



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS  
CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> Y COV<sub>s</sub> EN EL  
EFECTO FIN DE SEMANA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA  
CIUDAD DE RIOBAMBA**

**AUTORA: GABRIELA LISBETH MIRANDA TUSTÓN**

**TUTORA: MSc. MARÍA RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTOS TÉCNICOS**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**Riobamba – Ecuador**

**2017**

© 2017, Gabriela Lisbeth Miranda Tustón

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Proyecto Técnico: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> Y COVs EN EL EFECTO FIN DE SEMANA EN EL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, de responsabilidad de la señorita Gabriela Lisbeth Miranda Tustón, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Msc. María Rafaela Viteri Uzcátegui

.....

.....

**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Dr. Segundo Arcesio Trujillo Abarca

.....

.....

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Yo, Gabriela Lisbeth Miranda Tustón, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Gabriela Lisbeth Miranda Tustón

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres, pilar fundamental en mi vida, mi soporte y compañía incondicional, a mi familia, que con sus consejos y palabras de aliento estuvieron acompañándome a lo largo de este caminar.

A la memoria de uno de los seres más maravillosos que Dios puso en mi vida, inolvidable abuelita, que aunque hoy no estás para compartir este triunfo, sé que lo celebras tanto como yo.

Gabriela

## AGRADECIMIENTO

Extiendo un profundo agradecimiento a Dios, ya que sin él nada de esto podría haberse logrado, por la sabiduría y fortaleza concedida para sobrellevar los obstáculos y ser la guía en los momentos más difíciles.

A mis padres, mi mayor motivación, por su enorme sacrificio y esfuerzo, por permanecer a mi lado y ser mi fuente de superación y fortaleza, a mis hermanos y sobrino, quienes con sus ocurrencias llenaron de alegría mis días.

A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional, muestras de afecto y haber sido partícipes de gratos momentos que llevaré plasmados por siempre en mi corazón.

Un agradecimiento profundo a Msc. Rafaela Viteri, Dr. Segundo Trujillo, Dra. Gina Álvarez, Lcdo. Fausto Tapia, por la asesoría, paciencia, ayuda y los valiosos aportes recibidos que permitieron culminar exitosamente esta investigación.

Gabriela

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
Identificación del problema.....	1
Justificación del proyecto.....	2
Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>4</b>
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.1.1. Efecto fin de semana en el Ecuador.....	4
1.1.2. Estudios de calidad de aire realizados en la ciudad de Riobamba.....	5
1.2. Marco Conceptual.....	6
1.2.1. Atmósfera.....	6
1.2.2. Contaminación atmosférica.....	6
1.2.3. Contaminantes atmosféricos.....	7
1.2.3.1. Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....	7
1.2.3.2. Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).....	8
1.2.3.3. Ozono (O <sub>3</sub> ).....	10
1.2.4. Contaminantes atmosféricos y su efecto sobre la salud y medio circundante.....	10
1.2.4.1. Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....	10
1.2.4.2. Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).....	11
1.2.4.3. Ozono (O <sub>3</sub> ).....	11
1.2.5. Efecto fin de semana.....	12
1.2.6. Combustión interna y funcionamiento de motores.....	12
1.2.6.1. Motor Otto y Motor a Diésel.....	12
1.2.7. Combustibles utilizados en Ecuador.....	14
1.2.7.1. Gasolina extra y súper.....	14
1.2.7.2. Diésel Premium.....	15
1.2.7.3. Gasolina Ecopaís.....	15

1.2.8.	Captadores pasivos para dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) atmosférico.....	15
1.2.8.1.	Condiciones meteorológicas a tomar en cuenta durante el muestreo.....	18
1.2.8.2.	Emplazamiento de captadores pasivos en calles, carreteras o aceras: categoría de tráfico.....	18
1.2.9.	Centro histórico de la ciudad de Riobamba y su demanda vehicular.....	19

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>20</b>
2.1.	Lugar de desarrollo de la investigación.....	20
2.2.1.	Lugar de monitoreo de NO <sub>2</sub> .....	20
2.1.2.	Lugar de análisis de datos.....	22
2.2.	Procesos de la investigación.....	22
2.2.1.	Determinación de NO <sub>2</sub> .....	22
2.2.1.1.	Georreferenciación de los puntos de monitoreo.....	22
2.2.1.2.	Elaboración de los captadores pasivos de NO <sub>2</sub> .....	23
2.2.1.3.	Preparación de la solución TEA.....	23
2.2.1.4.	Almacenamiento de captadores pasivos.....	23
2.2.1.5.	Colocación de los captadores pasivos de NO <sub>2</sub> .....	23
2.2.1.6.	Transporte de captadores pasivos de NO <sub>2</sub> .....	24
2.2.1.7.	Análisis de las muestras de NO <sub>2</sub> obtenidas y preparación de reactivos.....	24
2.2.1.8.	Análisis de las muestras por espectrofotometría.....	25
2.2.1.9.	Cálculo de la concentración y masa de nitritos, transformaciones.....	25
2.2.1.10.	Cálculo del coeficiente de difusión.....	28
2.2.1.11.	Cálculo del flujo de muestreo.....	30
2.2.1.12.	Cálculo de la concentración ambiente medida.....	30
2.2.1.13.	Cálculo de la concentración ambiente media ajustada.....	30
2.2.2.	Determinación de COVs.....	31
2.2.3.	Determinación de O <sub>3</sub> .....	33

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
3.1.	Análisis de determinación de NO <sub>2</sub> .....	34
3.1.1.	Análisis de diferencias de concentraciones de NO <sub>2</sub> en el área.....	45
3.1.2.	Análisis comparativo de las concentraciones promedio de NO <sub>2</sub> .....	49

3.2.	Análisis de determinación de COVs.....	50
3.3.	Análisis de determinación de O <sub>3</sub> .....	52
3.4.	Análisis comparativo de la concentración de NO <sub>2</sub> con respecto al año 2008.....	61
	CONCLUSIONES.....	62
	RECOMENDACIONES.....	63
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Diferencias entre Motor Otto y Motor a diésel.....	13
<b>Tabla 2-1:</b> Ventajas y desventajas del uso de captadores pasivos.....	16
<b>Tabla 1-2:</b> Ubicación de los puntos de monitoreo en el Centro histórico de la ciudad de Riobamba.....	21
<b>Tabla 2-2:</b> Preparación del reactivo de Griess.....	24
<b>Tabla 3-2:</b> Datos de referencia para la curva de calibración.....	26
<b>Tabla 4-2:</b> Datos para la obtención de la concentración y masa de nitritos.....	28
<b>Tabla 5-2:</b> Temperatura media promedio.....	29
<b>Tabla 6-2:</b> Puntos de conteo vehicular.....	31
<b>Tabla 7-2:</b> Factores de emisión promedio de vehículos a diésel y gasolina.....	32
<b>Tabla 8-2:</b> Caudal volumétrico.....	33
<b>Tabla 1-3:</b> Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de junio.....	35
<b>Tabla 2-3:</b> Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de julio.....	37
<b>Tabla 3-3:</b> Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de agosto.....	39
<b>Tabla 4-3:</b> Resultados de la determinación de la concentración ambiente medida ajustada–semana.....	41
<b>Tabla 5-3:</b> Resultados de la determinación de la concentración ambiente medida ajustada–fin de semana.....	43
<b>Tabla 6-3:</b> Concentración promedio de dióxido de nitrógeno - semana.....	45
<b>Tabla 7-3:</b> Concentración promedio de dióxido de nitrógeno - fin de semana.....	47
<b>Tabla 8-3:</b> Resultados de emisiones en caliente de COVs - semana.....	51
<b>Tabla 9-3:</b> Resultados de emisiones en caliente de COVs - fin de semana.....	51
<b>Tabla 10-3:</b> Resultados de emisiones en caliente de COVs de semana y fin de semana.....	52
<b>Tabla 11-3:</b> Concentración de ozono - semana.....	53
<b>Tabla 12-3:</b> Concentración de ozono - fin de semana.....	55
<b>Tabla 13-3:</b> Concentración promedio de ozono - semana.....	58
<b>Tabla 14-3:</b> Concentración promedio de ozono - fin de semana.....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Conversión de NO a NO <sub>2</sub> y formación de ozono en ausencia y presencia de COV.....	9
<b>Figura 1-2:</b> Ubicación de los puntos de monitoreo - Centro histórico de la ciudad de Riobamba.....	22
<b>Figura 2-2:</b> Transporte de captadores pasivos.....	24
<b>Figura 3-2:</b> Coloración de las muestras con reactivo de Griess.....	25
<b>Figura 1-3:</b> Mapa de dispersión - ozono.....	60

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Curva de calibración, masa de nitrito - semana.....	26
<b>Gráfico 2-2:</b> Curva de calibración, concentración de nitrito - semana.....	27
<b>Gráfico 3-2:</b> Curva de calibración, masa de nitrito - fin de semana.....	27
<b>Gráfico 4-2:</b> Curva de calibración, concentración de nitrito - fin de semana.....	28
<b>Gráfico 1-3:</b> Concentraciones promedio de dióxido de nitrógeno - semana.....	46
<b>Gráfico 2-3:</b> Concentraciones promedio de dióxido de nitrógeno - fin semana.....	48
<b>Gráfico 3-3:</b> Concentraciones promedio de NO <sub>2</sub> entre semana y fin de semana.....	49

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ec. 1-1:</b> Reacción química de formación de smog.....	8
<b>Ec. 2-1:</b> Reacción química de disociación de dióxido de nitrógeno.....	8
<b>Ec. 3-1:</b> Reacción química de oxidación de monóxido de nitrógeno.....	8
<b>Ec. 4-1:</b> Reacción química de formación de ácido nítrico.....	8
<b>Ec. 5-1:</b> Reacción química de formación de ozono.....	10
<b>Ec. 6-1:</b> Reacción química de cierre de ciclo de ozono.....	10
<b>Ec. 7-1:</b> Ley de Fick.....	17
<b>Ec. 8-1:</b> Reacción química de formación de trietanolamina N-óxido.....	18
<b>Ec. 1-2:</b> Fórmula para cálculo del coeficiente de difusión D.....	28
<b>Ec. 2-2:</b> Fórmula para cálculo del flujo de muestreo F.....	30
<b>Ec. 3-2:</b> Fórmula para cálculo de la concentración ambiente media C.....	30
<b>Ec. 4-2:</b> Fórmula para cálculo de la concentración ambiente medida ajustada $C_{293K}$ .....	31
<b>Ec. 5-2:</b> Fórmula para cálculo de la emisión en caliente del contaminante producida por los vehículos.....	32
<b>Ec. 6-2:</b> Reacción química para la determinación estequiométrica de radicales oxígeno.....	33

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** Colocación de muestreadores pasivos en cada punto de control

**ANEXO B:** Preparación y análisis de las muestras

## RESUMEN

Se evaluó el comportamiento de los contaminantes atmosféricos O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y COVs en el efecto fin de semana en el centro histórico de la ciudad de Riobamba, para lo cual se procedió a monitorear dos veces por semana el dióxido de nitrógeno mediante muestreadores pasivos colocados en 42 puntos específicos dentro del dominio, las muestras recolectadas fueron analizadas por espectrofotometría UV-visible. Para la determinación de ozono y compuestos orgánicos volátiles se emplearon reacciones estequiométricas y simulaciones matemáticas; obteniéndose para el dióxido de nitrógeno valores de 26,510 µg/m<sup>3</sup> para la semana y 77,575 µg/m<sup>3</sup> para el fin de semana; en cuanto a los compuestos orgánicos volátiles se reportan datos de 125,7x10<sup>3</sup> µg/m<sup>3</sup> para la semana y 53,88x10<sup>3</sup> µg/m<sup>3</sup> para el fin de semana; finalmente para el caso del ozono tenemos 53,44 µg/m<sup>3</sup> para la semana y 170,00 µg/m<sup>3</sup> para el fin de semana, destacando que ninguno de estos compuestos se encuentra por arriba de los límites permisibles establecidos por la Ley de conformidad con el Acuerdo Ministerial N° 050. Se concluye que el ozono presenta una mayor concentración durante el fin de semana en función de la escasa movilidad vehicular y la baja generación de dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, fomentando la permanencia por mayor tiempo de ozono en la atmósfera, debido a la ausencia de sus precursores y la inhibición de reacciones químicas, caso que no sucede durante la semana, ya que los COVs y NO<sub>2</sub> emitidos por los vehículos interaccionan de forma inmediata con O<sub>3</sub> evitando que este pueda acumularse en el medio y ocasionar afecciones a la ciudadanía. Se recomienda extender a un tiempo de monitoreo permanente para generar una base de datos para un análisis de evolución histórica.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <MEDIO AMBIENTE>, <DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)>, <COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVs)>, <OZONO (O<sub>3</sub>)>, <CONTAMINACIÓN DEL AIRE>, <EFECTO FIN DE SEMANA >, <RIOBAMBA (CANTÓN)>.

## SUMMARY

The behavior of the atmospheric pollutants O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> and VOCs in the weekend effect in the Historical Center of Riobamba was monitored twice a week, the nitrogen dioxide by passive samplers placed in 42 specific points within the domain, the collected samples were analyzed by UV-visible spectrophotometry. For the determination of ozone and volatile organic compounds, stoichiometric reactions and mathematical simulations were used; getting: nitrogen dioxide 26,510 µg/m<sup>3</sup> during the week and 77,575 µg/m<sup>3</sup> on weekend; volatile organic compounds 125,7x10<sup>3</sup> µg/m<sup>3</sup> during the week and 53,88x10<sup>3</sup> µg/m<sup>3</sup> on weekend, ozone 53,44 µg/m<sup>3</sup> during the week and 170,00 µg/m<sup>3</sup> on weekend, showing that none of these compounds are above the permissible limits established by the Law in accordance with Ministerial Agreement No. 050.

It is concluded that ozone presents a higher concentration during the weekend due to the low vehicular mobility and the low generation of nitrogen dioxide and volatile organic compounds, promoting the longer stay of ozone in the atmosphere, due to the absence of the precursors and the inhibition of chemical reactions, this does not happen during the week, since the VOCs and NO<sub>2</sub> emitted by the vehicles interact immediately with O<sub>3</sub> avoiding that this can accumulate in the environment and cause affections to the citizenship. It is recommended to extend at one time the permanent monitoring to generate a database for a historical evolution analysis.

**Keywords:** BIOTECHNOLOGY, ENVIROMENTAL ENGINEERING, ENVIROMENT, NITROGEN DIOXIDE (NO<sub>2</sub>), VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOCs), OZONE (O<sub>3</sub>), AIR POLLUTION, WEEKEND EFFECT, RIOBAMBA (CANTÓN)

# INTRODUCCIÓN

## Identificación del Problema

La contaminación ambiental contempla uno de los mayores problemas en la actualidad, los cambios sustanciales que se han ido dando en el ambiente a lo largo de los años con el avance de la tecnología, el crecimiento poblacional, la actividad antropogénica, la explotación de recursos, entre otros, conllevan a la alteración en el equilibrio de los ecosistemas y por consiguiente a su posterior deterioro. (Solís y López, 2003: pp.1-13).

Si bien la contaminación del aire no es considerado como un problema reciente según (Strauss y Mainwaring, 2011: pp.9-11), es innegable que solo en los últimos años ha sido percibido como una problemática mundial; el aire en sí presenta su propia composición, sin embargo existen ciertos gases de origen antropogénico ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_3$ , etc.) cuyo elevado porcentaje altera la atmósfera y los procesos que en ella se realizan.

El deterioro de la calidad del aire en una ciudad está evidenciado principalmente por la elevada presencia de automotores, mismos que aportan con más del 50% de los hidrocarburos y óxidos de nitrógeno, y con un 90% del monóxido de carbono y que en complicidad con condiciones atmosféricas estables y la baja velocidad del viento contribuyen a que todos estos contaminantes puedan reaccionar formando compuestos muchos más tóxicos. (Strauss y Mainwaring, 2011: pp.9-11).

Es así que el efecto fin de semana se presenta como uno de los principales problemas de contaminación de aire en zonas urbanas, mismo que se caracteriza por el aumento en la concentración de  $\text{O}_3$  en los días no laborables en comparación con el resto de la semana, pese a la disminución en la generación de sus precursores  $\text{NO}_2$  y  $\text{COVs}$ . (Environment Agency European, 2016).

En la ciudad de Riobamba no se cuenta con un monitoreo continuo y específico de contaminantes atmosféricos, de tal forma que dentro del centro histórico de esta ciudad no se evidencia la presencia de monitores que permitan controlar dichos gases, el escaso control para estos contaminantes conlleva a que estos puedan aumentar en su concentración, favoreciendo a la aparición de enfermedades y afecciones respiratorias y contribuyendo al deterioro de la calidad de aire en la ciudad.

## **Justificación del proyecto**

En la actualidad el crecimiento del parque automotor ha ido en ascenso, la gran demanda vehicular que presenta el centro histórico de la ciudad de Riobamba, especialmente en los días de fin de semana por la presencia de vehículos, en su mayoría de carga, contribuye a la aparición de NO<sub>2</sub> y COVs por la deflagración de gasolina y diésel utilizados como combustibles en los automotores, lo que fomenta la formación de O<sub>3</sub> troposférico.

La ciudad de Riobamba no presenta un monitoreo continuo de contaminantes atmosféricos, es así que para la investigación se cuenta con datos de control de calidad de aire del año 2008, en tal virtud se implementa una red de monitores pasivos, mismos que serán de gran ayuda tanto para el conocimiento como también para la determinación de la concentración de gases en la atmósfera, lo que permitirá sugerir posibles soluciones a este problema.

Al colocar los monitores pasivos en lugares estratégicos dentro del centro histórico de la ciudad de Riobamba se logrará llevar a cabo un control semanal de la concentración de NO<sub>2</sub>, aportando con una base de datos reales y verídicos, se proporcionará datos actuales de emisiones, mismos que permitirán conocer el grado de afectación y la influencia de éste sobre la calidad del aire de la ciudad; mediante un análisis comparativo de la concentración de ozono en los fines de semana y el resto de la semana, permitirá establecer directrices para la creación de un sistema de control de emisiones contaminantes y a su vez contribuirá a plantear soluciones que ayuden a disminuir la afectación que el ozono, dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles causan en la salud de los ciudadanos, gases que según la OMS pueden ser precursores de cáncer específicamente de cáncer de pulmón, al igual que el material particulado que puede causar neumopatías, cardiopatías y según estudios realizados es el causante de muertes prematuras. (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Es trascendental tener en consideración que los contaminantes atmosféricos antes mencionados de sobrepasar el límite permisible, la máxima en una hora de 200 µg/m<sup>3</sup> para el NO<sub>2</sub>, máxima en ocho horas de 100 µg/m<sup>3</sup> para O<sub>3</sub>, mientras que para COVs no se cuenta con límites establecidos en ninguna normativa, pueden contribuir al deterioro de la salud de los ciudadanos, en tal virtud es de suma importancia realizar un análisis y una evaluación periódica de éstos con el fin de conocer su concentración estimada y a su vez aportar con información que pueda ser utilizada en investigaciones posteriores.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Evaluar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y COVs en el efecto fin de semana en el centro histórico de la ciudad de Riobamba.

### ***Objetivos específicos***

- Monitorear permanentemente NO<sub>2</sub>.
- Determinar la concentración de O<sub>3</sub> y COVs a través de simulaciones matemáticas.
- Establecer un análisis comparativo de la concentración de O<sub>3</sub> entre los días laborables y los días no laborables.
- Identificar las zonas donde existe una mayor concentración de O<sub>3</sub> obtenido a partir del NO<sub>2</sub> en el centro histórico de la ciudad de Riobamba.
- Determinar el aumento de NO<sub>2</sub> respecto al año 2008.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación

En base a lo estipulado por (Environment Agency European, 2016) el efecto fin de semana y su problemática constituyen uno de los temas con mayor interés en la actualidad, ya que este estudia el comportamiento del O<sub>3</sub> y sus precursores COVs y NO<sub>x</sub> y la influencia que éstos tienen en la calidad del aire de las ciudades y sobre la salud de los habitantes de la misma.

Se han realizado un sin número de estudios sobre este tema a lo largo de los años, tal es el caso de Europa en donde se realizó un análisis comparativo entre la concentración de O<sub>3</sub> en los días laborables frente a la concentración de este durante el fin de semana, obteniéndose que durante los meses de verano, donde la radiación UV es muy elevada se reporta una concentración de O<sub>3</sub> superior a 200 µg/m<sup>3</sup>; para disminuir el ozono troposférico es necesario controlar las emisiones de sus precursores tal es el caso de los COVs y NO<sub>x</sub>, los cuales en presencia de la luz solar no solo producen O<sub>3</sub> si no muchos más oxidantes fotoquímicos como el peroxiacetilnitrato (PAN), ácido nítrico, aldehídos secundarios, entre otros. (Environment Agency European, 2016)

##### *1.1.1. Efecto fin de semana en el Ecuador*

Dentro del país los estudios del efecto fin de semana son muy escasos, existiendo solamente uno realizado en la ciudad de Quito por (Franco Calisto, 2015) en el año 2015, donde se tomó como base los registros horarios de la calidad del aire en el período 2005 – 2012, mismos que fueron obtenidos a partir de las estaciones automáticas de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) de la ciudad de Quito, con estos datos se procedió a realizar una media diaria de la concentración de O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y CO en cada una de las estaciones de monitoreo, identificando las emisiones que se dan entre los días laborables y las que se presentan en el fin de semana.

Con los datos obtenidos a partir de esta media se efectúa una comparación en la que se obtuvo como resultados la disminución de la concentración de ozono durante los días laborables, mientras que se presentó un aumento de éste durante los fines de semana, pese a que las emisiones de sus precursores COVs y NO<sub>x</sub> han disminuido, cabe destacar que solo se han tomado como datos

representativos valores obtenidos de las estaciones de monitoreo Belisario y Centro. (Franco Calisto, 2015)

Se concluye manifestando que la concentración de O<sub>3</sub> en la ciudad de Quito es mayor en los fines de semana y en horario de mediodía y las primeras horas de la tarde (09:00 – 16:00 h), lo cual se debe a la influencia que tiene la radiación solar sobre las reacciones químicas que aquí se despliegan. (Franco Calisto, 2015)

### ***1.1.2. Estudios de calidad de aire realizados en la ciudad de Riobamba***

La ciudad de Riobamba al igual que las grandes urbes presenta un gran movimiento comercial y vehicular, lo cual deriva la emisión de elevadas concentraciones de gases contaminantes tales como NO<sub>2</sub> y COVs considerados como precursores de la formación de O<sub>3</sub> troposférico, principal componente del llamado efecto fin de semana, mismo que se caracteriza por presentar un aumento en la concentración de O<sub>3</sub>. (Franco Calisto, 2015)

Actualmente en esta ciudad no se realiza un estudio específico del efecto fin de semana como tal, sin embargo en el año 2008 las municipalidades de Riobamba y Quito junto con la CORPAIRE firmaron un convenio con el fin de llevar a cabo un monitoreo continuo y permanente de la calidad del aire de esta ciudad. (CORPAIRE, 2008)

“Para tal propósito la CORPAIRE definió 6 puntos de monitoreo dentro de la provincia de Chimborazo, los mismos que fueron distribuidos de tal forma que cuatro puntos se encuentran dentro del cantón Riobamba (R. Norte - Edificio AME, R. Centro – Mercado la Merced, R. Sur – Edificio EMAPAR y Gatazo Zambrano), los dos puntos restantes los encontramos en Guano y en Penipe respectivamente. La red de monitoreo se encarga de controlar material particulado sedimentable, dióxido de nitrógeno, ozono, dióxido de azufre, benceno, tolueno, etil benceno y xilenos; cabe denotar que solo en el centro de la ciudad se instaló un equipo para el monitoreo de material particulado suspendido (PM<sub>10</sub>).” (CORPAIRE, 2008)

Los resultados arrojados para el período Febrero 2008 – Noviembre 2008 fueron para el dióxido de azufre una media de 6,95 µg/m<sup>3</sup> que se encuentra dentro del límite establecido por la Norma Anual Ecuatoriana que es 80 µg/m<sup>3</sup>, para el caso de dióxido de nitrógeno una media de 12,25 µg/m<sup>3</sup> que se encuentra dentro del límite establecido por la Norma Anual Ecuatoriana que es 100 µg/m<sup>3</sup> y en cuanto al material sedimentable total se obtiene una media de 1,41 mg/cm<sup>2</sup> por cada 30 días que se encuentra ligeramente sobre el límite establecido por la Norma Anual Ecuatoriana que es 1 mg/cm<sup>2</sup> por cada 30 días. (CORPAIRE, 2008)

Para el presente año no se cuenta con datos actuales del monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Riobamba.

## **1.2. Marco Conceptual**

### ***1.2.1. Atmósfera***

(Martínez y Díaz de Mera, 2004: pp.11-45) Concluye diciendo que la atmósfera es un sistema complejo formado por la interacción de gases y otras sustancias, mismas que permiten la formación de oxígeno, elemento esencial en la vida de todos los seres humanos. De acuerdo a la varianza en su temperatura ésta se encuentra dividida en:

- ✓ Troposfera: (9-15km) es la capa más cercana a la Tierra, se caracteriza por ser el lugar donde se dan los fenómenos climáticos, presenta gran dinamismo y es la que absorbe toda la contaminación atmosférica. Un dato a tomar en cuenta es que su temperatura disminuye con la altura, 0,6°C por cada 100 m hasta los 12 km, en donde llega a un equilibrio y nos indica la terminación de esta capa.
- ✓ Estratosfera: o capa de ozono, se extiende hasta los 50 km y se caracteriza por que en esta se concentra el porcentaje más alto de ozono disponible, además de que es la encargada de captar la radiación ultravioleta.
- ✓ Mesosfera: se extiende por arriba de los 50 km y se ve caracterizada por una baja en su temperatura conforme su altura de 0°C a -80°C a una elevación de 80 km.
- ✓ Termosfera: presenta un aumento en la temperatura conforme su altura, es así que a 500 km su temperatura es 1500°C, se evidencia la presencia de capas ionizadas encargadas de desviar las ondas radioeléctricas.

### ***1.2.2. Contaminación atmosférica***

Este tipo de contaminación se presenta desde los inicios mismos de la Tierra, producto de los innumerables procesos de creación de hábitat, procesos naturales como erupciones volcánicas, emisión de gases provenientes de reacciones químicas atmosféricas, entre otras; sin embargo y con el transcurrir del tiempo llegamos hacia la era de la Revolución Industrial, la que se vio caracterizada por la impetuosa necesidad de obtener energía, tomando como punto de partida el uso excesivo de combustibles y derivados de petróleo, cuyos productos de combustión en la actualidad constituyen la principal fuente de contaminación y deterioro de la calidad de aire en la urbe. (Solís y López, 2003: pp.1-13)

La contaminación atmosférica se define como la presencia de elementos o sustancias extrañas en el aire capaces de causar riesgo o daño grave a las formas de vida circundantes.

A lo largo de los años se ha evidenciado varios ejemplos de contaminación atmosférica tal es el caso de Londres en el año de 1994, en donde se observó por primera vez el fenómeno de Smog Fotoquímico o aumento en la concentración de ozono, dado por las reacciones químicas entre compuestos orgánicos, NO<sub>x</sub> y la presencia de luz solar. (Martínez y Díaz de Mera, 2004: pp.11-45)

Este particular caso de contaminación se presenta principalmente por el aumento de contaminantes en la atmósfera como consecuencia de las actividades antropogénicas realizadas en el transcurrir de los tiempos, llevando a alterar los procesos químicos que en ella se realizan permitiendo la aparición de problemas ambientales graves como la lluvia ácida, el efecto invernadero, y la destrucción de la capa de ozono. (Martínez y Díaz de Mera, 2004: pp.11-45)

### ***1.2.3. Contaminantes atmosféricos***

(Manahan, 2007: pp.402) Acota que los contaminantes atmosféricos se clasifican en:

- ✓ Contaminantes primarios. Son aquellos contaminantes emitidos de forma directa como el dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono.
- ✓ Contaminantes secundarios. Son aquellos que se forman por las reacciones químicas que sufren los contaminantes primarios, a este grupo pertenece al dióxido de nitrógeno, ozono, ácido sulfúrico, material particulado.

#### ***1.2.3.1. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)***

El dióxido de nitrógeno, es un gas que presenta características tales como olor desagradable, es de color pardo rojizo y se forma a partir de la deflagración de carburantes a altas temperaturas provenientes tanto de motores de automóviles como de fábricas y centrales eléctricas. (Jiménez, 2001: pp.333-334)

El NO<sub>2</sub> en combinación con el ozono forma el peroxiacetilnitrato (PAN), que forma parte del smog. (Jiménez, 2001: pp.333-334).

La siguiente ecuación indica la reacción química que se da para formar el smog, en donde el dióxido de nitrógeno en interacción con la luz solar, nos dará como productos monóxido de nitrógeno más oxígeno atómico. (Strauss y Mainwaring, 2011: pp.59-63)



Continuando con el ciclo y según lo citado por (Figueruelo y Dávila, 2004: pp.47-50) tenemos la reacción química producida en horas de la mañana de disociación de dióxido de nitrógeno, formando monóxido de nitrógeno y radicales oxígeno.



Cuando existe la presencia de COVs en la atmósfera estos contemplan la formación de una nueva reacción química, en la cual estos se transforman en radicales peroxi y proceden a oxidar al monóxido de nitrógeno, formando NO<sub>2</sub>. (Figueruelo y Dávila, 2004: pp.47-50).



El ciclo cierra su mecanismo con la reacción producida durante la noche entre el dióxido de nitrógeno y los radicales oxhidrilo, generando como producto ácido nítrico. (Figueruelo y Dávila, 2004: pp.47-50).



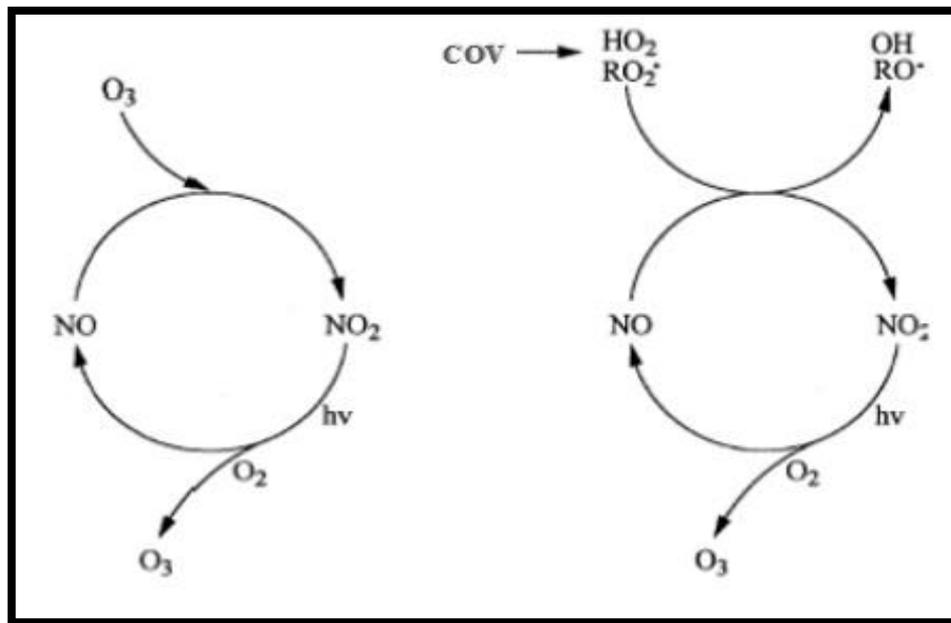
#### 1.2.3.2. *Compuestos Orgánico Volátiles (COVs)*

La (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2016) define a los compuestos orgánicos volátiles (Volatile Organic Compounds, VOCs) como cualquier compuesto orgánico que colabora activamente en la producción de reacciones químicas en asociación con la luz que se dan a nivel de la atmósfera, excluyendo a aquellos compuestos que la EPA catalogue como poco reactivos.

Los compuestos orgánicos volátiles aumentan su reactividad conforme aumentan los enlaces C-H, provienen tanto de actividades industriales como de fuentes naturales, antropogénicamente éstos principalmente aparecen por la evaporación de los combustibles, solventes y pesticidas, también se forman por la combustión incompleta de automotores de combustión interna y de forma natural surgen por las emisiones evaporativas de la vegetación misma. (Morales, 2006: pp.28-30)

Cabe denotar que estos compuestos en sociedad con NO<sub>x</sub> son considerados precursores del ozono troposférico, considerado actualmente como un gas de elevada toxicidad. (Organización Mundial de la Salud, 2016)

Los compuestos orgánicos volátiles son conceptuados como una ruta complementaria para la formación de ozono, ya que su estadía en la atmósfera contribuye a formar compuestos mucho más reactivos que oxidarán NO a NO<sub>2</sub> sin necesidad de gastar las moléculas de ozono existentes en el medio, derivando en un aumento y permanencia de ozono en la atmósfera. (De Blas Martín, 2009: pp.5-13)



**Figura 1-1:** Conversión de NO a NO<sub>2</sub> y formación de ozono: en ausencia de COV (izquierda) y en presencia de COV (derecha)

Fuente: Atkinson, 2000

### 1.2.3.3. Ozono (O<sub>3</sub>)

El ozono, es una molécula integrada por 3 átomos de oxígeno, y se encuentra formando parte de la atmósfera, el O<sub>3</sub> troposférico se forma como consecuencia de una serie de reacciones químicas que se da entre sus precursores COVs y NO<sub>x</sub> antropogénicos y la radiación solar. (Cabrera et al., 2005: p.283-284)

Este ozono puede ser de dos clases, el O<sub>3</sub> estratosférico el cual actúa como capa protectora contra la radiación ultravioleta y el O<sub>3</sub> troposférico que es considerado un contaminante capaz de causar daño a la población y biosfera circundante. (Cabrera et al., 2005: p.283-284)

El ozono en presencia de nitrógeno y luz solar generan reacciones de oxidación formando smog fotoquímico responsable de alterar las propiedades fisicoquímicas de la atmósfera. (Mancilla, 2004)

El oxígeno atómico en asociación con el oxígeno molecular y un elemento no orgánico como nitrógeno (M), formarán una molécula de ozono. (Strauss y Mainwaring, 2011: pp.92-93)



Cuando no existe la presencia de ningún otro elemento oxidante, el ozono vuelve a reaccionar con monóxido de nitrógeno, lo que implica el cierre del ciclo. (Strauss y Mainwaring, 2011: pp.92-93).



#### **1.2.4. Contaminantes atmosféricos y su efecto sobre la salud y medio circundante**

##### **1.2.4.1. Dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )**

El dióxido de nitrógeno es considerado como contaminante atmosférico por la incidencia que tiene este sobre el organismo de los seres humanos, según estudios realizados en Norteamérica y Europa, la exposición a este compuesto provoca una disminución en la función pulmonar y afecta gravemente los síntomas de bronquitis en niños diagnosticados con asma. (Organización Mundial de la Salud, 2016)

Al dióxido de nitrógeno se le atribuye también alteraciones a nivel pulmonar y cardiovascular. (Jiménez, 2001: pp.333-334)

Según lo indicado por (Strauss y Mainwaring, 2011: pp.69-80) el dióxido de nitrógeno es responsable del deterioro de la vegetación, debido a su alta solubilidad en el agua este se filtra en el suelo y es absorbido por las plantas atacando las hojas maduras; en conjunto con otros gases contaminantes dañan fachadas de viviendas, alteran los materiales plásticos, metálicos y corroen la pintura de vehículos.

##### **1.2.4.2. Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)**

Los compuestos orgánicos volátiles son precursores del ozono y como tal aportan en el deterioro de la salud de los seres humanos provocando irritaciones nasales y llegando incluso a producir

cáncer, lo cual dependerá de la concentración y del tiempo de exposición al que se encuentren sometidas las personas. (Parraguez y Hormazábal, 2000: pp.1-4)

Los compuestos orgánicos volátiles en combinación con gases atmosféricos forman compuestos oxidantes que llegan a dañar fachadas de viviendas, alteran los materiales plásticos, metálicos y corroen la pintura de vehículos. (Strauss y Mainwaring, 2011: pp.85)

#### *1.2.4.3. Ozono (O<sub>3</sub>)*

El ozono contempla quizás el contaminante de mayor estudio y preocupación para las entidades de salud, ya que es el responsable de causar enfermedades asmáticas y pulmonares, además es promotor en la disminución de la función pulmonar; varias han sido las investigaciones realizadas a este contaminante, tal es el caso de Europa en donde se considera que el ozono está ligado íntimamente con la mortalidad diaria y mortalidad por cardiopatías, ya que estas evidencian un aumento en un 0,3% y un 0,4% respectivamente con un acrecentamiento de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de ozono. (Organización Mundial de la Salud, 2016)

(Strauss y Mainwaring, 2011: pp.78-80) son muy claros al indicar que el ozono troposférico es un potente contaminante atmosférico capaz de alterar el funcionamiento normal de las plantas, éste actúa directamente sobre las células de las hojas, inhibiendo el proceso de fotosíntesis y alterando el intercambio respiratorio, además de fomentar el cambio de color y la aparición de manchas de tonalidad oscura en la hoja; en plantas como geranios y claveles el ozono atrofia el crecimiento y florecimiento normal.

El ozono al ser un compuesto corrosivo causa daño a diversos materiales, es así que en Los Ángeles se le atribuye el rápido desgaste de los neumáticos debido a su poder oxidante y a su elevada concentración en el aire de esta ciudad. (Strauss y Mainwaring, 2011: pp.85-86)

#### *1.2.5. Efecto fin de semana*

Según lo descrito por (Seguel et al., 2012: pp. 72-79) el efecto fin de semana comprende un problema en las zonas urbanas, debido al aumento en la concentración de O<sub>3</sub>, y de contaminantes atmosféricos tales como el NO<sub>2</sub> y COVs durante los días no laborables en comparación con el resto de la semana.

Cabe denotar que el ozono y sus precursores (NO<sub>2</sub> y COVs) presentan un comportamiento complejo, y que no necesariamente estos tienen concordancia o mantienen un equilibrio en sus

porcentajes de concentración en la atmósfera, de ahí que se deriva el poco control que se puede tener sobre éstos y sus consecuencias sobre el medioambiente. (Seguel et al., 2012: pp. 72-79)

Un factor predominante dentro del efecto fin de semana es también la presencia de material particulado ( $PM_{2.5}$ ), el cual se presenta en menor cantidad durante los fines de semana debido a la baja circulación de vehículos a diésel y lo que a su vez permite el incremento de la radiación solar y la formación de ozono troposférico. (Blier et al., 1999)

### ***1.2.6. Combustión interna y funcionamiento de motores***

Motor se denomina al conjunto de mecanismos cuyo fin es la recolección y aprovechamiento de la energía resultante del proceso de combustión de una mezcla aire-combustible. Esta mezcla es introducida en cada cilindro que contiene el motor, posteriormente comprimida e inflamada para producir una cantidad de presión necesaria capaz de mover el pistón en su interior. (Arroba y Jiménez, 2012, pp.11-15)

De acuerdo al ciclo termodinámico que desarrolla cada motor, puede clasificarse principalmente en dos tipos: Otto o Diésel. (Arroba y Jiménez, 2012, pp.11-15)

#### ***1.2.6.1. Motor Otto y Motor a Diésel***

El Motor Otto corresponde al ciclo termodinámico que utiliza gasolina como combustible. Su denominación más común es la de Motor de combustión interna, de acuerdo a la necesidad de la generación de una chispa interna responsable del suministro del encendido. (Arroba y Jiménez, 2012, pp.11-15)

Motor - Diésel se encuentran en esta clasificación aquellos motores que hacen uso de aceite ligero como combustible. En este ciclo termodinámico se realiza la compresión de aire y se inyecta aceite pulverizado produciendo una combustión más lenta; consecuentemente la demanda de combustible es menor. En virtud de la economía del aceite ligero, este tipo de motores son usados en vehículos cuya demanda de potencia en términos del cilindraje es mayor y por tanto la economía del combustible es un factor importante. (Arroba y Jiménez, 2012, pp.11-15)

Las diferencias entre estos dos tipos de motores se detallan a continuación en la tabla 1-1.

**Tabla 1-1:** Diferencias entre Motor Otto y Motor a diésel

Parámetros	Motor Otto	Motor a Diésel
Encendido	Una vez ingresado el aire éste requiere de una chispa producida por la bujía para encender el combustible.	El carburante en combinación con una elevada presión y temperatura provoca el arranque del vehículo.
Tipo de combustible	Gasolina	Diésel
Consumo	Para mayor velocidad, mayor consumo de combustible	Alcanza mayor velocidad con un bajo consumo de combustible
Durabilidad	Baja duración	Mayor duración por su arranque eléctrico, menor incidencia de deterioro en el motor
Tipo de vehículo	Vehículos pequeños	Vehículos de carga, mayor cilindraje
Ruido	El ruido es mínimo	Genera un elevado nivel de ruido por la compresión de su combustible
Control de emisiones	Alto	Medio

**Fuente:** Cárdenas y Kaslin, 2006, pp.20-45

El motor a diésel presenta mayor incidencia de producción de contaminantes atmosféricos, debido al bajo control de emisiones del cual está provisto como sistema de recirculación de gases, convertidor catalítico (Lazic et al, 2016, pp.347-360) y filtro de partículas (Qin et al, 2016, pp.3069-3087), en cotejo con un vehículo dotado de un motor a gasolina, el mismo que presenta un control de emisiones evaporativas, control en el tubo de escape, convertidor catalítico y un sistema de escape, métodos que permiten reducir la emisión de gases contaminantes.

### ***1.2.7. Combustibles utilizados en Ecuador***

EP Petroecuador es la principal empresa pública encargada de suministrar combustibles a todo el territorio ecuatoriano; las gasolinas Extra y Súper, el Diésel Premium y desde el año 2010 la gasolina Ecopaís forman parte de la gama de productos distribuidos por esta firma. (Ministerio de Hidrocarburos, 2012)

Para que los productos puedan ser competitivos a nivel comercial deben presentar características que permitan mejorar su desempeño, como el grado de octanaje para el caso de las gasolinas, el cual nos da a conocer la calidad y la capacidad que tiene la gasolina para su consumo, entre mayor sea el número de octanos presentes, mejor será el rendimiento que tendrá el motor y por ende el consumo de combustible será mucho menor. (Ministerio de Hidrocarburos, 2012)

#### *1.2.7.1. Gasolinas Extra y Súper*

Como se mencionó anteriormente el octanaje es el principal indicador de la calidad de un combustible, por tal motivo encontramos que para la gasolina Extra tenemos 87 octanos, mientras que para la gasolina Súper 92 octanos, en post de mejorar la calidad de los combustibles y brindar un mejor producto EP Petroecuador se ha planteado como objetivo disminuir la concentración de azufre que presentan los combustibles, es así que para el caso de las gasolinas el contenido de azufre se mantiene en 462 partes por millón, dentro del límite establecido por la norma INEN que establece un máximo de 650 partes por millón. (Ministerio de Hidrocarburos, 2012)

Es necesario destacar también que el número de Octano en la gasolina Extra aumentó en 1.2% ( $\approx$  1.0 RON), y en la gasolina Súper en 0.9% ( $\approx$  0.8 RON) y que estas mejoras irán avanzando para los próximos años. (Ministerio de Hidrocarburos, 2012)

#### *1.2.7.2. Diésel Premium*

El Diésel Premium requerido como combustible para maquinaria pesada y vehículos de un tamaño superior también mejora su calidad, bajando su nivel de azufre a 462 partes por millón (ppm) dentro del límite establecido por la norma INEN que establece un máximo de 500 partes por millón. (Ministerio de Hidrocarburos, 2012)

Con estos importantes cambios la empresa EP Petroecuador busca brindar a la ciudadanía combustibles con altos estándares de calidad, que mejoren el desempeño de sus vehículos y a la vez contribuir a mantener una atmósfera más limpia y saludable. (Ministerio de Hidrocarburos, 2012)

#### *1.2.7.3. Gasolina Ecopaís*

Una alternativa al uso de gasolinas normales es la que encontramos en la gasolina Ecopaís, que es una mezcla de 95% gasolina extra y 5% de etanol anhidro, con un nivel de 80 octanos, característica importante que permitiría reemplazar a la gasolina Extra normal sin mayor inconveniente. (British Broadcasting Corporation - BBC, 2010)

Según (British Broadcasting Corporation - BBC, 2010) el etanol anhidro es un producto obtenido del procesamiento de la caña de azúcar y se espera que para años posteriores el porcentaje de concentración de este aumente a un 10%, lo que garantizaría un combustible de calidad superior, el precio de la gasolina Ecopaís está fijado en US\$1.45 el galón el mismo precio que un galón de gasolina Extra.

La utilización de biocombustible pretende ser una solución a la constante emisión de dióxido de carbono y otros gases contaminantes producto de la combustión de los motores, además de disminuir hasta en un 15% las importaciones de nafta de alto octanaje, compuesto utilizado en la refinación de la gasolina regular, ahorrándole al Estado millones de dólares e impulsando el uso de nuevas tecnologías sustentables y amigables con el ambiente. (British Broadcasting Corporation - BBC, 2010)

#### ***1.2.8. Captadores pasivos para dióxido de nitrógeno atmosférico***

Para el monitoreo y determinación de NO<sub>2</sub> atmosférico existen dos tipos de captadores, los captadores pasivos y los activos, los primeros son utilizados para evaluar la concentración promedio de dióxido de nitrógeno en un lapso establecido de tiempo, mientras que los segundos específicamente son requeridos para realizar monitoreos in situ; los captadores pasivos basan su funcionamiento en una transferencia de masa por el movimiento o paso de contaminantes atmosféricos hacia un medio absorbente (trietanolamina). (Borges et al., 2015)

Para nuestra investigación se utilizarán captadores pasivos de Palmes, que son tubos cilíndricos de vidrio (silicato de calcio o potasio) o acrílico (polimetilmetacrilato), con abertura en sus dos extremos y de 0,071 m de largo, 0,011 m de diámetro interno y 0,0122 m de diámetro externo, medidas requeridas para que su desempeño sea efectivo y brinde las condiciones necesarias de difusión y retención de contaminantes, hay que tener en cuenta que estos captadores deben ser provistos de un sistema de protección para impedir que agentes climáticos como la lluvia o el viento puedan alterar su funcionamiento. (Borges et al., 2015)

En la tabla 2-1 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas que tiene el uso de captadores pasivos.

**Tabla 2-1:** Ventajas y desventajas del uso de captadores pasivos

<b>CAPTADORES PASIVOS</b>	
<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Bajo coste de adquisición</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ No son útiles para todos los contaminantes</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Sencillos de manipular</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Medidas semanales, quincenales, mensuales</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Útiles para estudios de base</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Transporte de muestras y análisis en el laboratorio</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Estudio de efectos a largo plazo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Determinación promedio del muestreo</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Estudio de amplias zonas de muestreo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Datos con incertidumbre</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Versatilidad del emplazamiento</li></ul>	

Fuente: Cano y Delgado, 2011

Los captadores pasivos presentan una incertidumbre del 34% aproximadamente (95% de confianza) según estudios realizados en Reino Unido, es decir que presentan datos confiables que pueden ser utilizados como base para próximas investigaciones. (Kirby et al., 2000: pp.307-312)

Estos captadores son regidos por la ley de Fick, que hace mención a la difusión por gradiente de concentración, es decir que los contaminantes pasan de una zona de mayor concentración a una de menor concentración según lo descrito por (Borges et al., 2015) y su fórmula representativa es:

$$F \equiv \left( \frac{D * A}{l} \right) \quad (\text{Ec. 7-1})$$

dónde:

F =Flujo de muestreo (m<sup>3</sup>/s)

D =Coeficiente de difusión molecular de NO<sub>2</sub> en el aire (m<sup>2</sup>/s)

A =Área transversal del tubo cilíndrico (m<sup>2</sup>)

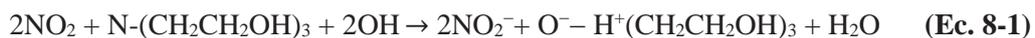
l =Longitud del tubo cilíndrico (m)

Es importante aclarar que el método de Palmes ha sido verificado por varios estudios, y brinda confiabilidad en sus resultados, es así que el material de los tubos utilizados impide que la luz penetre de forma directa inhibiendo la incidencia de reacciones químicas que puedan alterar la concentración de dióxido de nitrógeno que contiene cada muestra, de igual forma este material acrílico no permite que se de absorción ni adsorción del contaminante en las paredes del tubo,

dándonos la concentración neta de dióxido de nitrógeno recogida en el tiempo de muestreo. (Borges et al., 2015)

El líquido absorbente utilizado es la Trietanolamina (TEA), líquido de tonalidad amarillo pálido y que ha sido empleado para este fin desde los años 70, corroborando su alto rendimiento y poder de absorción de dióxido de nitrógeno; en un inicio se manifestaba que la reacción dada entre el  $\text{NO}_2$  y la TEA requería la presencia de una cantidad considerable de agua, misma que ayudaría a la formación de  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ , mientras que su ausencia formaría N-nitrosodietanolamina. (Borges et al., 2015)

Investigaciones posteriores realizadas en Dinamarca 12 años después propusieron que la reacción dada entre el  $\text{NO}_2$  y la TEA tiene como productos finales trietanolamina N-óxido, relacionada estequiometricamente 1:1 con la transformación de  $\text{NO}_2$  a iones nitrito, la cual ha sido aceptada hasta el día de hoy según (Borges et al., 2015) y queda esquematizada en la siguiente ecuación:



Los captadores pasivos pueden estar expuestos hasta una semana, sin embargo en las zonas urbanas basta con 2 o 3 días de exposición para tener resultados fiables a diferencia de las zonas rurales, en las que se requiere un período de tiempo prolongado de muestreo para obtener los resultados requeridos. (Borges et al., 2015)

#### 1.2.8.1. Condiciones meteorológicas a tomar en cuenta durante el muestreo

- Velocidad del viento. Una turbulencia o velocidad del viento relativamente excesiva causaría problemas en cuanto a la circulación del contaminante por el tubo, por tal motivo es preciso tomar a consideración la necesidad de proveer de un sistema de seguridad que brinde protección a cada una de las muestras. (Borges et al., 2015)
- Temperatura. La temperatura no tiene mayor influencia sobre el flujo de difusión y esto se debe a la presencia de la Trietanolamina (TEA), que actúa como un gel aún a temperaturas bajas de  $-10^\circ\text{C}$ , y más bien este flujo se ve influenciado por la humedad y el escaso vapor de agua en lugar de la temperatura. (Borges et al., 2015)
- Humedad. Al parecer la humedad sugiere ser el problema más evidente que presentan los captadores pasivos que utilizan TEA como absorbente, ya que este no presenta un buen desempeño a humedades bajas y condiciones de ausencia de vapor de agua, sin embargo esta teoría no ha sido comprobada al aire libre ni estudiada a fondo. (Borges et al., 2015)

#### *1.2.8.2. Emplazamiento de captadores pasivos en calles, carreteras o aceras: categoría de tráfico*

Los captadores pasivos colocados en calles, carreteras o aceras nos proporcionan la concentración máxima de dióxido de nitrógeno a la que las personas se encuentran expuestas, según lo descrito por (Borges et al., 2015), estas concentraciones se manifiestan de mejor manera en condiciones de bajo tráfico vehicular y calles de corta longitud como es el caso del centro de la ciudad, el cual se encuentra provisto de edificaciones a los dos lados de la calzada.

Es así que de acuerdo a lo citado por (Borges et al., 2015) los captadores que estarán colocados en la acera deben estar a 1 m de ésta, para el caso de las carreteras éstos serán fijados a 1 y 5 m de la acera ubicados en infraestructuras fijas y bien identificadas, se debe tener cuidado de no instalar los captadores pasivos en zonas de alta turbulencia, ya que pueden alterar la concentración real de dióxido de nitrógeno.

#### *1.2.9. Centro histórico de la ciudad de Riobamba y su demanda vehicular*

La ciudad de Riobamba denominada como la ciudad de las primicias por su enorme importancia dentro de la historia del Ecuador exhibe dentro de su infraestructura viviendas de tipo colonial, construidas a base de adobe, teja y madera, mismas que datan de los años 1930 – 1940, que en conjunto con otras 434 edificaciones se encuentran inventariadas dentro del registro del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (INPC). (El Comercio, 2013)

Según lo descrito por (El Comercio, 2013) el centro histórico de la ciudad de Riobamba se encuentra formado por 144 manzanas, actualmente este populoso sector se presenta como un centro activo de comercio, al encontrarse en una zona tan concurrida aglomera importantes instituciones públicas y privadas y por consiguiente exhibe un alto nivel de fluidez vehicular; las grandes edificaciones presentes contribuyen a que los gases expulsados por los vehículos no logren evacuar correctamente convirtiéndose en un problema.

Según datos registrados por (Agencia Pública de noticias del Ecuador y Suramérica "Andes", 2016) en la actualidad el parque automotor de Ecuador presenta un crecimiento del 57% durante los años 2010 - 2015, siendo Guayas la urbe con mayor registro de vehículos matriculados; tomando como partida estos datos y la información generada por el (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016) la provincia de Chimborazo para el año 2015 cuenta con 59.638 vehículos, de los cuales 21.830 son automóviles, 16.906 camionetas, 9.017 jeep, 5.179 motocicletas, 3.498 camiones, 1.763

furgonetas, 791 autobuses, 278 volquetas, 123 tráiler, 79 tanqueros y 174 de otra clase, concentrándose la mayor cantidad de automotores en la ciudad de Riobamba.

Del total de automotores matriculados en la provincia y de acuerdo al tipo de combustible utilizado se registra 51.798 a gasolina, 7.701 a diésel, 107 son híbridos, 12 a gas licuado de petróleo y finalmente tan solo 20 no presentan registro; en base a los datos presentados se evidencia la enorme cantidad de gases que cada motorizado emite al exterior y la importancia de su estudio. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016)

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO EXPERIMENTAL

#### 2.1. Lugar de desarrollo de la investigación

##### 2.1.1. Lugar de monitoreo de $NO_2$

La ciudad de Riobamba perteneciente al cantón Riobamba se encuentra ubicada al norte de la provincia de Chimborazo, Sierra Centro, está ubicada a 2.754 msnm y presenta una temperatura promedio de 14°C. Las temperaturas más altas registradas corresponden al mediodía con 23°C. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba, 2014)

La ciudad de Riobamba limita al Norte con los cantones de Guano y Penipe; al Sur con los cantones de Colta y Guamate; al Este por el cantón Chambo y la provincia de Morona Santiago; mientras que al Oeste se encuentran las provincias de Bolívar y Guayas. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Riobamba, 2014)

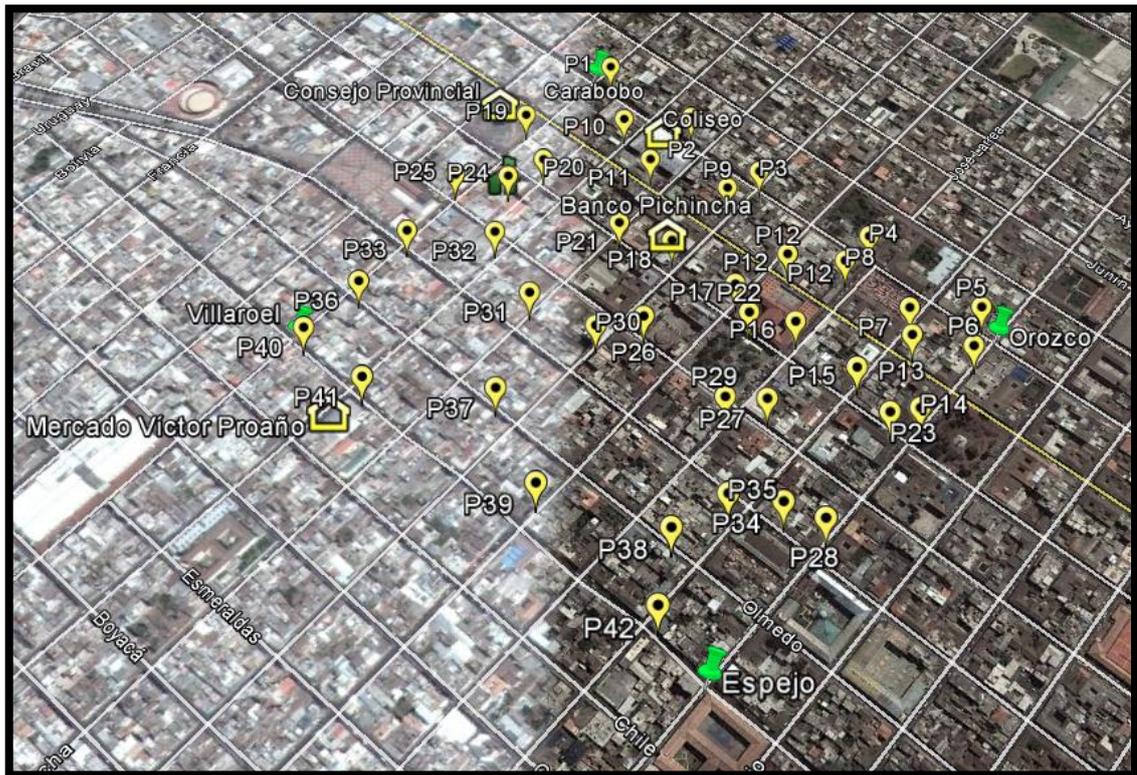
Para la realización del estudio se seleccionó como zona de influencia el centro histórico de la ciudad comprendido entre las calles las calles José Orozco, Carabobo, Gaspar de Villarroel y Espejo, en donde se tomaron en consideración 42 puntos de monitoreo, ya que este sector presenta una gran afluencia vehicular debido a su localización céntrica en la ciudad, de igual forma en este tramo se concentran mercados locales, por lo que se evidencia una importante circulación de automotores principalmente vehículos de carga, los mismos que emiten gases contaminantes.

En la tabla 1-2 se detallan las coordenadas de ubicación de los puntos de monitoreo en el Centro histórico de la ciudad de Riobamba.

**Tabla 1-2:** Ubicación de los puntos de monitoreo en el Centro histórico de la ciudad de Riobamba

<b>PUNTOS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>PUNTOS</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
P1	761281.66 m E	9815454.37 m S	P22	761430.46 m E	9815080.18 m S
P2	761370.03 m E	9815368.13 m S	P23	761572.10 m E	9814954.22 m S
P3	761449.85 m E	9815282.40 m S	P24	761155.44 m E	9815273.89 m S
P4	761570.11 m E	9815186.94 m S	P25	761093.69 m E	9815275.78 m S
P5	761685.24 m E	9815088.08 m S	P26	761315.53 m E	9815074.83 m S
P6	761670.16 m E	9815037.90 m S	P27	761445.15 m E	9814970.81 m S
P7	761606.95 m E	9815087.32 m S	P28	761497.32 m E	9814832.48 m S
P8	761540.72 m E	9815151.34 m S	P29	761401.05 m E	9814972.37 m S
P9	761411.14 m E	9815257.46 m S	P30	761263.26 m E	9815062.51 m S
P10	761289.05 m E	9815364.80 m S	P31	761189.03 m E	9815106.90 m S
P11	761321.47 m E	9815301.39 m S	P32	761145.55 m E	9815191.47 m S
P12	761476.65 m E	9815160.46 m S	P33	761045.63 m E	9815193.04 m S
P13	761605.56 m E	9815051.27 m S	P34	761456.36 m E	9814850.78 m S
P14	761604.04 m E	9814959.95 m S	P35	761401.78 m E	9814859.72 m S
P15	761542.52 m E	9815009.02 m S	P36	760999.84 m E	9815122.37 m S
P16	761480.83 m E	9815068.88 m S	P37	761160.99 m E	9814983.19 m S
P17	761416.88 m E	9815118.02 m S	P38	761344.67 m E	9814822.76 m S
P18	761346.52 m E	9815179.70 m S	P39	761208.03 m E	9814871.59 m S
P19	761171.90 m E	9815367.33 m S	P40	760947.78 m E	9815060.63 m S
P20	761195.01 m E	9815298.54 m S	P41	761018.78 m E	9814997.51 m S
P21	761286.49 m E	9815204.70 m S	P42	761331.47 m E	9814741.57 m S

**Realizado por:** Miranda G, 2017



**Figura 1-2:** Ubicación de los puntos de monitoreo – Centro histórico de la ciudad de Riobamba

Fuente: Google Earth, 2017

### 2.1.2. Lugar de análisis de datos

Las muestras obtenidas para su análisis son trasladadas hacia el Laboratorio de Físico - Química de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicado en la ciudad de Riobamba, Panamericana Sur km 1½, con coordenadas UTM 17M 763354.00 m Este 9862553.33 m Sur 2537 msnm. (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 1995)

## 2.2. Procesos de la investigación

### 2.2.1. Determinación de NO<sub>2</sub>

#### 2.2.1.1. Georreferenciación de los puntos de monitoreo

Se recorrió la zona de estudio en donde se identificó los puntos de monitoreo mediante criterio técnico, con la ayuda de un sistema de posicionamiento global Garmin, seleccionando las zonas donde existe una mayor afluencia vehicular; para lo cual se estableció un total de 42 puntos de monitoreo.

#### *2.2.1.2. Elaboración de los captadores pasivos para NO<sub>2</sub>*

Los captadores pasivos o tubos Palmes a utilizar son tubos de plástico que en su interior contienen Trietanolamina (TEA) como medio absorbente, se adquieren tubos de ensayo de 0,07 m de largo, con un diámetro interior de 0,011 m y un diámetro exterior aproximado de 0,0122 m. (Borges et al., 2015)

#### *2.2.1.3. Preparación de la solución TEA*

La solución absorbente se la consigue disolviendo 15 g de Trietanolamina en 500 mL de agua destilada, posteriormente se agrega 3 mL de N-butanol, se mezcla y se afora hasta 1 L con agua destilada; el contenido se coloca en una botella color ámbar y se mantiene en refrigeración para su conservación. (Manrique y Ossa, 2010: pp.19-26)

#### *2.2.1.4. Almacenamiento de captadores pasivos*

Los captadores pasivos deben mantenerse en refrigeración o en un lugar oscuro y fresco, evitando variaciones de temperatura, ser rotulados, transportados en un recipiente plástico hermético y libre de contaminación, es importante tomar en consideración que éstos deben ser analizados antes de los 4 meses después de su preparación. (Manrique y Ossa, 2010: pp.19-26)

#### *2.2.1.5. Colocación de los captadores pasivos de NO<sub>2</sub>*

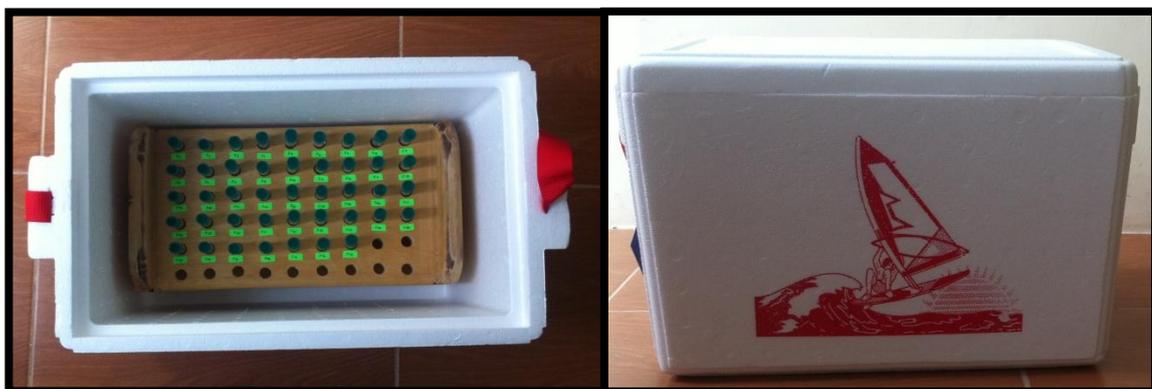
Una vez que los captadores pasivos están listos se procede a colocarlos a 3 m sobre el nivel del suelo, donde existe un flujo constante de aire y con el fin de que éstos puedan absorber el NO<sub>2</sub> circundante.

Los monitoreos se realizarán dos veces por semana, es decir, los primeros 42 captadores pasivos serán colocados los días lunes y retirados los días viernes, inmediatamente se colocarán los siguientes 42 captadores que se encargarán de absorber el NO<sub>2</sub> producido durante el fin de semana.

Este proceso se llevará a cabo durante un lapso de 10 semanas (2 meses y medio).

### 2.2.1.6. Transporte de captadores pasivos de NO<sub>2</sub>

Una vez terminado el tiempo de exposición de las muestras cada captador es colocado en una gradilla y cubierto con su respectiva tapa, éstos son transportados en un recipiente hermético o cooler, provisto de un sistema de enfriamiento – hielo, brindando las condiciones óptimas de conservación de la muestra hasta que esta llegue al laboratorio para su posterior análisis.



**Figura 2-2:** Transporte de captadores pasivos

**Realizado por:** Miranda G, 2017

### 2.2.1.7. Análisis de las muestras de NO<sub>2</sub> obtenidas y preparación de Reactivo de Griess

Las muestras provenientes del monitoreo llegan hasta el laboratorio donde son preparadas para su análisis, para lo cual se debe añadir el denominado Reactivo de Griess que consta de dos componentes, la primera solución formada por ácido sulfanílico más ácido acético 5 N y la segunda solución integrada por  $\alpha$  naftilamina y ácido acético 5 N, estas se colocan en cada una de las muestras para un cambio en su tonalidad a un color rosa o fucsia de acuerdo a la concentración de dióxido de nitrógeno contenido en ellas; las soluciones deben ser almacenadas en recipientes oscuros y en refrigeración para una correcta conservación. (Laboratorios Britania, 2016)

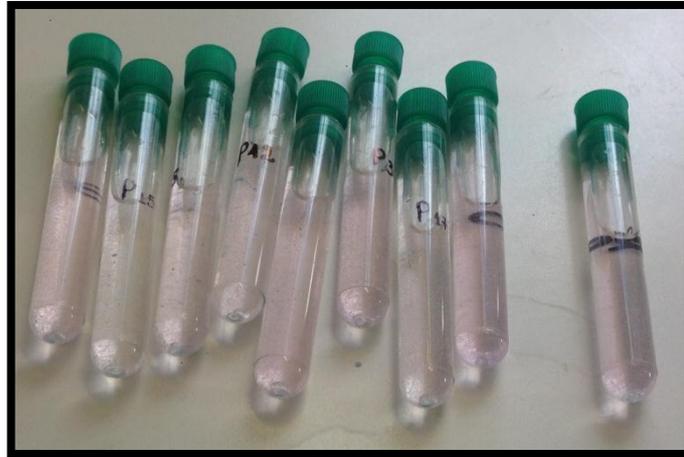
**Tabla 2-2:** Preparación del reactivo de Griess

SOLUCIÓN A		SOLUCIÓN B	
Ácido sulfanílico	0,64 g	$\alpha$ Naftilamina	0,4 g
Ácido acético 5 N	80 mL	Ácido acético 5 N	80 mL

**Fuente:** Laboratorios Britania, 2016

Se procede a colocar en cada una de las muestras 5 mL de la solución A y 5 mL de la solución B, se agita y se deja reposar por unos minutos, una vez transcurrido este tiempo se puede apreciar el

cambio de la tonalidad de la muestra a un color rosa o fucsia, esto dependerá de la cantidad de nitritos que hayan sido absorbidos.



**Figura 3-2:** Coloración de las muestras con reactivo de Griess

Realizado por: Miranda G, 2017

#### 2.2.1.8. *Análisis de las muestras por espectrofotometría*

Una vez que las muestras han tomado la tonalidad respectiva son colocadas en el espectrofotómetro de UV-visible para su posterior lectura; la calibración cero se la realizó utilizando agua desionizada.

#### 2.2.1.9. *Cálculo de la concentración de nitritos y masa de nitritos, transformación a $\mu\text{g/mL}$*

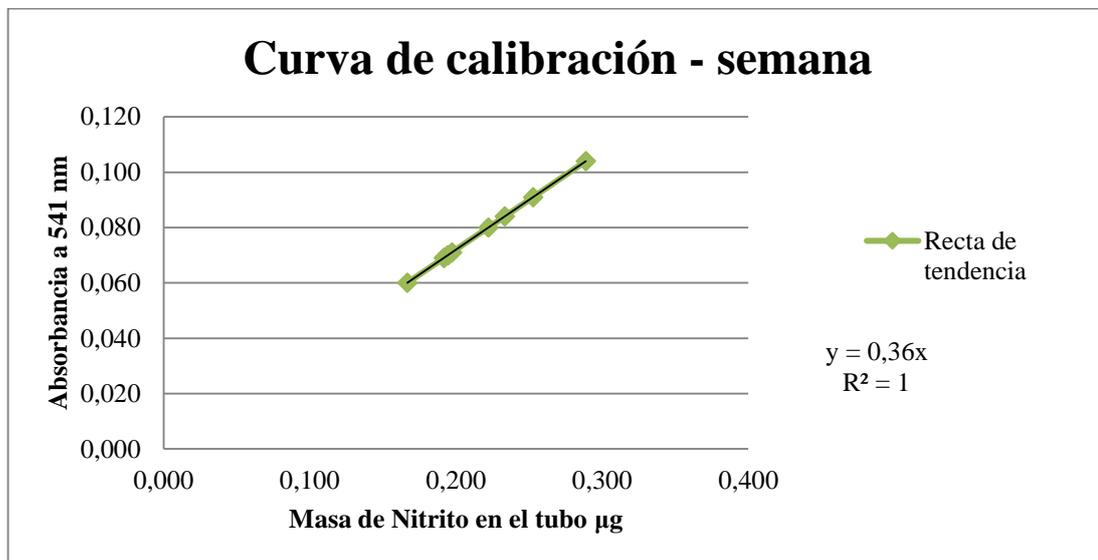
Los datos proyectados por en el espectrofotómetro de UV-visible nos revela la cantidad de absorbancia que presenta cada una de las muestras a una longitud de onda de 541 nm, sin embargo para poder trabajar es necesario reportar estos datos en ppm, es así que utilizaremos para ello una curva de calibración, tomando como referencia la siguiente tabla. (Borges et al., 2015)

**Tabla 3-2:** Datos de referencia para la curva de calibración

	Cs	m <sub>t</sub>	C <sub>t</sub>	
Disoluciones estándar	Conc. de calibración estándar (µg/mL)	Masa de nitrito en el tubo (µg)	Conc. de nitrito en el tubo (µg/mL)	Absorbancia a 541 nm
A	120	6,00	1,481	2,14
B	90	4,50	1,111	1,60
C	60	3,00	0,741	1,05
D	30	1,50	0,370	0,54
E	15	0,75	0,185	0,27
Z	0	0,00	0,000	0,00

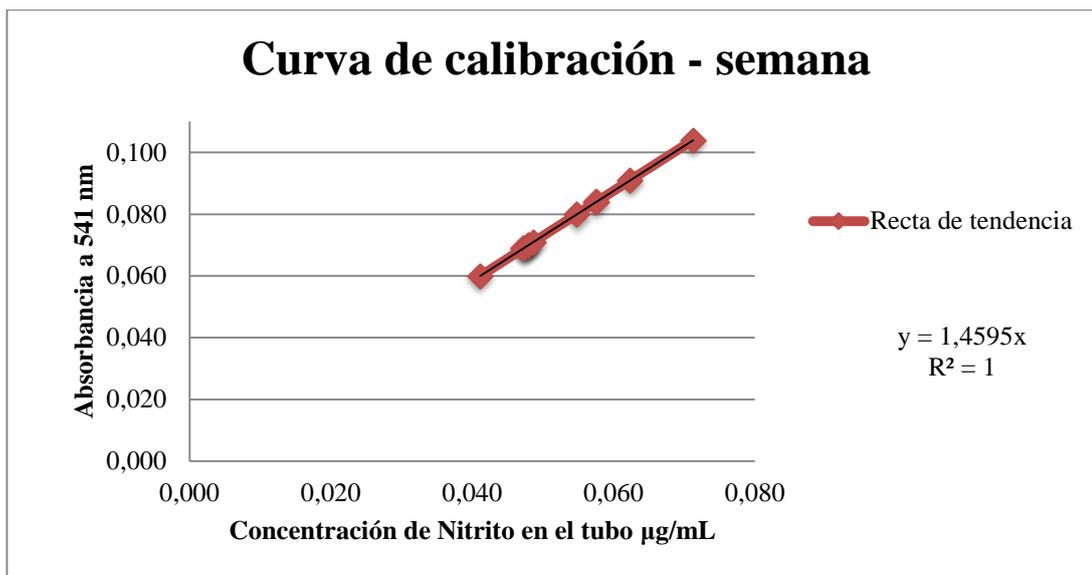
Fuente: Borges et al., 2015

Una vez determinada la concentración y masa de nitritos y paralelamente reportarlos en ppm (µg/mL) se procedió a construir la curva de calibración en base a los resultados obtenidos de las muestras analizadas, construyéndose una curva para cada caso.



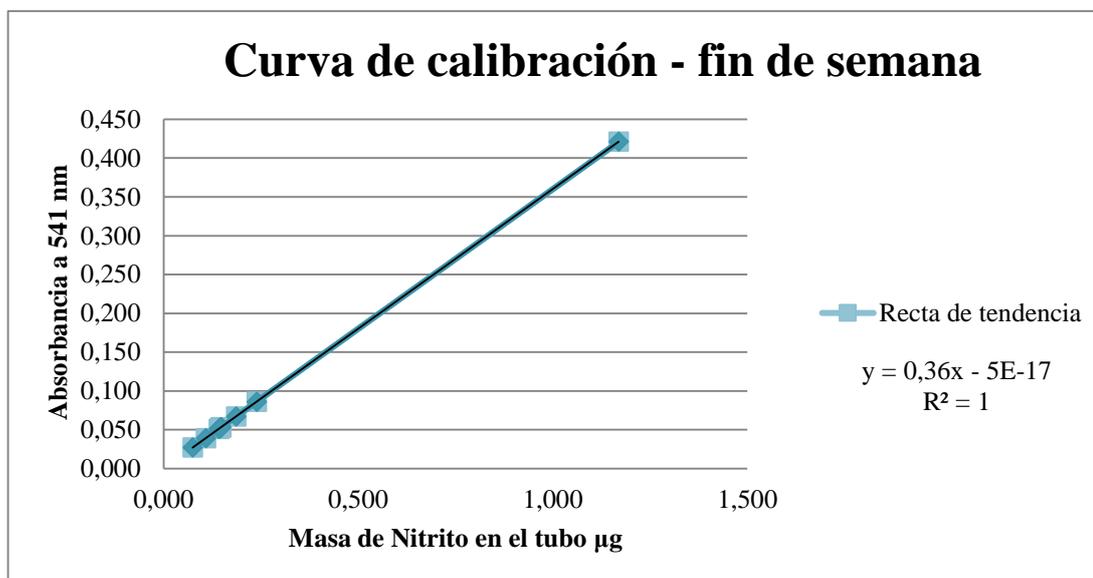
**Gráfico 1-2:** Curva de calibración, masa de nitrito - semana

Realizado por: Miranda G, 2017



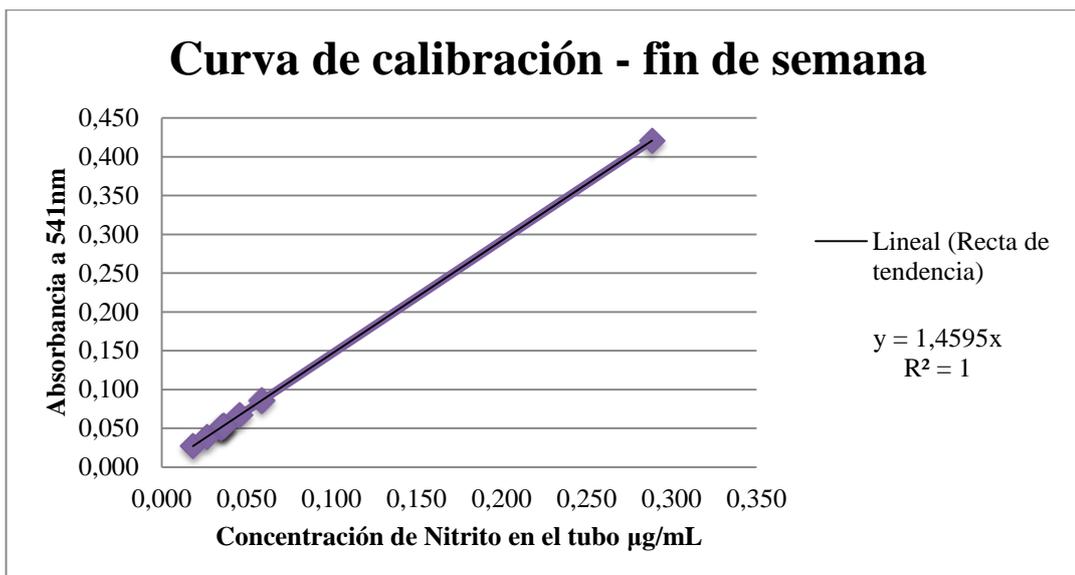
**Gráfico 2-2:** Curva de calibración, concentración de nitrito - semana

Realizado por: Miranda G, 2017



**Gráfico 3-2:** Curva de calibración, masa de nitrito – fin de semana

Realizado por: Miranda G, 2017



**Gráfico 4-2:** Curva de calibración, concentración de nitrito – fin de semana

Realizado por: Miranda G, 2017

Tomando estos datos como referencia se procedió a determinar la concentración promedio de nitritos y la masa de nitritos presentes en cada una de las muestras recogidas durante la semana así como también en el fin de semana respectivamente, para ello se parte del cálculo promedio de las absorbancias obtenidas de las semanas y fines de semana monitoreadas, a continuación en la tabla 4-2 encontramos los datos utilizados para la obtención de la concentración y masa de nitritos.

**Tabla 4-2:** Datos para la obtención de la concentración y masa de nitritos

MASA DE NITRITO EN EL TUBO (µg)		CONCENTRACIÓN DE NITRITO EN EL TUBO (µg/mL)	
Absorbancia a 541nm	0,54	Absorbancia a 541nm	0,54
Masa de nitrito referencial (µg)	1,50	Concentración de nitrito referencial (µg/mL)	0,370
Dato de la muestra analizada	0,06	Dato de la muestra analizada	0,06

Realizado por: Miranda G, 2017

#### 2.2.1.10. Cálculo del coeficiente de difusión

$$D \equiv 1,36 \times 10^{-5} \left( \frac{T}{273} \right) 1,81 \quad (\text{Ec. 1-2})$$

dónde:

D = coeficiente de difusión (m<sup>2</sup>/s)

1,36 x 10<sup>-5</sup> = valor preferido para el coeficiente de difusión del NO<sub>2</sub> en el aire, con una incertidumbre de ±10%

T = 273 K (0°C) y 1 atm

$$\left(\frac{T}{T_0}\right)^{1,81} = \text{factor de corrección}$$

(Borges et al., 2015) Acota que para establecer el valor del coeficiente de difusión es necesario conocer la temperatura a la que las muestras estuvieron expuestas, como se indicó anteriormente el análisis se lo realizará semanalmente, por tal razón se realizó un cálculo previo para la obtención de la temperatura media promedio tanto de la semana como del fin de semana, lo cual se detalla en la tabla 5-2.

**Tabla 5-2:** Temperatura media promedio

SEMANA	TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO		FIN SEMANA	TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO	
	(°C)	(K)		(°C)	(K)
1	20,38	293,53	1	18,20	291,35
2	19,68	292,83	2	21,40	294,55
3	21,26	294,41	3	19,30	292,45
4	19,02	292,17	4	18,80	291,95
5	20,96	294,11	5	22,15	295,30
6	21,22	294,37	6	20,25	293,40
7	18,84	291,99	7	20,60	293,75
8	19,84	292,99	8	19,60	292,75
9	20,66	293,81	9	22,25	295,40
10	21,86	295,01	10	20,85	294,00

**Fuente:** Estación Agrometeorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2016

Cabe destacar que para nuestro estudio se determinará dos coeficientes de difusión D, uno por cada semana y otro por cada fin de semana de monitoreo realizado, obteniéndose un total de 10 valores.

#### 2.2.1.11. Cálculo del flujo de muestreo

$$F = \left( \frac{D * A}{l} \right) \quad (\text{Ec. 2-2})$$

dónde:

F = flujo de muestreo (m<sup>3</sup>/s)

D = coeficiente de difusión (m<sup>2</sup>/s)

A = área transversal del tubo cilíndrico (m<sup>2</sup>)

l = Longitud del tubo cilíndrico (m)

Para el caso del flujo de muestreo F, se dispondrán también de dos valores, uno equivalente a cada semana y otro equivalente al fin de semana de monitoreo realizado, obteniéndose un total de 10 valores.

#### 2.2.1.12. Cálculo de la concentración ambiente medida

$$C \equiv \left( \frac{m * l}{D * A * t} \right) \quad (\text{Ec. 3-2})$$

dónde:

C = concentración ambiente medida (µg/m<sup>3</sup>)

m = cantidad del gas absorbido durante la exposición (µg)

A = área transversal del tubo cilíndrico (m<sup>2</sup>)

t = tiempo de exposición (s)

l = longitud del tubo cilíndrico (m)

D = coeficiente de difusión entre el NO<sub>2</sub> y el aire (m<sup>2</sup>/s)

#### 2.2.1.13. Cálculo de la concentración ambiente medida ajustada

La concentración ambiente medida C debe ser ajustada en base a las siguientes condiciones: una temperatura de 293 K (20 °C) y una presión de 101,3 kPa, con el fin de poder reportar los datos en un informe o a su vez poderlos comparar con la normativa vigente. (Borges et al., 2015)

$$C_{293K} \equiv C \left( \frac{T}{293} \right) \quad (\text{Ec. 4-2})$$

dónde:

$C_{293K}$  = concentración ambiente medida ajustada

$C$  = concentración ambiente medida ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$T = 293 \text{ K}$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y a una presión de  $101,3 \text{ kPa}$

### 2.2.2. Determinación de COVs

Para realizar la determinación y cuantificación de compuestos orgánicos volátiles se procede a realizar un conteo vehicular en once áreas específicas dentro de la zona de investigación, esto se efectúa en el tiempo de duración del estudio, para finalmente recopilar toda esta información en una semana tipo; los puntos a tomar en cuenta para el presente conteo se detallan a continuación.

**Tabla 6-2:** Puntos de conteo vehicular

PUNTOS	X	Y
P4	761570.11 m E	9815186.94 m S
P11	761321.47 m E	9815301.39 m S
P14	761604.04 m E	9814959.95 m S
P18	761346.52 m E	9815179.70 m S
P21	761286.49 m E	9815204.70 m S
P25	761093.69 m E	9815275.78 m S
P26	761315.53 m E	9815074.83 m S
P29	761401.05 m E	9814972.37 m S
P34	761456.36 m E	9814850.78 m S
P37	761160.99 m E	9814983.19 m S
P40	760947.78 m E	9815060.63 m S

**Realizado por:** Miranda G, 2017

La información recopilada fue clasificada de acuerdo al tipo de vehículo y al combustible que cada uno de estos consume, los datos fueron tomados en horarios previamente establecidos de 6:30 - 7:30, 12:00 - 13:00 y de 17:00 – 18:00, considerados como horas pico, todos los días de la semana, incluyendo sábados y domingos.

A partir de los datos obtenidos en el conteo vehicular se procede a calcular la cantidad de COVs emitidos diariamente por los automotores, así como también la distancia promedio de recorrido vehicular, para lo cual se tomará en cuenta el tiempo que tarda en transitar un vehículo a 2000 rpm (rpm de un vehículo promedio) a lo largo de la zona de estudio; cabe denotar que el factor de emisión requerido para el cálculo se lo tomó de estudios realizados en la ciudad de México D.F., detallado en la tabla 7-2. (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010: pp.149)

**Tabla 7-2:** Factores de emisión promedio de vehículos a diésel y gasolina

Tipo de Vehículo	Factor de emisión vehículos a gasolina g/km	Factor de emisión vehículos a diésel g/km
	COV	COV
Autos particulares	1,705	0,306
Autobuses	2,596	3,492
Pick Up	2,487	0,483
Vehículos de carga hasta 3ton	2,744	1,28
Motocicletas	4,474	---

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2010

Para la obtención de la cantidad de compuestos orgánicos volátiles emitidos por los vehículos se utilizará la ecuación a continuación descrita. (Ministerio del Ambiente, 2014)

$$E_{\text{automóvil}}^{\text{COVcaliente}} = N_{\text{veh}} * D_{\text{rec}_r} * FE_j^{\text{COVs}} / 1\ 000\ 000 \quad (\text{Ec. 5-2})$$

dónde:

$E_{\text{automóvil}}^{\text{COVcaliente}}$  = emisión en caliente del contaminante i producida por los vehículos r ( $t\ h^{-1}$ )

$N_{\text{veh}}$  = número de vehículos de la categoría r según año modelo

$D_{\text{rec}_r}$  = distancia media recorrida por los vehículos tipo r ( $km\ h^{-1}$ )

$FE_j^{\text{COVs}}$  = factor de emisión del contaminante i, para el vehículo de categoría r ( $g\ km^{-1}$ )

Para el cambio de unidades y su posterior reporte en ppm es necesario la utilización de un caudal, en este caso se tomará el valor del caudal total de gases de combustión de un vehículo, mismo que se detalla en la tabla 8-2.

**Tabla 8-2:** Caudal volumétrico

rpm	rps	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1500	25	0,025
2000	33,33	0,0333
2500	41,67	0,0417
3000	50,00	0,05
3500	58,33	0,0583
4000	66,67	0,0667
4500	75	0,075
5000	83,33	0,0833
5500	91,67	0,0917
6000	100	0,1
6500	108,33	0,1083

Fuente: Espada, 2010

### 2.2.3. Determinación de O<sub>3</sub>

La cantidad de ozono será determinada estequiometricamente en base a las ecuaciones aquí planteadas, posteriormente se realizarán un cambio de unidades, un balance de la ecuación y finalmente la determinación del ozono.

Las ecuaciones tomadas como base para la obtención de ozono corresponden a la Ec. 2-1, 3-1 y 4-1, detalladas anteriormente.

- $\text{NO}_2 + \text{OH}^\bullet \rightarrow \text{HNO}_3$
- $\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}^\bullet$
- $\text{ROO}^\bullet + \text{NO} \rightarrow \text{RO}^\bullet + \text{NO}_2$

Mismas que serán integradas en una reacción química común, permitiendo así obtener como resultado final ozono.

- $\text{NO}_2 + \text{ROO}^\bullet + h\nu + \text{OH}^\bullet \rightarrow \text{HNO}_3 + 2\text{O}^\bullet$  (Ec. 6-2)
- $\text{O}^\bullet + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **3.1. Análisis de determinación de NO<sub>2</sub>**

En el laboratorio de Físico - Química de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se procede a analizar y obtener los datos de absorbancia a través del espectrofotómetro de UV-visible.

**Tabla 1-3:** Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de junio (1 de 2)

Junio							
Fecha:	L: 06-06	V: 10-06	L: 13-06	V: 17-06	L: 20-06	V: 24-06	L: 27-06
Puntos de Monitoreo	Semana	F. Semana	Semana	F. Semana	Semana	F. Semana	Semana
P1	0,104	0,053	0,080	0,421	0,069	0,039	0,069
P2	0,036	0,046	0,060	0,060	0,058	0,024	0,081
P3	0,071	0,072	0,074	0,069	0,060	0,070	0,124
P4	0,023	0,057	0,061	0,064	0,069	0,039	0,040
P5	0,053	0,066	0,077	0,058	0,035	0,033	0,071
P6	0,052	0,046	0,181	0,082	0,030	0,028	0,033
P7	0,056	0,054	0,042	0,044	0,037	0,028	0,059
P8	0,068	0,053	0,038	0,033	0,036	0,025	0,044
P9	0,034	0,054	0,058	0,034	0,022	0,025	0,036
P10	0,037	0,055	0,051	0,069	0,031	0,024	0,051
P11	0,041	0,053	0,037	0,055	0,023	0,030	0,043
P12	0,043	0,051	0,036	0,044	0,037	0,037	0,059
P13	0,045	0,060	0,040	0,037	0,028	0,027	0,055
P14	0,022	0,047	0,030	0,029	0,029	0,025	0,064
P15	0,074	0,050	0,054	0,039	0,039	0,030	0,063
P16	0,025	0,051	0,033	0,038	0,032	0,028	0,051
P17	0,090	0,046	0,049	0,037	0,051	0,034	0,053
P18	0,071	0,072	0,050	0,046	0,039	0,041	0,057
P19	0,050	0,065	0,061	0,076	0,038	0,043	0,060
P20	0,071	0,058	0,047	0,067	0,038	0,039	0,059
P21	0,084	0,065	0,050	0,113	0,071	0,038	0,049

Realizado por: Miranda G, 2017

**Tabla 1-3:** Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de junio (2 de 2)

Junio							
Fecha:	L: 06-06	V: 10-06	L: 13-06	V: 17-06	L: 20-06	V: 24-06	L: 27-06
Puntos de Monitoreo	Semana	F. Semana	Semana	F. Semana	Semana	F. Semana	Semana
P22	0,048	0,029	0,039	0,034	0,024	0,036	0,081
P23	0,066	0,058	0,043	0,031	0,034	0,034	0,072
P24	0,073	0,059	0,050	0,034	0,043	0,036	0,046
P25	0,076	0,071	0,076	0,067	0,035	0,048	0,075
P26	0,060	0,043	0,041	0,036	0,041	0,037	0,069
P27	0,071	0,050	0,035	0,041	0,049	0,036	0,060
P28	0,060	0,056	0,032	0,035	0,027	0,030	0,052
P29	0,058	0,046	0,037	0,022	0,015	0,032	0,032
P30	0,055	0,035	0,043	0,025	0,029	0,026	0,037
P31	0,058	0,033	0,040	0,023	0,035	0,035	0,043
P32	0,088	0,045	0,053	0,033	0,028	0,034	0,072
P33	0,073	0,076	0,047	0,033	0,046	0,042	0,270
P34	0,045	0,050	0,061	0,048	0,032	0,037	0,064
P35	0,051	0,042	0,055	0,044	0,029	0,031	0,061
P36	0,105	0,055	0,059	0,118	0,056	0,045	0,066
P37	0,094	0,059	0,016	0,084	0,055	0,045	0,069
P38	0,093	0,085	0,092	0,065	0,067	0,056	0,082
P39	0,040	0,061	0,067	0,041	0,032	0,046	0,068
P40	0,077	0,077	0,081	0,061	0,024	0,042	0,068
P41	0,078	0,090	0,061	0,054	0,032	0,034	0,068
P42	0,065	0,061	0,069	0,046	0,038	0,048	0,059

Realizado por: Miranda G, 2017

Para el mes de junio se reporta una elevada concentración de dióxido de nitrógeno en P1 con absorbancias de 0,104 y 0,421, punto que se encuentra ubicado entre las calles Orozco y Carabobo, lugares con una gran demanda de automotores, especialmente de transporte urbano, mientras que el punto más bajo de concentración del contaminante se ve representado por P29 con una lectura de absorbancia de 0,015, muestra ubicada en la calles Juan Larrea y 10 de Agosto, sitio de poco tránsito vehicular.

**Tabla 2-3: Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de julio (1 de 2)**

Julio									
Fecha:	V: 01-07	L: 04-07	V: 08-07	L: 11-07	V: 15-07	L: 18-07	V: 22-07	L: 25-07	V: 29-07
Puntos de Monitoreo	F. Seman a	Seman a	F. Seman a						
P1	0,051	0,070	0,053	0,060	0,067	0,070	0,027	0,084	0,086
P2	0,044	0,062	0,030	0,049	0,041	0,021	0,040	0,051	0,046
P3	0,079	0,075	0,092	0,072	0,093	0,050	0,070	0,088	0,092
P4	0,048	0,058	0,034	0,040	0,062	0,028	0,019	0,070	0,063
P5	0,033	0,059	0,048	0,062	0,057	0,026	0,036	0,046	0,078
P6	0,049	0,141	0,051	0,037	0,050	0,028	0,036	0,064	0,050
P7	0,033	0,049	0,040	0,046	0,042	0,004	0,022	0,046	0,053
P8	0,035	0,047	0,037	0,053	0,052	0,012	0,015	0,046	0,047
P9	0,030	0,038	0,036	0,040	0,049	0,013	0,020	0,053	0,050
P10	0,038	0,043	0,047	0,044	0,049	0,029	0,035	0,062	0,080
P11	0,040	0,036	0,045	0,040	0,055	0,017	0,022	0,064	0,037
P12	0,038	0,044	0,043	0,048	0,044	0,016	0,017	0,046	0,047
P13	0,038	0,042	0,041	0,040	0,053	0,006	0,008	0,045	0,039
P14	0,030	0,036	0,033	0,040	0,036	0,007	0,003	0,036	0,036
P15	0,053	0,058	0,043	0,054	0,044	0,007	0,014	0,060	0,046
P16	0,028	0,035	0,036	0,033	0,035	0,007	0,003	0,036	0,041
P17	0,028	0,061	0,036	0,040	0,059	0,004	0,013	0,040	0,057
P18	0,049	0,054	0,052	0,047	0,086	0,004	0,016	0,075	0,054
P19	0,044	0,052	0,057	0,076	0,071	0,023	0,033	0,074	0,099
P20	0,042	0,054	0,052	0,053	0,046	0,025	0,027	0,069	0,076
P21	0,045	0,064	0,065	0,077	0,054	0,031	0,102	0,065	0,120

Realizado por: Miranda G, 2017

**Tabla 2-3:** Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de julio (2 de 2)

Julio									
Fecha:	V: 01-07	L: 04-07	V: 08-07	L: 11-07	V: 15-07	L: 18-07	V: 22-07	L: 25-07	V: 29-07
Puntos de Monitoreo	F. Seman a	Seman a	F. Seman a						
P22	0,040	0,048	0,035	0,054	0,032	0,006	0,013	0,034	0,092
P23	0,081	0,054	0,051	0,051	0,042	0,019	0,018	0,063	0,085
P24	0,038	0,053	0,042	0,037	0,044	0,018	0,011	0,036	0,098
P25	0,069	0,066	0,064	0,080	0,075	0,037	0,051	0,064	0,092
P26	0,033	0,053	0,037	0,049	0,039	0,009	0,004	0,037	0,075
P27	0,042	0,054	0,042	0,038	0,065	0,030	0,020	0,059	0,090
P28	0,038	0,043	0,040	0,053	0,054	0,012	0,020	0,053	0,091
P29	0,044	0,036	0,036	0,042	0,059	0,008	0,018	0,040	0,092
P30	0,048	0,041	0,034	0,038	0,046	0,008	0,004	0,038	0,099
P31	0,047	0,044	0,035	0,036	0,052	0,005	0,007	0,049	0,086
P32	0,048	0,060	0,040	0,041	0,048	0,025	0,019	0,057	0,095
P33	0,041	0,109	0,048	0,048	0,066	0,043	0,051	0,073	0,100
P34	0,052	0,051	0,047	0,040	0,115	0,009	0,023	0,065	0,125
P35	0,048	0,049	0,041	0,041	0,205	0,020	0,019	0,057	0,099
P36	0,056	0,072	0,069	0,070	0,208	0,020	0,030	0,093	0,101
P37	0,054	0,059	0,061	0,113	0,229	0,036	0,019	0,085	0,123
P38	0,071	0,084	0,069	0,069	0,260	0,038	0,044	0,098	0,152
P39	0,059	0,052	0,052	0,082	0,190	0,032	0,018	0,053	0,110
P40	0,057	0,063	0,059	0,068	0,193	0,015	0,019	0,070	0,105
P41	0,049	0,060	0,057	0,056	0,243	0,018	0,017	0,077	0,108
P42	0,053	0,058	0,052	0,043	0,185	0,040	0,012	0,060	0,104

Realizado por: Miranda G, 2017

Para el mes de julio se reporta una elevada concentración de dióxido de nitrógeno en P38 con absorbancia de 0,260, punto que se encuentra ubicado entre las calles Olmedo y Colón, lugares con una gran demanda de automotores, especialmente de transporte urbano, mientras que el punto más bajo de concentración del contaminante se ve representado por P14 con una lectura de absorbancia de 0,003, muestra ubicada entre las calles Espejo y Primera Constituyente, sitio que reporta una baja densidad de tránsito vehicular.

**Tabla 3-3:** Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de agosto (1 de 2)

<b>Agosto</b>				
Fecha:	L: 01-08	V: 05-08	L: 08-08	V: 12-08
Puntos de Monitoreo	Semana	F. Semana	Semana	F. Semana
P1	0,091	0,053	0,071	0,052
P2	0,05	0,04	0,036	0,035
P3	0,072	0,055	0,056	0,045
P4	0,045	0,046	0,04	0,042
P5	0,043	0,058	0,05	0,02
P6	0,059	0,073	0,021	0,034
P7	0,039	0,042	0,013	0,024
P8	0,04	0,045	0,007	0,025
P9	0,059	0,053	0,028	0,021
P10	0,062	0,046	0,041	0,069
P11	0,043	0,043	0,018	0,028
P12	0,048	0,034	0,012	0,023
P13	0,035	0,039	0,015	0,026
P14	0,034	0,038	0,018	0,012
P15	0,034	0,043	0,025	0,028
P16	0,032	0,037	0,019	0,025
P17	0,047	0,04	0,02	0,018
P18	0,045	0,079	0,044	0,078
P19	0,049	0,064	0,021	0,048
P20	0,045	0,074	0,044	0,017
P21	0,039	0,09	0,051	0,036

Realizado por: Miranda G, 2017

**Tabla 3-3:** Resultados de absorbancia de las muestras analizadas, mes de agosto (2 de 2)

Agosto				
Fecha:	L: 01-08	V: 05-08	L: 08-08	V: 12-08
Puntos de Monitoreo	Semana	F. Semana	Semana	F. Semana
P22	0,046	0,048	0,028	0,021
P23	0,026	0,149	0,02	0,026
P24	0,042	0,048	0,021	0,034
P25	0,062	0,065	0,034	0,098
P26	0,05	0,048	0,017	0,023
P27	0,048	0,044	0,032	0,013
P28	0,04	0,046	0,011	0,037
P29	0,045	0,029	0,027	0,037
P30	0,039	0,034	0,021	0,027
P31	0,03	0,036	0,021	0,018
P32	0,057	0,053	0,041	0,036
P33	0,061	0,056	0,025	0,034
P34	0,039	0,053	0,024	0,035
P35	0,048	0,051	0,036	0,026
P36	0,07	0,086	0,027	0,026
P37	0,06	0,067	0,031	0,055
P38	0,07	0,077	0,074	0,068
P39	0,077	0,061	0,022	0,028
P40	0,051	0,071	0,047	0,027
P41	0,041	0,075	0,043	0,038
P42	0,058	0,055	0,021	0,027

Realizado por: Miranda G, 2017

Para el mes de agosto se reporta una elevada concentración de dióxido de nitrógeno en P1 con absorbancia de 0,91, punto que se encuentra ubicado entre las calles Orozco y Carabobo, lugares con una gran demanda de automotores, especialmente de transporte urbano, mientras que el punto más bajo de concentración del contaminante se ve representado por P28 con una lectura de absorbancia de 0,011, muestra ubicada entre las calles Espejo y Guayaquil, sitio que reporta una baja densidad de tránsito vehicular, cabe denotar que este mes coincide con el cese de actividades escolares en toda la región Sierra, justificando el notable descenso de las absorbancias en contraste con los meses anteriormente analizados.

Posterior a todos los cálculos realizados con el fin de obtener la concentración de dióxido de nitrógeno expresada en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se reportan los datos finales, los cuales se detallan en las tablas 4-3 y 5-3.

**Tabla 4-3:** Resultados de la determinación de la concentración ambiente medida ajustada - semana (1 de 2)

CONCENTRACIÓN AMBIENTE MEDIDA AJUSTADA - SEMANA $\mu\text{g}/\text{m}^3$										
PUNTOS MONITOREO	CAM AS1	CAM AS2	CAM AS3	CAM AS4	CAM AS5	CAM AS6	CAM AS7	CAM AS8	CAM AS9	CAM AS10
P1	25,501	25,550	25,439	25,597	25,460	25,442	25,610	25,539	25,481	25,397
P2	16,735	16,767	16,694	16,798	16,708	16,696	16,806	16,760	16,722	16,667
P3	24,638	24,685	24,578	24,730	24,598	24,581	24,743	24,674	24,618	24,537
P4	15,739	15,769	15,701	15,798	15,714	15,702	15,806	15,762	15,727	15,675
P5	17,333	17,366	17,291	17,398	17,305	17,293	17,407	17,358	17,319	17,262
P6	21,450	21,491	21,398	21,531	21,416	21,400	21,541	21,482	21,433	21,363
P7	12,966	12,991	12,935	13,015	12,946	12,936	13,022	12,986	12,956	12,914
P8	12,966	12,991	12,935	13,015	12,946	12,936	13,022	12,986	12,956	12,914
P9	12,634	12,659	12,604	12,682	12,614	12,605	12,688	12,653	12,624	12,583
P10	14,958	14,987	14,922	15,015	14,935	14,924	15,022	14,981	14,947	14,898
P11	12,020	12,043	11,991	12,065	12,001	11,992	12,071	12,038	12,011	11,971
P12	12,908	12,933	12,877	12,957	12,888	12,878	12,963	12,927	12,898	12,856
P13	11,655	11,677	11,626	11,699	11,636	11,628	11,704	11,672	11,646	11,607
P14	10,501	10,521	10,475	10,540	10,484	10,477	10,546	10,517	10,493	10,458
P15	15,523	15,553	15,485	15,581	15,498	15,487	15,589	15,546	15,511	15,460
P16	10,069	10,089	10,045	10,107	10,053	10,046	10,112	10,084	10,061	10,028
P17	15,100	15,129	15,063	15,157	15,075	15,065	15,164	15,122	15,088	15,038
P18	16,146	16,177	16,106	16,206	16,120	16,108	16,214	16,170	16,133	16,080
P19	16,743	16,776	16,703	16,806	16,716	16,705	16,815	16,768	16,730	16,675
P20	16,760	16,792	16,719	16,823	16,733	16,721	16,831	16,785	16,747	16,692
P21	19,275	19,312	19,228	19,348	19,244	19,230	19,357	19,304	19,260	19,197

Realizado por: Miranda G, 2017

**Tabla 4-3:** Resultados de la determinación de la concentración ambiente medida ajustada - semana (2 de 2)

CONCENTRACIÓN AMBIENTE MEDIDA AJUSTADA - SEMANA $\mu\text{g}/\text{m}^3$										
PUNTOS MONITOREO	CAM AS1	CAM AS2	CAM AS3	CAM AS4	CAM AS5	CAM AS6	CAM AS7	CAM AS8	CAM AS9	CAM AS10
P23	14,867	14,896	14,831	14,923	14,843	14,833	14,931	14,889	14,856	14,807
P24	13,913	13,939	13,879	13,965	13,890	13,880	13,972	13,933	13,902	13,856
P25	20,072	20,111	20,023	20,148	20,040	20,026	20,158	20,102	20,056	19,990
P26	14,137	14,164	14,102	14,190	14,114	14,104	14,197	14,158	14,126	14,079
P27	15,797	15,827	15,759	15,856	15,772	15,760	15,864	15,820	15,785	15,733
P28	12,709	12,734	12,678	12,757	12,689	12,680	12,763	12,728	12,699	12,657
P29	11,273	11,295	11,246	11,315	11,255	11,247	11,321	11,290	11,264	11,227
P30	11,588	11,611	11,560	11,632	11,570	11,561	11,638	11,606	11,579	11,541
P31	11,987	12,010	11,958	12,032	11,968	11,959	12,038	12,005	11,977	11,938
P32	17,341	17,374	17,299	17,406	17,313	17,301	17,415	17,367	17,328	17,270
P33	26,397	26,448	26,333	26,497	26,355	26,336	26,510	26,437	26,377	26,290
P34	14,261	14,289	14,227	14,315	14,238	14,228	14,322	14,282	14,250	14,203
P35	14,842	14,871	14,806	14,898	14,819	14,808	14,906	14,864	14,831	14,782
P36	21,168	21,209	21,116	21,247	21,134	21,119	21,258	21,199	21,151	21,082
P37	20,504	20,543	20,454	20,581	20,471	20,456	20,591	20,534	20,488	20,420
P38	25,451	25,500	25,389	25,547	25,410	25,392	25,560	25,489	25,431	25,348
P39	17,424	17,458	17,382	17,490	17,396	17,384	17,498	17,450	17,410	17,353
P40	18,711	18,747	18,665	18,781	18,681	18,667	18,790	18,738	18,696	18,634
P41	17,723	17,757	17,680	17,790	17,694	17,682	17,798	17,749	17,709	17,651
P42	16,959	16,992	16,918	17,023	16,932	16,920	17,031	16,984	16,946	16,890

Realizado por: Miranda G, 2017

El análisis de dióxido de nitrógeno correspondiente a la semana de estudio muestra su punto más alto de concentración en P33 con valores comprendidos entre  $26,510 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $26,290 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra ubicada en las calles Guayaquil y Carabobo, zona de relativa abundancia vehicular debido a la presencia de la estación de Tren, el punto más bajo de concentración del contaminante se ve representado por P16 con valores comprendidos entre  $10,112 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $10,028 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra ubicada en las calles Juan Larrea y Primera Constituyente, zona con poca presencia vehicular.

En general los resultados de la semana de estudio evidencia una baja concentración de dióxido de nitrógeno, por ende estos valores no sobrepasan el rango de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por año y tampoco la concentración máxima en una hora de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiente al límite permisible establecido por la Ley de conformidad con el Acuerdo Ministerial No. 050 (Ministerio del Ambiente, 2011) y acorde a lo también establecido por la (Organización Mundial de la Salud, 2016).

**Tabla 5-3:** Resultados de la determinación de la concentración ambiente medida ajustada - fin de semana (1 de 2)

CONCENTRACIÓN AMBIENTE MEDIDA AJUSTADA - FIN SEMANA $\mu\text{g}/\text{m}^3$										
PUNTOS MONITO REO	CAM AF1	CAM AF2	CAM AF3	CAM AF4	CAM AF5	CAM AF6	CAM AF7	CAM AF8	CAM AF9	CAM AF10
P1	77,575	76,891	77,338	77,445	76,733	77,135	77,061	77,274	76,712	77,008
P2	34,917	34,610	34,811	34,859	34,538	34,719	34,686	34,782	34,529	34,662
P3	63,384	62,826	63,191	63,279	62,696	63,025	62,964	63,138	62,679	62,921
P4	40,765	40,406	40,641	40,697	40,323	40,534	40,495	40,607	40,312	40,467
P5	41,883	41,514	41,756	41,814	41,429	41,646	41,606	41,721	41,418	41,577
P6	42,915	42,537	42,785	42,844	42,450	42,672	42,631	42,749	42,438	42,602
P7	32,832	32,542	32,732	32,777	32,475	32,646	32,614	32,704	32,466	32,592
P8	31,520	31,242	31,424	31,468	31,178	31,342	31,311	31,398	31,170	31,290
P9	31,972	31,690	31,874	31,918	31,625	31,790	31,760	31,848	31,616	31,738
P10	43,990	43,603	43,856	43,917	43,513	43,741	43,699	43,820	43,501	43,669
P11	35,046	34,737	34,939	34,988	34,666	34,848	34,814	34,910	34,656	34,790
P12	32,466	32,180	32,367	32,412	32,114	32,282	32,251	32,340	32,105	32,229
P13	31,606	31,328	31,510	31,553	31,263	31,427	31,397	31,484	31,255	31,375
P14	24,833	24,615	24,758	24,792	24,564	24,693	24,669	24,737	24,557	24,652
P15	33,541	33,246	33,439	33,485	33,177	33,351	33,319	33,411	33,168	33,296
P16	27,714	27,470	27,630	27,668	27,414	27,557	27,531	27,607	27,406	27,512
P17	31,671	31,392	31,574	31,618	31,327	31,491	31,461	31,548	31,318	31,439
P18	49,280	48,845	49,129	49,198	48,745	49,001	48,953	49,089	48,732	48,919
P19	51,602	51,147	51,444	51,516	51,042	51,309	51,260	51,402	51,028	51,225
P20	42,786	42,409	42,656	42,715	42,322	42,544	42,503	42,621	42,311	42,474
P21	62,632	62,080	62,441	62,527	61,952	62,277	62,217	62,389	61,935	62,174

Realizado por: Miranda G, 2017

**Tabla 5-3:** Resultados de la determinación de la concentración ambiente medida ajustada - fin de semana (2 de 2)

CONCENTRACIÓN AMBIENTE MEDIDA AJUSTADA - FIN SEMANA $\mu\text{g}/\text{m}^3$										
PUNTOS MONITOREO	CAM AF1	CAM AF2	CAM AF3	CAM AF4	CAM AF5	CAM AF6	CAM AF7	CAM AF8	CAM AF9	CAM AF10
P23	49,452	49,016	49,301	49,369	48,915	49,172	49,124	49,260	48,902	49,090
P24	38,164	37,828	38,047	38,100	37,750	37,948	37,911	38,016	37,739	37,885
P25	60,180	59,650	59,997	60,080	59,528	59,840	59,782	59,947	59,511	59,741
P26	32,273	31,988	32,174	32,219	31,922	32,090	32,059	32,147	31,914	32,037
P27	38,121	37,785	38,005	38,057	37,707	37,905	37,868	37,973	37,697	37,842
P28	38,422	38,083	38,305	38,358	38,005	38,204	38,167	38,273	37,995	38,141
P29	35,691	35,377	35,582	35,632	35,304	35,489	35,455	35,553	35,294	35,430
P30	32,466	32,180	32,367	32,412	32,114	32,282	32,251	32,340	32,105	32,229
P31	31,950	31,669	31,853	31,897	31,603	31,769	31,738	31,826	31,595	31,717
P32	38,787	38,446	38,669	38,723	38,366	38,568	38,530	38,637	38,356	38,504
P33	47,044	46,629	46,900	46,965	46,533	46,777	46,732	46,861	46,520	46,700
P34	50,290	49,847	50,137	50,206	49,745	50,005	49,957	50,095	49,731	49,923
P35	52,139	51,680	51,980	52,052	51,574	51,844	51,794	51,937	51,559	51,758
P36	68,243	67,642	68,035	68,130	67,503	67,857	67,791	67,979	67,484	67,745
P37	68,415	67,813	68,207	68,301	67,673	68,028	67,962	68,150	67,654	67,915
P38	81,466	80,749	81,218	81,331	80,582	81,005	80,927	81,150	80,560	80,871
P39	57,256	56,752	57,082	57,161	56,635	56,932	56,877	57,034	56,620	56,838
P40	61,169	60,631	60,983	61,068	60,506	60,823	60,764	60,932	60,489	60,722
P41	65,771	65,191	65,570	65,661	65,057	65,398	65,335	65,516	65,039	65,290
P42	55,300	54,813	55,131	55,208	54,700	54,987	54,934	55,085	54,685	54,896

Realizado por: Miranda G, 2017

El análisis de dióxido de nitrógeno correspondiente al fin de semana de estudio muestra su punto más alto de concentración en P1 con valores comprendidos entre  $77,575 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $76,712 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra ubicada entre las calles Orozco y Carabobo, zona de relativa abundancia vehicular principalmente por la presencia de transporte urbano, el punto más bajo de concentración del contaminante se ve representado por P14 con valores comprendidos entre  $24,833 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $24,564 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra ubicada en las calles Espejo y Primera Constituyente, zona con poca presencia vehicular.

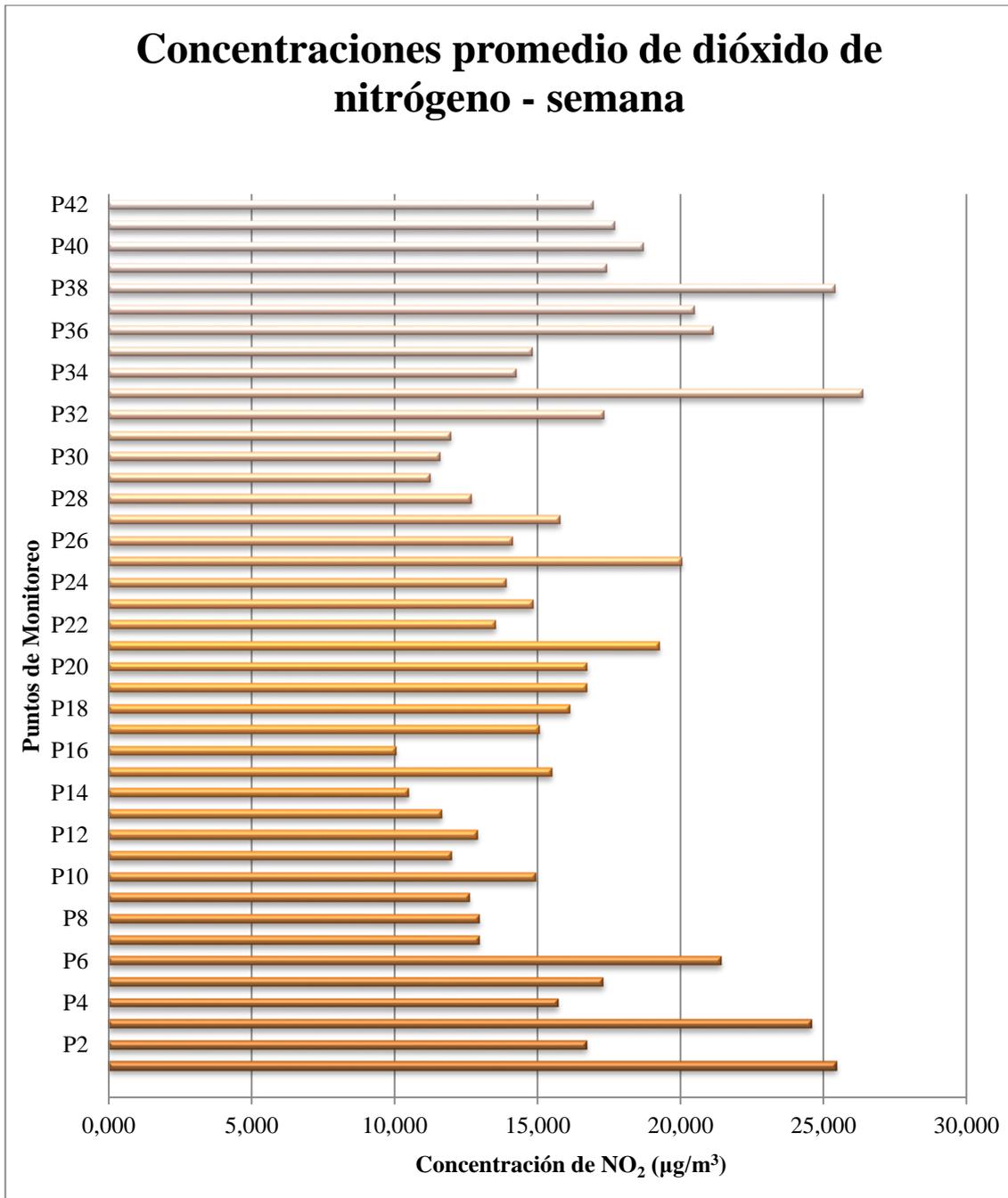
Los datos correspondientes al fin de semana evidencian un aumento notable en la concentración de dióxido de nitrógeno en contraste con los valores obtenidos durante una semana normal laborable; aunque los valores son un poco altos estos no se encuentran fuera del rango de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por año y tampoco de la concentración máxima en una hora de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiente al límite permisible establecido por la Ley de conformidad con el Acuerdo Ministerial No. 050 (Ministerio del Ambiente, 2011) y acorde a lo también establecido por la (Organización Mundial de la Salud, 2016).

### 3.1.2. Análisis de diferencias de concentraciones de $\text{NO}_2$ en el área de muestreo

**Tabla 6-3:** Concentración promedio de dióxido de nitrógeno - semana

PUNTOS DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PUNTOS DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
P1	25,457	P22	13,524
P2	16,706	P23	14,841
P3	24,595	P24	13,888
P4	15,712	P25	20,037
P5	17,303	P26	14,112
P6	21,413	P27	15,770
P7	12,944	P28	12,687
P8	12,944	P29	11,253
P9	12,612	P30	11,568
P10	14,933	P31	11,966
P11	11,999	P32	17,311
P12	12,886	P33	26,352
P13	11,635	P34	14,237
P14	10,483	P35	14,817
P15	15,496	P36	21,131
P16	10,052	P37	20,468
P17	15,073	P38	25,407
P18	16,118	P39	17,394
P19	16,714	P40	18,678
P20	16,731	P41	17,692
P21	19,242	P42	16,930

Realizado por: Miranda G, 2017



**Gráfico 1-3:** Concentraciones promedio de dióxido de nitrógeno - semana

Realizado por: Miranda G, 2017

La gráfica 1-3 muestra el valor promedio de las diez semanas de estudio, así como también el valor máximo y mínimo de concentración de dióxido de nitrógeno en cada uno de los puntos de monitoreo, se puede observar un claro despunte en algunas de las estaciones de muestreo, tal es el caso de P1 con 25,457 µg/m<sup>3</sup>, P3 con 24,595 µg/m<sup>3</sup>, P33 con 26,352 µg/m<sup>3</sup> y finalmente P38 con 25,407 µg/m<sup>3</sup>, los cuales se encuentran ubicados en zonas consideradas entradas al sector céntrico de la ciudad, así como también lugares cercanos a centros de elevada actividad comercial

y por consiguiente desencadenan en una gran demanda de tráfico vehicular, mientras que P14 se caracteriza por tener la concentración más baja con apenas 10,483  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

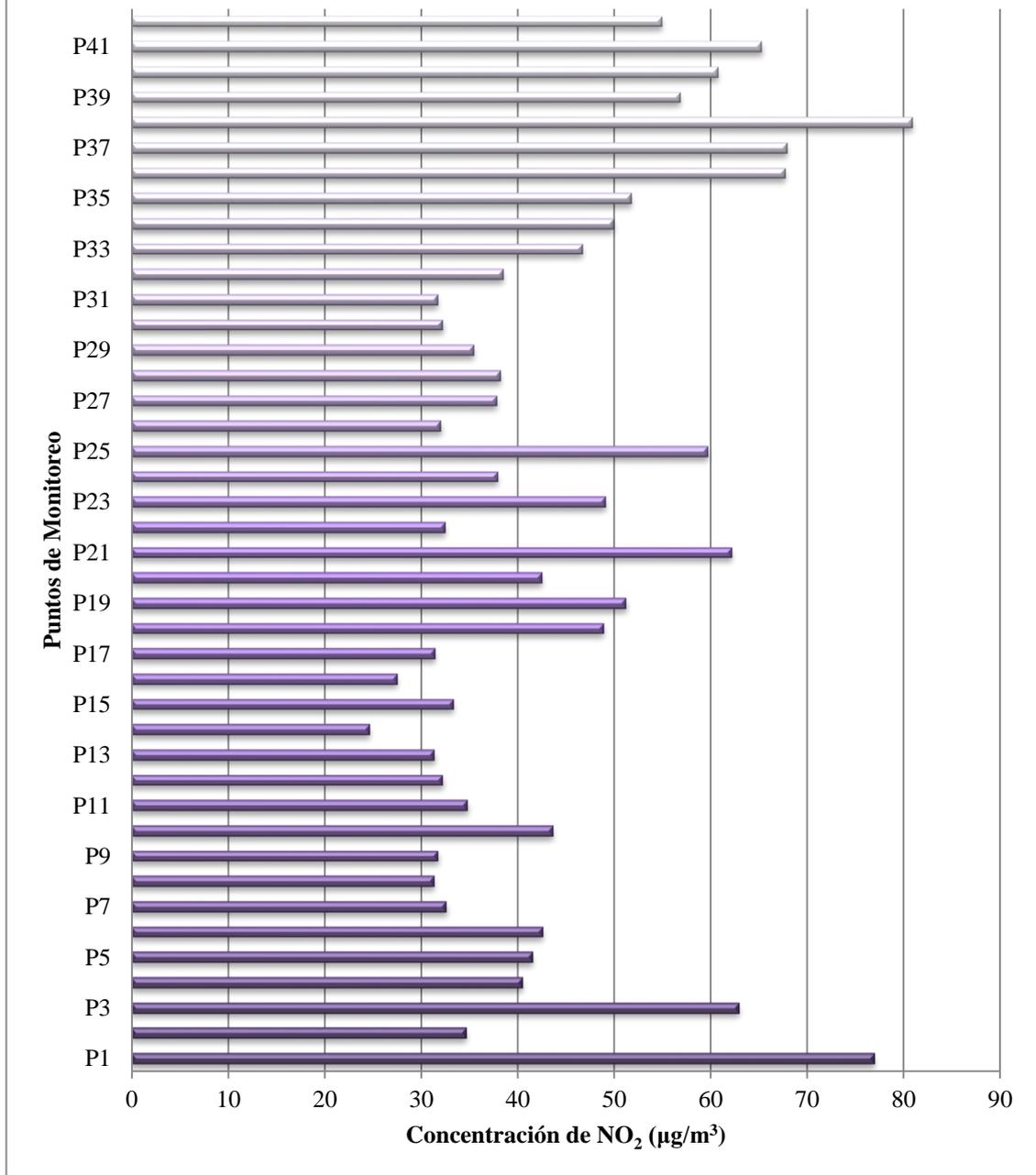
Es necesario resaltar que ninguno de los valores presentados sobrepasa el límite permisible establecido por la ley ecuatoriana de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por año y la concentración máxima en una hora de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ministerio del Ambiente, 2011), al igual que los valores determinados por la (Organización Mundial de la Salud, 2016).

**Tabla 7-3:** Concentración promedio de dióxido de nitrógeno - fin de semana

PUNTOS DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PUNTOS DE MONITOREO	CONCENTRACIÓN PROMEDIO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
P1	76,991	P22	32,414
P2	34,655	P23	49,080
P3	62,907	P24	37,877
P4	40,459	P25	59,728
P5	41,568	P26	32,030
P6	42,593	P27	37,834
P7	32,585	P28	38,133
P8	31,283	P29	35,423
P9	31,731	P30	32,222
P10	43,660	P31	31,710
P11	34,783	P32	38,496
P12	32,222	P33	46,690
P13	31,368	P34	49,912
P14	24,647	P35	51,747
P15	33,289	P36	67,730
P16	27,506	P37	67,901
P17	31,432	P38	80,853
P18	48,909	P39	56,826
P19	51,214	P40	60,709
P20	42,465	P41	65,276
P21	62,161	P42	54,884

Realizado por: Miranda G, 2017

## Concentraciones promedio de dióxido de nitrógeno - fin de semana



**Gráfico 2-3:** Concentraciones promedio de dióxido de nitrógeno - fin de semana

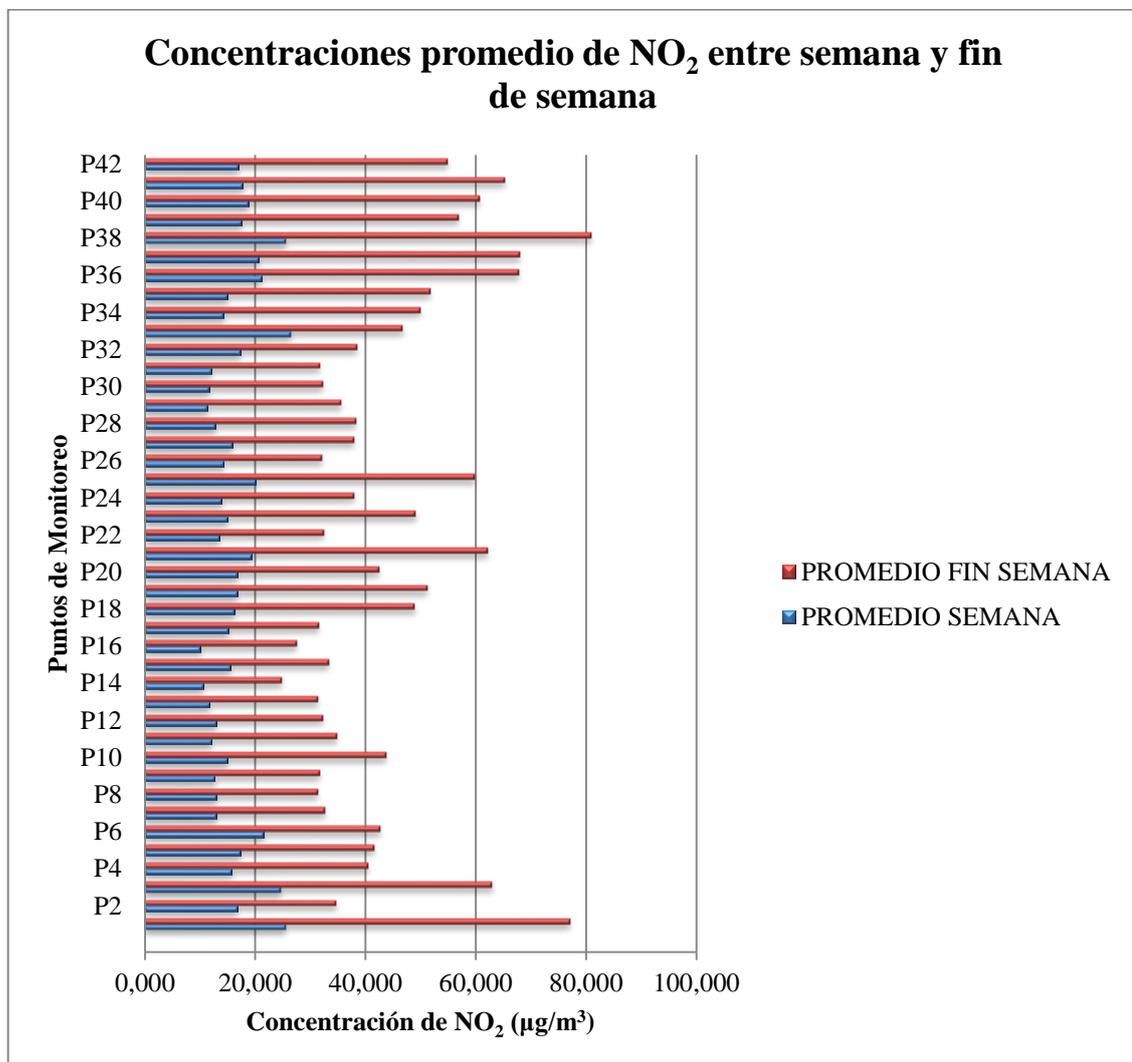
Realizado por: Miranda G, 2017

La gráfica 2-3 muestra el valor promedio de los diez fines de semana de estudio, así como también el valor máximo y mínimo de concentración de dióxido de nitrógeno en cada uno de los puntos de monitoreo, se puede observar un claro despunte en algunas de las estaciones de muestreo, tal es el caso de P1 con 76,991 µg/m<sup>3</sup>, P37 con 67,901 µg/m<sup>3</sup> y finalmente P38 con 80,853 µg/m<sup>3</sup>, los cuales se encuentran ubicados en zonas consideradas entradas al sector céntrico de la ciudad,

así como también lugares cercanos a centros de elevada actividad comercial y por consiguiente desencadenando una gran demanda de flujo vehicular, mientras que P14 se caracteriza por tener la concentración más baja con apenas 24,647  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Es necesario resaltar que ninguno de los valores presentados sobrepasa el límite permisible establecido por la ley ecuatoriana de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por año y la concentración máxima en una hora de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ministerio del Ambiente, 2011), al igual que los valores determinados por (Organización Mundial de la Salud, 2016).

### 3.1.3. Análisis comparativo de las concentraciones promedio de $\text{NO}_2$ entre semana y fin de semana



**Gráfico 3-3:** Concentraciones promedio de  $\text{NO}_2$  entre semana y fin de semana

Realizado por: Miranda G, 2017

La gráfica 3-3 muestra los valores obtenidos durante la semana en contraste con los obtenidos el fin de semana, evidenciando un notable incremento en la concentración de dióxido de nitrógeno en los días sábados y domingos, tal es el caso que para P38 durante la semana presenta una

concentración de 25,407  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que el mismo punto durante el fin de semana da una lectura de 80,853  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , exhibiendo un aumento considerable, esto se ve representado por el excesivo flujo vehicular y por las condiciones atmosféricas que rigen en la población.

Es necesario resaltar que ninguno de los valores presentados sobrepasa el límite permisible establecido por la ley ecuatoriana de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  por año y la concentración máxima en una hora de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Ministerio del Ambiente, 2011), al igual que los valores determinados por la (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Es notorio recalcar también que según lo citado por (Álvarez, 2005: pp.341-342) gran parte del  $\text{NO}_2$  presente en la atmósfera se forma por la oxidación del Nitrógeno en complicidad con las elevadas temperaturas que presenta el medio circundante, la incompleta combustión de los carburantes vehiculares es considerada también como otra importante fuente de emisión de dióxido de nitrógeno.

Un dato significativo a tomar en cuenta es la importancia que tiene el dióxido de nitrógeno dentro de la química ambiental, se encuentra presente en varias reacciones químicas que se dan tanto en el día como en la noche, siendo la de las horas de la mañana la más relevante, ya que, en complicidad con la luz solar es aquí donde se forma ozono. (Galán y Fernández, 2006: pp. 90-99)

### **3.2. Análisis de determinación de COVs**

La concentración de COVs utilizada para este caso corresponde a las emisiones en caliente, esto equivale a una estabilidad en la temperatura de funcionamiento el motor del vehículo y se detalla a continuación en la tabla 8-3 y 9-3.

**Tabla 8-3:** Resultados de emisiones en caliente de COVs - semana

<b>EMISIONES EN CALIENTE DE COVs - SEMANA TIPO (g/h)</b>						
HORARIO	E <sub>COVcaliente automóvil</sub>	E <sub>COVcaliente bus</sub>	E <sub>COVcaliente camión</sub>	E <sub>COVcaliente camioneta</sub>	E <sub>COVcaliente motocicleta</sub>	Total
6:30-7:30	3,30	0,26	0,04	0,46	0,43	4,49
12:00-13:00	3,88	0,27	0,06	0,58	0,73	5,51
17:00-18:00	3,67	0,27	0,06	0,59	0,47	5,07
Drec (km h <sup>-1</sup> )	92,01	92,01	92,01	92,01	92,01	15,07
FE (g km <sup>-1</sup> )	1,705	3,492	1,28	2,487	4,474	
Fconv (g h <sup>-1</sup> )	1 000 000					

Realizado por: Miranda G, 2017

**Tabla 9-3:** Resultados de emisiones en caliente de COVs – fin de semana

<b>EMISIONES EN CALIENTE DE COVs – FIN SEMANA TIPO (g/h)</b>						
HORARIO	E <sub>COVcaliente automóvil</sub>	E <sub>COVcaliente bus</sub>	E <sub>COVcaliente camión</sub>	E <sub>COVcaliente camioneta</sub>	E <sub>COVcaliente motocicleta</sub>	Total
6:30-7:30	1,50	0,10	0,02	0,27	0,21	2,09
12:00-13:00	1,72	0,10	0,02	0,29	0,24	2,37
17:00-18:00	1,46	0,09	0,02	0,25	0,18	2,00
Drec (km h <sup>-1</sup> )	92,01	92,01	92,01	92,01	92,01	6,46
FE (g km <sup>-1</sup> )	1,705	3,492	1,28	2,487	4,474	
Fconv (g h <sup>-1</sup> )	1 000 000					

Realizado por: Miranda G, 2017

Los datos obtenidos son expresados en g/h, lo que evidencia el requerimiento de un caudal que nos permita cambiar las unidades y expresar los resultados en ppm, para este caso se toma el dato correspondiente a 2000 rpm y un caudal volumétrico de 0,0333 m<sup>3</sup>/s, de acuerdo a lo descrito en la tabla 10-3.

**Tabla 10-3:** Resultados de emisiones en caliente de COVs de semana y fin de semana

CONCENTRACIÓN DE COVs – SEMANA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CONCENTRACIÓN DE COVs – FIN SEMANA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$125,7 \times 10^3$	$53,88 \times 10^3$

Realizado por: Miranda G, 2017

Los valores obtenidos para los compuestos orgánicos volátiles en la semana es de  $125,7 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para el fin de semana se reporta  $53,88 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , que en comparación con los datos obtenidos para el dióxido de nitrógeno presentan una disminución considerable durante el fin de semana, lo que se le atribuye a la baja circulación de vehículos que existe en estos días.

Los resultados de COVs reportados no pueden ser contrastados con ninguna normativa, ya que en el país no se cuenta con una Ley que controle de forma global estos compuestos, a causa de que son muy inestables y su tiempo de permanencia en el ambiente es relativamente corto (Environment Systems, 2005: pp.16-25); de conformidad con el Acuerdo Ministerial No. 050 se establece un límite máximo permisible para el benceno de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al año, más no para la totalidad de los compuestos orgánicos volátiles. (Ministerio del Ambiente, 2011)

Sin embargo y de acuerdo al dato referencial redactado por (Delgado et al., 2014) donde nos indica que la gasolina aporta con una concentración superior a los 20 ppm de compuestos orgánicos volátiles y en contraste con los valores obtenidos se puede concluir que tanto los datos de la semana como los de fin de semana se encuentran dentro de este rango referencia.

(Environment Systems, 2005: pp.16-25) señala también que a diferencia de lo que pasa con el dióxido de nitrógeno y el ozono, los compuestos orgánicos volátiles presenta una considerable depreciación durante los fines de semana, mientras que a lo largo de la semana su concentración aumenta, esto se debe a la notable circulación vehicular que se aprecia en los días laborables.

### 3.3. Análisis de determinación de $\text{O}_3$

**Tabla 11-3:** Concentración de ozono - semana (1 de 2)

<b>CONCENTRACIÓN OZONO - SEMANA (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>										
<b>PUNTOS MONITOREO</b>	<b>CAM AF1</b>	<b>CAM AF2</b>	<b>CAM AF3</b>	<b>CAM AF4</b>	<b>CAM AF5</b>	<b>CAM AF6</b>	<b>CAM AF7</b>	<b>CAM AF8</b>	<b>CAM AF9</b>	<b>CAM AF10</b>
P1	53,21	53,32	53,08	53,41	53,13	53,09	53,44	53,29	53,17	53,00
P2	34,92	34,99	34,84	35,05	34,87	34,84	35,07	34,97	34,89	34,78
P3	51,41	51,51	51,29	51,61	51,33	51,29	51,63	51,49	51,37	51,20
P4	32,84	32,91	32,76	32,97	32,79	32,77	32,98	32,89	32,82	32,71
P5	36,17	36,24	36,08	36,30	36,11	36,08	36,32	36,22	36,14	36,02
P6	44,76	44,85	44,65	44,93	44,69	44,66	44,95	44,83	44,73	44,58
P7	27,06	27,11	26,99	27,16	27,01	26,99	27,17	27,10	27,04	26,95
P8	27,06	27,11	26,99	27,16	27,01	26,99	27,17	27,10	27,04	26,95
P9	26,36	26,41	26,30	26,46	26,32	26,30	26,48	26,40	26,34	26,26
P10	31,21	31,27	31,14	31,33	31,16	31,14	31,35	31,26	31,19	31,09
P11	25,08	25,13	25,02	25,18	25,04	25,02	25,19	25,12	25,06	24,98
P12	26,94	26,99	26,87	27,04	26,89	26,87	27,05	26,98	26,91	26,83
P13	24,32	24,37	24,26	24,41	24,28	24,26	24,42	24,36	24,30	24,22
P14	21,91	21,95	21,86	21,99	21,88	21,86	22,01	21,94	21,90	21,82
P15	32,39	32,45	32,31	32,51	32,34	32,32	32,53	32,44	32,37	32,26
P16	21,01	21,05	20,96	21,09	20,98	20,96	21,10	21,04	21,00	20,93
P17	31,51	31,57	31,43	31,63	31,46	31,44	31,64	31,56	31,48	31,38
P18	33,69	33,76	33,61	33,82	33,64	33,61	33,83	33,74	33,67	33,55
P19	34,94	35,01	34,85	35,07	34,88	34,86	35,09	34,99	34,91	34,80
P20	34,97	35,04	34,89	35,10	34,92	34,89	35,12	35,03	34,95	34,83
P21	40,22	40,30	40,12	40,37	40,16	40,13	40,39	40,28	40,19	40,06

Realizado por: Miranda G, 2017

**Tabla 11-3:** Concentración de ozono - semana (2 de 2)

CONCENTRACIÓN OZONO - SEMANA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )										
PUNTOS MONITOREO	CAM AF1	CAM AF2	CAM AF3	CAM AF4	CAM AF5	CAM AF6	CAM AF7	CAM AF8	CAM AF9	CAM AF10
P23	31,02	31,08	30,95	31,14	30,97	30,95	31,16	31,07	31,00	30,90
P24	29,03	29,09	28,96	29,14	28,99	28,96	29,16	29,07	29,01	28,91
P25	41,88	41,97	41,78	42,04	41,82	41,79	42,06	41,95	41,85	41,71
P26	29,50	29,56	29,43	29,61	29,45	29,43	29,63	29,54	29,48	29,38
P27	32,96	33,03	32,88	33,09	32,91	32,89	33,10	33,01	32,94	32,83
P28	26,52	26,57	26,46	26,62	26,48	26,46	26,63	26,56	26,50	26,41
P29	23,52	23,57	23,47	23,61	23,49	23,47	23,62	23,56	23,50	23,43
P30	24,18	24,23	24,12	24,27	24,14	24,13	24,28	24,22	24,16	24,08
P31	25,01	25,06	24,95	25,11	24,97	24,95	25,12	25,05	24,99	24,91
P32	36,19	36,26	36,10	36,32	36,13	36,10	36,34	36,24	36,16	36,04
P33	55,08	55,19	54,95	55,29	55,00	54,96	55,32	55,17	55,04	54,86
P34	29,76	29,82	29,69	29,87	29,71	29,69	29,89	29,80	29,74	29,64
P35	30,97	31,03	30,90	31,09	30,92	30,90	31,10	31,02	30,95	30,85
P36	44,17	44,26	44,06	44,34	44,10	44,07	44,36	44,24	44,14	43,99
P37	42,78	42,87	42,68	42,95	42,72	42,69	42,97	42,85	42,75	42,61
P38	53,11	53,21	52,98	53,31	53,02	52,99	53,34	53,19	53,07	52,89
P39	36,36	36,43	36,27	36,50	36,30	36,27	36,51	36,41	36,33	36,21
P40	39,04	39,12	38,95	39,19	38,98	38,95	39,21	39,10	39,01	38,88
P41	36,98	37,05	36,89	37,12	36,92	36,90	37,14	37,04	36,95	36,83
P42	35,39	35,46	35,30	35,52	35,33	35,31	35,54	35,44	35,36	35,24

Realizado por: Miranda G, 2017

El análisis de ozono correspondiente a la semana de estudio muestra su punto más alto de concentración en P1 con valores comprendidos entre  $53,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $53,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra ubicada entre las calles Orozco y Carabobo, zona de relativa abundancia vehicular principalmente por la presencia de transporte urbano, el punto más bajo de concentración del contaminante se ve representado por P16 con valores comprendidos entre  $21,10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $20,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra ubicada en las calles Juan Larrea y Primera Constituyente, zona con poca presencia vehicular.

Los datos correspondientes a la semana evidencian una concentración media de ozono establecidos dentro del rango de una máxima en ocho horas de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiente al límite permisible establecido por la Ley de conformidad con el Acuerdo Ministerial No. 050

(Ministerio del Ambiente, 2011) y acorde a lo también instaurado por la (Organización Mundial de la Salud, 2016).

**Tabla 12-3:** Concentración de ozono - fin de semana (1 de 2)

CONCENTRACIÓN OZONO - FIN SEMANA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )										
PUNTOS MONITORIO REO	CAM AF1	CAM AF2	CAM AF3	CAM AF4	CAM AF5	CAM AF6	CAM AF7	CAM AF8	CAM AF9	CAM AF10
P1	161,88	160,45	161,38	161,61	160,12	160,96	160,80	161,25	160,08	160,69
P2	72,86	72,22	72,64	72,74	72,07	72,45	72,38	72,58	72,05	72,33
P3	132,26	131,10	131,86	132,04	130,83	131,51	131,39	131,75	130,79	131,30
P4	85,07	84,32	84,81	84,92	84,14	84,58	84,50	84,74	84,12	84,44
P5	87,40	86,63	87,13	87,25	86,45	86,90	86,82	87,06	86,43	86,76
P6	89,55	88,76	89,28	89,40	88,58	89,04	88,96	89,20	88,56	88,90
P7	68,51	67,91	68,30	68,40	67,77	68,12	68,06	68,24	67,75	68,01
P8	65,77	65,19	65,57	65,66	65,06	65,40	65,34	65,52	65,04	65,29
P9	66,72	66,13	66,51	66,60	65,99	66,34	66,27	66,46	65,97	66,23
P10	91,80	90,99	91,52	91,64	90,80	91,28	91,19	91,44	90,77	91,12
P11	73,13	72,49	72,91	73,01	72,34	72,72	72,65	72,85	72,32	72,60
P12	67,75	67,15	67,54	67,63	67,01	67,36	67,30	67,48	66,99	67,25
P13	65,95	65,37	65,75	65,84	65,24	65,58	65,52	65,70	65,22	65,47
P14	51,82	51,36	51,66	51,73	51,26	51,53	51,48	51,62	51,24	51,44
P15	69,99	69,37	69,78	69,87	69,23	69,59	69,53	69,72	69,21	69,48
P16	57,83	57,32	57,66	57,74	57,20	57,50	57,45	57,61	57,19	57,41
P17	66,09	65,50	65,89	65,98	65,37	65,71	65,65	65,83	65,35	65,60
P18	102,83	101,93	102,52	102,66	101,72	102,25	102,15	102,43	101,69	102,08
P19	107,68	106,73	107,35	107,50	106,51	107,07	106,96	107,26	106,48	106,89
P20	89,28	88,50	89,01	89,13	88,31	88,78	88,69	88,94	88,29	88,63
P21	130,69	129,54	130,30	130,48	129,28	129,95	129,83	130,19	129,24	129,74

Realizado por: Miranda G, 2017

**Tabla 12-3:** Concentración de ozono - fin de semana (2 de 2)

CONCENTRACIÓN OZONO - FIN SEMANA ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )										
PUNTOS MONITOREO	CAM AF1	CAM AF2	CAM AF3	CAM AF4	CAM AF5	CAM AF6	CAM AF7	CAM AF8	CAM AF9	CAM AF10
P23	103,19	102,28	102,88	103,02	102,07	102,61	102,51	102,79	102,04	102,44
P24	79,64	78,94	79,39	79,50	78,77	79,19	79,11	79,33	78,75	79,05
P25	125,58	124,47	125,20	125,37	124,22	124,87	124,75	125,09	124,18	124,66
P26	67,34	66,75	67,14	67,23	66,61	66,96	66,90	67,08	66,59	66,85
P27	79,55	78,85	79,30	79,41	78,68	79,10	79,02	79,24	78,66	78,97
P28	80,17	79,47	79,93	80,04	79,31	79,72	79,64	79,86	79,28	79,59
P29	74,48	73,82	74,25	74,35	73,67	74,06	73,98	74,19	73,65	73,93
P30	67,75	67,15	67,54	67,63	67,01	67,36	67,30	67,48	66,99	67,25
P31	66,67	66,08	66,47	66,56	65,95	66,29	66,23	66,41	65,93	66,18
P32	80,94	80,22	80,69	80,80	80,06	80,48	80,40	80,62	80,04	80,35
P33	98,17	97,30	97,87	98,00	97,10	97,61	97,52	97,79	97,07	97,45
P34	104,94	104,02	104,62	104,77	103,80	104,35	104,25	104,53	103,77	104,17
P35	108,80	107,84	108,47	108,62	107,62	108,18	108,08	108,38	107,59	108,00
P36	142,40	141,15	141,97	142,17	140,86	141,60	141,46	141,85	140,82	141,36
P37	142,76	141,50	142,33	142,52	141,21	141,95	141,82	142,21	141,18	141,72
P38	170,00	168,50	169,48	169,71	168,15	169,03	168,87	169,34	168,11	168,75
P39	119,48	118,42	119,11	119,28	118,18	118,80	118,69	119,01	118,15	118,60
P40	127,64	126,52	127,25	127,43	126,26	126,92	126,80	127,15	126,22	126,71
P41	137,24	136,04	136,83	137,02	135,76	136,47	136,34	136,71	135,72	136,24
P42	115,39	114,38	115,04	115,20	114,14	114,74	114,63	114,95	114,11	114,55

Realizado por: Miranda G, 2017

El análisis de ozono correspondiente al fin de semana de estudio muestra su punto más alto de concentración en P38 con valores comprendidos entre 170,00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 168,11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra ubicada entre las calles Olmedo y Colón, zona de relativa abundancia vehicular principalmente por la presencia de transporte urbano, el punto más bajo de concentración del contaminante se ve representado por P14 con valores comprendidos entre 51,82  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 51,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , muestra ubicada en las calles Espejo y Primera Constituyente, zona con poca presencia vehicular.

Los datos correspondientes al fin de semana evidencian un aumento notable en la concentración de ozono en contraste con los valores obtenidos durante una semana normal laborable; aunque los valores son un poco altos estos no se encuentran fuera del rango de una máxima en ocho horas

de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiente al límite permisible establecido por la Ley de conformidad con el Acuerdo Ministerial No. 050 (Ministerio del Ambiente, 2011) y acorde a lo también instaurado por la (Organización Mundial de la Salud, 2016).

La cantidad de ozono reportada y en contraste con los datos tanto de dióxido de nitrógeno como de compuestos orgánicos volátiles obtenidos, nos dan a conocer que en el centro histórico de la ciudad de Riobamba se presenta el efecto fin de semana, de acuerdo a lo citado por (Seguel et al., 2012: pp.72-79) este se caracteriza por el aumento de la concentración de ozono durante los fines de semana pese a la disminución en la generación de sus precursores  $\text{NO}_2$  y COVs, debiéndose a que estos compuestos al instante de ser emitidos reaccionan inmediatamente con el ozono, generando compuestos de menor toxicidad en contraste a lo que sucede los días sábados y domingos donde el flujo vehicular es mucho menor y la concentración de estos gases baja, fomentando la permanencia de ozono en la atmósfera y por consiguiente aumentando su concentración.

**Tabla 13-3:** Concentración promedio de ozono - semana

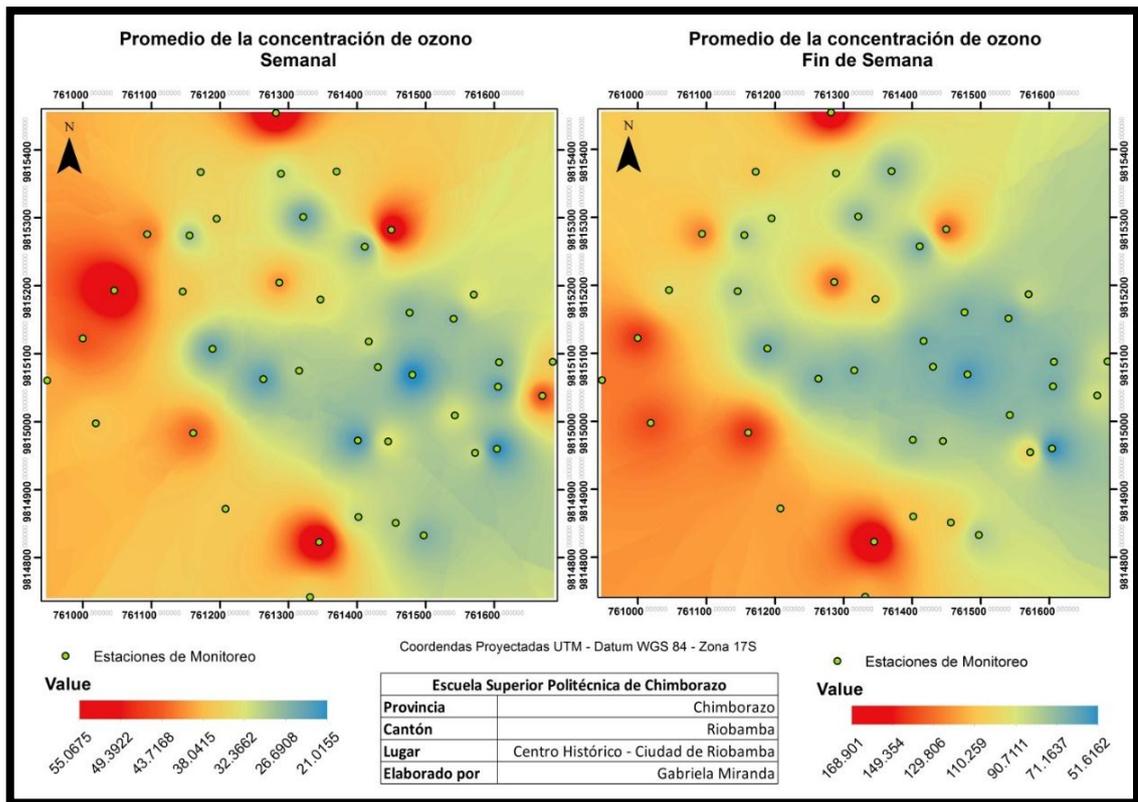
<b>PUNTOS DE MONITOREO</b>	<b>CONCENTRACIÓN PROMEDIO (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PUNTOS DE MONITOREO</b>	<b>CONCENTRACIÓN PROMEDIO (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
P1	53,214	P22	28,270
P2	34,922	P23	31,024
P3	51,413	P24	29,032
P4	32,843	P25	41,885
P5	36,169	P26	29,500
P6	44,761	P27	32,964
P7	27,058	P28	26,521
P8	27,058	P29	23,524
P9	26,365	P30	24,182
P10	31,215	P31	25,014
P11	25,083	P32	36,186
P12	26,936	P33	55,085
P13	24,321	P34	29,760
P14	21,913	P35	30,972
P15	32,393	P36	44,172
P16	21,012	P37	42,786
P17	31,509	P38	53,110
P18	33,692	P39	36,360
P19	34,939	P40	39,045
P20	34,974	P41	36,983
P21	40,223	P42	35,390

**Realizado por:** Miranda G, 2017

**Tabla 14-3:** Concentración promedio de ozono - fin de semana

<b>PUNTOS DE MONITOREO</b>	<b>CONCENTRACIÓN PROMEDIO (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PUNTOS DE MONITOREO</b>	<b>CONCENTRACIÓN PROMEDIO (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
P1	160,921	P22	67,749
P2	72,432	P23	102,583
P3	131,484	P24	79,167
P4	84,564	P25	124,839
P5	86,883	P26	66,946
P6	89,024	P27	79,078
P7	68,106	P28	79,702
P8	65,385	P29	74,038
P9	66,322	P30	67,348
P10	91,254	P31	66,277
P11	72,700	P32	80,460
P12	67,348	P33	97,587
P13	65,564	P34	104,322
P14	51,514	P35	108,158
P15	69,578	P36	141,564
P16	57,491	P37	141,921
P17	65,697	P38	168,994
P18	102,226	P39	118,773
P19	107,043	P40	126,890
P20	88,756	P41	136,435
P21	129,923	P42	114,714

**Realizado por:** Miranda G, 2017



**Figura 1-3:** Mapa de la concentración promedio de ozono semanal y fin de semana

Realizado por: Miranda G, 2017

La figura 1-3 nos muestra en su lado izquierdo la concentración promedio de ozono semanal y en su lado derecho la concentración promedio de ozono para el fin de semana, así como también cada uno de los puntos de monitoreo establecidos, destacando aquellos que presentan una mayor concentración de ozono, añadiéndoles una tonalidad color roja dentro del dominio, es así que para la semana de evaluación destacan los puntos P1 con  $53,214 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P3 con  $51,413 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P33 con  $55,085 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y P38 con  $53,110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para los fines de semana tenemos P1 con  $160,921 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P3 con  $131,484 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P18 con  $102,226 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P25 con  $124,839 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P36 con  $141,564 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P37 con  $141,921 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P38 con  $168,994 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P41 con  $136,435 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y P42 con  $114,714 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ratificando lo dicho por (Franco Calisto, 2015) y demostrando que aunque la generación de COVs y  $\text{NO}_2$  en los fines de semana es mucho menor a la emitida semanalmente, la concentración de  $\text{O}_3$  es mucho mayor, debido a la baja concentración de sus precursores y a la falta de reacciones químicas que se dan entre ellos, aumentando considerablemente la cantidad de ozono y su permanencia en la atmósfera.

Los datos correspondientes al fin de semana y a la semana de investigación no se encuentran fuera del rango de una máxima en ocho horas de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiente al límite permisible

establecido por la Ley de conformidad con el Acuerdo Ministerial No. 050 (Ministerio del Ambiente, 2011) y acorde a lo también instaurado por la (Organización Mundial de la Salud, 2016).

La concentración de ozono determinada es cotejada con los datos obtenidos en la ciudad de Ontario, Canadá, concluyendo que la cantidad de O<sub>3</sub> emitida durante los días sábados y domingos supera ampliamente a la calculada a lo largo de la semana, mientras que para la concentración dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles sucede lo inverso, fortaleciendo la teoría descrita por (Huryn y Gough, 2014; pp.307-312), que indica que la ausencia de los precursores de ozono favorecen a aumentar su nivel de concentración, al no tener con quien reaccionar químicamente.

(Da Silva, et al. 2009) en investigaciones realizadas en Sao Paulo, señala que la formación de ozono está íntimamente ligada con la cantidad de vehículos que transitan en un determinado lugar, la disminución de estos indica una menor emisión de dióxido de nitrógeno y por consiguiente un acrecentamiento en la concentración de O<sub>3</sub>.

#### **3.4. Análisis comparativo de la concentración de NO<sub>2</sub> con respecto al año 2008**

Los datos de dióxido de nitrógeno reportados por parte del Municipio de Riobamba para el año 2008 y los meses de Junio, Julio y Agosto son 24,92 µg/m<sup>3</sup>, 16,83 µg/m<sup>3</sup> y 12,90 µg/m<sup>3</sup> respectivamente, mientras que los obtenidos mediante monitoreo pasivo para los mismos meses y el año 2016 son 33,41 µg/m<sup>3</sup>, 33,31 µg/m<sup>3</sup> y 33,23 µg/m<sup>3</sup>, claramente se evidencia un aumento en la concentración de NO<sub>2</sub>, sin embargo no se puede realizar un análisis comparativo directo, ya que, los puntos de monitoreo no se encuentran ubicados en las mismas coordenadas ni abarcan el mismo campo de estudio. (CORPAIRE, 2008)

Es necesario resaltar que ninguno de los valores presentados sobrepasa el límite permisible establecido por la ley ecuatoriana de 40 µg/m<sup>3</sup> por año y la concentración máxima en una hora de 200 µg/m<sup>3</sup> (Ministerio del Ambiente, 2011), al igual que los valores determinados por la (Organización Mundial de la Salud, 2016).

## CONCLUSIONES

- El ozono evidencia una elevada concentración  $168,994 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , en comparación con el dióxido de nitrógeno  $80,853 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y los compuestos orgánicos volátiles  $53,88 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mismos que al no ser generados en los porcentajes necesarios fomentan la permanencia de ozono en el medio circundante, característica propia del efecto fin de semana.
- La concentración de compuestos orgánicos volátiles generados durante los días laborables es considerablemente alto  $125,7 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en comparación con los emitidos durante el fin de semana correspondiente a  $53,88 \times 10^3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , atribuyéndose esto al escaso flujo vehicular que se mantiene durante los días sábados y domingos.
- El ozono presenta una mayor concentración durante el fin de semana  $168,994 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , debido a la baja circulación vehicular y por ende a la escasa producción de dióxido de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, mismos que reaccionan con el ozono en forma directa, pero en su ausencia este aumenta su permanencia acrecentando sus niveles de concentración.
- La zona de influencia presentan una mayor concentración de ozono durante la semana en los puntos P1 con  $53,214 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P3 con  $51,413 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P33 con  $55,085 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y P38 con  $53,110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mientras que para los fines de semana tenemos P1 con  $160,921 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P3 con  $131,484 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P18 con  $102,226 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P25 con  $124,839 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P36 con  $141,564 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P37 con  $141,921 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P38 con  $168,994 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , P41 con  $136,435 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y P42 con  $114,714 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Los datos de dióxido de nitrógeno reportados por parte del Municipio de Riobamba para el año 2008 y los meses de Junio, Julio y Agosto son  $24,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $16,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $12,90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, mientras que los obtenidos mediante monitoreo pasivo para los mismos meses y el año 2016 son  $33,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $33,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $33,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , claramente se evidencia un aumento en la concentración de  $\text{NO}_2$ , sin embargo no se puede realizar un análisis comparativo directo, ya que, los puntos de monitoreo no se encuentran ubicados en las mismas coordenadas ni abarcan el mismo campo de estudio.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar medios automáticos y sistematizados que permitan obtener datos más fiables y exactos del número y tipo de vehículos que transitan permanentemente por las calles de la ciudad, para generar una base de datos que nos permita realizar un análisis de evolución histórica.
- Ampliar la zona de monitoreo para calidad del aire en la ciudad de Riobamba, en áreas que presenten una demanda vehicular elevada tal es el caso del sector de la media luna, terminal terrestre y mercados de la localidad.
- Colocación de porta tubos y señalética, que brinde la seguridad necesaria para mantener en óptimas condiciones cada una de las muestras.

## GLOSARIO

**O<sub>3</sub>**: Ozono troposférico

**NO<sub>2</sub>**: Dióxido de nitrógeno

**COVs**: Compuestos orgánicos volátiles

**NO<sub>x</sub>**: Óxidos de nitrógeno

**CO**: Monóxido de carbono

**SO<sub>2</sub>**: Dióxido de azufre

**O**: Oxígeno

**O<sub>2</sub>**: Oxígeno molecular

**HC**: Hidrocarburos

**OH<sup>•</sup>**: Radical oxhidrilo

**ROO<sup>•</sup>**: Radical peroxi

**HNO<sub>3</sub>**: Ácido nítrico

**O<sup>•</sup>**: Radical oxígeno

**PAN**: Peroxiacetilnitrato

**PM<sub>2.5</sub>**: Material particulado de menos de 2,5 micras

**PM<sub>10</sub>**: Material particulado de menos de 10 micras

**TEA**: Trietanolamina

**REMMAQ**: Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico

**CORPAIRE**: Corporación para el mejoramiento del aire de Quito

**EPA**: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

**OMS**: Organización Mundial de la Salud

**INEN**: Instituto ecuatoriano de normalización

**INPC**: Instituto Nacional de Patrimonio Cultural

**EGR**: Exhaust Gas Recirculation

**UTM**: Universal Transverse Mercator, Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator

**CAMS**: Concentración ambiente medida – emana

**CAMF**: Concentración ambiente medida – fin de semana

**CAMAS**: Concentración ambiente medida ajustada – semana

**CAMAF**: Concentración ambiente medida ajustada – fin de semana

**msnm**: metros sobre el nivel del mar

**ppm**: partes por millón

**µg/m<sup>3</sup>**: microgramos/metro cúbico

**µg/mL**: microgramos/mililitro

**mg/cm<sup>2</sup>**: miligramos/centímetro cuadrado

**g/km**: gramos/kilómetro

**g/h**: gramos/hora

**h $\nu$** : constante de radiación gamma

**km**: kilómetros

**°C**: grados centígrados

**K**: grados Kelvin

**kPa**: kilopascales

## BIBLIOGRAFÍA:

### **AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS ESTADOS UNIDOS - EPA.**

“Glosario ambiental bilingüe” [En línea] 7 julio 2016. [Citado el: 3 de Febrero de 2017]  
<https://www.epa.gov/espanol/terminos-c>

### **AGENCIA PÚBLICA DE NOTICIAS DEL ECUADOR Y SURAMÉRICA "ANDES".**

“El parque automotor de Ecuador creció el 57% en cinco años, según datos del INEC”. [En línea] 9 diciembre 2016. [Citado el: 23 abril 2017]  
<http://www.andes.info.ec/es/noticias/parque-automotor-ecuador-crecio-57-cinco-anos-segun-datos-inec.html>

**ÁLVAREZ, Jesús.** *Motores alternativos de combustión interna*. Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya, SL. Barcelona, 2005. pp 341 -342.

**ARROBA, Leonardo; & JIMÉNEZ, Danny.** “Implementación de un sistema de tratamiento de gases de escape mediante inyección de aire en un vehículo a gasolina”, [En línea] (Tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 11-15. [Consulta: 06 febrero 2017]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2283>

**ATKINSON, Roger.** “Atmospheric chemistry of VOCs and NOx” [En línea] 7 de Julio de 2016, *Atmospheric Environment* 34, [En línea], 1998, (United States of America), pp. 2063-2101. [Consulta: 27 agosto 2016]. Disponible en:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231099004604?via%3Dihub>

**BLIER, Warren; et al.** “Analysis of Weekday/Weekend Differences in Ambient Air Quality and Metereology in the South Coast Air Basin”. *Final Report to the California Air Resources Board, Contract No. 95-334* [En línea], 1999, (United States of America), pp. 1-24. [Consulta: 15 agosto 2016]. Disponible en:  
<https://www.arb.ca.gov/research/apr/past/95-334a.pdf>

**BORGE, Rafael; et al.** “Experimental Campaign in a Heavily Trafficked Roundabout in Madrid for the Assessment of Air Quality Monitoring Station Representativeness in Terms of Population Exposure to NO<sub>2</sub>”, Duke Kunshan University, China. 2015.

**BRITANIA LABORATORIOS.** “Griess Reactivo” [En línea] enero 2011. [Citado el: 19 septiembre 2016]. Disponible en: [http://www.britanialab.com/productos/179\\_hoja\\_tecnica\\_es.pdf](http://www.britanialab.com/productos/179_hoja_tecnica_es.pdf)

**BRITISH BROADCASTING CORPORATION – BBC.** “Ecuador arranca venta de biocombustible” BBC. *BBC*. [En línea] 13 enero 2010. [Citado el: 25 octubre 2016]. Disponible en: [http://www.bbc.com/mundo/ciencia\\_tecnologia/2010/01/100112\\_0245\\_ecuador\\_gasolina\\_verde\\_jrg.shtml](http://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/01/100112_0245_ecuador_gasolina_verde_jrg.shtml)

**CABRERA SILVA, Sergio; et al.** *Radiación ultravioleta y salud*. Santiago de Chile, Chile: Universitaria S.A., 2005. pp. 283-284.

**CANO, Vicente; & DELGADO, Juana María.** “Medida de contaminantes atmosféricos: métodos pasivos frente a métodos automáticos” [en línea], 2011, (España). Universidad Jaume I. [Consulta: 29 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.upv.es/upl/U0455035.pdf>

**CÁRDENAS, Edwin; & KASLIN, Jorge.** “Caracterización tecnológica del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito y propuesta para la reforma de la normativa ecuatoriana de emisiones en fuentes móviles terrestres” [en línea], (Tesis pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2006. pp. 20-45. [Consulta: 06 febrero 2017]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/502>

**CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO, CORPAIRE.** “Diagnóstico de la calidad del aire en la provincia de Chimborazo, cantones Riobamba, Guano y Penipe.” Quito, 2008.

**DA SILVA, Rosiberto; et al.** “Weekend/weekday differences in concentrations of ozone, nox, and non-methane hydrocarbon in the metropolitan area of São Paulo”. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 24, n° 1 (2009), (Brasil), ISSN 1982-4351.

**DE BLAS MARTÍN, Maite.** Desarrollo y aplicación de técnicas avanzadas de medida de compuestos orgánicos volátiles en la atmósfera. Bilbao-País Vasco: Universidad Euskal Herriko, 2009, pp. 5-13.

**DELGADO, Omar; et al.** “Joint interpretation of geoelectrical and volatile organic compounds data: a case study in a hydrocarbons contaminated urban site” [En línea], 01 abril 2014,

(México, DF). Instituto mexicano del petróleo, Departamento de geofísica. México, DF: Elsevier B.V. Vol. 53, [Consulta: 29 abril 2017]. Disponible en: <http://ojs.geofisica.unam.mx/ojs6/index.php/RGI/article/view/1508/1477>

**ECUADOR. EL COMERCIO.** “El Centro Histórico de Riobamba está en alerta por el deterioro” [En línea] 12 agosto 2013. [Citado el: 21 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/centro-historico-riobamba-alerta-deterioro.html>

**ECUADOR. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, INEC.** “Estadísticas de Transporte”. [En línea], 2016, (Ecuador). [Consulta: 28 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadistica-de-transporte-bases-de-datos/>

**ECUADOR. MINISTERIO DE HIDROCARBUROS.** “Confirman calidad de combustible que distribuye EP PETROECUADOR al país”. [En línea] 20 septiembre 2012. [Citado el: 12 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.hidrocarburos.gob.ec/confirman-calidad-de-combustible-que-distribuye-ep-petroecuador-al-pais/>

**ECUADOR. MINISTERIO DEL AMBIENTE.** “Acuerdo Ministerial N°050”. [En línea] 01 febrero 2011. [Citado el: 18 marzo 2017]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/10/b877a1d8656a24ee2f00d3912d12e5adc169ca7a.pdf/>

**ENVIRONMENT SYSTEMS,** “Evaluación de compuestos orgánicos volátiles en emplazamientos urbanos, de fondo urbano e industriales de la CAPV”. *Ingurumena.net*. [En línea] 14 abril 2015. pp. 16-25 [Consulta: 23 enero 2017]. Disponible en: [http://www.euskadi.eus/contenidos/evento/contaminacion\\_atmosferica/eu\\_jornada/adjuntos/2-4.pdf](http://www.euskadi.eus/contenidos/evento/contaminacion_atmosferica/eu_jornada/adjuntos/2-4.pdf)

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.** “Datos generales” [En línea]. 1995 [Consulta: 28 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.esPOCH.edu.ec>

**ESPADA, David.** “Aprovechamiento energético de los gases de escape” *Medioambiente. Medioambiente*. [En línea] 2010. [Citado el: 5 enero 2017]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10843/Avantprojecte\\_PFC1.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10843/Avantprojecte_PFC1.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

**ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.** “Boletín Mensual de los fenómenos climáticos del mes de junio, julio y agosto del 2015” [En línea] 2015. [Consulta: 28 junio 2016]. Disponible en: <https://www.espoch.edu.ec/index.php/component/k2/item/650.html>

**EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, EEA.** “El medio ambiente en Europa: segunda evaluación. Ozono Troposférico” [En línea] 19 abril 2016. [Consulta: 12 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.eea.europa.eu/es/publications/92-828-3351-8/5es.pdf>.

**FIGUERUELO, Juan; & DÁVILA, Martín.** *Química física del ambiente y de los procesos medioambientales*. Barcelona-España: Reverté S.A., 2004. pp. 47-50. ISBN: 84-291-7903-8.

**FRANCO CALISTO, Elizabeth Carolina.** *Identificación del efecto fin de semana en la calidad de aire de Quito-Ecuador* (tesis). (Ingeniería) Universidad San Francisco de Quito, Quito-Ecuador. 2015.

**GALÁN, David; & FERNÁNDEZ, Rosalía.** “Implicación de los NOx en la química atmosférica”. *Revista Electrónica de Medio Ambiente* [en línea], 2006 (España) 2, pp. 90-99. [Consulta: 04 octubre 2016.]. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41377/2006%202%20david%20galan%20y%20otro.pdf>

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE RIOBAMBA.** “Datos generales”. *Riobamba GAD Municipal*. [En línea] 29 octubre 2014. [Citado el: 8 agosto 2016.] Disponible en: <http://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/riobamba/datos-generales>

**GOOGLE EARTH,** “Información geográfica proveniente de modelos de datos SIG”[En línea] 2017. [Citado el: 28 agosto 2016.] Disponible en: <https://www.google.com.ec/intl/es/earth/explore/products/>

**HURYN, Steven, & GOUGH, William.** “Impact of urbanization on the ozone weekday/weekend effect in Southern Ontario, Canada”. *Urban Climate*, (2014), (Canada), University of Toronto Scarborough, Department of Physical and Environmental Sciences. Elsevier Ltd. pp. 307-312.

- JIMÉNEZ, Blanca Elena.** *La contaminación ambiental en México, causas efectos y tecnología apropiada.* México D.F. - México: Limusa S.A. de C.V., 2001 pp. 333-334.
- KIRBY, Carolyn; et al.** “Reliability of nitrogen dioxide passive diffusion tubes for ambient measurement: in situ properties of the triethanolamine absorbent”. *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 15, n° 4 (2000), (United States of America), pp. 307-312.
- LAZIC, Lazar; et al.** “Traffic contribution to air pollution in urban street canyons: Integrated application of the OPSM, moss biomonitoring and spectral analysis”. *Atmospheric Environment*, Vol. 141 (2016), (United States of America), pp. 347-360.
- MANAHAN, Stanley.** *Introducción a la Química Ambiental.* 1° ed. México-México: Reverté Ediciones, 2007. pp. 402. ISBN: 9686708677.
- MANCILLA, Antonio Álvarez.** Ciencia y Biología. *Compuestos orgánicos volátiles (COVs o VOCs)* [en línea], 2004. [Consulta: 21 julio 2016]. Disponible en: <http://cienciaybiologia.com/compuestos-organicos-volaticos-covs-o-vocs/>
- MANRIQUE CARVAJAL, Angélica María, & OSSA MORALES, Diana Marcela.** *Validación de los métodos espectrofotométricos para la determinación de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> en muestras de aire* [en línea] (Tesis pregrado). (Tecnología) Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 2010. pp. 19-26 [Consulta: 3 noviembre 2016]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1832/5430858M285.pdf?sequence=1>
- MARTÍNEZ ATAZ, Ernesto, & DÍAZ DE MERA MORALES, Yolanda.** *Contaminación Atmosférica.* 1ª ed. Vol. IV. Cuenca-España: Ediciones de la Universidad de Castilla - La Mancha, 2004 pp. 11-45. ISBN:8484273245.
- MÉXICO. SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.** *Inventario de emisiones de contaminantes criterio de la ZMVM 2008* [en línea]. México-México: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. México, D.F., 2010, pp. 149.
- MORALES, Raúl.** *Contaminación atmosférica urbana.* Santiago-Chile: Universitaria S.A., 2006 pp. 28-30. ISBN:9561118351.

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, OMS.** “Calidad del aire ambiente (exterior) y salud [En línea], septiembre 2016. [Consulta: 16 diciembre 2016 ]. Disponible en: <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

**PARRAGUEZ, Marta, & HORMAZÁBAL, Lionel.** *Ratatan en un mundo contaminado*. Vol. 2. Santiago-Chile: LOM Ediciones Ltda., 2000 pp. 1-4.

**QIN, Yaqing; et al.** “Weekend/weekday differences of ozone, NO<sub>x</sub>, Co, VOCs, PM10 and the light scatter during ozone season in southern California”. *Atmospheric Environment*, vol. 38. n° 19 (2004), (United States of America) pp. 3069-3087.

**SEGUEL, Rogrigo; et al.** “Ozone weekend effect in Santiago, Chile”. *Environmental Pollution* [en línea], 2011, (Chile) 2, pp. 72-79. [Consulta: 23 agosto 2016]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22243849>

**SOLÍS SEGURA, Luz María, & LÓPEZ ARRIAGA, Jerónimo Amado.** *Principios básicos de Contaminación Ambiental*. Toluca-México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2003 pp. 1-13.

**STRAUSS, W., & MAINWARING, S.** *Contaminación del aire, causas, efectos y soluciones*. México-México: Trillas, S.A. de C.V., 2011 pp. 9-86.

**ZAPATA SÁNCHEZ, C., et al.** “Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en el valle de Aburra con medidores pasivos”. *Investigación* (en línea), 2008, (Colombia) 11(1), pp. 67-84. [Consulta: 10 septiembre 2016]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/14849/1/9215-15473-1-PB.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A

Colocación de muestreadores pasivos en cada punto de control



## ANEXO B

### Preparación y análisis de las muestras

