



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTIMACIÓN DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PM2.5 BASADO EN
LA INTENSIDAD DE TRÁFICO EN LA CIUDAD DE QUITO.

AUTOR

Carlos Ernesto Moscoso Mesias

AÑO

2019



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTIMACIÓN DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA $PM_{2.5}$ BASADO EN LA
INTENSIDAD DE TRÁFICO EN LA CIUDAD DE QUITO.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero Ambiental en Prevención y
Remediación.

Profesor Guía

PhD. Rasa Zalakeviciute

Autor

Carlos Ernesto Moscoso Mesias

Año

2019

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo, Estimación de contaminación atmosférica $PM_{2.5}$ basado en la intensidad de tráfico en la ciudad de Quito, a través de reuniones periódicas con el estudiante Carlos Ernesto Moscoso Mesias, en el semestre 201910, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Rasa Zalakeviciute
Doctor of Engineering Science
CC: 1757076797

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado éste trabajo, Estimación de contaminación atmosférica PM_{2.5} basado en la intensidad de tráfico en la ciudad de Quito, del estudiante Carlos Ernesto Moscoso Mesias, en el semestre 201910, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Yasser Alejandro González Romero

Magister en Ingeniería Ambiental

CC: 0703737627

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”.

Carlos Ernesto Moscoso Mesias

CC: 1724029036

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme, bendecirme y ser mi apoyo y fortaleza en el transcurso de mi vida.

A mis padres y hermano, por todo el apoyo y esfuerzo impuesto en mí, también por sus consejos y valores que han infundido en mí día a día para formarme como ser humano y como profesional.

Agradezco a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad de las Américas, en especial a la doctora Rasa Zalakeviciute, que gracias a su apoyo, sugerencias y recomendaciones hoy puedo culminar este trabajo.

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres, hermano y abuelita por su amor incondicional, por estar siempre a mi lado, por estar pendientes de mí, por todo el apoyo que me han brindado y que gracias a ellos estoy alcanzando una meta más en mi vida.

RESUMEN

La contaminación atmosférica origina efectos nocivos en la salud humana a nivel mundial. Uno de los contaminantes más perjudiciales del Distrito Metropolitano de Quito es el $PM_{2.5}$ (material particulado $<2.5 \mu m$). El $PM_{2.5}$ es uno de los contaminantes que se monitorea desde el año 2003, mediante una red de monitoreo atmosférico administrada por la Secretaría de Ambiente, conformada por nueve estaciones de monitoreo a lo largo de la ciudad y en los valles. El $PM_{2.5}$ supera los límites permisibles de la Organización Mundial de la Salud ($10 \mu g/m^3$) y de la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire ($15 \mu g/m^3$), sin embargo, las estaciones de monitoreo no registran concentraciones a nivel de calle, las cuales generalmente son 2.5 mayores a las concedidas por la Secretaría de Ambiente. Debido a esta razón el objetivo del presente estudio es monitorear las concentraciones de $PM_{2.5}$ a nivel de calle y a la vez registrar la intensidad de tráfico proporcionada por Google Maps Traffic y también coordenadas GPS en tiempo real, además registrar el número de vehículos que circulan en las parroquias Jipijapa y La Mariscal de Quito, Ecuador, para estimar la contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$. Se delimitó dos áreas de estudio en las dos parroquias las cuales fueron recorridas con el equipo Microdust Pro (medidor de concentraciones de $PM_{2.5}$) y un teléfono móvil con las aplicaciones Google Maps Traffic y Traffic (Aplicación desarrollada por investigador del grupo SI² de la UDLA que registra altitud, latitud, longitud e intensidad de tráfico en tiempo real). Los resultados demuestran las concentraciones promedio de $PM_{2.5}$ que tienen las parroquias durante la semana laboral y los fines de semana donde se observa una gran diferencia de niveles de contaminación. Adicionalmente, se comprobó que mientras exista mayor presencia de vehículos en las calles de la ciudad, mayor será la concentración de $PM_{2.5}$ presente en el aire. Finalmente, se realizaron mapas de contaminación atmosférica que describen la concentración y dispersión del material particulado fino en las zonas de estudio, permitiendo identificar los puntos con mayor y menor contaminación, con el objetivo de implementar medidas de control de la calidad del aire y reducción de riesgos en la salud de la ciudadanía.

ABSTRACT

Atmospheric pollution causes harmful effects on human health worldwide. One of the most harmful pollutants in Metropolitan District of Quito, Ecuador, is $PM_{2.5}$ (particulate matter with aerodynamic diameter less than $2.5 \mu m$). $PM_{2.5}$ is one of the pollutants that has been monitored from 2003, through an atmospheric monitoring network, that is shaped by nine long-term monitoring stations in the city and in the valleys administered by the Secretaría de Ambiente. $PM_{2.5}$ exceeds the permissible limits of the World Health Organization ($10 \mu g/m^3$) and the Ecuadorian Standard of Air Quality ($15 \mu g/m^3$), however, monitoring stations do not measure concentrations at the street level, which are generally 2.5 greater than those granted by the Secretaría de Ambiente. Due to this reason, the objective of this study is to measure $PM_{2.5}$ concentrations at the street level and at the same time record the traffic intensity provided by Google Maps Traffic and also GPS coordinates in real time, as well as record the number of vehicles that circulate in the Jipijapa and La Mariscal parishes of Quito, Ecuador, in order to estimate atmospheric pollution by $PM_{2.5}$. Two study areas were delimited in the two parishes which were covered with the Microdust Pro equipment ($PM_{2.5}$ concentration meter) and a mobile phone with Google Maps Traffic and Traffic applications (application developed by the research group SI² of UDLA that register altitude, latitude, longitude and intensity of traffic in real time). The results show the average concentrations of $PM_{2.5}$ during the week and on weekends where very different. Additionally, it was found that as long as there is a greater presence of vehicles on the streets of the city, the concentration of $PM_{2.5}$ are higher. Finally, maps of atmospheric pollution that describe the concentrations and dispersion of fine particulate matter in the study areas were made, allowing the identification of the points with higher and lower contamination, with the objective of implementing air quality control measures and reduction of air pollution risks to the health of citizens.

ÍNDICE

1.	CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Objetivos.....	3
1.3.	Alcance.....	4
1.4.	Justificación.....	4
2.	CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1.	Características de la ciudad de Quito.....	5
2.2.	Contaminación Atmosférica.....	6
2.3.	Material Particulado – PM _{2.5}	6
2.3.1.	Métodos de medición de PM _{2.5}	7
2.4.	Dispersión de contaminantes.....	8
2.4.1.	Estabilidad atmosférica.....	8
2.4.2.	Inversión térmica.....	9
2.5.	Transporte de Quito.....	9
2.5.1.	Ordenanzas para mejorar la calidad de aire de Quito.....	10
2.6.	Mapas Ambientales.....	11
3.	CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	11
3.1.	Descripción del área de estudio.....	11
3.1.1.	Características de la Parroquia La Mariscal.....	13
3.1.2.	Características de la Parroquia Jipijapa.....	13
3.2.	Datos históricos de PM _{2.5} Belisario.....	14
3.2.1.	Especificación equipo (<i>Thermo Andersen / FH62C14</i>).....	15
3.2.2.	Datos históricos de PM _{2.5} en la estación Belisario.....	16

3.3.	Datos de Movilidad en la ciudad	17
3.3.1.	Movilidad en las Parroquias.....	18
3.3.2.	Cuantificación Vehicular	20
3.3.3.	Descripción de la Aplicación Multi Counter.....	22
3.4.	Monitoreo	23
3.4.1.	Descripción del equipo de medición <i>Microdust Pro</i>	26
3.4.2.	Descripción de la Aplicación Google Maps Traffic.....	27
3.4.3.	Descripción de la Aplicación Traffic.....	28
3.5.	Mecanismos para análisis de datos	29
4.	CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	29
4.1.	Validación de datos	29
4.1.1.	Correlación de datos.....	30
4.2.	Tendencia de concentración de PM _{2.5}	32
4.2.1.	Tendencia de concentración de PM _{2.5} Parroquia La Mariscal.....	33
4.2.1.1.	Tendencia de lunes a viernes	33
4.2.1.2.	Tendencia día domingo	34
4.2.2.	Tendencia de concentración de PM _{2.5} Parroquia Jipijapa.....	35
4.2.2.1.	Tendencia de lunes a viernes	35
4.2.2.2.	Tendencia día domingo	36
4.3.	Tendencia de automotores en las parroquias	37
4.3.1.	Tendencia de automotores Parroquia La Mariscal	38
4.3.1.1.	Tendencia de automotores de lunes a viernes	38
4.3.1.2.	Tendencia de automotores día domingo.....	39
4.3.2.	Tendencia de automotores Parroquia Jipijapa.....	40
4.3.2.1.	Tendencia de automotores de lunes a viernes	40

4.3.2.2.	Tendencia de automotores día domingo.....	41
4.4.	Tendencia de tráfico (Google Maps Traffic)	42
4.4.1.	Tendencia de tráfico La Mariscal	43
4.4.1.1.	Tendencia de lunes a viernes	43
4.4.1.2.	Tendencia día domingo	44
4.4.2.	Tendencia de tráfico Jipijapa	44
4.4.2.1.	Tendencia de lunes a viernes	44
4.4.2.2.	Tendencia día domingo	45
4.5.	Correlación de $PM_{2.5}$ vs Intensidad de tráfico.....	46
4.5.1.	Correlación La Mariscal de lunes a viernes	47
4.5.1.1.	Correlación de $PM_{2.5}$ vs Intensidad de tráfico de lunes a viernes .	47
4.5.1.2.	Correlación La Mariscal domingo.....	48
4.5.2.	Correlación Jipijapa de lunes a viernes	49
4.5.2.1.	Correlación de $PM_{2.5}$ vs Intensidad de tráfico de lunes a viernes .	49
4.5.2.2.	Correlación Jipijapa domingo.....	50
4.6.	Mapeo de Contaminación de $PM_{2.5}$	51
4.6.1.	Mapeo $PM_{2.5}$ La Mariscal.....	54
4.6.1.1.	Mapeo de contaminación de lunes a viernes	54
4.6.1.2.	Mapeo de contaminación domingo	55
4.6.2.	Mapeo Jipijapa.....	56
4.6.2.1.	Mapeo de contaminación de lunes a viernes	56
4.6.2.2.	Mapeo de contaminación domingo	57
4.7.	Comparación de la calidad de aire de las Parroquias	58
4.7.1.	Comparación de lunes a viernes	58
4.7.2.	Comparación día domingo.....	59

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
5.1.	Conclusiones	61
5.2.	Recomendaciones	62
	REFERENCIAS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio Parroquia La Mariscal.	12
Figura 2. Área de Estudio Parroquia Jipijapa.	13
Figura 3. Localización de las estaciones de monitoreo.	15
Figura 4. Trayecto del aire dentro del equipo.	16
Figura 5. Concentración promedio de PM _{2.5} en la estación Belisario.	17
Figura 6. Tendencia de tráfico (día viernes) Parroquia La Mariscal.	19
Figura 7. Tendencia de tráfico (día viernes) Parroquia Jipijapa.	20
Figura 8. Puntos de medición vehicular La Mariscal.	21
Figura 9. Puntos de medición vehicular Jipijapa.	22
Figura 10. Descripción App Multi Counter.	23
Figura 11. Recorrido de medición de PM _{2.5} La Mariscal.	25
Figura 12. Recorrido de medición de PM _{2.5} Jipijapa.	26
Figura 13. Elementos de la sonda de muestreo.	27
Figura 14. Funcionamiento de la App Google Maps Traffic y App Traffic.	28
Figura 15. Localización de la estación Belisario.	30
Figura 16. Correlación entre Thermo Andersen / FH62C14 y Microdust Pro. ...	31
Figura 17. Tendencia de PM _{2.5} La Mariscal (lunes a viernes).	34
Figura 18. Tendencia de PM _{2.5} La Mariscal (domingo).	35
Figura 19. Tendencia de PM _{2.5} Jipijapa (lunes a viernes).	36
Figura 20. Tendencia de PM _{2.5} Jipijapa (domingo).	37
Figura 21. Tendencia de automotores semanal de la parroquia La Mariscal. ...	39
Figura 22. Tendencia de automotores, día domingo parroquia La Mariscal.	40
Figura 23. Tendencia de automotores semanal de la parroquia Jipijapa.	41
Figura 24. Tendencia de automotores, día domingo parroquia Jipijapa.	42
Figura 25. Tendencia de tráfico en La Mariscal (lunes a viernes).	43
Figura 26. Tendencia de tráfico en La Mariscal (Domingo de 8h00–18h00). ...	44
Figura 27. Tendencia de tráfico en La Jipijapa (lunes a viernes).	45
Figura 28. Tendencia de tráfico Jipijapa (Domingo de 8h00–18h00).	46
Figura 29. Correlación La Mariscal de lunes a viernes.	48
Figura 30. Correlación La Mariscal día domingo.	49
Figura 31. Correlación Jipijapa de lunes a viernes.	50

Figura 32. Correlación Jipijapa día domingo.	51
Figura 33. Contaminación de aire a nivel de calle.	54
Figura 34. Mapa de PM _{2.5} La Mariscal (día promedio).	55
Figura 35. Mapa de PM _{2.5} La Mariscal (día domingo).	56
Figura 36. Mapa de PM _{2.5} Jipijapa (día promedio).	57
Figura 37. Mapa de PM _{2.5} Jipijapa (día domingo).	58

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La contaminación atmosférica es una problemática que provoca el incremento de riesgo para la salud de los seres humanos porque perjudica directamente a todas las regiones del mundo, al ambiente y a personas de diferentes rangos de edad (EPA, 2016). Además, genera alteraciones climáticas por los diferentes contaminantes en la atmósfera como el material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, ozono, etc. En el año de 2012, una de cada nueve muertes se produjo por la mala calidad del aire. De estas muertes a nivel mundial, 3 millones se otorga a la contaminación atmosférica en exteriores (World Health Organization, 2016). Alrededor de 100 millones de personas viven en zonas urbanas de América Latina (Bell, Davis, Gouveia, Borja-Aburto, & Cifuentes, 2006). Donde se registran altos niveles de contaminación en consecuencia al acelerado crecimiento económico, industrial y del transporte. Los acontecimientos asociados a la salud van desde problemas crónicos cardiacos, respiratorios, hasta provocar una muerte prematura (Bell et al., 2006).

El crecimiento de problemas de salud en la población que se desarrolla en zonas urbanas está relacionado con el transporte. Este es una de las principales fuentes generadoras de emisiones de contaminación atmosférica a nivel mundial y que se da en la mayoría de los países en vías de desarrollo. Por lo que ha sido de gran interés en la última década realizar análisis y predicciones de la calidad del aire para conocer en qué estado se encuentra (Karagulian et al., 2015).

La Secretaría de Ambiente es la institución encargada de la regularización de la calidad de aire del Distrito Metropolitano de Quito, la cual menciona que la principal fuente de emisión de contaminantes es el parque automotor, ocasionando el incremento de contaminación del aire en zonas urbanas (Secretaría de Ambiente, 2017). El smog que se genera en las avenidas y calles del Distrito Metropolitano es el mayor inconveniente, porque genera molestias a los peatones, afectando significativamente la salud, especialmente en niños,

personas de la tercera edad y personas sensibles (Secretaría de Ambiente, 2017).

La calidad del aire en Quito ha sido monitoreada diariamente desde el año 2003, la Secretaría de Ambiente entrega anualmente un informe de calidad de aire a la ciudadanía. Los resultados obtenidos son comparados con la “Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana” (NECA), actualizada en el 2011. Adicionalmente son comparados con la norma de calidad de aire fijada por la “Organización Mundial de la Salud” (OMS), actualizada en 2005. Los contaminantes monitoreados en la ciudad de Quito son el monóxido de carbono (CO), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), material particulado con diámetro menor a 10 micrómetros (PM₁₀), material particulado con diámetro menor a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), benceno, cadmio y mercurio inorgánico (Secretaría de Ambiente, 2017).

El Distrito Metropolitano de Quito cuenta con nueve estaciones de monitoreo de las cuales cinco presentan mayor contaminación, estas son Carapungo, Belisario, Centro, Los Chillos y San Antonio de Pichincha. Los promedios de los contaminantes que sobrepasan los límites permisibles de la norma nacional son el PM₁₀, PM_{2.5} y O₃ (Secretaría de Ambiente, 2017). Estudios demuestran que en el transcurso de los años 2005-2016, Quito posee un promedio de 17.4 µg/m³ de PM_{2.5}, sobrepasando los límites establecidos por la norma nacional e internacional (Zalakeviciute, Rybarczyk, López-Villada, & Diaz Suarez, 2018)

Existen 2.239.191 habitantes en la ciudad, el 6.4% corresponde a personas ancianas y el 21.8% corresponden a niños (INEC, 2010), estos individuos tienden a ser los más afectados por la mala calidad del aire, incluyendo las personas con asma.

Un factor clave en la contaminación atmosférica es el material particulado PM_{2.5}, debido a los efectos a la salud que puedan presentarse en los habitantes de un determinado territorio. Incrementa la probabilidad de contraer enfermedades de tipo respiratorio, cardiacas, cerebrovasculares, cáncer al pulmón, entre otros. En

el año 2010, el instituto Global Burden of Disease (GBD) realizó una evaluación comparativa en todo el mundo. Se produjeron 3.2 millones de muertes a causa de la contaminación del aire por $PM_{2.5}$, siendo el sexto factor de muerte prematura a nivel mundial (Apte, Marshall, Cohen, & Brauer, 2015).

La exposición a partículas suspendidas en el aire se da constantemente mientras respiramos, puede ser vía nasal u oral y principalmente cuando nos movilizamos de un lugar a otro o cuando realizamos actividades cotidianas. Estas partículas pueden ingresar fácilmente al sistema respiratorio, básicamente hacia la tráquea y la caja torácica, es decir a pulmones y bronquios. El $PM_{2.5}$ al tener un tamaño menor es más peligroso porque puede infiltrarse hasta la cavidad alveolar causando daños más graves al individuo afectado (Orozco, 2005).

La frecuencia respiratoria es el número de veces que respira una persona en el lapso de un minuto, generalmente una persona adulta puede respirar entre 12 y 20 veces por minuto (Carmen, Arias, & Riveiro Vela, 2012). El volumen de aire que ingresa a los pulmones por cada respiración de una persona adulta promedio está entre los 0.5 L, es decir en un minuto puede llegar a 10 L e incluso esta cantidad puede ser superior cuando el individuo esté realizando actividades físicas (Marieb, 2008). Las partículas menores a $10 \mu g$ pueden ingresar fácilmente al sistema respiratorio, se pueden depositar en los pulmones por sedimentación (partículas entre $2 \mu g$ a $4 \mu g$ se sedimentan eficazmente) durante largos periodos de tiempo (Gilbert & Wendell, 2008).

1.2. Objetivos

Objetivo General

Demostrar la correlación entre la contaminación atmosférica urbana y la intensidad de tráfico en las parroquias Jipijapa y La Mariscal de la ciudad de Quito.

Objetivos específicos

- Estimar la concentración de $PM_{2.5}$ en la red vial de las parroquias Jipijapa y La Mariscal de la ciudad de Quito.
- Determinar la correlación entre el número de vehículos y la intensidad de tráfico mediante las imágenes de Google Maps Traffic en tiempo real en las parroquias Jipijapa y La Mariscal de la ciudad de Quito.
- Comparar la concentración de $PM_{2.5}$ con la intensidad de tráfico en las parroquias Jipijapa y La Mariscal de la ciudad de Quito.

1.3. Alcance

El presente estudio pretende predecir la contaminación del aire por $PM_{2.5}$ en las parroquias Jipijapa y La Mariscal de la ciudad de Quito que tienen un alto flujo de tráfico en el transcurso del día, alta densidad de población y circulación peatonal mediante la comparación de los datos en campo y los datos de flujo vehicular del software Google Maps Traffic. Para esto se ejecutará un plan de monitoreo de $PM_{2.5}$ a diferentes horas del día, es decir a horas pico y a horas de bajo flujo vehicular, que se correlacionarán con la intensidad de tráfico de la ciudad de dicho software.

1.4. Justificación

La contaminación atmosférica aumenta con el paso de los años por el continuo requerimiento de recursos por parte de la población mundial. Estudios realizados en el 2012 indican que esta problemática produce aproximadamente 3 millones de muertes prematuras en zonas urbanas y rurales (World Health Organization, 2016). En el año 2060 se estima que existirán hasta 9 millones de muertes prematuras a causa de la contaminación del aire y consecuentemente el uno por ciento del PIB global se lo utilizará para solventar problemas de salud de la población en el mundo (Organization for Economic Co-operation and Development, 2016).

En el periodo de 2005 a 2016 en la ciudad de Quito, uno de los contaminantes que a menudo está por encima de los límites permisibles de la norma ecuatoriana es el $PM_{2.5}$ (Secretaría de Ambiente, 2017; Zalakeviciute, Rybarczyk, et al., 2018). El sector del transporte es la principal fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera. Cabe recalcar que no es la única fuente de contaminantes, existen también emisiones de industrias, quema de materiales orgánicos e inorgánicos, incendios forestales, etc. que originan otro tipo de compuestos químicos que tienden a ligarse al material particulado causando mayor impacto a la salud de la población (Pope & Dockery, 2006).

Este estudio proporcionará información de la calidad de aire por $PM_{2.5}$ en la ciudad de Quito, es decir los puntos con mayor y menor contaminación de las parroquias Jipijapa y La Mariscal. Además, si el proyecto es exitoso se podría ayudar en el futuro a generar mapas de contaminación atmosférica en cualquier ciudad del mundo.

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Características de la ciudad de Quito

La ciudad de Quito posee aproximadamente 2.240.000 habitantes según el censo realizado en el 2010 (INEC, 2010). Es considerada como la segunda capital más alta del mundo, cuenta con alrededor de 422.802 hectáreas, 80 km de largo y 5 km de ancho aproximadamente (Flacso, 2015). Posee una altitud de 2815 metros sobre el nivel del mar (EMASEO & Quito, 2011). Existen también valles adyacentes a la ciudad con 2350 a 2500 metros sobre el nivel del mar, estos son el Valle de los Chillos y el Valle de Cumbayá (Cazorla, 2016). Se encuentra rodeada por cerros como Itchimbia, Guanguiltagua y Puengasí, también de volcanes como el Cayambe, Pichincha, Cotopaxi y Antisana (Flacso, 2015). Este tipo de topografía constituye una especie de barrera natural que impide el desplazamiento del viento lo que conlleva a la ciudad a tener frecuentemente fenómenos de inversión térmica o dificultad de la dispersión de contaminantes (Buenaño, 2017; Páez Pérez, 2009).

La ciudad de Quito, también denominada Mitad del mundo, por estar ubicada en el paralelo 0° está expuesta a altos niveles de luminosidad y radiación, lo que facilita las reacciones fotoquímicas en la atmósfera (Páez Pérez, 2009).

2.2. Contaminación Atmosférica

La atmósfera es el conjunto de gases que rodea al planeta que tiene alrededor de 80 a 100 km de espesor, aproximadamente el 99% de los gases se encuentran en los primeros 30 km de altura. Los gases permanecen en constante movimiento por la gravedad y procesos de movimiento de masa (convección o viento) (Martínez Ataz & Díaz de Mera Morales, 2004). Esta se ha desarrollado durante millones de años gracias a los procesos biológicos y geológicos que ocurrieron durante la evolución del planeta (Sendiña & Pérez, 2006). La atmósfera está compuesta por capas denominadas: troposfera, estratosfera, mesosfera y termosfera. La troposfera es la primera capa de la atmósfera, tiene un espesor aproximado de 9 a 15 km y posee grandes cantidades de agua por estar cerca a la hidrosfera (Suay Belenger, 2010). Se la considera como la más importante porque es donde se desarrollan todos los seres vivos del planeta, además porque en ella se generan procesos meteorológicos que facilitan la dispersión de gases y contaminantes en la atmósfera (Midgley, Reuther, & Williams, 2013).

La contaminación atmosférica genera daños hacia la salud de los seres vivos y a la naturaleza por la existencia de sustancias contaminantes en el aire. Esta problemática ha generado problemas desde la antigüedad y principalmente desde la Revolución Industrial donde se empezó a producir una mayor cantidad de gases tóxicos que perturban el equilibrio de la atmósfera, (Gilbert & Wendell, 2008).

2.3. Material Particulado – PM_{2.5}

El material particulado es el conjunto de partículas que pueden ser sólidas o líquidas presentes en el aire. Sus fuentes pueden ser de origen natural, por actividades humanas o por reacciones en la atmósfera y se clasifican en PM₁₀ y

PM_{2.5} dependiendo de su tamaño aerodinámico (Arciniégas Suárez, 2011; EPA, 2018). El material particulado PM_{2.5} es el cual tiene un diámetro de 2.5 micrómetros o menos, son aproximadamente 30 veces más pequeños que el diámetro de un cabello humano. Las principales fuentes de PM_{2.5} son: los medios de transporte a combustión, quema de combustibles, quema de materia orgánica como madera o pasto y otros materiales como el plástico y caucho, emisiones de plantas generadoras de energía, incendios forestales, entre otros (EPA, 2017). Pueden permanecer largos periodos de tiempo en el aire, además pueden transportarse por prolongadas distancias lo que los hace más peligrosos para la salud (Borrás García, 2013).

Las enfermedades asociadas al PM_{2.5} pueden ser a corto y largo plazo, dependerá de la exposición al PM_{2.5}, es decir está en función de la composición química y adicionalmente por la concentración que ingresa al cuerpo del individuo (Gaviria, Benavides, & Tangarife, 2008; Organización Panamericana de la Salud, 2005). Las principales fuentes emisoras de PM_{2.5} están ligadas a procesos de combustión y actualmente el transporte es una de las principales fuentes emisoras de que genera preocupación al incrementarse con el paso del tiempo (Karagulian et al., 2015).

2.3.1. Métodos de medición de PM_{2.5}

Existen algunos métodos de medición de material particulado, donde se hace mayor énfasis en dos clases al ser los más comunes, estos son: el método gravimétrico y utilización de equipos automáticos (Mora et al., 2013). El método gravimétrico se efectúa mediante muestreos de veinte y cuatro horas con el ingreso de un caudal conocido de aire que pasa por un filtro el cual permite retener el material particulado. Para conocer la concentración, con la ayuda de una balanza de precisión se debe medir el peso inicial y final del filtro, finalmente dichos pesos se dividen para el volumen de aire que ingresó (Olivia et al., 2001). Por otro lado, los equipos automáticos monitorean el material particulado mediante principios de dispersión de láser, micro balanza oscilante o atenuación beta que permiten obtener las concentraciones inmediatamente. Dichos equipos

deben ser calibrados frecuentemente para no tener errores en las mediciones (Amaral, de Carvalho, Costa, & Pinheiro, 2015).

2.4. Dispersión de contaminantes

La dispersión es un fenómeno que permite autodepurar el aire mediante el transporte y mezcla de los contaminantes en la atmósfera (Venegas & Mazzeo, 2012). Las condiciones meteorológicas que se presentan son: el viento que dispersa brevemente el contaminante, si la velocidad del viento es menor, la concentración del contaminante será mayor y viceversa (Venegas & Mazzeo, 2012). La estabilidad atmosférica influye según sus condiciones. Se generará una mezcla vertical en condiciones inestables, mientras que cuando existe inversión térmica no existe mezcla. Adicionalmente pueden producirse nuevos contaminantes mientras son transportados, por las reacciones químicas que se generan en la atmósfera (García-Reynoso, 2009). La radiación solar contribuye a las reacciones de vapores o gases y a la creación de ozono en el aire (Rojas, Rodríguez, Cervantes, & Morán-Pineda, 2002). La precipitación dependiendo de su fuerza ayuda a que las partículas caigan al suelo y reduce la concentración en el aire (Zalakeviciute, López-Villada, & Rybarczyk, 2018). Las condiciones topográficas influyen directamente, si es compleja o presenta montañas o valles la concentración de contaminantes será mayor y viceversa (Inche, 2004).

2.4.1. Estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica es un estado de equilibrio, que depende directamente de la temperatura que presente la atmósfera, lo que permite que el aire se mueva vertical u horizontalmente. Existen tres condiciones de estabilidad atmosférica: condiciones inestables, condiciones estables y estabilidad e inestabilidad condicional (Xavier et al., 2018). La condición inestable se produce cuando el gradiente ambiental es mayor que el gradiente adiabático, donde la masa de aire se eleva al tener una mayor temperatura que el entorno, en consecuencia, habrá una mayor dispersión de contaminantes. Por otro lado, la condición estable se produce cuando el gradiente ambiental es menor que el gradiente adiabático, de tal manera que no se genera movimiento vertical de aire (Escudero López &

Bornay, 2004). Finalmente, la estabilidad e inestabilidad condicional resulta cuando el gradiente ambiental es mayor que el gradiente adiabático húmedo pero menor que el gradiente seco (Organización Panamericana de la Salud, 2018). Básicamente existe inestabilidad atmosférica durante el día porque el sol calienta las masas de aire, mientras que durante las noches se enfrían las masas de aire produciéndose estabilidad atmosférica (Bossi, Matich, & Pignani, 2000).

2.4.2. Inversión térmica

La inversión térmica se genera cuando aumenta la temperatura con la altitud, esta es una condición de alta estabilidad en la atmósfera que no permite movimientos verticales de masas de aire (Rodríguez Valdés, Quintero Silverio, Jaime, Santos, & Díaz, 2015). Existen dos tipos de inversión térmica: inversión nocturna e inversión anticiclónica. La inversión nocturna se produce durante las noches cuando no existe nubosidad que ayuden retener la radiación emitida de la tierra, por lo tanto las masas de aire cercanas al suelo se enfrían y no pueden elevarse (Cervantes Rendón & Observatorio Ambiental, 2007). Mientras que la inversión anticiclónica se produce por la presencia de presión atmosférica, se da en altitudes mayores cuando el aire incrementa su temperatura por compresión (M. García, Ramírez, Ulloa, Arias, & Pérez, 2012).

2.5. Transporte de Quito

La ciudad de Quito en el transcurso de los años ha ido incrementando su expansión demográfica, economía y el principal problema es el aumento de automotores (Cazorla, 2016). El transporte de Quito se clasifica en transporte no motorizado y motorizado. El transporte no motorizado se divide en peatonal y bicicleta, con un porcentaje de 15.3% y 0.3%, respectivamente. El mayor problema de la ciudad es generado por el transporte motorizado que se divide en transporte público y privado con un porcentaje de 73% y 27%, respectivamente. Los automotores de la ciudad se clasifican en livianos, pesados (buses, camiones, entre otros) y motos. Los buses son utilizados para el transporte masivo de personas, generalmente son los que producen mayor contaminación a comparación de los demás, debido al mal estado mecánico y al

largo periodo de vida (Secretaría de Ambiente, 2017). Son automotores que emiten contaminantes atmosféricos por su combustión interna durante su circulación por las calles, provocando la disminución de la calidad de aire de Quito y malestar a la ciudadanía (Secretaría de Movilidad, 2014).

Las emisiones de gases contaminantes de los automotores se pueden generar de tres maneras: 1) emisión directa del tubo de escape, estas emisiones pueden ser en frío (previo a que el líquido refrigerante adquiera 70 °C) y en caliente (cuando el líquido refrigerante llegó y consolidó en los 70 °C). 2) Las emisiones por abrasión, que se producen por el roce y desgaste de las llantas, frenos y del pavimento de las vías. 3) Las emisiones evaporativas, que se producen en el tanque de combustible o carburador donde se originan los compuestos orgánicos volátiles (Vega, Ocaña, & Parra, 2015).

2.5.1. Ordenanzas para mejorar la calidad de aire de Quito

En el 2003, el Municipio de Quito creó la Corporación para el Mejoramiento del Aire (CORPAIRE), encargada de gestionar, monitorear, fiscalizar y proporcionar información de las emisiones y la calidad del aire de la ciudad, con el objetivo de implementar medidas de control y prevención de la contaminación del recurso aire (Páez Pérez, 2009). Una de las medidas que se implementó fue la revisión vehicular para mejorar el estado funcional del automotor y así conseguir reducir la emisión de gases contaminantes (Fontaine et al., 2008).

En el 2010, el municipio de Quito implementó el denominado pico y placa bajo la Ordenanza Metropolitana No. 305, que tiene como objetivo la restricción vehicular, durante la mañana (07h00 a 09h30) y tarde (16h00 a 19h30) dependiendo del último número de la placa del automotor. Busca la reducción del tráfico vehicular privado en un 20% y mejorar la calidad de aire en la ciudad (Consejo Metropolitano De Quito, 2010).

En el año 2005 se restringió la distribución y venta de Diésel de 7000 ppm de azufre (categoría Euro 0) en Quito, implementando el Diésel de 500 ppm de azufre (categoría Euro 2), esta medida se amplió a nivel nacional en el año 2012. Por otro lado, en el año 2009 se disminuyeron los niveles de azufre de la gasolina de 1500 ppm (categoría Euro 1) a 650 ppm (categoría Euro 2) en todo el Ecuador (Zalakeviciute, Rybarczyk, et al., 2018). No obstante, las medidas tomadas por las autoridades del Distrito Metropolitano de Quito no han sido suficiente para la reducción de $PM_{2.5}$, ya que hay factores que ayudan a la generación y estadía de este tipo de contaminante en la atmósfera como la topografía y la altitud de 2800 metros sobre el nivel del mar (Cazorla, 2016).

2.6. Mapas Ambientales

Los mapas son instrumentos de representación espacial que se los realiza para transmitir información muy precisa y de la manera más simple posible para que el usuario pueda interpretarlo fácilmente (Instituto Geográfico Nacional de España, s/f; Universidad de Sevilla, 1996). La cartografía ambiental se la utiliza para representar variables que puedan afectar al medio ambiente, con el objetivo de implementar medidas de corrección o reducción de impactos a la naturaleza o los individuos que se desarrollan en ella. Los mapas de contaminación atmosférica se enfocan en predecir o modelar la dispersión de contaminantes en el aire dentro de un territorio, logrando identificar el deterioro de la calidad del aire y los puntos críticos de concentración de contaminantes (J. J. García & Abad, 2002). La Geoestadística es una herramienta espacial que analiza datos medibles, levantados en sitios específicos de un área de estudio. Su principio es la interpolación que permite predecir el comportamiento y distribución de una variable en un mapa (De Jesús Caballero Guardo, 2011; Henao, 1997).

3. CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

La ciudad de Quito tiene una altitud de 2800 metros sobre el nivel del mar y posee una temperatura media anual de 17°C, siendo la máxima 24,9°C y la

mínima 8,9°C. El promedio anual de precipitación es de 81 milímetros y humedad relativa entre el 70 y 80% (INAMHI, 2016). El estudio se realizó en las parroquias Jipijapa y La Mariscal del Distrito metropolitano de Quito.

En la parroquia de La Mariscal se ejecutó el monitoreo de $PM_{2.5}$ y cuantificación de vehículos, en un área de 0,85 km², conformada por las calles Amazonas, Cristóbal Colón, 6 de diciembre y Patria, Figura 1.

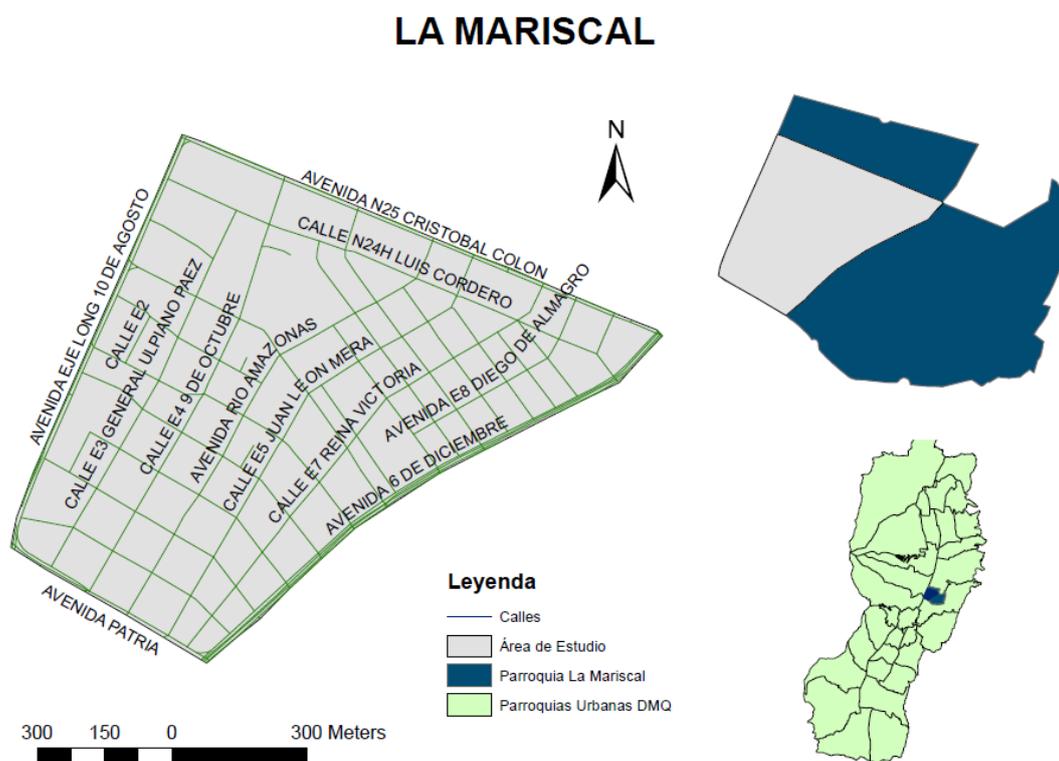


Figura 1. Área de estudio Parroquia La Mariscal.

En la parroquia Jipijapa también se ejecutó el monitoreo de $PM_{2.5}$ y cuantificación de vehículos, en un área de 0,75 km², conformada por las calles 6 de diciembre, Amazonas, Río Coca, Gaspar de Villarroel y Shyris, Figura 2.

JIPIJAPA

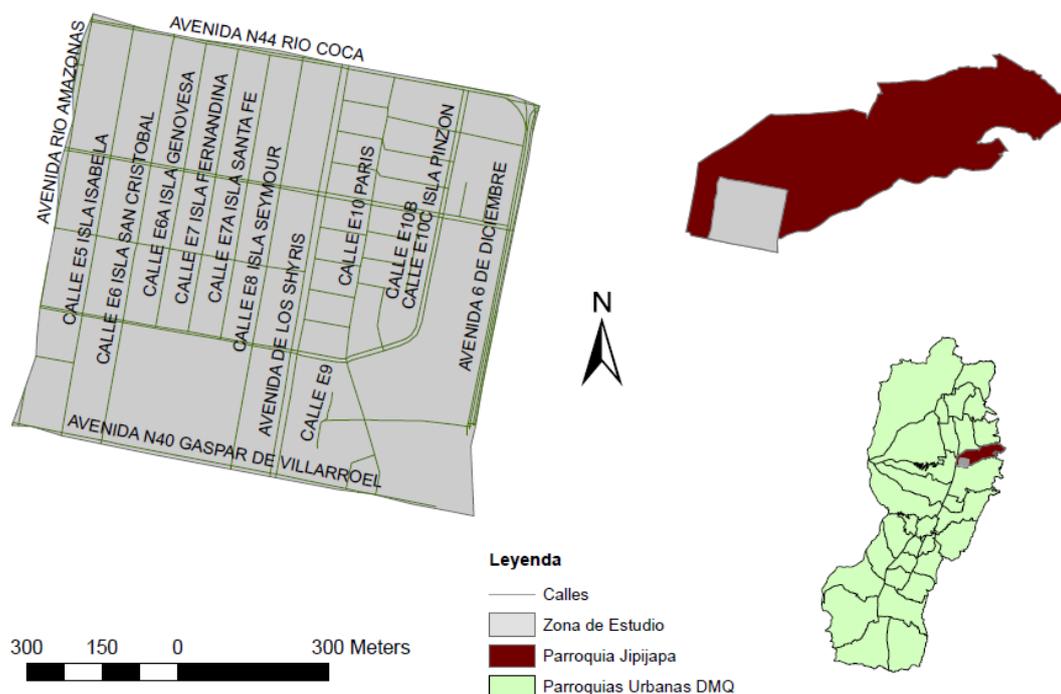


Figura 2. Área de Estudio Parroquia Jipijapa.

3.1.1. Características de la Parroquia La Mariscal

La parroquia de La Mariscal tiene una superficie de 2.78 km², se encuentra localizada en el centro norte de la ciudad, sus límites son: Itchimbía al este y sur, San Juan al sureste y Belisario al noroeste. Cuenta con una población de aproximadamente dieciséis mil habitantes (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014). Las principales actividades de La Mariscal es el comercio, gastronomía, turismo, entretenimiento, artesanías, negocios, entre otros. Es una de las parroquias más visitadas en la ciudad porque en ella existen hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, discotecas y centros de diversión en general (Agencia Pública de Noticias de Quito, 2013).

3.1.2. Características de la Parroquia Jipijapa

La parroquia Jipijapa tiene una superficie de 6.22 km², se encuentra localizada al noreste de la ciudad, sus límites son: la Kennedy al norte, Iñaquito al sur y

Rumipamba al oeste. Cuenta con una población de aproximadamente treinta y seis habitantes (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2014). Las principales actividades de la Jipijapa es el comercio, gastronomía entretenimiento, entre otros. Era una de las parroquias más visitadas de la capital turística hablando sobre todo en fiestas de Quito, ya que en ella se encuentra la Plaza de Toros la cual dejó de ser una atracción desde el año 2011 que se prohibió los espectáculos taurinos (Concejo Metropolitano de Quito, 2011).

3.2. Datos históricos de PM_{2.5} Belisario

La Secretaría de Ambiente cuenta con ocho estaciones de monitoreo automáticas, denominadas Red Automática (RAUTO), distribuidas en las administraciones zonales del Distrito Metropolitano de Quito. Actualmente solamente seis miden la concentración de PM_{2.5} con el equipo *Thermo Andersen / FH62C14*, estas son: Carapungo, Cotocollao, Belisario, Centro, El Camal y San Antonio de Pichincha (Secretaría de Ambiente, 2017).

La estación de monitoreo más cercana a las zonas de estudio es Belisario (coord. 78°29'24" W, 0°10'48" S, elev. 2835 metros sobre el nivel del mar), descrita en la Figura 3. El promedio de PM_{2.5} es resultado del registro de mediciones que se han ejecutado desde septiembre de 2004 hasta junio de 2018 en intervalos de diez minutos, el cual es de 17.77 µg/m³ (Secretaría de Ambiente, 2018b).

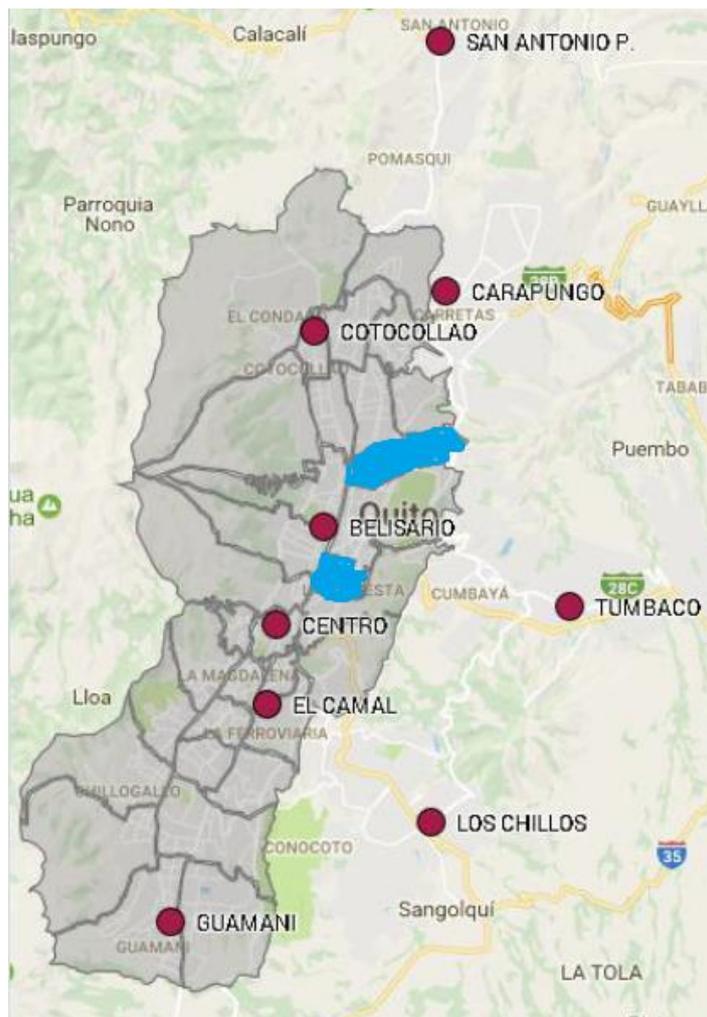


Figura 3. Localización de las estaciones de monitoreo.

Adaptado de (Secretaría de Ambiente, 2017).

3.2.1. Especificación equipo (*Thermo Andersen / FH62C14*)

El equipo de medición *Thermo Andersen / FH62C14* es elaborado por Thermo Scientific y tiene la capacidad de medir material particulado grueso (PM_{10}), material particulado fino ($PM_{2.5}$) y aerosoles ($PM_{1.0}$) en tiempo real con gran precisión y confiabilidad. El método que utiliza este equipo es el de atenuación de rayos beta, básicamente los contaminantes son succionados mediante una bomba hacia su interior que se asientan en una cinta de filtro manufacturada con fibra de vidrio que se mueve constantemente hacia una cámara que posee Carbono 14, descritas en la Figura 4. El equipo calcula la concentración del

contaminante mediante una fórmula que está en función de la intensidad del haz beta que genera el emisor (Thermo Fisher Scientific Inc, 2007). Dicho equipo es el que utiliza la Secretaría de Ambiente para el monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Quito (Secretaría de Ambiente, 2017).

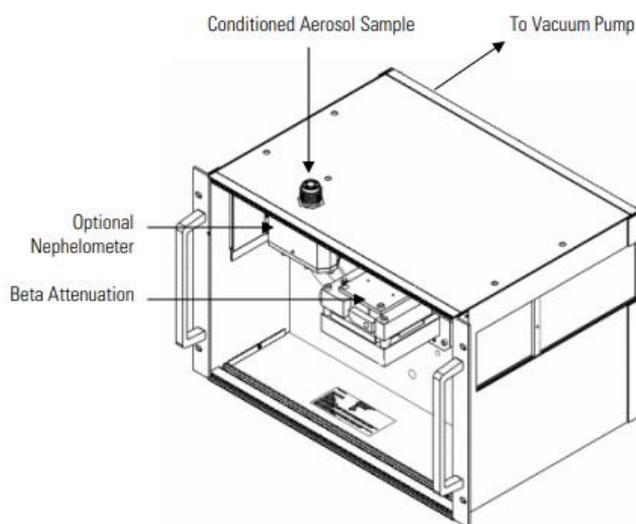


Figura 4. Trayecto del aire dentro del equipo.

Tomado de (Thermo Fisher Scientific Inc, 2007).

3.2.2. Datos históricos de PM_{2.5} en la estación Belisario

En los informes de la Secretaría de Ambiente de Quito se muestran los registros de los promedios anuales de material particulado fino (PM_{2.5}) en la estación Belisario. Dichos datos de libre acceso registrados desde el 2005 hasta el 2017, fueron utilizados en este estudio para observar cómo ha ido evolucionando la calidad de aire de la ciudad en función del PM_{2.5} (Figura 5) con un promedio de 17.7 µg/m³, adicionalmente se puede observar que ha ido reduciéndose con el pasar de los años. Previamente se mencionó las medidas que el municipio de Quito implementó para mejorar la calidad del aire de la ciudad que sin duda han disminuido con el paso de los años, pero se debe considerar que el parque automotor en el país crece cada año. En el transcurso del 2010 al 2015 el parque automotor del Ecuador creció un 57%, de 1.226.349 vehículos matriculados a

1.925.368 (INEC, 2016a). Mientras tanto en la provincia de Pichincha se matricularon 733.269 hasta el año 2016 (INEC, 2016b). Finalmente solo en el Distrito Metropolitano de Quito se estima que para el 2020 el parque automotor llegue a los 700.000 vehículos (Secretaría de Movilidad, 2014).

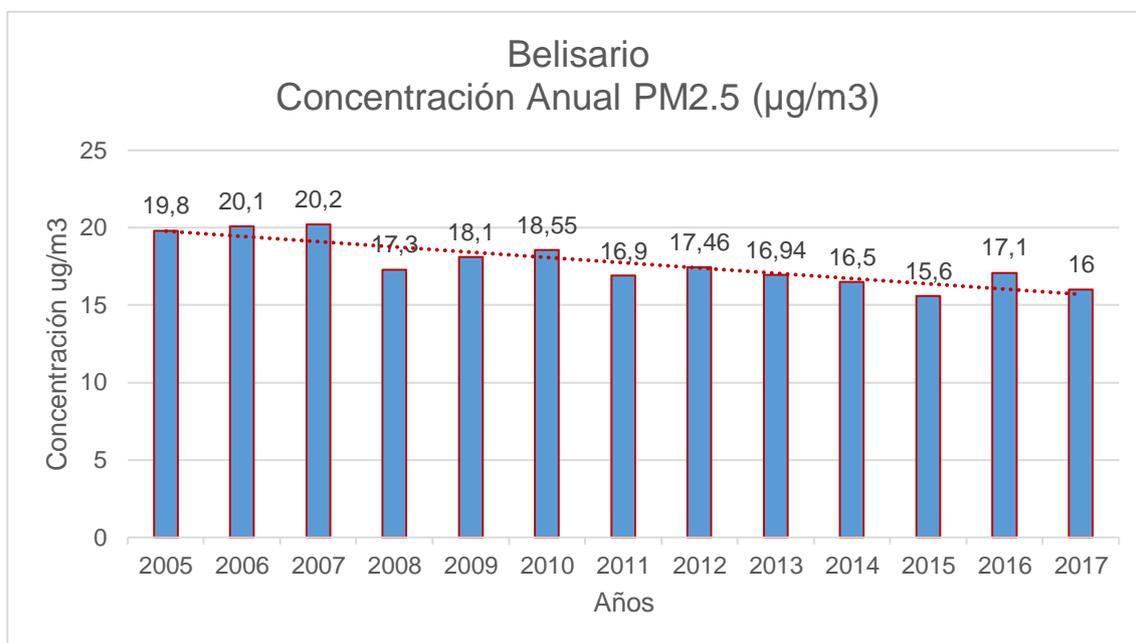


Figura 5. Concentración promedio de PM_{2.5} en la estación Belisario.

Adaptado de (Secretaría de Ambiente, 2018a).

3.3. Datos de Movilidad en la ciudad

En Quito se presentan problemas de movilidad debido a la saturación de las calles principales que conectan las distintas parroquias dentro y fuera de la ciudad, más aún cuando son las horas pico. La densidad de tráfico es muy elevada y ocasiona malestar a la población con mayor énfasis a las personas que utilizan diariamente el transporte público, debido al incremento del tiempo en su viaje, la alta presencia de usuarios en la unidad de servicio, la dificultad de realizar transbordos por la mala calidad de la estructura vial y la presencia de contaminación atmosférica.

El 73% de la población de Quito utiliza transporte público y el 27% transporte privado. El Sistema Metropolitano de Transporte Público de Pasajeros de Quito (SMTTP) realiza 2.400.000 viajes al día donde se transportan a 1.100.000 usuarios (Quito Informa, 2017). Dicho sistema se divide en varios subsistemas, estos son el transporte convencional, transporte masivo, corredores viales exclusivos y buses alimentadores. Durante la semana (lunes a viernes) las horas pico en la ciudad van desde las 7h00 hasta las 9h30, 12h00 hasta 2h00 y 4h00 hasta 19h00 aproximadamente, por lo que el municipio adoptó la medida del pico y placa mencionada anteriormente, que intenta reducir la cantidad de vehículos en la ciudad, no obstante, con el paso de los años el parque automotor se incrementa y el problema continúa (Secretaría de Movilidad, 2014).

3.3.1. Movilidad en las Parroquias

Las calles y avenidas de las parroquias (La Mariscal y Jipijapa) son transitadas por vehículos privados y públicos para llegar a distintos puntos de la ciudad. Las principales avenidas son de doble sentido y en ellas existen semáforos casi en todas las intersecciones. Las calles que bordean las zonas de estudio son las que tienen mayor flujo vehicular y por lo tanto mayor contaminación en el aire. El principal problema que se genera dentro de las parroquias es la congestión vehicular en las horas pico donde la velocidad de circulación en las vías es moderada o lenta. Para ayudar al flujo vehicular de las parroquias, los agentes de tránsito dirigen a los automotores a calles alternas o menos transitadas. En las Figuras 6 y 7 se muestran las tendencias de velocidad dentro de las parroquias habituales de un día con alto flujo vehicular (viernes).

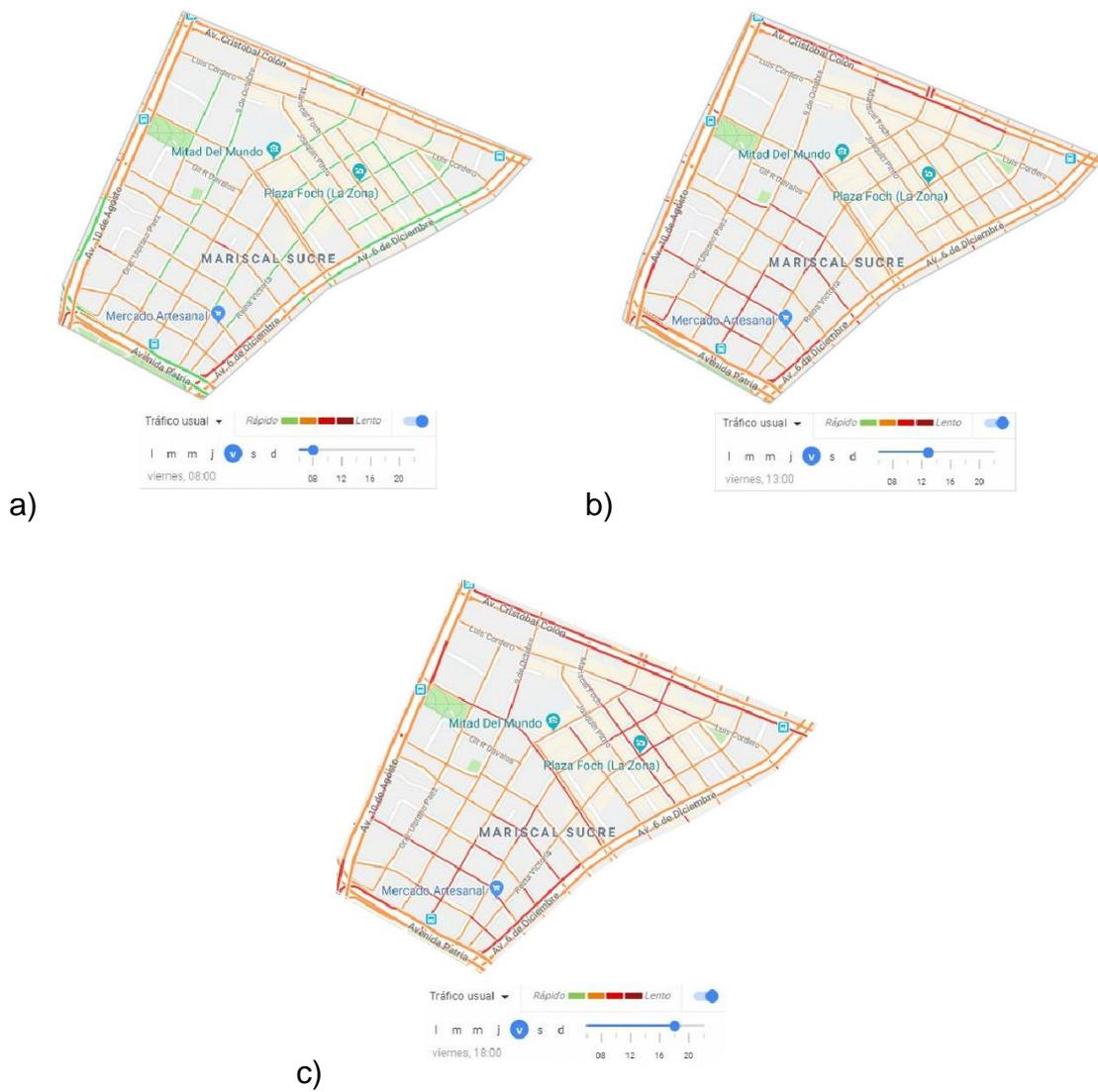


Figura 6. Tendencia de tráfico (día viernes) Parroquia La Mariscal.

Tomado de Google Maps Traffic.

El color rojo significa tráfico más lento mientras que el color verde es más rápido.

Horas: a) 08h00, b) 13h00, c) 18h00

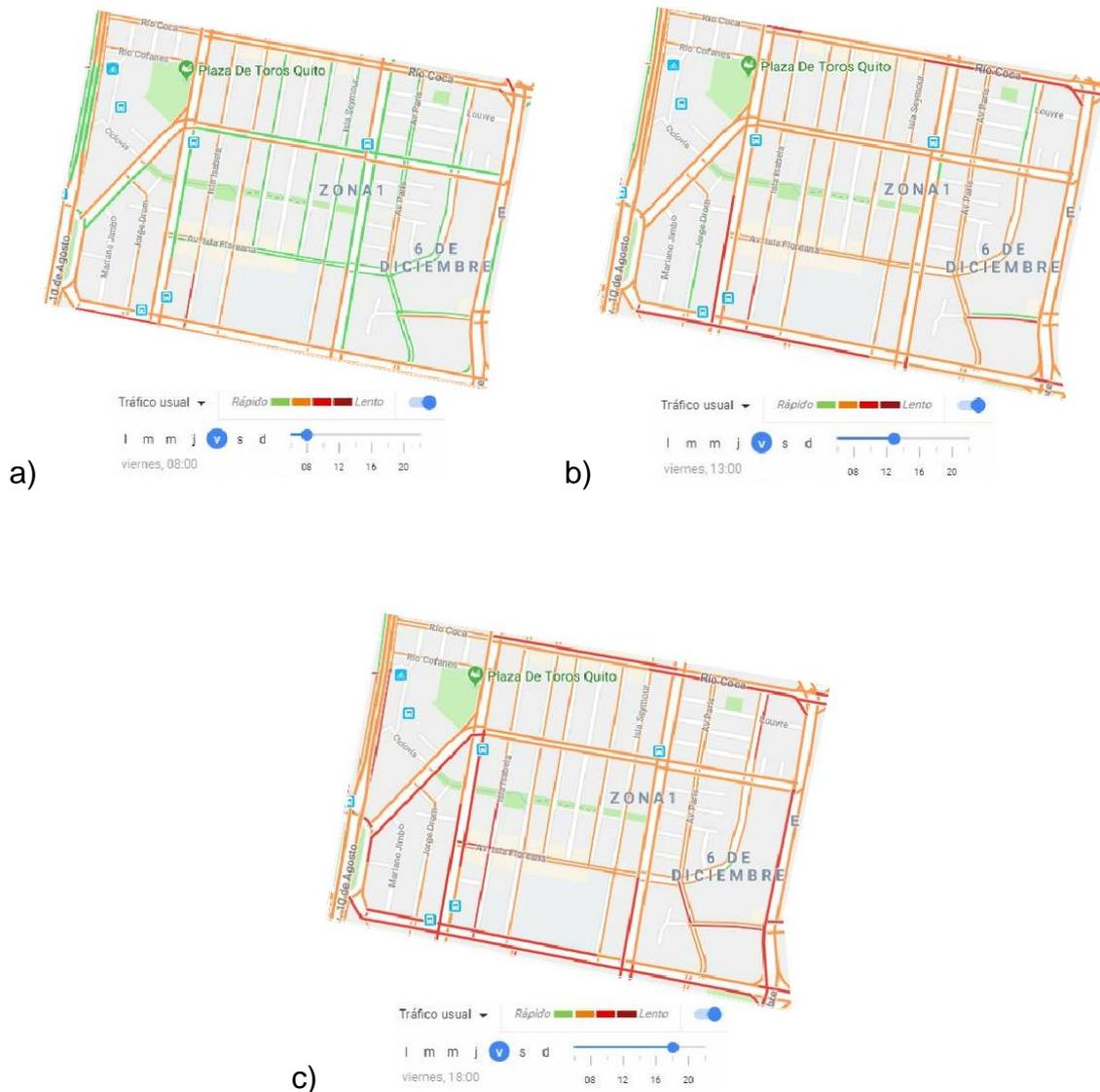


Figura 7. Tendencia de tráfico (día viernes) Parroquia Jipijapa.

Tomado de Google Maps Traffic.

El color rojo significa tráfico más lento mientras que el color verde es más rápido.
Horas: a) 08h00, b) 13h00, c) 18h00

3.3.2. Cuantificación Vehicular

La cuantificación vehicular se realizó en las calles principales de las zonas de estudio seleccionadas en las parroquias Jipijapa y La Mariscal mediante observaciones directas (Alvarado, Luján, & Bomblat, 2004). Se realizaron tres mediciones por cada calle para observar si existía una variación significativa, en

la mañana (7h00 a 8h00), tarde (13h00 a 14h00) y noche (18h00 a 19h00), también se realizó la cuantificación de vehículos los días domingo de 8h00 a 9h00 y de 15h00 a 16h00. Se cuantificaron vehículos livianos, transporte público, pesados, taxis y motos con la ayuda de la aplicación móvil Multi Counter del 30 de julio hasta el 19 de agosto en Jipijapa y del 20 de agosto hasta el 9 de septiembre en La Mariscal.

En la parroquia de La Mariscal se cuantificó el tránsito en las calles: Patria en sentido este-oeste, 10 de Agosto en sentido sur-norte, Colón en sentido oeste-este, 6 de Diciembre en sentido norte-sur y Amazonas en sentido norte-sur, Figura 8.

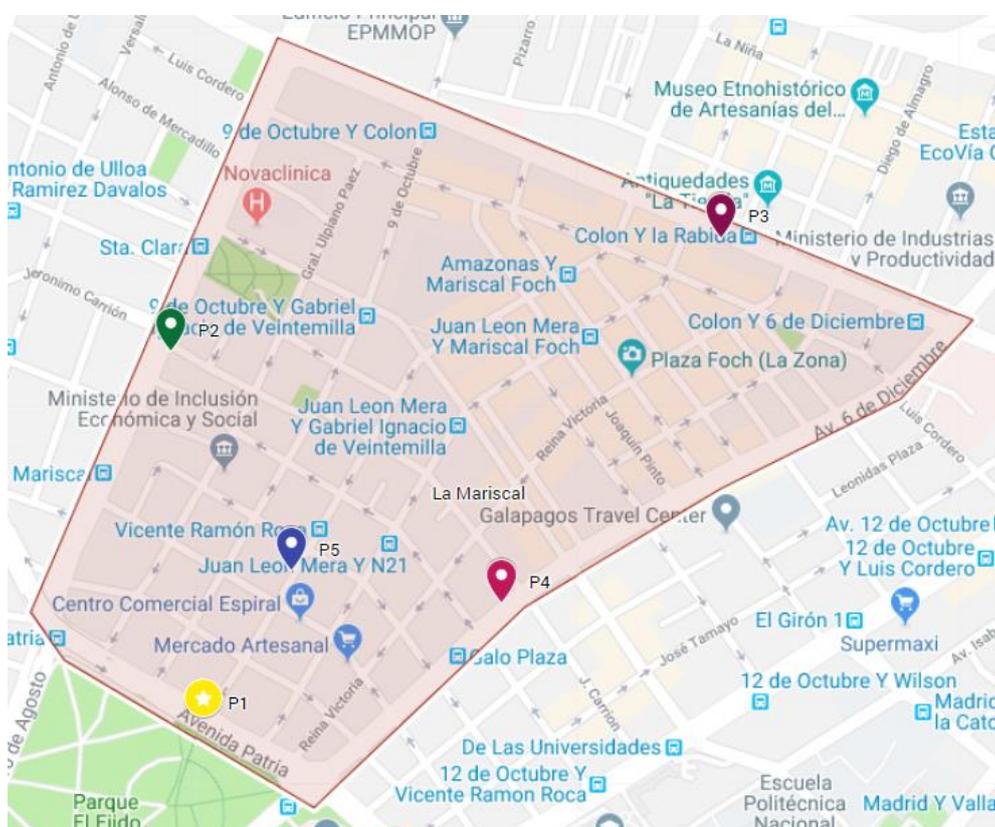


Figura 8. Puntos de medición vehicular La Mariscal.

Calles: Patria (P1), 10 de Agosto (P2), Colón (P3), 6 de Diciembre (P4) y Amazonas (P5).

En la parroquia Jipijapa se cuantificó el tránsito en las calles: 6 de Diciembre en sentido sur-norte, Gaspar de Villarroel en sentido este-oeste, Amazonas en sentido sur-norte, Río Coca en sentido oeste-este y Shyris en sentido sur-norte, Figura 9.

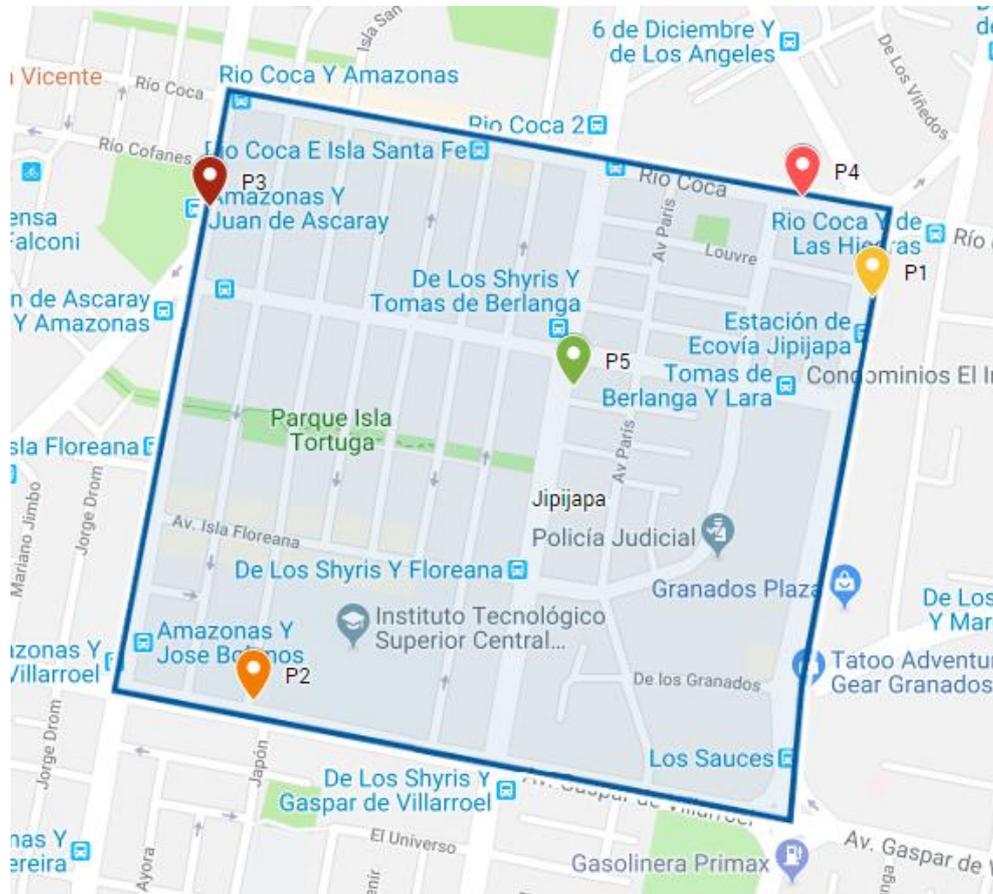


Figura 9. Puntos de medición vehicular Jipijapa.

Calles: 6 de Diciembre (P1), Gaspar de Villarroel (P2), Amazonas (P3), Río Coca (P4) y Shyris (P5).

3.3.3. Descripción de la Aplicación Multi Counter

Multi Counter es una aplicación libre que permite realizar varias cuantificaciones a la vez de cualquier tipo. Para el caso de este estudio se detalla en la aplicación la calle y parroquia donde se realice la toma de datos, después se agrega un contador con su respectiva descripción, en este caso el tipo de automotor y simplemente se presiona el botón “+” para contar los vehículos, Figura 10.



Figura 10. Descripción App Multi Counter.

3.4. Monitoreo

El monitoreo de $PM_{2.5}$ se realizó utilizando el equipo Microdust Pro (CASELLA, s/f), la aplicación móvil Google Maps Traffic y la aplicación Traffic. Las mediciones de $PM_{2.5}$ se realizaron a lo largo de las calles más concurridas por vehículos de las áreas seleccionadas de las parroquias (La Mariscal y Jipijapa).

La medición de $PM_{2.5}$ en la parroquia de La Mariscal se realizó del 15 al 21 de julio de 2018, mientras que en la parroquia Jipijapa se realizó del 9 al 14 de julio de 2018, en horas de alta y baja intensidad, específicamente en la mañana de 07h00 a 8h00, en la tarde de 13h00 a 14h00 y por la noche de 18h00 a 18h45, cabe recalcar que en la noche se realizó el monitoreo en un tiempo reducido debido a la inseguridad que tienen las zonas de estudio con la finalidad de evitar tragedias. También se realizó medición de $PM_{2.5}$ el fin de semana, un día domingo por cada parroquia, en un horario de 08h00 a 09h00 y de 15h00 a 16h00

debido a que la presencia de vehículos es muy inferior a la que existe durante el transcurso de la semana.

En la estación Belisario se registró 0 mm de precipitación y una temperatura promedio de 19° C en el mes de Julio (Secretaría de Ambiente, 2018b). Durante las mediciones se observó que había poca presencia de nubes, efectivamente no hubo precipitaciones y el clima era caluroso en la mañana y tarde mientras que en la noche la temperatura disminuía.

Cabe recalcar que durante el recorrido realizado se llevaba el equipo *Microdust Pro* a una altura de un metro, dentro de la caja ambiental 206105D *Dust Detective* utilizada para monitorear en zonas externas. También, se llevaba el dispositivo móvil verificando constantemente el tráfico.

En cuanto a la parroquia de La Mariscal se midió $PM_{2.5}$ por las calles Patria, 10 de Agosto, Colón, 6 de Diciembre y Amazonas, Figura 11.



Figura 11. Recorrido de medición de $PM_{2.5}$ La Mariscal.

Adaptado de Google Maps.

En cuanto a la parroquia Jipijapa se midió $PM_{2.5}$ por las calles 6 de Diciembre, Gaspar de Villarroel, Amazonas, Río Coca y Shyrís, Figura 12.

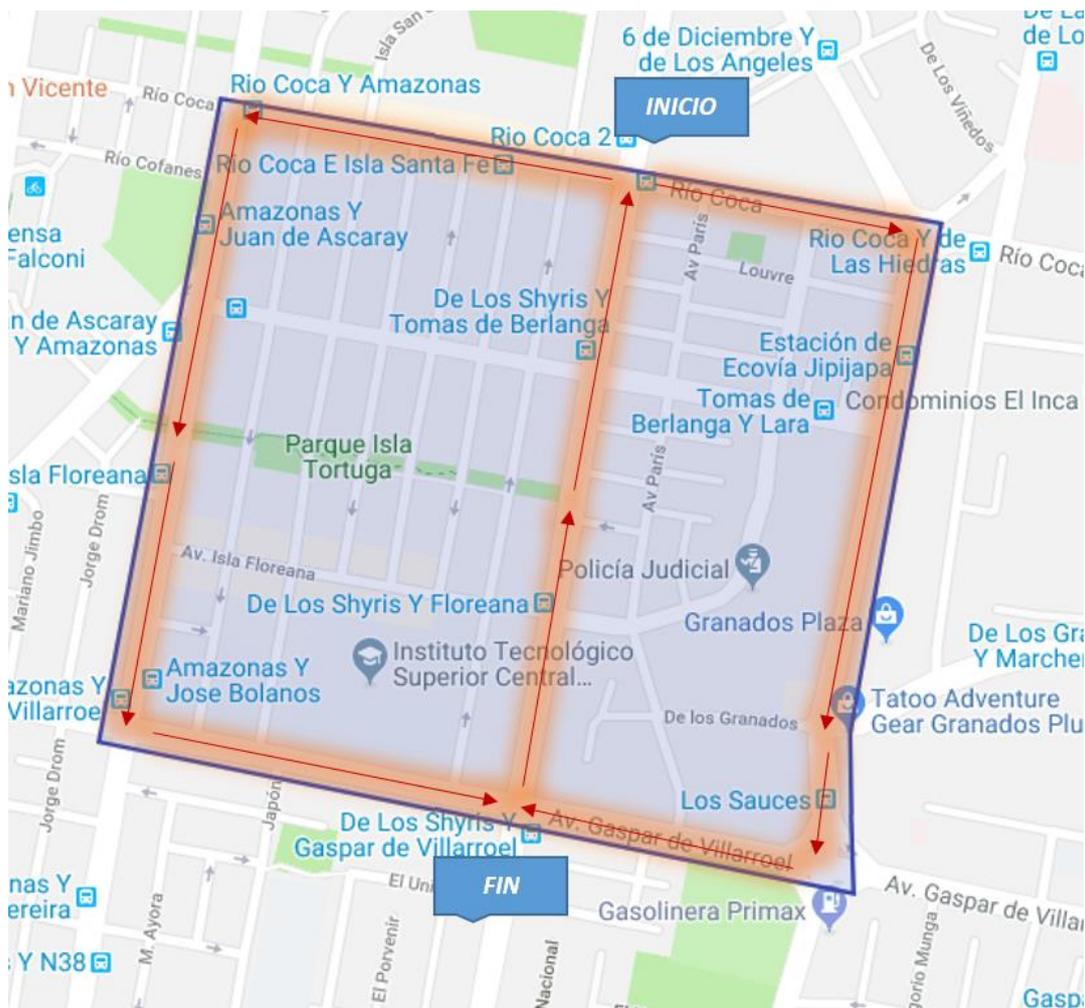


Figura 12. Recorrido de medición de PM_{2.5} Jipijapa.

Adaptado de Google Maps.

3.4.1. Descripción del equipo de medición *Microdust Pro*

El Microdust Pro 880 es un equipo fabricado por CASELLA cuya función es monitorear la concentración de aerosoles presentes en el aire en tiempo real de forma numérica y gráfica, con un rango de medición que va desde 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta los 2500 mg/m^3 . Cuenta con una sonda de monitoreo desmontable para poder llegar a lugares de difícil acceso, memoria disponible para tomar 15700 registros en un intervalo de tiempo que puede ser de 1 segundo a 10 minutos (CASELLA, s/f). El equipo es calibrado previamente a su venta en base a la ISO Fine 12103-1 A2, que establece los estándares y especificaciones requeridos para muestreo de polvo (Powder Technology Inc., 2018).

Microdust Pro utiliza un principio de medición que consiste en la dispersión de luz infrarroja de 880 nm, la cual se dispersa en el volumen de la cámara de medición donde se encuentran las partículas, utilizando un ángulo de dispersión de 12° a 20°, con la finalidad de disminuir la incertidumbre de la forma, índice de refracción y el color. La cantidad de luz que se dispersa es proporcional a la concentración de aerosoles la cual es evaluada por el fotodetector (CASELLA, s/f). Las mediciones que se realicen también pueden ser descargadas en un computador con la ayuda de dos programas libres disponibles en internet, denominados Casella Insight y Serial Port Writer Reader que permite identificar al equipo en el ordenador y descargar la información en un archivo de texto que posteriormente puede ser abierto en Excel (CASELLA, s/f).

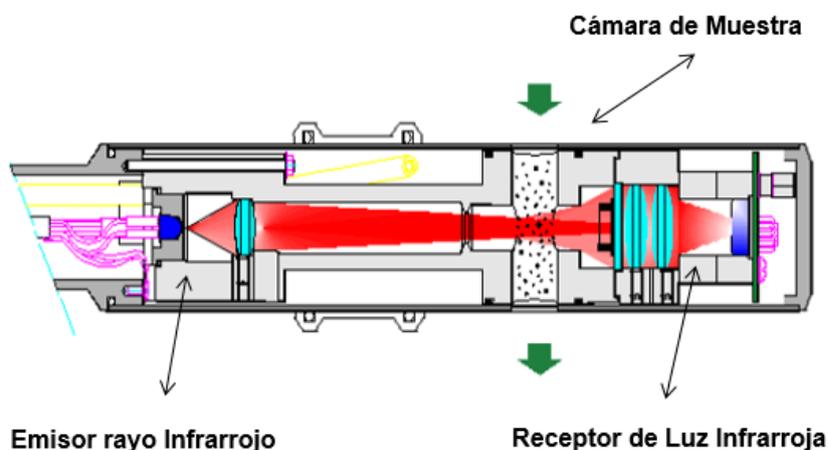


Figura 13. Elementos de la sonda de muestreo.

Tomado de (Lukáčová & Badida, 2015).

3.4.2. Descripción de la Aplicación Google Maps Traffic

Es una función de Google Maps que permite conocer el estado del tráfico en tiempo real de las principales calles y carreteras de una ciudad, gracias a las coordenadas GPS captadas por un dispositivo móvil. Básicamente la aplicación calcula el tráfico de las calles por la velocidad de los vehículos presentes en ella,

representa al tráfico con un código de colores: verde significa que el tráfico es fluido, naranja significa que existe una densidad de tráfico media, rojo significa que la circulación del tráfico es lenta y si el rojo se presenta más oscuro significa que el tráfico es extremadamente lento o que está detenido (Soporte de Google, 2018).

3.4.3. Descripción de la Aplicación Traffic

La aplicación Traffic fue desarrollado por el docente de Ingeniería en Sistemas de la Universidad de las Américas, Yves Rybarczyk, PhD, director del grupo de investigación SI². La función principal de esta aplicación es tomar datos en tiempo real de altitud, latitud, longitud y tipo de tráfico que se registran cada cinco segundos. Los datos de altitud, latitud y longitud se toman en base al GPS que posee el celular mientras que el tipo de tráfico se registra presionando los botones de acuerdo al color que se evidencie en Google Maps Traffic, (ver Figura 14).



Figura 14. Funcionamiento de la App Google Maps Traffic y App Traffic.

3.5. Mecanismos para análisis de datos

En primer lugar, para recolectar las mediciones de $PM_{2.5}$ se utilizaron los programas Casella Insight y Serial Port Writer Reader mencionados anteriormente. Seguidamente se utilizó Microsoft Excel para el análisis de datos, obtención de gráficos y estadística. Finalmente se utilizó el software ArcGis para el desarrollo de mapas de contaminación atmosférica $PM_{2.5}$ en las zonas de estudio de las parroquias.

4. CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Validación de datos

La Red de Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), manejada por la Secretaría de Ambiente, posee equipos que satisfacen los requerimientos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y de la Organización Meteorológica Mundial. Para el monitoreo de $PM_{2.5}$ utilizan el equipo *Thermo Andersen / FH62C14*, el cual cuenta con una certificación internacional de la EPA “No. EQPM-1102-150” y cuyo método de medición es la atenuación de rayos beta. Se ejecutó una correlación de datos entre el equipo utilizado para el monitoreo de $PM_{2.5}$ en este estudio “*Microdust Pro*” y el equipo que se encuentra en la estación Belisario de la RAUTO.

La estación Belisario está a una longitud aproximada de 2 kilómetros en línea recta de la zona de estudio de La Mariscal, mientras que con la zona de estudio de la parroquia Jipijapa está a una longitud aproximada de 3 kilómetros en línea recta, ver Figura 15. Los datos de la estación Belisario se los puede obtener directamente de la página web de la Secretaría de Ambiente. Esta información muestra la exposición general diaria a los contaminantes monitoreados en el sector debido a que está a una distancia de aproximadamente 60 metros de la calle más cercana y a una altura de alrededor de 13 metros sobre el nivel de la calle. Las principales fuentes de contaminación de la estación Belisario son las emisiones de automotores que transitan por la avenida América y la Mariana de Jesús.

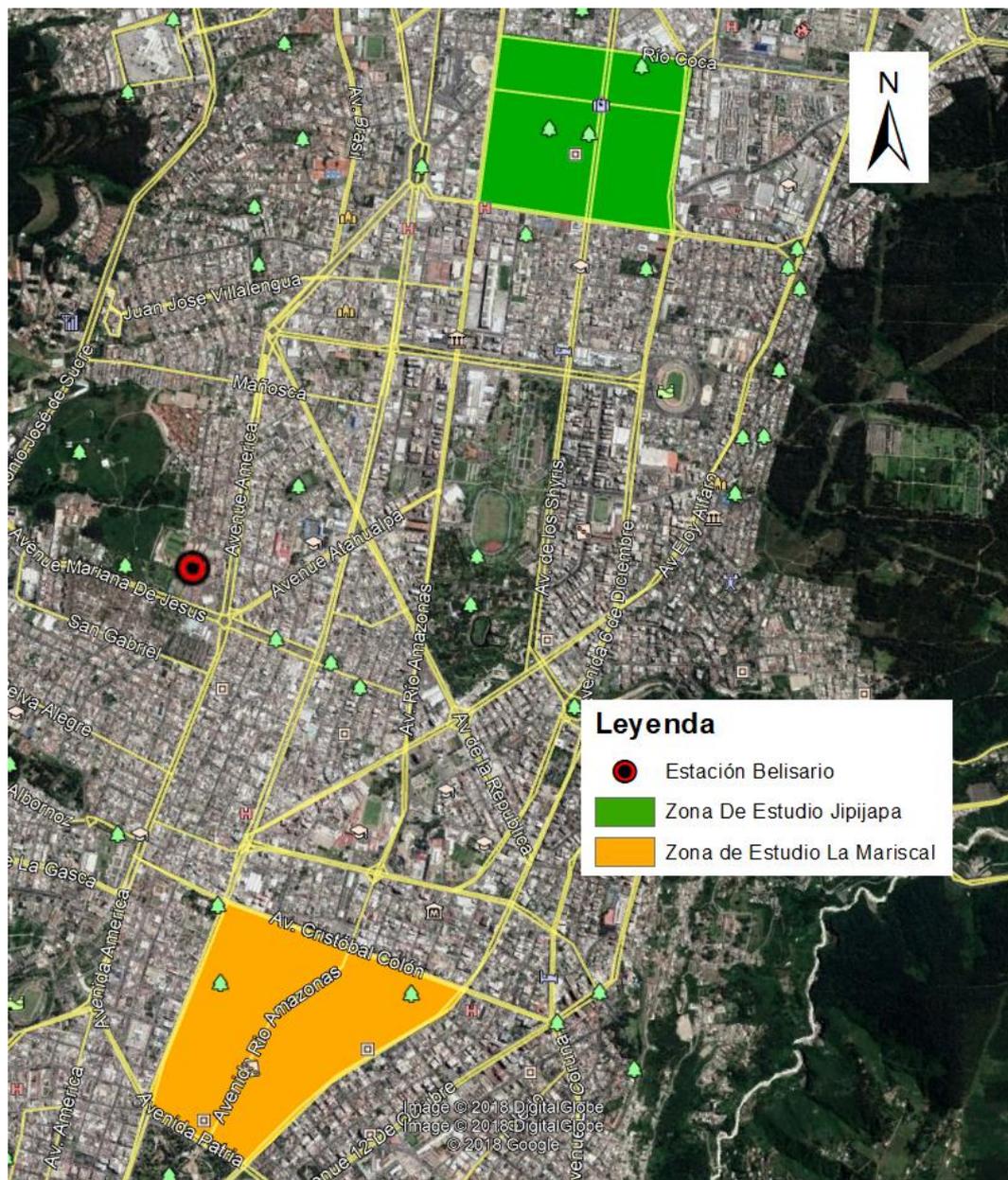


Figura 15. Localización de la estación Belisario.

Adaptado de Google Earth Pro.

4.1.1. Correlación de datos

Para la corrección de los datos se procesó los registros de $PM_{2.5}$ del mes de Julio de 2018 proporcionados por la Secretaría de Ambiente, estos son suministrados en una hoja de Excel que contiene las concentraciones horarias de los 31 días del mes. A continuación, se procesó el promedio horario de los datos arrojados

por el equipo *Microdust Pro* de acuerdo con el tiempo de monitoreo, es decir promedio horario de 8h00 a 9h00, 13h00 a 14h00 y 18h00 a 18h45 de la semana del 9 al 15 de Julio correspondiente al monitoreo de la zona de estudio de la parroquia Jipijapa y de la semana del 16 a 22 de Julio correspondiente al monitoreo de la zona de estudio de la parroquia de La Mariscal para hacerlos concordar con los promedios de la Secretaría de Ambiente. La correlación de los datos de la estación Belisario registrados por el *Thermo Andersen / FH62C14* y los datos registrados por *Microdust Pro*, presenta un R^2 muy alto igual a 0.7137 y origina una ecuación de corrección demostrada en la Figura 16.

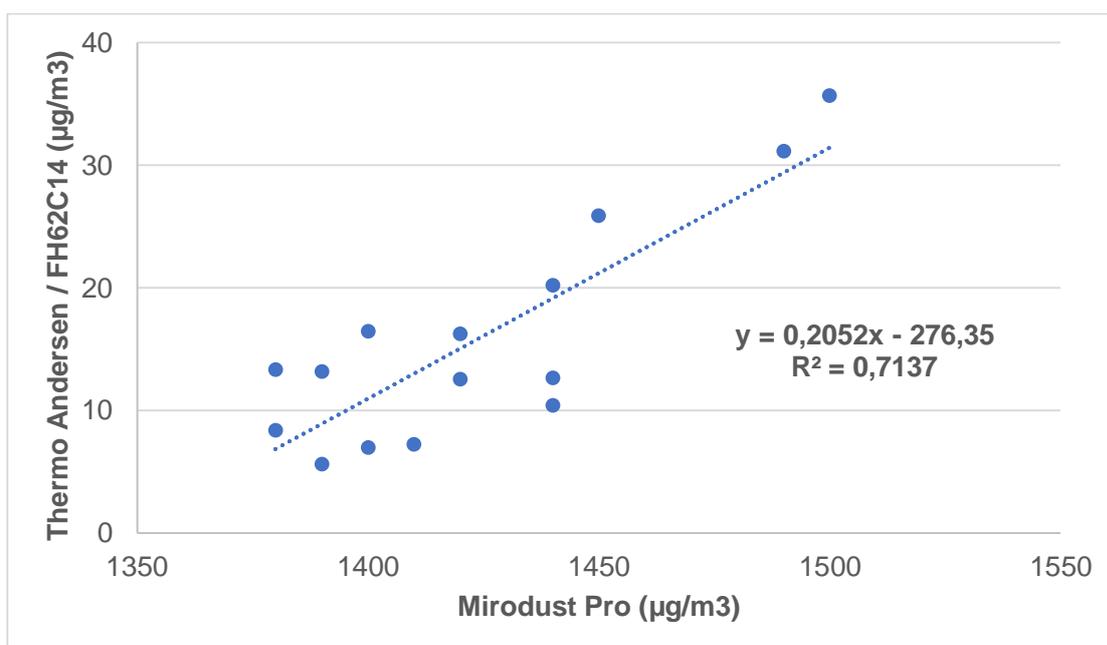


Figura 16. Correlación entre *Thermo Andersen / FH62C14* y *Microdust Pro*.

La correlación de datos fue ejecutada en este estudio para poder corregir los datos arrojados por el *Microdust Pro*, debido a que este equipo suele descalibrarse durante las mediciones. Es importante señalar que el equipo a pesar de mostrar valores elevados, puede representar correctamente el comportamiento de las concentraciones de material particulado fino que se encuentra en el aire, y precisamente fue comparado con el equipo *Thermo*

Andersen / FH62C14 de la Secretaría de Ambiente que se encuentra calibrado con los estándares de la EPA. Además, la correlación de datos es realizada para evidenciar la factibilidad de emplear el equipo *Microdust Pro* para mediciones en ambientes exteriores con presencia de material particulado, debido a que este equipo es fabricado específicamente para mediciones en ambientes interiores (Lukáčová & Badida, 2015), con respecto con el equipo *Thermo Andersen / FH62C14* que es elaborado precisamente para monitoreo de material particulado en exteriores, el cual cuenta con certificación internacional y es utilizado en varios países a nivel mundial como Corea o China (Kim et al., 2016; Park, Ju, Lee, & Joo, 2016).

4.2. Tendencia de concentración de $PM_{2.5}$

Las concentraciones promedio de las parroquias fueron obtenidas gracias a las mediciones de $PM_{2.5}$ levantadas en las zonas de estudio con el equipo *Microdust Pro*. Para el análisis de datos se procedió a obtener el promedio de todos los valores registrados cada diez segundos de lunes a viernes en los horarios antes mencionados (ver Capítulo 3.4). Los fines de semana Quito tiene menor volumen de tráfico en las calles debido a que son días de descanso, por lo que la gente precisamente prefiere quedarse en casa. Esto conlleva a la disminución de contaminantes en la atmósfera, especialmente de $PM_{2.5}$. La presencia de material particulado se reduce en un 34% los días domingo con respecto a los días laborales en las parroquias estudiadas.

Quito es una de las capitales situadas a mayor altitud a nivel mundial (alrededor de 2800 msnm) y el transporte es la principal fuente de contaminantes que deterioran la calidad del aire (Secretaría de Ambiente, 2017). Los automotores utilizan el proceso de combustión para generar su movimiento y necesitan de tres requisitos para que este se efectúe: combustible (gasolina o diésel), comburente (oxígeno) y una energía de activación (bujías) (Velasco & Velasco, 2014). La altitud es un inconveniente para el proceso de combustión debido a la variación de presión atmosférica y su efecto sobre las características del aire. La

concentración de oxígeno disminuye cuando existe mayor altitud, provocando que la eficiencia de la combustión interna del motor se reduzca al igual que la potencia y su rendimiento (Lapuerta, Armas, Agudelo, & Sánchez, 2006). Adicionalmente, la ciudad de Quito posee calles con pendientes, lo que obliga a inducir más fuerza a los motores de los vehículos y en efecto esto conlleva a una mayor producción de gases contaminantes emitidos a la atmósfera, con énfasis a los motores a diésel que generan mayor cantidad de $PM_{2.5}$.

La alta presencia de $PM_{2.5}$ en las calles del Distrito Metropolitano de Quito genera malestar a los ciudadanos que transitan por las aceras. Primero por la dificultad que tienen para respirar, generalmente esto sucede en las paradas de transporte público donde los buses se detienen constantemente y al momento de arrancar emiten un elevado volumen de smog y por la alta presencia de automotores en las calles, con mayor énfasis en las horas pico. Adicionalmente, es importante señalar que las concentraciones de $PM_{2.5}$ registradas en las estaciones de monitoreo de la calidad del aire de Quito que posee la Secretaria de Ambiente, muestran valores menores en comparación con la concentración de $PM_{2.5}$ a nivel de calle, precisamente porque dichas estaciones se encuentran en edificaciones alejadas de las avenidas, y el aire influye en la dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

4.2.1. Tendencia de concentración de $PM_{2.5}$ Parroquia La Mariscal

4.2.1.1. Tendencia de lunes a viernes

En la Figura 17 se pueden observar los picos de los valores máximos y mínimos durante la mañana, tarde y noche de $PM_{2.5}$. El valor máximo se registra en la mañana llegando a los $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el valor mínimo registrado fue en la noche llegando a $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La tendencia de $PM_{2.5}$ en el transcurso del día oscila entre 19.7 a $22.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

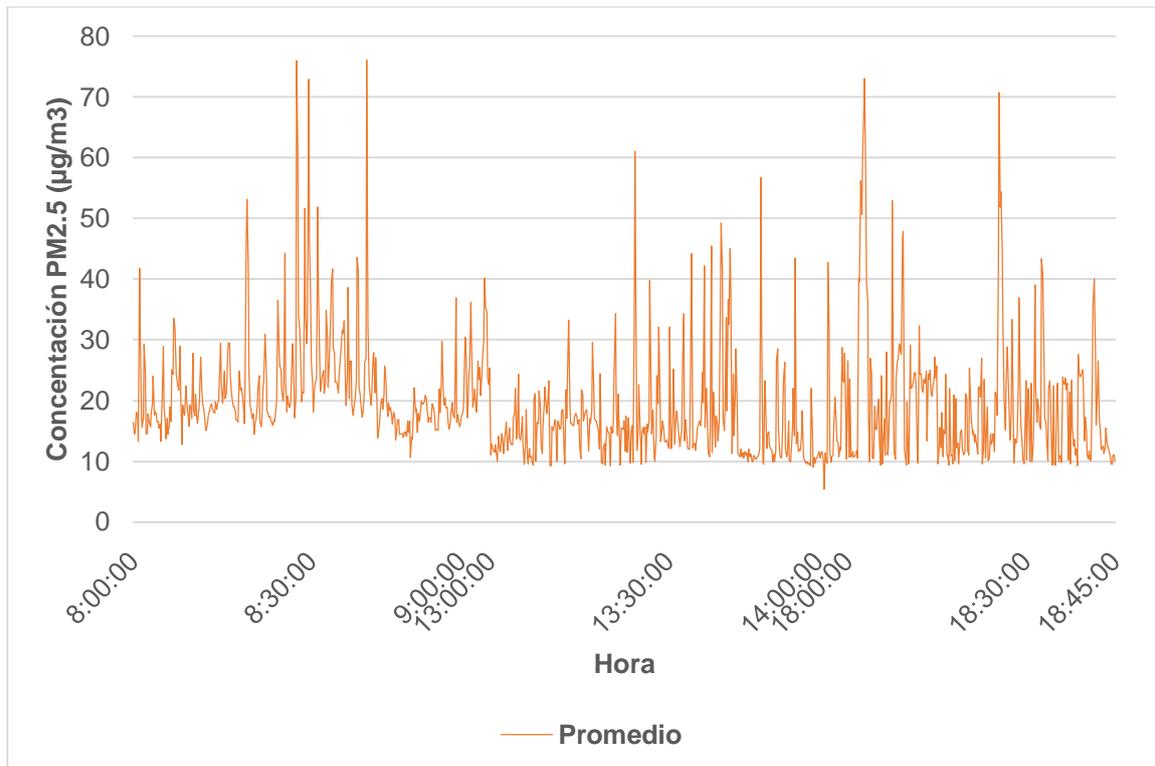


Figura 17. Tendencia de PM_{2.5} La Mariscal (lunes a viernes).

4.2.1.2. Tendencia día domingo

En la Figura 18 se presentan los picos de los valores máximos y mínimos durante la mañana y tarde de PM_{2.5}. El valor máximo se registra en la mañana llegando a los 27 µg/m³, mientras que el valor mínimo registrado fue en la tarde llegando a 3 µg/m³. La tendencia de PM_{2.5} en el transcurso del día oscila entre 9.1 a 14.7 µg/m³.

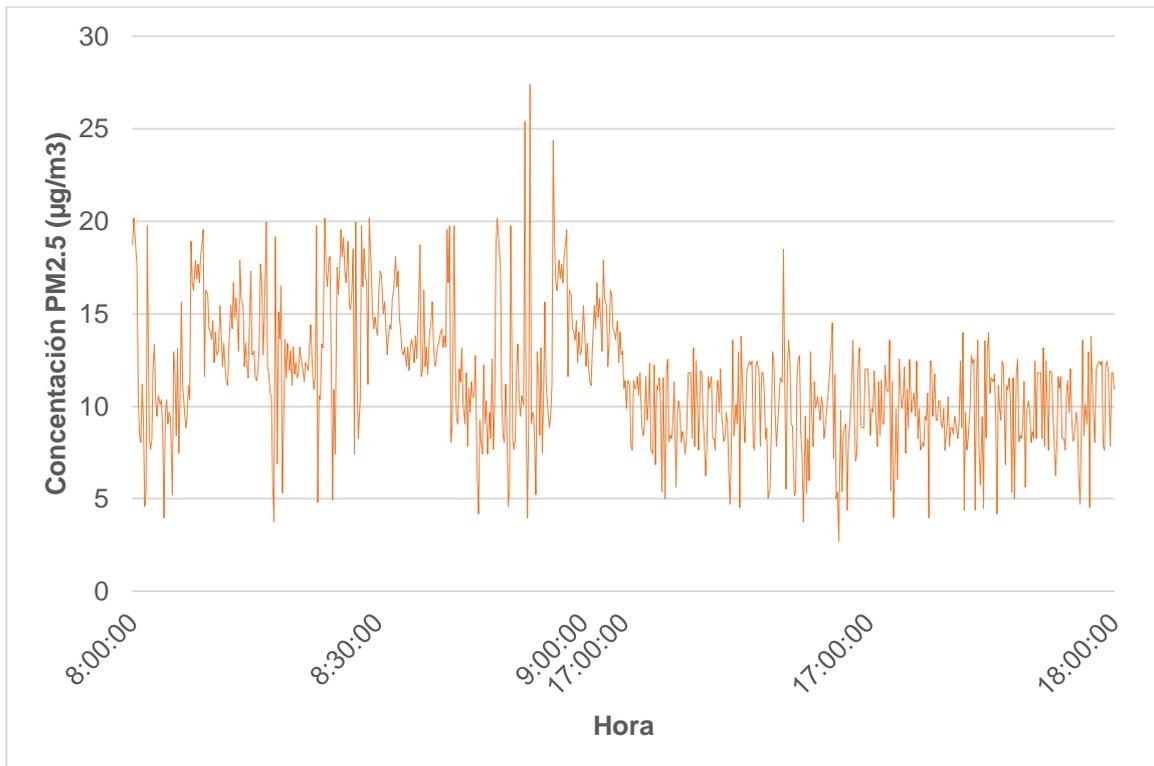


Figura 18. Tendencia de PM_{2.5} La Mariscal (domingo).

4.2.2. Tendencia de concentración de PM_{2.5} Parroquia Jipijapa

4.2.2.1. Tendencia de lunes a viernes

En la Figura 19 se pueden observar los picos de los valores máximos y mínimos durante la mañana, tarde y noche de PM_{2.5}. El valor máximo se registra en la noche alcanzando los 82 µg/m³, mientras que el valor mínimo registrado fue en la noche llegando a 6 µg/m³. La tendencia de PM_{2.5} en el transcurso del día oscila entre 18.1 a 22.9 µg/m³.

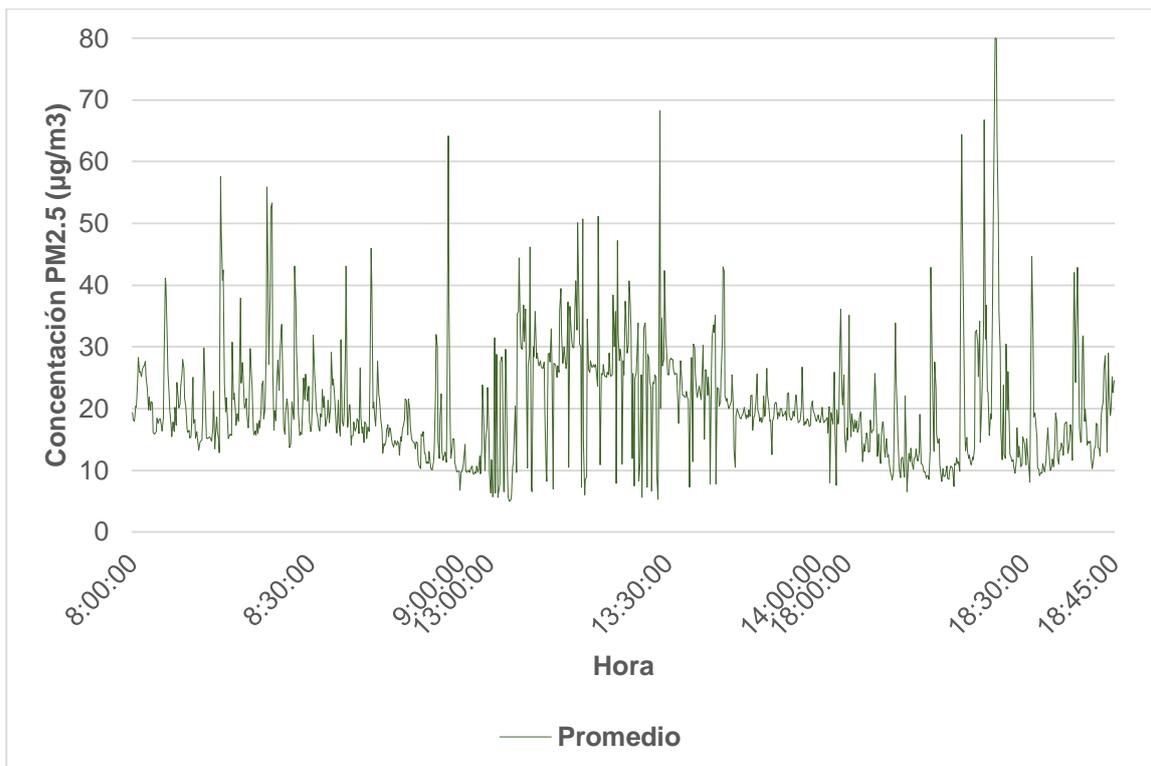


Figura 19. Tendencia de PM_{2.5} Jipijapa (lunes a viernes).

4.2.2.2. Tendencia día domingo

En la Figura 20 se presentan los picos de los valores máximos y mínimos durante la mañana y tarde de PM_{2.5}. El valor máximo se registra en la mañana llegando a los 26 µg/m³, mientras que el valor mínimo registrado fue en la tarde llegando a 2.9 µg/m³. La tendencia de PM_{2.5} en el transcurso del día oscila entre 6.2 a 12.1 µg/m³.

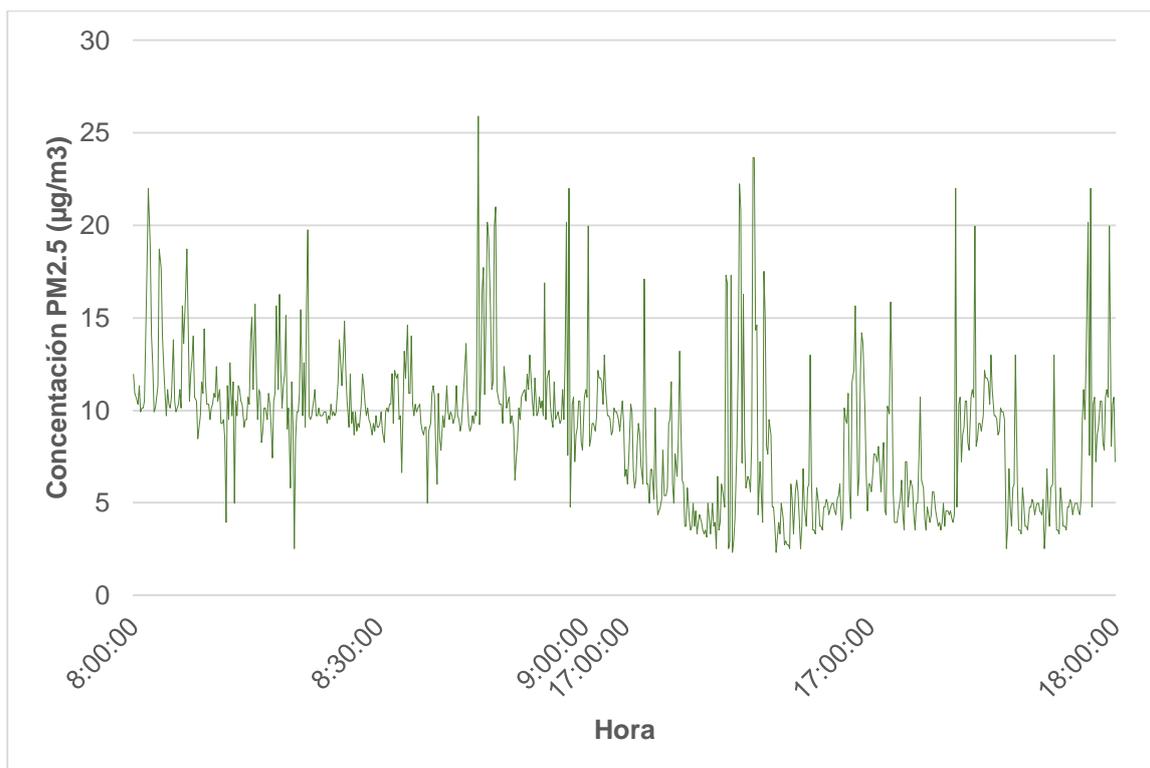


Figura 20. Tendencia de PM_{2.5} Jipijapa (domingo).

4.3. Tendencia de automotores en las parroquias

Realizada la cuantificación vehicular en La Mariscal y Jipijapa se pudo obtener la cantidad y porcentaje de automotores que se desplazan por estas parroquias. Para el análisis de resultados se procedió a calcular el promedio de los vehículos con la información levantada en las calles de la parroquia durante la mañana, tarde y noche.

A nivel mundial los motores a diésel son utilizados en vehículos pesados como los camiones, trenes, maquinaria, entre otros, debido a que tienen suficiente potencia para transportar una mayor cantidad de peso. Es importante mencionar que los motores a diésel producen grandes cantidades de material particulado durante su funcionamiento es decir en el proceso de combustión (Kotek, Jindra, Prikner, & Mařík, 2017). El número de vehículos pesados que transitan en las vías es menor en comparación con los vehículos livianos que utilizan motores a

gasolina, aunque se han ido incrementando en el transcurso de los años hasta la actualidad. En Quito los vehículos a gasolina representan el 94.4% del parque automotor, los principales contaminantes que producen son el CO (monóxido de carbono), COVNM (compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano) y SO₂ (dióxido de azufre). Por otro lado, están los vehículos a diésel que representan solo el 5.6% del parque automotor, pero son los que emiten mayor contaminación hacia el medio ambiente debido a que generan PM_{2.5}, PM₁₀ y NO_x. El PM_{2.5} constituye el 82.5% de la totalidad de contaminantes presentes en el aire de la ciudad (Vega et al., 2015). El Inventario de emisiones atmosféricas del Distrito Metropolitano de Quito más reciente, muestra que mientras el año de fabricación del vehículo es más antiguo, la producción o emisión de gases contaminantes va a ser mayor y precisamente el transporte público de Quito tiene un largo periodo de vida útil (Baca, 2014).

4.3.1. Tendencia de automotores Parroquia La Mariscal

4.3.1.1. Tendencia de automotores de lunes a viernes

En la Figura 21 se puede observar los porcentajes comunes en un día habitual de los vehículos livianos, transporte público, camiones, taxis y motos en las calles. Los vehículos livianos y los taxis son los que predominan en la parroquia, y a calle Patria es la más transitada por este tipo de vehículos. Seguidamente está el transporte público (buses), la calle con mayor presencia de estos vehículos es la Amazonas. Finalmente existe una baja afluencia de camiones y motos (%) en las calles de la zona de estudio de La Mariscal.

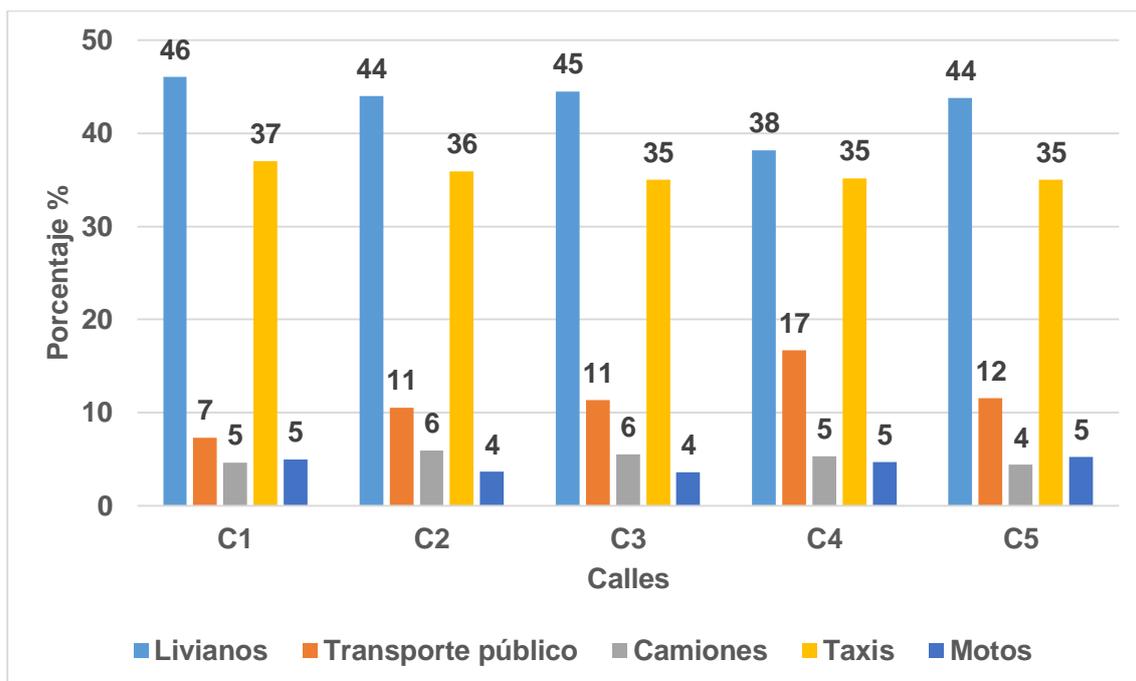


Figura 21. Tendencia de automotores semanal de la parroquia La Mariscal.

Calles: Patria E-O (C1), 10 de Agosto S-N (C2), Colón O-E (C3), Amazonas N-S (C4) y 6 de Diciembre N-S (C5).

4.3.1.2. Tendencia de automotores día domingo

En la Figura 22 se puede observar los porcentajes comunes en un día domingo de los vehículos livianos, transporte público, camiones, taxis y motos en las calles. Los vehículos livianos y los taxis son los que predominan en la parroquia, y a calle Patria es la más transitada por este tipo de vehículos. Seguidamente está el transporte público (buses), la calle con mayor presencia de estos vehículos es la Amazonas. Finalmente existe una baja afluencia de camiones y motos (%) en las calles de la zona de estudio de La Mariscal.

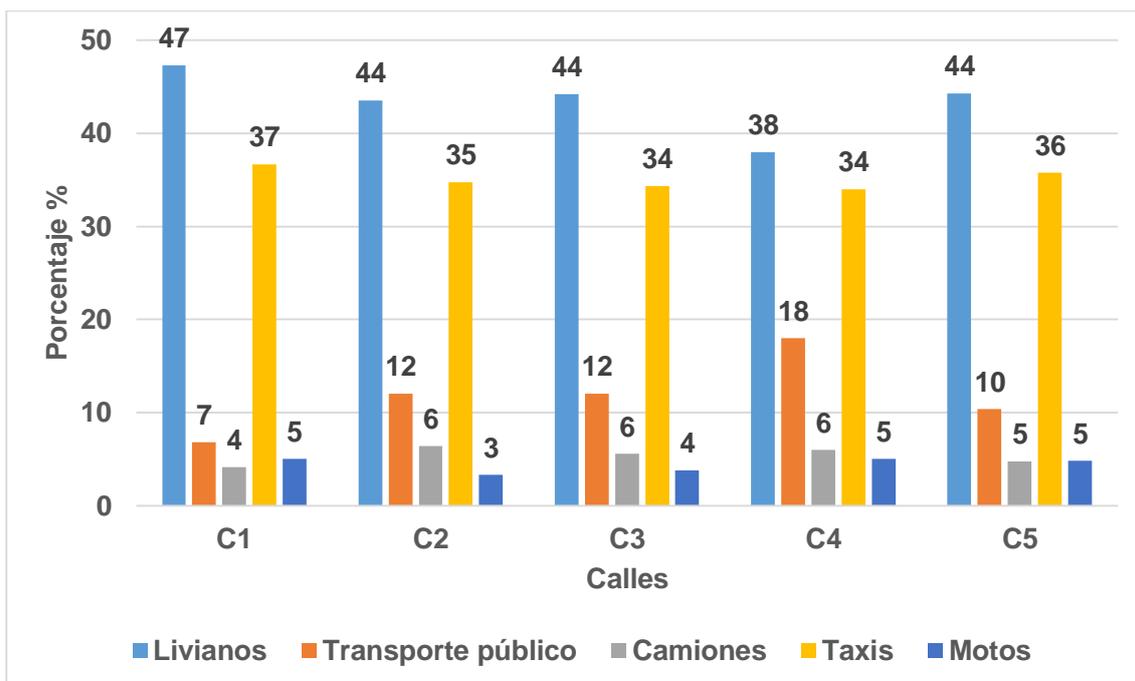


Figura 22. Tendencia de automotores, día domingo parroquia La Mariscal.

Calles: Patria E-O (C1), 10 de Agosto S-N (C2), Colón O-E (C3), Amazonas N-S (C4) y 6 de Diciembre N-S (C5).

4.3.2. Tendencia de automotores Parroquia Jipijapa

4.3.2.1. Tendencia de automotores de lunes a viernes

En la figura 23 se puede observar los porcentajes comunes en un día habitual de los vehículos livianos, transporte público, camiones, taxis y motos en las calles. Los vehículos livianos y los taxis son los que predominan en la parroquia, la calle más transitada por vehículos livianos es la Río Coca mientras que la calle más transitada por taxis es la Gaspar de Villarroel. Seguidamente está el transporte público (buses), donde cabe recalcar que en la calle Gaspar de Villarroel existe una mínima afluencia por este tipo de vehículos mientras que la más transitada es la 6 de Diciembre. Finalmente, la presencia de camiones y motos en la parroquia es baja.

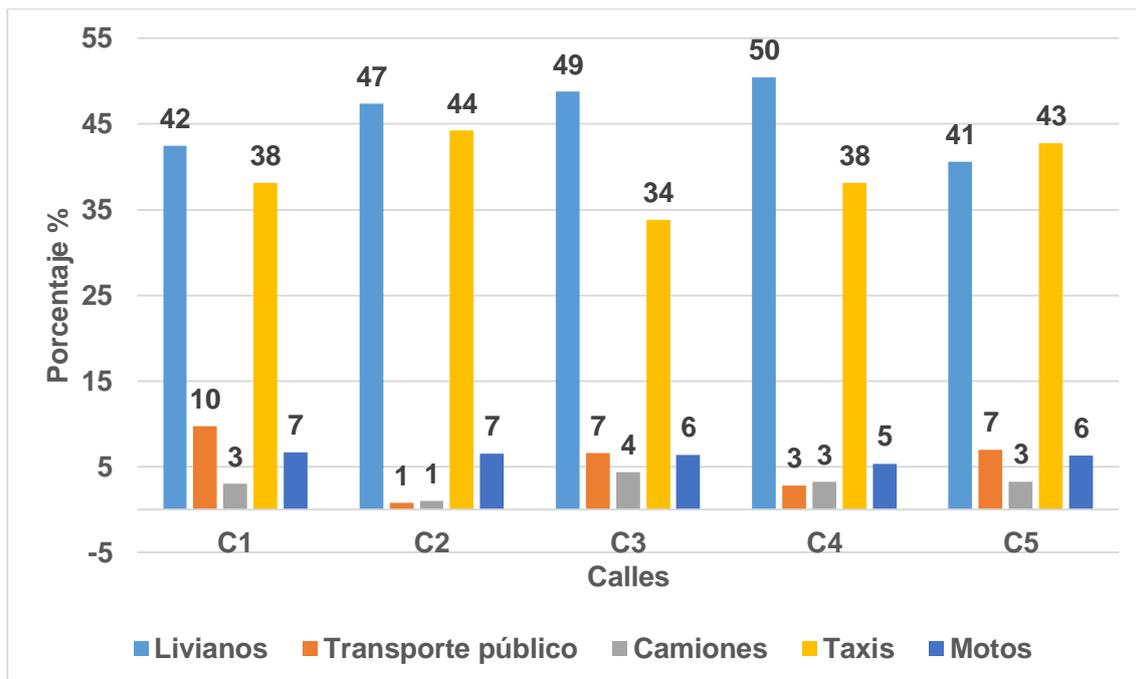


Figura 23. Tendencia de automotores semanal de la parroquia Jipijapa.

Calles: 6 de Diciembre S-N (C1), Gaspar de Villarroel E-O (C2), Shyris S-N (C3), Río Coca E-O (C4) y Amazonas S-N (C5).

4.3.2.2. Tendencia de automotores día domingo

En la figura 24 se puede observar los porcentajes comunes en un día domingo de los vehículos livianos, transporte público, camiones, taxis y motos en las calles. Los vehículos livianos y los taxis son los que predominan en la parroquia, la calle más transitada por vehículos livianos es la Río Coca mientras que la calle más transitada por taxis es la Gaspar de Villarroel. Seguidamente está el transporte público (buses), donde cabe recalcar que en la calle Gaspar de Villarroel existe una mínima afluencia por este tipo de vehículos mientras que la más transitada es la 6 de Diciembre. Finalmente, la presencia de camiones y motos en la parroquia es baja.

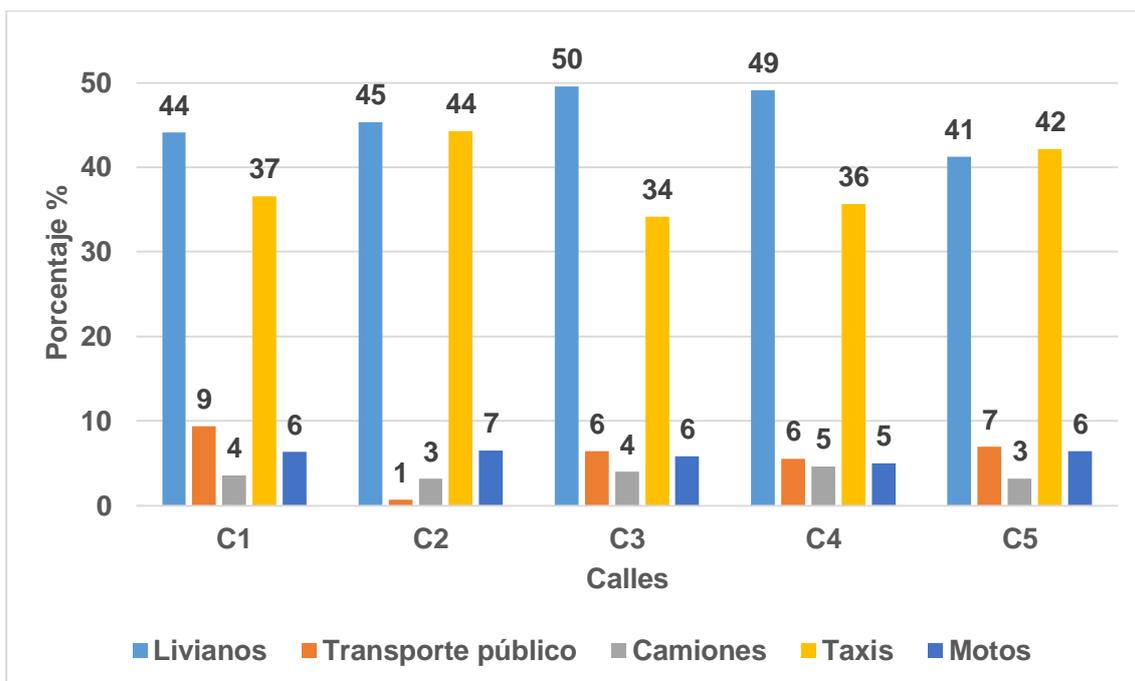


Figura 24. Tendencia de automotores, día domingo parroquia Jipijapa.

Calles: 6 de Diciembre S-N (C1), Gaspar de Villarroel E-O (C2), Shyris S-N (C3), Río Coca E-O (C4) y Amazonas S-N (C5).

4.4. Tendencia de tráfico (Google Maps Traffic)

La tendencia de tráfico fue obtenida en campo mediante las aplicaciones Traffic y Google Maps Traffic en la mañana, tarde y noche durante la semana (lunes a viernes) y un domingo (descrito previamente). Para el análisis de resultados se calculó el porcentaje de tendencia de tráfico en las zonas de estudio de las parroquias seleccionadas. El tráfico se lo clasifica por colores el verde que significa que existe poca presencia de vehículos y alta fluidez de tráfico, seguido del amarillo que significa que hay una considerable presencia de vehículos y tráfico, el rojo que significa alta presencia de vehículos y tráfico lento y finalmente el rojo oscuro o vino que significa que existe elevada presencia de vehículos y que el tráfico está detenido.

4.4.1. Tendencia de tráfico La Mariscal

4.4.1.1. Tendencia de lunes a viernes

Durante la semana en La Mariscal el color de tráfico que predomina es el verde, seguido del amarillo y el rojo. En cuanto al tráfico verde se puede evidenciar que en la mañana es cuando más predomina con un 68%, es decir la parroquia tiene menor presencia de vehículos o tráfico. Por otro lado, el tráfico de color amarillo prevalece en las tardes con un 43%. Finalmente, el tráfico color rojo predomina en las noches, es decir cuando la zona de estudio tiene mayor presencia de vehículos o tráfico con un 14% (Figura 25).

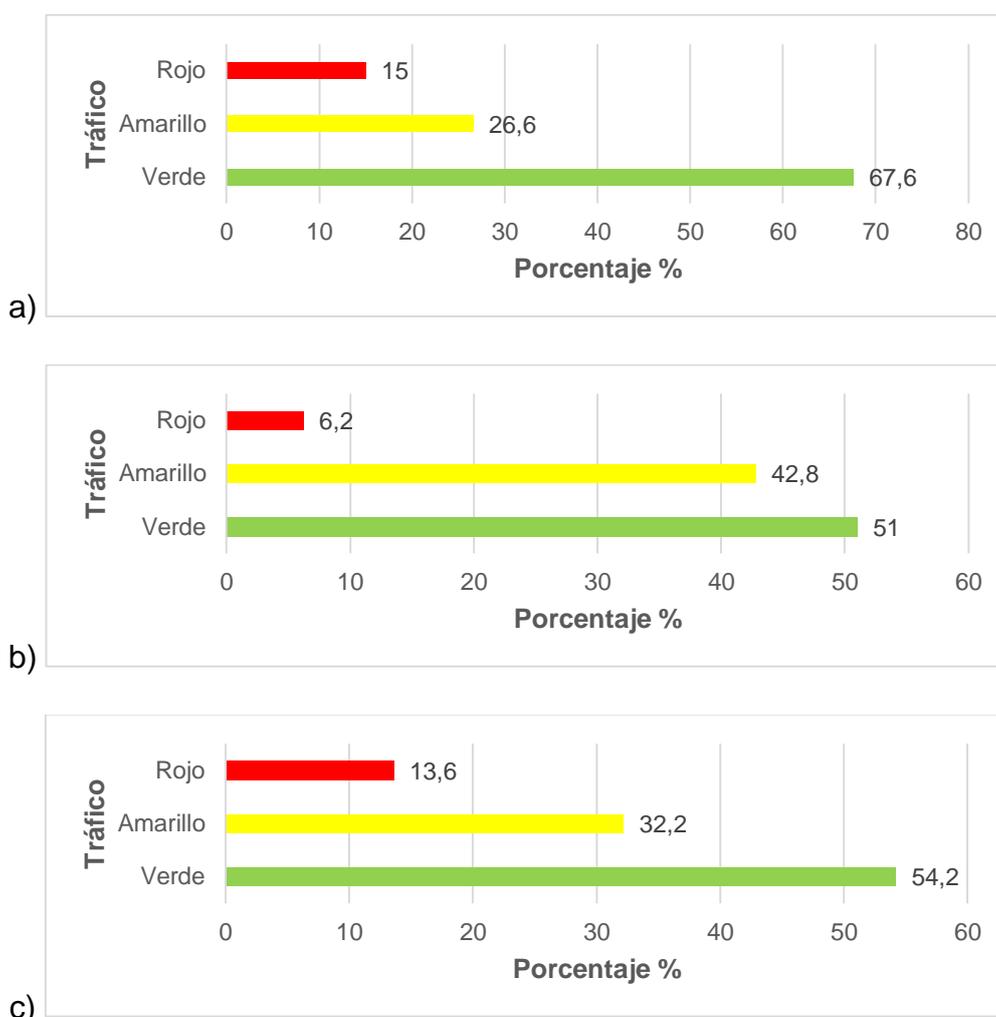


Figura 25. Tendencia de tráfico en La Mariscal (lunes a viernes).

Tendencia de tráfico durante: a) Mañana, b) Tarde, c) Noche.

4.4.1.2. Tendencia día domingo

En los días domingo la tendencia de tráfico que predomina es el color verde con un 100%, no existe tráfico amarillo ni rojo, es decir tiene una mínima afluencia de vehículos debido a que la población al ser un día libre o de descanso prefiere quedarse en casa, hay que señalar que no se recorrió la calle Amazonas debido a la existencia del “Ciclopaseo” de Quito y no hay vehículos que recorra dicha calle (Figura 26).

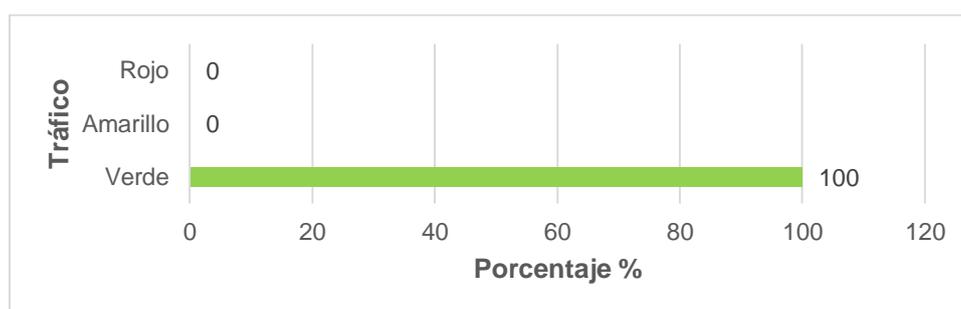


Figura 26. Tendencia de tráfico en La Mariscal (domingo de 8h00–18h00).

4.4.2. Tendencia de tráfico Jipijapa

4.4.2.1. Tendencia de lunes a viernes

Durante la semana en la Jipijapa no existe un color de tráfico predominante en el transcurso del día, el color verde y amarillo van a la par en un rango de 40 a 50% para los dos casos. Por otro lado, el tráfico de color amarillo es el dominante en las tardes con un 49%. El tráfico de color rojo prevalece en las noches con un 18%, no obstante, en esta parroquia existe también tráfico de color rojo oscuro o vino por las noches con apenas el 3%, sin duda la Jipijapa tiene problemas de acumulación vehicular en esta etapa del día (Figura 27).

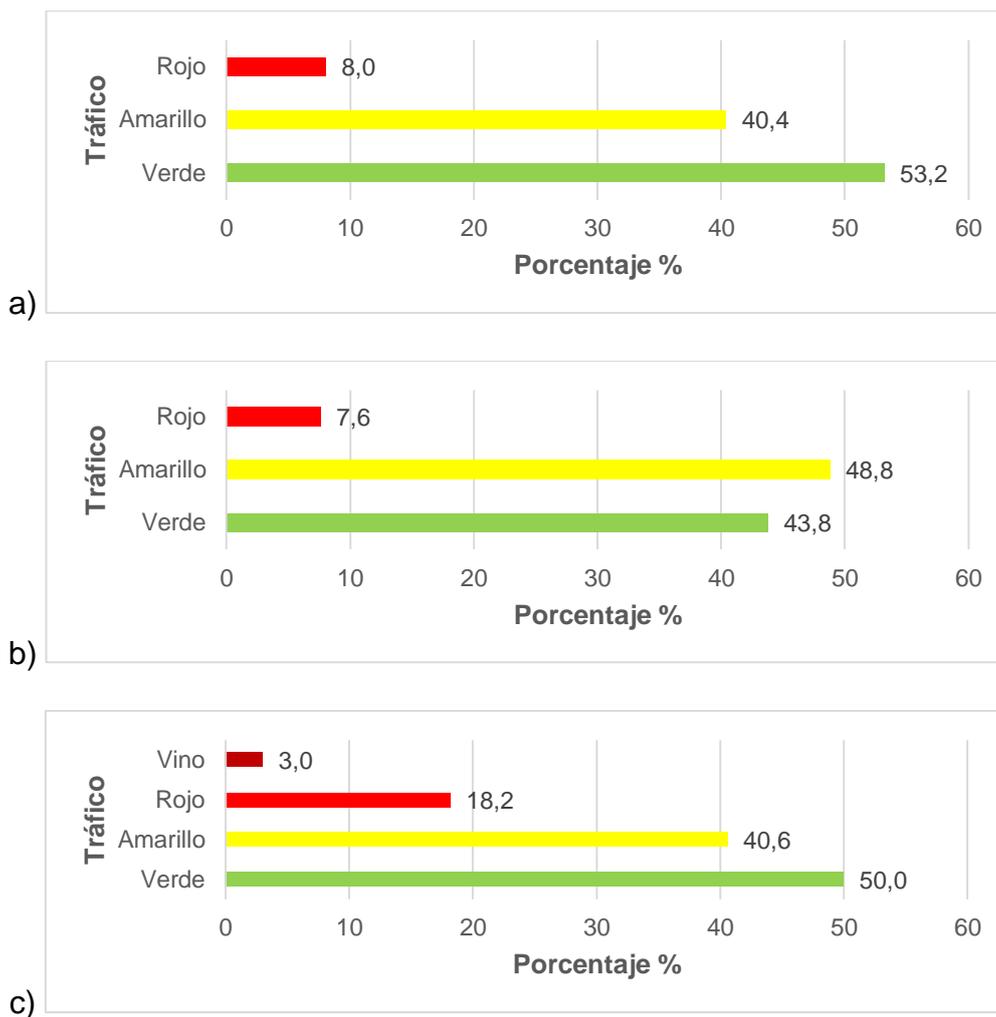


Figura 27. Tendencia de tráfico en La Jipijapa (lunes a viernes).

Tendencia de tráfico durante: a) Mañana, b) Tarde, c) Noche.

4.4.2.2. Tendencia día domingo

En los días domingo la tendencia de tráfico que predomina es el color verde con un 99% y con apenas 1% de amarillo, es decir tiene una mínima afluencia de vehículos debido a que la población al ser un día libre o de descanso prefiere quedarse en casa (Figura 28).

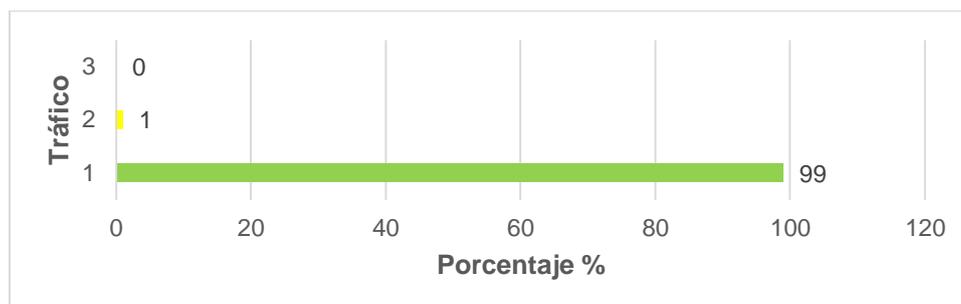


Figura 28. Tendencia de tráfico Jipijapa (domingo de 8h00–18h00).

4.5. Correlación de $PM_{2.5}$ vs Intensidad de tráfico

Esta correlación pretende demostrar la concentración promedio de $PM_{2.5}$ que existe a nivel de calle en función del tipo de tráfico que exista en Google Maps Traffic. Para el análisis de resultados se procedió a obtener el promedio y desviación estándar de las concentraciones de $PM_{2.5}$ por cada tipo de tráfico registrado durante las semanas de medición en las zonas de estudio de las parroquias seleccionadas, es decir tráfico: verde, amarillo, rojo y vino, si fuera el caso.

El incremento del número de vehículos en las ciudades conlleva al aumento de emisiones contaminantes hacia la atmósfera, ocasionando el deterioro de la calidad del aire y riesgos hacia la salud de la población. En estudios recientes se demuestra excesos de morbilidad y mortalidad en las personas sean peatones, pasajeros o conductores, especialmente en zonas urbanas donde se supera la capacidad vial por el alto volumen de tráfico (Zhang & Batterman, 2013). En las zonas de estudio de las parroquias seleccionadas se registran valores superiores a los límites permisibles de la Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA) y las directrices sobre la calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud.

Los resultados que se muestran a continuación demuestran que la concentración de material particulado fino se incrementa significativamente cuando la

intensidad de tráfico es más densa o lenta durante la semana laboral y en los fines de semana o domingo. Cuando el tráfico es más lento los automotores se ven obligado a detenerse y arrancar frecuentemente ocasionando mayor emisión de contaminantes a la atmósfera, especialmente los vehículos con motores a diésel y con mayor énfasis los que son más antiguos o estén con malas condiciones mecánicas.

4.5.1. Correlación La Mariscal de lunes a viernes

4.5.1.1. Correlación de $PM_{2.5}$ vs Intensidad de tráfico de lunes a viernes

En la Figura 29 se puede observar los resultados de la correlación en la mañana tarde y noche dentro de la zona de estudio de la parroquia, en las tres representaciones del promedio que posee cada tipo de tráfico, se puede observar un R^2 alto, mayor de 0.8, el cual indica un alto grado de confiabilidad. La mayor concentración se registra en la mañana con $32.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando el tráfico es de color rojo, mientras que la concentración menor se registra en la tarde con $23.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ cuando el tráfico es de color verde.

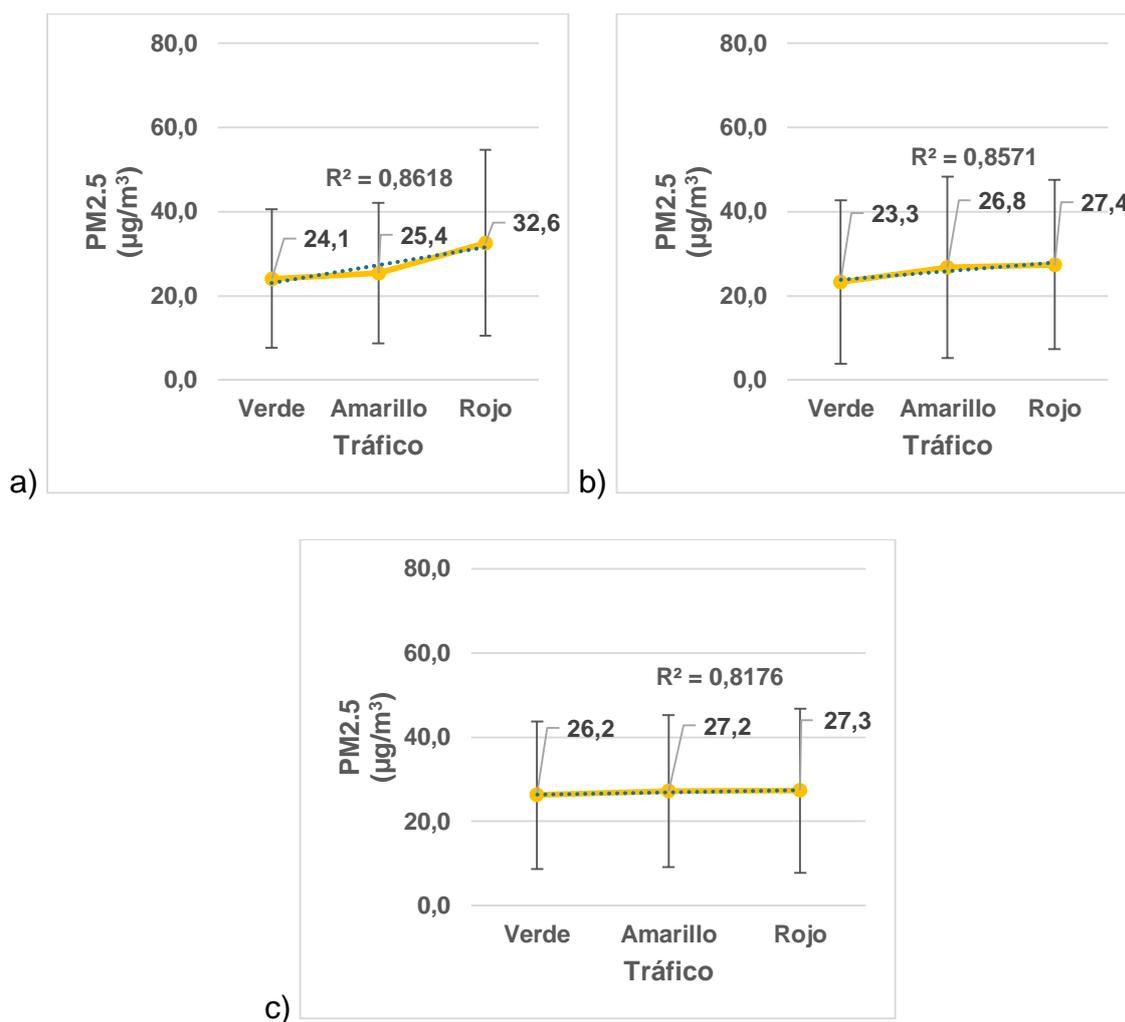


Figura 29. Correlación La Mariscal de lunes a viernes.

Correlación PM_{2.5} vs Intensidad de tráfico: a) Mañana, b) Tarde, c) Noche

4.5.1.2. Correlación La Mariscal domingo

En la Figura 30 se puede observar los resultados de la correlación en la mañana y tarde dentro de la zona de estudio de la parroquia, donde presenta solamente tráfico de color verde durante todo el día domingo. La concentración promedio oscila entre los 9.7 µg/m³ hasta los 13.1 µg/m³. La concentración promedio más alta dentro de la zona de estudio cuando el tráfico es de color verde puede llegar hasta los 17 µg/m³, mientras que la concentración promedio más baja puede llegar a los 6.5 µg/m³.

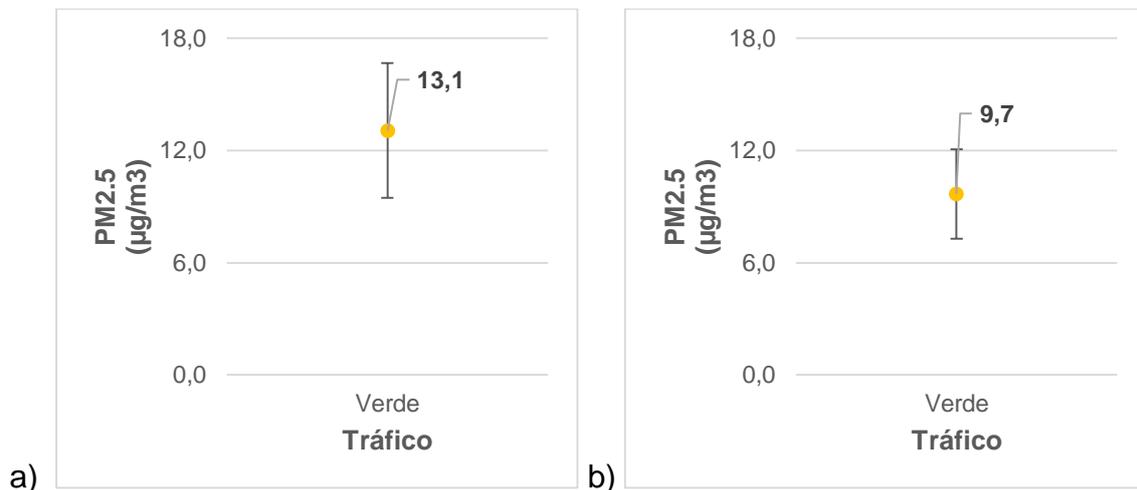


Figura 30. Correlación La Mariscal día domingo.

Correlación PM_{2.5} vs Intensidad de tráfico: a) Mañana, b) Tarde

4.5.2. Correlación Jipijapa de lunes a viernes

4.5.2.1. Correlación de PM_{2.5} vs Intensidad de tráfico de lunes a viernes

En la Figura 31 se puede observar los resultados de la correlación en la mañana tarde y noche dentro de la zona de estudio de la parroquia, en las tres representaciones del promedio que posee cada tipo de tráfico, se puede observar en la mañana y en la noche un R^2 mayor a 0.7, el cual indica un alto grado de confiabilidad, mientras que en la tarde posee un R^2 de 0.51 debido a que se registran concentraciones relativamente iguales. La mayor concentración se registra en la noche con 28.1 µg/m³ cuando el tráfico es de color vino, mientras que la concentración menor se registra en la mañana con 23.4 µg/m³ cuando el tráfico es de color verde.

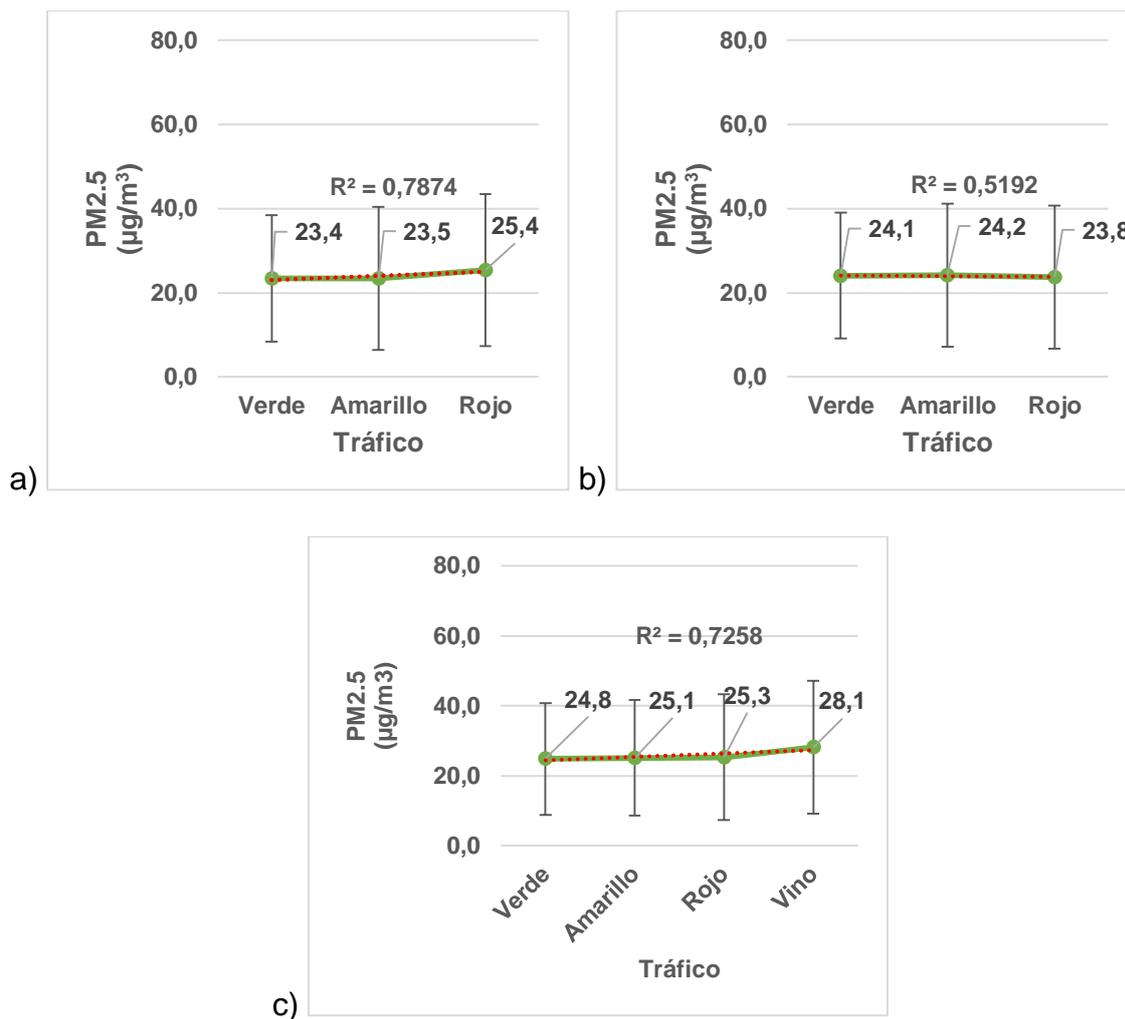


Figura 31. Correlación Jipijapa de lunes a viernes.

Correlación PM_{2.5} vs Intensidad de tráfico: a) Mañana, b) Tarde, c) Noche

4.5.2.2. Correlación Jipijapa domingo

En la Figura 32 se puede observar los resultados de la correlación en la mañana y tarde dentro de la zona de estudio de la parroquia. En la mañana existe un pequeño porcentaje de presencia de tráfico amarillo, mientras que el tráfico de color verde predomina durante todo la mañana, por otro lado, en la tarde solo se registra tráfico de color verde. La concentración promedio oscila entre los 12 µg/m³ durante todo el día. La concentración promedio más alta dentro de la zona de estudio cuando el tráfico es de color verde puede llegar hasta los 10.9 µg/m³, mientras que la concentración promedio más baja puede llegar a los 3.9 µg/m³.

Cuando el tráfico es de color amarillo pueden registrarse concentraciones hasta los $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la concentración más baja puede llegar hasta los $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos resultados demuestran que en los domingos por la mañana existe contaminación por material particulado fino y depende directamente de la intensidad de tráfico. Específicamente la concentración de $\text{PM}_{2.5}$ cuando el tráfico es de color amarillo aumenta 70% la contaminación con respecto al tráfico de color verde.

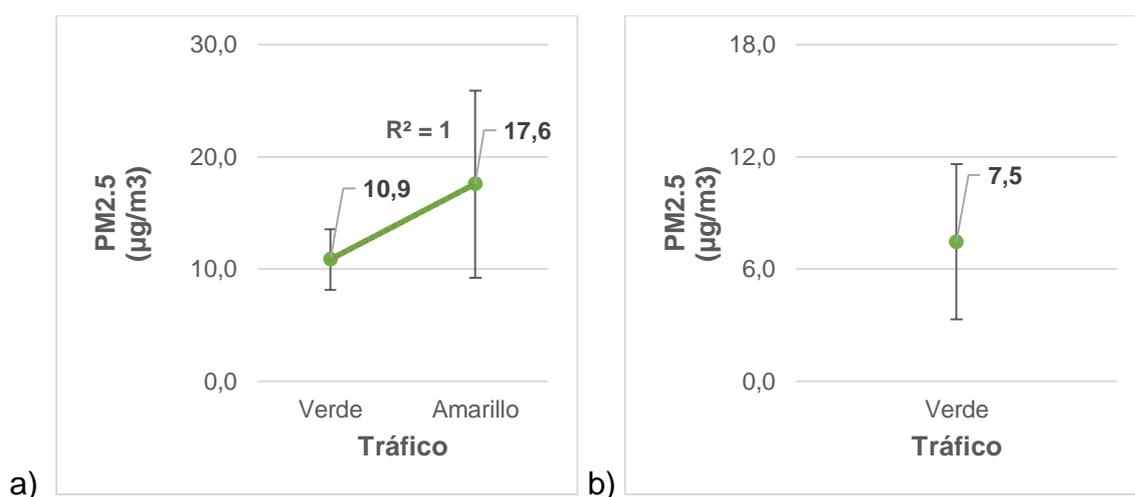


Figura 32. Correlación Jipijapa día domingo.

Correlación $\text{PM}_{2.5}$ vs Intensidad de tráfico: a) Mañana, b) Tarde

4.6. Mapeo de Contaminación de $\text{PM}_{2.5}$

Para la realización de los mapas de contaminación atmosférica se utilizaron las coordenadas registradas durante el trayecto de monitoreo de $\text{PM}_{2.5}$ en las zonas de estudio de la parroquia La Mariscal y Jipijapa mediante la aplicación móvil Traffic. Por otro lado, se utilizaron las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ registradas cada diez segundos por el equipo *Microdust Pro*. Además, se utilizó algunos shapefile descargados de la página del Instituto Nacional de Estadística y Censos, Instituto Geográfico Militar del Ecuador y de la Alcaldía de Quito. Finalmente, se utilizó la herramienta del software ArcGis de interpolación geoestadística Kriging que permite representar la dispersión de $\text{PM}_{2.5}$ en el mapa con el objetivo de

determinar la distribución de la contaminación en un determinado territorio (Wackernagel, 2003).

En cuanto a la categorización de los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ en los mapas de contaminación, se hizo de acuerdo a un estudio anterior (Buenaño, 2017). En el cual se clasificaron los rangos en función a normativa de calidad de aire nacional e internacional, en base a los límites máximos permisibles de $PM_{2.5}$ en 24 horas. En primer lugar, se estableció el rango de 0 a $25 \mu g/m^3$, límite máximo permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud. El siguiente rango establecido fue de 25 a $50 \mu g/m^3$, correspondiente al límite máximo permisible correspondiente a la Normativa Ecuatoriana de Calidad de Aire. Finalmente, el último rango establecido fue de 50 a $100 \mu g/m^3$, que no corresponde a ninguna normativa en específico y porque ninguna medición de material particulado superó los $100 \mu g/m^3$.

Es importante señalar que las zonas donde existe mayor concentración de $PM_{2.5}$ son en las paradas de buses, e intersecciones debido a la alta emisión de material particulado por los buses o transporte público que se detienen y arrancan constantemente. El transporte público de Quito tiene vehículos antiguos, como en los casos de la Ecovía y el Trole que a pesar de someterse a la revisión vehicular de la Agencia Metropolitana de Transporte dos veces por año siguen contaminando de manera discriminada.

El sistema de transporte público de la Ecovía fue inaugurado en el 2001 con unidades con motor a diésel, algunas de dichas unidades hoy en día siguen en funcionamiento y emitiendo mayor contaminación por el largo periodo de vida útil del motor. Actualmente la municipalidad de la ciudad incorporó nuevas unidades de transporte en la Ecovía para mejorar la calidad y bienestar de la población y mejorar la calidad del aire. Por otro lado, el Trole inaugurado en 1995 con unidades que tienen dos formas de funcionamiento: motor eléctrico y a diésel,

dichas unidades están en funcionamiento y que también son una fuente de contaminación cuando utilizan a modalidad a diésel, mientras que en la modalidad eléctrico no generan contaminación (Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros, 2017).

En Quito se realizó una campaña en contra de la contaminación de la calidad de aire. La vicealcaldía de la ciudad creó un perfume con un olor nauseabundo llamado “Polución” a base de alquitrán y carbón. Esta campaña consistía en hacer percibir a la ciudadanía el pestilente olor que tiene el smog (Agencia EFE, 2017).

Adicionalmente, mientras se realizaba el monitoreo en campo se pudo observar en los peatones el malestar generado por la alta presencia de smog, se constató esto por los gestos de las personas, como cubrirse la nariz o la boca con bufandas o pañuelos para intentar no inhalar el aire contaminado. En la Figura 33 se puede observar la contaminación del aire a nivel de calle generado por la emisión de smog por parte de buses de transporte público en mal estado mecánico, cuando hacen paradas en las vías.



Figura 33. Contaminación de aire a nivel de calle.

4.6.1. Mapeo $PM_{2.5}$ La Mariscal

4.6.1.1. Mapeo de contaminación de lunes a viernes

Dentro del área de estudio las calles que presenta mayor contaminación por $PM_{2.5}$ son la Amazonas, Patria y Colón, dentro de las cuales transita mayor número de vehículos pesados (transporte público). La concentración de $PM_{2.5}$ puede llegar hasta los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y las zonas en donde existe mayor contaminación son en las paradas de buses. Las calles 10 de Agosto y 6 de Diciembre tienen una mayor afluencia de vehículos livianos o motos, el transporte público que circula en estas calles son el Trole y la Ecovia. De acuerdo con el mapa de contaminación la dispersión del material particulado dentro de las demás calles del área de estudio reflejan una concentración promedio de 20 a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 34).

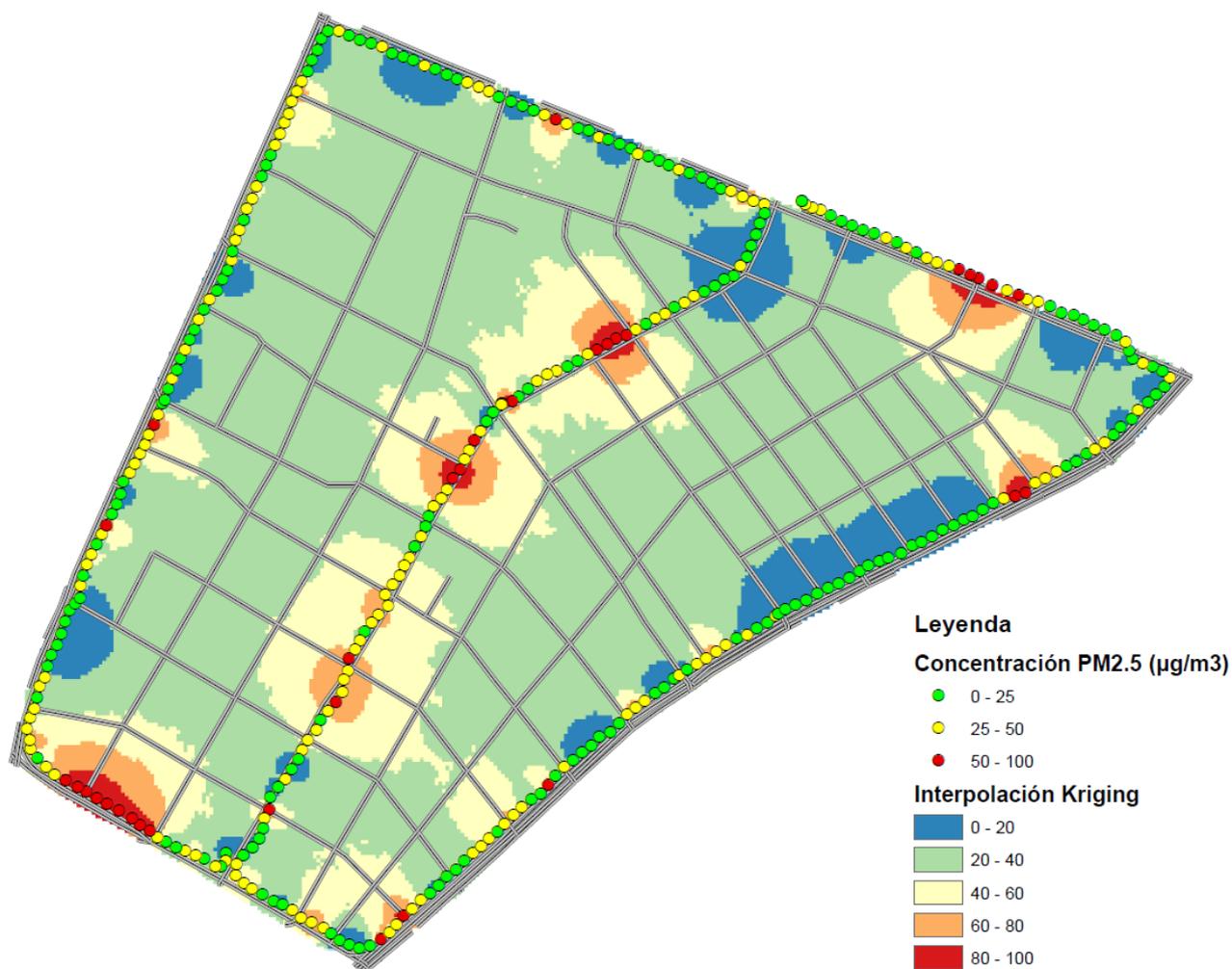


Figura 34. Mapa de PM_{2.5} La Mariscal (día promedio).

4.6.1.2. Mapeo de contaminación domingo

El día domingo la presencia de vehículos se ve reducida en comparación con los días de la semana laboral, por esta razón la parroquia tiene una concentración de PM_{2.5} hasta los 25 µg/m³, teniendo una mayor presencia en las calles Patria y 6 de Diciembre. De acuerdo con el mapa de contaminación la dispersión del material particulado dentro de las demás calles del área de estudio reflejan una concentración promedio de 0 a 13 µg/m³ (Figura 35).

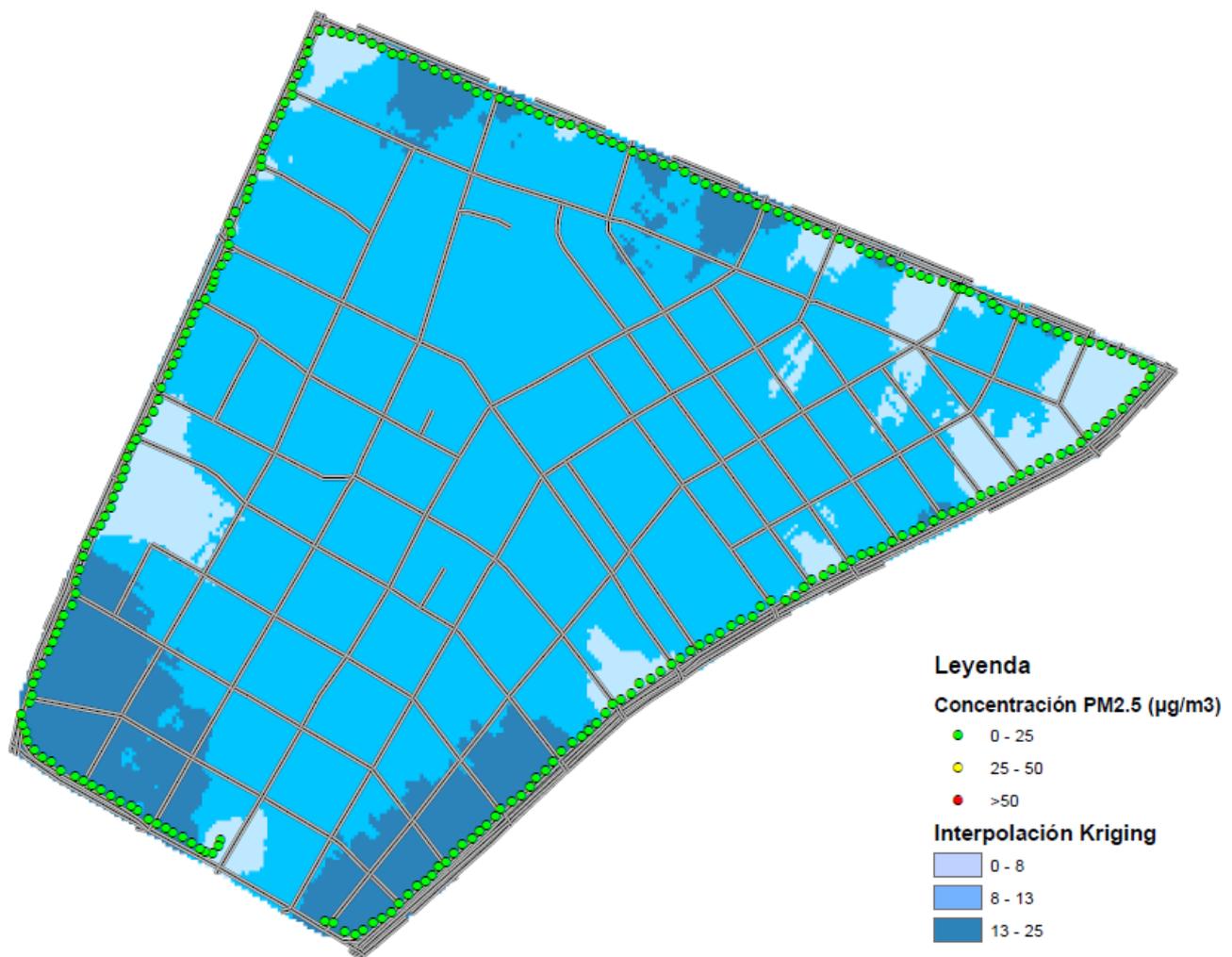


Figura 35. Mapa de PM_{2.5} La Mariscal (día domingo).

4.6.2. Mapeo Jipijapa

4.6.2.1. Mapeo de contaminación de lunes a viernes

Dentro del área de estudio las calles que presenta mayor contaminación por PM_{2.5} son la Amazonas y Shyris, dentro de las cuales transita mayor número de vehículos pesados (transporte público). La concentración de PM_{2.5} puede llegar hasta los 100 µg/m³ y las zonas en donde existe mayor contaminación son en las paradas de buses. Las calle Gaspar de Villarroel tiene una mayor afluencia de vehículos livianos o motos, ninguna línea de transporte público transita por la calle de la zona de estudio analizada. De acuerdo con el mapa de contaminación

la dispersión del material particulado dentro de las demás calles del área de estudio reflejan una concentración promedio de 20 a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 36).

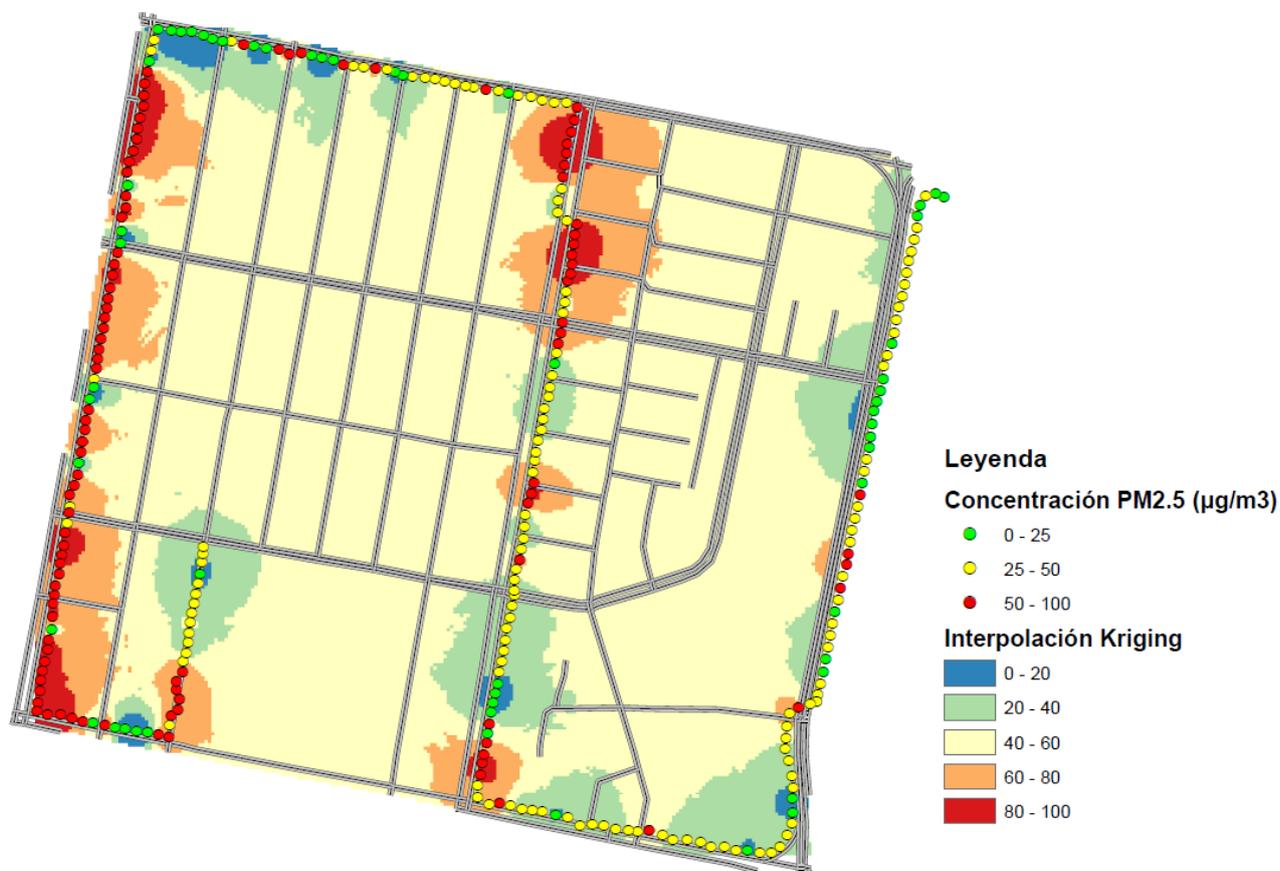


Figura 36. Mapa de PM_{2.5} Jipijapa (día promedio).

4.6.2.2. Mapeo de contaminación domingo

El día domingo la presencia de vehículos se ve reducida en comparación con los días de la semana laboral, por esta razón la parroquia tiene una concentración de PM_{2.5} hasta los 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, teniendo una mayor presencia en las calles Río Coca, Gaspar de Villarroel y 6 de Diciembre. De acuerdo con el mapa de contaminación la dispersión del material particulado dentro de las demás calles del área de estudio reflejan una concentración promedio de 0 a 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 37).

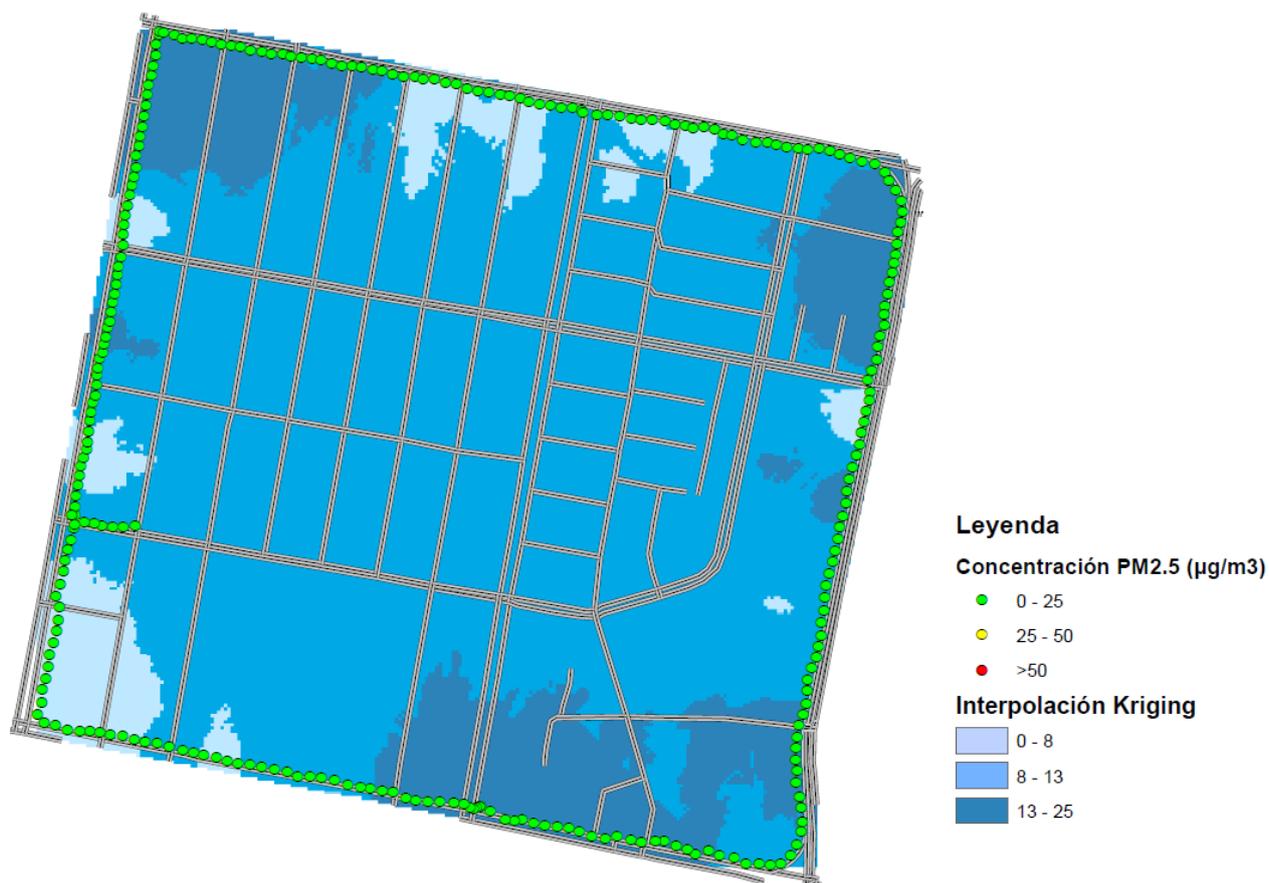


Figura 37. Mapa de PM_{2.5} Jipijapa (día domingo).

4.7. Comparación de la calidad de aire de las Parroquias

4.7.1. Comparación de lunes a viernes

En primer lugar, durante las semanas de monitoreo se pudo comprobar que la parroquia de la Jipijapa presenta mayores niveles de contaminación por PM_{2.5} aunque no muy superior a La Mariscal, con 82 y 76 µg/m³ respectivamente, solo difiriendo por alrededor de 6 µg/m³. En cuanto a la concentración promedio diaria de las parroquias están relativamente a la par con 26.7 µg/m³ La Mariscal y 24.7 µg/m³ la Jipijapa. Por último, los valores más bajos registrados en las parroquias van de los 6 hasta los 8 µg/m³.

La tendencia de automotores semanal en las parroquias difiere en pequeñas proporciones, La Mariscal posee menor volumen de tráfico en comparación con la Jipijapa. La Mariscal presenta 79% de vehículos livianos, 16% de vehículos

pesados y 4% de motos, mientras que la Jipijapa presenta 85% de vehículos livianos, 8% de vehículos pesados y 6% de motos. La Jipijapa es la parroquia que tiene mayor volumen de tráfico según Google Maps Traffic, al poseer mayor presencia de tráfico de alta intensidad como lo son el color rojo o vino (Figura 31.3). La tendencia de tráfico de acuerdo con Google Maps Traffic en La Mariscal es de 57.3% color verde, 33.8% de color amarillo y 11.6 % de color rojo. Mientras que en la Jipijapa es de 49 % de color verde, 43.2% color amarillo, 11.2% de color rojo y 1% de color vino.

La correlación de $PM_{2.5}$ vs Intensidad de tráfico demuestra el promedio de la concentración de material particulado en función del color de tráfico presente en las parroquias. Los resultados demuestran que el promedio de la concentración en los diferentes colores de tráfico está en un rango de 23 a 28 $\mu g/m^3$. Dicho esto, no se puede afirmar que existen diferencias entre las concentraciones de acuerdo al color de tráfico, pero se puede apreciar el incremento de concentraciones de $PM_{2.5}$ cuando aumenta la intensidad de tráfico durante las horas pico.

4.7.2. Comparación día domingo

Para el caso de los días domingo se pudo comprobar que la parroquia de La Mariscal presenta mayores niveles de contaminación por $PM_{2.5}$ aunque no muy superior a la Jipijapa, con 27 y 25 $\mu g/m^3$, respectivamente, solo difiriendo por alrededor de 3 $\mu g/m^3$. En cuanto a la concentración promedio diaria de las parroquias están relativamente a la par con 11 $\mu g/m^3$ La Mariscal y 9 $\mu g/m^3$ la Jipijapa. Por último, el valor más bajo registrado en las dos parroquias es de 3 $\mu g/m^3$.

La tendencia de automotores semanal en las parroquias es similar a la que se tiene durante la semana laboral, la diferencia radica en la cantidad de vehículos que transitan en las parroquias, la cual es 60% menor en los días domingo. La Mariscal presenta 72% de vehículos livianos, 15% de vehículos pesados y 4%

de motos, mientras que la Jipijapa presenta 85% de vehículos livianos, 6% de vehículos pesados y 6% de motos. La Jipijapa es la parroquia que tiene mayor volumen de tráfico según Google Maps Traffic, al poseer mayor porcentaje de tráfico con alta presencia de vehículos como lo son el color rojo o vino. La tendencia de tráfico de acuerdo con Google Maps Traffic en La Mariscal es de 100% color verde durante todo el día. Mientras que en la Jipijapa es del 99% de color verde y apenas 1% de color amarillo durante el día.

La correlación de $PM_{2.5}$ vs Intensidad de tráfico demuestra el promedio de la concentración de material particulado en función del color de tráfico presente en las parroquias. En el caso de La Mariscal la concentración de $PM_{2.5}$ cuando el color de tráfico es verde está en el rango de 9.7 a 13.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a diferencia de la Jipijapa que cuando el color de tráfico es de color verde está en un rango de 7.5 a 10.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y cuando el color de tráfico es amarillo la concentración promedio de material particulado asciende a los 17.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El incremento de la contaminación atmosférica está directamente relacionado al transporte. Es decir que el aumento del número de vehículos que se integran a la red vial de Quito año tras año, ocasionan mayor malestar a los peatones y conductores de la ciudad, además de los inconvenientes y riesgos para la salud de los mismos.

En las parroquias de La Mariscal y la Jipijapa la concentración de $PM_{2.5}$ está dentro los límites máximos permisibles de la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire de $PM_{2.5}$ promedio en 24 horas ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), aunque no de las directrices de la OMS ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a lo largo de la semana (lunes a viernes), mientras que en los días domingo si se encuentran dentro de las directrices de la OMS y de la NECA. Se estimó que la concentración promedio de $PM_{2.5}$ en La Mariscal es de $26.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $24.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Jipijapa de lunes a viernes. En los días domingo la concentración promedio de $PM_{2.5}$ en La Mariscal es de $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $14.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Jipijapa. La problemática radica en el exceso de emisión de $PM_{2.5}$ en sitios específicos de las áreas de estudio que generalmente son paradas de bus, intersecciones o semáforos (mayor presencia de peatones). Los vehículos pesados o automotores a diésel que se encuentren en mal estado pueden provocar que la concentración de $PM_{2.5}$ llegue hasta los $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La correlación entre la concentración de $PM_{2.5}$ y la intensidad de tráfico según Google Maps Traffic, demuestra que mientras mayor volumen de tráfico exista la concentración de $PM_{2.5}$ será mayor. La concentración promedio de $PM_{2.5}$ va de los 23 a $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las dos parroquias durante la semana laboral y están presentes todos los tipos de tráfico (rápido hasta lento) de Google Maps Traffic, mientras que los días domingo predomina solamente el tipo de tráfico rápido (color verde) con un 99% en la Jipijapa y 100% en La Mariscal la concentración promedio va de 7.5 a $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentración de $PM_{2.5}$ es mayor en las calles principales o con mayor afluencia de tráfico, mientras que en las calles secundarias la concentración disminuye gracias a las condiciones meteorológicas de la ciudad como lo es el viento, inestabilidad atmosférica, radiación solar y las precipitaciones.

5.2. Recomendaciones

Esta investigación se realizó exclusivamente en las calles principales de las zonas de estudio, es decir donde existe mayor volumen de vehículos y por ende mayores concentraciones de contaminantes, por lo tanto, se debería estudiar también las calles que tienen una mínima afluencia de automotores para establecer una comparación de las concentraciones de $PM_{2.5}$.

Los peatones que circulan por las calles principales de la ciudad deberían optar por caminar por calles secundarias para reducir su exposición a gases y partículas contaminantes producidas por los vehículos para evitar el malestar y reducir riesgos hacia su salud.

En diciembre de 2017 empezó a operar el primer bus eléctrico en Quito, buscando reducir las emisiones atmosféricas. Al pasar 3 meses de pruebas, el bus recorrió 9000 kilómetros sin generar ningún tipo de contaminación a la calidad del aire en comparación de un bus a diésel que generaría doce toneladas de dióxido de carbono (El Comercio, 2018). A pesar de estas conclusiones positivas, existe la problemática que dichos buses funcionan con una batería recargable que tarda dos horas en cargarse completamente, por otro lado, estas tienen una vida útil corta, esta solución resultaría costosa para el municipio y no sería viable su implementación. La tecnología que utilizan las antiguas unidades del Trole sería una solución de bajo costo económico y muy viable, debido a que la energía que permite su funcionamiento es transferida directamente de los cables eléctricos y no necesitan de una batería, por lo que la municipalidad

debería optar por este tipo de alternativas de acuerdo a la realidad económica de la ciudad.

Las autoridades de la ciudad de Quito deberían enfocarse en el transporte público porque este es una de las principales fuentes de contaminación atmosférica. Deben incrementar el control para disminuir la contaminación del aire y establecer sanciones que permitan sancionar a los infractores. El vice alcalde de Quito afirmó que propietarios de buses de servicio público alquilan catalizadores para disminuir la emisión de gases contaminantes y poder pasar la revisión vehicular (Agencia EFE, 2017).

REFERENCIAS

- Agencia EFE. (2017). Una pestilente fragancia contra la polución de Quito. Recuperado el 2 de enero de 2019, de <https://www.efe.com/efe/america/sociedad/una-pestilente-fragancia-contra-la-polucion-de-quito/20000013-3358607>
- Agencia Pública de Noticias de Quito. (2013). Historia y memoria de La Mariscal en un libro :: Agencia Pública de Noticias del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Recuperado el 4 de octubre de 2018, de http://prensa.quito.gob.ec/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=8950&umt=Historia y memoria de La Mariscal en un libro
- Alvarado, S., Luján, M., & Bomblat, C. (2004). Modelación de las emisiones del parque automotor en la ciudad de Cochabamba - Bolivia. *Acta Nova*, 2(4), 493.
- Amaral, S. S., de Carvalho, J. A., Costa, M. A. M., & Pinheiro, C. (2015). *An overview of particulate matter measurement instruments*. *Atmosphere*, 6(9), 1327–1345. Recuperado el 16 de julio de 2018, de <https://doi.org/10.3390/atmos6091327>
- Apte, J. S., Marshall, J. D., Cohen, A. J., & Brauer, M. (2015). *Addressing Global Mortality from Ambient PM2.5*. *Environmental Science and Technology*, 49(13), 8057–8066. Recuperado el 15 de diciembre de 2018, de <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01236>
- Arciniégas Suárez, C. A. (2011). Diagnóstico y Control de Material Particulado: Partículas Suspendidas Totales y Fracción Respirable. Recuperado el 21 de septiembre de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Baca, J. C. (2014). Informe Final Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011, 53. Recuperado el 24 de noviembre de 2018, de http://www.quitoambiente.gob.ec/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=536&Itemid=59&lang=es.
- Bell, M. L., Davis, D. L., Gouveia, N., Borja-Aburto, V. H., & Cifuentes, L. A. (2006). *The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, São Paulo, and Mexico City*. *Environmental Research*,

- 100(3), 431–440. Recuperado el 16 de julio de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.08.002>
- Borrás García, E. (2013). Caracterización de Material Particulado Atmosférico Generado en Reactores Fotoquímicos y Procedente de Muestras Ambientales. Recuperado el 21 de septiembre de 2018, de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/31645/TD E.Borrás_V3.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/31645/TD_E.Borrás_V3.pdf?sequence=1)
- Bossi, M., Matich, D., & Pignani, J. M. (2000). Contaminación, Meteorología y Estabilidad Térmica. Recuperado el 16 de septiembre de 2018, de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora_2/monografias/mjd_anexo.pdf
- Buenaño, A. (2017). Mapa estratégico de contaminación como herramienta para el trazado de alternativas de ciclo vías con menor exposición. Recuperado el 27 de julio de 2018, de <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9048/1/UDLA-EC-TIAM-2017-29.pdf>
- Carmen, M., Arias, G., & Riveiro Vela, A. (2012). Determinación de la Frecuencia Respiratoria. Recuperado el 15 de enero de 2018, de [http://www.hca.es/huca/web/enfermeria/html/f_archivos/DETERMINACION DE LA FRECUENCIA RESPIRATORIA.pdf](http://www.hca.es/huca/web/enfermeria/html/f_archivos/DETERMINACION_DE_LA_FRECUENCIA_RESPIRATORIA.pdf)
- CASELLA. (s/f). Uso y Mantenimiento del Monitor de Polvo y Aerosoles Microdust pro Software de Aplicación WinDust pro, 1–62.
- Cazorla, M. (2016). *Air quality over a populated andean region: Insights from measurements of ozone, NO, and boundary layer depths. Atmospheric Pollution Research, 7(1), 66–74.* Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.07.006>
- Cervantes Rendón, E., & Observatorio Ambiental. (2007). Inversión Térmica. Junio (Vol. 2). Chihuahua. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de [http://www3.colech.edu.mx/ObservatorioAmbiental/Documents/Hojas Técnicas/HT_No.2.pdf](http://www3.colech.edu.mx/ObservatorioAmbiental/Documents/Hojas_Técnicas/HT_No.2.pdf)
- Concejo Metropolitano de Quito. (2011). Ordenanza Metropolitana N° 127. Recuperado de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Concejo

Abierto/Ordenanzas/2011/ORDMUN0127.pdf

Consejo Metropolitano De Quito. (2010). Ordenanza Metropolitana No 0305, (0305). Recuperado de <http://www.amt.gob.ec/files/AMT-ORDM-305-CIRCULACION-VEHICULAR-PICO-Y-PLACA.pdf>

De Jesús Caballero Guardo, W. (2011). *Kriging Universal para Datos Funcionales*. Recuperado el 17 de julio de 2018, de <http://bdigital.unal.edu.co/6329/1/1832260.2011.pdf>

El Comercio. (2018). El primer bus 100% eléctrico que circuló en Quito terminó la fase de prueba con resultados positivos | El Comercio. Recuperado el 2 de enero de 2019, de <https://www.elcomercio.com/actualidad/buselectrico-quito-periododeprueba-resultados-corredornorte.html>

EMASEO, & Quito, M. de D. M. de Q. (2011). Quito Plan De Desarrollo 2014–2022, 166. Recuperado el 28 de noviembre de 2018, de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/

Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros. (2017). Historia Institucional. Recuperado el 1 de enero de 2019, de <http://www.trolebus.gob.ec/index.php/sobre-nosotros/historia-institucional>

EPA. (2016). Guía de la Calidad del Aire sobre la Contaminación por Partículas, 1–2. Recuperado el 25 de julio de 2018, de https://www3.epa.gov/airnow/air-quality-guide_particle_SPA.pdf

EPA. (2017). *Particulate Matter (PM) Pollution*. Recuperado el 25 de abril de 2018, de <https://www.epa.gov/pm-pollution>

EPA. (2018). Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés). Recuperado el 18 de agosto de 2018, de <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>

Escudero López, J. M., & Bornay, J. de D. (2004). Manual de energía eólica : investigación, diseño, promoción, construcción y explotación de distinto tipo de instalaciones (2a ed.). Madrid: Mundi-Prensa. Recuperado el 15 de enero de 2018, de <https://books.google.co.jp/books?id=bY33m9Z3NAEC&printsec=frontcover>

&hl=es#v=onepage&q&f=false

- Flacso. (2015). Quito ciudad, capital del Ecuador. *Flacso*, 1–3.
- Fontaine, G., Narváez Paúl Cisneros, I., Socio Ambiental de la FLACSO, O., Albornoz, P., Andrade, M., Araujo, P., ... Oviedo, J. (2008). *Informe sobre el Estado del Medio Ambiente*. Recuperado el 21 de enero de 2019, de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf>
- García-Reynoso, J. (2009). Influencia De La Meteorología En La Calidad Del Aire En La Zona Metropolitana Del Valle De México. *Rev.Esp.Cienc.Quím.Biol.*, 12(2), 83–86.
- García, J. J., & Abad, A. (2002). Cartografía Ambiental. Desarrollo y Propuestas de Sistematización (Vol. 5). Recuperado el 24 de diciembre de 2018, de https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof121415/publicaciones/Cartografia Ambiental 2002.pdf
- García, M., Ramírez, H., Ulloa, H., Arias, S., & Pérez, A. (2012). Las Inversiones Térmicas Y La Contaminación Atmosférica En La Zona Metropolitana De Guadalajara (México), 9–29.
- Gaviria, C. F., Benavides, P. C., & Tangarife, C. A. (2008). Contaminación por material particulado (pm 2,5 y pm 10) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). Recuperado el 21 de diciembre de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v29n3/v29n3a04.pdf>
- Gilbert, M., & Wendell, P. (2008). *Introducción a la Ingeniería Medioambiental* (3a ed.). Madrid, España: Pearson.
- Henao, R. (1997). Introducción a la geoestadística, teoría y aplicación, 94. Recuperado el 22 de enero de 2018, de ftp://ftp.ciat.cgiar.org/DAPA/projects/Cursos_Talleres/Curso_R/DOCUMENTOS/LIBRO DE GEOESTADISTICA.pdf
- INAMHI. (2016). Boletín Climatológico Anual 2016. Recuperado el 27 de mayo de 2018, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/clima/>
- Inche, J. L. (2004). Transporte y dispersión de contaminantes del aire. GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE: Causas, Efectos y Soluciones, 59–62. Recuperado el 14 de diciembre de 2018, de

file:///C:/Users/alumno03/Documents/hie11213.pdf

- INEC. (2010). Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Fascículo Provincial Pichincha, 0–7.
- INEC. (2016a). El parque automotor de Ecuador creció 57% en cinco años. Recuperado el 27 de septiembre de 2018, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/el-parque-automotor-de-ecuador-crecio-57-en-cinco-anos/>
- INEC. (2016b). Estadísticas de Transporte 2016. Recuperado el 16 de noviembre de 2018, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/transporte/>
- Instituto Geográfico Nacional de España. (s/f). Conceptos Cartográficos.
- Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015). *Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. Atmospheric Environment, 120*, 475–483. Recuperado el 15 de noviembre de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.087>
- Kim, K., Lee, K. H., Kim, J. I., Noh, Y., Shin, D. H., Shin, S. K., ... Song, C. H. (2016). *Estimation of surface-level PM concentration from satellite observation taking into account the aerosol vertical profiles and hygroscopicity. Chemosphere, 143*, 32–40. Recuperado el 18 de noviembre de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.040>
- Kotek, M., Jindra, P., Prikner, P., & Mařík, J. (2017). *Comparison of PM production in gasoline and diesel engine exhaust gases. Agronomy Research, 15(Special Issue 1)*, 1041–1049.
- Lapuerta, M., Armas, O., Agudelo, J. R., & Sánchez, C. A. (2006). Estudio del Efecto de la Altitud sobre el Comportamiento de Motores de Combustión Interna. Parte 1: Funcionamiento. Recuperado el 15 de noviembre de 2018, de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000500005
- Lukáčová, K., & Badida, M. (2015). *Determining concentration of solid aerosols using light scattering principles*. Recuperado el 18 de octubre de 2018, a de <http://gme.stu.cn.ua/uk/component/k2/item/533-lukáčová-katarína-badida->

miroslav-determining-concentration-of-solid-aerosols-using-light-scattering-principles.html

- Marieb, E. (2008). *Anatomía y Fisiología Humana* (9a ed.). Madrid, España: Pearson.
- Martínez Ataz, E., & Díaz de Mera Morales, Y. (2004). *Contaminación Atmosférica* (1a ed.). Cuenca, España: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Midgley, P. M., Reuther, M., & Williams, M. (2013). *Transport and chemical transformation in the troposphere : proceedings of EUROTRAC Symposium 2000, Garmisch-Partenkirchen, Germany, 27-31 March 2000* (1a ed.). Berlín, Alemania: Springer.
- Mora, P., Oficemen, P., Silva, S., Oficemen, S., Romay, M., Oficemen, D., ... Villa Jiménez, V. (2013). *Guía de Métodos de medición y Factores de emisión de Sector cementero de España*. Recuperado el 25 de julio de 2018, de www.prtr-es.es
- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2014). *Unidad del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del DMQ, 1–124*. Recuperado el 29 de octubre de 2018, de <http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/pdf/diagnosticoterritorio.pdf>
- Olivia, P., García, K., Cortez, R., Dávila, R., Alfaro, M. del R., Duke, V., & Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. (2001). *Monitoreo del Aire, Manual de Laboratorio*. Recuperado de <http://www.ingenieroambiental.com/Manual-laboratorio-analisis-aire.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2018). *Circulación Vertical y Estabilidad Atmosférica. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Environmental*, 32. Recuperado el 15 de agosto de 2018, de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_meteoro/leccion4.pdf
- Organization for Economic Co-operation and Development. (2016). *En 2060, la contaminación atmosférica causará de 6 a 9 millones de muertes*

- prematuras al año y tendrá un costo de 1% del PIB – OCDE. Recuperado el 19 de abril de 2018, de <https://www.oecd.org/centrodemexico/medios/en-2060-la-contaminacion-atmosferica-causara-de-6-a-9-millones-de-muertes-prematuras-al-ao-y-tendra-un-costo-de-1-del-pibocde.htm>
- Orozco, J. (2005). Bistua. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 3(2), 1–11. Recuperado el 18 de agosto de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90330201>
- Páez Pérez, C. (2009). Gestión de la contaminación atmosférica: el caso de Quito, 1–17. Recuperado el 15 de julio de 2018, de <http://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf>
- Park, S. U., Ju, J. W., Lee, I. H., & Joo, S. J. (2016). *A parameterization of dust emission (PM10) fluxes of dust events observed at Naiman in Inner Mongolia using the monitored tower data. Atmospheric Environment, 140, 420–431.* Recuperado el 25 de agosto de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.004>
- Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). *Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. Journal of the Air and Waste Management Association, 56(6), 709–742.* Recuperado el 18 de septiembre de 2018, de <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>
- Powder Technology Inc. (2018). *ISO 12103-1, A2 Fine Test Dust.* Recuperado el 9 de octubre de 2018, de <http://www.powdertechologyinc.com/test-dust-contaminants/filtration-standards-specifications/>
- Quito Informa. (2017). 2'400.000 de viajes persona en el Sistema de Transporte al día – Quito Informa. Recuperado el 16 de noviembre de 2018, de <http://www.quitoinforma.gob.ec/2017/08/16/2400-000-de-personas-se-movilizan-el-sistema-de-transporte-al-dia/>
- Rodríguez Valdés, D., Quintero Silverio, A., Jaime, Y. G., Santos, O. C., & Díaz, A. S. (2015). Variación de la Estabilidad y Altura de la Capa de Mezcla en la ciudad de Pinar del Río, 1, 1–15. Recuperado el 15 de septiembre de 2018, de <https://doi.org/10.1590/0102-778620140014>
- Rojas, G. C., Rodríguez, C. M., Cervantes, S. C., & Morán-Pineda, M. (2002).

- Contaminación del aire urbano: efectos de la radiación solar. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1–4. Recuperado el 28 de septiembre de 2018, de <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsaidis/mexico26/vi-006.pdf>
- Secretaría de Ambiente. (2017). Informe de la calidad de aire-2016. Recuperado el 15 de julio de 2018, de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/ICA2016.pdf
- Secretaría de Ambiente. (2018a). Datos Horarios Historicos. Recuperado el 9 de octubre de 2018, de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/datos-horarios-historicos#temperatura-media-tmp>
- Secretaría de Ambiente. (2018b). Datos REMMAQ. Recuperado el 25 de septiembre de 2018, de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/indice-de-calidad-del-aire-2>
- Secretaría de Movilidad. (2014). Diagnóstico de la movilidad en el Distrito Metropolitano de Quito para el Plan Metropolitano de Desarrollo Territorial, Contenido, 25.
- Sendiña, I., & Pérez, V. (2006). Fundamentos de meteorología. Universidad de Santiago de Compostela. Recuperado el 18 de septiembre de 2018, de <https://books.google.co.jp/books?id=HE3xtRmNg4kC&lpg=PA16&dq=climatología+y+atmósfera&pg=PA16#v=onepage&q=climatología+y+atmósfera&f=false>
- Soporte de Google. (2018). Ver información sobre sitios, el tráfico, el relieve, rutas para ir en bicicleta y el transporte público - Ordenador - Ayuda de Google Maps. Recuperado el 21 de septiembre de 2018, de <https://support.google.com/maps/answer/3092439?co=GENIE.Platform%3DDesktop&hl=es>
- Suay Belenger, J. (2010). Conceptos Básicos de Meteorología y Climatología. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de <https://books.google.com.ec/books?id=xhxYAgAAQBAJ&printsec=frontcov>

- er&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Thermo Fisher Scientific Inc. (2007). *FH62C14 Instruction Manual Continuous Ambient Particulate Monitor*. Recuperado el 25 de octubre de 2018, de www.thermo.com/WEEERoHS.
- Universidad de Sevilla. (1996). Representación Cartográfica. Recuperado el 21 de octubre del 2018, de http://www.geografia.us.es/web/contenidos/becarios/materiales/archivos/representacion_cartografica.pdf
- Vega, D., Ocaña, L., & Parra, R. (2015). Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 7(2). Recuperado el 19 de noviembre de 2018, de <https://doi.org/10.18272/aci.v7i2.270>
- Velasco, C., & Velasco, J. (2014). Efectos de la altitud sobre la combustión. *Revista metalúrgica*, 35, 10. Recuperado el 10 de septiembre de 2018, de <https://doi.org/10.1007/s00787-013-0475-x>
- Venegas, L. E., & Mazzeo, N. A. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, (Argentina), 1–11.
- Wackernagel, H. (2003). *Ordinary Kriging*. Recuperado el 28 de diciembre de 2018, de http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05294-5_11
- World Health Organization. (2016). *Ambient Air Pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. World Health Organization, 1–131. <https://doi.org/9789241511353>
- Xavier, A., Velasteguí, H., Teresa, C., Nieto, L., Patricia, N., Cahueñas, P., ... Parra, F. (2018). Evaluación de la Estabilidad Atmosférica Bajo Condiciones Físicas y Meteorológicas del Altiplano Ecuatoriano, 336–343.
- Zalakeviciute, R., López-Villada, J., & Rybarczyk, Y. (2018). *Contrasted Effects of Relative Humidity and Precipitation on Urban PM2.5 Pollution in High Elevation Urban Areas*. *Sustainability*, 10(6), 2064. Recuperado el 18 de octubre de 2018, de <https://doi.org/10.3390/su10062064>
- Zalakeviciute, R., Rybarczyk, Y., López-Villada, J., & Diaz Suarez, M. V. (2018).

Quantifying decade-long effects of fuel and traffic regulations on urban ambient PM_{2.5} pollution in a mid-size South American city. Atmospheric Pollution Research, 9(1), 66–75. Recuperado el 18 de agosto de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.07.001>

Zhang, K., & Batterman, S. (2013). *Air pollution and health risks due to vehicle traffic. Science of the Total Environment*, 450–451(2), 307–316. Recuperado el 16 de septiembre de 2018, de <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.074>

