



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

MAPA ESTRATÉGICO DE CONTAMINACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA
EL TRAZADO DE ALTERNATIVAS DE CICLO VÍAS
CON MENOR EXPOSICIÓN.

Autor

Adrian Rafael Buenaño Lopez

2017



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

MAPA ESTRATÉGICO DE CONTAMINACIÓN COMO HERRAMIENTA
PARA EL TRAZADO DE ALTERNATIVAS DE CICLO VÍAS CON MENOR
EXPOSICIÓN

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

Profesora Guía
PhD. Rasa Zalakeviciute

Autor
Adrian Rafael Buenaño Lopez

Año
2017

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, 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 Philosophy
CC: 1757076797

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado éste trabajo, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Yasser Alejandro González Romero

Magíster en Ingeniería y Gestión 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”.

Adrian Rafael Buenaño Lopez

CC: 1722301429

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por el apoyo constante, su consejo y sobre todo por haber fomentado en mí valores y darme el impulso necesario para alcanzar mis metas.

Un profundo agradecimiento a la doctora Rasa Zalakeviciute por su inmenso apoyo durante todo este proceso, así mismo por sus valiosos comentarios y sugerencias.

Al ingeniero Alejandro González por toda la motivación y soporte brindado, así como por sus sugerencias y recomendaciones.

DEDICATORIA

A mis padres por todo el amor y confianza incommensurable e inigualable, a su ejemplo y el de toda mi familia especialmente de mis abuelos. También a mis amigos por ese apoyo sincero, idóneo y latente. Y a mis maestros, por afrontar ésta noble empresa de la enseñanza y compartir su sabiduría a lo largo de este trayecto.

RESUMEN

La contaminación atmosférica a nivel mundial representa uno de los mayores riesgos hacia la salud humana. En Quito se monitorea la calidad del aire desde 2004. De todos los contaminantes criterio, el $PM_{2.5}$ (partículas con diámetro $<2.5 \mu m$) excede no solo los límites recomendables por la Organización Mundial de la Salud, ya que también los impuestos para el promedio anual de la Normativa Nacional ($15 \mu g/m^3$) están fuera de rango. En la ciudad de Quito y los valles alrededor se tienen nueve estaciones de monitoreo, sin embargo, no demuestran la concentración a nivel de calle. Por esta razón el objetivo del presente trabajo es monitorear la contaminación de $PM_{2.5}$ en las calles de la parroquia La Mariscal para la elaboración de un mapa de contaminación mediante el geo-procesamiento de los datos. El área de estudio fue recorrida con el equipo Microdust Pro vinculado con un GPS. El Microdust Pro puede medir partículas totales, gruesas (PM_{10}) y finas ($PM_{2.5}$) con el uso de diferentes filtros. El monitoreo de $PM_{2.5}$ se lo realizó en un día soleado y un día nublado para determinar la influencia del clima en la contaminación por material particulado. Los resultados fueron validados correlacionándolos con los tomados por el Thermo Scientific/ FH62C14 de la estación de monitoreo más cercana a la parroquia. Además, se realizó un conteo de tránsito vehicular para determinar la influencia del tráfico en la concentración de $PM_{2.5}$. Al final se concateno los datos del equipo con los del GPS para elaborar el mapa en Qgis. Los resultados demuestran que existe una fuerte correlación ($R^2 = 0.82$) entre la presencia de vehículos pesados y la concentración de $PM_{2.5}$. En un día nublado la concentración de contaminante incrementa en más de 44% en comparación a un día soleado. Las concentraciones a nivel de calle son un 150% más altas que las tomadas a la altura de la estación de monitoreo. Una selección apropiada de rutas con bajo tránsito vehicular reduce más del doble la exposición en comparación a rutas de alto tráfico vehicular. En conclusión, conocer los niveles de contaminación de las calles es sumamente importante para evitar rutas críticas de exposición además sirve como referencia para implementar medidas de control al transporte público y para la planificación de rutas estratégicas e implementación de infraestructura para transportes activos.

ABSTRACT

Global air pollution represents one of the greatest risks to human health. In Quito, air quality has been monitored since 2004. Among all the criteria pollutants $PM_{2.5}$ (particulate matter with aerodynamic diameter $<2.5\mu m$) stands out because it exceeds not only the recommendations of the World Health Organization, but also National Standards for annual concentrations ($15\mu g/m^3$). There are nine air quality monitoring stations in the city of Quito and the surrounding valleys, however, they do not show the concentration at street level. For this reason, the objective of this study is to monitor $PM_{2.5}$ contamination in the streets of one of the districts - La Mariscal -to design a pollution map through the geoprocessing of data. To accomplish this, the pollution in the study area was measured using Microdust Pro PM sensor coupled with a GPS. The Microdust Pro can measure total, coarse (PM_{10}) and fine ($PM_{2.5}$) particulate matter with a use of different filters. The measurements of $PM_{2.5}$ were performed on a sunny day and a cloudy day to determine the influence of the weather on the particulate pollution. The results were further validated by correlating them to those taken with the Thermo Scientific / FH62C14 at a neighboring air quality monitoring station. In addition, a vehicular traffic count was performed to determine the influence of traffic load on the concentration of $PM_{2.5}$. Finally, the gathered data was combined with the GPS data to elaborate the map in Qgis. The results showed that there is a strong correlation ($R^2=0.82$) between the presence of heavy vehicles and the concentration of $PM_{2.5}$. On a cloudy day, the concentration of $PM_{2.5}$ increases by more than 44% compared to a sunny day. At the street level the $PM_{2.5}$ concentrations are 150% higher than the readings of the more elevated monitoring station. An appropriate selection of routes with low vehicular traffic load significantly reduces exposure by more than double compared to high vehicular traffic routes. Therefore, knowing the pollution concentration at the street level is extremely important to avoid the routes with more critical exposure. It also serves as a reference for implementing control measures for public transport and for the planning of strategic routes as well as the implementation of infrastructure for active transport.

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.....	5
2.2. Contaminación atmosférica.....	5
2.3. Material particulado fino - PM _{2.5}	6
2.3.1. Técnicas de medición PM 2.5.....	6
2.4. Dispersión de contaminantes.....	7
2.4.1. Estabilidad Atmosférica	8
2.4.2. Inversión térmica.....	8
2.5. Ciclo vías	9
3. CAPITULO III. METODOLOGÍA	9
3.1. Descripción del área de estudio.....	9
3.1.1. Características del sector	10
3.2. Datos históricos de PM _{2.5} en la estación Belisario	11
3.2.1. Descripción del instrumento (<i>Thermo Scientific/ FH62C14</i>)	12
3.2.2 Tendencia de material particulado fino en la estación Belisario	13
3.2.3. Tendencia de PM _{2.5} de un día promedio en Quito.	15
3.3. Datos de transito.....	16
3.3.1. Movilidad.....	16

3.3.2. Flujo de tránsito	17
3.3.3. Conteo de tránsito vehicular	18
3.4. Monitoreo.....	20
3.4.1. Descripción del instrumento de medición <i>Microdust Pro</i>	20
3.4.2. Calibración del equipo	22
3.4.3. Sistema de posicionamiento global.....	24
3.4.4. Meteorología	24
3.4.5. Medición durante el día soleado (atmósfera inestable o neutra)	25
3.4.6. Medición durante el día nublado (atmósfera estable)	25
3.5. Herramientas para el análisis de datos	26
4. CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	27
4.1. Validación de resultados.....	27
4.1.1. Correlación día soleado	28
4.1.2. Correlación día nublado.....	29
4.1.3. Coeficiente de correlación	32
4.2. Influencia del tráfico en la concentración de $PM_{2.5}$	34
4.2.1. Correlación día soleado.....	34
4.3. Mapa de contaminación $PM_{2.5}$	36
4.3.1. Mapa de $PM_{2.5}$ (día soleado)	36
4.3.2. Mapa de $PM_{2.5}$ (día nublado)	38
4.4. Propuesta de ciclo vías con menor exposición	40
4.4.1. Rutas	42
4.4.2. Niveles de exposición	44
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
5.1. Conclusiones	46

5.2. Recomendaciones.....	47
Referencias	48

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i> Humedad relativa de la estación Belisario.....	33
<i>Tabla 2.</i> Concentración PM _{2.5} por calles.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Delimitación del área de estudio	10
<i>Figura 2.</i> Ubicación estaciones de monitoreo automático	12
<i>Figura 3.</i> Flujo de las partículas en el equipo	13
<i>Figura 4.</i> Tendencia del promedio anual de $PM_{2.5}$ en la estación Belisario	15
Figura 5. Tendencia de concentración horaria de $PM_{2.5}$ de un día promedio. .	16
<i>Figura 6.</i> Velocidad de tráfico habitual de un día viernes.	18
Figura 7. Composición de la flota vehicular.	19
<i>Figura 8.</i> Componentes de la sonda de muestreo.	21
Figura 9. Diagrama del proceso de monitoreo $PM_{2.5}$	22
Figura 10. Ubicación de la estación Belisario.	28
Figura 11. Correlación Microdust Pro y Thermo Scientific en un día soleado. .	29
Figura 12. Correlación Microdust Pro y Thermo Scientific	31
<i>Figura 13.</i> Coeficiente de correlación.	33
Figura 14. Correlación de vehículos pesados y vehículos livianos.	35
Figura 15. Mapa de material fino particulado $PM_{2.5}$ atmósfera inestable.	38
Figura 16. Mapa de material fino particulado $PM_{2.5}$ atmósfera estable.	40
Figura 17. Mapa de rutas críticas de exposición.	43

1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La preocupación de la Organización Mundial de la Salud por el alto índice de contaminación del aire por material particulado tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo demuestra que es uno de los mayores problemas actuales ya que es causante de varias defunciones así mismo como enfermedades, particularmente en el sistema respiratorio y cardiovascular. Uno de los principales inconvenientes es la determinación del umbral ya que presenta efectos adversos incluso en los niveles más bajos, además de que los efectos aumentan en función a la exposición (OMS, 2016).

El 98% de las ciudades en países de bajos y medianos ingresos con más de 100.000 habitantes no cumplen las directrices de calidad de aire de la OMS, además el 80% de la población que vive en ciudades que monitorean la calidad de aire, exceden los límites permisibles de la OMS (OMS, 2016).

En Quito la Secretaría de Ambiente es el ente regulatorio en lo que concierne a calidad del aire, en el informe final “Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio” se demuestra que la mayor causa de la contaminación atmosférica es el transporte (Secretaría de Ambiente, 2014). Dado que cada año ingresan nuevos vehículos al sector automotriz y la contaminación atmosférica está directamente vinculada al tráfico es conveniente la elaboración de mapas estratégicos de contaminación en los cuales se organice la información para poder identificar las rutas críticas que presenten mayor riesgo.

En Quito se realizan monitoreo de calidad de aire diariamente desde el año 2002, además se presentan informes de calidad de aire cada año y los resultados se comparan con la “Norma de Calidad del Aire Ambiente Ecuatoriana (NECA)” y con los límites establecidos por la “Organización Mundial de la Salud (OMS)”, los contaminantes criterio en Quito son: partículas sedimentables PM_{10} y $PM_{2.5}$ (material particulado con diámetro <10 y $2.5 \mu m$,

respectivamente); SO₂; CO; O₃; NO₂; mientras que el benceno, cadmio y el mercurio inorgánico son considerados como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o cancerígenos. Para este estudio se tomará como referencia el material particulado PM_{2.5} debido a que todas las concentraciones promedio anual de la última década exceden la normativa ecuatoriana (<15µg/m³) y por los efectos nocivos que produce en la salud (Secretaría de Ambiente , 2016).

Cada vez son más notorios los efectos de la contaminación atmosférica. El problema con el material fino particulado PM_{2.5} es la dificultad de controlarlo y la forma como interactúa con el medio ya que es producto de diferentes reacciones. La concentración de la masa se debe principalmente a las condiciones meteorológicas (Tai, Mickley y Jacob, 2010). Por lo tanto, es necesario conocer las condiciones climáticas ya que estas pueden influir positiva o negativamente en la dispersión, difusión o acumulación de contaminación.

Está demostrado que la mayor carga de contaminante que recibe una persona es al momento de trasladarse de un lugar a otro (BREATHE, 2014). Dependiendo del tipo de transporte se tiene una diferente exposición. Los principales medios de transporte motorizados son taxis, buses y sistemas de metrobús. En este tipo de transporte el principal factor a tomar en cuenta es la ventilación ya que la concentración disminuye drásticamente si cuenta con sistema de ventilación y las ventanas se encuentran cerradas (Li et al., 2015). En otras alternativas de transporte como la bicicleta o caminar tienen mayor influencia otros factores como la frecuencia respiratoria y el volumen tidal. Además, se encuentran directamente expuestos a altos niveles de contaminación, principalmente la bicicleta por la proximidad al tráfico vehicular, más aún cuando son vías compartidas (Apparicio, Carrier, Gelb, Séguin y Kinghamb, 2016). Está demostrado que no solo la concentración de contaminante en el aire tiene importancia en determinar la exposición, ya que al

realizar actividad física aumenta el volumen minuto respiratorio (VE), esto significa mayor dosis de contaminante inhalado (Int Panis et al., 2010).

La frecuencia respiratoria de una persona son las veces que respira en un minuto, una persona adulta normalmente respira de 12 a 20 veces por minuto (Priya, 2016). El volumen tidal normal de una persona por cada respiración es de 500 mL (7 mL/kg) (Hulbert, 2009, p. 33). Sin embargo, al realizar esfuerzo físico el número de respiraciones y el volumen tidal aumenta considerablemente. Al realizar ejercicio moderado este volumen puede llegar a los 80 L/min para satisfacer la demanda de oxígeno al aumentar la actividad metabólica (Cuenca, 2006). Es importante mencionar que la concentración de gases en la atmósfera es constante y está constituida aproximadamente por el 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y 1% de otros gases. La concentración de estos gases depende directamente de la altura y la presión barométrica, a medida que se asciende la presión ejercida por las moléculas de oxígeno es menor por lo tanto hay menos oxígeno disponible (Hurtado, Salazar y de la Peña, 2009). Debido a la altura Quito tiene 72% del oxígeno disponible al nivel del mar (Apex, 2010).

1.2. Objetivos

Objetivo general

Elaborar un mapa de contaminación a partir del levantamiento de información primaria en un determinado sector de la parroquia La Mariscal.

Objetivos específicos

- Realizar un análisis de concentraciones de material particulado fino $PM_{2.5}$ para determinar la tendencia de un día promedio en Quito.
- Monitorear la calidad de aire en la red vial del sector de La Mariscal mediante el medidor de partículas *Microdust Pro*.
- Elaborar un mapa de contaminación de material particulado fino $PM_{2.5}$ mediante el geo-procesamiento de la información con software GIS.

- Determinar las rutas críticas de exposición para la formulación de propuestas de ciclo vías.

1.3. Alcance

Este estudio pretende identificar la contaminación presente en una de las zonas más concurridas de Quito y el análisis de los resultados en función a los factores específicos de cada calle. Para esto se realizará monitoreo en función a características ambientales, en este caso a la influencia de la nubosidad.

1.4. Justificación

La contaminación atmosférica ha aumentado de forma exponencial en los últimos años. Una de las principales causas es el crecimiento poblacional y la demanda de recursos. En 2010 la población urbana era de 3.6 billones de personas y se estima que crecerá de forma acelerada para el 2050 a 5.2 billones de personas. Además, con el incremento de la contaminación del aire en lo que concierne a salud humana se estima que el número de muertes prematuras por contaminación de aire exterior aumentará de 2 millones en el 2010 a 4.3 millones en el 2050 (Lelieveld, Evans, Fnais, Giannadaki y Pozzer, 2015).

Es importante el análisis de $PM_{2.5}$ no solamente por el hecho de que excede la normativa en la ciudad, también hay que tener en cuenta que el diámetro de partícula es menor a $2.5 \mu m$. Las partículas más finas ingresan más profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular, además de que pueden ser tóxicas debido a que son producto de la combustión de hidrocarburos o de biomasa. También provienen de industrias cementeras o metalúrgicas por lo tanto pueden ser nitratos, sulfatos, metales u otros compuestos volátiles que podrían contener diferentes químicos que se adhieren a la superficie de éstas (Pope y Dockery, 2006).

Este trabajo también tiene por propósito evaluar la contaminación de las diferentes calles de La Mariscal e interpretar los datos recolectados que puedan servir de base para una futura implementación de ciclo vías.

2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Características de la ciudad

La ciudad de Quito se sitúa a 2800 msnm y al 2010 contaba con una población de 1`619.432 habitantes en la zona urbana de acuerdo al último censo. La ciudad está rodeada de una serie de elevaciones como son el Atacazo, el macizo del Pichincha que está conformado por tres elevaciones volcánicas el Guagua Pichincha, el Rucu Pichincha y el Cóndor Guachana. También limita con lomas como Itchimbía, Guanguiltagua y Puengasí, además en el centro se levanta el cerro Yavirac conocido como el Panecillo (Secretaría de Ambiente, 2016). Estas características topográficas forman una barrera natural que limitan la circulación del viento por lo que la ciudad regularmente experimenta fenómenos de inversión térmica (Brachtel et al., 2009).

Otra característica es que se encuentra al sur de la línea ecuatorial (0° 10'S) por lo tanto casi todo el año se tienen altos niveles de luminosidad que favorecen a reacciones fotoquímicas que promueve la formación de contaminantes secundarios (Páez Pérez, 2009).

2.2. Contaminación atmosférica

La atmósfera es el resultado de interacciones biológicas y geológicas que han tomado lugar durante millones de años hasta llegar a un equilibrio dinámico (Sendiña y Pérez, 2006). Está formada por una mezcla de gases que cumplen determinados ciclos y se encuentran en constante movimiento principalmente debido a la presión (Suay Belenguer, 2010). La tropósfera es la capa más cercana a la superficie y tiene una altura promedio de 12 km. En esta capa se producen los fenómenos meteorológicos, por ende, los principales procesos de transformación y dispersión de contaminantes (Midgley, Reuther y Williams, 2013). En sí la contaminación atmosférica es la presencia en el aire de

sustancias que lleguen a producir efectos nocivos en la naturaleza. Además, estas sustancias pueden ser naturales o antropogénicas (Borrell y Borrell, 2012). Sin embargo, desde la revolución industrial se han producido gases que son capaces de alterar el equilibrio de las propiedades y funciones que se mantienen actualmente en la atmósfera (García y Scherer, 2007).

2.3. Material particulado fino - PM_{2.5}.

El material particulado es un conjunto de sustancias en estado sólido o líquido que se encuentran en suspensión. Su fuente es diversa ya que pueden emitirse directamente (primarias) o por reacciones en la atmósfera (secundarias) por esto se los clasifica según el tamaño (Seinfeld y Pandis, 2016). PM_{2.5} es aquel que tiene un diámetro inferior a 2.5µm, lo constituyen cenizas, partículas orgánicas y partículas generadas a partir de otros contaminantes (Kondratyev, Ivlev, Krapivin y Varostos, 2006). Su peligrosidad radica en que al ser tan pequeños pueden recorrer largas distancias ya que su tiempo en suspensión es elevando, además son nocivos para la salud debido a que pueden ingresar más profundamente en el organismo (Tarlo, Cullinan y Nemery, 2011).

Los efectos hacia la salud que pueden causar dependen directamente de la concentración, la composición y el tamaño (Moussiopoulos, 2013). Existen partículas que es difícil determinar su origen natural, estas partículas suelen estar enriquecidas con metales pesados lo que les confiere un origen industrial, sin embargo, la principal fuente de estas partículas es asociada a procesos de combustión (Pallares, Jordan, Soriano, Vicente, Pardo y Sanfeliu, 2011).

2.3.1. Técnicas de medición PM 2.5

Existen diversas metodologías para la cuantificación de material particulado. Principalmente se las caracteriza en dos tipos, métodos de análisis discontinuos y métodos de análisis continuos (Amaral, Andrade, Martins y Pinheiro, 2015). El análisis de tipo discontinuo que se realiza es el método gravimétrico que consiste en usar un filtro en un captador de partículas, en el cual se calcula el peso inicial y el peso final con una balanza de precisión

además de que se controlan los parámetros de temperatura y humedad relativa (Beriro, Field y Cave, 2016). Entre los métodos continuos tenemos por nefelometría y por atenuación beta, este último aprobado por la EPA es un método continuo equivalente al gravimétrico (Hsu, Wang, Chow, Watson y Percy, 2016). El método fotométrico determina la concentración de partículas en función a la cantidad de luz dispersada del medio, para esto se emite un haz de luz que atraviesa la muestra hasta llegar al detector (Rojano, Pérez y Deluque, 2011). Los métodos de atenuación de radiación β actualmente son los más utilizados y como su nombre lo indica, consiste en calcular la atenuación gradual que sufren los rayos β al pasar por un filtro donde se deposita el material particulado (Allen, Sioutas, Koutrakis, Reiss, Lurmann y Robert, 2012).

2.4. Dispersión de contaminantes

La dispersión es un fenómeno natural en el que intervienen diversos factores para conseguir un proceso de autodepuración, en el actúan el transporte, mezcla, transformación química, física y depósito (seco y húmedo)(Lazaridis, 2010). Para este proceso influyen aparte de la composición y tamaño de las partículas el emisor, el receptor, y el difusor. El emisor pueden ser fuentes fijas o móviles y para cada una de estas puede ser un punto, una línea o un área. El receptor es el entorno y se clasifica en función a la susceptibilidad. Y el difusor que son los factores meteorológicos y geográficos (Gallego, González y Sánchez, 2012, pp. 94-97). La importancia de la dispersión radica en que a mayor difusión y transporte menor concentración de contaminantes en consecuencia se reduce el impacto negativo en la salud. Además, puede ser representada en modelos matemáticos con los que se puede interpretar la dinámica de los contaminantes para posteriormente resolverlos (Dimov, Fidanova y Lirkov, 2015).

La dispersión de los contaminantes en la atmósfera depende en gran medida del perfil de temperatura, es decir como varía la temperatura del aire a medida que aumenta la altitud, a este descenso de temperatura se lo conoce también como el perfil adiabático que puede ser seco o ideal cuando la temperatura

desciende 9,8 °C por cada kilómetro (1°C por cada 100m) o húmedo cuando descende 6,8 °C por kilómetro (0,6°C en los 100m) (Villarubia, 2012).

2.4.1. Estabilidad Atmosférica

La estabilidad es una propiedad de equilibrio, en función a la variación de la temperatura en la atmósfera se dan tres situaciones, estabilidad absoluta, inestabilidad absoluta y estabilidad condicional. La estabilidad absoluta se da cuando el gradiente ambiental es menor al gradiente adiabático seco por lo tanto cuando una masa de aire o contaminante intenta subir y se encuentra rodeado de masas de aire más calientes vuelve a descender (Zúñiga y Crespo, 2010, pp. 86-88). La inestabilidad atmosférica se da en cambio cuando el gradiente ambiental es mayor que el adiabático. En esta ocasión la masa de aire seguirá subiendo ya que el entorno va a estar más frío por lo tanto se producirá una mayor dispersión de contaminantes y la estabilidad condicional es un caso intermedio. En este caso la estabilidad depende de la saturación del aire, si por alguna razón se llega a pasar este punto se convertirá en una atmósfera inestable (Figueruelo y Marino, 2004). En general durante el día la atmósfera es inestable debido a que las masas de aire se calientan lo que aumenta la intensidad del viento en la superficie, al contrario, en las noches tiende a estabilizarse (Escudero y Escudero López, 2008)

2.4.2. Inversión térmica

La inversión térmica es una situación de alta estabilidad donde se impiden los movimientos verticales, se da cuando al aumentar la altura la temperatura también aumenta (Ahrens, 2006). Principalmente se da por dos razones; La inversión nocturna cuando las noches no presentan nubosidad que atrape la radiación de la tierra en consecuencia el aire al contacto con esta se torna más frío que el superior impidiendo que las masas de aire se eleven (Gabler, Petersen, Trapasso y Sack, 2008). Y la inversión anticiclónica se da por altas presiones a diferencia de la anterior. Esta ocurre a grandes altitudes, donde el aire se calienta por compresión debido al rápido descenso en un sistema de

alta presión. De esta forma el aire de las capas superiores termina siendo más alto que el de capas inferiores (Krishna y Manickam, 2017, pp. 360-361).

2.5. Ciclo vías

La red de transporte activo, es toda la infraestructura necesaria para la movilización de ciclistas (Ministerio de Desarrollo Humano Buenos Aires, 2009). Principalmente se clasifican en tres tipos; ciclo vías que van sobre las aceras compartiendo espacio con el peatón, las segundas son las que se encuentran en espacios verdes como parques y finalmente las que van sobre la calzada compartiendo carril con los automóviles (Moller, 2006). Una infraestructura adecuada debe cumplir ciertos parámetros para ser una red eficiente. Principalmente los parámetros a tomar en cuenta son el dimensionamiento de la infraestructura, accesibilidad, conectividad, intersecciones, señalización y pendiente (CROW, 2007). En Ecuador se establecen los requisitos para la señalización de ciclo vías en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004-2 (Agencia Nacional de Transito, 2011).

3. CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en Quito, dentro de la parroquia La Mariscal. La ciudad se encuentra a 2800msnm con temperaturas que van desde los 7°C hasta los 24°C con una temperatura media del aire de 14,9°C. Tiene una precipitación acumulada anual de 1126,7 milímetros y en promedio una humedad relativa entre el 67 y 80% (INAMHI, 2016).

La zona establecida para el monitoreo es el área delimitada por las calles Patria, 10 de Agosto, Colón y 6 de Diciembre como se puede apreciar en la figura 1, y tiene un área de 0.857 km².

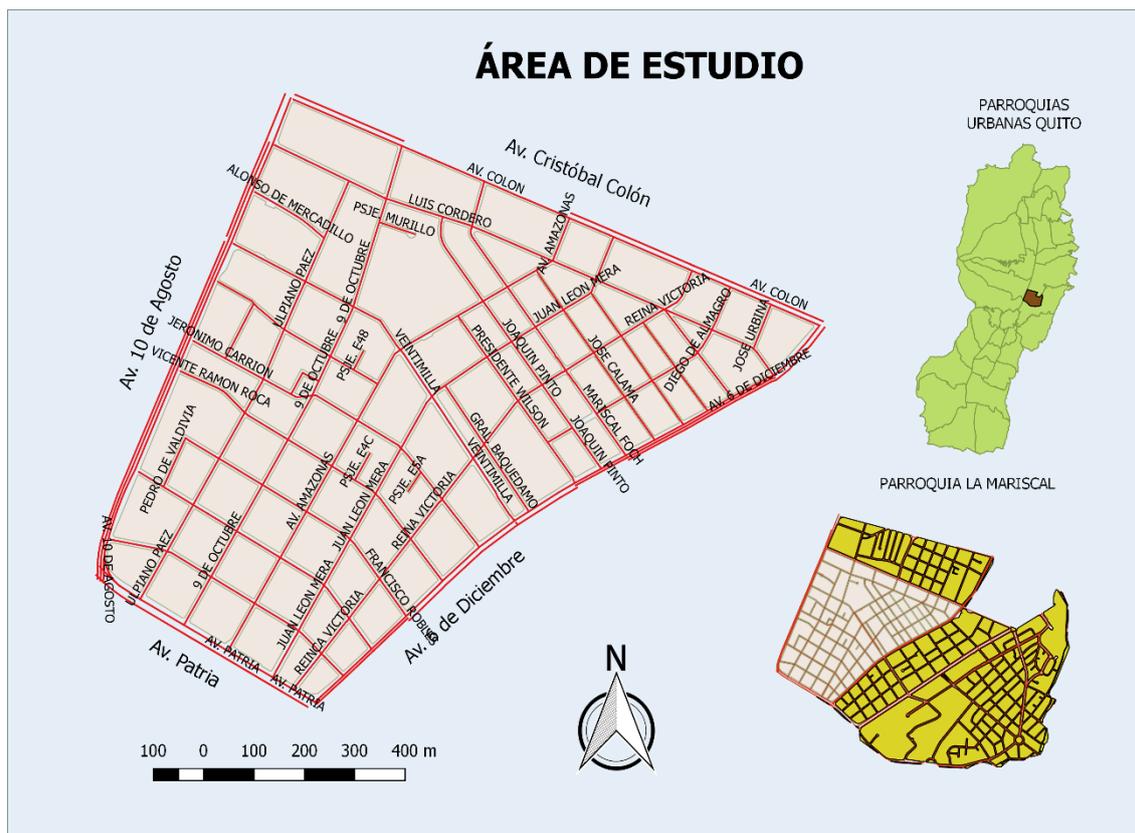


Figura 1. Delimitación del área de estudio

3.1.1. Características del sector

La Mariscal se encuentra en el Hipercentro de Quito ya que en el sector se concentra una gran cantidad de establecimientos públicos y privados que ofrecen diferentes servicios de comercio y de negocio. Por lo tanto, además de ofrecer distintas fuentes de empleo también es un atractivo turístico, de hecho, está declarada como una Zona Especial Turística (ZET) (Quito Turismo, 2013). La Mariscal con el paso de los años y debido a su ubicación y su crecimiento se ha ido modificando el uso de suelo. Actualmente dejó de ser una zona netamente residencial y pasó a ser de uso múltiple por lo que predominan el comercio y el entretenimiento (Mendizábal, 2007). A pesar que cuenta con algunos de los edificios más altos de la ciudad ubicados en calles principales como la Patria, Colón o Amazonas la mayoría de construcciones no superan los tres pisos de altura.

Además, debido a la proyección turística del sector el número de habitantes está en declive y ha dado paso al establecimiento de agencias de viaje, hoteles, cafeterías, lavanderías, librerías, restaurantes de toda índole y sitios de diversión en lo referente a turismo nacional y extranjero. También en el sector se encuentran algunas agencias públicas, oficinas privadas y lugares de comercio por lo tanto en el día la gente se dirige al sector a trabajar mientras que en la noche se apoderan los espacios de esparcimiento (Chauca, 2013).

3.2. Datos históricos de material particulado fino en la estación Belisario

La Secretaría de Ambiente cuenta con cinco estaciones automáticas de monitoreo distribuidas en Quito que determinan continuamente la concentración de $PM_{2.5}$. Carapungo, Cotocollao, Belisario, Centro y el Camal son el nombre homónimo de donde se encuentran ubicadas. De ellas las estaciones Belisario y Centro son las más cercanas a la zona de estudio, sin embargo, en función a los sectores que aportan mayor cantidad de $PM_{2.5}$ a cada estación se determinó que la parroquia se encuentra dentro del rango de Belisario figura 2.

La estación de monitoreo atmosférico Belisario está ubicada en la terraza del colegio San Gabriel Av. América N32-151 y Mariana de Jesús, las coordenadas geográficas son $78^{\circ}29'24''$ W, $0^{\circ}10'48''$ S y se encuentra a una altura de 2835msnm. Pertenece a la red automática de monitoreo (RAUTO) por lo tanto se miden las concentraciones de contaminantes los 365 días del año y se registran cada diez minutos. Estas estaciones fueron implementadas en el año 2003 sin embargo, desde enero del 2004 dispone de información válida que cumple con estándares internacionales y recomendaciones de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (CORPAIRE, 2009).

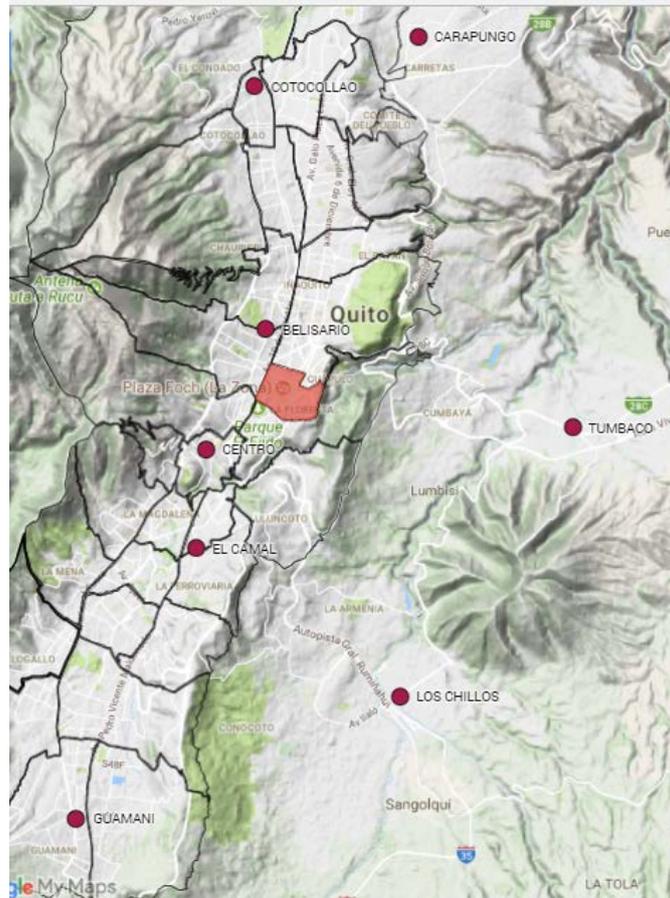


Figura 2. Ubicación estaciones de monitoreo automático, tomando como referencia a la parroquia La Mariscal.

Adaptado de Secretaría de Ambiente, 2017

3.2.1. Descripción del instrumento (*Thermo Scientific/ FH62C14*)

El equipo FH62C14 es fabricado por *Thermo Scientific* y es un instrumento de medición continua para determinar la concentración de aerosoles en tiempo real. Se basa en el principio de atenuación de rayos beta, las partículas son succionadas por una bomba y se depositan en una cinta filtro de fibra de vidrio. La cinta avanza automáticamente y pasa por una cámara donde se encuentra una fuente radiactiva de “C14” que emite radiación beta y esta es captada por el receptor como se puede ver en la figura 3. Para el cálculo de la masa de las partículas en el filtro se utiliza una formula, en la que la intensidad del emisor va a ser proporcional a la masa de las partículas (Thermo Fisher Scientific Inc, 2007).

Las características principales que posee el equipo para garantizar el cálculo de la concentración son, la medición del gas radón para evitar la interferencia de la radiación natural en el aire. Control de presión y temperatura en la cámara de medición para evitar que partículas volátiles causen errores, no es afectado por las vibraciones. El equipo puede almacenar los datos promedio de las concentraciones de media hora por un año y funciona en un rango de 0 a 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y de 0 a 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Thermo Fisher Scientific Inc, 2007).

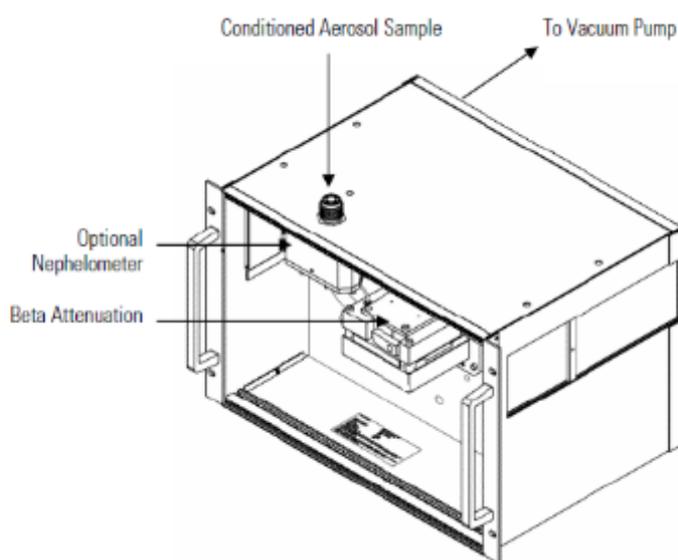


Figura 3. Flujo de las partículas en el equipo
Tomado de Thermo Fisher Scientific Inc, 2007

3.2.2 Tendencia de material particulado fino en la estación Belisario

Para el análisis de tendencia se utilizó el registro histórico de los promedios horarios de $\text{PM}_{2.5}$ de la estación Belisario. Estos datos son recopilados por la Secretaría de Ambiente y son de libre acceso. Como se puede observar en la *Figura 4*, a partir del año 2008 se notó una diferencia significativa en el promedio anual. Esto se debe a que en el año 2004 se creó la Corporación para el Mejoramiento del Aire en Quito (Corpaire) y se hizo obligatorio la revisión vehicular por lo tanto el estado de los vehículos que circulan por la ciudad mejoró notablemente (FLACSO, MAE, PNUMA, 2008). Además, en 2005 la calidad del combustible diésel Premium que es el que se distribuye en Quito

aumentó, el límite máximo de contenido de azufre se redujo de 7000ppm a 500ppm. Con esto las concentraciones promedio anual de dióxido de azufre y $PM_{2.5}$ se redujeron en un 30% y 15% respectivamente entre 2005 y 2008 (CORPAIRE, 2009). Otro hecho importante es que en 2009 la gasolina a nivel nacional pasó de tener 1500 ppm de azufre a 650 ppm. Sin embargo, una verdadera reducción de $PM_{2.5}$ se puede apreciar en el año 2011 como muestra la figura 4. Esto es debido a que en el 2010 se implementó la medida de Pico y Placa en Quito, con esta medida en función al último número de la placa se restringe la circulación un día a la semana en las horas pico. De esta forma dentro de la ciudad no podrán circular estos vehículos en la mañana de (07h00 a 09h30) y en la tarde de (16h00 a 19h30), esto con el fin de evitar congestiones de tránsito masivas (Agencia Metropolitana de Tránsito, 2010)

Si bien la contaminación de Quito se ha ido reduciendo gradualmente debido a la implementación de restricciones, hay que tomar en cuenta que el sector automotriz está en aumento. En 2010 se matricularon 1'226.349 vehículos mientras que en el año 2015 se matricularon 1'925.368 esto quiere decir que hubo un incremento del 57% (INEC, 2016). Otras causas que influyen en la concentración de $PM_{2.5}$ son las condiciones meteorológicas, el transporte de contaminantes, aerosoles secundarios y las emisiones locales y regionales (Liang et al., 2015).

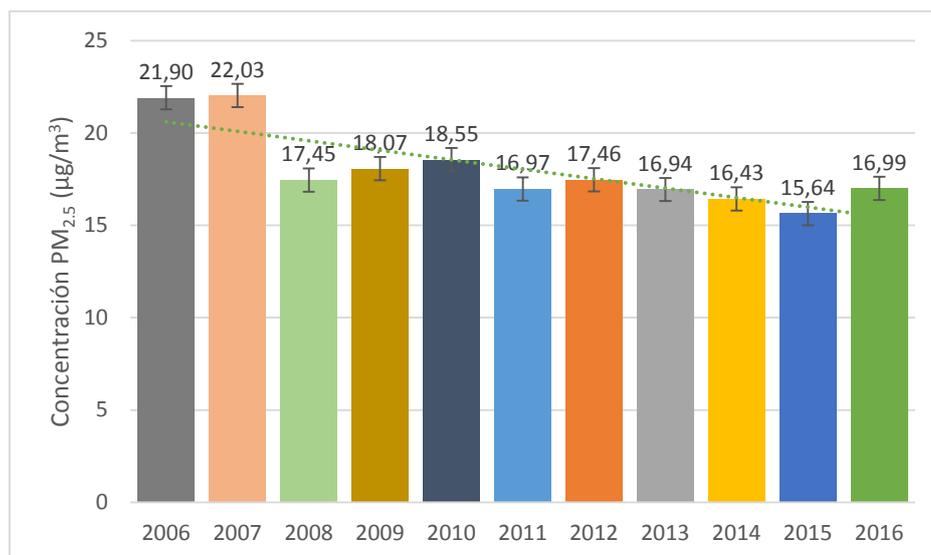


Figura 4. Tendencia del promedio anual de PM_{2.5} en la estación Belisario

3.2.3. Tendencia de PM_{2.5} de un día promedio en Quito.

La concentración de PM_{2.5} varía a lo largo del día, esto se debe a distintos factores como ya se ha mencionado. Sin embargo, existe una tendencia recurrente en donde en determinados intervalos horarios se encuentran los niveles más altos de contaminación. Estos picos suelen ser en la mañana y en la tarde, generalmente en las horas de mayor congestión vehicular y son más notorios dependiendo de la época del año (Fontes, Li, Barros y Zhao, 2017). En el caso particular de la estación Belisario se tomó todos los valores históricos horarios disponibles desde el 2006. De esta manera se obtuvo el promedio de cada día sin tomar en cuenta la época del año ya que por estar ubicado cerca de la línea ecuatorial no existen estaciones marcadas.

Como resultado se obtuvo que los picos de contaminación son a las ocho de la mañana (08h00) con una concentración promedio de 28.02 µg/m³ y a las seis de la tarde (18h00) con una concentración promedio de 18.83 µg/m³ como se demuestra en la figura 5. Estos resultados no se deben solamente al tráfico de esas horas ya que también se ve influenciada por la altura de la capa borde límite que ayuda a la dispersión de contaminantes (Stull, 2012, p. 1-4). Es

importante distinguir las horas pico de $PM_{2.5}$ ya que representan un verdadero peligro para la salud. Se estima que por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que se incremente en estas horas el riesgo de mortalidad aumenta un 0.9%, 1.2% en mortalidad cardiovascular y 0.7% por enfermedades respiratorias crónicas respectivamente (Lin et al., 2017).

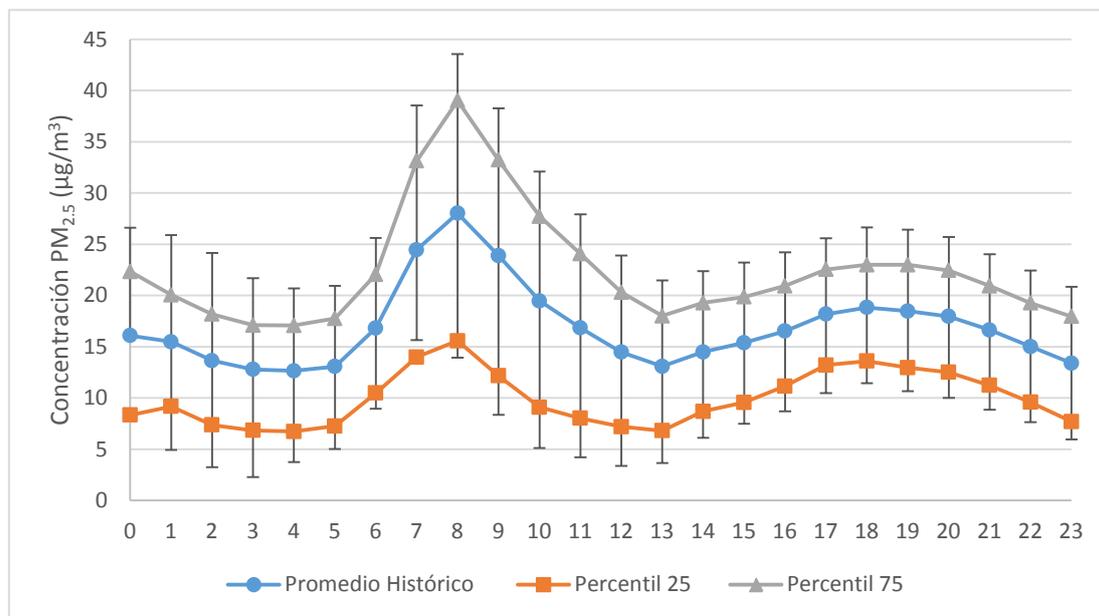


Figura 5. Tendencia de concentración horaria de $PM_{2.5}$ de un día promedio.

a) Se representa el valor promedio (azul) y los percentiles 25 (naranja) y 75 (gris).

3.3. Datos de tránsito

3.3.1. Movilidad

El sector cuenta con una alta afluencia de vehículos, al ser un sector céntrico es un paso obligatorio para algunos recorridos, por este mismo hecho el sector posee paradas estratégicas para poder movilizarse a distintos puntos de la ciudad aparte de que en las calles 6 de diciembre y 10 de agosto están los carriles exclusivos de Ecovía y Trolebús que forman parte del sistema integrado de transporte. Otro distintivo es que es atravesado por dos ciclo vías en la calle Amazonas y Jerónimo Carrión.

En Quito el 61,3% de los viajes se lo realiza en transporte público, el 23% en transporte privado, el 15,04% caminando y el 0.3% en bicicleta. De estos el

46,5% del transporte público y el 60% del privado se dirigen hacia el Hipercentro. Cabe mencionar que la zona de La Mariscal dispone de 2255 plazas de estacionamiento (Secretaría de Movilidad, 2014).

3.3.2. Flujo de tránsito

Como ya se mencionó al sector acuden vehículos de diferentes direcciones de la ciudad, la red vial de la parroquia está principalmente conformada por las cuatro avenidas que bordean la zona de estudio. Todas estas avenidas son de doble sentido y están provistas de semáforos en la mayoría de intersecciones, ya en las calles interiores existen algunas de importancia como la Amazonas, Veintimilla, Juan León Mera, Reina Victoria, Jorge Washington y Jerónimo Carrión que también están equipadas con semáforos en algunas de sus intersecciones. Existen también diversas plazas que concentran a los transeúntes e influye a la velocidad del tráfico como son la Plaza Foch, Plaza Gabriela Mistral, Plaza de Los Presidentes y la plaza que se forma en el Centro Comercial Espiral.

Por todas las intersecciones existentes siempre se encuentran vehículos en las avenidas sin embargo en las principales intersecciones generalmente en horas pico se encuentran agentes de tránsito que ayudan a que fluya el tráfico. A pesar de esto en las horas de la mañana la velocidad del tránsito es moderada y a medio día se torna más transcurrida es decir la velocidad del tránsito es menor, indistintamente del día entre semana como se ha demostrado en otros estudios (Cheng et al., 2015). En la noche a diferencia de otros sectores en las calles alrededor de la Plaza Foch el tránsito es sumamente lento por la afluencia de personas de miércoles a sábado. Los gráficos de tráfico habitual se pueden apreciar en la figura 6, fueron obtenidos de la plataforma Google Maps.

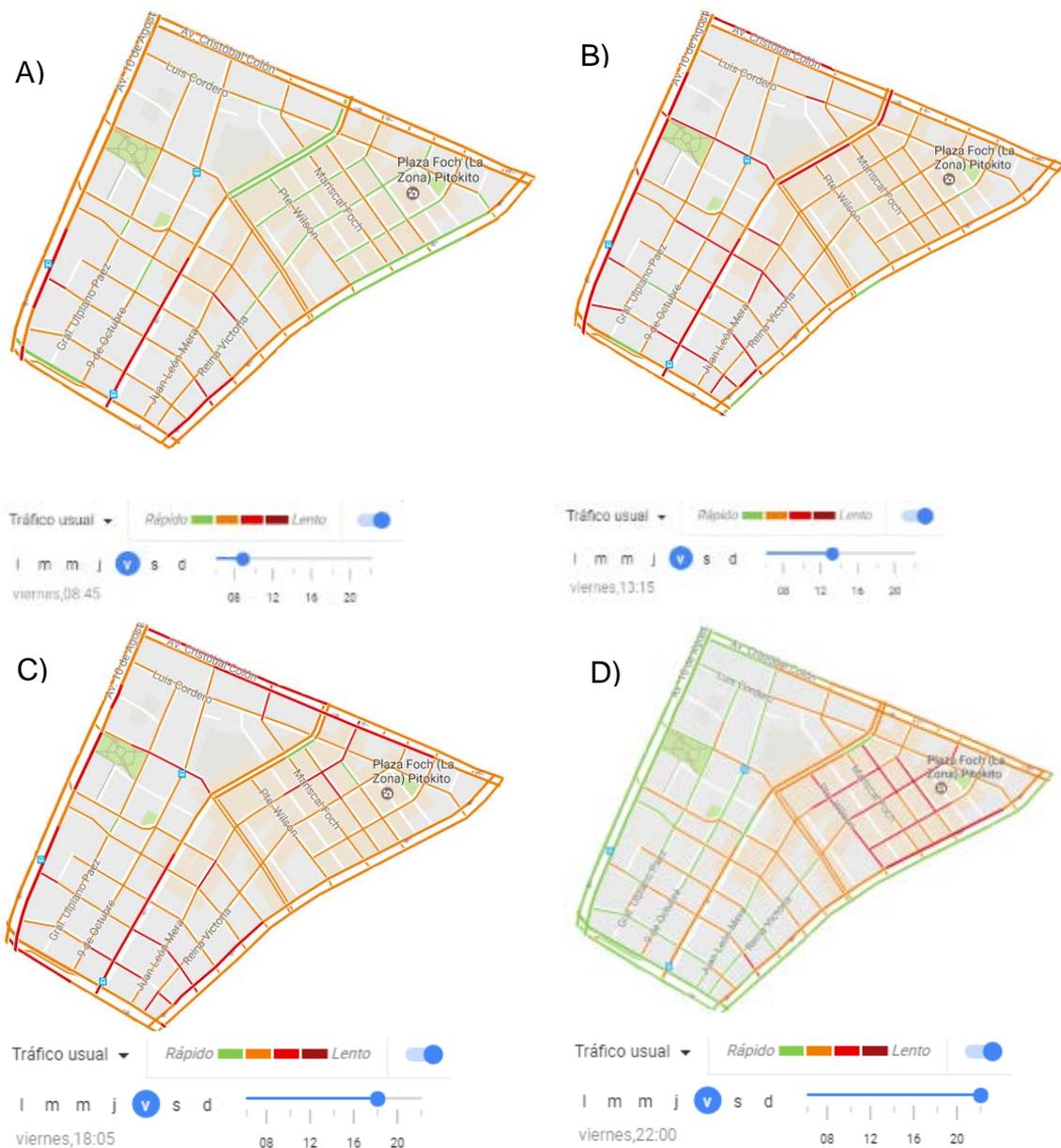


Figura 6. Velocidad de tráfico habitual de un día viernes.

Tomado de Google Maps.

- a) El color verde significa más rápido mientras que el rojo más lento. Las horas son: A) 08h45; B) 13h15; C) 18h05 y D) 22h00.

3.3.3. Conteo de tránsito vehicular

Para el conteo de tránsito vehicular se seleccionó las vías más representativas en función a parámetros de importancia o sus características. Dos de las avenidas más transcurridas que son la 6 de diciembre y la 10 de agosto no

fueron tomadas en cuenta debido al sistema especial de transporte que poseen. Las calles seleccionadas son Colon (P1), Juan León Mera (P2), Jerónimo Carrión (P3), 18 de Septiembre (P4), Patria (P5) y Amazonas (P6). Las calles Colon (P1), Juan León Mera (P2), Patria (P5) y Amazonas (P6) fueron seleccionadas por su extensión e importancia para el flujo vehicular. Mientras que la 18 de Septiembre (P4) tiene la característica de que a pesar de ser angosta posee una afluencia significativa de transporte público y por último la Jerónimo Carrión (P3) por contar con una ciclo vía. Para las avenidas Colon (P1) y Patria (P5) se contabilizó por separado el sentido del flujo vehicular ya que ambas calles son de doble sentido y así mismo son las de mayor envergadura del conjunto.

El punto de control en medida de lo posible fue ubicado en una parte céntrica de la sección y al tránsito se lo dividió en vehículos livianos, camiones, taxis, buses, motos y bicicletas. En cada calle se contabilizó por un lapso de una hora en desde las 09h00 hasta 13h00 para coincidir con el horario de monitoreo, las fracciones de cada componente se puede observar en la figura 7.

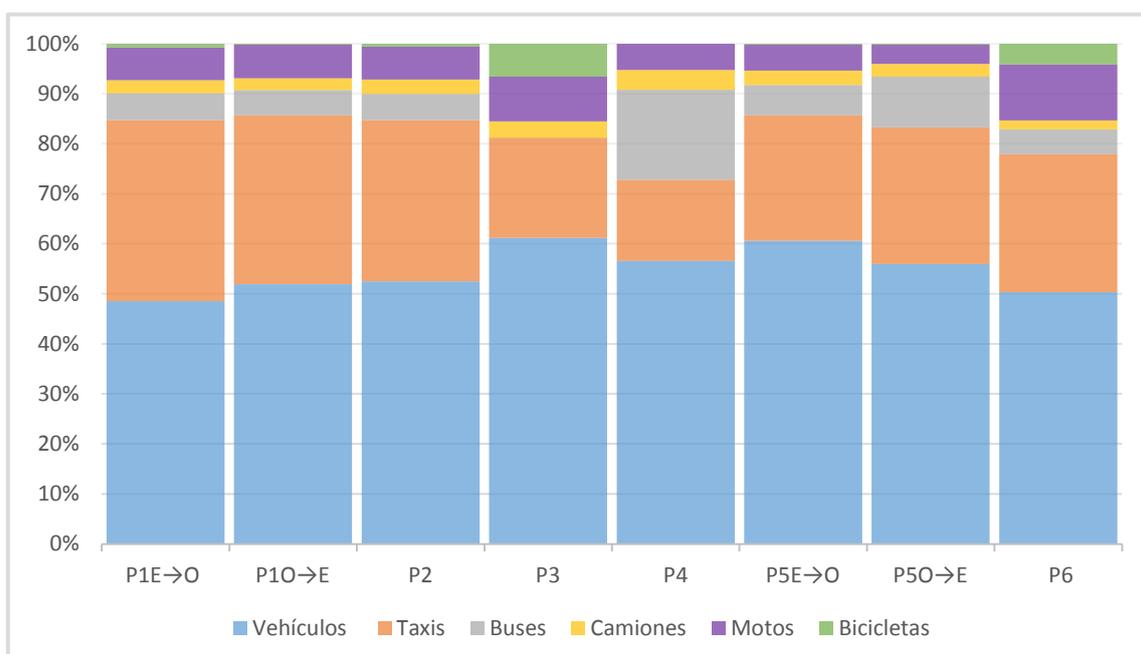


Figura 7. Composición de la flota vehicular en las diferentes calles de La Mariscal.

a) El conteo se efectuó en las calles: Colon (P1); Juan León Mera (P2); Jerónimo Carrión (P3); 18 de Septiembre (P4); Patria (P5) y Amazonas (P6).

3.4. Monitoreo

Los datos fueron recopilados a nivel de calle con el “Monitor de Polvo en Tiempo Real CEL-712 *Microdust Pro*”. El cual es un medidor portátil que trabaja en un rango de medición de 0,001 a 2500 mg/m³. El equipo funciona con el principio de dispersión de luz infrarroja y puede almacenar los datos para posteriormente poder analizarlas. Con esto es posible tomar medidas exactas y repetibles de la concentración de polvo en tiempo real (CASELLA).

Durante el recorrido el equipo se encontraba en la caja ambiental “206105D *Dust Detective*” la cual es específica del producto para realizar mediciones externas, se lo llevaba a una altura aproximada de un metro diez (110 cm). Además, contaba con un filtro para disgregar el paso de las partículas para así obtener solo la concentración de partículas menores a PM_{2.5}.

Para las mediciones se seleccionaron dos días con características meteorológicas diferentes, esto se lo hizo con la finalidad de cuantificar la influencia de la dispersión, se escogió un día soleado en la cual la atmósfera es inestable y otro día nublado donde se tiene una atmósfera estable.

3.4.1. Descripción del instrumento de medición *Microdust Pro*

El *Microdust Pro* es fabricado por CASELLA y es un instrumento que permite la medición directa de la concentración de aerosoles en tiempo real. El equipo tiene un rango de medición desde 1 µg/m³ hasta 2500 mg/m³, con diferentes opciones de selección. En este estudio se seleccionó el rango de menor escala que va desde 1 µg/m³ hasta 2500 µg/m³. La sensibilidad y calibración del equipo y de la sonda es en función a la norma ISO Fine 12103-1 A2 para muestreo de polvo y la duración del equipo depende de las baterías en este caso se utilizó baterías alcalinas que ofrecían una duración de alrededor de 6 horas. En la pantalla del equipo se puede observar la concentración y su representación gráfica durante el monitoreo. Cuenta con una sonda en la cual

se ubica el sensor y el filtro, y una bomba con la cual se puede regular el caudal de aire (CASELLA).

El principio de funcionamiento se basa en la dispersión de luz, para esto el equipo usa un haz modular de luz infrarroja el cual se proyecta a través de la cámara de medición que tiene un volumen de muestreo conocido. Al entrar en contacto con las partículas el haz de luz que tiene una longitud de onda de 880nm es dispersado en un ángulo de 12 a 20°, esto con la finalidad de reducir la incertidumbre del índice de refracción, color y forma de las partículas. La luz difractada es medida por el fotodetector como se puede observar en la figura 8. El resultado va a ser la cantidad de luz dispersada que es proporcional al a concentración total de aerosoles (CASELLA).

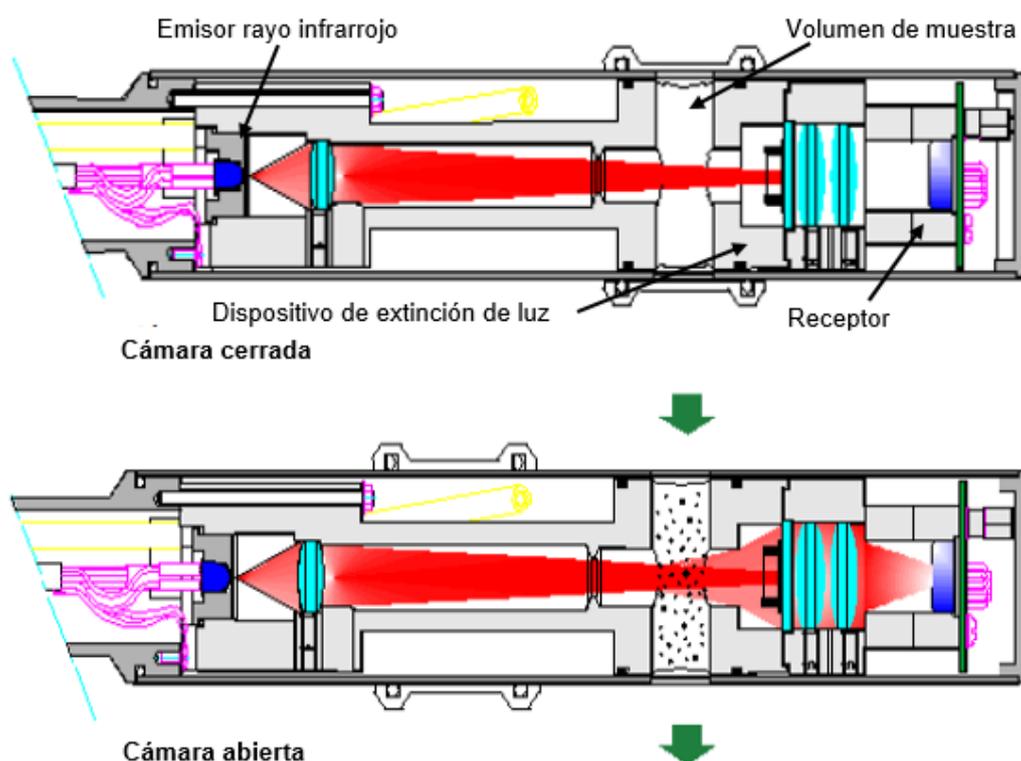


Figura 8. Componentes de la sonda de muestreo.

Adaptado de (Lukáčová & Badida, 2015)

- a) Principio de operación: Emisor rayo infrarrojo; volumen de muestra; dispositivo de extinción de luz y receptor.

3.4.2. Calibración del equipo

En los días de monitoreo para reducir la incertidumbre y evitar inconvenientes durante el monitoreo se siguieron una serie de pasos como se muestra en la figura 9.

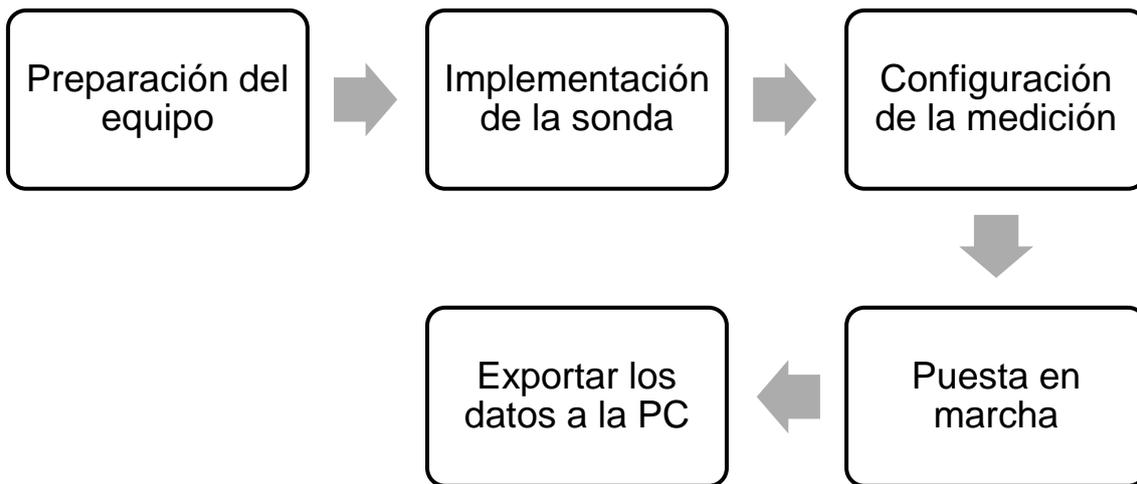


Figura 9. Diagrama del proceso de monitoreo PM_{2.5}

- Preparación del equipo, lo primero que se debe hacer es comprobar que el equipo se encuentre en buen estado y colocar las baterías correctamente. Cada día de monitoreo se utilizó baterías nuevas para asegurar que el equipo pueda funcionar ininterrumpidamente. Antes de realizar cualquier medición es necesario calibrar el equipo. El proceso consta de dos fases. La primera es configurar el cero, para esto se inyecta aire limpio al equipo utilizando un filtro y la bomba de mano. Se fija el valor cuando se estabilice la lectura. Una vez configurado el cero se establece la sensibilidad, para esto se inserta el filtro de calibración en la cámara de medición y se comprueba que la medida al estabilizarse es la correcta. Es importante la calibración ya que además

de limpiar la sonda de cualquier contaminación, se fija el rango para que el equipo proporcione medidas confiables.

- Implementación de la sonda; una vez conectada la sonda se procede a comprobar el filtro, el cual debe estar en perfecto estado y debe ser el idóneo para $PM_{2.5}$, el adaptador gravimétrico PUF (Filtro Espuma Poliuretano) debe estar encajado perfectamente utilizando los anillos "O" para evitar fugas de aire que puedan causar lecturas erróneas. Al insertar o extraer el filtro se debe realizar con extremo cuidado para evitar que el filtro se arrugue o se doble (CASELLA).

Antes de conectar la bomba, se tiene que verificar el estado de ésta junto con sus baterías, también es importante comprobar que no haya contaminantes y si el caudal que va a suministrar es el apropiado. La bomba suministra al equipo un caudal de aire de 3.5 l/min.

- Configuración de la medición, para el procesamiento de datos es necesario que se almacene la información en el equipo, para esto se configura el registro, en este caso se estableció que se guarde cada diez segundos un punto de medición. Cabe mencionar que previo a esto se configuró la hora para poder sincronizar los datos recopilados con los demás equipos.
- Puesta en marcha, una vez configurado y calibrado el equipo se procede a empezar la medición. Durante el recorrido se intentó evitar interferencias externas como vibraciones. También el recorrido se lo hizo a paso lento, esto para proporcionar al equipo tiempo suficiente para la medición. Es importante cada cierto tiempo verificar que todo esté funcionando correctamente y las conexiones sigan firmes, al finalizar el recorrido se detiene la recolección de datos y se verifica que estén almacenados.

- Para poder utilizar los datos, se los extrae usando dos software. El primero que es propio de la empresa, es el Casella Insight. Este programa descarga los datos del equipo a la computadora; sin embargo, para poder transformar estos datos a un archivo legible y exportar a los diferentes programas se utiliza el Serial Port Writer Reader, con esto la información ya puede ser almacenada en formato CSV.

3.4.3. Sistema de posicionamiento global

Para poder integrar los valores de las mediciones a un mapa es necesario obtener las coordenadas geográficas, en este caso se utilizó el GPS modelo Garmin eTrex 20. Este GPS de mano tiene una duración de 25 horas con dos pilas AA. Esta serie es capaz de rastrear satélites GPS y GLONASS con esto puede receptor la información un 20% más rápido; además, tiene la capacidad de fijar la información con 24 satélites más que solo usando GPS y posee 1.7GB de almacenamiento por lo tanto es posible almacenar información detallada de largas distancias (Garmin Ltd, 2011).

Para descargar los datos del GPS se utilizó el *GPS Track Editor* que es un software libre que lee los archivos con formato GPX. Además, brinda diferentes opciones para el análisis de datos, incluso permite reestablecer la frecuencia en que se necesitan los datos, determinar el recorrido, la secuencia, la dirección, tiempo, coordenadas y al final se puede exportar a formato CSV.

3.4.4. Meteorología

Durante el recorrido en determinados puntos se recolecto información de la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento para esto se utilizó el anemómetro "AIRFLOW TA440". El principio de funcionamiento es el sensor de alambre caliente, se emite una corriente determinada a través del alambre y se calcula la variación de la temperatura en función a otro sensor de referencia. También se recopiló la información de humedad relativa y temperatura de la estación Belisario que tiene los promedios horarios. En la estación las

mediciones se las realiza con dos equipos, *MetOne/382* y *Thies Clima/5.4032.007*, los parámetros meteorológicos son validados utilizando la estación meteorológica Vaisala/MAWS100.

3.4.5. Medición durante el día soleado (atmósfera inestable o neutra)

El día lunes 20 de febrero del 2017 se realizó el primero monitoreo. Este consistió en recorrer la zona establecida junto con el *Microdust Pro*, el GPS y el anemómetro. Desde las ocho y media de la mañana (08h30) se empezó a calibrar los equipos y a comprobar que se encuentren en buen estado. La primera acción que se realizó fue sincronizar la hora del equipo de medición y el GPS para poder posteriormente anclar los datos a una localización geográfica tal como se lo realiza en otros estudios (Berghmans, Bleux, Int Panis, Mishra, Torfs y Van Poppel, 2009) y (Pilla y Broderick, 2015). El recorrido inició a las nueve de la mañana (09h00) desde la Av. Amazonas y Jorge Washington y se recorrió primero el borde para luego recorrer las calles del interior (*Figura 1*). En total se recorrió 17.32 km y a pesar de que se intentó abarcar en su totalidad, por la distribución del sector existieron pequeños tramos que no fueron recorridos. El punto final fue en la Plaza Gabriela Mistral a las trece horas con cuarenta minutos (13h40). Es decir, el recorrido duró casi cinco horas y la velocidad promedio fue de 2 km/h. Los datos recopilados en campo por el anemómetro mostraron una temperatura promedio de 20°C y una humedad relativa de 53%, mientras que el promedio de Belisario para esas horas fue de 59%. Cabe mencionar que también se midió la velocidad del viento sin embargo no fue significativa ya que el valor más alto obtenido fue de 2.5 m/s.

3.4.6. Medición durante el día nublado (atmósfera estable)

El día miércoles 22 de febrero del 2017 se realizó el segundo monitoreo. En este caso el recorrido empezó en la Av. Shyris y Rusia a las ocho y treinta de la mañana (08h30), esto con el objetivo de medir la contaminación causada por el tráfico en una de las calles más concurridas en horas pico. A pesar de esto a las nueve de la mañana (09h00) se empezó a recorrer la zona de estudio.

Como el monitoreo anterior lo primero fue bordear el área para luego recorrer el interior. En esta ocasión se intentó tomar en cuenta algunos tramos faltantes el primer día sin embargo quedaron algunos trechos sin recorrer. Al final se recorrieron 19,10 km y el punto final fue en la Juan León Mera y Luis Cordero a las trece horas con 22 minutos (13h22). Los datos meteorológicos en campo indican que la temperatura promedio fue de 12.1°C y la humedad relativa de 84%, mientras que en la estación Belisario se registró una humedad relativa de 90%, la peculiaridad de este día fue que todo el tiempo permaneció nublado y a partir de las once de la mañana (11h00) empezó a caer una ligera llovizna. Además de los grandes hoteles y los restaurantes situados en la calle no se determinó otro factor que pueda influenciar en las concentraciones.

3.5. Herramientas para el análisis de datos

Para empezar los primeros software que se utilizaron fueron para descargar la información y transformarla a un formato más práctico. En este caso a Valores Separados por Comas (CSV) con *Casella Insight*, *Serial Port Writer Reader* y *GPS Track Editor* que ya se los mencionó anteriormente. Para el análisis de datos, estadística básica y obtención de gráficos se utilizó Microsoft Excel y como complemento para constatar la resultada se utilizó IBM SPSS que es un software estadístico que en este caso se utilizó principalmente para correlaciones y modelos de regresión lineal.

Finalmente, para elaborar el mapa se utilizó un software GIS (Sistemas de Información Geográfica) que son herramientas para capturar, almacenar, analizar, manejar y presentar información vinculada a ubicaciones geográficas (Bhat, Shah y Ahmad, 2011). En este caso se utilizó el Qgis que es un software libre con el cual se puede manejar archivos con formato raster o vectorial y cuenta con distintas herramientas para su análisis o geoprocesamiento así mismo para presentar información y anclarla a un mapa.

4. CAPITULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Validación de resultados

La Secretaría de Ambiente dentro de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) cuenta con la Red Automática. Específicamente para $PM_{2.5}$ utiliza el equipo *Thermo Scientific* modelo FH62C14 (EPA Designation No. EQPM-1102-150) el cual usa el método de atenuación de rayos beta aprobado por la EPA. Dado que estos equipos son utilizados por el ente regulador ecuatoriano además de contar con pruebas de validación y certificación internacional se realizó una correlación entre el equipo de la estación Belisario y el *Microdust Pro*. Estas pruebas se efectuaron en días con características similares a los del monitoreo.

En la figura 10, se puede observar la distancia de la estación Belisario hasta la zona de estudio, tiene una separación de máximo 2 km en línea recta. La información que se reporta es presentada en función a la Normativa Ecuatoriana de Calidad de Aire para 24 horas; sin embargo, es una medición general del sector para tener una idea de la exposición diaria. Por lo tanto, se encuentra alejada a más 50 metros de la calzada y a una altura de unos 15 metros sobre el nivel de la calle. También el parque arqueológico Rumipamba se encuentra a pocos metros de la estación y la principal fuente de contaminación puede ser el tránsito de la Av. América.

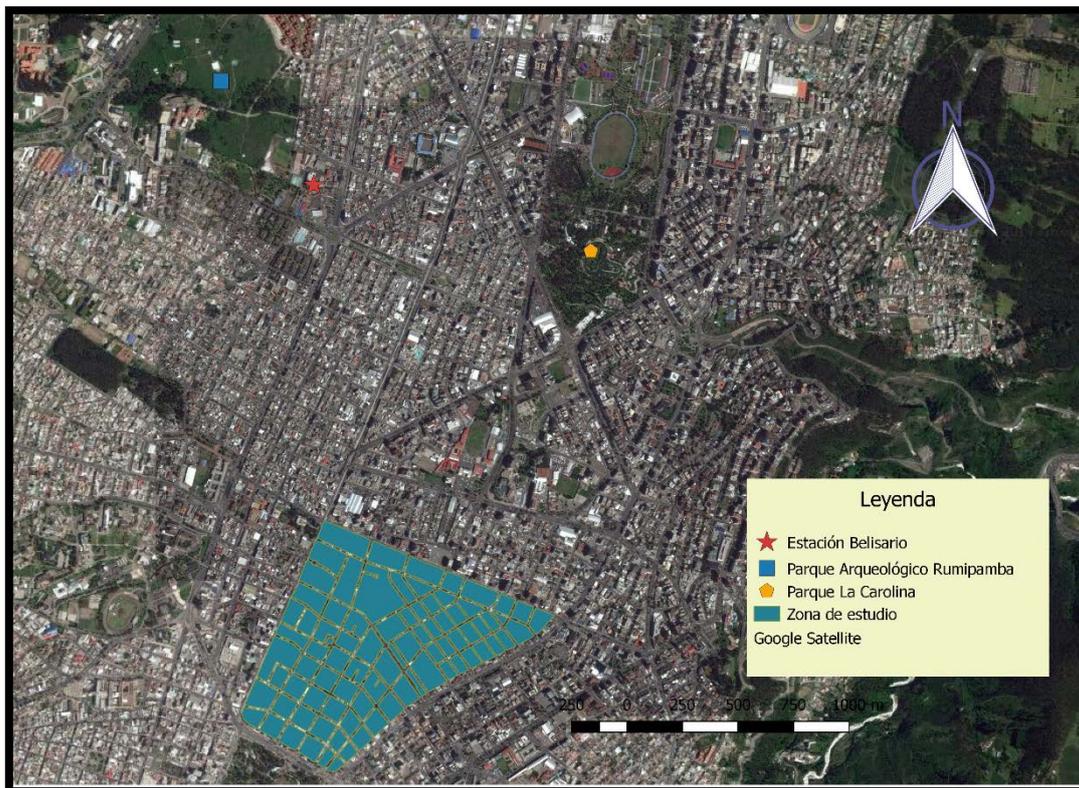


Figura 10. Ubicación de la estación Belisario en relación con la zona de estudio
Adapado de Google satélite

4.1.1. Correlación día soleado

Para validar el equipo utilizado en este estudio, el día 16 de noviembre del 2016 se instaló el equipo *Microdust Pro* en la terraza de la estación Belisario junto al *Thermo Scientific*. La medición empezó a las nueve y diez de la mañana (09h10) hasta las tres y media de la tarde (15h30). Para el análisis de resultados se realizó promedios horarios para coincidir con los promedios proporcionados por la Secretaría de Ambiente, además se representa la desviación estándar. Como se puede ver en la figura 11, existe una buena correlación en los datos de hecho todos los datos de la estación Belisario se encuentran dentro de la desviación estándar incluso algunos valores son casi exactos. Hay que considerar que en días soleados la presencia de nubes es menor, por lo tanto, R tiende a ser mucho mayor ya que no existe la interferencia de humidificación de aerosoles cerca de las nubes, absorción o

dispersión de la luz por las nubes, reduciendo así efectos adversos que produzcan mediciones erróneas (Guo et al., 2017).

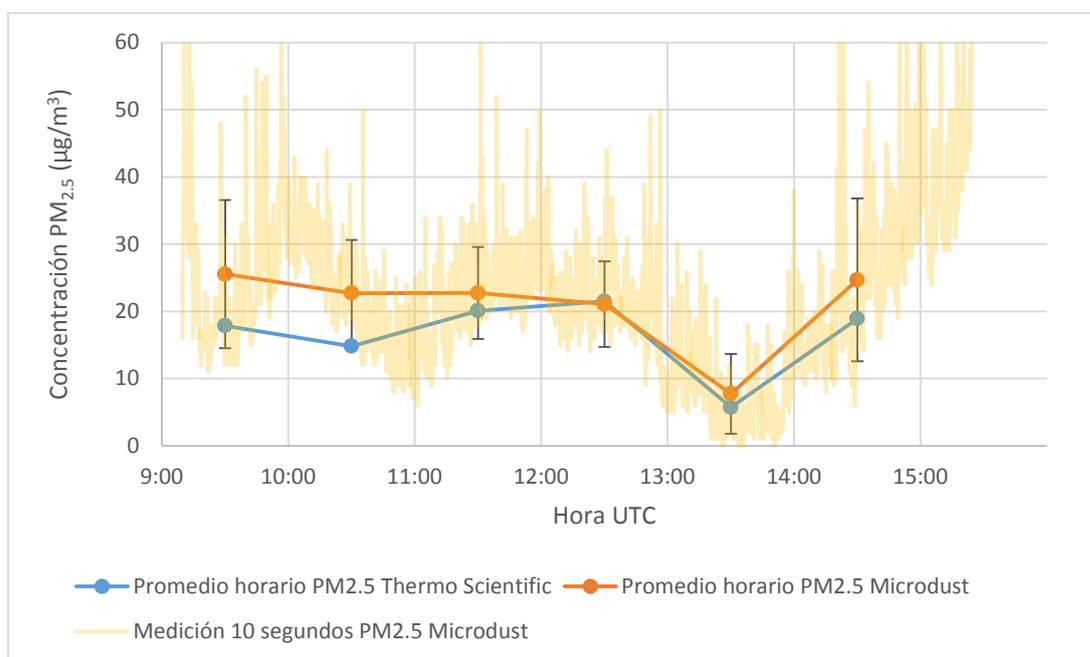


Figura 11. Correlación Microdust Pro y Thermo Scientific en un día soleado.

4.1.2. Correlación día nublado

El día 31 de marzo del 2017 en la estación Belisario se colocó el equipo *Microdust Pro* en la terraza junto a los demás dispositivos de la estación de monitoreo. La medición se realizó desde las once de la mañana (11h00) hasta las cinco de la tarde (17h00). Para el análisis de resultados se realizó en primer lugar los promedios horarios. Pero al no existir una buena correlación como se muestra en la figura 12, se decidió realizar también un promedio cada diez minutos para observar de mejor manera que ocurre con la concentración de $PM_{2.5}$; además, se relacionó con la temperatura y humedad relativa. Esto fue importante ya que como se observa en la figura 12, cuando existe un cambio representativo de éstos parámetros la brecha entre las dos gráficas aumenta. Esto puede deberse a que el *Microdust Pro* puede tener interferencias con las partículas de vapor, a pesar de esto los resultados si tienen una tendencia similar.

Con la correlación se pretende demostrar que tan viable es utilizar el equipo *Microdust Pro* para determinar la contaminación exterior de material particulado fino. Debido a que el *Thermo Scientific* es un equipo de alta precisión avalado internacionalmente y utilizado a gran escala en países como China (Park, Ju, Lee y Joo, 2016) o Corea (Kim et al., 2016), se espera que presente valores coherentes y comparables a diferentes escalas. Mientras que el equipo *Microdust Pro* es principalmente utilizado para contaminación interior en ambientes laborales (Lukáčová y Badida, 2015). No fue posible aplicar una corrección a los datos, ya que como se muestra en la figura 12, los datos no presentan una variación constante, si bien al parecer es inducida por la variación de la humedad en algunos puntos es positiva mientras que en otros es negativa. Además, se notaron algunas inconsistencias en los puntos, ya que algunos valores parecen desplazados, es decir los picos de contaminación no coinciden. Es posible que el problema sea el tiempo ya que no se puede verificar la metodología que la Secretaría de Ambiente utiliza para proporcionar los valores promedios. Por lo tanto, se considera que la utilización del equipo *Microdust Pro* en condiciones de humedad relativa elevada no es viable.

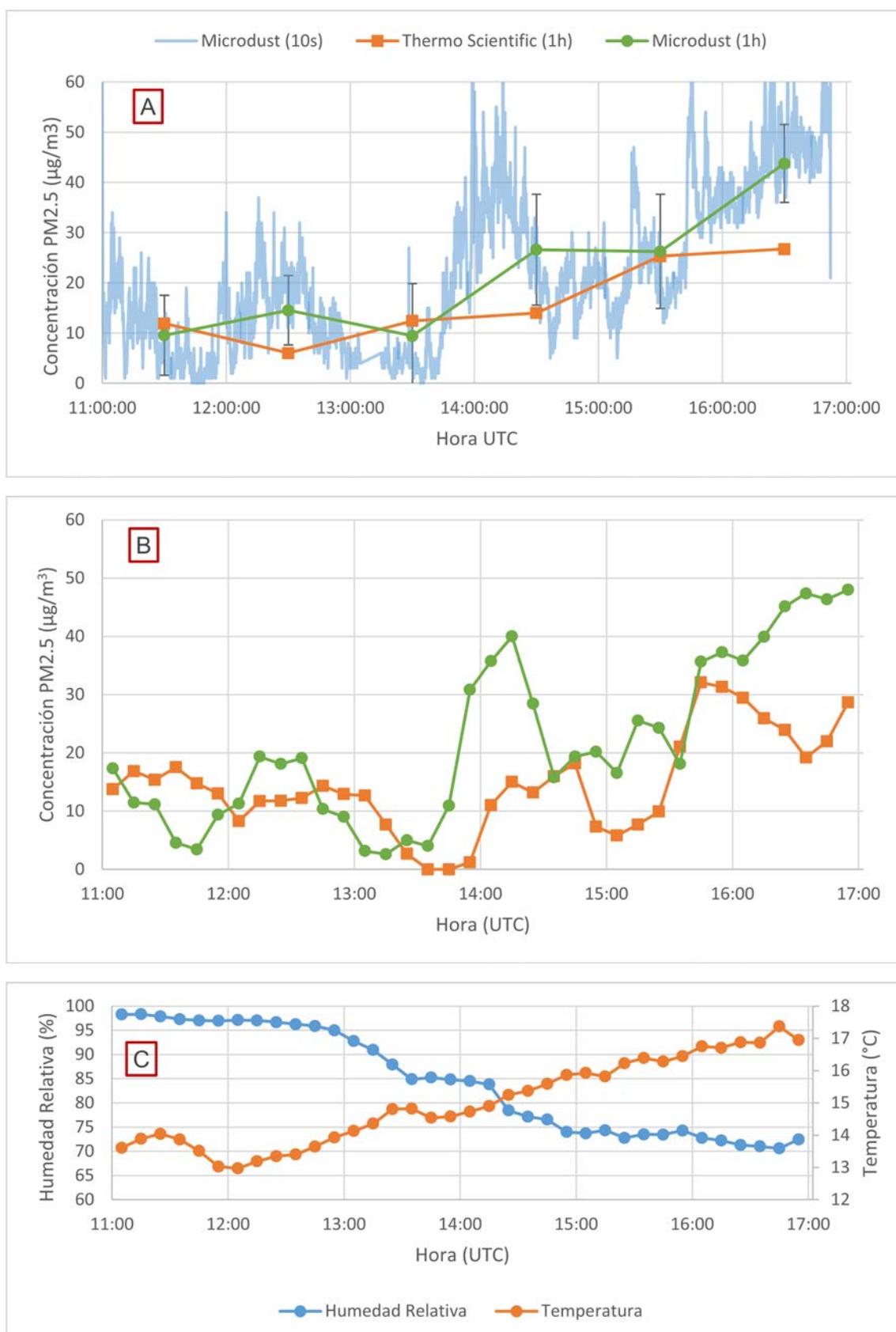


Figura 12. Correlación Microdust Pro (verde) y Thermo Scientific (tomate) en un día nublado. A) Promedios horarios; B) Promedios cada diez minutos; C) Humedad Relativa y Temperatura.

4.1.3. Coeficiente de correlación

Al comparar las correlaciones en el día soleado y nublado figura 13, los resultados indican que el día soleado la correlación entre los dos equipos es significativa ya que el coeficiente de correlación (R) fue 0.854 por lo tanto los resultados emitidos por el *Microdust Pro* si guardan relación con el *Thermo Scientific*. Mientras que en el día nublado (R) fue 0.79 esto indica que tiene correlación, sin embargo, esto se debe a que para el análisis se excluyeron los valores atípicos, en las mediciones de diez segundos. Se siguió la metodología clásica de puntuaciones Z, que consiste en determinar los valores atípicos como se indica en la ecuación 1, en donde los valores a excluir serán los que superen 2.5 (Rousseeuw y Hubert, 2011). Tener valores atípicos es normal en mediciones meteorológicas y de contaminación. Esto se lo realizó para reducir el impacto de éstos valores, que pueden ser el resultado de algún fallo del equipo (Rohde y Muller, 2015). También puede ser debido a alguna actividad que se haya realizado en los alrededores del equipo, por las personas dentro del establecimiento. En total se excluyeron 40 puntos de los 2176.

Al analizar la variación de concentración en el día nublado entre los dos equipos, se obtuvo una diferencia entre valores promedios horarios de hasta $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En parte es debido a que el equipo FH62C14 regula la temperatura de la muestra, al trabajar a 50°C la parte volátil y semi-volátil de los aerosoles no es tomada en cuenta por lo tanto al determinar solo la concentración no volátil obtiene lecturas menores (Cheng et al, 2015). Mientras que estas condiciones de alta humedad pueden influir en que el *Microdust Pro* sobredimensione la concentración de PM ya que los rayos infrarrojos pueden ser dispersados por la condensación del agua. En la tabla 1, se encuentra la humedad relativa (HR) de los días de medición en la estación Belisario. En el día que se obtuvo mejor correlación los valores son menores a 60% de HR por lo tanto mientras menor sea la humedad relativa mejor va a ser la correlación entre los equipos ya que el *Thermo Scientific* puede reducir el error por condensación y volatilización controlando la temperatura y humedad relativa (Intra, Yawoott y Sampattagul, 2016).

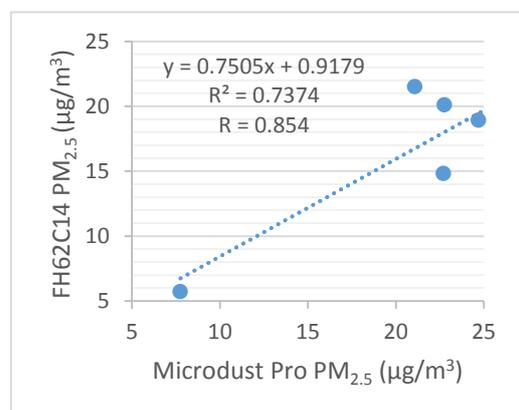
$$\text{Puntuación } Z = \frac{x (\text{punto a transformar}) - \mu (\text{media de la distribución})}{\sigma (\text{desviación estandar de la distribución})} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Tabla 1.

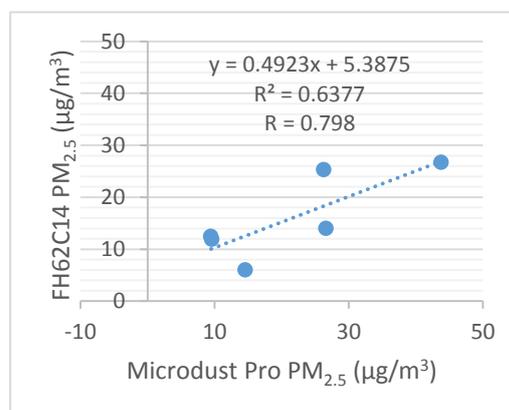
Humedad relativa de la estación Belisario. En los días de medición para correlación y en campo.

Días de correlación			Días de medición in situ		
Humedad relativa (HR%)			Humedad relativa (HR%)		
Hora (UTC)	Día Soleado	Día Nublado	Hora (UTC)	Día Soleado	Día Nublado
10:00	50.33	.			
11:00	48.55	97.79	09:00	67.37	96.84
12:00	45.23	96.66	10:00	58.63	92.32
13:00	44.89	89.46	11:00	55.53	88.18
14:00	47.64	80.89	12:00	53.33	85.04
15:00	52.29	73.63	13:00	59.71	86.53
16:00	.	72.04	14:00	60.16	92.55
17:00	.	77.53			

Nota: Se presentan los valores de las respectivas horas de medición de cada día



Día Soleado



Día Nublado

Figura 13. Coeficiente de correlación. Correlación de los promedios horarios de PM_{2.5} entre Microdust Pro y Thermo Scientific FH6214 en un día soleado y nublado.

4.2. Influencia del tráfico en la concentración de $PM_{2.5}$

En el Distrito Metropolitano de Quito la mayor fuente de contaminación es el tráfico, en el año 2011 se produjeron 1.337 toneladas de $PM_{2.5}$, de las cuales el 62,2% fue producido por fuentes móviles (Secretaría de Ambiente, 2014). Una de las causas es que por la elevada altitud y la cantidad de oxígeno a menudo los conductores aumentan el flujo de combustible al motor para aumentar la potencia (Bracht et al., 2009). También la tecnología es otro factor determinante ya que en Ecuador el estándar de emisiones para el transporte es menor a EURO 3, lo que corresponde a los estándares de 1994 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) (PCFV, 2015). Esto es debido a que la eficiencia de nuevas tecnologías es dramáticamente reducida por el contenido de azufre en el combustible, por lo tanto, en el país se utiliza EURO 2 que corresponde para un combustible con 500 ppm de azufre o menor (UNEP - PCFV, 2016).

En este estudio se quiere analizar la influencia del flujo vehicular y el tipo de transporte en la concentración de $PM_{2.5}$ en distintas calles de La Mariscal. Para esto se seleccionó los tramos de cada calle del monitoreo in situ y se clasificó todas las mediciones realizadas para así obtener la concentración promedio de las calles. Esto se realizó con los dos días de mediciones. Del conteo de tránsito vehicular se clasificó en dos categorías en función al tipo de combustible. Los vehículos particulares y taxis conforman los vehículos livianos mientras que los buses y camiones se encuentran en los vehículos pesados, esto ya que los vehículos a diésel emiten material particulado fino en mayor magnitud (Pant y Harrison, 2013).

4.2.1. Correlación día soleado

En la figura 14, se representa el número de vehículos en función a la concentración de $PM_{2.5}$ en cada calle. Se obtuvo un R^2 de 0.67 y 0.82 para vehículos livianos y pesados respectivamente. Esto indica que tienen una correlación significativa ya que al menos para vehículos pesados se demuestra que existe una linealidad a mayor número de automotores mayor la

contaminación con excepción de algunas calles, como es la 18 de Septiembre, por la cual transita un número considerable de vehículos pesados a pesar de ser una calle angosta. Además, la velocidad de circulación es relativamente lenta en comparación a las calles de los alrededores. Esto más el hecho de que hay dos filas de estacionamientos en los bordes influyen para que exista una mayor concentración y menos dispersión del contaminante, puesto que al momento de acelerar se emite mayor cantidad de PM (Klems, Pennington, Zordan, y Johnston, 2010).

Otro factor importante a analizar son las construcciones que bordean las avenidas, este hecho puede que haya influido a que, en unas calles, principalmente en las más angostas se acumule la contaminación. Esto debido a que en calles donde los edificios limitan la dispersión de contaminantes emitidos por los vehículos estos tienden a concentrarse, especialmente a una altura de 1.5 a 4 m donde se encuentran las concentraciones máximas (Kumar, Fennell, David y Britter, 2008).

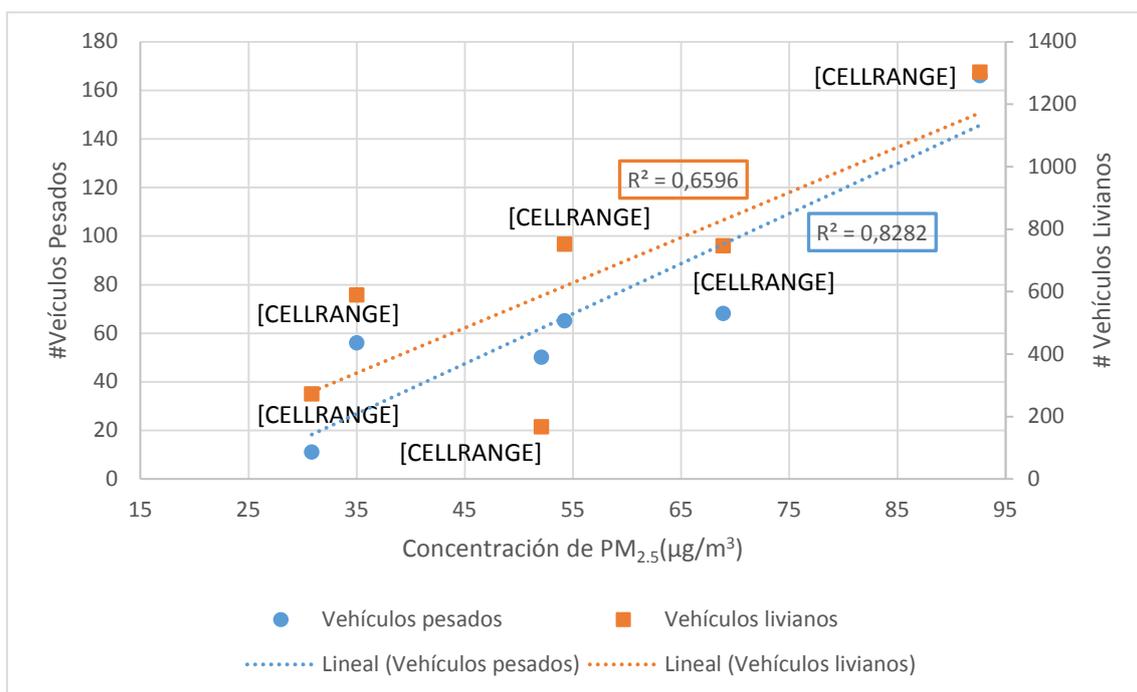


Figura 14. Correlación de vehículos pesados y vehículos livianos en función a la concentración de $PM_{2.5}$ en un día soleado en las calles de La Mariscal.

4.3. Mapa de contaminación PM_{2.5}

El mapa de contaminación, es una representación gráfica de la concentración de las partículas sobrepuestas en un mapa con sus coordenadas geográficas. Con este mapa se puede identificar los puntos críticos de contaminación y tener una referencia de la calidad de aire de cada trayecto. Para elaborar los mapas se tomó como base la cartografía sectorial del Ecuador. Se sobrepuso las capas del shapefile creado a partir de la unión de las mediciones y las coordenadas geográficas. Para poder tener una referencia se clasificó la concentración de PM_{2.5} en función a los límites máximo permisibles en 24 horas; el primer rango corresponde la OMS (25 µg/m³), el segundo rango a la Normativa Ecuatoriana de Calidad de Aire (50 µg/m³), para el tercer rango llega hasta 100 µg/m³ que ya representa un riesgo grave y el ultimo rango fue hasta la concentración máxima obtenida. Debido a que el equipo emitía un punto de medición cada diez segundos, se utilizó el promedio acumulado de un minuto para representar en el mapa. También se realizó una interpolación de los puntos de medición con kriging ordinario. Este método geo-estadístico utiliza los puntos vecinos para la estimación, calcula implícitamente la media en un vecindario en movimiento y es el más recomendado para problemas ambientales (Wackernagel, 2003). Esto se realizó para tener una idea de cómo se distribuye la contaminación en el sector.

4.3.1. Mapa de PM_{2.5} (día soleado)

Durante todo el recorrido se obtuvieron en total 1635 puntos, el promedio fue de 50,5 µg/m³, y el valor de los cuartiles fue de 23, 32 y 48 µg/m³ respectivamente, por ende, el 75% de los valores fueron menores o iguales a 48 µg/m³. Se obtuvieron 116 puntos que superan los 100 µg/m³ y el valor máximo fue de 1838 µg/m³. Mientras que en la estación Belisario el promedio de las horas de monitoreo fue de 20,14 µg/m³, esto son 30,3 µg/m³ más de lo que se midió a nivel de calle lo que equivale a un incremento de 150%. Es normal que a nivel de calle las concentraciones sean mucho más elevadas ya que la exposición es directa. También hay que tomar en cuenta la distancia de la estación Belisario a la calzada y la influencia de las zonas verdes cercanas

de la zona, como es el parque arqueológico Rumipamba (figura 10). Además de la dispersión de contaminantes que se tiene hasta llegar al punto de monitoreo y la influencia de los factores meteorológicos. Es posible predecir las condiciones de estabilidad atmosférica en función de la velocidad del viento y a la radiación solar, para esto se utilizan las clases de estabilidad Pasquill-Gifford utilizadas en el modelo gaussiano de dispersión (Stull, 2015).tomando en cuenta que en los días soleados la atmósfera inestable por lo tanto se produce una mayor dispersión (Li, Britter y Norford, 2016).Otro factor que influye a que la concentración sea más elevada son las características de las calles, como si solo posee una fila de edificios, o los edificios forman cañones, la altura de los edificios y el ancho de las calles(Amato et al., 2016).

Como se puede observar en la figura 15, la vía que presenta los niveles más altos de contaminación es la Patria con un promedio de $92,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que presento los niveles más bajos es la Reina Victoria con un promedio de $27,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cabe mencionar puntos críticos de contaminación generalmente se encuentran en las intersecciones y los picos más altos de contaminación se generaron al momento de la aceleración de los buses. Otra tendencia que se observa es que en los tramos que se encuentran las paradas de buses la contaminación se concentra. Un hecho interesante que se obtuvo fue al momento de realizar una parada estratégica en una cafetería ubicada por la Av. Amazonas y General Robles. El establecimiento se encuentra asentado a pocos metros de la vía principal y en el lapso de tiempo que el equipo midió la contaminación interior se obtuvieron valores promedios de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un valor máximo $719 \mu\text{g}/\text{m}^3$.Cabe mencionar que estos valores fueron excluidos de todos los resultados presentados y el tiempo de medición fue de 15 minutos. Este ejemplo nos muestra que la contaminación interior puede ser más alta que en exteriores. La contaminación interior está directamente ligada a la exterior ya que puede que los contaminantes generados por los vehículos ingresen al establecimiento, pero también hay que tomar en cuenta que afuera del establecimiento se encontraban personas fumando. En interiores si no se

posee una ventilación adecuada la contaminación se acumula produciendo concentraciones elevadas.

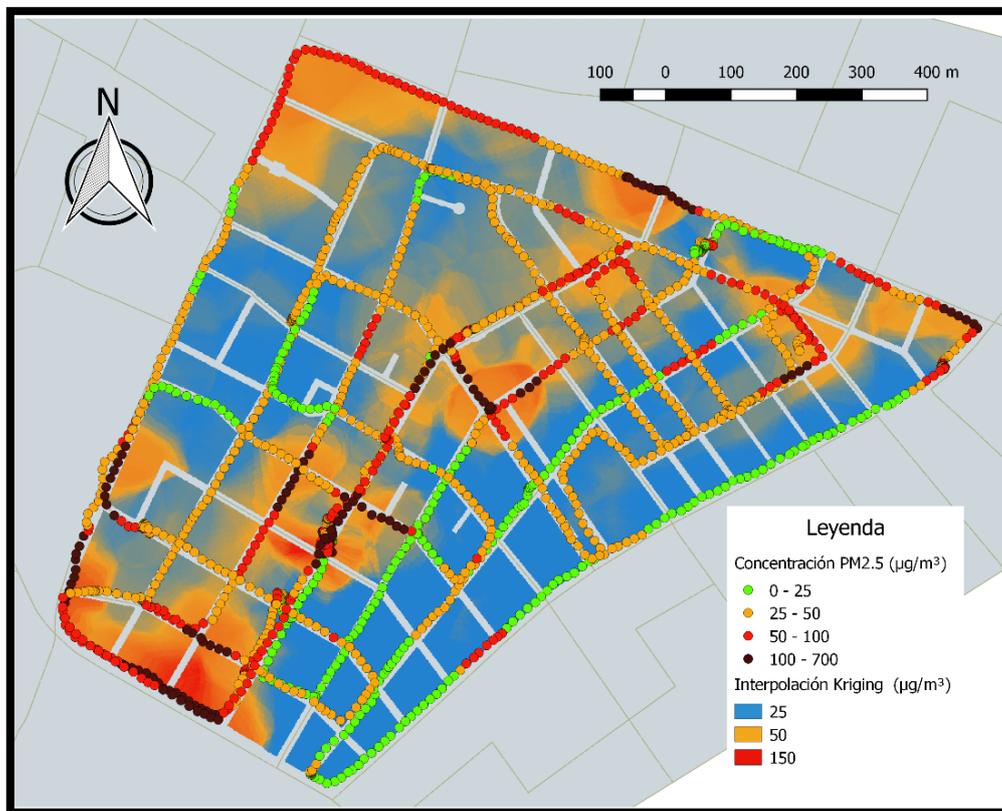


Figura 15. Mapa de material fino particulado $PM_{2.5}$ atmósfera inestable. Recorrido del 20 de febrero del 2017 (día soleado).

- a) Se muestra la concentración de $PM_{2.5}$ en las calles del a mariscal y de fondo se encuentra la interpolación de los puntos usando kriging ordinario.

4.3.2. Mapa de $PM_{2.5}$ (día nublado)

En total se obtuvieron 1558 puntos, el promedio de todo el recorrido fue de $124,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y los cuartiles son 70, 88 y $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, esto quiere decir que el 75% de los datos fueron mayores a $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El valor máximo que se obtuvo fue de $2328 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y se obtuvieron 601 valores superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Como se esperaba las concentraciones de la estación Belisario fueron más bajas, el promedio de las horas de monitoreo fue de $29.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que corresponde que a nivel de calle la exposición es 320% más elevada. De igual manera se demuestra que las concentraciones en atmósfera

menos inestable son elevadas ya que si comparamos los promedios de la estación, en el día nublado la concentración muestra un incremento del 44% comparado con el día soleado.

Como se puede apreciar en la figura 16, existe una gran diferencia en las concentraciones comparado con el día soleado. Las principales razones se derivan del alto porcentaje de humedad relativa. Como ya se explicó el equipo puede sobredimensionar los valores al momento de medir también vapor. También cuando existe un alto índice de nubosidad la atmósfera suele ser menos inestable, por ende, hay menos dispersión de contaminante. El incremento de material particulado fino está relacionado directamente con el incremento de humedad relativa, debido a que la oxidación acuosa provoca la formación de sulfatos, nitratos y otros contaminantes que forman el material particulado (Wang et al, 2017). Esto se debe a que, al incrementarse la humedad en el aire, aumenta la densidad lo que ocasiona una reducción de oxígeno en el aire. Al realizarse una combustión con poco oxígeno se reduce la eficiencia del motor, como resultado se obtiene una combustión incompleta que provoca mayor emisión de partículas (Jamriska, Morawska y Mergerse, 2008). Además, en el aire el incremento de humedad relativa incrementa la concentración de compuestos higroscópicos. También se demuestra que en función al incremento de humedad relativa aumenta la concentración de material particulado primario y secundario de diferentes composiciones químicas (Qu, Wang, Zhang, Wang y Sheng, 2015). A pesar de que se obtuvo concentraciones elevadas en todas las calles, se muestra un patrón similar en que las calles más contaminadas concuerdan con las del día soleado.

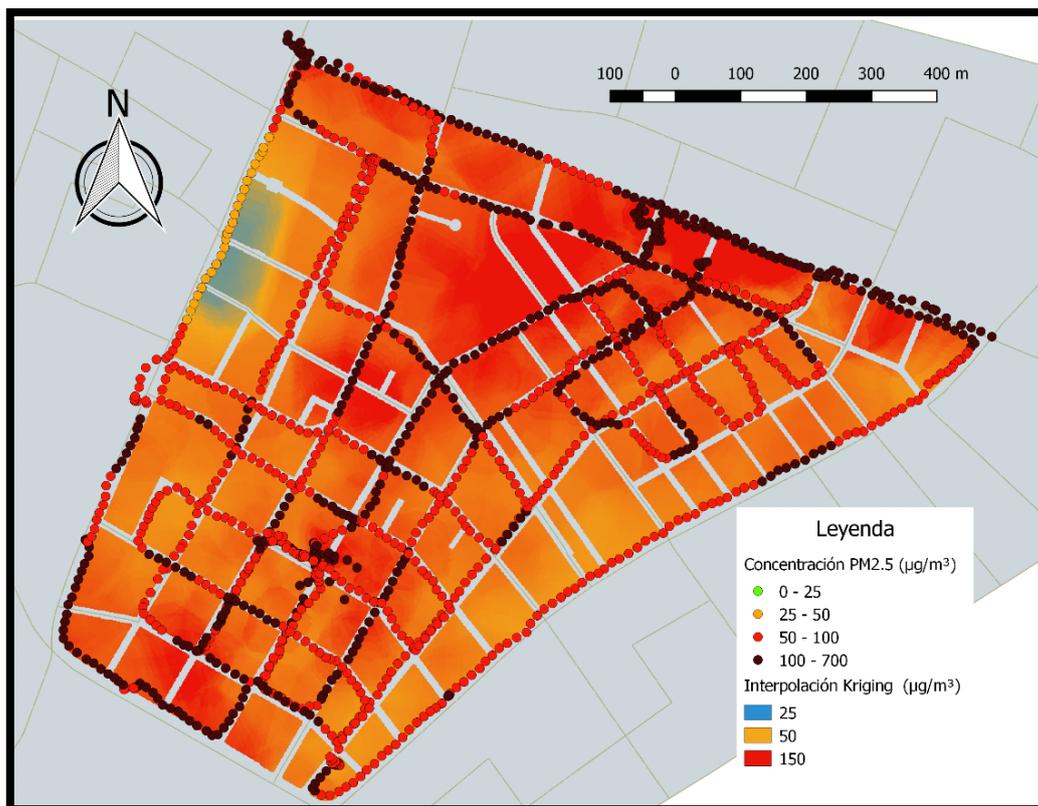


Figura 16. Mapa de material fino particulado $PM_{2.5}$ atmósfera estable.

- a) Recorrido del 22 de febrero del 2017 (día nublado). Se muestra la concentración de $PM_{2.5}$ en las calles del a mariscal y de fondo se encuentra la interpolación de los puntos usando kriging ordinario.

4.4. Propuesta de ciclo vías con menor exposición a contaminación

Está demostrado que una apropiada selección de ruta en la ciudad reduce significativamente la exposición (Hertel, Hvidberg, Ketzler, Storm y Stausgaard, 2008). Con los mapas de contaminación es posible identificar las vías que presentan menores concentraciones de $PM_{2.5}$ en el aire. Sin embargo, también hay que tomar en cuenta otros factores que influyen en la concentración de contaminantes aparte de los meteorológicos. Entre los principales factores están el tipo de calzada, la distancia entre los edificios, las dimensiones de la calle, incluso el lado por el que se transita (McNabola, Broderick y Gill, 2008). Si bien el tiempo de exposición es un factor importante, no se compara con la influencia del tráfico. Escoger una ruta con alto tráfico vehicular incrementa la exposición en promedio un 26% de $PM_{2.5}$, 39% en humo negro (BC), 47% para

CO y un 70% para material particulado inferior a 2.5 μm (UFP) (Nazelle, Bode, & Orjuela, 2016). Es verdad que los ciclistas tienen la capacidad de escoger rutas con menores niveles de tráfico, lo que reduce substancialmente su exposición (Knibbs, Cole-Hunter, y Morawska, 2011). Sin embargo, por términos de utilidad generalmente se construyen ciclo vías en las calles principales. En Quito de igual manera las últimas ciclo vías implementadas se encuentran en grandes avenidas, solamente dentro del área de estudio en 2016 se implementaron en las Av. Patria y Cristóbal Colón y como se puede ver en la *Tabla 2*, son las que presentan niveles de contaminación más elevados. Este hecho influye directamente a la salud, ya que los ciclistas están dispuestos a alejarse de la ruta más directa con tal de ir por infraestructuras para bicicletas (Broach, Dill y Gliebe, 2012).

Tabla 2.

Concentración $PM_{2.5}$ por calles. Se muestran los valores promedio, máximo y percentil 90 de cada calle monitoreada en La Mariscal, en los días de medición.

Calzada	Día Soleado			Día nublado		
	Promedio	Máximo	Percentil 90	Promedio	Máximo	Percentil 90
Patria ⁺	92.65	476.00	177.20	135.19	302.00	205.00
10 de Agosto ⁺	103.48	1838.0	125.60	80.98	269.00	144.70
Colón ⁺	68.89	559.00	155.50	217.23	1260.00	472.00
6 de Diciembre ⁺	28.72	334.00	49.20	114.53	2328.00	144.00
Amazonas ⁺	54.24	907.00	86.90	158.10	1383.00	244.20
Juan León Mera ⁺	35.01	234.00	70.60	182.26	1125.00	382.40
18 de Septiembre ⁺	52.10	284.00	96.10	138.94	600.00	350.00
Jerónimo Carrión	30.85	102.00	54.50	93.76	272.00	142.00
Reina Victoria	27.32	317.00	45.00	76.70	222.00	101.90
Luis Cordero	39.72	102.00	69.00	135.48	678.00	212.60
9 de Octubre ⁺	71.61	878.00	101.40	124.10	566.00	212.50
Ulpiano Páez	30.47	66.00	39.10	83.08	425.00	101.00
Joaquín Pinto	34.80	92.00	46.00	89.00	101.00	96.10
Diego de Almagro	41.70	263.00	60.50	82.50	107.00	91.60
Mariscal Foch	41.52	224.00	49.80	109.61	273.00	188.40
José Calama	32.48	48.00	36.60	106.75	412.00	123.60
Juan Rodríguez	35.00	49.00	41.20	87.71	103.00	98.20
Baquerizo Moreno	59.33	196.00	89.00	90.88	105.00	104.30
Wilson	33.80	38.00	38.00	111.14	151.00	143.80
Baquedano	29.56	38.00	37.20	.	.	.
Ignacio de Veintimilla	70.77	544.00	127.60	97.97	164.00	115.20
Vicente Ramón	60.68	487.00	67.00	87.58	151.00	128.00

Roca						
Jorge Washington	39.28	86.00	54.00	121.88	1299.00	145.30
General Robles	.	.	.	81.47	234.00	106.00
Pedro de Valdivia	.	.	.	61.00	67.00	66.30
Lizardo García	.	.	.	77.86	89.00	88.40
Total	Promedio	Máximo	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Percentil 90
Día Soleado	50.52	1838.0	23.00	32.00	48.00	85.70
Día Nublado	124.08	2328.0	70.00	88.00	125.00	192.50

Nota: Todos los valores se encuentran en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

+. Indica las vías por las que circulan buses

4.4.1. Rutas

A la bicicleta se le considera un modo de transporte saludable, en el sentido de que se incrementa la actividad física. Por lo tanto, es necesario una planificación inteligente del uso del suelo que fomente infraestructura para ciclistas y promueva el uso de transportes más sostenibles (GIZ y WHO, 2011). Sin embargo, el realizar actividad física en altos niveles de contaminación aumenta el riesgo de mortalidad. A una concentración de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, al superar 1h15 de ciclismo en un día, los perjuicios a la salud van a ser superiores que los beneficios (Tainio et al., 2016). Para determinar las rutas críticas de contaminación, se elaboró un mapa (figura 17), en función a las concentraciones presentadas en la *Tabla 2*. El mapa pretende proveer a los ciclistas y transeúntes una herramienta con la que puedan planificar sus propias rutas en función a su lugar de destino. También se identificó 2 potenciales ciclo vías (calle Reina Victoria y calle Ulpiano Páez) en las que se podría implementar infraestructura ciclista, por el hecho de que son paralelas a la Av. Amazonas, atraviesan todo el sector, poseen un ancho suficiente para su implementación y sobre todo presentan niveles de contaminación más bajos. Ambas rutas mencionadas son en sentido norte-sur, sur-norte. Para los sentidos este-oeste, oeste-este actualmente existe una ciclo vía en la calle Jerónimo Carrión, que presenta niveles de concentración moderados, también está la calle Luis Cordero que actualmente cuenta con una vía compartida con los automóviles sin embargo presenta niveles más altos que la anterior. Un hecho importante es que todas las rutas que intersecan con calles donde circulan buses presentan niveles de concentración más altos en comparación a

rutas del mismo sentido donde no circulan, como son las calles alrededor de la Plaza Foch. Esto demuestra la incidencia de los buses en la calidad del aire y la importancia en aplicar mejores modelos de control en los estándares de emisiones. La calidad de combustible del país impide una comparación fehaciente con estudios realizados en países desarrollados. En sí la contaminación del tráfico tiene impacto en todos los medios de transporte, pero es motivo de preocupación que los ciclistas experimenten mayores niveles de exposición a pesar de aportar emisiones casi nulas (Suárez, Mesías, Iglesias, Silva, Cáceres, y Ruiz, 2014). En Quito el mayor programa para incentivar el uso de la bicicleta es el Ciclopaseo, el cual tiene apoyo del gobierno, no obstante, todavía no se cuenta con inclusión de políticas y regulaciones sobre la implementación de ciclo vías y el uso de la bicicleta (Sarmiento, Díaz, Triana, Acevedo, Gonzalez y Pratt, 2016).

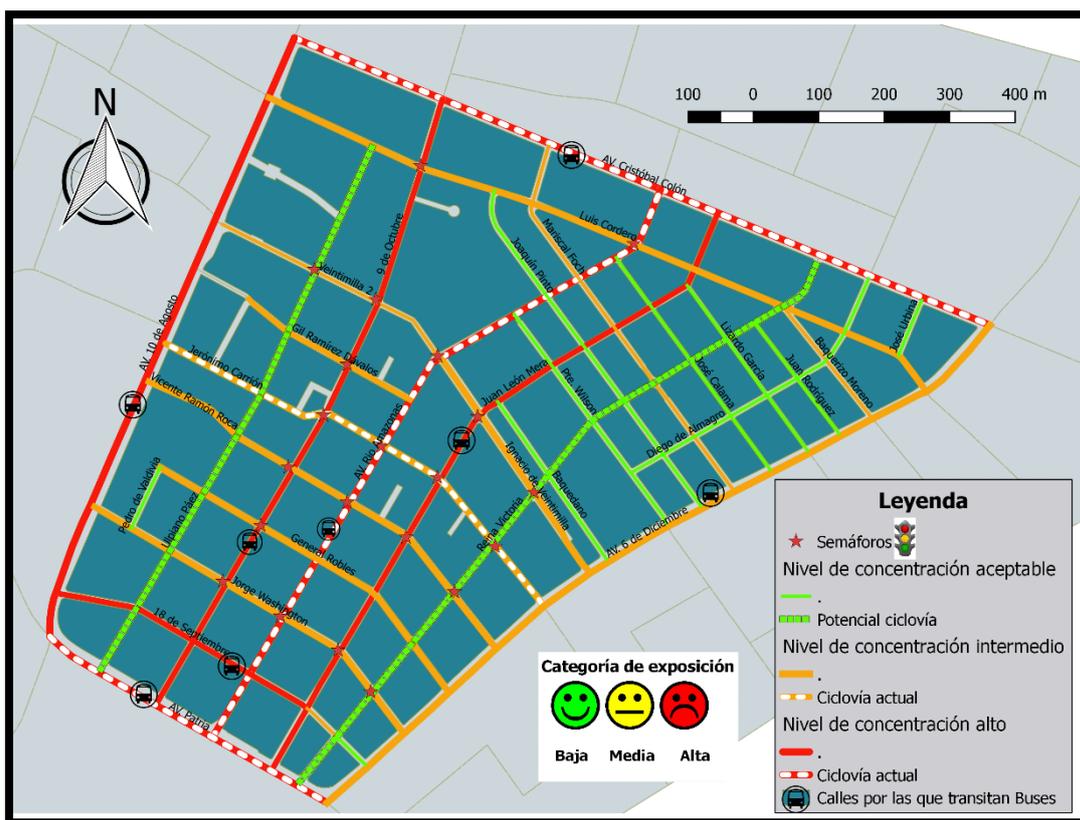


Figura 17. Mapa de rutas críticas de exposición.

- a) Se representan las calles de La Mariscal en función a la concentración de $PM_{2.5}$ se las clasificó en 3 tipos: Concentración aceptable; concentración intermedia y concentración alta. Además, se muestran las ciclo vías actuales, potenciales y se identifica las calles por las que circulan buses. También los semáforos.

4.4.2. Niveles de exposición

Hasta ahora solo se ha considerado la exposición en función a la concentración de $PM_{2.5}$ en el aire. Sin embargo, en transportes como la bicicleta o caminar donde se realiza esfuerzo físico se tiene un mayor consumo de contaminantes, además de que estas actividades también afectan a la deposición de partículas en los pulmones (Daigle, Chalupa, Gibb, Morrow, Oberdörster y Utell, 2003). Para calcular la exposición en La Mariscal se realizaron mediciones en campo, el experimento consistió en atravesar la zona de estudio en bicicleta desde la Av. Cristóbal Colón hasta la Patria por las calles Reina Victoria y Amazonas, tomar el tiempo de exposición y contar las respiraciones por minuto de los sujetos experimentales. En promedio el tiempo de exposición fue de 4 min y se obtuvo una frecuencia de 22.6 respiraciones por minuto. Para calcular el volumen de respiración por minuto (V_E) se multiplica la frecuencia respiratoria por el volumen tidal, en este caso se utilizó un volumen de 1.8 L que es el promedio de respiración para los ciclistas (Int Panis et al, 2010). Como resultado se obtuvo un volumen de respiración de 40,6 L/min que tiene concordancia con otros estudios similares (Cole-Hunter, Jayaratne, Stewart, Hadaway, Morawska y Solomon, 2013). Para el cálculo de la exposición a $PM_{2.5}$, se utilizó la ecuación 2, en la cual se reemplazó los valores de cada calle para poder contrastar la influencia de una ruta apropiada.

Calculo de la exposición:

$$E = \frac{V_E}{1000} * T_E * DPM \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

E = Exposición (μg)

V_E = Volumen de respiración por minuto (L/min)

T_E = Tiempo de exposición (min)

DPM = Concentración de material particulado ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Comparación de la exposición entre la Av. Amazonas y Reina Victoria en un día soleado:

Exposición Av. Amazonas

$$E = \frac{V_E}{1000} * T_E * DPM \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$E = \frac{40,6}{1000} * 4 * 54,24$$

$$E = 8.8 \mu\text{g}$$

Exposición Calle Reina Victoria

$$E = \frac{V_E}{1000} * T_E * DPM \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$E = \frac{40,6}{1000} * 4 * 27,3$$

$$E = 4.4 \mu\text{g}$$

Como resultado se obtuvo que el escoger una ruta con menor exposición, influye drásticamente ya que la exposición en la Av. Amazonas es un 99% mayor, es decir se recibe casi el doble de contaminación. Dentro del análisis solo se tomó en cuenta la frecuencia respiratoria y el tiempo de exposición. Sin embargo, existen más factores que aumentan la absorción de contaminantes como ejemplo, el aumento de actividad metabólica, respirar por la boca, si el contaminante es hidrófobo o liposoluble, entre otros (Bigazzi & Figliozzi, 2014). Hay que tomar en cuenta que se realizó la comparación con las concentraciones de un día soleado, sin embargo, en un día nublado con una atmósfera donde la concentración esté menos diluida la exposición va a ser aún mayor. Otro punto importante es que hay personas que utilizan la bicicleta como herramienta de trabajo, en este caso la situación es aún más crítica debido a que el factor se multiplica por el número de viajes; es decir, si en el día se realizó 5 viajes solo el hecho de movilizarse por la ruta menos contaminada evitaría 21.8 μg de contaminante absorbido. Otra forma de reducir la exposición es el control de la velocidad. Al ir a una velocidad optima se reduce el tiempo de exposición y se controla la respiración, disminuyendo así la absorción de contaminante en los pulmones (McNabola, Broderick y Gill, 2007).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La contaminación atmosférica afecta a todos, indiferentemente del medio de transporte que se elija, por esto la importancia de realizar levantamientos de información primaria que cuantifiquen el nivel de riesgo al que se está expuesto para así poder plantear soluciones puntuales acordes a las condiciones intrínsecas de cada lugar.

Quito es una ciudad que ha tenido un desarrollo acelerado y mal organizado. Además, por sus características de elevación, condiciones meteorológicas y el hecho de estar rodeada de montañas, la vuelve susceptible a fenómenos atmosféricos que influyen en la dispersión de contaminantes. A pesar de esto en la última década se han implementado medidas de control eficientes que han ayudado a atenuar el impacto de la flota vehicular, no obstante, las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ siguen estando por encima de la Normativa Nacional.

El equipo *Microdust Pro* demostró tener buena correlación en días con humedad relativa inferiores a 60%. Durante los días nublados el equipo presenta una correlación más baja, esto es debido a las limitaciones del equipo ya que, al no regular la temperatura ni la humedad, las mediciones se ven afectadas por el vapor de agua. La humedad relativa es un factor determinante ya que influye directamente en generación de contaminantes principalmente los que son productos de combustión como el $PM_{2.5}$, ambos equipos el *Thermo Scientific* (SA) y *Microdust Pro* (UDLA) muestran un incremento de concentraciones durante los días con humedad relativa más alta. También se demostró la importancia de medir la exposición a nivel de calle ya que se identificó un incremento del 150% en comparación a la estación de monitoreo de la Secretaría de Ambiente DMQ que está elevada y alejada de las calles principales. Además de estar ubicada aproximadamente a 2 km al NW de sitio de monitoreo.

Con los análisis de las concentraciones se obtuvo que la mayor fuente de contaminación es el tráfico, principalmente los vehículos pesados se ven relacionados directamente con los niveles más altos de contaminación con un R^2 de 0.82. Esto demuestra la importancia que se debe dar al control vehicular y a la implementación de tecnologías más eficientes.

En fin, el análisis demostró que conocer las concentraciones de contaminación por calles es una herramienta eficaz para la selección de rutas que pueden llegar a evitar más del 99% de la exposición a contaminantes atmosféricos.

5.2. Recomendaciones

El estudio se realizó en un sector puntual de La Mariscal que tiene características especiales, en futuras investigaciones sería enriquecedor ampliar el área de estudio para tener un mejor contraste de resultados.

Si bien el equipo *Microdust Pro* proporcionó valores reales en condiciones de baja humedad relativa, actualmente existen tecnologías más confiables, con lo que se podría reducir la incertidumbre, además otra limitación del equipo es que depende de baterías AA, que limitan su tiempo de operación a unas 6 horas de monitoreo continuo.

También sería recomendable analizar otros factores, que influyan en la reducción de contaminantes además de proporcionar bienestar a las personas como es la influencia de la vegetación dentro de las áreas urbanas.

El estudio se realizó solamente en días de semana, donde se suele tener una afluencia vehicular similar, por lo tanto, realizar mediciones en los fines de semana podría resultar útil para contrastar la calidad del aire en días donde usualmente hay menos tráfico.

Referencias

- Agencia Metropolitana de Tránsito. (2010). Pico y Placa. Recuperado el 27 de mayo de 2017, de <http://www.amt.gob.ec/index.php/pico-placa-homepage.html>
- Agencia Nacional de Transito. (2011). Señalización Vial. Parte 2. Recuperado el 02 de julio de 2017, de <http://www.ant.gob.ec/index.php/servicios/normas-y-reglamentos-inen/transito/file/189-reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-004-2-2011>
- Ahrens, D. (2006). *Meteorology Today*. Recuperado el 20 de julio del 2017 de <https://books.google.co.jp/books?id=SpGfKb23Y9QC&lpg=PA67&dq=temperature%20inversion&hl=es&pg=PA67#v=onepage&q=temperature%20inversion&f=false>
- Allen, G., Sioutas , C., Koutrakis, P., Reiss, R., Lurmann , F. y Robert, P. (2012). *Evaluation of the TEOM Method for Measurement of Ambient Particulate Mass in Urban Areas*. Journal of the Air & Waste Management Association, Volume 47, 1997 - Issue 6. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/10473289.1997.10463923>
- Amaral, S., Andrade, J., Martins, M. y Pinheiro, C. (2015). *An Overview of Particulate Matter Measurement Instruments*. Atmosphere, 6, 1327-1345. doi:[10.3390/atmos6091327](https://doi.org/10.3390/atmos6091327)
- Amato, F., Zandveld, P., Keuken, M., Jonkers, S., Querol, X., Reche, C. y Schaap, M. (2016). *Improving the modeling of road dust levels for Barcelona at urban scale and street level*. Atmospheric Environment, 125, 231-242. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.078>
- Apex. (2010). *Altitude.org*. Recuperado el 27 de mayo de 2017, de http://www.altitude.org/air_pressure.php
- Apparicio, P., Carrier, M., Gelb, J., Séguin, A. M. y Kinghamb, S. (2016). *Cyclists' exposure to air pollution and road traffic noise in central city neighbourhoods of Montreal*. Journal of Transport Geography, 57, 63–

69. Recuperado el 10 de abril de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.09.014>
- Berghmans, P., Bleux, N., Int Panis, L., Mishra, V., Torfs, R. y Van Poppel, M. (2009). *Exposure assessment of a cyclist to PM10 and ultrafine particles*. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT 407, 1 2 8 6 – 1 2 9 8. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.10.041
- Beriro, D., Field, L. y Cave, M. (2016). *Validation of a Gravimetric PM2.5 Impactor Using Particle Sizing Techniques*. British Geological Survey Open Report, 39. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/514073>
- Bhat, M. A., Shah, R. M. y Ahmad, B. (2011). *Cloud computing: A solution to Geo-graphical Information Systems (GIS)*. International Journal on Computer Science and Engineering, 3(2), 594–600. Recuperado el 18 de abril de 2017 de <http://www.enggjournals.com/ijcse/doc/IJCSE11-03-02-006.pdf>
- Bigazzi, A. y Figliozzi, M. (2014). *Review of Urban Bicyclists' Intake and Uptake of Traffic-Related Air Pollution*. Transport Reviews, 34:2, 221-245. doi:10.1080/01441647.2014.897772
- Borrell, P. y Borrell, P. (2012). *Transport and Chemical Transformation of Pollutants in the Troposphere*. Recuperado el 20 de abril de 2017 de <https://books.google.com.ec/books?id=gikqBgAAQBAJ&lpg=PT69&dq=troposphere%20layer&hl=es&pg=PT69#v=onepage&q&f=false>
- Brachtl, M. V., Durant, J. L., Páez Pérez, C., Oviedo, J., Sempertegui, F., Naumova, E. N. y Griffiths, J. K. (2009). *Spatial and temporal variations and mobile source emissions of polycyclic*. Environmental Pollution, 157, 528–536. doi:10.1016/j.envpol.2008.09.041
- BREATHE. (2014). *Brain Air School Investigation*. Recuperado el 16 de diciembre de 2016, de <http://www.creal.cat/projectebreathe/descripcion.html>
- Broach, J., Dill, J. y Gliebe, J. (2012). *Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data*. Transportation

- Research Part A, 46, 1730–1740. Recuperado el 23 de mayo de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2012.07.005>
- CASELLA. (s.f.). HB4048-01 Manual de usuario. Recuperado el 22 de mayo de 2017 de http://www.casellasolutions.com/uk/en/document-library/support-docs/spanish/cel-71x-user-manual_es01.pdf
- CASELLA. (s.f.). MICRODUST PRO. Prevención de Riesgos Laborales. Recuperado el 22 de mayo de 2017 de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjJyfO54MXVAhVMSCYKHelvBHkQFgglMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.casella-es.com%2Fdownload%2FMicrodust%2520Pro.pdf&usg=AFQjCNFE-GJqmwaQsfvbOMwBMM4XEdSc2g>
- CASELLA. (s.f.). Sistema de Control de Aerosoles Microdust 880 nm. Manual de instrucciones, uso y mantenimiento. Recuperado el 22 de mayo de 2017 de <http://www.casella-es.com/download/Man%20Microdust%20pro.pdf>.
- Chauca, T. (2013). La territorialidad de la Plaza Foch. Tesis de maestría. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador. Recuperado el 25 de mayo de 2017 de <http://hdl.handle.net/10469/7434>
- Cheng, Y., Cheng, S., Gao, Y., Long, C., Wenjing, D., Cao, J., y Sun, J. (2015). *Real-time measurements of PM_{2.5}, PM_{10–2.5}, and BC in an urban street canyon*. *Particuology*, 20, 134–140. Recuperado el 25 de abril de 2017 de <https://doi.org/10.1016/j.partic.2014.08.006>
- Cole-Hunter, T., Jayaratne, R., Stewart, I., Hadaway, M., Morawska, L. y Solomon, C. (2013). *Utility of an alternative bicycle commute route of lower proximity to motorised traffic in decreasing exposure to ultra-fine particles, respiratory symptoms and airway inflammation – a structured exposure experiment*. *Environmental Health*. Recuperado el 25 de mayo de 2017 de <http://www.ehjournal.net/content/12/1/29>
- CORPAIRE. (2009). La Calidad del Aire en Quito. Informe Anual 2008. Recuperado 26 de febrero de 2017 de

www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red.../iqca_2009.pdf

CROW. (2007). *Design Manual for Bicycle Traffic*. Recuperado el 23 de junio de 2017 de

https://books.google.co.jp/books?id=v69iNAAACAAJ&dq=design+manua+l+for+bicycle+traffic&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiM_anor-nUAhUDw7wKHc_qDgUQ6AEIJjAA

Cuenca, E. (2006). La función respiratoria. *Fundamentos de fisiología*, 665-710. Recuperado de

http://go.galegroup.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/ps/i.do?p=GVRL&sw=w&u=uame_cons&v=2.1&it=r&id=GALE%7CCX3220900043&asid=6cdd2386cbc12889c49b619cedb45601

Daigle, C., Chalupa, D., Gibb, R., Morrow, P., Oberdörster, G. y Utell, M. (2003). *Ultrafine Particle Deposition in Humans During Rest and Exercise*. *Inhal Toxicol*, 15, 539–552. Recuperado el 24 de abril de 2017 de <http://dx.doi.org.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/10.1080/08958370304468>

Dimov, I., Fidanova, S. y Lirkov, I. (2015). *Numerical Methods and Applications*. Recuperado el 10 de junio de 2017 de

<https://books.google.co.jp/books?id=QVZ-BgAAQBAJ&lpg=PA184&dq=diffusion%20and%20transport%20of%20p m%202.5&hl=es&pg=PA184#v=onepage&q&f=false>

Escudero, J. y Escudero López, J. (2008). *Manual de energía eólica/ Guide to Wind Energy*. Recuperado el 20 de junio de 2017 de

<https://books.google.co.jp/books?id=bY33m9Z3NAEC&lpg=PA467&dq=ingenieria%20de%20la%20energia%20eolica&hl=es&pg=PA467#v=snippet&q=estabilidad%20atmosferica&f=false>

Figueruelo, J. y Marino, M. (2004). *Numerical Methods and Applications*. Recuperado el 23 de mayo de 2017 de

<https://books.google.co.jp/books?id=QVZ-BgAAQBAJ&lpg=PA184&dq=diffusion%20and%20transport%20of%20p m%202.5&hl=es&pg=PA184#v=onepage&q&f=false>

- FLACSO; MAE; PNUMA. (2008). Geo Ecuador 2008. Informe sobre el estado del medio ambiente. Recuperado el 24 de mayo de 2017 de www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/41444.pdf
- Fontes, T., Li, P., Barros, N. y Zhao, P. (2017). *Trends of PM_{2.5} concentrations in China: A long term approach*. Journal of Environmental Management, 719-732. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.074>
- Gabler, R., Petersen, J., Trapasso, M. y Sack, D. (2008). *Physical Geography*. Recuperado el 20 de junio de 2017 de <https://books.google.co.jp/books?id=Vkvqmi0MO1IC&lpg=PA101&dq=temperature%20inversion&pg=PA100#v=onepage&q=temperature%20inversion&f=false>
- Gallego, P. A., González, F. y Sánchez, G. B. (2012). Contaminación atmosférica. Madrid, ES: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 20 de junio de 2017 de <http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=10646498>
- García, L. y Scherer, C. (2007). VI Simposio de Contaminación Atmosférica. Recuperado el 21 de junio de 2017 de https://books.google.com.ec/books?id=npleAQAAIAAJ&q=VI+Simposio+de+Contaminaci%C3%B3n+Atmosf%C3%A9rica&dq=VI+Simposio+de+Contaminaci%C3%B3n+Atmosf%C3%A9rica&hl=es&sa=X&ved=0ahUK EwiYuo3m9eDUAhVEn5QKHZh_CpEQ6AEIjAA
- Garmin Ltd. (2011). GARMIN. Recuperado el 16 de mayo de 2017, de <https://buy.garmin.com/es-AR/AR/p/87771#overview>
- GIZ y WHO. (2011). Transporte urbano y salud. Recuperado el 04 de junio de 2017, de http://www.who.int/hia/green_economy/giz_transport_sp.pdf
- Guo, J., Xia, F., Zhang, Y., Liu, H., Li, J., Lou, M. y Zhai, P. (2017). *Impact of diurnal variability and meteorological factors on the PM_{2.5} - AOD relationship: Implications for PM_{2.5} remote sensing*. Environmental

- Pollution, 221, 94-104. Recuperado el 16 de mayo de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.043>
- Hertel, O., Hvidberg, M., Ketzel, M., Storm, L. y Stausgaard, L. (2008). *A proper choice of route significantly reduces air pollution exposure — A study on bicycle and bus trips in urban streets*. Science of the Total Environment, 389, 58 – 70. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.08.058
- Hsu, Y.-M., Wang, X., Chow, J., Watson, J. y Percy, K. (2016). *Collocated comparisons of continuous and filter-based PM_{2.5} measurements at Fort McMurray, Alberta, Canada*. J Air Waste Manag Assoc, 66(3): 329–339. doi:10.1080/10962247.2015.1136362
- Hulbert, D. (2009). *Get Through MCEM Part A: MCQs*. Taylor & Francis. Recuperado el 18 de mayo de 2017 de <https://books.google.com.ec/books?id=GYwFtOjzzkC>
- Hurtado, C., Salazar , T. y de la Peña, M. (2009). Valores normales de gases arteriales en Bogotá. UMBRAL CIENTÍFICO, 10, 93-101. Recuperado el 14 de junio de 2017 de <http://www.ebrary.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec>
- INAMHI. (2016). Boletín Climatológico Anual 2015. Recuperado el 14 de abril de 2017 de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/clima/>
- INEC. (2016). El parque automotor de Ecuador creció 57% en cinco años. Recuperado el 27 de mayo de 2017, de Instituto nacional de estadística y censos: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/el-parque-automotor-de-ecuador-crecio-57-en-cinco-anos/>
- Int Panis, L., de Geus, B., Vandenbulcke, G., Willems, H., Degraeuwe, B., Bleux, N., Meeusen, R. (2010). *Exposure to particulate matter in traffic: A comparison of cyclists and car passengers*. Atmospheric Environment, 44(19), 2263–2270. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.04.028>
- Intra, P., Yawoott, A. y Sampattagul, S. (2016). *Comparison of electrostatic charge and beta attenuation mass monitors for continuous airborne PM₁₀ monitoring under field conditions*. Korean Journal of Chemical Engineering, 33(12), 3330–3336. doi:<https://doi.org/10.1007/s11814-016-0288-y>

- Jamriska, M., Morawska, L. y Mergense, K. (2008). *The effect of temperature and humidity on size segregated traffic exhaust particle emissions*. Atmospheric Environment 42(10):pp. 2369-2382., 42(10). 2369-2382. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.12.038
- Kim, K., Lee, K. H., Kim, J. I., Noh, Y., Shin, D. H., Shin, S. K. y 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 20 de junio de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.040>
- Klems, J. P., Pennington, M. R., Zordan, C. A. y Johnston, M. V. (2010). *Ultrafine Particles Near a Roadway Intersection: Origin and Apportionment of Fast Changes in Concentration*. Environ. Sci. Technol., 44, 7903–7907. doi:10.1021/es102009e
- Knibbs, L. D., Cole -Hunter, T. y Morawska, L. (2011). *A review of commuter exposure to ultrafine particles and its health effects*. Atmospheric Environment, 45, 2611-2622. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.02.065
- Kondratyev, K., Ivlev, L., Krapivin, V. y Varostos, C. (2006). *Atmospheric Aerosol Properties: Formation, Processes and Impacts*. Recuperado el 23 de abril de 2017 de <https://books.google.co.jp/books?id=tcCTsENwgGYC&lpg=PR1&dq=Atmospheric%20aerosol&hl=es&pg=PR4#v=onepage&q=pm%202.5&f=false>
- Krishna, I. M. y Manickam, V. (2017). *Environmental Management: Science and Engineering for Industry*. Elsevier Science. Recuperado el 15 de junio de 2017 de <https://books.google.com.ec/books?id=DZExDQAAQBAJ>
- Kumar, P., Fennell, P., David, L. y Britter, R. (2008). *Pseudo-simultaneous measurements for the vertical variation of coarse, fine and ultrafine particles in an urban street canyon*. Atmospheric Environment, 42, 4304–4319. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.01.010
- Lazaridis, M. (2010). *First Principles of Meteorology and Air Pollution*. Recuperado el 18 de junio de 2017 de <https://books.google.co.jp/books?id=OyzZdJRM0WoC&lpg=PA200&dq=pollutant%20air%20dispersion&pg=PA200#v=onepage&q&f=false>

- Lelieveld, J., Evans, J., Fnais, M., Giannadaki, D. y Pozzer, A. (2015). *The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale*. Nature.doi:10.1038/nature15371
- Li, B., Lei, X.-n., Xiu, G.-l., Gao, C.-y., Gao, S. y Qian, N.-s. (2015). *Personal exposure to black carbon during commuting in peak and off-peak hours in Shanghai*. Science of The Total Environment, 524-525, 237–245. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.03.088
- Li, X. X., Britter, R. y Norford, L. (2016). *Effect of stable stratification on dispersion within urban street canyons: A large-eddy simulation*. Atmospheric Environment, 144, 47-59. Recuperado el 26 de mayo de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.069>
- Liang, X., Zou, T., Guo, B., Li, S., Zhang, H., Zhang, S. y Chen, S. X. (2015). *Assessing Beijing's PM_{2.5} pollution: severity, weather impact, APEC and winter heating*. Proc. R. Soc. A 471: 20150257. doi:<http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2015.0257>
- Lin, H., Ratnapradipa, K., Wang, X., Zhang, Y., Xu, Y., Yao, Z., y Ma, W. (2017). *Hourly peak concentration measuring the PM_{2.5}-mortality association: Results from six cities in the Pearl River Delta study*. Atmospheric Environment, 161 (2017) 27-33. doi:doi:10.1016/j.atmosenv.2017.04.015
- Lukáčová, K. y Badida, M. (2015). *Determining concentration of solid aerosols using light scattering principles*. ГлобальнеУправлінняТаЕкономіка, (1), 79–84. Recuperado el 29 de junio de 2017 de http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=gme_2015_1_16
- McNabola, A., Broderick, B. M. y Gill, L. W. (2008). *Reduced exposure to air pollution on the boardwalk in Dublin, Ireland*. Measurement and prediction. Environment International, 34, 86–93. Recuperado de doi:10.1016/j.envint.2007.07.006

- McNabola, A., Broderick, B. y Gill, L. (2007). *Optimal cycling and walking speed for minimum absorption of traffic emissions in the lungs*. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 42, 1999-2007. doi:10.1080/10934520701629005
- Mendizábal, C. (2007). Centro de Uso Mixto en la Mariscal. Recuperado el 09 de mayo de 2017 de repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/437/1/86305.pdf
- Midgley, P., Reuther, M. y Williams, M. (2013). *Transport and Chemical Transformation in the Troposphere*. Recuperado el 26 de mayo de 2017 de <https://books.google.com.ec/books?id=FO-PBAAAQBAJ&lpg=PP1&hl=es&pg=PT22#v=onepage&q=dispersion&f=false>
- Ministerio de Desarrollo Humano Buenos Aires. (2009). La humanización del espacio público. Recuperado el 14 junio de 2017 de <https://books.google.co.jp/books?id=1HXZfQYNQvgC&lpg=PA74&dq=definicion%20ciclo%20vias&hl=es&pg=PA13#v=onepage&q&f=false>
- Moller, R. (2006). Transporte urbano y desarrollo sostenible en América Latina: el ejemplo de Santiago de Cali, Colombia. Recuperado el 09 de junio de 2017 de <https://books.google.co.jp/books?id=8omWC2prdgEC&lpg=PA274&dq=definicion%20ciclo%20vias&hl=es&pg=PA273#v=onepage&q=ciclo%20vias&f=false>
- Moussiopoulos, N. (2013). *Air Quality in Cities*. Recuperado el 18 de mayo de 2017 de <https://books.google.co.jp/books?id=6AJJCAAAQBAJ&lpg=PA113&dq=Concentration%20composition%20and%20particle%20size&hl=es&pg=PA113#v=onepage&q=health&f=false>
- Nazelle, A., Bode, O. y Orjuela, J. P. (2016). *Comparison of air pollution exposures in active vs. passive travel modes in European cities: A quantitative review*. Environment International. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.023

- OMS. (2016). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. Recuperado el 28 de abril del 2017 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>
- Páez Pérez, C. (2009). Gestión de la contaminación atmosférica urbana: el caso de Quito. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador. Recuperado el 29 de mayo de 2017 de www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf
- Pallares, S., Jordan, M. M., Soriano, A., Vicente, A. B., Pardo, F. y Sanfeliu, T. (2011). *Monitoring of As, Cd and Ni in PM10 and topsoils in a ceramic cluster*. Journal of Geochemical Exploration, 109, 146–154. doi:10.1016/j.gexplo.2010.12.003
- Pant, P. y Harrison, R. M. (2013). *Estimation of the contribution of road traffic emissions to particulate matter concentrations from field measurements: A review*. Atmospheric Environment, 77, 78-97. Recuperado el 08 de mayo de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.028>
- Park, S. U., Ju, J. W., Lee, I. H. y 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 18 de abril de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.06.004>
- PCFV. (2015). *Vehicle Emission Standards*. Recuperado el 28 de mayo de 2017, de <http://staging.unep.org/transport/new/PCFV/RegulatoryToolKit/index.html>
- Pilla, F. y Broderick, B. (2015). *A GIS model for personal exposure to PM10 for Dublin commuters*. Sustainable Cities and Society, 15, 1–10. Recuperado el 03 de abril de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2014.10.005>
- Pope, C. y Dockery, D. (2006). *Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect*. Journal of the Air & Waste Management Association, 56(6), 709–742. Recuperado el 08 de mayo de 2017 de <https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485>

- Priya, M. (2016). *What is the average number of Breaths in an average lifetime?*. Recuperado el 26 de mayo de 2017, de Quora: <https://www.quora.com/What-is-the-average-number-of-Breaths-in-an-average-lifetime>
- Qu, W. J., Wang, J., Zhang, X. Y., Wang, D. y Sheng, L. F. (2015). *Influence of relative humidity on aerosol composition: Impacts on light extinction and visibility impairment at two sites in coastal area of China*. *Atmospheric Research*, 153, 500–511. Recuperado el 06 de junio de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.10.009>
- Quito Turismo. (2013). Plan de gestión para la zona especial turística La Mariscal. Recuperado el 3 de mayo de 2017, de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Resoluciones%20de%20Alcald%20C3%ADa/A%20C3%B1o%20%202013/RA-2013-0013%20%20%20%20ZONAS%20ESPECIALES%20LA%20MARISCAL%20Y%20CENTRO%20HISTORICO-PLANES%20DE%20GESTION.pdf
- Rohde, R. y Muller, R. A. (2015). *Air Pollution in China: Mapping of Concentrations and Sources*. *PLoS ONE*, 10(8). doi:10.1371/journal.pone.0135749
- Rojano, R., Pérez, J. y Deluque, J. (2011). Análisis comparativo de las mediciones de material particulado PM10. Universidad Antioquia. Recuperado el 08 de junio de 2017 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302011000200003
- Rose, D., Wehner, B., Ketzler, M., Engler, C., Voigtländer, J., Tuch, T. y Wiedensohler, A. (2006). *Atmospheric number size distributions of soot particles and estimation of emission factors*. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6 (4), 1021-1031. doi:10.5194/acpd-5-10125-2005
- Rousseeuw, P. J. y Hubert, M. (2011). *Robust statistics for outlier detection*. John Wiley & Sons, Inc. *WIREs Data Mining Knowl Discov*, 1, 73–79. doi:10.1002/widm.2
- Sarmiento, O., Díaz, A., Triana, C., Acevedo, M. J., Gonzalez, S. y Pratt, M. (2016). *Reclaiming the streets for people: Insights from Ciclovías*

- Recreativas in Latin America*. Preventive Medicine. Recuperado el 15 de mayo de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ypm.2016.07.028>
- Secretaría de Ambiente. (2016). Calidad Del Aire En Quito Informe Anual 2015. Recuperado el 02 de mayo de 2017 de www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/.../ICA2015.pdf
- Secretaría de Ambiente. (2014). Informe Final Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011. Recuperado el 26 de abril de 2017 de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/biblioteca-digital/category/9-cambio-climatico?download=173:inventario-contaminantes-criterio&start=40>.
- Secretaría de Ambiente. (2016). Atlas Ambiental. Recuperado el de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/descarga-de-menu>
- Secretaría de Ambiente. (2017). Informe de la calidad de aire - 2016. Recuperado de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#informe-calidad-del-aire-2016>
- Secretaría de Movilidad. (2014). DIAGNÓSTICO DE LA MOVILIDAD EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO PARA EL PLAN METROPOLITANO DE DESARROLLO TERRITORIAL (PMOT).
- Seinfeld, J. y Pandis, S. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. Recuperado de <https://books.google.co.jp/books?id=XqDcCwAAQBAJ&lpg=PP1&dq=Atmospheric%20aerosol&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Sendiña, I. y Pérez, V. (2006). Fundamentos de meteorología. Recuperado de <https://books.google.co.jp/books?id=HE3xtRmNg4kC&lpg=PA16&dq=climatolog%C3%ADa%20y%20atm%C3%B3sfera&pg=PA16#v=onepage&q=climatolog%C3%ADa%20y%20atm%C3%B3sfera&f=false>
- Stull, R. (2015). *An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*. Recuperado de https://www.eoas.ubc.ca/books/Practical_Meteorology/prmet/Ch19-AirPollut.pdf

- Stull, R. (2012). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Springer Netherlands. Recuperado el 06 de abril de 2017 de <https://books.google.com.ec/books?id=2PjrCAAQBAJ>
- Suárez, L., Mesías, S., Iglesias, V., Silva, C., Cáceres, D. y Ruiz, P. (2014). *Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile*. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 16, 1309-1317. doi:10.1039/c3em00648d
- Suay Belenguer, J. (2010). *Conceptos básicos de meteorología y climatología*. Alicante, España. Recuperado de 10 de junio de 2017 de https://books.google.com.ec/books?id=xhxYAgAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s
- Tai, A., Mickley, L. y Jacob, D. (2010). *Correlations between fine particulate matter (PM_{2.5}) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM_{2.5} to climate change*. *Atmospheric Environment*, 44(32), 3976–3984. Recuperado el 22 de mayo de 2017 de <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.06.060>
- Tainio, M., Nazelle, A., Götschi, T., Kahlmeier, S., Rojas, D., Nieuwenhuijsen, M., Woodcock, J. (2016). *Can air pollution negate the health benefits of cycling and walking?*. *Preventive Medicine*, 87, 233–236. Recuperado el 08 de junio de 2017 de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.02.002>
- Tarlo, S., Cullinan, P. y Nemery, B. (2011). *Occupational and Environmental Lung Diseases*. Recuperado el 16 de abril de 2017 de <https://books.google.co.jp/books?id=o7UCj3KYumoC&lpg=PT134&dq=dangerous%20particulate%20matter&hl=es&pg=PT138#v=snippet&q=pm%202.5&f=false>
- Thermo Fisher Scientific Inc. (2007). *FH62C14 Continuous Ambient Particulate Monitor Instruction Manual*. Recuperado el 22 de mayo de 2017 de <https://tools.thermofisher.com/content/sfs/manuals/EPM-manual-FH62C14.pdf>.
- UNEP - PCFV. (2016). *CLEAN FUELS & VEHICLES REGULATORY TOOLKIT*. Recuperado el 28 de mayo de 2017 de

http://staging.unep.org/transport/new/PCFV/RegulatoryToolkit/docs/Clean_Fuels_and_Vehicles_Toolkit_Full_Report.pdf

- Villarubia, M. (2012). Ingeniería de la Energía Eólica. Recuperado el 11 de junio de 2017 de https://books.google.co.jp/books?id=GW_jEgJJSdcC&lpg=PT19&dq=Perfil%20adiab%C3%A1tico%20seco&hl=es&pg=PT19#v=onepage&q=Perfil%20adiab%C3%A1tico%20seco&f=false
- Wackernagel, H. (2003). *Ordinary Kriging*. In *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 79–88. Recuperado el 23 de mayo de 2017 de http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-05294-5_11
- Wang, J. y Ogawa, S. (2015). *Effects of Meteorological Conditions on PM2.5 Concentrations in Nagasaki, Japan*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(8), 9089–9101. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ijerph120809089>
- Wang, L., Ji, D., Li, Y., Gao, M., Tian, S., Wen, T., Wang, Y. (2017). *The impact of relative humidity on the size distribution and chemical processes of major water-soluble inorganic ions in the megacity of Chongqing, China*. *Atmospheric Research*, 192, 19–29. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.03.016>
- Zúñiga, L. I. y Crespo, E. D. (2010). *Meteorología y climatología*. Madrid, ES: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 27 de mayo de 2017 de <http://site.ebrary.com/bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlasp/reader.action?docID=10609046>

