las concentraciones sobrepasan los niveles permitidos, atribuyendo este efecto al tráfico vehicular.

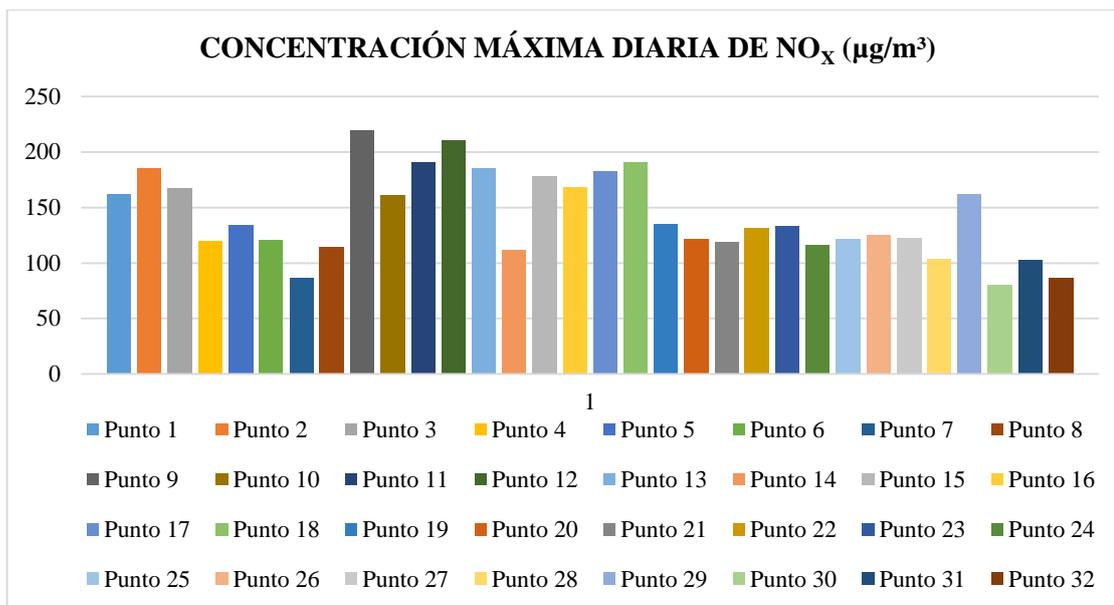


Gráfico 1-3: Concentración máxima de NO_x (µg/m³).

Realizado por: Túqueres, R, 2017

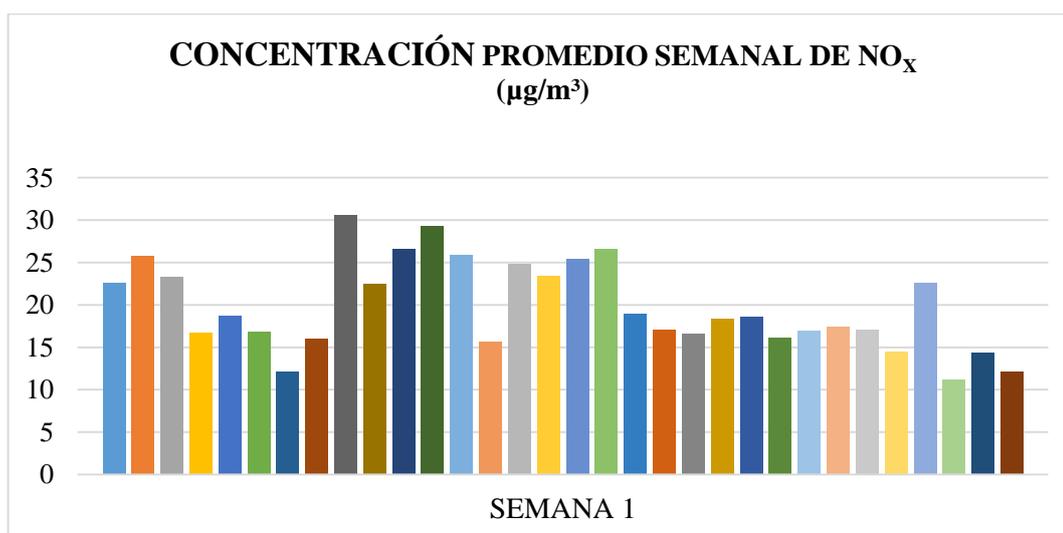


Gráfico 2-3: Concentración promedio de NO_x (µg/m³), semana 1.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

Se observa en la gráfica que a una temperatura de 23,2°C correspondiente a la semana 1 que va desde el 2 al 8 de mayo, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 30,61 µg/m³, en el punto 11 presenta 26,52 µg/m³, el punto 12 presenta 29,32 µg/m³, el punto 13 presenta 25,89 µg/m³ y en el punto 18 presenta 26,59 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una

concentración de 11,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

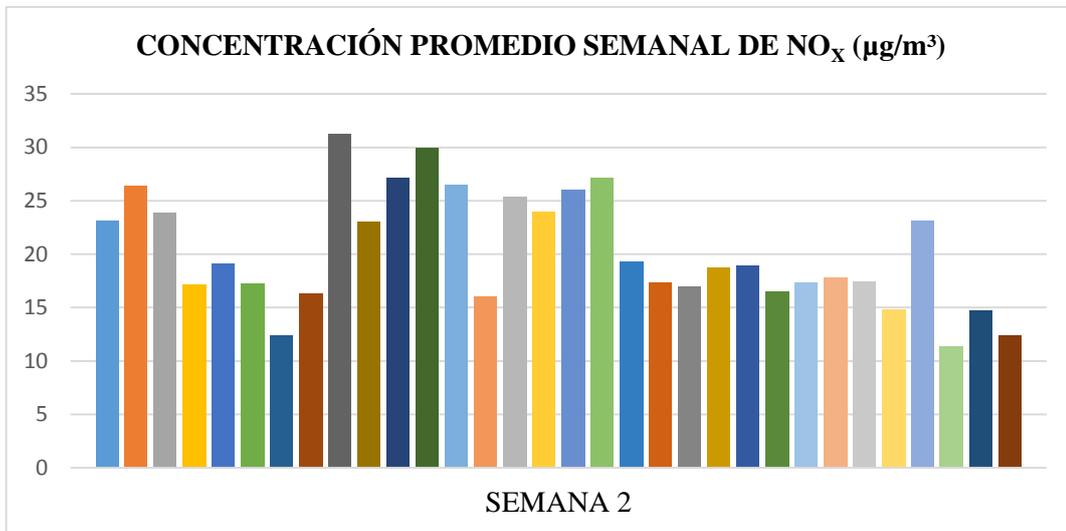


Gráfico 3-3: Concentración promedio de NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), semana dos.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

La gráfica muestra que con una temperatura de 19,7°C en la semana 2 que va del 9 al 15 de mayo, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 31,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el punto 11 presenta 27,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el punto 12 presenta 29,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el punto 13 presenta 26,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el punto 18 presenta 27,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una concentración de 11,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

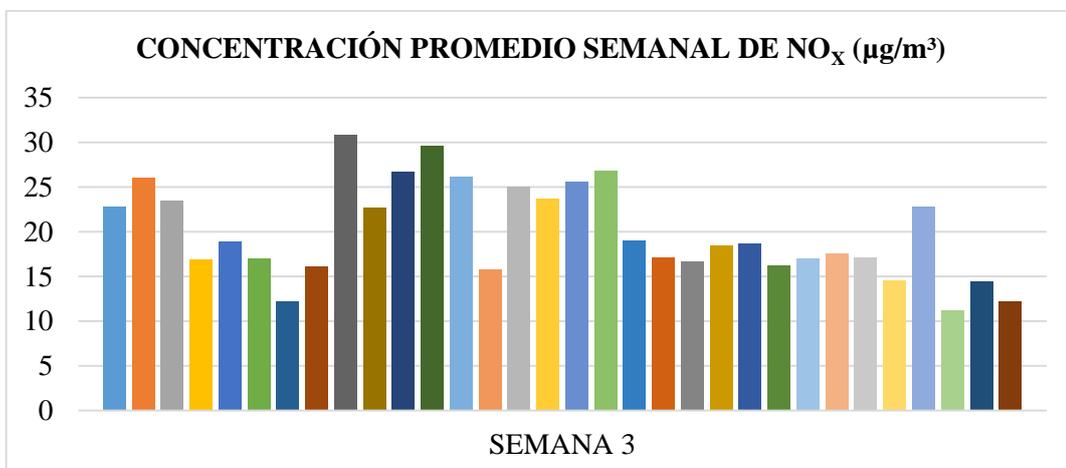


Gráfico 4-3: Concentración promedio de NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), semana 3.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

La gráfica muestra que con una temperatura de 21,8°C en la semana 3 que va del 16 al 22 de mayo, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 30,87 µg/m³, en el punto 11 presenta 26,75 µg/m³, el punto 12 presenta 29,57 µg/m³, el punto 13 presenta 26,11 µg/m³ y en el punto 18 presenta 26,82 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una concentración de 11,22 µg/m³, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

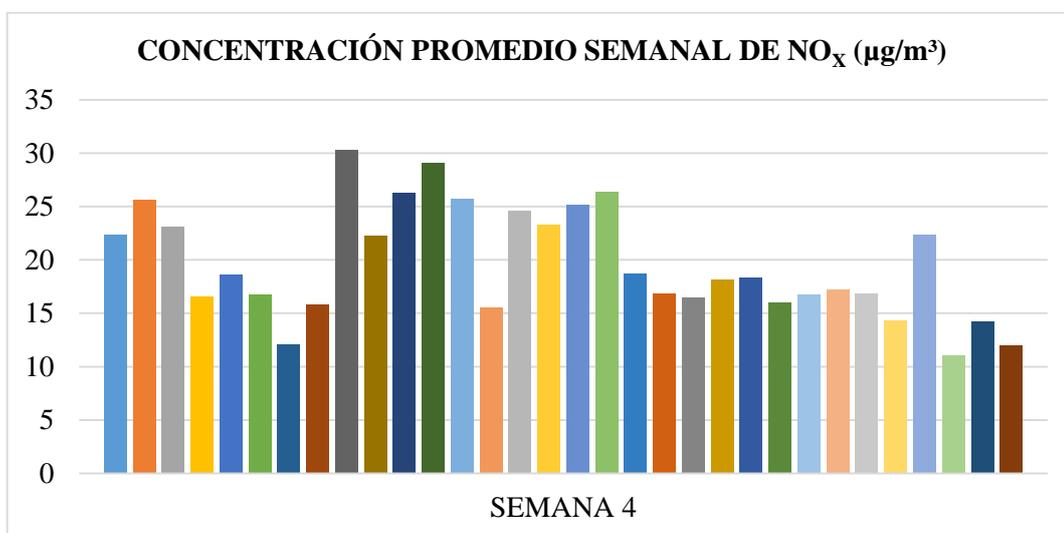


Gráfico 5-3: Concentración promedio de NO_x (µg/m³), semana 4.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

La gráfica muestra que con una temperatura de 24,6°C en la semana 4 que va del 23 al 29 de mayo, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 30,34 µg/m³, en el punto 11 presenta 26,29 µg/m³, el punto 12 presenta 29,07 µg/m³, el punto 13 presenta 25,67 µg/m³ y en el punto 18 presenta 26,36 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una concentración de 11,03 µg/m³, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

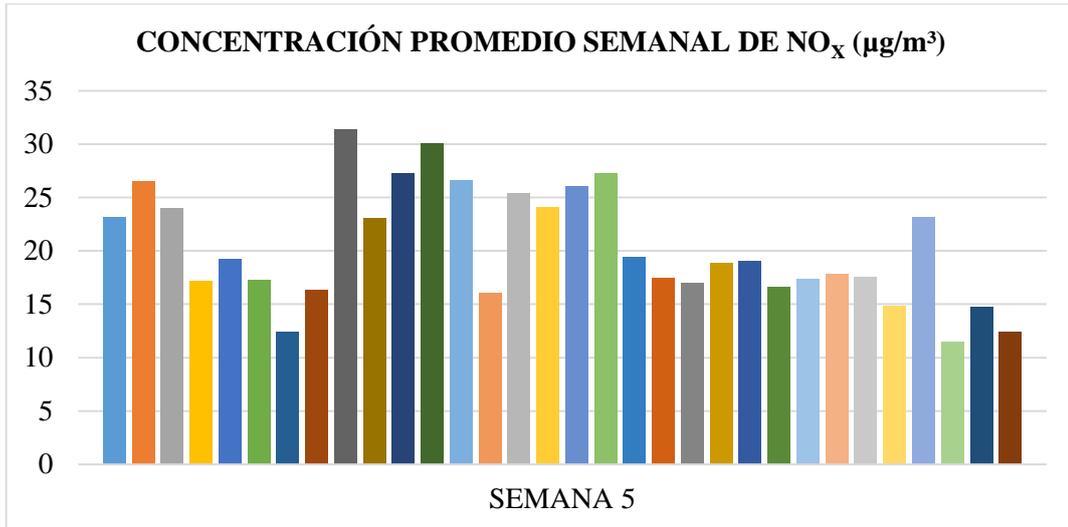


Gráfico 6-3: Concentración promedio de NO_x (µg/m³), semana 5.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

La gráfica muestra que con una temperatura de 19,1°C en la semana 5 que va del 30 de mayo al 5 de junio, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 31,38 µg/m³, en el punto 11 presenta 27,20 µg/m³, el punto 12 presenta 30,07 µg/m³, el punto 13 presenta 26,55 µg/m³ y en el punto 18 presenta 27,27 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una concentración de 11,41 µg/m³, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

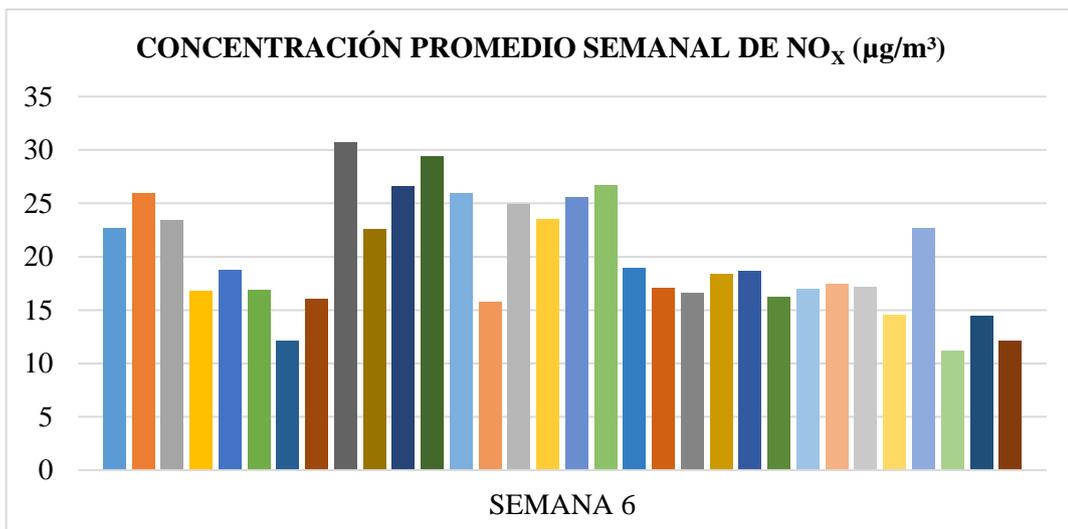


Gráfico 7-3: Concentración promedio de NO_x (µg/m³), semana 6.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

La gráfica muestra que con una temperatura de 22,7°C en la semana 6 que va del 6 al 12 de junio, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 30,70 µg/m³, en el punto 11 presenta 26,60 µg/m³, el punto 12 presenta 29,41 µg/m³, el punto 13 presenta 25,97 µg/m³ y en el punto 18 presenta 26,67 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una concentración de 11,16 µg/m³, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

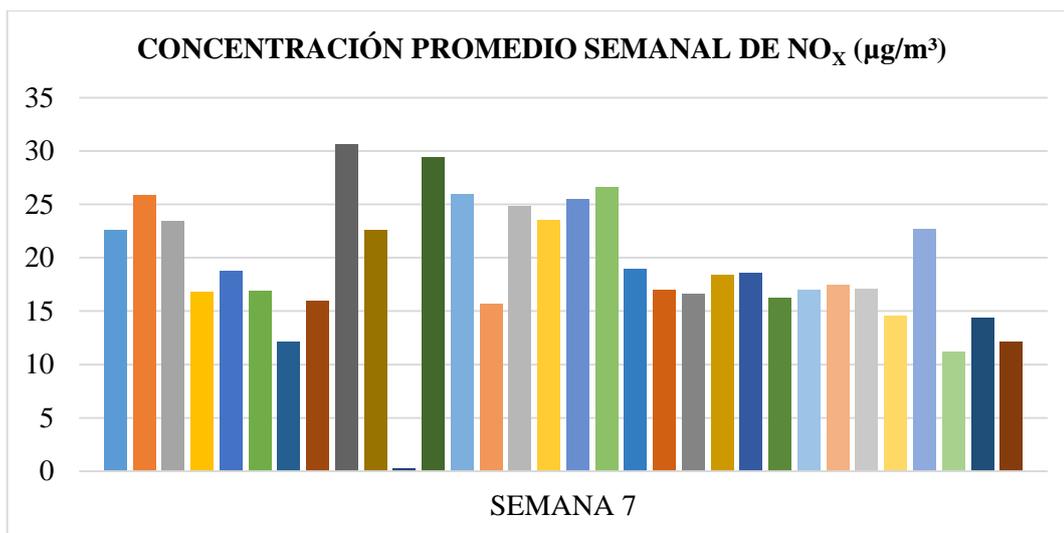


Gráfico 8-3: Concentración promedio de NO_x (µg/m³), semana 7.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

En la semana 7 que va del 13 al 19 de junio se presentó un inconveniente con el muestreador del punto 11, puesto que el tubo muestreador había sido manipulado por personas ajenas a la investigación, presentando así un valor de 0,265 µg/m³, la temperatura de la semana es de 23°C, en el punto 9 presenta un valor de 30,64 µg/m³, el punto 12 presenta 29,35 µg/m³, el punto 13 presenta 25,92 µg/m³ y en el punto 18 presenta 26,62 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular.

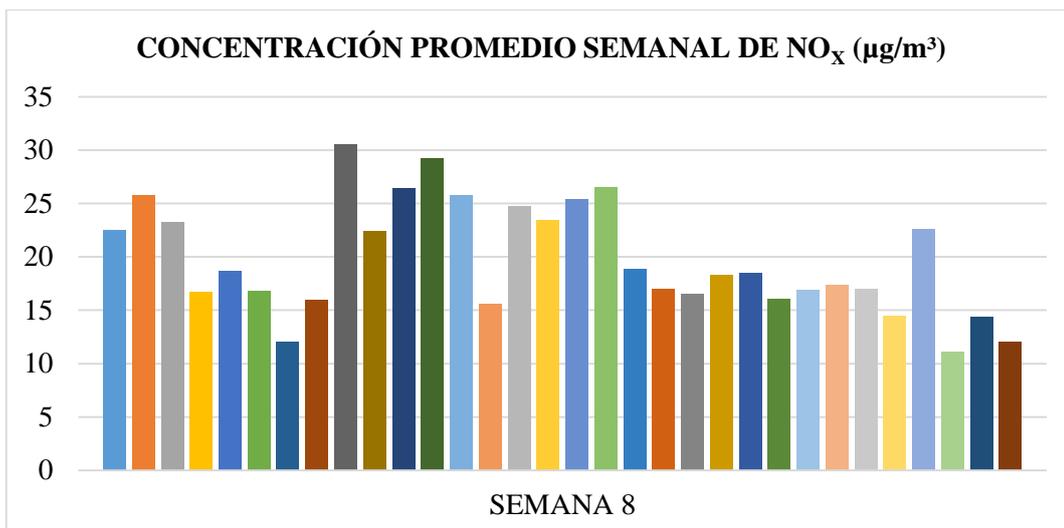


Gráfico 9-3: Concentración promedio de NO_x (µg/m³), semana 8.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

La gráfica muestra que con una temperatura de 23,7°C en la semana 8 que va del 20 al 26 de junio, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 30,51 µg/m³, en el punto 11 presenta 26,44 µg/m³, el punto 12 presenta 29,23 µg/m³, el punto 13 presenta 25,81 µg/m³ y en el punto 18 presenta 26,51 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una concentración de 11,09 µg/m³, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

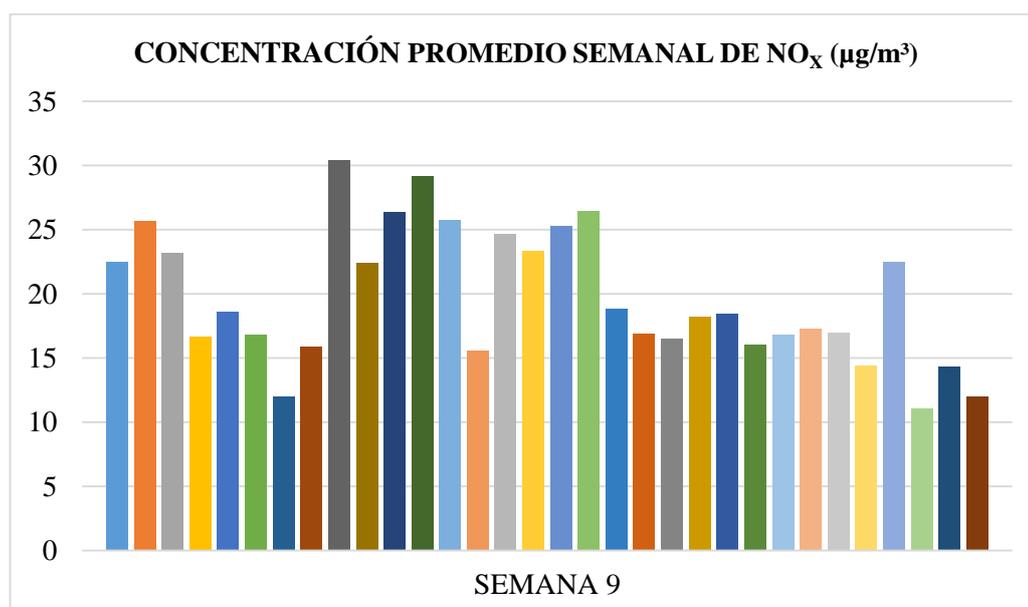


Gráfico 10-3: Concentración promedio de NO_x (µg/m³), semana 9.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

La gráfica muestra que con una temperatura de 24°C en la semana 9 que va del 27 de junio al 3 de julio, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 30,45 µg/m³, en el punto 11 presenta 26,39 µg/m³, el punto 12 presenta 29,18 µg/m³, el punto 13 presenta 25,76 µg/m³ y en el punto 18 presenta 26,46 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una concentración de 11,07 µg/m³, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

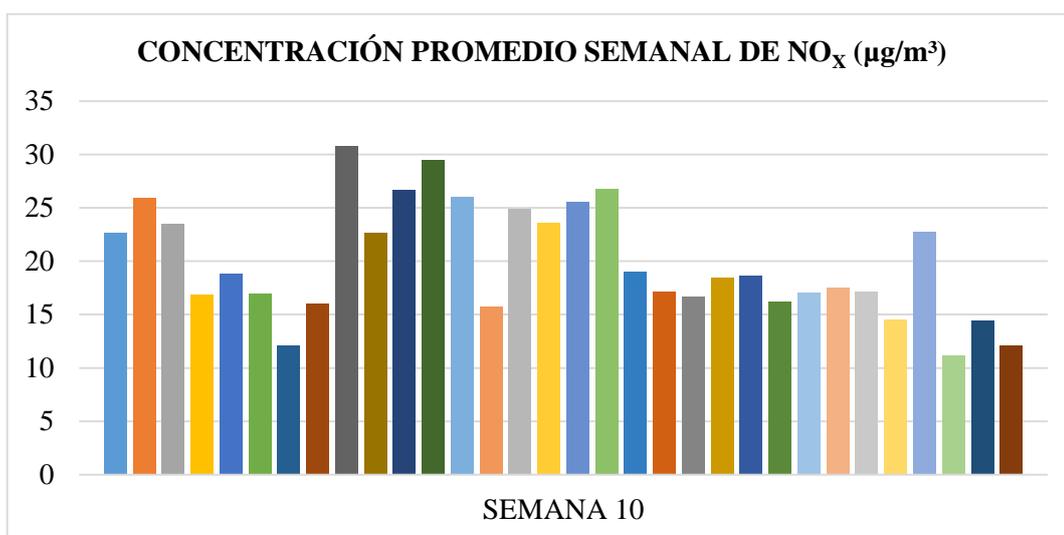


Gráfico 11-3: Concentración promedio de NO_x (µg/m³), semana 10.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

La gráfica muestra que con una temperatura de 22,3°C en la semana 8 que va del 4 al 10 de julio, la concentración de NO₂ en el punto 9 presenta un valor de 30,77 µg/m³, en el punto 11 presenta 26,67 µg/m³, el punto 12 presenta 29,48 µg/m³, el punto 13 presenta 26,03 µg/m³ y en el punto 18 presenta 26,74 µg/m³, siendo considerado estos valores como los más relevantes cuantitativamente en relación a los demás puntos de muestreo, estos puntos se encuentran ubicados en la avenida la prensa, siendo esta la calle de mayor flujo vehicular; mientras que el valor más bajo obtenido en el estudio corresponde al punto 30 que presenta una concentración de 11,18 µg/m³, esto se debe a que este punto se encuentra en una vía secundaria poco frecuentada.

Como se puede evidenciar en las gráficas, constan variaciones leves en las concentraciones de NO₂ pero es importante resaltar que cuando la temperatura disminuye las concentraciones de NO₂ se elevan, esto podría ser debido a que a mayores temperaturas el NO₂ se disocia en el ambiente para formar ozono troposférico, por lo cual existirá una menor cantidad de NO₂ en el ambiente, mientras que si la temperatura disminuye el NO₂ no se disociara de la misma manera que en altas

temperaturas, por lo cual existirá una mayor concentración de NO_2 en el ambiente; el NO_2 en el aire de las ciudades procede en su mayoría de la oxidación del NO , la cuales son producidas por los automóviles.

Según Álvarez, 2005 en el libro Motores alternativos de combustión interna, dice que los óxidos de nitrógeno se forman principalmente por la oxidación del nitrógeno contenido en el aire, debido a las condiciones de elevada temperatura. Los óxidos de nitrógeno se forman en el seno de los gases producto de la combustión como consecuencia de su elevada temperatura y presión. La producción es menor cuando se producen combustiones seguidas, puesto que la disminución de presión limita las reacciones.

3.2 Simulación vehicular, PTV Vissim

El mapa presentado en la figura 1-3, muestra el flujo vehicular generado por el software de simulación PTV Vissim, el cual se realizó con datos reales obtenidos por conteo vehicular en la zona de estudio, que conforman las avenidas Daniel León Borja, Canónigo Ramos y La Prensa, durante periodos de tiempo de una hora, tres veces al día.

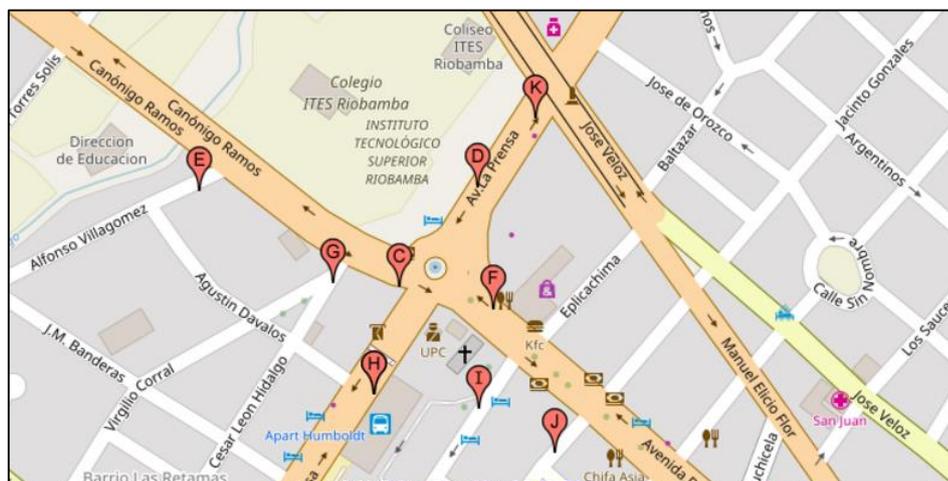


Gráfico 12-3: Puntos de conteo vehicular.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

En el gráfico 12-3 se muestra los puntos en los cuales se realizó el conteo vehicular durante una semana, tres veces al día, una vez al mes, durante dos meses.

Tabla 2-3: Promedio del conteo vehicular del mes de mayo de 2016.

| PROMEDIO DEL CONTEO VEHICULAR DEL MES DE MAYO DE 2016 | | | | | | |
|--|------------|---------------|-------------------------------------|------------|---------------|----|
| TERMINAL TERRESTRE | | | POLLO EJECUTIVO | | | |
| AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | |
| 6:30-7:30 | 686 | 56 | 13 | 414 | 15 | 11 |
| 13:00-14:00 | 934 | 67 | 9 | 454 | 18 | 21 |
| 16:00-17:00 | 893 | 48 | 5 | 471 | 24 | 7 |
| OSCUS | | | TERMINAL TERRESTRE POSTERIOR | | | |
| AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | |
| 6:30-7:30 | 704 | 32 | 7 | 212 | 35 | 5 |
| 13:00-14:00 | 713 | 43 | 11 | 299 | 55 | 8 |
| 16:00-17:00 | 628 | 34 | 5 | 286 | 45 | 5 |
| KFC | | | MECANICA BOSH | | | |
| AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | |
| 6:30-7:30 | 577 | 26 | 6 | 53 | 0 | 2 |
| 13:00-14:00 | 627 | 31 | 9 | 77 | 0 | 2 |
| 16:00-17:00 | 604 | 24 | 3 | 66 | 0 | 2 |
| PUENTE PEATONAL | | | PRIMERA ENTRADA OSCUS | | | |
| AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | |
| 6:30-7:30 | 289 | 7 | 3 | 36 | 0 | 1 |
| 13:00-14:00 | 309 | 9 | 5 | 33 | 0 | 0 |
| 16:00-17:00 | 300 | 6 | 3 | 21 | 0 | 1 |

| SEGUNDA ENTRADA OSCUS | | | |
|------------------------------|------------------|------------|---------------|
| | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN |
| 6:30-7:30 | 57 | 0 | 3 |
| 13:00-14:00 | 72 | 0 | 7 |
| 16:00-17:00 | 55 | 0 | 4 |

Realizado por: Túqueres, R., 2017

En la tabla 2-3 se muestra el promedio del conteo vehicular realizado durante la segunda semana del mes de mayo, los datos fueron obtenidos al realizar un conteo exhaustivo durante 7 días, 3 veces al día; se puede observar que en la Avenida la Prensa donde se localiza el Terminal Terrestre de Riobamba existe una gran cantidad de vehículos movilizándose por el lugar, un caso parecido se puede observar en la avenida Canónigo Ramos en donde se localiza La Oscus, esto se debe a que son vías principales que conectan los alrededores de la ciudad con el centro de la misma. Se puede notar que en las vías alternas localizadas en la avenida Daniel León Borja tienen una menor cantidad de flujo vehicular, y esto se debe a que no existen puntos de interés, simplemente viviendas.

Tabla 3-3: Promedio del conteo vehicular del mes de junio de 2016.

| PROMEDIO DEL CONTEO VEHICULAR DEL MES DE JUNIO DE 2016 | | | | | | |
|---|---------------------------|------------|---------------|-------------------------------------|------------|---------------|
| | TERMINAL TERRESTRE | | | POLLO EJECUTIVO | | |
| | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN |
| 6:30-7:30 | 647 | 58 | 11 | 347 | 14 | 8 |
| 13:00-14:00 | 837 | 65 | 13 | 417 | 18 | 12 |
| 16:00-17:00 | 769 | 50 | 5 | 395 | 14 | 3 |
| | OSCUS | | | TERMINAL TERRESTRE POSTERIOR | | |
| | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN |
| 6:30-7:30 | 609 | 36 | 7 | 216 | 42 | 4 |

| | | | | | | |
|-------------|------------------------------|------------|---------------|------------------------------|------------|---------------|
| 13:00-14:00 | 635 | 43 | 8 | 300 | 54 | 9 |
| 16:00-17:00 | 574 | 34 | 4 | 246 | 40 | 4 |
| | KFC | | | MECANICA BOSH | | |
| | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN |
| 6:30-7:30 | 550 | 25 | 6 | 55 | 0 | 1 |
| 13:00-14:00 | 614 | 30 | 9 | 71 | 0 | 3 |
| 16:00-17:00 | 508 | 25 | 7 | 58 | 0 | 2 |
| | PUENTE PEATONAL | | | PRIMERA ENTRADA OSCUS | | |
| | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN |
| 6:30-7:30 | 271 | 8 | 5 | 22 | 0 | 0 |
| 13:00-14:00 | 302 | 11 | 5 | 19 | 0 | 1 |
| 16:00-17:00 | 285 | 7 | 3 | 11 | 0 | 1 |
| | SEGUNDA ENTRADA OSCUS | | | | | |
| | AUTOMOVIL | BUS | CAMIÓN | | | |
| 6:30-7:30 | 42 | 0 | 2 | | | |
| 13:00-14:00 | 55 | 0 | 3 | | | |
| 16:00-17:00 | 34 | 0 | 1 | | | |

Realizado por: Túqueres, R., 2017

En la tabla 3-3 se muestra el promedio del conteo vehicular realizado durante la segunda semana del mes de mayo, los datos fueron obtenidos al realizar un conteo exhaustivo durante 7 días, 3 veces al día; se puede observar que en la Avenida la Prensa donde se localiza el Terminal Terrestre de Riobamba existe una gran cantidad de vehículos movilizándose por el lugar, un caso parecido se puede observar en la avenida Canónigo Ramos en donde se localiza La Oscus, esto se debe a que son vías principales que conectan los alrededores de la ciudad con el centro de la misma. Se puede notar que en las vías alternas localizadas en la avenida Daniel León Borja tienen una menor cantidad de flujo vehicular, y esto se debe a que no existen puntos de interés, simplemente viviendas.

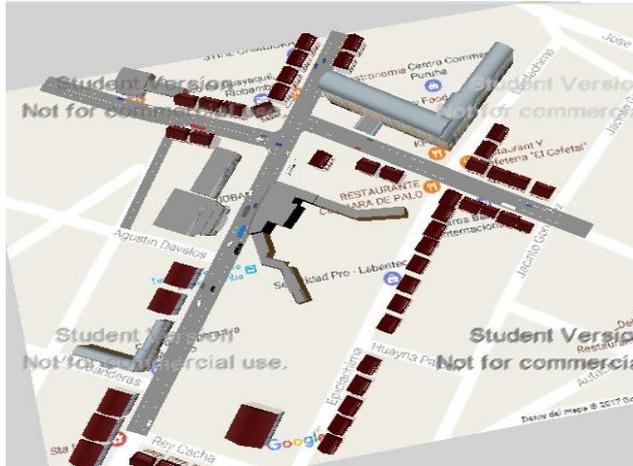


Figura 1-3: Captura de imagen de simulación vehicular en software PTV Vissim.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

Además de permitir la simulación vehicular, este software brinda datos referentes a aceleración y velocidad de los vehículos que transitan por la zona de estudio.

Tabla 4-3: Datos adicionales que presenta PTV Vissim.

| Aceleración [m/s ²] | Velocidad [km/h] | Velocidad teórica [km/h] | Diferencia de velocidades [km/h] |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 0,012289653 | 5,231481547 | 40,09605063 | 305,9714349 |

Realizado por: Túqueres, R., 2017

3.3 Análisis y simulación de las concentraciones de NO₂ mediante la utilización de Enviver Enterprise y ArcGiss.

3.3.1.1 Generación de mapas en Enviver Enterprise

El software Enviver Enterprise, combina los resultados obtenidos por el software de simulación de tráfico PTV Vissim con los modelos de emisión. Permite predecir y estudiar el impacto ambiental del tráfico, tanto para situaciones existentes como para situaciones hipotéticas o futuras. Es capaz de modelar emisiones como NO_x, material particulado (PM₁₀) y CO₂, funciona prácticamente para cualquier tipo de vehículo. (PTV GROUP, 2014)

Los antecedentes que se usaron para esta simulación, son los generados por el software PTV Vissim, en el cual se colocaron datos reales del número de vehículos que transitaban por los diversos puntos de muestreo. Una vez terminada la simulación se puede observar que los puntos de tonalidades amarillentas a rojizas son en los que existe mayor grado de emisión de óxidos de nitrógeno, ya que los vehículos al detenerse e iniciar nuevamente la marcha, liberan mayor cantidad de gases de combustión. (Borge, et al., 2015) (Universidad Politécnica de Madrid, 2016)

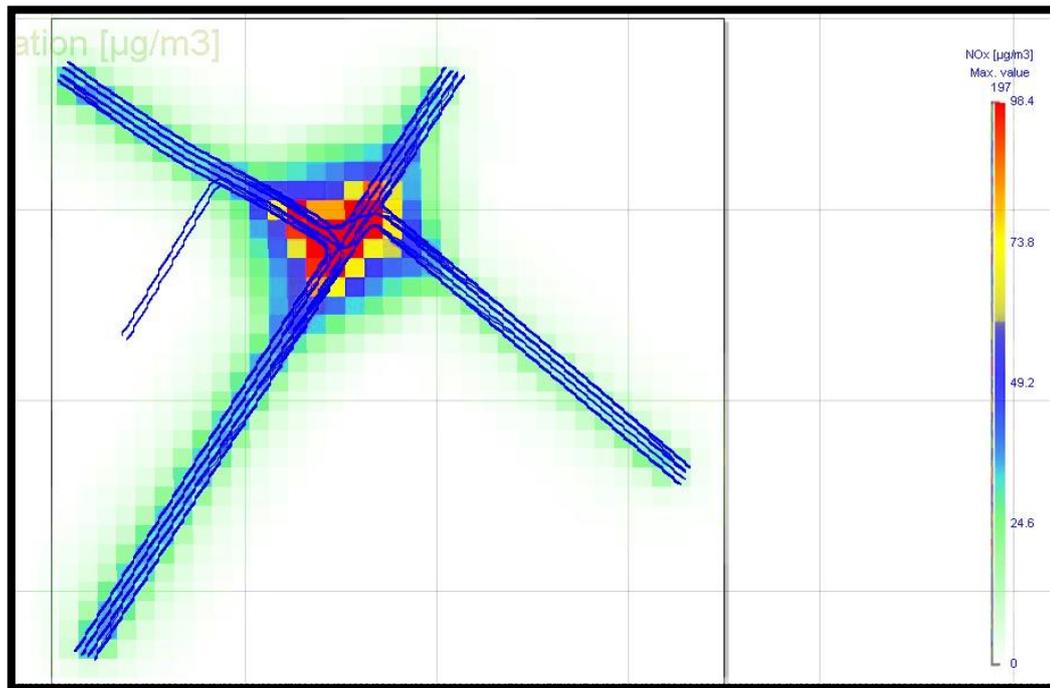


Figura 2-3: Mapa Enviver Enterprise, rutas de muestreo, puntos representativos.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

3.3.1.2 Generación de mapa en ArcGiss

El mapa generado por ArcGis, muestra como la concentración de óxidos de nitrógeno es elevada en la zona donde se intersectan las tres avenidas, es decir el redondel. Los valores usados para recrear el mapa, son obtenidos por los tubos captadores ubicados en los diversos puntos seleccionados. Podemos observar que van desde la tonalidad azul celeste que equivale a una concentración muy baja, hasta llegar al color rojo que es sinónimo de una alta concentración.

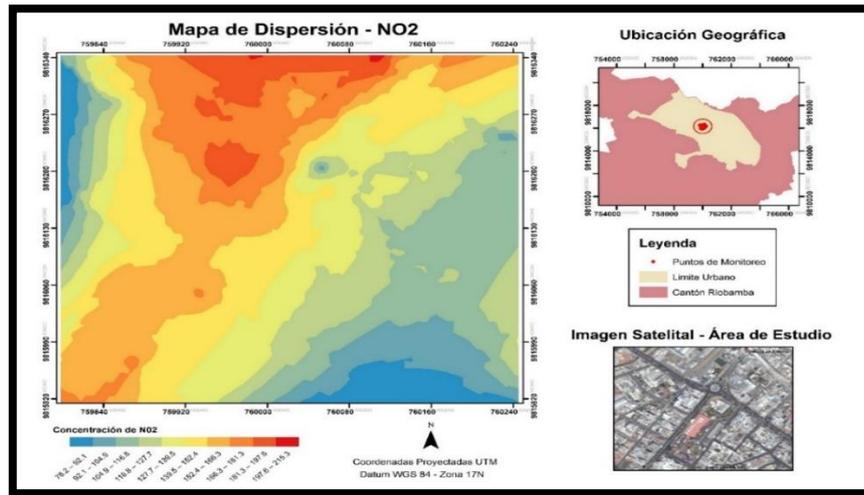


Figura 3-3: Mapa ArcGIS, puntos con mayor presencia de NO₂.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

3.3.1.3 Comparación de mapas en el análisis de NO₂.

Las simulaciones presentan variaciones de colores similares, debido a que los puntos (9, 11, 12, 13, 18) presentes en la Tabla 1-3: Resultado de las concentraciones de NO_x, muestran mayor índice de emisión de óxidos de nitrógeno y los mismos se ven reflejados en la Figura 4-3: Comparación simulaciones ArcGIS y Enviver Enterprise concentración de NO₂. Cabe mencionar que en el mapa de ArcGIS, las concentraciones de óxidos de nitrógeno que son utilizadas son las obtenidas en el laboratorio luego del monitoreo y análisis de las muestras; mientras que el mapa de emisiones generado por el software Enviver Enterprise es el resultado de los valores obtenidos después del conteo vehicular realizado en la zona de estudio.

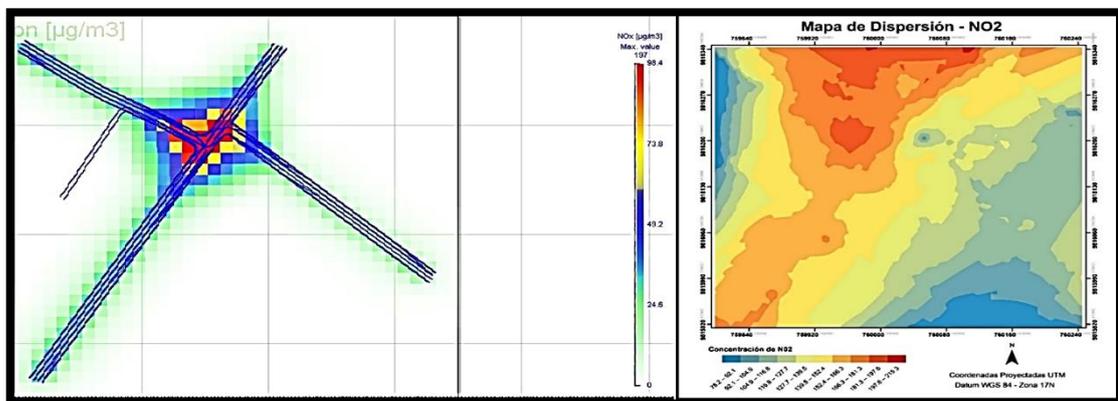


Figura 4-3: Comparación simulaciones ArcGIS y Enviver Enterprise concentración de NO₂.

Realizado por: Túqueres, R, 2017

CONCLUSIONES

- Se determinó que durante el segundo trimestre del año, los valores de NO₂ son elevados puesto que la zona de estudio presenta un flujo vehicular continuo; el terminal terrestre permite la intersección de tres avenidas principales de la ciudad, los vehículos tienden a realizar paradas y arranques repentinos por la presencia de vehículos urbanos, interprovinciales, entre otros, emitiendo mayor cantidad de gases al ambiente, por ello se instalaron 32 puntos de muestreo, de los cuales sobresalen los puntos 9, 11, 12, 13 y 18 por tener emisiones de óxido de nitrógeno más altas, presentes en la Tabla 1-3.
- El pasivo indicador utilizado fue el líquido absorbedor generado a partir de trietanolamina y N-butanol, el mismo que fue analizado en los laboratorios, obteniendo valores altos que muestran que las emisiones sobrepasan los valores permitidos en el ACUERDO NO. 061 REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA, un claro ejemplo de ello es el punto 9, de la Tabla 1-3, con una concentración de NO₂ de 219,7215463 (µg/m³), el cual está relacionado con la congestión vehicular producida en horas pico.
- La simulación en el software PTV Vissim 8, se realizó previo a un conteo vehicular en la zona de estudio, que conforman las avenidas Daniel León Borja, Canónigo Ramos y La Prensa; el software Vissim simula las condiciones de tráfico vehicular y los hábitos de los conductores, recreando el flujo vehicular de la zona de estudio.
- Para la realización de los mapas en el software ArcGIS® es imprescindible obtener datos de la concentración de NO₂, utilizando tubos captadores con el líquido absorbedor, ubicados en los alrededores de la zona de estudio, variables meteorológicas como temperatura y radiación son tomadas en cuenta para su realización.

RECOMENDACIONES

- Es menester ampliar el monitoreo a un año para obtener resultados reveladores que los encontrados en este estudio.
- Realizar un conteo vehicular a través de cámaras o contadores automáticos para mayor precisión.
- Realizar un estudio en el que se pueda comparar la existencia o ausencia de una relación entre las emisiones producidas durante la época escolar considerando los centros educativos aledaños, y las épocas de descanso, puesto que el flujo vehicular en los tiempos diferentes representan cambios en la concentración de óxidos de nitrógeno.
- Colocar señalética en los puntos de muestreo, para evitar que los tubos muestreadores sean destruidos o retirados.
- Incentivar la investigación en temas de calidad del aire, permitiendo así obtener licencia de softwares útiles en simulaciones y generación de mapas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGAT Laboratorios.** *Muestreo de Aire Pasivo.* [En línea] 2013. [Consulta: 27 de Agosto de 2016.]. Disponible en: <http://www.agatlabs.com/Spanish/content/passiveair.htm>.
2. **Air Quality and Pollution Control.** *Cheap VOC Tests.* [En línea] 2012. [Consulta: 02 de Octubre de 2016.]. Disponible en: <http://airqualitycontrol.blogspot.com/2012/06/cheap-ways-to-test-for-vocs.html>.
3. **ÁLVAREZ, Jesús.** *Motores alternativos de combustión interna.* Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, SL. Barcelona, 2005. pp 341 -342.
4. **BARROS Andrade, E. & QUEZADA Méndez, S.,.** *Determinación de los niveles de Ozono Troposférico y Dióxido de Nitrógeno en la ciudad de Cuenca.* [En línea] 2006. [Consulta: 5 Febrero de 2017] Disponible en: <http://cdjbv.ucuenca.edu.ec/ebooks/tq884.pdf>.
5. **BARTUAL, José.** *Toma de muestras con captadores pasivos.* [En línea] 2014. [Consulta: 14 de Septiembre de 2016.] Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_151.pdf.
6. **Biblioteca Luis Angel Arango. Banco de la Republica de Colombia.** [En línea]. 2011. Disponible en: <http://www.banrepcultural.org/node/92123>.
7. **BORGE, R, y otros.** *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.* Kunshan : s.n., 2015.
8. **CANO, Eduardo.** *Motores y contaminación.* [En línea]. 2014. Disponible en: <http://www.abc.es/motor-reportajes/20140917/abci-contaminan-diesel-gasolina-201409161153.html>.
9. **CHEUNG, Paul.** *Naciones Unidas - Diseño de muestras para encuestas de hogar, directrices prácticas.* [En línea] 2009. [Consulta: 26 de septiembre de 2016.] Disponible en: https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesf/Seriesf_98s.pdf.
10. **Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiente** *Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero.* [En línea]. 2008. Disponible en: http://www.sinia.cl/1292/articles-50188_recurso_1.pdf.

11. **CNICE.** *Calidad de aire y temperatura.* [En línea]. 2011. Disponible en: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2005/93_iniciacion_interactiva_materia/curso/materiales/propiedades/temperatura.htm.
12. **DUFFIE, J.A., & BECKMAN, W. A.** *Solar Engineering of Thermal Processes.* [En línea]. 4ª Edición. Hoboken (New Jersey- USA): Fohn Wiley & sons, 2005, pp. 1-133. [Consulta: 25 de noviembre de 2016]. Disponible en: [Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%204th%20Edition%20%20GearTeam%20.pdf](http://www.greengear.com/Products/Solar%20Engineering%20of%20Thermal%20Processes,%204th%20Edition%20%20GearTeam%20.pdf)
13. **Earth Observatory.** *Terra Tracks Pollution.* [En línea] 2005. [Consulta: 25 de Octubre de 2016.] Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Terra/>.
14. **ECODES.** *ECODES, Cambio climático.* [En línea]. 2011. Disponible en: <http://ecodes.org/cambio-climatico/>.
15. **Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos.** *Estadísticas de transporte Ecuador.* [En línea] 2013. Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/Publicaciones/Anuario_de_Estad_de_Transporte_2013.pdf.
16. **Ecuador. Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC.** *Instructivo ArcGIS.* [En línea] 2012. [Consulta: 28 de Noviembre de 2016.] Disponible en: http://www.inec.gob.ec/nuevo_inec/items/gestion_eficiente/cartografia/anexos/CAPACITACIONES/INSTRUCTIVOS%20AMANZANADO/ARCGIS.pdf.
17. **Ecuador. Ministerio del Ambiente.** *Inventario Preliminar de las Emisiones de Contaminantes del Aire , de los cantones Ambato, Riobamba, Sando Domingo de los colorados, Latacunga, Ibarra, Manta, Portoviejo, Esmeraldas y Milagro.* [En línea] 2014. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/Libro-Resumen-Inventario-13-02-2014-prensa.pdf>.
18. **Environmental Systems Research Institute, Inc.** *ArcGIS, Geografía aplicada para cada acción.* [En línea] 2015. [Consulta: 29 de noviembre de 2016.] Disponible en: <http://www.aeroterra.com/products/Plataforma/>.

19. **España. FUNDACIÓN CRANA FUNDAZIOA.** *Óxido de nitrógeno.* [En línea] 2014. Disponible en: http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/axidos-nitrigeno-nox-no2.
20. **España. Gobierno de Navarra. CRANA.** *Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra.* [En línea] 2008. Disponible en: http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/axidos-nitrigeno-nox-no2.
21. **España. Instituto de Estudios Sociales Avanzados.** *Introducción a los métodos de encuestación y muestreo estadístico.* [En línea] 2009. [Consulta: 25 de Septiembre de 2016.] Disponible en: http://www.iesa.csic.es/eventos/adjunto_6FEBRERO_2009.pdf.
22. **España . Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.** *Registro estatal de emisiones y fuentes contaminantes.* [En línea] 2015. Disponible en: <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>.
23. **Etza, Ruth A. y Jean G. French.** *Impacto ambiental, aire.* [En línea] Septiembre de 2000. Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/Edan/publicaciones/Impacto/ImpactoAll.pdf#page=347>.
24. **European Chemicals Agency.** *NO_x (óxidos de nitrógeno).* [En línea] 2016. [Consulta: 29 de Septiembre de 2016.] Disponible en: <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.030.234>.
25. **FERNANDEZ, D.** *Control y eliminación de los NO_x.* [En línea] 2010. [Consulta: 09 de septiembre de 2016.] Disponible en: <http://files.pfernandezdiez.es/CentralesTermicas/PDFs/33CT.pdf>.
26. **Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra.** *Óxidos de nitrógeno (NO_x = NO + NO₂).* [En línea] 2014. [Consulta: 30 de septiembre de 2016.] Disponible en: http://www.crana.org/es/contaminacion/mas-informacion_3/axidos-nitrigeno-nox-no2.
27. **GALÁN, David.** *Implicación de los NO_x en la química atmosférica.* [En línea] 2006. [Consulta: 04 de octubre de 2016.] Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41377/2006%202%20david%20galan%20y%20otro.pdf>.

28. **GONZALEZ, Raúl.** *Los gases contaminantes.* twenergy. [En línea] 2012. [Consulta: 20 de agosto de 2016.] Disponible en: <https://twenergy.com/a/los-gases-contaminantes-648>.
29. **GREEN FACTS.** *Dióxido de nitrógeno.* [En línea] 2012. Disponible en: <http://www.greenfacts.org/es/dioxido-nitrogeno-no2/>.
30. **LÓPEZ, Guillermo.** *Metodología de cálculo de NO_x en generadores de vapor que queman gas natural.* [En línea] 2010. [Consulta: 30 de Agosto de 2016.] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61420351005>.
31. **MANRIQUE Carvajal, Angelica María y OSSA Morales, Diana Marcela.** *Validación de los métodos espectrofotométricos para la determinación de SO_x y NO_x en muestras de aire.* [En línea] 2010. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1832/5430858M285.pdf?sequence=1>.
32. **MASAQUIZA Yanzapanta, Ángel Guillermo y VIZUETE Palacios, José Enrique.** *Estudio técnico de un sistema integral de revisión vehicular para la provincia de Chimborazo en la ESPOCH.* [En línea] (Tesis pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2012. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2260/1/65T00046.pdf>.
33. **México. Instituto Nacional de Ecología.** *Manual 1, Principios de medición de la Calidad del Aire.* [En línea] 2013. [Consulta: 17 de octubre de 2016.] Disponible en: <http://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>.
34. **México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático** *Departamento de calidad del aire.* [En línea] 17 de OCTUBRE de 2011. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/618/vehiculos.pdf>.
35. **México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.** *Gestión ambiental, pasivos.* [En línea] 2011. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/pasivos/pasivos.pdf>.

36. **MIER Montenegro, Manuel Antonio.** *Vehículos, emisiones y combustión.* Banco de la República de Colombia. [En línea] 2007. Disponible en: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre5a.htm>.
37. **MOLINA, Victor.** *Principios básicos motor de combustión interna.* [En línea] 2015. [Consulta: 22 de Septiembre de 2016.] Disponible en: https://www.academia.edu/8103611/PRINCIPIOS_B%C3%81SICOS_MOTOR_DE_COMBUSTION_INTERNA?auto=download.
38. **NATIONAL GEOGRAPHIC.** *Calentamiento global, contaminación del aire.* NATIONAL GEOGRAPHIC. [En línea] 2014. Disponible en: <http://nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/contaminacion-aire>.
39. **Organización Mundial de la Salud.** *Efectos nosivos en la salud por óxidos de nitrógeno.* [En línea] 2014. Disponible en: <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.
40. **PTV GROUP.** *Transport planning, traffic engineering and traffic simulation.* [En línea] 2014. Disponible en: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/ptv-vissim/>.
41. **PUERTO Albandoz, Justo y LAGARES Barreiro, Paula.** *Población y muestra.* Técnicas de muestreos. [En línea] 2001. Disponible en: http://optimierung.mathematik.uni-kl.de/mamaeusch/veroeffentlichungen/ver_texte/sampling_es.pdf.
42. **PUERTO Martín, A. y GARCÍA Rodríguez, J.A.** 1986. *La Contaminación Atmosférica.* Salamanca : s.n., 1986.
43. **RAMÍREZ, Luis.** *Proyecto descartes.* [En línea] 2010. Disponible en: http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esofisicaquimica/4quincena12/4q12_centro.htm.
44. **RODRÍGUES, Ernesto Bolaños.** *Muestreo y técnicas calidad del aire.* UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO. [En línea] JUNIO de 2012. Disponible en: http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/tizayuca/gestion_tecnologica/muestra_Muestreo.pdf.

45. **SÁNCHEZ, Carlos, MENDOZA, Denisse y CASTILLO, Iveth.** *Validación y ajuste de modelos de radiación solar directa para la ciudad de Bogotá a partir de datos experimentales tomados en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.* Grupo de Energías Alternativas, Universidad Distrital, Colombia. [En línea] 2015. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar15/HTML/articulo02.htm>.
46. **SUMANO, Enrique Méndez.** *Cambio climático y gases de efecto invernadero.* [En línea] 2008. [Consulta: 30 de Septiembre de 2016.] Disponible en: <http://es.slideshare.net/CarlosMartinez106/word-resumen>.
47. **Textos Científicos.** *Transmisión de calor, radiación solar.* [En línea]. 2013. Disponible en: <http://www.textoscientificos.com/fisica/transmision-calor/radiacion>.
48. **Universidad de Murcia.** *Presencia de nitritos en alimentos, aireambiente.* Open Course Ware. [En línea] 2008. Disponible en: <http://ocw.um.es/cc.-de-la-salud/higiene-inspeccion-y-control-alimentario-1/practicas-1/practicas-carne-nitritos>.
49. **Universidad Nacional Autónoma de México.** *Variables meteorológicas.* [En línea]. 2013. Disponible en: <http://www.atmosfera.unam.mx/jzavala/AnalisisDatos/VariablesMeteorologicas.pdf>.
50. **Universidad Politécnica de Madrid.** *Aplicación del modelo de microsimulación PTV VISSIM para el cálculo de emisiones del tráfico.* Laboratorio de Modelización Ambiental. Tecn aire. [En línea] 2016. Disponible en: http://tecnaire-cm.org/wp-content/uploads/2016/06/CQuaassdorff_CIT2016_Vissim.pdf.
51. **Universidad Tecnológica Nacional de Argentina.** *Modelación de un evento meteorológico de mesoescala utilizando el modelo WRF.* [En línea] 2011. Disponible en: http://www.uca.edu.ar/uca/common/grupo72/files/E7_Fern--ndez.pdf.
52. **Universitat de Valencia.** *Técnicas de muestreo.* [En línea] 2000. Disponible en: <https://www.uv.es/ceaces/text/3%20infemues/tecnicas.htm>.
53. **Uruguay. Servicio Evaluación de la Calidad y Control Ambiental.** *Principales contaminantes del aire.* [En línea] 2014. [Consulta: 17 de agosto de 2016.] Disponible en: <http://www.montevideo.gub.uy/servicios-y-sociedad/limpieza-y-medio-ambiente/aire/principales-contaminantes-del-aire>.

54. **VILLARREAL, David.** *NO_x emisiones.* [En línea] 2015. Disponible en:
<http://www.diariomotor.com/2015/09/25/nox-emisiones/>.

ANEXOS

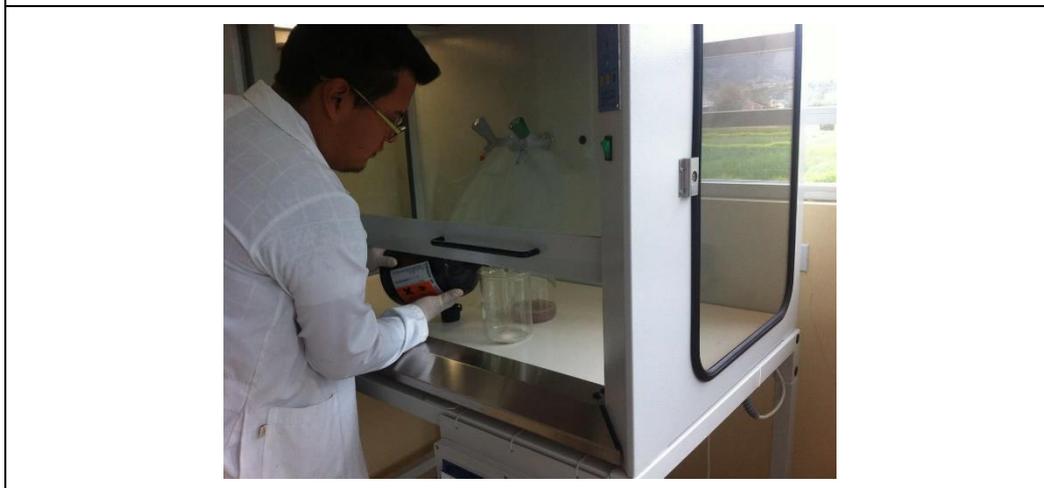
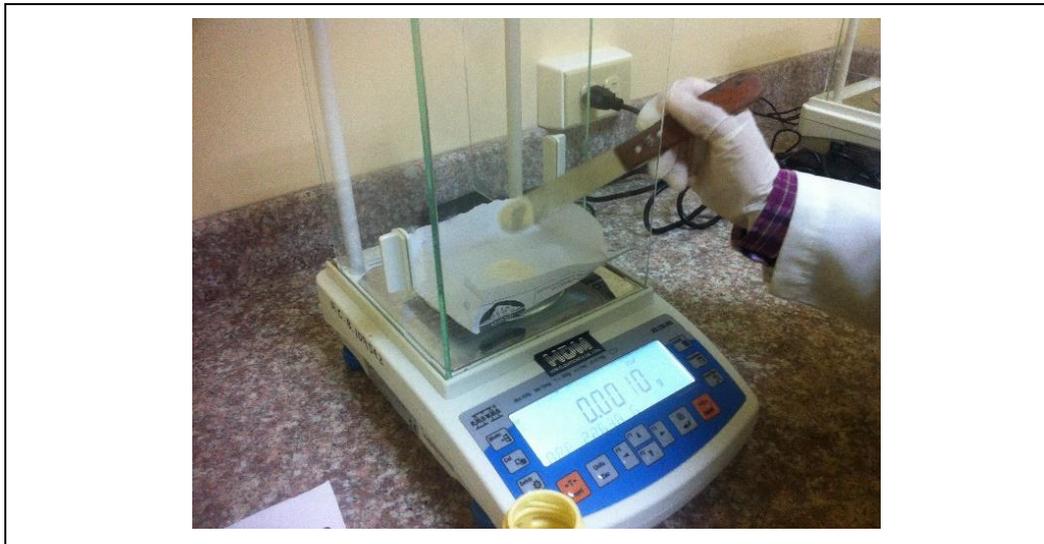
ANEXO A. Colocación de los tubos muestreadores a 3 metros del suelo.



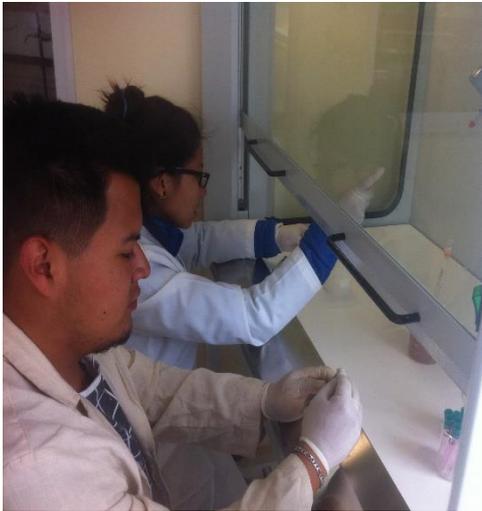
ANEXO B. Conteo vehicular en las principales calles de la zona de estudio.



ANEXO C. Pesaje de alfa naftilamina y ácido sulfámico, para luego ser mezclados con ácido acético en la elaboración de los compuestos colorantes.



ANEXO D. Líquido absorbedor listo para su colocación en puntos de muestreo.



ANEXO E. Análisis de muestras de los puntos muestreados mediante técnica espectroscópica.

