PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO GEÓGRAFO EN GESTIÓN AMBIENTAL

PERCEPCIÓN DE LOS EFECTOS EN SALUD ASOCIADOS A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y ESTIMACIÓN DE LA MORTALIDAD EVITABLE QUE IMPLICA SU REDUCCIÓN EN EL DMQ

MARIO SEBASTIÁN RODRÍGUEZ ALVAREZ

DIRECTORA: Mtr. ALEXANDRA MENA

QUITO, 2019

Dedicatoria,

A mi muy querida familia.

Agradecimientos,

A mi familia por su gran apoyo y cariño sostenido en el tiempo.

A mis amigas y amigos por su empuje para acabar con esta disertación.

A mis profesores David Chuquer, Alexandra Mena y Jorge Campaña por su apoyo y tiempo para el desarrollo de este proyecto

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I 1
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 Justificación 1
1.2 Planteamiento del problema 2
1.3 Objetivos 4
1.3.1 General 4
1.3.2 Específicos 4
1.4 Marco referencial, teórico y conceptual 5
1.4.1 Antecedentes o marco referencial 5
1.4.2 Marco teórico 6
1.4.3 Marco conceptual 11
1.5 Marco metodológico 12
1.6 Operativización de la investigación 17
CAPÍTULO II 19
2. LA SITUACION AMBIENTAL Y LA CALIDAD DEL AIRE EN EL DMQ 19
2.1 Calidad ambiental en el DMQ 19
2.1.1 Agua 20
2.1.2 Suelo 21
2.1.3 Ruido 21
2.2 Calidad del aire del DMQ 22
2.2.1 Marco normativo 23
2.2.2 La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) 24
2.2.3 La calidad del aire ambiente en el DMQ (2015, 2016 y 2017) 27
2.2.4 Tráfico vehicular y calidad del aire en el DMQ (2018) 31
CAPITULO III 36
3. RELACIÓN CONTAMINACION ATMOSFÉRICA – SALUD Y SU PERCEPCION EN LAS PARROQUIAS DE ESTUDIO 36
3.1 Contaminación atmosférica y salud 36
3.1.1 Estudios en el DMQ 38
3.1.2 Función Exposición – Respuesta 39
3.2 Percepción de la población a la contaminación atmosférica 42

3.2.1 Encuesta de percepción de contaminación atmosférica 43
3.2.2 Descripción de resultados 43
3.2.3 Correlación entre resultados de percepción y niveles de contaminación 58
CAPITULO IV 64
4. ESTIMACION DE LA MORTALIDAD EVITABLE ASOCIADA LA REDUCCION DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION ATMOSFÉRICA 64
4.1 Evaluación de los Impactos en la Salud (EIS) por contaminación atmosférica 64
4.1.1 Identificación de contaminantes e impactos en salud (FER) 65
4.1.2 Evaluación de la exposición 67
4.1.3 Caracterización de impactos 71
4.1.4 Valoración económica 77
4.2 Contraste espacial entre los niveles de contaminación atmosférica, percepción y mortalidad evitable 80
CAPITULO V 89
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 89
5.1 Conclusiones 89
5.2 Recomendaciones 91
5.3 Bibliografía 92
5.4 Anexos 104
5.4.1 Anexo 1. Encuesta de percepción de contaminación atmosférica 104
5.4.2 Anexo 2. Registro fotográfico 106

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operativización de la investigación 17
Tabla 2. Valor guía y objetivos intermedios para PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3 23
Tabla 3. Valores establecidos por la NECA 24
Tabla 4. Estaciones que monitorean el subsistema RAUTO 25
Tabla 5. Estaciones que monitorean los subsistemas REMPA, REDEP, REPAR y REMET. 26
Tabla 6. Promedio anual máximas diarias de concentración de PM_{10} (µg/m3) 27
Tabla 7. Promedio anual de concentración de $PM_{2.5}$ (µg/m3) 28
Tabla 8. Máximo promedio cada 8 horas de concentración de O_3 (µg/m3) 29
Tabla 9. Índice Quiteño de Calidad del Aire (IQCA) 31
Tabla 10. Intensidad media diaria vehicular por parroquia 32

Tabla 11. Ubicación y fecha de monitoreo de contaminantes atmosféricos 33
Tabla 12. Resumen de valores de concentración de contaminantes atmosféricos 35
Tabla 13. Principales impactos a la salud asociados por contaminantes atmosféricos 36
Tabla 14. FER seleccionadas por contaminante e impacto identificado 41
Tabla 15. Aspectos generales de los encuestados 44
Tabla 16. Nivel de importancia del tema de la contaminación del aire por lugar de encuesta 46
Tabla 17. Calificación de la calidad del aire donde vive/trabaja por lugar de encuesta 47
Tabla 18. Influencia de la mala calidad del aire en la salud por lugar de encuesta 48
Tabla 19. Cuantificación del impacto de la mala calidad del aire en la salud por lugar de encuesta 50
Tabla 20. Aparición de enfermedades en lugar de residencia o trabajo por lugar de encuesta 52
Tabla 21. Principales fuentes de contaminación atmosférica 53
Tabla 22. Principales fuentes de contaminación atmosférica por lugar de encuesta 54
Tabla 23. Reconocimiento de contaminantes atmosféricos 55
Tabla 24. Reconocimiento de medidas municipales frente a la contaminación atmosférica ... 56
Tabla 25. Ponderación de preguntas para análisis de correlación 59
Tabla 26. Correlación entre las preguntas 8, 9 y 11 60
Tabla 27. Correlación entre la pregunta 9 y concentración de contaminantes 61
Tabla 28. Correlación entre la pregunta 12 y concentración de contaminantes 61
Tabla 29. Matriz de correlación entre la pregunta 13 y concentración de contaminantes 62
Tabla 30. Matriz de correlación entre la pregunta 14 y concentración de contaminantes 63
Tabla 31. Extrapolación de FER para cambio en la concentración de una unidad 67
Tabla 32. Habitantes expuestos por parroquia y rango de edad seleccionado 68
Tabla 33. Defunciones por parroquia, impacto a la salud y grupo de edad 68
Tabla 34. Tasa de mortalidad basal por parroquia y rango de edad 69
Tabla 35. Mortalidad evitable en un año por reducción del 30% de concentración PM_{10} en el DMQ 74
Tabla 36. Mortalidad evitable en un año por reducción del 30% de concentración PM_{10} en el DMQ 75
Tabla 37. Mortalidad general evitable en un año por reducción del 1% de concentración $PM_{2.5}$ en el DMQ 76
Tabla 38. Mortalidad evitable en un año por reducción del 30% de concentración O_3 en el DMQ 77
Tabla 39. Valor de una Vida Estadística para Ecuador (a precios de 2018) 79
Tabla 40. Valoración económica de la mortalidad evitable 80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema metodológico de la disertación 16
Figura 2. Relación emisiones, meteorología y calidad del aire 22
Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en el DMQ 34

Figura 4. Efectos de la contaminación en la población expuesta 37
Figura 5. FER en relación a contaminantes atmosféricos e impactos a la salud 40
Figura 6. Diagrama de red de respuestas por lugar de encuesta 57
Figura 7. Fuerza y dirección del coeficiente de correlación 58
Figura 8. Extrapolación de FER a concentraciones no evaluadas 66

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Nivel de importancia del tema de la contaminación del aire por lugar de encuesta45
Gráfico 2. Calificación de la calidad del aire donde vive/trabaja por lugar de encuesta 47
Gráfico 3. Influencia de la mala calidad del aire en salud 48
Gráfico 4. Cuantificación del impacto de la mala calidad del aire en la salud por lugar de encuesta 49
Gráfico 5. Aparición de enfermedades en el lugar de residencia o trabajo relacionadas a la mala calidad del aire por lugar de encuesta 51
Gráfico 6. Reconocimiento de alguna medida municipal frente a la contaminación atmosférica 55

INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Contraste espacial entre concentraciones de PM10, percepción de la calidad de aire y mortalidad evitada (≥ 30 años) 81
Mapa 2. Contraste espacial entre concentraciones de PM_{10}, percepción de impacto en salud y mortalidad evitada (≥ 30 años) 82
Mapa 3. Contraste espacial entre concentraciones de PM_{10}, percepción de la calidad del aire y mortalidad evitable (<1 año) 83
Mapa 4. Contraste espacial entre concentraciones de PM_{10}, percepción de impacto en salud y mortalidad evitable (<1 año) 84
Mapa 5. Contraste espacial entre concentraciones de O_3, percepción de calidad del aire y mortalidad evitable (≥ 30 años) 85
Mapa 6. Contraste espacial entre concentraciones de O_3, percepción de impacto en salud y mortalidad evitable (≥ 30 años) 86
Mapa 7. Contraste espacial entre concentraciones de $PM_{2.5}$, percepción de calidad del aire y mortalidad evitable (≥ 15 años) 87
Mapa 8. Contraste espacial entre concentraciones de $PM_{2.5}$, percepción de impacto en salud y mortalidad evitable (≥ 15 años) 88

RESUMEN

Esta investigación tiene por objetivo identificar la percepción de los efectos en salud asociados a la contaminación atmosférica y estimar la mortalidad evitable que implica su reducción en el DMQ. En este sentido, como primer aspecto se realiza un análisis de la situación actual de la calidad del aire del DMQ comparando las concentraciones de $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 registradas en los años 2015, 2016 y 2017 por la Secretaria de Ambiente del DMQ con la normativa ambiental vigente. Además, se presentan los resultados del Proyecto PUCE O13024 del año 2018 relacionados a concentraciones de contaminantes atmosféricos a filo de calle registradas en 10 puntos de monitoreo en Quito. Con respecto a la percepción de la población se aplicaron encuestas en los puntos de monitoreo y se determinó cuál es la apreciación de las personas expuestas cotidianamente a la contaminación sobre la calidad del aire y su influencia en la salud. Además, se analizó si existe o no asociación entre dicha percepción y las concentraciones registradas a filo de calle. Finalmente, mediante la metodología de Evaluación de Impactos a la Salud (EIS), se cuantificó los beneficios de la reducción de la concentración de $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 a filo de calle en términos de muertes evitadas y su implicación económica mediante el método del Valor de una Vida Estadística (VVE). Los resultados muestran que para escenarios de reducción de concentraciones del 30% (PM_{10} y O_3) y 1% ($PM_{2.5}$) se podrían evitar 190 muertes anuales lo que se traduce en 139671248,93 USD.

Palabras clave: Percepción, contaminación atmosférica, Evaluación Impacto Salud, muertes evitadas.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

Según la World Health Organization (WHO, 2016a) el mayor riesgo ambiental para la salud humana es la contaminación atmosférica, la cual afecta a todo el mundo sin discriminar nivel socio económico, edad, género, etc. Sin embargo, existen regiones donde la exposición a una inadecuada calidad de aire es mayor sobrepasando incluso las directrices que la WHO (por sus siglas en español OMS) recomienda. Así en el año 2012, se estimó que 1 de cada 9 muertes a escala global fueron resultado de una inadecuada calidad de aire y que alrededor de 3 millones de muertes estuvieron relacionadas a la calidad del aire en exteriores (WHO, 2016a). Sin embargo, según Ballester (2005) la contaminación atmosférica en espacios interiores tendría un mayor impacto especialmente en países en vías de desarrollo.

Esta condición denota la estrecha relación que existe entre la calidad de aire y la salud de la población generando así preocupación en las autoridades alrededor mundo. De esa manera las políticas cuyo objetivo es la reducción de los niveles de contaminación atmosférica por consecuencia también generan beneficios para la salud humana (WHO, 2016a).

En el marco del Proyecto O13024 de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE) realizado entre febrero del 2018 y febrero del 2019 llamado "Estudio de la contaminación del aire a filo de calle y sus impactos en zonas de alto tráfico de la ciudad de Quito" se propuso un estudio que busque estimar las muertes evitadas que implica la reducción de niveles de contaminantes atmosféricos en zonas de alto tráfico del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), así como también un estudio de percepción acerca de la influencia que para la población expuesta tiene la contaminación atmosférica en la salud. En este sentido, se realizaron mediciones de concentración de contaminantes atmosféricos en 10 puntos de muestreo correspondientes a las parroquias: Mariscal Sucre, Centro Histórico, La Magdalena, San Juan, Itchimbia, Calderón, Conocoto y Cumbayá del DMQ.

Del interés de identificar la percepción de la población expuesta a contaminantes atmosféricos, de cuantificar las muertes que se podrían evitar y partiendo del hecho de que

millones de muertes prematuras están asociadas a la contaminación atmosférica cada año, nació el incentivo académico para realizar esta investigación cuya utilidad radica en ser un insumo y sustento científico para la toma de decisiones en materia de políticas de reducción de concentraciones de contaminantes atmosféricos como el material particulado de diámetro menor a 2,5 micras, menor a 10 micras y el ozono troposférico ($PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 respectivamente) que según la WHO (2006) son relevantes debido a la evidencia epidemiológica que se ha encontrado en estudios en distintos países que relacionan directamente dichos contaminantes con afecciones a la salud humana y que implican a su vez costos públicos elevados.

1.2 Planteamiento del problema

En las últimas décadas, se han evidenciado diferentes fenómenos como los acelerados procesos de urbanización, el aumento exponencial de la población, el incontrolable desarrollo industrial y otras situaciones de origen antrópico que se relacionan con la salud de los seres humanos (Vargas, 2005). Estos fenómenos implican, a nivel global, una mayor demanda de energía, movilidad, alimentos, recursos naturales, producción de bienes y servicios, etc. A escala regional la ONU (2013) señala que las Américas es el continente más urbanizado del mundo. Además de que casi el 80% de la población de América Latina y el Caribe reside en ciudades con más de 20000 habitantes (CEPAL, 2014).

Producto de este contexto se han generado nuevos riesgos a la salud como los relacionados con la inadecuada calidad del aire que se expresa en concentraciones elevadas de contaminantes atmosféricos. En este sentido, la WHO (2018) señala que alrededor del 92% de la población mundial vive en lugares donde se respira aire que excede los límites fijados por este organismo. De igual manera, la WHO (2014) estimó que 3,7 millones de personas mueren al año debido a la exposición a contaminantes atmosféricos de las cuales el 40% son por enfermedades isquémicas al corazón, otro 40% a accidentes cerebrovasculares, un 14% a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y un 6% a cáncer de pulmón. La situación se exacerba ya que casi el 90% de muertes asociadas a la calidad de aire se dan en países cuyos ingresos están catalogados como medios o bajos. Para el caso de América Latina y el Caribe se cuantificó que para el año 2012 se registraron 58000 muertes atribuibles a la calidad del aire (WHO, 2014). Esto evidencia un problema de salud pública digno de la atención y

gestión de las autoridades. Sin embargo, tan solo 77 ciudades ubicadas en 17 de los 33 países Latinoamericanos y del Caribe disponen de información oficial sobre el monitoreo de contaminantes en la atmósfera y además en la mayoría de estas ciudades los niveles de concentración media por año de contaminantes atmosféricos superan las directrices recomendadas por la WHO (Riojas Rodríguez, Soares da Silva, Texcalac Sangrador, & Moreno Banda, 2016).

En un contexto local, Ecuador cuenta con poca información y análisis relacionados a la calidad del aire, su monitoreo y su relación con la salud humana debido a que es un tópico de origen relativamente reciente en el país (Coral, Villalba, & Echeverría, 2010). Sin embargo, desde el año 2002 el DMQ cuenta con una Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) actualmente a cargo de la Secretaria de Ambiente que tiene el objetivo de registrar los niveles de concentración de los principales contaminantes del aire en el DMQ a través de 9 estaciones remotas de monitoreo continuo distribuidas sobre el norte, centro, sur y valles de la capital ecuatoriana. Estos niveles son expresados en un Índice Quiteño de Calidad del Aire (IQCA) que busca informar a la población de las concentraciones diarias de contaminantes, así como su posible peligro a la salud (Secretaría de Ambiente, 2018).

Entendiendo la íntima relación entre una inadecuada calidad de aire y la aparición de enfermedades y mortalidad prematura, es importante señalar que los efectos a corto y largo plazo más relevantes de la contaminación atmosférica en la salud humana se expresan desde el aumento del número de visitas médicas e ingresos hospitalarios hasta la alteración del funcionamiento de los diferentes órganos y sistemas incrementando así la mortalidad por causas respiratorias y cardiovasculares principalmente (Ballester Diéz, Tenías, & Pérez-Hoyos, 1999).

Los principales contaminantes atmosféricos que producen efectos negativos en la salud de la población son el material particulado (PM) de un diámetro de 10 micras (PM_{10}) o menor ($PM_{2.5}$) debido a que estos tienen la capacidad de penetrar y mantenerse en las zonas más profundas de los pulmones (Riojas Rodríguez, Soares da Silva, et al., 2016). Por otro lado, el ozono también es un contaminante atmosférico tóxico que genera impactos en la salud de acuerdo a numerosos estudios que señalan una disminución en la capacidad pulmonar, agravamiento del asma, entre otras consecuencias a causa de su exposición (Ballester, 2005).

Frente al evidente riesgo para la salud que implica la exposición a elevados niveles de concentración de contaminantes atmosféricos y la enorme cantidad de muertes prematuras que estos niveles generan, en los últimos años, se han desarrollado avances en el estudio y comprensión de la relación entre las condiciones medioambientales y la salud en todo el mundo mediante numerosas aproximaciones metodológicas como los estudios clínicos, toxicológicos y los epidemiológicos realizados principalmente en Europa (Vargas, 2005). Por otro lado, existen metodologías más cercanas a la gestión de la salud pública que buscan estimar las muertes que se podrían evitar en un escenario de reducción de los niveles de concentración de diferentes contaminantes atmosféricos (Echániz Pellicer, Garibay Bravo, & Rojas Bracho, 2011). Estas estimaciones constituyen una herramienta que cada vez gana mayor atención en la planificación de salud pública debido a que evidencian las repercusiones económicas y en salud que implican para el individuo y el Estado.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

1. Identificar la percepción de los efectos en salud asociados a la contaminación atmosférica y estimar la mortalidad evitable que implica su reducción en el DMQ.

1.3.2 Específicos

1. Identificar la situación actual y políticas regulatorias de la calidad del aire en el DMQ.

2. Determinar la relación entre la contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 y la salud de la población de las ocho parroquias de estudio a través de un análisis de correspondencia contaminante – salud y un estudio de percepción de la población.

3. Estimar las muertes evitadas atribuidas a la reducción del nivel de concentración de los contaminantes $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 y el impacto económico que generan.

1.4 Marco referencial, teórico y conceptual

1.4.1 Antecedentes o marco referencial

La relación existente entre la contaminación atmosférica y sus efectos sobre la salud humana ha sido una preocupación para la academia desde varias décadas atrás. Sin embargo, en los últimos años la cuantificación de dichos efectos ha sido objeto de múltiples estudios alrededor del mundo (Alonso Fustel et al., 2005).

Uno de ellos es el realizado por Alonso Fustel et al. (2005) donde se estimó los efectos a corto y largo plazo de la exposición diaria al PM_{10} y a humos negros de la población de las ciudades de Bilbao, Barcelona, Madrid, Sevilla y Valencia resultando en la cuantificación de muertes prematuras atribuibles a dichos contaminantes.

Ciudades latinoamericanas también han sido objeto del estudio de los efectos de la contaminación atmosférica en la salud. Este es el caso de la investigación realizada en Santiago de Chile por Sánchez, Valdés, & Ostro (1998). Este artículo aborda desde una óptica económica los impactos en la salud humana relacionados a la implementación de un programa de reducción de concentraciones de PM_{10} de duración de 20 años en la capital chilena. Expresando así los beneficios en salud en mortalidad y morbilidad evitada. De igual manera, se realizó en Bogotá una investigación elaborada por Castillo (2010) donde se ejecutó una evaluación de los beneficios en salud y económicos que representa la reducción de niveles de PM_{10}. Los resultados se expresaron en la reducción de: muertes, uso hospitalario y aparición de síntomas respiratorios, así como también la monetización de las muertes evitadas.

En este sentido, es importante mencionar el estudio realizado por el Instituto Nacional de Salud Pública de México a través Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al. (2016) en el cual se cuantificó el número de muertes que se podrían evitar en un año, y su correspondiente valorización económica, en un escenario de reducción de niveles de concentración de contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3) a los estándares expresados en las Normas Oficiales Mexicanas y en las directrices que la WHO recomienda.

En un contexto local, existen políticas y normativas que regulan los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes atmosféricos (Anexo 4 del TULSMA referente a la Norma de Calidad de Aire Ambiente o nivel de Inmisión) así como también redes de monitoreo ubicadas en las grandes ciudades del Ecuador que registran dichos niveles

como la REMMAQ ubicada en Quito (Secretaría de Ambiente, 2018). De igual manera se pueden encontrar varios estudios oficiales como el Plan Nacional de Calidad del Aire 2010 realizado por el Ministerio del Ambiente (MAE) a cargo de Coral et al. (2010) donde se realizó un diagnóstico de la situación en cuanto a calidad del aire en el Ecuador, así como también se propuso estrategias y programas de gestión de la calidad del aire para aquellos años. De igual manera existe el Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional 2008–2012 realizado por el MAE a cargo de Moscoso Estrella et al.(2014) donde se describe brevemente los efectos sobre la salud de varios contaminantes atmosféricos.

Existe también un estudio elaborado por Paez (2012) donde se analiza la situación de la gestión de la contaminación atmosférica del DMQ resultando en que la mayoría de contaminantes atmosféricos comunes de Quito se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. Sin embargo, en el Ecuador y específicamente en el DMQ no se han realizado estudios que busquen cuantificar la influencia que existe entre calidad de aire y salud en términos de muertes evitables y su impacto económico al reducir los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos como el $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3, así como también la percepción que tiene la población acerca de la calidad del aire.

1.4.2 Marco teórico

Contaminación y contaminantes atmosféricos

La contaminación atmosférica no es un fenómeno reciente, siempre ha existido producto de erupciones volcánicas, descomposición de materia orgánica o incendios, sin embargo, a partir del descubrimiento del fuego se marca un punto de inflexión que cobraría importancia fundamentalmente a partir de la revolución industrial del siglo XVIII y el uso de combustibles de origen fósil (Aránguez et al., 1999).

Así, para poder definir la contaminación atmosférica o contaminación del aire es importante precisar la definición de aire, que según la Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire Ambiente (NECA) establecida por el MAE (2015) es la mezcla gaseosa cuya composición estándar es de por lo menos 20% de oxígeno, 79% de nitrógeno y 1% de dióxido de carbono como también de proporciones variables de otros gases y vapor de agua. En este sentido, la

llamada contaminación del aire, es definida según la NECA como la presencia de diferentes sustancias en la atmósfera producto de actividades antrópicas o procesos naturales, que se presentan en una concentración, un tiempo y bajo circunstancias suficientes para interferir en el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

Debido a la gran diversidad de sustancias que pueden ser producto de la actividad antrópica o de procesos naturales se ha clasificado dichas sustancias como contaminantes criterio y contaminantes no convencionales. Los contaminantes criterio del aire son aquellas sustancias o materiales que se presentan con una concentración a nivel del suelo que afecta a los receptores, sean estos seres humanos, animales, vegetación, etc. Mientras que los contaminantes no convencionales son aquellas sustancias o materiales que se presentan como una amenaza de consecuencia negativas en la salud humana o el medio ambiente. Establece también que los contaminantes criterio son: partículas sedimentables, $PM_{10,}$ $PM_{2.5}$, dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y ozono troposférico (O_3). Con respecto a los contaminantes no convencionales la normativa establece que son el benceno, cadmio y el mercurio inorgánico (MAE, 2015).

Como se mencionó anteriormente los contaminantes atmosféricos sean contaminantes criterios o no convencionales generan efectos en la salud de la población. Estos efectos dependen de múltiples variables tales como la concentración, el tiempo de exposición, etc. Por lo tanto, cada variable que se involucra en los efectos en salud es fruto de estudios epidemiológicos o de toxicidad que buscan clarificar la relación entre el contaminante y la afección (Tyler, Ramírez, & Ortegón, 2013).

Epidemiología ambiental y salud pública

La epidemiología se define en Last, 2001, citado por Bonita, Beaglehole y Kjellström (2008) como "el estudio de la distribución y de los determinantes de los estados o fenómenos relacionados con la salud en poblaciones específicas y la aplicación de este estudio al control de los problemas sanitarios" entendiéndose esta como una ciencia que busca responder las preguntas de cuándo, dónde y qué tipos de personas son afectadas por factores físicos, químicos, biológicos, sociales, culturales o económicos que tienen una influencia en su salud en términos de enfermedades, muertes, uso de servicios públicos sanitarios, hábitos, etc.

Un enfoque de la epidemiología es la denominada epidemiología ambiental que busca estudiar específicamente la relación existente entre el ambiente y la salud de las poblaciones (Bonita et al., 2008). La epidemiología ambiental puede ser entendida también como el estudio detallado de los tipos de exposiciones y características específicas de nuestro medio que impactan en mayor o menor magnitud en nuestra salud. De esta manera, la epidemiología ambiental comúnmente trabaja con una gran diversidad de enfermedades y un sinnúmero de sustancias químicas orgánicas o inorgánicas de diferentes orígenes. Si bien todos los enfoques de la epidemiología tienen una naturaleza multidisciplinaria y multisectorial, el abordaje ambiental requiere la participación de múltiples disciplinas como Medicina, Química, Geografía, Sociología o Biología. Asimismo, el enfoque ambiental de esta disciplina reconoce la importancia de la percepción de distintas exposiciones y su relación con enfermedades en el sentido de que estas pueden favorecer actitudes y conductas saludables en la cotidianidad (Ibarluzea, Santa Marina, & Basterrechea, 2014).

La salud de los seres humanos se encuentra condicionada por múltiples factores sociales, económicos, ambientales, el nivel de acceso a servicios y recursos básicos, el estilo de vida o incluso la herencia genética (Bacigalupe, Esnaola, Calderón, Zuazagoitia, & Aldasoro, 2009). Esto denota que el estudio de la salud humana puede ser abordado desde diferentes ópticas complementarias como la salud pública, cuyo objetivo es el mantenimiento y preservación de la salud y desde la visión de la medicina clínica entendida como una práctica médica que busca dar solución a problemas en la salud (Álvarez Alva & Kuri-Morales, 2018).

Se considera a la epidemiología como uno de los instrumentos de la salud pública, entendiendo a esta como el conjunto de prácticas de carácter colectivo que se enfocan en mejorar la salud de la población (Bonita et al., 2008). Por otro lado, también se puede definir a la salud pública como la intervención colectiva por parte del Estado y la sociedad civil orientada a salvaguardar y mejorar la salud de las personas mediante la garantía del acceso y calidad a los servicios de salud y las intervenciones de enfoque comunitario en temas económicos, medioambientales o sociales. Es importante recalcar las intervenciones que se realiza desde la salud pública hacia los factores determinantes externos de la salud ya que no solo el objetivo específico de esta debe limitarse a los bienes y servicios públicos de salud (OPS, 2002).

Bacigalupe et al.(2009) respecto a la salud pública comentan que las intervenciones que se realizan desde las administraciones públicas generalmente se relacionan con determinantes de la salud. En este sentido, señala que se pueden utilizar metodologías predictivas como la Evaluación de Impacto a la Salud (EIS) con el objetivo de incorporar el tópico salud en la planificación de políticas públicas de índole no sanitaria.

Abordaje geográfico

Al ser la epidemiología una disciplina que involucra muchos saberes académicos Bonita, Beaglehole y Kjellström (2008) mencionan al respecto que una característica particular del enfoque ambiental de la epidemiología es su base geográfica, es decir, la contaminación atmosférica, hídrica o del suelo suelen darse en espacios geográficamente definidos. De igual manera expresan que la Geografía brinda instrumentos y marcos teóricos útiles para los estudios epidemiológicos como: la información geoespacial o modelos de calidad de aire que unidos al análisis de los sistemas de información geográfica (SIG) permiten cuantificaciones de exposición y aproximaciones a los efectos de dicha contaminación sobre la salud humana.

Geografía de la Salud

Las relaciones que existen entre geografía y salud han sido reconocidas desde la Antigüedad, en este sentido, existe una amplia documentación que denota que desde los inicios del ser humano como especie, éste ha buscado identificar lo sano y lo peligroso en su relación con el medio ambiente (Iñiguez Rojas, 1998). Así la Geografía de la Salud, cuyo apelativo más aceptado en la academia anglosajona es la de Geografía Médica, ha formado parte de la disciplina geográfica desde sus inicios, sin embargo, hacia la década de 1970 se ha renovado y ganado interés por parte de la comunidad científica considerando como problema central de su estudio la salud y el bienestar de la población (Ramírez, 2004).

Para Santana (2014) la Geografía de la Salud es una disciplina científica de naturaleza holística que incorpora temas de Geografía Física como la Climatología regional y local con temas propios de la Geografía Humana como la Demografía o el Ordenamiento Territorial. Así pues, en la Geografía de la Salud convergen fenómenos ambientales, sociales,

económicos, culturales y del comportamiento que permiten el entendimiento de los patrones de la salud y enfermedad. En este sentido, esta disciplina busca brindar conocimientos que permitan comprender las complejas relaciones que existen entre las condicionantes de la salud, las políticas, el acceso y calidad de servicios de salud y su influencia en el territorio (Santana, 2014).

Es importante señalar que han existido a lo largo de los años diferentes corrientes que relacionan a la Geografía con la Salud. Así según indican Peña, Perdomo, & Cuartas (2016) la Geografía Medica se constituyó una disciplina científica desde el siglo XVIII que se encargaba de entre otras cosas de identificar y analizar la distribución de enfermedades infecciosas y crónicas que tenían estrecha relación con condiciones geográficas especificas mediante técnicas cartográficas. Por lo que la Geografía Médica, para mediados del siglo XX, no sólo consistió en espacializar dichas enfermedades sino también en identificar los factores geográficos que provocan su ocurrencia y difusión. Por otro lado, la Geografía de la Salud evolucionó desde la Geografía Médica para explicar la relación entre la salud y sus condicionantes tomando en cuenta teorías y paradigmas científicos, componentes culturales y una visión crítica de los resultados obtenidos. De esta manera la Geografía de la Salud, desde un abordaje interdisciplinar, se enfoca en las desigualdades de las poblaciones y de la producción de las enfermedades en el territorio visualizando los lugares que benefician o perjudican la salud humana en términos contaminación ambiental, acceso a bienes y servicio, inequidades sociales, etc. (Peña et al., 2016).

Geografía de la Percepción

A partir de la segunda mitad del siglo XX nuevas corrientes en la disciplina geográfica tomaron relevancia, incorporando, a través de investigadores sociales anglosajones, métodos de observación participativa que promoverían la relación entre el ser humano, el entorno que lo rodea y el comportamiento que asume ante él, naciendo así la Geografía del Comportamiento y Percepción (Yago, 2012).

Siguiendo esta línea se puede afirmar que hacia los años 80s los estudios de Geografía de Percepción se han centrado en análisis subjetivos utilizando técnicas como las entrevistas, encuestas, mapas mentales, etc. (Yago, 2012). Es importante mencionar los trabajos realizados por Lynch en los años 60s como ejemplos de estudio de percepción de espacios

urbanos en donde identifico ciertos elementos del paisaje urbano (nodos, hitos, bordes, sendas o barrios) como partes estructurantes de la configuración mental de las personas con respecto a la ciudad (Millán Escriche, 2004).

De esta manera la base teórica de esta tendencia, reaccionaria a la tendencia cuantitativa en Geografía, radica en que la percepción es un filtro de la relación humano y naturaleza, pero también permite la producción de comportamientos específicos en función del medio percibido. Es decir, el ser humano percibe e interpreta al medio a través de sus sentidos generando a su vez un comportamiento específico (Estébanez Alvarez, 1979).

1.4.3 Marco conceptual

Contaminación atmosférica: Se define como la presencia de sustancias en la atmósfera, en cualquier estado físico, producto de actividades antrópicas o fenómenos naturales, que se encuentran presentes bajo una concentración no habitual, un tiempo y condiciones suficientes para causar cambios o alteraciones en la salud y bienestar de los humanos o de la naturaleza (MAE, 2015).

Norma de calidad de aire ambiente o nivel de inmisión: Es el valor establecido por la NECA que determina el límite máximo permisible de concentración de un contaminante atmosférico, a nivel del suelo y en un tiempo promedio de muestreo especifico, con el objetivo de proteger la salud y el medio ambiente (MAE, 2015).

Exposición: Se entiende como el producto del contacto entre la población y los contaminantes atmosféricos tomando en cuenta la distribución espacial de la población de interés (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016). También se la puede entender desde un enfoque ambiental como la exposición a agentes físicos, químicos o bilógicos potencialmente dañinos en el ambiente (Biblioteca Nacional de Agricultura, 2002).

Función concentración – respuesta: Son los cambios en los efectos en la salud humana producto de cambios en los niveles de concentración de contaminantes basados en estudios epidemiológicos (Martínez Vásquez, 2008). Es decir, indica la probabilidad de la ocurrencia o no de un impacto en la salud en un individuo o una población expuesta en función de un cambio de concentración de un contaminante (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016).

Percepción: Es el proceso que ocurre debido a la presencia de un objeto y la aprensión de su localización y atributos por parte de los sentidos, además se encuentra relacionado directamente con el entorno más inmediato provocando un comportamiento igualmente inmediato. De esta manera, se puede decir que es la suma de todos los comportamientos, memorias, percepciones y predilecciones cuyo producto es la denominada cognición ambiental (Downs & Stea, 2011).

Muertes evitables: Es el número de defunciones prematuras que se podrían evitar estadísticamente cada año producto de reducir los niveles de contaminación a niveles aceptables de calidad de aire en función a normas o directrices preestablecidas (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016). También se puede definir a las muertes evitables como los casos de muertes por procesos que poseen tratamiento o medidas de prevención que hubieran podido evitarse siempre y cuando el sistema sanitario hubiera actuado correctamente en todos sus pasos (Vergara Duarte, Benach, Martínez, Buxó Pujolràs, & Yasui, 2009).

Valorización económica: Es la asignación de un valor monetario a las muertes evitadas con la finalidad de transformar los beneficios a la salud en una medida económica para comparar los costos de distintas políticas públicas (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016).

1.5 Marco metodológico

La metodología utilizada en esta disertación pone en práctica los métodos descriptivos y analíticos de investigación, como también levantamientos cualitativos de información mediante encuestas individuales a la población.

Frente a la situación descrita en la justificación de la disertación con respecto a la relación entre contaminación atmosférica y su impacto en la salud, la WHO (2016b) menciona que existe una metodología estandarizada que busca ser sustento a la toma de decisiones políticas de reducción de contaminantes. Esta metodología es llamada Health Risk Assessment of Air Pollution (AP–HRA) que por su adaptación en español se traduce en Evaluación de Impactos a la Salud (EIS) por la contaminación atmosférica y permite la identificación, evaluación, caracterización y cuantificación de los impactos a la salud de la

población que pueden asociarse a un cambio en los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos (Echániz Pellicer et al., 2011).

En este sentido, la metodología aplicada para esta disertación parte del estudio realizado en el 2016 por el Instituto Nacional de Salud Pública de México, a cargo del Doctor Horacio Riojas llamado. Sin embargo, cabe mencionar que dicha metodología se adaptó a las condiciones específicas de la zona de estudio como también a los insumos de información disponibles de la misma. Así la disertación se dividió en las siguientes etapas:

- **Fase 1: Recopilación de información secundaria**

En la primera etapa se realizó la recopilación de información secundaria bibliográfica respecto a la calidad del aire y los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3) del DMQ. Los niveles de concentración de contaminantes atmosféricos fueron suministrados por los datos de los 10 puntos de muestreo del Proyecto O13024 de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador llamado "Estudio de la contaminación del aire a filo de calle y sus impactos en zonas de alto tráfico de la ciudad de Quito." Además, se recopiló el marco legal ambiental vigente que regula la contaminación atmosférica en el DMQ y las directrices internacionales que recomienda la WHO al respecto.

- **Fase 2: Identificación de la relación contaminantes y salud**

En la segunda etapa se identificó la relación existente entre los contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3) y la salud de los seres humanos mediante la revisión de bibliografía epidemiológica para la determinación de las Funciones Exposición–Respuesta (FER) para el impacto a la salud seleccionado.

- **Fase 3: Estudio de percepción a la población**

Como tercera etapa se realizó un levantamiento en campo de información cualitativa relacionada a la percepción de la población con respecto a los contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3) y sus efectos en la salud en los lugares donde fueron registradas las concentraciones de contaminantes atmosféricos a filo de calle (Proyecto O13024). Se utilizó un muestreo cualitativo no probabilístico debido a las condiciones

exploratorias del estudio y porque la investigación busca tanto una representatividad estadística sino más bien una elección controlada de los casos (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010). De esta manera se realizaron 10 encuestas por cada punto de muestreo priorizando criterios operativos preestablecidos (lugar de residencia o trabajo de los encuestados). La encuesta se estructura con preguntas cerradas que buscan identificar la percepción de las personas con respecto al nivel de calidad de aire y como este se vincula con la aparición de enfermedades. Se procesó las encuestas mediante el programa estadístico SPSS 25 y se ponderó numéricamente algunas respuestas de la encuesta. De esta manera, se realizaron correlaciones entre algunas preguntas de la encuesta y los niveles de concentración con el fin de identificar tendencias.

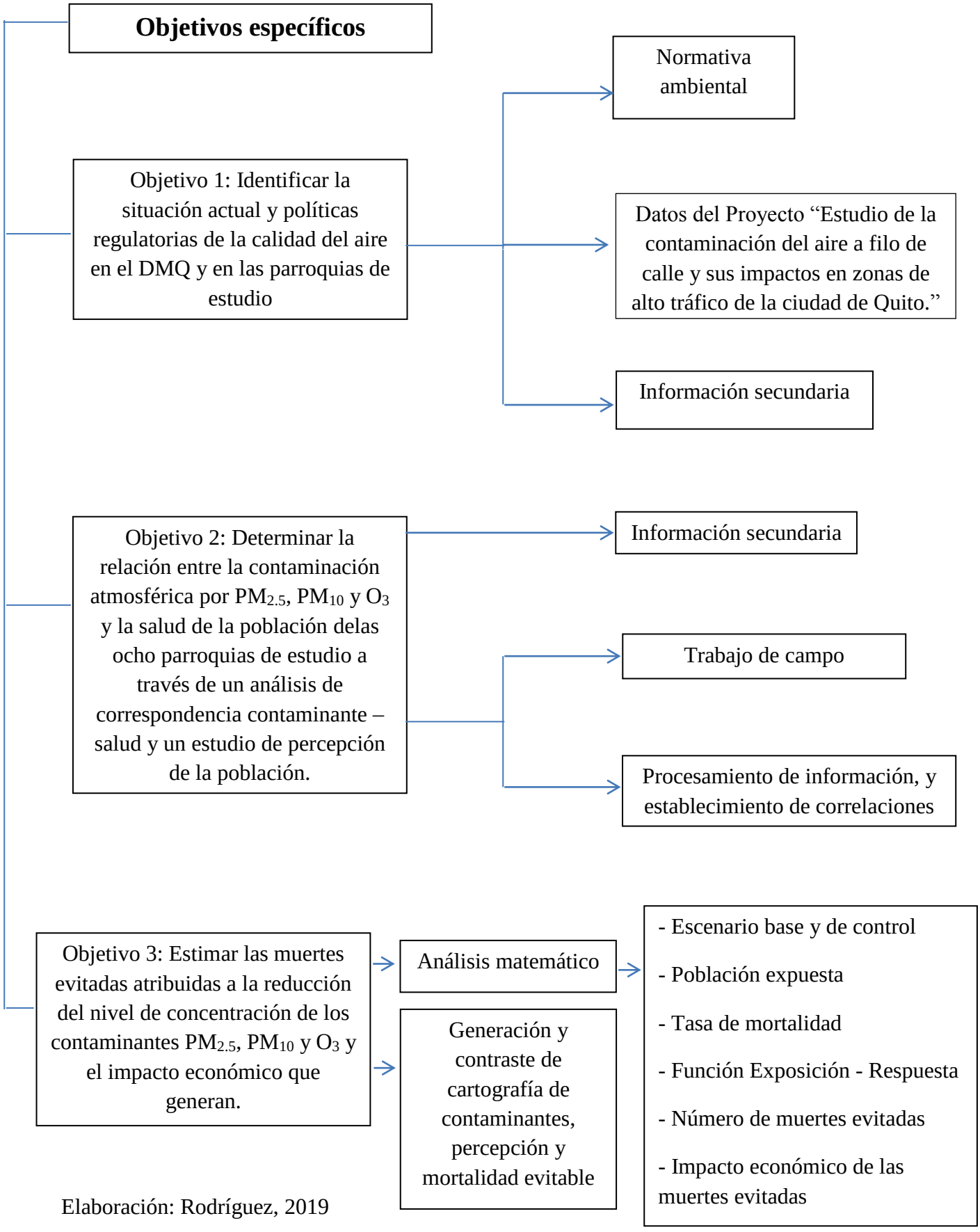
- **Fase 4: Estimar las muertes evitadas y su impacto económico**

Como última fase se establecieron los escenarios base, es decir, las concentraciones de contaminantes atmosféricos medidos por el Proyecto O13024 para los contaminantes $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 y también los escenarios de control que se basan en el cambio de concentración de contaminantes atmosféricos que medidas de mitigación como la Infraestructura Verde Urbana pueden generar. En este sentido, los escenarios de control para el $PM_{2.5}$ según Jayasooriya, Ng, Muthukumaran, & Perera (2017) y Nowak, Hirabayashi, Bodine, & Hoehn (2013) oscilan entre el 1% de remoción de este contaminante. Para el caso del PM_{10} el porcentaje de remoción aproximadamente es del 30% del material según estudios realizados por Jayasooriya et al. (2017); Pugh, MacKenzie, Whyatt, & Hewitt (2012) y Tallis et al. (2015). Por último, el escenario de cambio de concentración con respecto al O_3 es de aproximadamente un 30% (Jayasooriya et al., 2017). Mediante la ubicación de los 10 puntos de muestreo se determinó la población expuesta a los niveles de concentración según el grupo de edad correspondiente a las FCR mediante a la consulta de los datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2010 a escala de parroquias urbanas de Quito. A través de la consulta del sistema de información de producción de salud del Ministerio de Salud Pública del Ecuador correspondiente al año 2016 se estableció las defunciones por causas específicas relacionadas a las FCR de cada parroquia correspondiente a los puntos de muestreo. Se calculó las muertes evitadas teniendo en cuenta los insumos anteriormente mencionados. Como último momento se cuantificó monetariamente las

muertes evitables mediante la determinación del Valor de una Vida Estadística (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016). Además, se generó cartografía que permitió el contraste espacial entre niveles de contaminación atmosférica, percepción y mortalidad evitable.

El siguiente esquema (*Figura 1)* muestra el proceso metodológico para la obtención de los objetivos establecidos:

Figura 1. Esquema metodológico de la disertación



Elaboración: Rodríguez, 2019

1.6 Operativización de la investigación

Tabla 1. Operativización de la investigación

Objetivos	Variable	Indicador
Identificar la situación actual de la calidad del aire en el DMQ y en las parroquias de estudio en términos de niveles de concentración de contaminantes y políticas regulatorias	Normativa ambiental	Límites máximos permisibles de contaminantes atmosféricos
	Datos del Proyecto "Estudio de la contaminación del aire a filo de calle y sus impactos en zonas de alto tráfico de la ciudad de Quito."	Niveles de concentración de contaminantes ($\mu g/m^3$ y ppb)
Determinar la relación entre la contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 y la salud de la población de las ocho parroquias de estudio a través de un análisis de correspondencia contaminante – salud y un estudio de percepción de la población	Estudios epidemiológicos de las impactos a la salud seleccionados	Función Exposición - Respuesta (FER)
	Percepción de la población	Nivel de percepción

Estimar las muertes evitadas atribuidas a la reducción del nivel de concentración de los contaminantes $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 y el impacto económico que generan	Escenarios control	% Reducción: $PM_{2.5}$:1% PM_{10}: 30% O_3: 30%
	Población expuesta por grupo de edad	Número de personas expuestas
	Tasa de mortalidad	Número de defunciones por causa seleccionada
	Mortalidad evitada	Número de muertes evitadas
	Impacto económico	Número de dólares equivalentes a las muertes evitadas

Elaboración**:** Rodríguez, 2019

CAPÍTULO II

2. LA SITUACION AMBIENTAL Y LA CALIDAD DEL AIRE EN EL DMQ

2.1 Calidad ambiental en el DMQ

El DMQ debido a sus múltiples características geográficas (latitud, altitud, temperatura, luminosidad, precipitación, etc.) y antrópicas (población, servicios básicos, actividades económicas, etc.) presenta una importante diversidad de ecosistemas naturales y antrópicos en los cuales los recursos naturales como el agua, suelo y atmósfera se encuentran en una constante dinámica. Además, la ciudad de Quito se ha configurado de forma longitudinal debido a que se encuentra situado en una meseta a las faldas del volcán Pichincha en donde se evidencia una topografía compleja que puede ser un factor condicionante. Sin embargo, los acelerados procesos de cambio de uso de suelo, deforestación, crecimiento de la infraestructura urbana y contaminación ambiental amenazan constantemente estos espacios naturales o antrópicos poniendo en juego así los servicios ecosistémicos que proveen y su funcionalidad (Secretaría de Ambiente, 2015b).

El DMQ tiene un superficie de 423370 hectáreas, de las cuales el 72,4 % constituyen cobertura vegetal, el 18,6 % áreas cultivadas y pastos y un 8,9 % áreas edificadas; no obstante cifras del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) muestran que entre el periodo 1986-2015 la tasa anual de incremento de la mancha urbana fue de 1038 hectáreas mientras que la tasa de pérdida de bosques húmedos fue de aproximadamente 2040 hectáreas cada año, denotando así la forma en que los acelerados procesos antrópicos descritos anteriormente se plasman en el espacio. Sin embargo, cabe mencionar que frente a esta situación 138803 hectáreas, es decir, casi el 33% del territorio metropolitano actualmente se encuentra conservado bajo el Subsistema Metropolitano de Áreas Naturales y Corredores Ecológicos (Secretaría de Ambiente, 2015c).

El evidente deterioro ambiental producto de las presiones humanas sobre su medio generalmente se traducen en una inadecuada calidad de aire, agua o suelo; este impacto fue cuantificado mediante la actualización del cálculo de la huella ecológica del DMQ en el año 2014 que resultó en que cada habitante de Quito demanda 1,77 hectáreas globales en recursos para satisfacer sus necesidades , esta cifra es un 9% mayor a la Huella Ecológica per cápita nacional que es de 1,62 hectáreas globales (Baca, 2014). Esto denota que los patrones de

consumo de bienes y servicios capitalinos se incrementan junto con los procesos antrópicos de modificación del ambiente generando presiones a los recursos naturales.

Para el año 2015 se realizó el Plan Ambiental Distrital 2015–2025 en donde la Secretaría de Ambiente (2015a) diagnosticó y generó planes de acción en 5 diferentes ejes: patrimonio natural, cambio climático, manejo de residuos sólidos, participación ciudadana ambiental y calidad de los principales recursos naturales (agua, suelo, ruido y atmosfera) con el objetivo de gestionar integralmente el medio ambiente en el DMQ en los próximos 10 años.

2.1.1 Agua

Con respecto al líquido vital se encontró que a pesar de la sustanciosa oferta hídrica que tiene Quito, el consumo promedio de agua en la ciudad es de 189,1 litros por habitante por día (lt/hab*día), cifra que se encuentra por debajo de la media regional para Latinoamérica de 268,5 l/hab*día pero que es un 90% superior al término recomendado por la OMS que va entre 50 a 100 lt/hab*día (MDMQ, 2015).

La calidad de los ríos y fuentes hídricas sufren un continuo deterioro a causa de los asentamientos humanos, la mala disposición de residuos sólidos, la explotación en canteras, etc. Tomando en cuenta además de que no existe un sistema integral de tratamiento de aguas residuales para toda la ciudad. En este sentido, la Red Metropolitana de Monitoreo de Recursos Hídricos (RMMRH) indica que las concentraciones en hidrocarburos, detergentes, aceites, demanda biológica de oxigene y demando quimia de oxígeno sobrepasan los límites estipulados en la normativa ambiental (Secretaría de Ambiente, 2015b).

En este sentido, la Empresa Pública de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) a través de su Programa de Descontaminación de los Ríos y Quebradas de Quito comenzó con la construcción en el año 2013 de la primera planta de tratamiento de aguas residuales en la zona de Quitumbe al sur de Quito que para el año 2017 ya emprendió sus actividades operativas tratando un caudal de 100 lt/s. Por otro lado, es importante mencionar la importancia de una adecuada gestión de las quebradas ya que estas se ven afectadas principalmente por la deposición de escombros y desechos como también por su relleno para la construcción de infraestructura, poniendo en juego su rol fundamental en el sistema hídrico de la ciudad que es el de brindar servicios ecosistémicos (Secretaría de Ambiente, 2015b).

2.1.2 Suelo

En un contexto de gestión ambiental local del suelo, no se cuenta con información clara y actualizada de la calidad del recurso en el DMQ. Sin embargo, según la Secretaría de Ambiente del DMQ se pueden identificar tres diferentes fuentes de presiones principalmente de carácter antrópico que alteran la calidad del mismo.

Por un lado, se encuentran las actividades agrícolas en donde las malas prácticas agroproductivas se evidencian en el uso indiscriminado de agrotóxicos y son consecuencia de un enfoque no sustentable de la agricultura ecuatoriana. Por otro lado, las actividades ganaderas se relacionan con el cambio de la cobertura vegetal y la deforestación además de prácticas inadecuadas como el sobrepastoreo. Por último, el sector industrial y comercial genera complicaciones principalmente debido a la mala disposición de desechos sólidos. Estas presiones han contribuido y contribuyen al deterior progresivo del suelo generando contaminación, erosión y posibles amenazas a los asentamientos humanos en términos de movimientos en masa. Frente a estas problemáticas se han generado múltiples programas entorno a la recuperación de suelos degradados mediante la recuperación de la cobertura vegetal, la gestión integral de residuos sólidos e incluso la planificación de la gestión del uso y ocupación del suelo. Es importante mencionar que cada recurso natural es interdependiente de los demás por lo que una adecuada gestión de la calidad del suelo implica la reducción de la contaminación de las fuentes hídricas y el aumento de la sostenibilidad de actividades agroproductivas (Secretaría de Ambiente, 2015b) .

2.1.3 Ruido

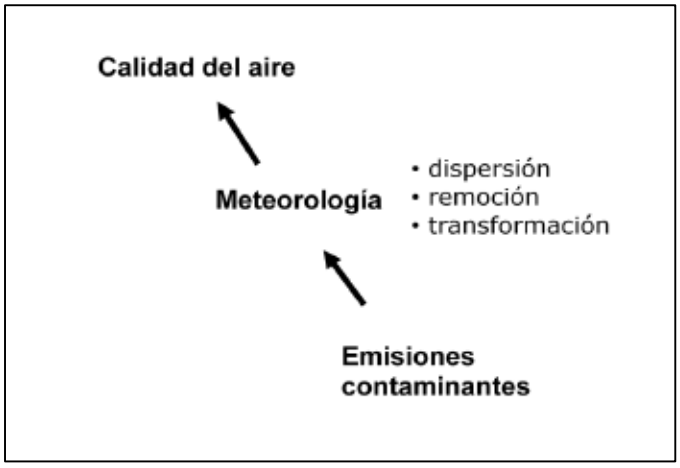
El ruido ambiental ha sido una variable que la Secretaría de Ambiente del DMQ ha monitoreado desde el año 2003 mediante la implementación de una red de monitoreo continuo y permanente en tres estaciones fijas distribuidas en la zona norte, centro y sur de la ciudad. El principal objetivo de este monitoreo es evaluar si los niveles de ruido ambiental en el distrito que se generan, especialmente en zonas industriales y de alto flujo vehicular, producen impactos en la población o en el medio ambiente (Secretaría de Ambiente, 2012).

En este sentido las mediciones se realizaron hasta el año 2014 y se evidenció que para ese año el nivel sonoro se encontraba en un rango de 58 a 62 decibeles en periodos diurnos y de 54 a 56 decibeles en periodos nocturnos. Es importante señalar que tanto los niveles registrados en periodos diurnos y nocturnos exceden los límites recomendados por la OMS y podrían estar asociados a impactos en la salud como molestias graves durante el día y trastornos del sueño en la noche (Secretaría de Ambiente, 2015a).

2.2 Calidad del aire del DMQ

Una variedad de fenómenos naturales o humanos tienen influencia sobre la calidad del aire de Quito. Aparte de las condiciones meteorológicas, el transporte vehicular, la calidad de los combustibles, las prácticas culturales como las quemas agrícolas y el manejo de materiales o residuos sólidos son factores determinantes de una calidad del aire adecuada o no. En este sentido se puede definir a la calidad del aire como el producto de la acción de la meteorología sobre las emisiones de las múltiples fuentes contaminantes (*Figura 2*), es decir, como la dirección y velocidad del viento, la temperatura o la radiación influye para que los contaminantes atmosféricos se concentren o se dispersen en la atmósfera que cubre el territorio quiteño (Oviedo Carrillo, 2015).

Figura 2. Relación emisiones, meteorología y calidad del aire



Fuente: Oviedo Carrillo, 2015

2.2.1 Marco normativo

Guías de calidad de aire de la WHO

La WHO desde 1987 ha publicado guías de calidad del aire con el objetivo de orientar políticas públicas que puedan ser adoptadas por países alrededor de todo el mundo con el fin de reducir los efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana. Estas guías parten de la recopilación y análisis de expertos acerca de estudios científicos que evidencian los impactos en la salud que implica una mala calidad de aire y que se pueden traducir en valores determinados de concentración que denotan el aumento o decrecimiento de efectos adversos como un mayor riesgo de mortalidad a largo plazo. Cabe señalar que es poco probable que un valor o norma de calidad de aire proteja completamente a la población expuesta, sin embargo, este organismo internacional recomienda a los países adoptar normas estrictas con los valores más bajos posibles teniendo en cuenta sus propias limitaciones, capacidades y prioridades en lo relacionado a la gestión de la salud pública (WHO, 2006b).

La WHO además de definir un valor considerado como guía también define tres valores considerados como objetivos intermedios que pueden ser conseguidos mediante la aplicación sucesiva y sistemática de medidas de reducción. En la *Tabla 2* se muestran los valores mencionados (μg/m^3 y ppb) además de los objetivos intermedios.

Tabla 2. Valor guía y objetivos intermedios para PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3

Guía de calidad del Aire WHO (μg/m^3 y ppb)					
Medida	**Concentraciones medias anuales**	**Concentraciones de 24 horas**	**Concentraciones medias anuales**	**Concentraciones de 24 horas**	**Concentraciones medias anuales (8 horas)**
	PM_{10}		**$PM_{2.5}$**		**O_3**
Objetivo Intermedio 1	70	150	35	75	160
Objetivo Intermedio 2	50	100	25	50	N/A
Objetivo Intermedio 3	30	75	15	37.5	N/A
Valor guía	**20**	**50**	**10**	**25**	**100**

Fuente: WHO, 2006b Elaboración: Rodríguez, 2019

Norma Ecuatoriana de Calidad de Aire (NECA)

La NECA es una norma técnica que forma parte del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Anexo 4) de aplicación obligatoria en el Ecuador en donde se establecen los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes criterio y no convencionales en el aire ambiente además de los métodos de medición de dichas concentraciones y los planes de alerta, alarma y emergencia relacionados (MAE, 2011). En la *Tabla 3* se expresan los límites máximos permisibles para los contaminantes criterio PM_{10}, $PM_{2.5}$ y O_3 además de los valores que denotan un nivel de alerta, alarma y emergencia en concentraciones de 24 horas para el material particulado y en concentraciones de 8 horas para el ozono troposférico.

Tabla 3. Valores establecidos por la NECA

Contaminante	**Límites máximos permisibles (µg/m³ y ppb)**		**Nivel de alerta**	**Nivel de alarma**	**Nivel de emergencia**
	Promedio anual	**Promedio 24 horas**			
PM_{10}	50	100	250	400	500
$PM_{2.5}$	15	50	150	250	350
O_3	100	N/A	200	400	600

Fuente: MAE, 2011 Elaboración: Rodríguez, 2019

De esta manera la NECA busca evaluar el estado de la atmósfera y su consecuente calidad con el fin de salvaguardar la salud de la población, de los ecosistemas garantizando el bienestar del ambiente en general. Identifica además para cada uno de los contaminantes sean criterio o no convencionales sus características físicas y químicas, principales fuentes de emisión o procesos que los generan y los impactos en la salud que la exposición a corto o largo plazo puedan generar (MAE, 2011).

2.2.2 La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ)

Desde hace más de una década la Secretaría de Ambiente del MDMQ realiza monitoreos continuos y permanentes de las concentraciones de los contaminantes criterios estipulados en la NECA: Material sedimentable, material particulado menor a 10 y 2,5 micrómetros de diámetro (PM_{10} y $PM_{2.5}$), ozono troposférico (O_3), monóxido de carbono

(CO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y dióxido de azufre (SO_2) con el objetivo de ser un soporte técnico para la toma de decisiones en materia de políticas de mejora de la calidad del aire en beneficio de toda la población pero con especial énfasis en grupos vulnerables (Secretaría de Ambiente, 2018).

Estas mediciones se realizan mediante la REMMAQ desde hace más de 15 años. Actualmente esta red está constituida por 5 subsistemas: La Red Automática (RAUTO), Red de Monitoreo Pasivo (REMPA), Red de Depósito (REDEP), Red Activa de Material Particulado (RAPAR) y la Red Meteorológica (REMET). Estas registran las concentraciones de los contaminantes atmosféricos como también las principales variables meteorológicas (Secretaría de Ambiente, 2018).

La RAUTO está formada por nueve estaciones fijas distribuidas en cada una de las administraciones zonales del DMQ y una estación de respaldo que se encuentra en las instalaciones de la Secretaría de Ambiente. Esta red posee analizadores automáticos de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y de gases (O_3, NO_2, CO y SO_2) que registran promedios de concentraciones de contaminantes cada 10 minutos. La *Tabla 4* muestra las estaciones y los parámetros a monitorear del subsistema automático de la REMMAQ.

Tabla 4. Estaciones y parámetros que monitorean el subsistema RAUTO

Estación	Nomenclatura	Contaminante					
		CO	NO_2	O_3	SO_2	$PM_{2.5}$	PM_{10}
Carapungo	Car	X	X	X	X	X	X
Cotocollao	Cot	X	X	X	X	X	
Belisario	Bel	X	X	X	X	X	
Centro	Cen	X	X	X	X	X	
El Camal	Cam	X	X	X	X	X	
Guamaní	Gua	X	X	X			X
Los Chillos	Chi		X	X	X		
Tumbaco	Tum			X	X		X
San Antonio de Pichincha	Sap					X	X

Fuente: Secretaría de Ambiente, 2018

Por otro lado, la REMPA registra las concentraciones de gases contaminantes como el O_3, NO_2, SO_2, benceno, toluenos y xilenos (BTX) con un tiempo de exposición de 30 días por mes en 43 puntos de muestreo que se identifican como focos de contaminación. La REDEP está conformada por 37 puntos de monitoreo que registran el peso de partículas sedimentables

30 días por mes. La RAPAR se constituye por 4 muestreadores activos que registran mediante el método gravimétrico los niveles de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y funciona como fuente de información para la correlación con los datos obtenidos de la RAUTO. Por último, la REMET comprende por 6 estaciones que monitorean parámetros meteorológicos como la dirección del viento, radiación ultravioleta, precipitación, presión atmosférica, etc. En la *Tabla 5* se puede observar las estaciones y los parámetros que comprenden los subsistemas de la REMMAQ.

Tabla 5. Estaciones y parámetros que monitorean los subsistemas REMPA, REDEP, REPAR y REMET

Referencia	Estación	SO_2	O_3	NO_2	BTX	PS	PM_{10}	$PM_{2.5}$	Met
1	Amaguaña	X	X	X	X	X			
2	Argelia					X			
3	Armenia	X	X	X	X	X			
4	Basílica	X	X	X					
Bel	Belisario	X	X	X	X	X		X	X
5	Bellavista	X	X	X					
6	Calderón	X	X	X		X			
Car	Carapungo	X	X	X	X	X	X	X	X
Cen	Centro	X	X	X	X	X			
7	Chilibulo	X	X	X		X			
8	Chillogallo	X	X	X		X			
9	Conocoto	X	X	X		X			
Cot	Cotocollao	X	X	X	X	X		X	X
10	Cruz Loma	X	X	X		X			
11	Cumbayá	X	X	X		X			
Cam	El Camal	X	X	X	X	X		X	X
12	González Suárez	X	X	X		X			
13	Guajaló	X	X	X		X			
Gua	Guamaní	X	X	X	X	X		X	X
14	Guambra	X	X	X					
15	Guayllabamba	X	X	X		X			
16	Guápulo	X		X					
17	Itchimbía	X	X	X		X			
18	Jipijapa	X	X	X	X	X			
19	Kennedy	X	X	X		X			
20	La Ecuatoriana	X	X	X		X			
21	La Marín	X	X	X	X				
22	La Roldós	X	X	X		X			
23	Lloa	X	X	X	X	X			
Chi	Los Chillos	X	X	X	X	X	X	X	X
24	Mariscal	X	X	X					
25	Maternidad	X	X	X					
26	Monteserrín	X	X	X	X	X			
27	Nanegalito	X	X	X		X			
28	Necochea	X	X	X	X	X			
29	Nono	X	X	X	X	X			
30	Parque del Recuerdo	X	X	X		X			
31	Pintag	X	X	X		X			
32	Pomasqui	X	X	X		X			
33	Quinche	X	X	X		X			
34	San Blas	X		X					
35	San Antonio	X	X	X	X	X			
36	San Juan	X	X	X		X			
37	San Roque	X	X	X					
38	Seminario	X	X	X					
39	Tababela	X	X	X		X	X		
Tum	Tumbaco	X	X		X	X		X	X
40	Vicentina	X		X					

Fuente: Secretaría de Ambiente, 2018

2.2.3 La calidad del aire ambiente en el DMQ (2015, 2016 y 2017)

Como se mencionó anteriormente la Secretaría de Ambiente mediante la REMMAQ monitorea continuamente múltiples contaminantes criterio sean estos material particulado o gases. Los niveles de concentración de estos contaminantes pueden ser tomados como un indicador de la calidad del aire de la ciudad. Algunos de los principales contaminantes criterio que se tomaron en cuenta en esta disertación son el $PM_{2.5}$, PM_{10} y el O_3.

Material Particulado

Generalmente el aire posee partículas de tamaño y composición química variada. En términos de tamaño se las puede dividir en material sedimentable (partículas mayores de 30 micrómetros de diámetro) y en partículas en suspensión cuyo diámetro es menor a 2,5 y 10 micras ($PM_{2.5}$ y PM_{10}). La composición del material sedimentable se basa principalmente en polvo proveniente del terreno y la red vial. Por otro lado, la composición del PM_{10} y el $PM_{2.5}$ se basa en partículas de polvo fino, material proviene de fuentes de emisión y combustión (Secretaría de Ambiente, 2018). La Secretaría de Ambiente genera anualmente un Informe de Calidad del Aire en donde se indican los niveles de concentración de múltiples contaminantes. En la *Tabla 6 y 7* se muestra los promedios anuales y los valores máximos diarios de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente para los años 2015, 2016 y 2017.

Tabla 6. Promedio anual de concentración de PM_{10} (µg/m3)

Año	Límites máximos permisibles PM_{10} (µg/m^3)		Estaciones REMMAQ							
	NECA	WHO	Belisario	Jipijapa	Los Chillos	Tababela	Carapungo	Guamaní	Tumbaco	San Antonio de Pichincha
2015	50	20	29	31,6	33,5	35,3	54,9	40,4	34,7	N/A
2016			29,5	29,4	27,9	28,4	48	38,8	26,6	48,4
2017			24	28,8	25,2	23,7	48,8	N/A	N/A	48,8

Los valores sobre la NECA se representan resaltados en rojo

Fuente: Secretaría de Ambiente, 2016, 2017, 2018 Elaboración: Rodríguez, 2019

Al analizar los datos registrados para el PM_{10} se puede observar que en la mayoría de estaciones se cumple la norma nacional para promedios anuales exceptuando la estación Carapungo y San Antonio de Pichincha. La primera sobrepasa el límite máximo permisible en el año 2015 y mantiene valores cercanos al límite en los dos años posteriores al igual que la segunda que registra valores cercanos al límite en los dos últimos años. Todos los valores registrados sobrepasan las recomendaciones de la WHO.

Tabla 7. Promedio anual de concentración de $PM_{2.5}$ (µg/m3)

Año	**Límites máximos permisibles PM 2.5 (µg/m³)**		**Estaciones REMMAQ**								
	NECA	**WHO**	Cotocollao	Carapungo	Belisario	Centro	Los Chillos	Tumbaco	El Camal	San Antonio de Pichincha	Guamaní
2015	15	10	16,9	20,8	15,6	15,9	17	N/A	N/A	N/A	N/A
2016			18	20,5	17,1	17,3	16,4	N/A	N/A	N/A	N/A
2017			16,4	19,4	16	17,7	14,2	14,8	21,7	16,2	19

Fuente: Secretaría de Ambiente, 2016, 2017, 2018 Elaboración: Rodríguez, 2019

Los datos monitoreados de $PM_{2.5}$ evidencian que para los años 2015 y 2016 todas las estaciones que monitorean este contaminante registraron valores que sobrepasan la norma nacional y para el siguiente año 7 de 9 estaciones registraron valores sobre la norma. Todos los valores registrados sobrepasan las recomendaciones de la WHO.

En suma, las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registradas por la REMMAQ denotan una inadecuada calidad de aire en el DMQ. En este sentido, la población de Carapungo y San Antonio de Pichincha están expuestas a los mayores niveles de PM_{10} debido principalmente a los vientos y la re suspensión de partículas en estas zonas (Secretaría de Ambiente, 2016). Mientras que el 100% de la población urbana se encuentra expuesta a niveles de $PM_{2.5}$ sobre la norma, sin embargo, existen zonas en donde estos niveles se han mantenido constantes durante los últimos años y zonas que muestran un claro incremento en los valores superando cada vez más la norma (Secretaría de Ambiente, 2018). Esta situación puede implicar riesgos

para la salud de la población expuesta y riesgos aún más altos para grupos vulnerables como niños, adultos mayores, etc. (Secretaría de Ambiente, 2016).

Ozono troposférico

El ozono troposférico es un gas atmosférico contaminante que se forma a partir de reacciones químicas entre hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y la acción de la radiación solar. Las características geográficas y meteorológicas del DMQ propician la formación de este contaminante que registra sus valores más altos en los meses del equinoccio (agosto y septiembre) debido a la mayor radiación solar y los valores más bajos en los meses lluviosos (marzo a junio) (Secretaría de Ambiente, 2018).

Es importante señalar que generalmente los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno (compuestos que forman el O_3) son desplazados hacia las afueras del DMQ debido a la acción del viento. Así, los mayores niveles de este contaminante se localizan zonas alejadas de la ciudad ya que los grandes centros urbanos tienden a degradar el O_3 debido a las emisiones vehiculares y emisiones de fuentes vegetales. Valores altos de O_3 también están relacionados con zonas de mayor altitud y latitud cero debido a una mayor radiación solar (Secretaría de Ambiente, 2018) .

En la *Tabla 8* se muestra los valores de ozono para los años 2015, 2016 y 2017 registrados por la REMMAQ en promedios cada 8 horas.

Tabla 8. Máximo promedio cada 8 horas de concentración de O_3 ($\mu g/m^3$)

Año	**Límites máximos permisibles O3 ($\mu g/m^3$)**		**ESTACIONES REMMAQ**							
	NECA	**WHO**	Cotocollao	Carapungo	Belisario	El Camal	Centro	Guamaní	Tumbaco	Los Chillos
2015	100	100	110,6	112,5	119,7	N/A	116,5	134	142,3	129,3
2016			84,8	123,8	82	N/A	108,7	97,7	87,3	92,1
2017			117,3	102,5	90,3	109,7	95,7	112,3	113,5	122,7

Fuente: Secretaría de Ambiente, 2016, 2017, 2018 Elaboración: Rodríguez, 2019

En función de los valores registrados se observa que para el año 2015 todas las estaciones superaron la norma nacional especialmente las estaciones de Tumbaco, Guamaní y Carapungo. Para el caso del 2016 se evidencia una disminución de concentración de O_3 en la mayoría de estaciones exceptuando Carapungo y Centro que todavía mantuvieron valores por sobre la norma. Finalmente, el año 2017 presentó valores elevados de O_3 que incumplen la norma nacional exceptuando las estaciones Belisario y Centro.

En términos generales el DMQ ha registrado valores altos de O_3 que incluso superan la norma nacional y las recomendaciones internacionales por lo que esta situación podría generar efectos negativos sobre la salud de la población expuesta en términos de impactos fisiológicos e inflamatorios en los pulmones (Secretaría de Ambiente, 2018).

Índice Quiteño De Calidad Aire (IQCA)

Con el objetivo de interpretar los datos de los contaminantes registrados y comunicarlos a la población de una forma entendible y oportuna se creó el Índice Quiteño de Calidad del Aire (IQCA). Este índice busca traducir los valores de concentración de cada contaminante registrado en categorías (en función del mayor o menor impacto a la salud que generen) y colores relacionados a niveles de calidad de aire deseables y niveles de emergencia (Secretaría de Ambiente, 2018). Esta herramienta permite conocer a la población las medidas de precaución que se debe tomar de para disminuir los potenciales efectos nocivos a la salud de acuerdo a cada rango y también guiar a las instituciones competentes para reducir los niveles de contaminación a rangos deseables.

Como se mencionó anteriormente, los impactos en la salud de la contaminación atmosférica no son iguales para toda la población ya que existen grupos poblacionales sensibles en los que las afectaciones pueden ser mayores. Para el caso del material particulado se consideran individuos sensibles a personas que poseen enfermedades respiratorias o cardiovasculares poniendo énfasis en niños y ancianos. Por otro lado, se consideran individuos sensibles a valores altos de ozono troposférico a niños y adultos que realizan actividades en exteriores como también personas con enfermedades respiratorias (Secretaría de Ambiente, 2018).

En la *Tabla 9* se pueden observar los rangos, colores y valores permitidos correspondientes a cada contaminante atmosférico. Es importante mencionar que este índice

se encuentra mapeado para varias estaciones de la REMMAQ y está disponible diariamente en la página web oficial de la Secretaria de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

Tabla 9. Índice Quiteño de Calidad del Aire (IQCA)

Rango	Categoría	CO^{a}	$O_3{}^{b}$	$NO_2{}^{c}$	$SO_2{}^{d}$	$PM_{2.5}{}^{e}$	$PM_{10}{}^{f}$
0–50	Nivel deseable	0–5000	0–50	0–100	0–62.5	0–25	0–50
51–100	Nivel aceptable	5001–10000	51–100	101–200	63.5–125	26–50	51–100
101–200	Nivel de precaución	10001–15000	101–200	201–1000	126–200	51–150	101–250
201–300	Nivel de alerta	15001–30000	201–400	1001–2000	201–1000	151–250	251–400
301–400	Nivel de alarma	30001–40000	401–600	2001–3000	1001–1800	251–350	401–500
401–500	Nivel de emergencia	>40000	>600	>3000	>1800	>350	>500

Notas: a, concentración máxima de promedio en 8 horas; b, concentración máxima de promedio de 8 horas; c, concentración máxima en 1 hora; d, concentración promedio en 24 horas; e, concentración promedio en 24 horas; f, concentración promedio en 24 horas

Fuente: Secretaría de Ambiente, 2018

2.2.4 Tráfico vehicular y calidad del aire en el DMQ (2018)

Según la tabla global de tráfico de la empresa INRIX (2018) el DMQ ocupa el puesto #26 en el ranking de ciudades a nivel mundial con mayor congestión vehicular, la empresa que brinda información de movilidad a Google Maps o Waze reporta que en el Ecuador se pierden alrededor 173 horas en el tráfico al año. El PMDOT (2015) de Quito señala que desde el año 2005 el crecimiento del parque vehicular oscila entre el 5% y el 10% lo que implica la incorporación a la ciudad de entre 15000 y 35000 vehículos cada año. De mantenerse esta tendencia se calcula que para el año 2030 el parque automotriz contará con 1150000 vehículos, situación que será insostenible para la capital en términos de movilidad.

El tráfico vehicular es una de las principales fuentes de contaminantes del aire y por ende puede generar potenciales impactos en la salud de la población. En este sentido, es importante conocer la distribución espacial (vías con mayor intensidad vehicular) y temporal

(perfiles horarios de tráfico) de la congestión vehicular con el fin de gestionar de mejor manera la calidad del aire disminuyendo así las posibles afecciones a la salud asociadas (*Tabla 10*).

Tabla 10. Intensidad media diaria vehicular por parroquia

Parroquia	**Administración Zonal**	**Vehículos por Administración Zonal**	**Intensidad media diaria vehicular**
Calderón	Calderón	41615	1447
La Magdalena	Eloy Alfaro	87690	3049
Mariscal Sucre	Eugenio Espejo	172573	6000
Conocoto	Los Chillos	42611	1481
Centro Histórico	Manuela Sáenz	44449	1545
San Juan			
Itchimbia			
Cumbayá	Tumbaco	37516	1304

Fuente: Vega & Parra Narváez, 2014 Elaboración: Rodríguez, 2019

La distribución espacial de la congestión vehicular se concentra principalmente en vías localizadas al norte de la zona urbana y en aquellas vías que la articulan con los valles de Chillos, Cumbayá y Tumbaco (Vega & Parra Narváez, 2014). Los perfiles horarios de intensidad vehicular muestran un patrón para días laborales con 3 picos: uno de 07h00 a 09h00, otro hacia las 13h00 y el último entre las 18h00 y las 20h00. Con respecto a los fines de semana el tráfico vehicular disminuye un 10% los sábados y un 60% el domingo en comparación a los días laborables en la zona norte, la zona sur presenta una intensidad los días sábados similar a los días laborables mientras que los domingos el tráfico se reduce un 26% y por último la zona periférica sufre un incremento de entre el 11 y 47% los feriados (Parra y Vega, 2014).

Las zonas urbanas en donde existe alto tráfico vehicular como las intersecciones señalizadas y carreteras principales son lugares en donde generalmente se presentan mayor concentración de contaminantes atmosféricos en contraste con los que se registran en las redes de monitoreo local (Chuquer Solá et al., 2018; Goel & Kumar, 2014). Esto puede generar que

los contaminantes se trasladen desde las calles hacia las viviendas y edificaciones deteriorando así la calidad de aire en interiores, ya que según el estudio de Chuquer Solá et al. (2018) realizado en la calle Guayaquil y Espejo (Centro Histórico del DMQ) se determinó que si bien los comportamientos horarios de las partículas son iguales en exteriores e interiores, la concentración en interiores fue mayor.

En el marco del Proyecto O13024 de la PUCE titulado "Estudio de la contaminación del aire a filo de calle y sus impactos en zonas de alto tráfico de la ciudad de Quito" se monitoreó 10 lugares de alto tráfico vehicular (Secretaría de Ambiente, 2018) en el DMQ localizados en la zona centro, sur y valles de la urbe (*Tabla 11 y Figura 3).* Se realizaron mediciones de gases: Dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y ozono troposférico (O_3); material particulado: Con diámetro menor a 1 micra (PM_1) menor a 2,5 micras ($PM_{2.5}$), menor a 4 micras (PM_4), menor a 10 micras (PM_{10}) y partículas suspendidas totales (PTS); y parámetros meteorológicos: humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento.

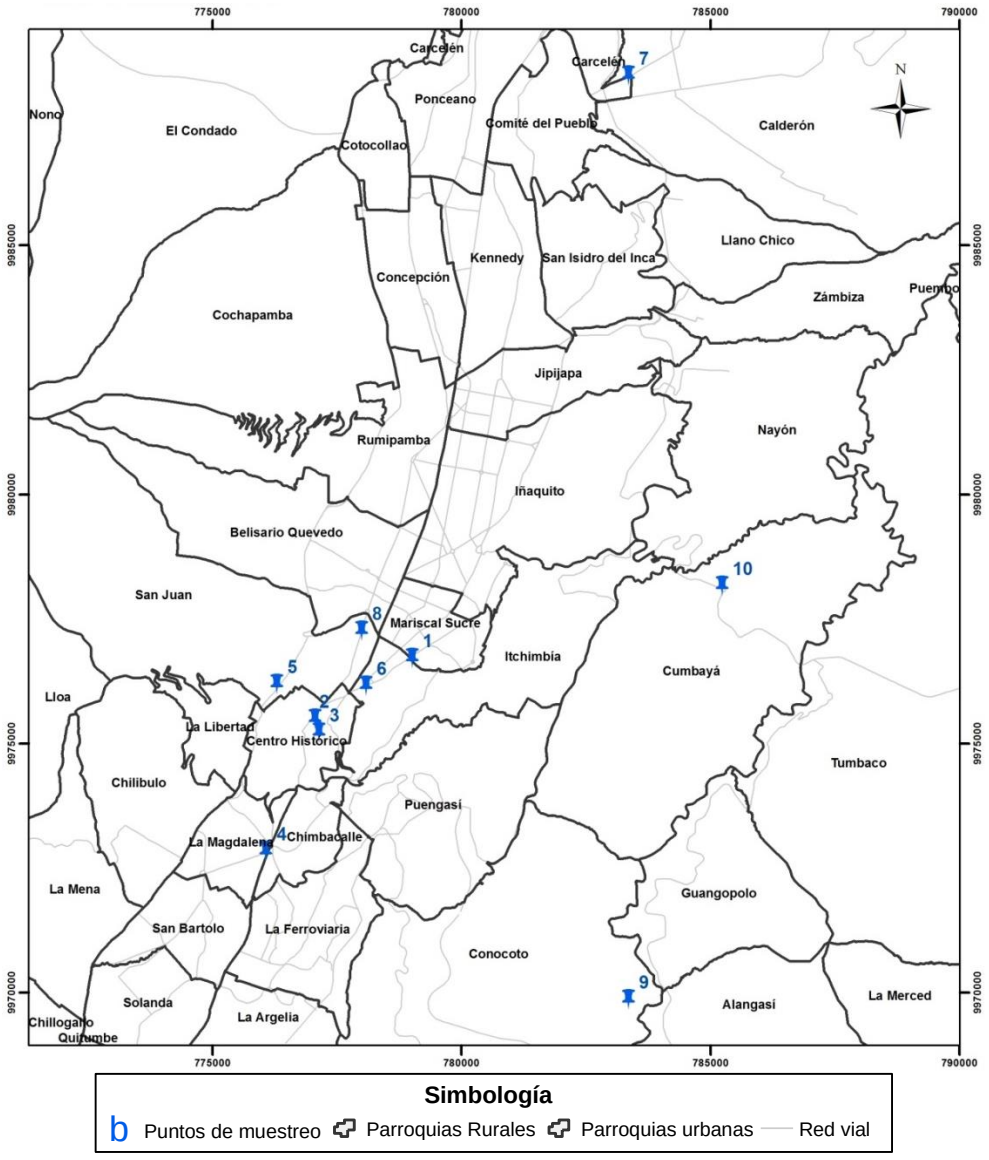
Tabla 11. Ubicación y fecha de monitoreo de contaminantes atmosféricos

Punto de monitoreo	**Parroquia**	**Barrio**	**Zona**	**Fecha de monitoreo (dd/mm/aa)**		**Coordenadas**	
				Gases	**Material particulado**	**Latitud**	**Longitud**
1. PUCE	Mariscal Sucre	La Floresta	Centro	16/03/18 a 26/03/18	21/03/18 a 22/03/18	-0,210385	-78,493335
2. Secretaria de Seguridad	Centro Histórico	Gonzales Suarez	Centro	04/04/18 a 12/04/18	09/04/18 a 10/04/18	-0,221438	-78,510873
3. Escuela Sucre	Centro Histórico	San Marcos	Centro	12/04/18 a 23/04/18	18/04/18 a 19/04/18	-0,223907	-78,510139
4. Clínica del Sur	La Magdalena	Villaflora	Sur	23/04/18 a 05/05/18	26/04/18 a 27/05/18	-0,245472	-78,519690
5. Hogar de Paz	San Juan	El Tejar	Centro	02/05/18 a 08/05/18	03/05/18 a 04/05/18	-0,215139	-78,517783
6. Teatro Capitol	Itchimbia	La Alameda	Centro	21/05/18 a 28/05/18	23/05/18 a 24/05/18	-0,215464	-78,501641
7. Administración Calderón	Calderón	Puertas de Sol	Valle	28/05/18 a 04/06/18	31/05/18 a 01/06/18	-0,104717	-78,454324
8. Fundación Vista para todos	San Juan	Larrea	Centro	04/06/18 a 11/06/18	05/06/18 a 06/06/18	-0,205431	-78,502427
9. Unidad Educativa Gonzaga	Conocoto	La Armenia 1	Valle	11/06/18 a 18/06/18	15/06/18 a 16/06/18	-0,272333	-78,454300
10. Plaza de Cumbayá	Cumbayá	La Comarca	Valle	18/06/18 a 25/06/18	21/06/18 a 22/06/18	-0,197293	-78,437478

Fuente: Proyecto PUCE O13024, 2018 Elaboración: Rodríguez, 2019

Según el Proyecto PUCE O13024 se realizaron mediciones de material particulado en interiores, de gases en exteriores y de condiciones meteorológicas para cada punto. Las mediciones en interiores se monitorearon con un *AEROCET831 of MetOne*® registrando información cada minuto durante 2 días entre las 07h00 y 19h00en microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$). Las mediciones en exteriores de CO, SO_2, NO_2 y O_3 se realizaron con el *AQM60 Environmental Monitor 88 V5.0 of Aeroqual* reportando datos cada 2 minutos durante 7 días entre las 07h00 y 19h00 en partículas por millón (ppm). Mediante el uso del mismo equipo de monitoreo de gases también se registró parámetros meteorológicos señalados anteriormente. El estudio realizado recolectó sistemáticamente aproximadamente 46000 datos por cada punto de monitoreo procesando así alrededor de 460000 datos en total.

Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en el DMQ



Fuente: Proyecto PUCE O13024, 2018 Elaboración: Rodríguez, 2019

Los contaminantes seleccionados para esta disertación fueron el $PM_{2.5}$, PM_{10} y el O_3. En este sentido, el proyecto O13024 de la PUCE proveyó de los datos de concentración promedio de contaminantes durante los periodos de monitoreo establecidos *(Tabla 11 y 12).*

Tabla 12. Resumen de valores de concentración de contaminantes atmosféricos

Punto de monitoreo	**Concentraciones promedio**		
	O_3 (ppb)	**PM_{10} ($\mu g/m^3$)**	**$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)**
1. PUCE	4,94	72,78	24,03
2. Secretaria de Seguridad	3,67	41,32	13,38
3. Escuela Sucre	5,32	97,85	17,53
4. Clínica del Sur	2,37	68,75	30,97
5. Hogar de Paz	2,53	74,18	27,86
6. Teatro Capitol	2,71	52,92	19,67
7. Administración Calderón	4,08	66,56	32,26
8. Fundación Vista para todos	3	74,11	13,91
9. Unidad Educativa Gonzaga	5,56	66,65	15,12
10. Plaza de Cumbayá	4,45	50	12,27

Fuente: Proyecto PUCE O13024, 2018 Elaboración: Rodríguez, 2019

Este capítulo abordó brevemente el estado de calidad ambiental de los principales recursos naturales del DMQ con especial énfasis en la calidad del aire, su marco normativo a nivel internacional y nacional, la red de monitoreo atmosférico local así como también los niveles de concentración de 3 contaminantes criterio ($PM_{2.5}$, PM_{10} y el O_3) documentados en la ciudad durante los años 2015, 2016 y 2017; se mencionó también los hallazgos del proyecto O13024 de la PUCE en donde se registraron niveles de concentración de contaminantes a filo de calle.

CAPITULO III

3. RELACIÓN CONTAMINACION ATMOSFÉRICA – SALUD Y SU PERCEPCION EN LAS PARROQUIAS DE ESTUDIO

3.1 Contaminación atmosférica y salud

La contaminación atmosférica representa actualmente un problema de salud pública debido a los impactos a corto y a largo plazo que genera en la salud de la población expuesta a nivel mundial. La exposición a contaminantes atmosféricos generan un amplio espectro de impactos agudos (niveles altos de contaminación en periodos cortos – horas o días) y crónicos (niveles medios y bajos de contaminación en periodos largos – años) a la salud humana que van desde efectos irritantes hasta la muerte pasando por enfermedades respiratorias, cardiovasculares, diversos cánceres o la reducción de la calidad de vida en general (*Tabla 13)* (Echániz Pellicer et al., 2011).

Tabla 13. Principales impactos a la salud asociados por contaminantes atmosféricos

Contaminante	**Impactos**	
	A corto plazo	A largo plazo
Partículas (PM_{10})	Mortalidad, admisión a hospitales por enfermedades respiratorias y cardiovasculares	Mortalidad en infantes y adultos por enfermedades cardiovasculares y cardiopulmonares, y en adultos por cáncer de pulmón
Partículas ($PM_{2.5}$)		
Ozono (O_3)	Mortalidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias, reducción de la función pulmonar y exacerbación de síntomas de asma	Daño en la función pulmonar y mortalidad por enfermedades respiratorias

Fuente: Echániz Pellicer et al., 2011

La vulnerabilidad a los impactos a la salud no son los mismos para toda la población, por lo que se han identificado grupos susceptibles: personas con enfermedades previas (bronquitis, asma, enfermedades cardiovasculares, diabetes, etc.), niños menores de 5 años y adultos mayores entre 50 y 75 años; además el riesgo de un mayor impacto a la salud aumenta cuando existen condiciones socioeconómicas de pobreza (Ballester, 2005). Es importante

mencionar que se han documentado en Europa impactos a la salud como complicaciones en la gestación, partos prematuros, bajo peso al nacer y mortalidad prematura infantil en relación a la contaminación atmosférica en exteriores e interiores lo que denota su importante carga en la salud y mortalidad gestacional e infantil (Ballester, 2005).

La frecuencia en la que los impactos a la salud se producen son inversamente proporcionales a su gravedad al igual que la proporción de la población afectada (*Figura 4)*, es decir, que si bien la mortalidad es el impacto más severo no se produce con la mayor frecuencia en que los impactos en morbilidad se presentan (WHO, 2000)

Figura 4. Efectos de la contaminación en la población expuesta



Fuente: Echániz Pellicer et al., 2011

Por otro lado, el cambio climático puede exacerbar los efectos nocivos de los contaminantes sobre la salud no solo de una forma indirecta influyendo sobre los fenómenos meteorológicos sino también directamente por los efectos inmediatos que el aumento emisiones genere sobre la población. Así, Ballester (2005) señala en su revisión que varios estudios, principalmente en Europa, han observado un mayor efecto en salud (más casos de mortalidad y morbilidad) de ciertos contaminantes del aire (O_3, partículas y SO_2) en los meses cálidos. En este sentido, la emisión, formación y dispersión de los contaminantes están relacionadas directamente con fenómenos meteorológicos que el cambio climático puede estar

modificando negativamente como el caso del aumento de fenómenos anticiclónicos y tormentas secas.

3.1.1 Estudios en el DMQ

Existen varios estudios (Armijos et al., 2015; Estrella et al., 2000) sobre la relación entre la contaminación ambiental (principalmente atmosférica) y la salud (principalmente la cardiovascular y respiratoria en infantes) en el DMQ. Además se puede encontrar estudios relacionados con la evaluación de las fuentes y los patrones descomposición del material particulado en escuelas de las zonas norte, centro y sur de la capital (A. Raysoni et al., 2017; A. U. Raysoni et al., 2016). En este sentido, es importante mencionar los principales resultados de dichos estudios con el objetivo de contextualizar el tema de este capítulo para con la zona de estudio.

La investigación realizada por Estrella et al. (2000) se enmarcó en el proyecto entre Fundación Natura y el Municipio de Quito relacionado al mejoramiento de la calidad del aire y el control de las emisiones vehiculares. El estudio tuvo el objetivo de determinar la influencia de las emisiones vehiculares y la incidencia de enfermedades respiratorias en 906 infantes de 3 escuelas, una en zona urbana (alto tráfico vehicular), una en zona urbano-periférica (bajo tráfico vehicular) y una en una zona rural (bajo tráfico vehicular). El resultado fue que los 311 niños bajo estudio en la escuela de la zona urbana (Centro Histórico) presentaron niveles de carboxihemoglobina sobre los límites aceptados como normales además de la mayor incidencia de enfermedades respiratorias, los 302 niños de la zona urbano-periférica(Carcelén) presentaron niveles que bordean el umbral considerado normal además de una menor incidencia a enfermedades respiratorias y por último los 293 niños de la zona rural (Nayón) presentaron niveles bajos del componente además de una incidencia baja. Esta investigación denotó la influencia que la contaminación atmosférica, específicamente el monóxido de carbono proveniente de las emisiones vehiculares, tiene sobre la salud de un grupo vulnerable como los niños.

Una investigación más reciente fue realizada por Armijos et al. (2015) en donde menciona que si bien se ha documentado que la exposición crónica al tráfico urbano en adultos promueve el taponamiento en arterias, se desconoce con certeza el impacto en niños. En sentido, se observó como la exposición crónica de los niños que residen en zonas urbanas

de alto tráfico vehicular contribuye al incremento del grosor de la íntima-media de la carótida generando el taponamiento de arterias y deteriorando así su salud cardiovascular. Los resultados fueron que los niños que vivían a menos de 100 metros de la carretera más transitada tenían un incremento en el grosor mayor que los niños que residían a más de 200 metros de la vía evidenciando la influencia de la exposición de los niños al tráfico urbano y su potencial impacto a la salud a largo plazo.

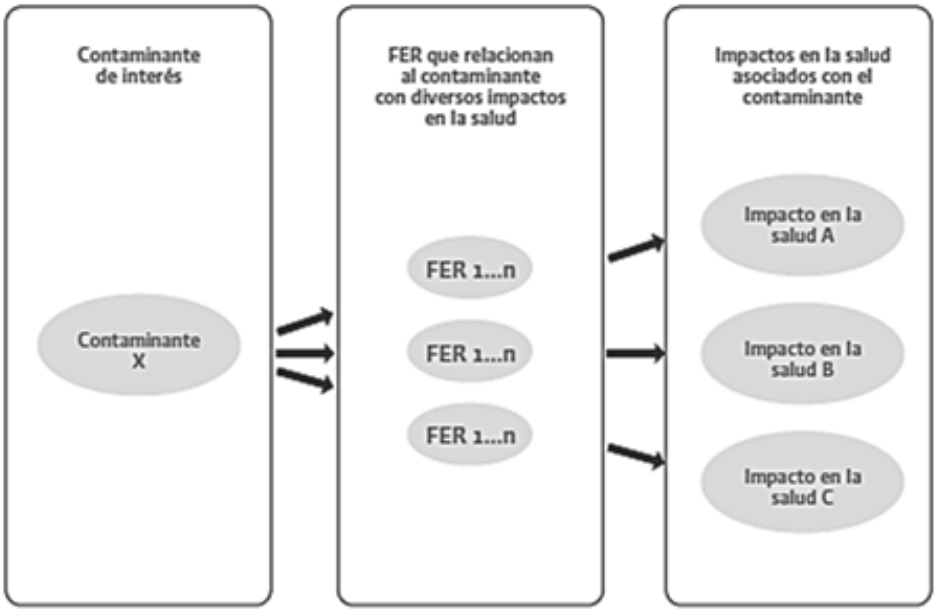
3.1.2 Función Exposición – Respuesta

La exposición cotidiana de la población a la contaminación atmosférica se presenta como un factor de riesgo de baja intensidad que se caracteriza por asociaciones débiles a efectos negativos en la salud que pueden pasar inadvertidos, sin embargo, estas asociaciones se presentan en una alta frecuencia por lo que podrían derivar en riesgos de una magnitud importante que a su vez establecen cargas sociales en términos de calidad de vida, morbilidad, invalidez e incluso mortalidad prematura (Molina Esquivel & Meneses Ruiz, 2003).

Con el fin de medir o cuantificar los impactos que generan los contaminantes atmosféricos sobre la salud humana se utilizan Funciones Exposición – Respuesta (FER) también llamadas Funciones Concentración – Respuesta (FCR) (Martínez Vásquez, 2008). Derivadas de estudios epidemiológicos las FER buscan representar la probabilidad de ocurrencia de un impacto a la salud específico a partir de un cambio en la concentración de un contaminante atmosférico determinado *(Figura 5).*

Las FER comúnmente se encuentran expresadas en la literatura científica como Riesgo Relativo (RR) que se expresa como un cociente de la frecuencia con la que se materializa el impacto en los individuos expuestos al factor de riesgo y la frecuencia con la que se materializa en los sujetos no expuestos (también se puede encontrar las FER como Odds Ratio (OR) o Hazard Ratio (HR) que en términos prácticos de cálculo son iguales al RR); entonces el RR igual a 1,0 expresa que la exposición no tiene efecto en la población expuesta, un RR mayor a 1,0 sugiere que existe un mayor riesgo de probabilidad que se materialice el impacto en la salud y un estimado de RR menor a 1,0 sugiere que la población expuesta tiene menor riesgo de que ocurra el impacto, es decir, que la exposición al contaminante actúa como un factor protector a la salud (Echaniz Pelliecer et al., 2011).

Figura 5. FER en relación a contaminantes atmosféricos e impactos a la salud



Fuente: Echániz Pellicer et al., 2011

Selección de Funciones Exposición – Respuesta

Como se mencionó anteriormente los contaminantes atmosféricos seleccionados para esta disertación fueron el $PM_{2.5}$, PM_{10} y el O_3 debido a su ya documentado impacto a la salud (Echániz Pellicer et al., 2011) y a la información disponible con respecto a estos. En este sentido, se seleccionaron FER relacionadas a impactos en la mortalidad general de la población. La información encontrada tiene como fuente el estudio de Riojas Rodríguez et al.(2016) en donde se sistematiza la evidencia epidemiológica encontrada incluyendo el tipo de estudio, el impacto a la salud, las causas de las enfermedades, los grupos de edad de la población estudiada, la métrica de exposición, el lugar, el año y el autor que realizó el estudio.

En la selección de los estudios epidemiológicos elaborada por Riojas Rodríguez et al.(2016) se priorizaron criterios como el año de publicación, la rigurosidad de estudio, la mejor estimación de exposición, diseños epidemiológicos adecuados, etc. La *Tabla 14* muestra la selección de las FER por cada 10 unidades de cambio de concentración de contaminante, impacto a la salud, causas del impacto según la Décima edición de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE - 10) de la OMS, grupo de edad y autor.

Es importante mencionar que en el contexto de esta disertación se debería usar FER provenientes de estudios epidemiológicos de cohorte (largo plazo) locales, sin embargo, no se

cuentan con estudios de esta naturaleza para el DMQ o incluso para el Ecuador por lo que se tuvo que recurrir a la búsqueda y sistematización realizada por Riojas Rodríguez et al.(2016). Este estudio mexicano a su vez se basa en evidencia epidemiológica internacional que incluye estudios de cohorte y multiciudad que fueron utilizados para esta disertación.

Tabla 14. FER seleccionadas por contaminante e impacto identificado

Contaminante	Impacto	Causas (CIE - 10)	Grupo de edad	FER (IC95%)*	Referencia
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	Mortalidad general	Todas, no externas (A00-R99)	≥ 15 años	1,06 (1,04-1,08)[1]	Hoek et al. (2013)
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Mortalidad general	Todas, no externas (A00-R99)	≥ 30 años	1,043 (1,026-1,061)[1]	Künzli et al. (2000)
			< 1 año	1,04 (1,02-1,07)[2]	Woodruff, Grillo, & Schoendorf (1997)
O_3 (ppb)	Mortalidad general	Todas, no externas (A00-R99)	≥ 30 años	1,02 (1,01-1,04)[3]	Turner et al. (2016)

**FER expresado como Riesgo Relativo[1], Odds Ratio[2] y Hazard Ratio[3] y su intervalo de confianza al 95%*

Fuente: Riojas Rodríguez et al., 2016 Elaboración: Rodríguez, 2019

La evidencia epidemiológica acerca de la relación entre el $PM_{2.5}$ y sus impactos en la mortalidad a largo plazo está ampliamente documentada (Riojas Rodríguez et al., 2016). Así, Hoek et al. (2013) realiza una revisión y síntesis de estudios epidemiológicos de cohorte y de series de tiempo (meta-análisis) publicados hasta el 2013 relacionados a los efectos del $PM_{2.5}$ en la mortalidad general, cardiovascular y respiratoria a largo plazo. La estimación combinada resulta en que por un aumento de 10 $\mu g/m^3$ en la exposición existe un incremento de 6% (IC 95%: 4-8%) del riesgo de mortalidad general en individuos mayores de 15 años (Riojas Rodríguez et al., 2016).

Con respecto al PM_{10} la evidencia encontrada es menos amplia y consistente que la del $PM_{2.5}$ debido a que la mayoría de estudios se basa en los efectos del contaminante a corto plazo, sin embargo, los estudios de Künzli et al. (2000) y Woodruff, Grillo, & Schoendorf (1997) pueden ser utilizados para el caso (Riojas Rodríguez et al., 2016). El estudio Künzli et al. (2000) estima los efectos en la salud pública de una inadecuada calidad del aire en relación a fuentes móviles en Austria, Francia y Suiza. El estudio resulta que para un cambio 10 $\mu g/m^3$ se genera un aumento del riesgo relativo de mortalidad general del 4.3% (IC 95%: 2.6-6.1%)

en personas mayores a 30 años (Riojas Rodríguez et al., 2016). A su vez el estudio Woodruff, Grillo, & Schoendorf (1997) analiza la influencia en la mortalidad infantil de casi 4 millones de infantes nacidos entre 1989 y 1991 en EEUU, de esta manera el estimador resultante indica que para un cambio de 10 $\mu g/m^3$ se genera un aumento del OR de mortalidad posneonatal por causas generales del 1.04 (IC 95%: 1.02-1.07) (Riojas Rodríguez et al., 2016).

El caso del O_3 y su relación con mortalidad a largo plazo ha sido bien documentada por Turner et al. (2016) en donde se analiza a más de 6 millones de individuos entre 1982 y 2004. Los resultados evidenciaron una asociación positiva de concentraciones de O_3 y mortalidad por causas generales expresada mediante un coeficiente de riesgo HR de 1.02 (IC95%: 1.01-1.04) (Riojas Rodríguez et al., 2016).

3.2 Percepción de la población a la contaminación atmosférica

El fenómeno de la contaminación atmosférica puede ser entendido desde enfoques diversos como el ambiental o el de la salud pública, sin embargo, desde una óptica social, los riesgos a la salud pueden aumentar en determinadas poblaciones vulnerables debido a inequidades sociales o ambientales. De esta manera la susceptibilidad de la población no solo depende de su condición socio ambiental sino también de la capacidad de resistencia que se traduce en términos de prevención y precaución que en la cotidianidad pueden influir en conductas individuales o colectivas de respuesta (Jiménez Benítez et al., 2016). La percepción pública de la contaminación atmosférica determina juicios y decisiones de la población que influye en sus acciones cotidianas y por consecuencia puede determinar cierto tipo de exposición (Catalán Vázquez, 2006).

La percepción de la población con respecto a la contaminación atmosférica y sus impactos a la salud no siempre es coherente a los modelos y predicciones que la ciencia genera pudiendo incluso existir una discrepancia entre calidad de aire, preocupación ciudadana y tasas de mortalidad. Así, los estudios desde la percepción social permiten ser un insumo para integrar en sistemas de gestión del riesgo ambiental relacionados con la contaminación atmosférica y sus impactos en salud (Jiménez Benítez et al., 2016).

3.2.1 Encuesta de percepción de contaminación atmosférica

La encuesta realizada fue una adaptación de la "Encuesta sobre calidad del aire en la CABA" realizada por Gastón San Miguel como parte de su investigación de fin de grado de la Universidad de San Miguel y que se encuentra disponible en la plataforma *Survio*. La encuesta de percepción de contaminación atmosférica está estructurada con 17 preguntas que se relacionan con: información general del encuestado, nivel de importancia del tema atmosférico, la valorización de la calidad del aire, la relación contaminación atmosférica-salud, inferencia de enfermedades causadas por la contaminación atmosférica, fuentes de contaminación y acciones municipales relacionadas. El modelo de encuesta que se aplicó se encuentra en el *Anexo 1*.

Las encuestas fueron realizadas los días 29, 30 y 31 de mayo y el 8 y 19 de junio del 2019 en horas de la tarde (*Anexo 2)*. Como se mencionó anteriormente se realizaron 10 encuestas en los 10 puntos de monitoreo especificados en la *Tabla 11* generándose así una población de 100 encuestados. Es importante mencionar que en los análisis realizados los valores de frecuencia y porcentaje fueron los mismos. La población objetivo establecida fueron personas adultas que en el momento de la realización de la encuesta trabajaban o residían en las cercanías del punto de monitoreo y que por ende se encontraban expuestos constantemente a los niveles de contaminación registrados.

Los resultados de la encuesta no se pueden considerar como generalidades para toda la población parroquial ya que no se utilizaron criterios estadísticos para la selección del tipo de muestreo. Sin embargo, debido al carácter de la investigación los resultados corresponden a población que se encuentra expuesta la mayor cantidad de tiempo en las zonas aledañas de los puntos de muestreo.

3.2.2 Descripción de resultados

Aspectos generales de los encuestados

En primera instancia se recolectó información relacionada a la edad, género, nivel de instrucción y ocupación de los 100 encuestados obteniendo así la *Tabla 15*. Como se puede observar, la mayoría de encuestados se encontraron en los 3 primeros rangos de edad

comprendidos entre los 17 y 56 años representando así el 87% del total, además el encuestado más joven tuvo 17 años y la persona con mayor edad 78 años. En el caso del género se observa un porcentaje ligeramente mayor del femenino (52%) con respecto al masculino (48%). Con respecto al nivel de instrucción máximo culminado se observa un mayor porcentaje de encuestados que contaron con un nivel de educación secundario (51%), seguidos de un 29% y 18% de encuestados que poseían niveles de instrucción de tercer nivel y primario respectivamente. Cabe mencionar que únicamente el 2% de los encuestados poseían estudios de cuarto nivel.

Finalmente, y de acuerdo a la población objetivo establecida para la encuesta en el sentido de individuos que trabajen o residan en los puntos de monitoreo, se evidenció que el mayor porcentaje de encuestados (40%) tenían ocupaciones relacionadas con el comercio, el 12% se dedicaba a estudiar, un 10% prestaba servicios de seguridad, otro 4% era funcionario administrativo y el restante 34% se dedicaba a ocupaciones varias. Las ocupaciones relacionadas al comercio y a la seguridad pueden denotar mayor exposición a contaminantes ya que en el momento de realizar la encuesta se priorizó a individuos que se encontraban realizando sus actividades al aire libre.

Tabla 15. Aspectos generales de los encuestados

Rangos de edad		**Género**		**Nivel de instrucción**		**Principales ocupaciones**	
	Porcentaje (%)		Porcentaje (%)		Porcentaje (%)		Porcentaje (%)
17 a 32	31	Femenino	52	Primaria	18	Comerciante	40
33 a 44	29			Secundaria	51	Estudiante	12
45 a 56	27					Seguridad	10
57 a 68	9	Masculino	48	Tercer nivel	29	Administrativo	4
69 a 78	4			Cuarto nivel	2	Otros	34
Total	100	**Total**	100	**Total**	100	**Total**	100

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

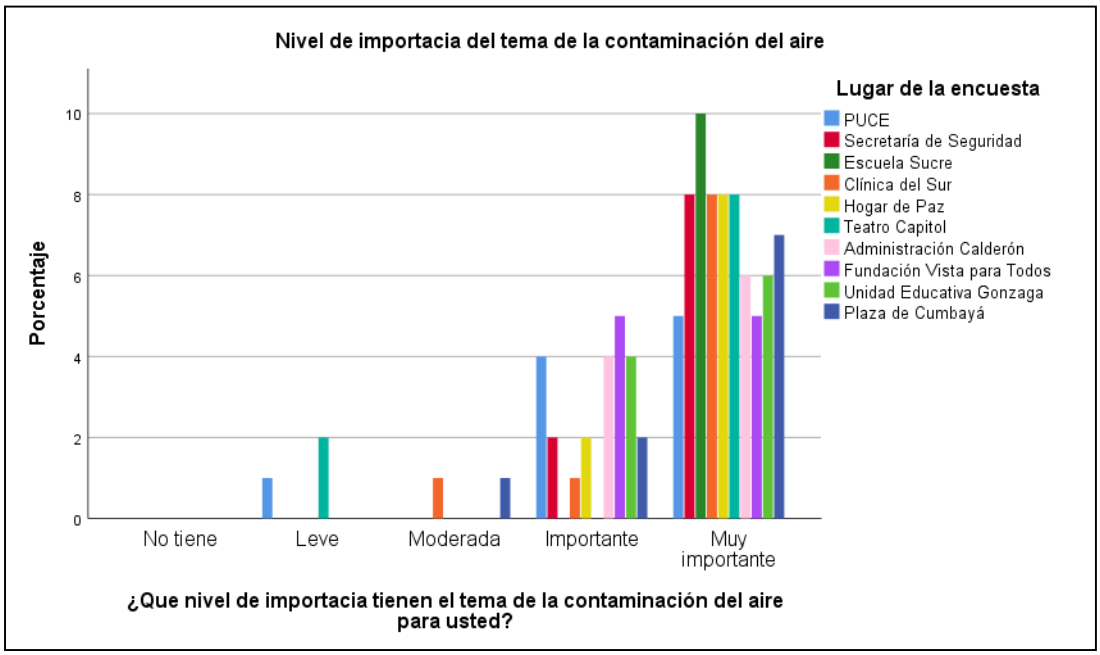
Percepción de la calidad del aire e impactos a la salud por lugar de encuesta

La siguiente sección de la encuesta se enfocó en establecer la percepción de los encuestados con respecto a la contaminación atmosférica y su impacto a la salud en función del lugar de encuesta. La información recopilada abarcó temas como la importancia del tema

ambiental, la valorización de la calidad del aire del lugar, los efectos en la salud de la mala calidad del aire y las enfermedades generadas por la contaminación atmosférica.

La primera pregunta relacionada con la percepción, una vez establecidos los aspectos generales del encuestado, fue la número 8 que se relaciona al nivel de importancia que tiene el tema ambiental para los encuestados, de la cual resultó el *Grafico 1 y Tabla 16*. Los resultados indican que un 95% de los encuestados consideraron que el tema de la contaminación del aire es un tópico muy importante (71%) o importante (24%) mientras que tan solo un 5% lo consideraron un tema con importancia moderada (2%) o con importancia leve (3%). Ningún encuestado considera sin importancia el tema de la contaminación atmosférica. En este sentido, se puede decir que en casi todos de los 10 lugares de encuesta el nivel de importancia que los encuestados manifestaban era de muy importante a importante a pesar de algunas excepciones en el Teatro Capitol y la PUCE.

Gráfico 1. Nivel de importancia del tema de la contaminación del aire por lugar de encuesta



Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Tabla 16. Nivel de importancia del tema de la contaminación del aire por lugar de encuesta

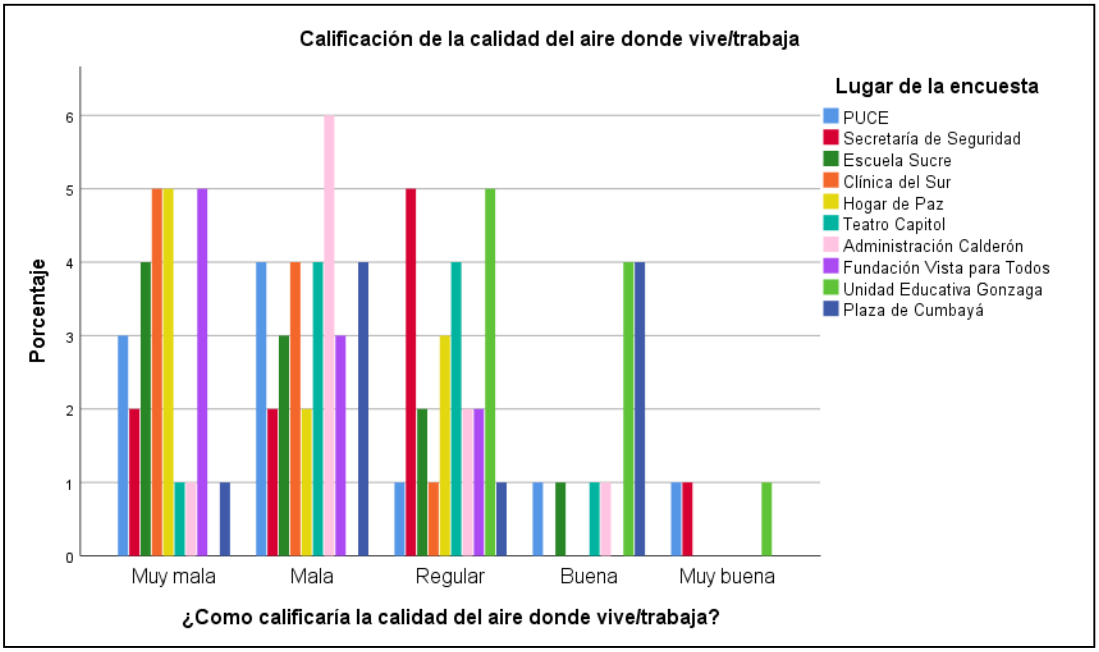
Nivel de importancia del tema de la contaminación del aire						
		¿Qué nivel de importancia tienen el tema de la contaminación del aire para usted?				
		Leve	Moderada	Importante	Muy importante	Total
Lugar de la encuesta	PUCE	1	0	4	5	10
	Secretaría de Seguridad	0	0	2	8	10
	Escuela Sucre	0	0	0	10	10
	Clínica del Sur	0	1	1	8	10
	Hogar de Paz	0	0	2	8	10
	Teatro Capitol	2	0	0	8	10
	Administración Calderón	0	0	4	6	10
	Fundación Vista para Todos	0	0	5	5	10
	Unidad Educativa Gonzaga	0	0	4	6	10
	Plaza de Cumbayá	0	1	2	7	10
Total		3	2	24	71	100

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

La pregunta 9 se relacionó con la valorización de la calidad del aire que percibía el encuestado donde se observó, tal y como se muestra en el *Grafico 2* y *Tabla 17*, una tendencia de considerar una muy mala o mala calidad del aire en Clínica del Sur (90%), PUCE (80%), Fundación Vista para Todos (80%) y Escuela Sucre, Hogar de Paz y Administración Calderón todas con 70% entre las dos respuestas. Por otro lado, se evidenció una tendencia de considerar regular, buena o muy buena a Unidad Educativa Gonzaga (100%). En los lugares de Plaza Cumbayá, Teatro Capitol y Secretaría de Seguridad las calificaciones se reparten equitativamente entre los dos grupos mencionados anteriormente.

Gráfico 2. Calificación de la calidad del aire donde vive/trabaja por lugar de encuesta



Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Tabla 17. Calificación de la calidad del aire donde vive/trabaja por lugar de encuesta

Calificación de la calidad del aire donde vive/trabaja							
		¿Cómo calificaría la calidad del aire donde vive/trabaja?					
		Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena	Total
Lugar de la encuesta	PUCE	3	5	1	1	0	10
	Secretaría de Seguridad	2	2	5	0	1	10
	Escuela Sucre	4	3	2	1	0	10
	Clínica del Sur	5	4	1	0	0	10
	Hogar de Paz	5	2	3	0	0	10
	Teatro Capitol	1	4	4	1	0	10
	Administración Calderón	1	6	2	1	0	10
	Fundación Vista para Todos	5	3	2	0	0	10
	Unidad Educativa Gonzaga	0	0	5	4	1	10
	Plaza de Cumbayá	1	4	1	4	0	10
Total		27	32	26	12	3	100

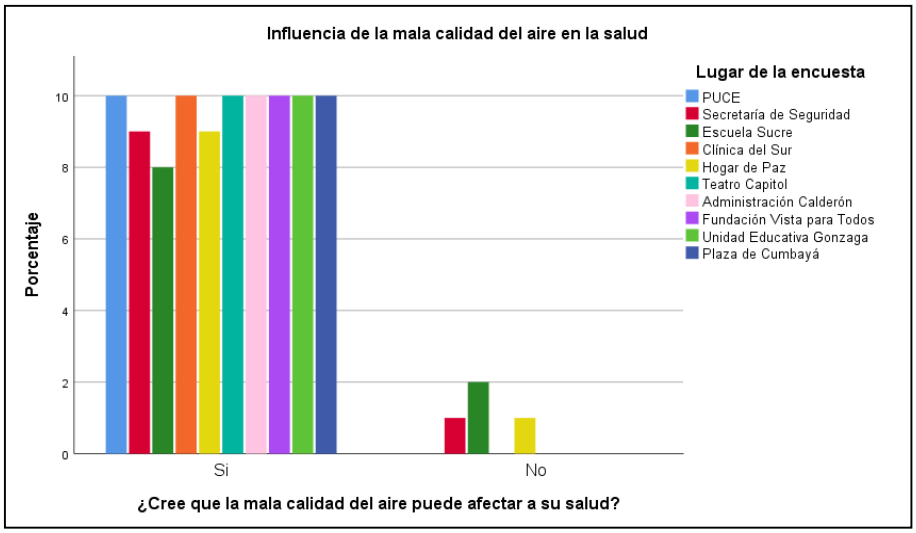
Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

En el *Gráfico 3* y *Tabla 18* se observan los resultados de la pregunta 10 que buscaba determinar si el encuestado creía que la mala calidad del aire puede afectar a su salud. Así, se

obtuvo que en casi todos los lugares que se realizó la encuesta casi el 100% de los individuos entienden que una mala calidad del aire si puede afectar a su salud, teniendo ciertas excepciones en la Escuela Sucre, Secretaria de Seguridad y Hogar de paz.

Gráfico 3. Influencia de la mala calidad del aire en salud



Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Tabla 18. Influencia de la mala calidad del aire en la salud por lugar de encuesta

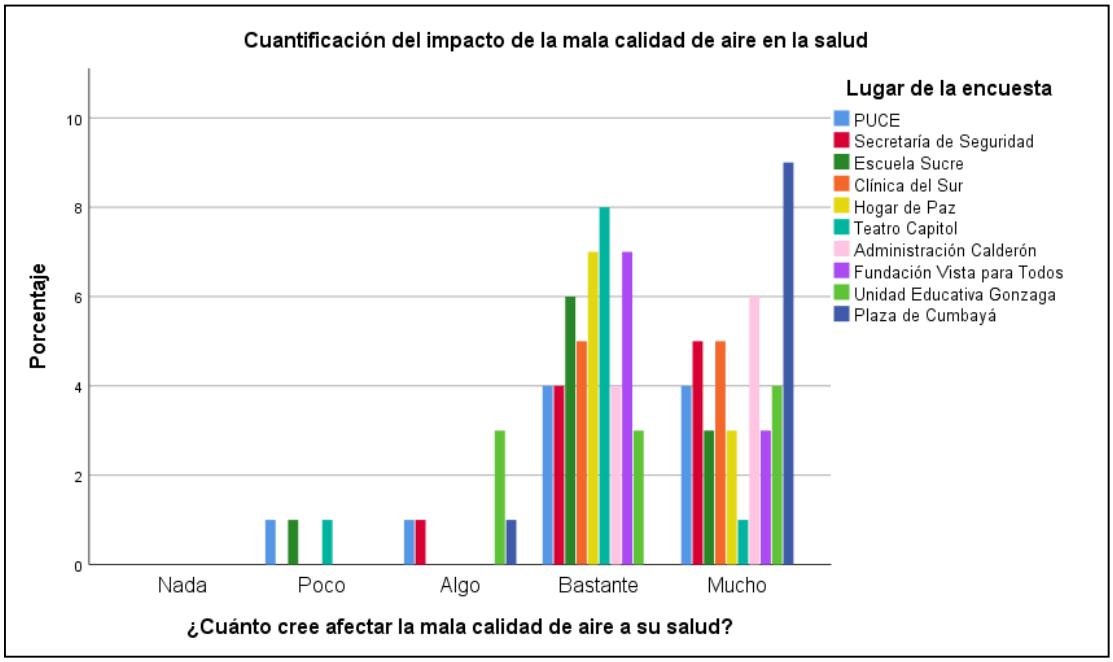
Influencia de la mala calidad del aire en la salud				
		¿Cree que la mala calidad del aire puede afectar a su salud?		
		Si	No	Total
Lugar de la encuesta	PUCE	10	0	10
	Secretaría de Seguridad	9	1	10
	Escuela Sucre	8	2	10
	Clínica del Sur	10	0	10
	Hogar de Paz	9	1	10
	Teatro Capitol	10	0	10
	Administración Calderón	10	0	10
	Fundación Vista para Todos	10	0	10
	Unidad Educativa Gonzaga	10	0	10
	Plaza de Cumbayá	10	0	10
Total		96	4	100

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

En complemento a la anterior pregunta y con el objetivo de aproximarse a una cuantificación de la percepción del impacto a la salud de contaminación atmosférica se realizó la pregunta 11. Los resultados se pueden observar en el *Gráfico 4* y *Tabla 19.* Se evidenció que la percepción de los encuestados con respecto a la cuantificación de los impactos en salud es en general mucho o bastante con un intervalo del 80% y 90% en 8 lugares, mientras tan solo en la Unidad Educativa Gonzaga y PUCE se observa un 30% y 20% respectivamente de cuantificación de impacto correspondiente a poco o algo.

Gráfico 4. Cuantificación del impacto de la mala calidad del aire en la salud por lugar de encuesta



Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Tabla 19. Cuantificación del impacto de la mala calidad del aire en la salud por lugar de encuesta

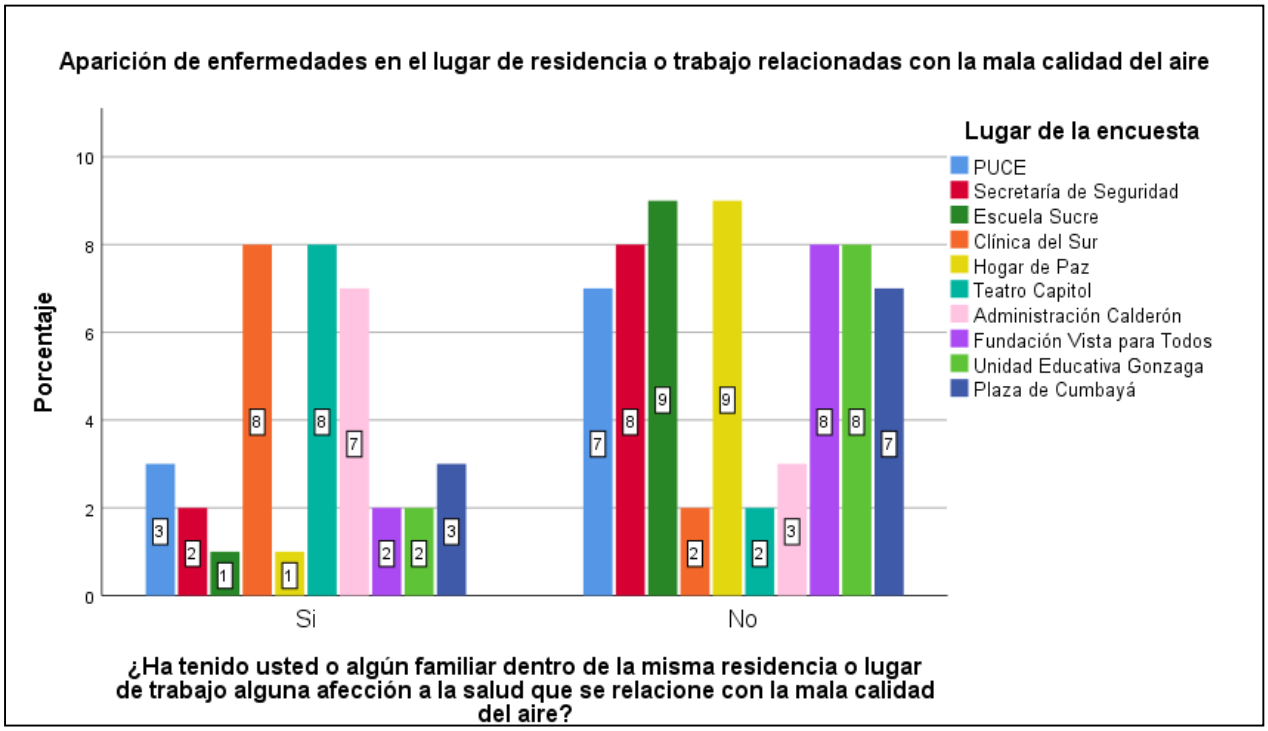
Cuantificación del impacto de la mala calidad del aire en la salud						
		¿Cuánto cree afectar la mala calidad de aire a su salud?				
		Poco	Algo	Bastante	Mucho	Total
Lugar de la encuesta	PUCE	1	1	4	4	10
	Secretaría de Seguridad	0	1	4	5	10
	Escuela Sucre	1	0	6	3	10
	Clínica del Sur	0	0	5	5	10
	Hogar de Paz	0	0	7	3	10
	Teatro Capitol	1	0	8	1	10
	Administración Calderón	0	0	4	6	10
	Fundación Vista para Todos	0	0	7	3	10
	Unidad Educativa Gonzaga	0	3	3	4	10
	Plaza de Cumbayá	0	1	0	9	10
Total		3	6	48	43	100

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Con respecto a los impactos específicos que la población percibe que la contaminación atmosférica genera en su salud se realizaron las preguntas 12 y 13 cuyos resultados se muestran en el *Gráfico 5 y Tabla 20* respectivamente. Los resultados de la pregunta 12 evidencian que del total de encuestados el 63% no advierten impactos a la salud a diferencia del 37% que sí reconocen afecciones a la salud relacionadas a la calidad del aire. En las locaciones de Clínica del Sur, Teatro Capitol y Administración Calderón más del 70% de encuestados perciben que la mala calidad del aire Si ha generado alguna afección a la salud suya o de alguien cercano en su residencia o trabajo, sin embargo, en las 7 locaciones restantes de igual manera más del 70% de los encuestados No perciben que la mala calidad del aire haya generado o genera afecciones a la salud. Las principales afecciones mencionadas por los encuestados fueron las relacionadas a problemas respiratorios tales como dolor de garganta, tos, gripes y alergias.

Gráfico 5. Aparición de enfermedades en el lugar de residencia o trabajo relacionadas a la mala calidad del aire por lugar de encuesta



Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Por otro lado, los resultados de la pregunta 13 (la cual se estructuró como una interrogante de respuesta múltiple) denotan que la mayor afección a la salud percibida por los encuestados fue la rinitis alérgica, seguida del cáncer de pulmón, neumonía, asma y derrame o infarto cerebral con más o menos la misma frecuencia. Los lugares Escuela Sucre y Fundación Vista para Todos presentan la mayor frecuencia de encuestados que perciben impactos a la salud seguidos de Secretaría de Seguridad, Hogar de Paz y Clínica del Sur.

Tabla 20. Aparición de enfermedades en lugar de residencia o trabajo por lugar de encuesta

Aparición de enfermedades en lugar de residencia o trabajo							
		Cáncer de pulmón	Asma	Rinitis alérgica	Derrame o infarto cerebral	Neumonía	Total
Lugar de la encuesta	PUCE	0	1	5	0	0	6
	Secretaría de Seguridad	2	1	4	1	1	9
	Escuela Sucre	2	1	6	2	1	12
	Clínica del Sur	0	1	5	0	1	7
	Hogar de Paz	1	1	3	2	1	8
	Teatro Capitol	0	0	3	0	1	4
	Administración Calderón	1	1	1	0	0	3
	Fundación Vista para Todos	3	1	3	2	3	12
Total		9	7	30	7	8	61

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Percepción de fuentes de contaminación, reconocimiento de contaminantes y medidas municipales de mitigación por lugar de encuesta

La parte final de la encuesta buscó determinar la apreciación de la población respecto a temas complementarios como las principales fuentes de contaminación atmosférica, el reconocimiento de algunos de los más comunes contaminantes y si se percibe que han existido medidas municipales frente a esta problemática. Todos los ítems en esta sección se estructuraron como preguntas con respuesta múltiple.

La pregunta 14 buscó determinar la percepción de la población con respecto a las principales fuentes de contaminación atmosférica. Los resultados obtenidos (*Tabla 21 y 22*) muestran que el transporte público (24,2%), los automóviles (18%) y transporte pesado (17,3%) son percibidos como las principales fuentes de contaminación independientemente del lugar donde fueron levantadas las encuestas, concordando así con los criterios de selección de locaciones con mayor tráfico vehicular para el monitoreo del proyecto PUCE

(Secretaría de Ambiente, 2018). Es importante resaltar que la percepción de las industrias como una fuente de contaminación atmosférica puede responder al hecho de que aún existen empresas que no se han reubicado en zonas industriales y que debido a la rápida urbanización del DMQ siguen funcionando en zonas urbanas y residenciales. Esta situación fue evidenciada en las zonas aledañas del punto de monitoreo correspondiente a Administración Calderón donde los encuestados manifestaron que en el sector todavía se encontraban operando empresas (textiles, metalúrgicas, alimenticias, etc.) y que debido a la cercanía con sus residencias podían percibir constantemente olores provenientes de chimeneas.

Tabla 21. Principales fuentes de contaminación atmosférica

Principales fuentes de contaminación atmosférica				
		Respuestas		Porcentaje de casos
		N	Porcentaje	
Fuentes de contaminación	Transporte pesado	67	17,3%	67,0%
	Automóviles	70	18,0%	70,0%
	Transporte público	94	24,2%	94,0%
	Industrias	55	14,2%	55,0%
	Maquinaria vial/construcción	35	9,0%	35,0%
	Basurales a cielo abierto	25	6,4%	25,0%
	Quema de residuos	30	7,7%	30,0%
	Talleres artesanales	12	3,1%	12,0%
Total		388	100,0%	

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Tabla 22. Principales fuentes de contaminación atmosférica por lugar de encuesta

Principales fuentes de contaminación atmosférica										
		Fuentes de contaminación								
		Transporte pesado	Automóviles	Transporte público	Industrias	Maquinaria vial/construcción	Basurales a cielo abierto	Quema de residuos	Talleres artesanales	Total
Lugar de la encuesta	PUCE	7	7	8	5	2	6	5	2	42
	Secretaría de Seguridad	10	4	10	9	4	3	3	0	43
	Escuela Sucre	10	5	9	7	5	3	3	1	43
	Clínica del Sur	4	7	10	2	2	2	1	3	31
	Hogar de Paz	9	6	10	8	9	3	5	2	52
	Teatro Capitol	4	8	10	2	4	3	2	1	34
	Admin. Calderón	5	9	9	5	0	0	2	0	30
	Fundación Vista para Todos	10	8	10	9	8	3	4	2	54
	Unidad Educativa Gonzaga	4	8	9	6	1	2	3	1	34
	Plaza de Cumbayá	4	8	9	2	0	0	2	0	25
Total		67	70	94	55	35	25	30	12	388

Los porcentajes y los totales se basan en respuestas.

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

En el caso de la pregunta 15 (*Tabla 23*), la cual estuvo relacionada con el reconocimiento de la población con respecto a los principales contaminantes presentes en el aire, se observó que los principales contaminantes reconocidos fueron el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO_2) con un 35% de las respuestas. Estos están relacionados a la combustión de combustibles fósiles y por ende al transporte ya sea público o en automóviles, etc. Un 24,7% de los registros manifestaron un no reconocimiento de los contaminantes expuestos expresando una falta de conocimiento respecto al tema. Es importante mencionar que también el 17,1% de los resultados reconocen al ozono troposférico (O_3), sin embargo, pudieron haber existido dudas ya que este compuesto también es utilizado en procesos de purificación y tratamiento del agua.

Tabla 23. Reconocimiento de contaminantes atmosféricos

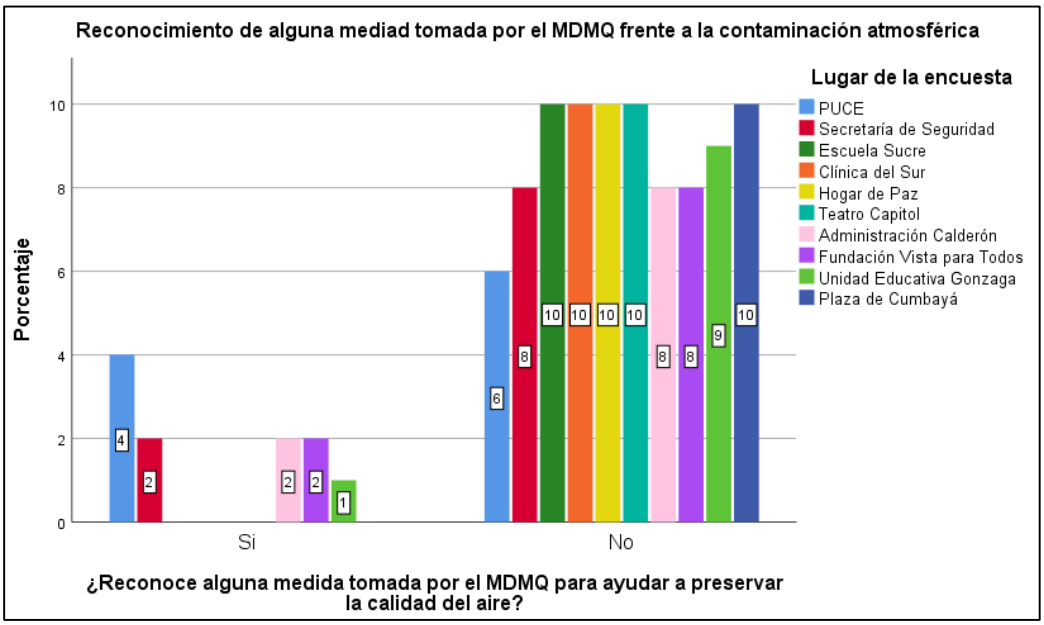
Reconocimiento de contaminantes atmosféricos				
		Respuestas		Porcentaje de casos
		N	Porcentaje	
Reconoce contaminantes	COV	5	3,2%	5,0%
	$CO - CO_2$	56	35,4%	56,0%
	O_3	27	17,1%	27,0%
	$PM_{10} - PM_{2.5}$	4	2,5%	4,0%
	NO_2	12	7,6%	12,0%
	SO_2	15	9,5%	15,0%
	Ninguno de los anteriores	39	24,7%	39,0%
Total		158	100,0%	158,0%

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

En el marco del reconocimiento de medidas municipales frente a la contaminación atmosférica se realizaron la pregunta 16 y 17. La primera, cuyo resultado se muestra en el *Gráfico 6*, establece una marcada tendencia del 89% de los encuestados al no reconocimiento de medidas municipales, mientras que tan solo un 11% si las identifican.

Gráfico 6. Reconocimiento de alguna medida municipal frente a la contaminación atmosférica



Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Por último, en la *Tabla 24* se pueden observar los resultados de la pregunta 17 donde se exhibe que un 30,5% de los encuestados perciben, como la principal medida tomada por el municipio al incentivo al uso de bicicletas y por ende la mejora de la infraestructura vial (ciclovías) en la capital, sin embargo, un 20,1% no reconoce ninguna de las acciones expuestas en el cuestionario expresando así un descuido por parte de las autoridades.

Tabla 24. Reconocimiento de medidas municipales frente a la contaminación atmosférica

Reconocimiento de medidas municipales frente a la contaminación atmosférica				
		Respuestas		Porcentaje de casos
		N	Porcentaje	
Medidas municipales	Ecovía	18	10,3%	18,0%
	Mejoras del transporte público	16	9,2%	16,0%
	Controles a fuentes móviles	12	6,9%	12,0%
	Incentivo al uso de energía alternativas	7	4,0%	7,0%
	Infraestructura verde	16	9,2%	16,0%
	Concientización ciudadana	17	9,8%	17,0%
	Uso de bicicletas (ciclovías)	53	30,5%	53,0%
	Ninguna de las anteriores	35	20,1%	35,0%
Total		174	100,0%	174,0%

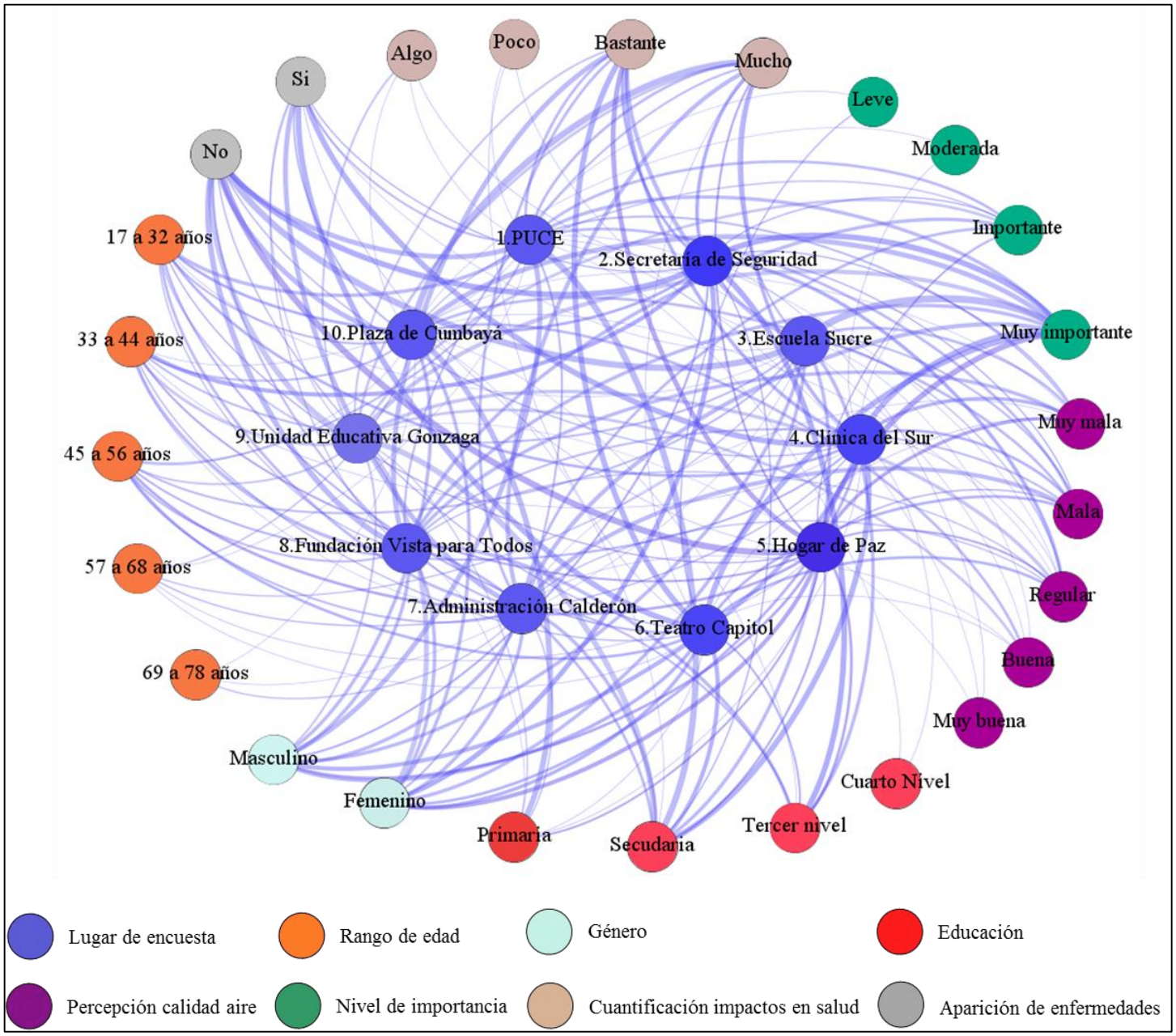
Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

En la *Figura 6* se observa un diagrama de red que resume los resultados obtenidos con respecto a la información general de los encuestados y la percepción en términos de importancia, calidad del aire e impactos a la salud. Los nodos centrales corresponden a las 10 locaciones en que fueron levantadas las encuestas mientras que los nodos que los circunscriben simbolizan las respuestas. Las líneas que unen los nodos centrales con los periféricos representan las elecciones tomadas para cada pregunta. En este sentido, y de acuerdo a lo reportado anteriormente, esta figura muestra una tendencia de percepción negativa con respecto de la calidad del aire del lugar de encuesta, concentrando los resultados en las categorías de muy mala, mala y regular. Además, muestra que en general los encuestados consideran el tema atmosférico como importante o muy importante como también que cuantifican que la mala calidad del aire afecta mucho y bastante en la salud. De

igual manera, no se observa una tendencia con respecto a la percepción de aparición de enfermedades.

Figura 6. Diagrama de red de respuestas por lugar de encuesta



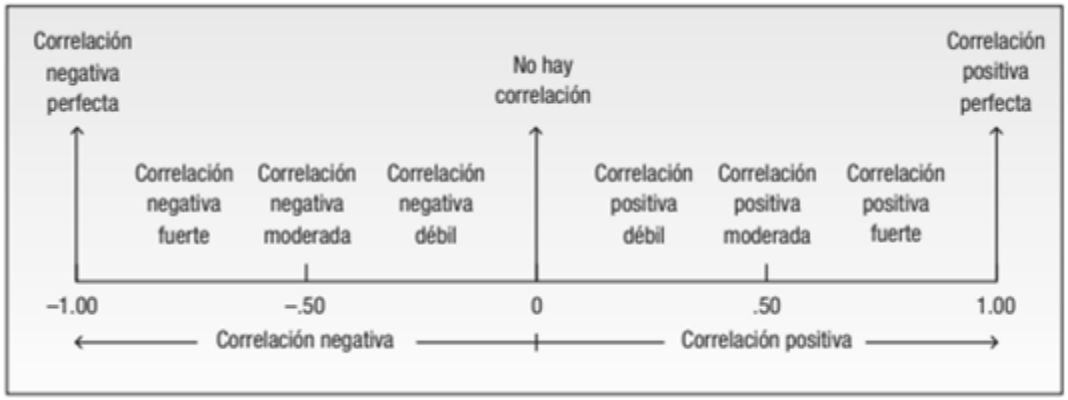
Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

3.2.3 Correlación entre resultados de percepción y niveles de contaminación

Es importante determinar si los resultados de ciertas preguntas realizadas en la encuesta se relacionan entre sí o se relacionan con los niveles de contaminación registrados, esto con el fin de establecer tendencias en la percepción de la población y contrastarla con la concentración de contaminantes reportada. En este sentido, se debe realizar procesos estadísticos que determinen la existencia o no de una correlación. Para estudiar esta relación se debe realizar un análisis de correlación mediante el cálculo del Coeficiente de Correlación de Pearson, el cual describe cuantitativamente la fuerza con la que dos conjuntos de variables se relacionan. El rango del coeficiente va desde -1,00 a +1,00, donde cualquiera de sus extremos positivo (las dos variables crecen o decrecen) o negativo (una variable crece mientras la otra decrece o viceversa) significan una correlación perfecta y los valores de 0 significan la no relación de variables (Lind, Marchal, &Wathen, 2012).

Figura 7. Fuerza y dirección del coeficiente de correlación



Fuente: Lind, Marchal, & Wathen, 2012

Correlación entre resultados de la encuesta

Se seleccionaron las preguntas 8, 9 y 11 de la encuesta para realizar el análisis de correlación entre preguntas de la encuesta ya que buscan determinar la importancia que le da la población al tema, la percepción de la calidad del aire y los efectos negativos en la salud que puede generar la contaminación atmosférica. Para esto las respuestas de estas preguntas se encuentran formuladas y ponderadas cualitativamente tal como se muestra en la *Tabla 25*.

Tabla 25. Ponderación de preguntas para análisis de correlación

Número	**Pregunta**	**Ponderación/Resultados**				
8	¿Qué nivel de importancia tienen el tema de la contaminación del aire para usted?	1	2	3	4	5
		No tiene	Leve	Moderada	Importante	Muy Importante
9	¿Cómo calificaría la calidad del aire donde vive/trabaja?	Muy Mala	Mala	Regular	Buena	Muy Buena
11	¿Cuánto cree afectar la mala calidad de aire a su salud?	Nada	Poco	Algo	Bastante	Mucho

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Tras realizar los cálculos mediante el software estadístico SPSS (*Tabla 26*) se obtuvieron que los resultados de la pregunta 8 y 9 se correlacionan de forma negativa débil al tener un coeficiente de correlación de -0,317, es decir, se sospecha que si los encuestados tienden a dar un mayor nivel de importancia al tema se corresponden calificaciones de la calidad del aire malas por parte de los mismos. Los resultados de las preguntas 8 y 11 tienen una correlación positiva débil al tener un coeficiente de 0,300, es decir, que existe una correspondencia leve entre mayor nivel de importancia y una cuantificación mayor de los impactos a la salud que puede generar una mala calidad del aire. Mientras que los resultados de las preguntas 9 y 11 no se correlacionan al no presentar una significación de 0,01 y por ende un coeficiente de correlación muy cercano a 0 (0,089), esto denota que no existe relación entre que un encuestado perciba cierta calidad del aire y los impactos a la salud que esta pueda generar.

Tabla 26. Correlación entre las preguntas 8, 9 y 11

Preguntas		8. ¿Qué nivel de importancia tienen el tema de la contaminación del aire para usted?	9. ¿Cómo calificaría la calidad del aire donde vive/trabaja?	11. ¿Cuánto cree afectar la mala calidad de aire a su salud?
8. ¿Qué nivel de importancia tienen el tema de la contaminación del aire para usted?	Correlación de Pearson	1	-,317**	,300**
9. ¿Cómo calificaría la calidad del aire donde vive/trabaja?	Correlación de Pearson		1	-,089
11. ¿Cuánto cree afectar la mala calidad de aire a su salud?	Correlación de Pearson			1

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Correlación entre resultados de la encuesta y niveles de contaminación

Al correlacionar la pregunta 9 con los niveles de concentración del material particulado y el ozono troposférico medidos se pudo identificar si existe coherencia entre la percepción cotidiana y la realidad medida. En este sentido y como se muestra en la *Tabla 27* existe una correlación negativa y positiva débil entra las variables. Así, para el $PM_{2.5}$ y el PM_{10} el coeficiente de correlación es negativo lo que implica que a mayores concentraciones de material particulado, peor es la valorización de la calidad del aire, denotando así una tendencia coherente. Como se mencionó anteriormente no siempre existe dicha coherencia entre la percepción y los monitoreos ambientales, situación que se evidencia en el caso del O_3 en donde la tendencia se invierte resultando un coeficiente de correlación positivo que implica que, a mayores niveles del contaminante, la calidad del aire se percibe de mejor manera.

Tabla 27. Correlación entre la pregunta 9 y concentración de contaminantes

Preguntas		9. ¿Cómo calificaría la calidad del aire donde vive/trabaja?	$PM_{2.5}$	PM_{10}	O_3
9. ¿Cómo calificaría la calidad del aire donde vive/trabaja?	Correlación de Pearson	1	-,252*	-,232*	,328**

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

El resultado del análisis de correlación entre la pregunta 12 y los niveles de concentración de contaminantes se observa en la *Tabla 28.* Los coeficientes, de igual manera, denotaron una correlación positiva y negativa débil además de que para el caso del PM_{10} no existió correlación. Para el $PM_{2.5}$ el coeficiente positivo resultante indica que a mayor concentración del contaminante la población ha percibido un mayor impacto en la salud propia o de personas cercanas en términos de aparición de afecciones relacionadas a la mala calidad del aire, sin embargo, para el caso del O_3 el coeficiente negativo indica una relación inversamente proporcional entre las concentraciones y la percepción de aparición de afecciones relacionadas.

Tabla 28. Correlación entre la pregunta 12 y concentración de contaminantes

Preguntas		12. ¿Ha tenido usted o algún familiar dentro de la misma residencia/trabajo alguna afección a la salud que se relacione con la mala calidad del aire?	$PM_{2.5}$	PM_{10}	O_3
12. ¿Ha tenido usted o algún familiar dentro de la misma residencia/trabajo alguna afección a la salud que se relacione con la mala calidad del aire?	Correlación de Pearson	1	,301**	-,162	-,244*

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Las preguntas 13 y 14 fueron formuladas para tener respuestas múltiples, de esta manera el análisis de correlación difiere con las preguntas 9 y 12 que poseían una única respuesta. Para realizar el análisis se resumió los resultados por lugar de encuesta y se ponderó los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos del 1 al 10 en función de su valor, asignando 1 al valor más bajo y 10 al más alto permitiendo así un mejor entendimiento de la asociación entre las variables.

El análisis entre la pregunta 13 y la ponderación de los valores de concentración de contaminantes resultó en una no correlación significativa entre dichas variables (*Tabla 29*), es decir, que no existe prueba suficiente para asegurar que la mayor percepción de aparición de enfermedades asociadas a la mala calidad del aire se asocie con altas concentraciones de contaminación en la población bajo estudio.

Tabla 29. Matriz de correlación entre la pregunta 13 y concentración de contaminantes

	Cáncer de pulmón	Asma	Rinitis alérgica	Derrame cerebral	Neumonía	O_3	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Cáncer de pulmón	1	,404	-,060	,784*	,685	,285	,285	-,647
Asma	,404	1	,192	,357	,000	,247	,412	,082
Rinitis alérgica	-,060	,192	1	,160	,000	,221	,369	-,332
Derrame cerebral	,784*	,357	,160	1	,623	,088	,677	-,500
Neumonía	,685	,000	,000	,623	1	-,315	,252	-,567
O_3	,285	,247	,221	,088	-,315	1	,190	-,262
PM_{10}	,285	,412	,369	,677	,252	,190	1	,048
$PM_{2.5}$	-,647	,082	-,332	-,500	-,567	-,262	,048	1

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

Tras realizar el mismo análisis para la pregunta 14 (*Tabla 30*) se obtuvo que, de igual manera, no existe una correlación significativa que asocien la precepción de las principales fuentes de contaminación atmosférica con las concentraciones de contaminantes medidas. Sin embargo, como se observa en las *Tablas 29* y *30*, existe una correlación significativa entre las mismas respuestas, hecho que no es relevante para el estudio.

Tabla 30. Matriz de correlación entre la pregunta 14 y concentración de contaminantes

	Transporte pesado	Automóviles	Transporte publico	Industrias	Maquinaria vial/construcción	Basurales	Quema de residuos	Talleres artesanales	O_3	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Transporte pesado	1	-,688*	,182	,875**	,743*	,452	,627	,062	-,007	,467	-,230
Automóviles	-,688*	1	-,203	-,508	-,408	-,414	-,267	,000	,023	-,141	,235
Transporte publico	,182	-,203	1	,170	,557	-,185	-,238	,185	-,787**	-,105	-,052
Industrias	,875**	-,508	,170	1	,639*	,312	,655*	-,038	,125	,361	-,229
Maquinaria vial/construcción	,743*	-,408	,557	,639*	1	,423	,585	,412	-,439	,579	-,041
Basurales	,452	-,414	-,185	,312	,423	1	,680*	,502	,032	,417	,053
Quema de residuos	,627	-,267	-,238	,655*	,585	,680*	1	,242	,165	,523	-,055
Talleres artesanales	,062	,000	,185	-,038	,412	,502	,242	1	-,462	,640*	,426
O_3	-,007	,023	-,787**	,125	-,439	,032	,165	-,462	1	,018	-,358
PM_{10}	,467	-,141	-,105	,361	,579	,417	,523	,640*	,018	1	,345
$PM_{2.5}$	-,230	,235	-,052	-,229	-,041	,053	-,055	,426	-,358	,345	1

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Encuesta de percepción de contaminación atmosférica, 2019

Elaboración: Rodríguez, 2019

En suma, el Capítulo III estuvo destinado a entender la relación que existe entre contaminación atmosférica y salud mediante la investigación de métricas epidemiológicas como las FER que permiten determinar la asociación entre los niveles de concentración de contaminantes y la aparición de enfermedades e incluso la muerte en la población. Además, y a través del levantamiento de encuestas se pudo establecer tendencias con respecto a la percepción de la población con respecto a la calidad del aire y el impacto en la salud como también contrastar dicha percepción con las concentraciones medidas.

CAPITULO IV

4. ESTIMACIÓN DE LA MORTALIDAD EVITABLE ASOCIADA LA REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

4.1 Evaluación de los Impactos en la Salud (EIS) por contaminación atmosférica

Frente a la evidencia científica que demuestra los impactos negativos en la salud asociados a la contaminación atmosférica, la toma de medidas de reducción de emisiones por parte de las autoridades con el objetivo de salvaguardar la salud de la población son esenciales (Echániz Pellicer et al., 2011). En este sentido, existen metodologías, como la Evaluación de los impactos en la salud (EIS), que permiten estimar los beneficios de la implementación de dichas medidas ya que es fundamental conocer cuánto de la carga en salud se puede disminuir con la aplicación de dichas acciones (Molina & Molina, 2002).

La Evaluación de Impactos a la Salud (EIS) es un conjunto de procedimientos, métodos y herramientas que sustentados en información científica permiten identificar, evaluar y caracterizar los beneficios o impactos en la salud de la población que se relacionan con la contaminación del aire (Echániz Pellicer et al., 2011). La EIS puede estimar por un lado los beneficios en salud que implica la reducción de contaminantes atmosféricos (que para esta investigación fueron el número de muertes evitadas) como también los impactos negativos en salud relacionados a la exposición de la población. De igual manera, es común que los resultados obtenidos de la EIS sean utilizados en el marco de análisis más amplios como el de costo-beneficio, para esto se monetizan las muertes evitadas con el fin de calcular los beneficios económicos que se asocian a la aplicación de políticas de mejora de la calidad del aire (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016).

La EIS y su valorización económica según Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al. (2016) se esquematiza metodológicamente de la siguiente manera:

1. Identificación de impactos y selección de FER: Se establecen los contaminantes atmosféricos a evaluar y los impactos en salud asociados mediante la investigación de bibliografía epidemiológica de la cual se derivaron las Funciones Exposición – Respuesta (FER).

2. Evaluación de la exposición: Se identifica a la población expuesta, así como también las tasas de mortalidad para el impacto a la salud seleccionado. Se determina el cambio en la calidad del aire a la que la población está expuesta, es decir, la diferencia entre los escenarios base (Proyecto PUCE O13024) y control (reducción de concentraciones mediante la aplicación de políticas de gestión como la Infraestructura Verde Urbana).

3. Caracterización de impactos: Se integra la información recopilada en las etapas 1 y 2 para el cálculo de las muertes evitadas (mediante una ecuación) como resultado del cambio de concentraciones de contaminantes atmosféricos.

4. Valoración económica: Se cuantifica el beneficio o impacto resultante de la etapa 3 mediante el cálculo del valor de una vida estadística que busca monetizar el beneficio (en el caso de esta investigación) para la sociedad que implica evitar una muerte.

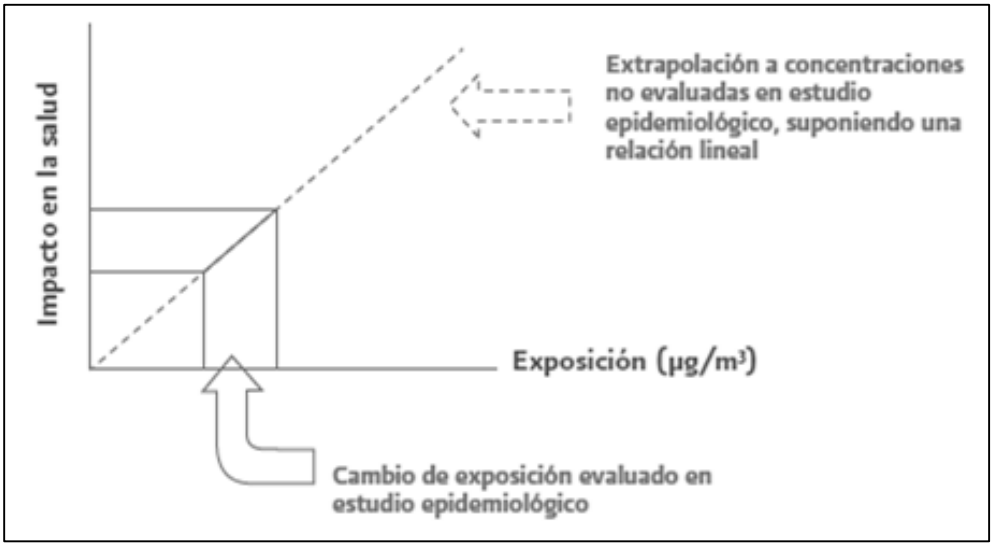
4.1.1 Identificación de contaminantes e impactos en salud (FER)

En el Capítulo III de esta investigación se estableció que para la EIS los contaminantes atmosféricos seleccionados fueron el $PM_{2.5}$, PM_{10} y el O_3 debido a su ya documentado impacto en la salud de la población y a la disponibilidad de información. El impacto a la salud seleccionado fue la mortalidad general ya que es usualmente la que más evalúa debido a su máxima severidad, sin embargo, los impactos a la salud no tan severos relacionados a la morbilidad también han sido evaluados por múltiples estudios (Echániz Pellicer et al., 2011). Con respecto a la relación entre contaminantes atmosféricos y salud se identificó las Funciones Exposición – Respuesta para cada contaminante e impacto a la salud seleccionado tomando en cuenta referencias epidemiológicas adecuadas como se muestra en la *Tabla 14*.

Las FER seleccionadas fueron evaluadas con un cambio de exposición asociado con un incremento de 10 unidades ($PM_{2.5}$ y PM_{10}: 10 $\mu g/m^3$; O_3: 10 ppb) por lo que se extrapoló dichas medidas al rango específico utilizado para esta EIS que fue del incremento por un cambio en una unidad en la concentración del contaminante. La extrapolación supone una relación exposición - respuesta lineal lo que implica que, a menor exposición, menor es el

impacto a la salud o viceversa (*Figura 8*) añadiendo a la vez incertidumbre que será discutida posteriormente.

Figura 8. Extrapolación de FER a concentraciones no evaluadas



Fuente: Echániz Pellicer et al., 2011

Para extrapolar dichas FER se transformó los valores de RR, OR y HR en porcentaje del incremento en la presencia del impacto mediante las siguientes ecuaciones:

$$FER_{\%} = (RR - 1) * 100$$

(Ecuación 1)

$$RR = (1 + (FER\%/100))$$

(Ecuación 2)

Una vez transformados los valores a porcentajes, se procedió a realizar una regla de tres simple donde se obtuvo los nuevos porcentajes para nuevamente expresarlos en valores de RR, OR y HR. Por último, se obtuvo los FER en concordancia con lo establecido en EPA (2008) que se utilizarán para realizar los cálculos como se muestra en la *Tabla 31*.

Tabla 31. Extrapolación de FER para cambio en la concentración de una unidad

Contaminante	Impacto	Grupo de edad	RR (10 unidades)	%[1] (10 unidades)	%[2] (1 unidad)	RR[3] (1 unidad)	FER utilizado
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	Mortalidad general	≥ 15 años	1,06	6	0,6	1,006	0,006
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	Mortalidad general	≥ 30 años	1,043	4,3	0,43	1,0043	0,0043
		< 1 año	1,04	4	0,4	1,004	0,004
O_3 (ppb)	Mortalidad general	≥ 30 años	1,02	2	0,2	1,002	0,002

1. Uso de ecuación 1.

2. Extrapolación lineal suponiendo una relación lineal.

3. Uso de ecuación 2.

Fuente: Echániz Pellicer et al., 2011 Elaboración: Rodríguez, 2019

4.1.2 Evaluación de la exposición

Población expuesta

La exposición se puede entender como la interacción entre contaminantes y la población en el sentido del contacto que estos pueden tener con la frontera externa del cuerpo humano (fosas nasales, piel, boca, etc.). Para el caso de la contaminación atmosférica la vía de exposición es la inhalación y en general la exposición se da en periodos prolongados y continuos (Echániz Pellicer et al., 2011).

La población bajo estudio fueron los habitantes de las 8 parroquias urbanas y rurales del DMQ que corresponde a los 10 puntos de monitoreo de contaminantes del Proyecto PUCE O13024. El número de habitantes fue desagregado por el grupo de edad correspondiente a las FER seleccionadas (*Tabla 32*), por ejemplo, para el impacto de mortalidad general por $PM_{2.5}$ la FER correspondía a personas de edad mayor o igual a 15 años (*Tabla 31*).

Tabla 32. Habitantes expuestos por parroquia y rango de edad seleccionado

Parroquia	Total población (2010)	Menor a 1 año	Mayor a 15 años	Mayor a 30 años
Mariscal Sucre	12976	123	11061	7462
Centro Histórico	40682	618	29840	18169
La Magdalena	30288	430	23249	15383
San Juan	54027	729	39980	24933
Itchimbia	31616	360	24793	15429
Calderón	152242	2679	107346	63272
Conocoto	82072	1239	60389	38516
Cumbayá	31463	409	23493	15779

Fuente: Instituto de la Ciudad , 2012 Elaboración: Rodríguez, 2019

Información de salud de la población

Se determinó una línea base de salud para la población expuesta establecida por las tasas basales de mortalidad para el impacto a la salud seleccionado (Mortalidad general). Para esto se consultó el perfil de mortalidad y defunciones del año 2016 del Sistema Nacional de Salud del Ministerio de Salud Pública (MSP) del Ecuador en donde se eligieron el número de defunciones por mortalidad general correspondientes a los grupos de edad y parroquias seleccionadas (*Tabla 33*).

Tabla 33. Defunciones por parroquia, impacto a la salud y grupo de edad

Parroquia	Total defunciones (2016)	Mortalidad General (CIE 10 : A00 – R99)		
		Menor a 1 año	Mayor a 15 años	Mayor a 30 años
Mariscal Sucre	74	6	67	65
Centro Histórico	323	3	318	312
La Magdalena	336	10	325	319
San Juan	229	38	193	184
Itchimbia	269	99	175	164
Calderón	463	26	431	412
Conocoto	334	11	326	319
Cumbayá	111	3	106	106

Fuente: MSP, 2016 Elaboración: Rodríguez, 2019

Posteriormente se calculó las tasas de mortalidad basal por cada parroquia mediante la división entre número de defunciones por mortalidad general y el tamaño de la población por cada parroquia, teniendo en cuenta los rangos de edad establecidos (*Tabla 34*).

Tabla 34. Tasa de mortalidad basal por parroquia y rango de edad

Parroquia	Rango de edad								
	Menor a 1 año			Mayor a 15 años			Mayor a 30 años		
	Defunciones	Población	Tasa mortalidad	Defunciones	Población	Tasa mortalidad	Defunciones	Población	Tasa mortalidad
Mariscal Sucre	6	123	0,04867	67	11061	0,00606	65	7462	0,00871
Centro Histórico	3	618	0,00485	318	29840	0,01066	312	18169	0,01717
La Magdalena	10	430	0,02325	325	23249	0,01398	319	15383	0,02074
San Juan	38	729	0,05210	193	39980	0,00483	184	24933	0,00738
Itchimbia	99	360	0,27468	175	24793	0,00706	164	15429	0,01063
Calderón	26	2679	0,00970	431	107346	0,00402	412	63272	0,00651
Conocoto	11	1239	0,00888	326	60389	0,00540	319	38516	0,00828
Cumbayá	3	409	0,00733	106	23493	0,00451	106	15779	0,00672

Fuente: MSP, 2016 Elaboración: Rodríguez, 2019

Escenarios base y de control

En general, los beneficios que implica la implementación de medidas de control de contaminantes atmosféricos son evaluados antes de que se materialicen los cambios en las concentraciones, es decir, antes de la ejecución de dichas medidas, por lo que en el contexto de la EIS es fundamental conocer cuál sería el cambio en la concentración de contaminantes atmosféricos a la que estaría expuesta la población (Echániz Pellicer et al., 2011).

En este sentido, se precisa establecer un escenario base y un escenario de control. El primero que determine cuál es la situación actual y el segundo que considere el efecto de la implementación de medidas. La diferencia entre los escenarios constituye el cambio de concentración que se analizó en la EIS (Echániz Pellicer et al., 2011).

El escenario base se muestra en la sección **2.2.4** de la disertación en donde se encuentra detallada la ubicación, fechas de monitoreo y niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 en los 10 puntos de monitoreo ubicados en 8 parroquias del DMQ que realizó el proyecto PUCE O13024. Al existir puntos de monitoreo ubicados en la misma parroquia (2. Secretaría de Seguridad y 3. Escuela Sucre en el Centro Histórico y 5. Hogar de Paz y 8. Fundación Vista para Todos en San Juan) se procedió a

escoger el punto que presenta mayor concentración de contaminantes (3. Escuela Sucre y 5. Hogar de Paz) por lo que se estableció 8 puntos de monitoreo ubicados cada uno en una parroquia, esto con el objetivo de no sobreestimar la mortalidad evitable. Además, se trabajó bajo el supuesto de que la concentración registrada en cada punto de monitoreo funja como la concentración de toda la parroquia en donde se encuentre.

Por otro lado, el escenario de control implica la consecución de diversas políticas de gestión de calidad del aire con el afán de prevenir, reducir o mitigar las emisiones de contaminantes atmosféricos (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016). En el marco de esta disertación el escenario de control se relaciona a la Infraestructura Verde Urbana como una potencial política de mitigación de contaminantes atmosféricos.

La Infraestructura Verde Urbana (IVU) es entendida como una red interconectada de espacios naturales, seminaturales y artificiales que está diseñada para ofrecer una amplia variedad de servicios ecosistémicos que dentro del ámbito urbano contribuyen a la mejora de la calidad del aire, la regulación del clima urbano, la reducción de la contaminación atmosférica entre otros beneficios que apuntan a mejorar la calidad ambiental y la habitabilidad urbana. Los espacios verdes urbanos incluyen arbolado, parques, jardines o huertos como también elementos seminaturales o artificiales como fachadas y tejados verdes, jardines de lluvia o pavimentos permeables (Centro de Estudios Ambientales, 2014). En este sentido, existen diferentes estudios que buscan cuantificar la remoción de contaminantes atmosféricos que la implementación de espacios verdes naturales o artificiales pueden generar.

Para el $PM_{2.5}$ Jayasooriya et al. (2017) determinó que en Victoria, Australia la implementación de diversos tipos de IVU como los techos verdes, el arbolado urbano y las paredes verdes presentan un potencial de remocion anual del contaminante que oscila entre 0.96 y 1.54 %. Por otro lado, Nowak et al. (2013), mediante un modelado a gran escala, concluyó que en 10 ciudades de USA el arbolado urbano puede generar una mejora anual de la calidad del aire en términos de remoción del contaminante de alrededor el 1%. Esto se traduce en reducciones de mortalidad de entre 1 persona por ciudad pero de alrededor de 7,6 personas en Nueva York. El escenario de control seleccionado para el $PM_{2.5}$ en el marco de la disertación fue del 1% de reducción.

Con respecto al PM_{10} de igual manera Jayasooriya et al. (2017) estableció que la IVU como el arbolado urbano y la combinacion de techos y paredes verdes reducen anualmente

entre 32.75 y 47.95 % respectivamente del contaminante. Pugh et al. (2012) determinó que se genera un aumento en la deposición del material particulado en paredes verdes ubicadas en cañones de calle (zonas donde edificaciones a ambos lados de las vías no permiten un circulación del aire) de hasta el 60%. Tallis et al. (2015) siguiendo esta línea expresa que la IVU elimina entre el 1 y el 60% del PM reduciendo significativamente la exposición humana ,sin embargo, establece que el impacto depende de varios factores como las especies de vegetación, locación, tipo de contaminante, tipo de clima y la topografía local. El escenario de control seleccionado para el PM_{10} en el marco de la disertación fue del 30%.

La reducción de los niveles O_3 según Yang, McBride, Zhou, & Sun (2005) oscilan entre el 20% del total de contaminantes atmosféricos absorbidos por árboles anualmente, mientras que Jayasooriya et al. (2017) expresa que la IVU, en el caso del ozono troposférico, pude reducir entre 35,53 y 41,88% los niveles de este contaminante. El escenario de control seleccionado para el O_3 en el marco de la disertación fue del 30%.

4.1.3 Caracterización de impactos

La etapa de la EIS que integra la información recopilada anteriormente es la caracterización de los impactos positivos que en el marco de esta disertación son considerados beneficios. Los beneficios a la salud que supone la implementación de medidas de control de contaminantes atmosféricos como la Infraestructura Verde Urbana se los puede entender en términos de reducción de la mortalidad o morbilidad. La reducción de la mortalidad puede ser cuantificada a través del número de casos evitados de cada impacto a la salud seleccionado (muerte por cáncer de pulmón, enfermedades cardiovasculares, enfermedades respiratorias o mortalidad general) que son atribuidos a la reducción de los niveles de concentración de los contaminantes seleccionados (Echániz Pellicer et al., 2011).

De acuerdo a EPA (2008) citado en Echániz Pellicer et al. (2011) la estimación del número de casos evitados se puede calcular mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{lij = \Delta Cj\ x\ FERij\ x\ P\ x\ Ti}$$

(Ecuación 3)

Dónde:

lij: Es el número de casos evitados del impacto a la salud i que se asocia al cambio de la concentración del contaminante j.

ΔCj: Es el cambio de concentración del contaminante j que se asocia a la implementación de medidas de control.

FERij: Viene a ser la Función Exposición – Respuesta entendida como el incremento relativo del riesgo para el impacto i por el cambio en una unidad de la concentración del contaminante j.

P: Es el número de personas que están expuestas al contaminante j en la área de estudio y que pueden ser afectadas por el impacto i.

Ti: Es la tasa basal de mortalidad o morbilidad, es decir, el número de casos asociados con el impacto i para la población P en un año.

Las variables FERij y ΔCj pueden introducir una mayor incertidumbre en los cálculos, esto debido a que las funciones exposición – respuesta se reportan generalmente en los estudios epidemiológicos con un intervalo de confianza del 95% y que por su parte el cambio de concentración puede depender de estimadores que conllevan incertidumbre en el uso de modelos de calidad de aire o la estimación de un fracción de inhalación (Echániz Pellicer et al., 2011). En este sentido, existen dos enfoques para el manejo de estas variables, uno determinista y otro probabilista.

El enfoque determinista implica asignar un valor puntual a cada variable, escogiendo un estimador central de la FER y un descriptivo estadístico (promedio, mediana, percentil 95, etc.) de la concentración del contaminante. Por otro lado, el enfoque probabilista estima la distribución de la probabilidad de ambas variables mediante el uso de paquetes de cómputo que utilizan la técnica de Montecarlo para capturar dicha incertidumbre (Echániz Pellicer et al., 2011). El enfoque seleccionado fue el determinista ya que es la manera más sencilla y rápida de estimar el número de casos evitados, sin embargo, implica un cierto grado de incertidumbre inherente a las variables mencionadas que debe ser tomada en cuenta.

Estimación de mortalidad evitable

La cuantificación de la mortalidad evitable se realizó mediante la multiplicación de las cuatro variables que componen la *Ecuación 3* en una hoja de cálculo, sin embargo, los resultados dependen de los valores de población expuesta, tasa de mortalidad y cambio de concentración. De esta manera se puede esperar que zonas donde exista una mayor concentración de contaminantes o mayor incidencia de impactos a la salud no necesariamente se eviten mayor número de muertes o viceversa ya que todas las variables tienen el mismo peso en la ecuación. Los resultados fueron interpretados en función de los valores de las variables que sobresalen y por ende aumentan el número de muertes evitadas.

Tras haber recopilado la información necesaria para la estimación y haber definido el enfoque de cálculo se generaron los resultados de mortalidad evitable como se muestran en las tablas en las *Tablas 35, 36, 37 y 38.*

La *Tabla 35* muestra los resultados con respecto a la mortalidad evitable por causas generales en individuos mayores de 30 años, en el marco de un escenario de reducción del 30% de las concentraciones de PM_{10} en un año.

Se muestra que la parroquia con mayor número de muertes evitadas (22,87% del total) es Centro Histórico ya que presentó el mayor nivel de PM_{10} y por ende el mayor cambio de concentración bajo un escenario de reducción. Por otro lado, la parroquia de Calderón presentó el segundo lugar en cantidad de muertes que se pueden evitar (20,54% del total), esto a causa de que a pesar de no tener los niveles de concentración de PM_{10} más elevados el número de población expuesta es el más alto. En el tercer lugar de mortalidad evitable con el 16,43% del total se encuentra la parroquia de la Magdalena ubicada en el Sur del DMQ, se visualiza que la tasa de mortalidad es la más elevada de todas las parroquias. Las parroquias que presentaron la menor cantidad de mortalidad evitable son Mariscal Sucre y Cumbayá debido al bajo número de población en el primer caso y a la baja tasa de mortalidad y población en el segundo.

Tabla 35. Mortalidad evitable en un año por reducción del 30% de concentración PM_{10} en el DMQ

PM_{10}							
Mortalidad General (A00-R99) ≥ 30 años							
Punto de monitoreo	**Parroquia**	**Concentración (µg/m3)**	**FERij**	**ΔCj (30%)**	**P**	**Ti**	**Muertes evitadas**
1. PUCE	Mariscal Sucre	72,78	0,0043	21,83	7462	0,008710221	6
3. Escuela Sucre	Centro Histórico	97,85	0,0043	29,36	18169	0,017172502	39
4. Clínica del Sur	La Magdalena	68,75	0,0043	20,63	15383	0,020736806	28
5. Hogar de Paz	San Juan	74,17	0,0043	22,25	24933	0,007379642	18
6. Teatro Capitol	Itchimbia	52,92	0,0043	15,88	15429	0,010629604	11
7. Administración Calderón	Calderón	66,56	0,0043	19,97	63272	0,006511592	35
9. Unidad Educativa Gonzaga	Conocoto	66,65	0,0043	20,00	38516	0,008282189	27
10. Plaza de Cumbayá	Cumbayá	50,00	0,0043	15,00	15779	0,00671792	7

Elaboración: Rodríguez, 2019

La *Tabla 36* muestra los resultados con respecto a la mortalidad evitable por causas generales en infantes menores a 1 año, en el marco de un escenario de reducción del 30% de las concentraciones de PM_{10} en un año.

Se muestra que las parroquias más relevantes en cantidad de muertes evitadas son Itchimbia, San Juan y Calderón con el 43,34%, 23,31% y 14,32% respectivamente. La primera presentó la mayor tasa de mortalidad, la segunda presentó la segunda mayor tasa de mortalidad acompañada de un valor considerable de población expuesta y la tercera presentó la mayor cantidad de población expuesta. Los resultados correspondientes a las demás parroquias no resultaron incluso en una muerte evitada debido principalmente a que los valores de población y de tasas de mortalidad fueron muy bajos.

Tabla 36. Mortalidad evitable en un año por reducción del 30% de concentración PM_{10} en el DMQ

PM_{10}							
Mortalidad General (A00-R99) < 1 año							
Punto de monitoreo	**Parroquia**	**Concentración (µg/m3)**	**FERij**	**ΔCj (30%)**	**P**	**Ti**	**Muertes evitadas**
1. PUCE	Mariscal Sucre	72,78	0,004	21,83	123	0,048672854	1
3. Escuela Sucre	Centro Histórico	97,85	0,004	29,36	618	0,004851493	< 1
4. Clínica del Sur	La Magdalena	68,75	0,004	20,63	430	0,023250969	1
5. Hogar de Paz	San Juan	74,17	0,004	22,25	729	0,05210015	3
6. Teatro Capitol	Itchimbia	52,92	0,004	15,88	360	0,274677711	6
7. Administración Calderón	Calderón	66,56	0,004	19,97	2679	0,009703451	2
9. Unidad Educativa Gonzaga	Conocoto	66,65	0,004	20,00	1239	0,.00887607	1
10. Plaza de Cumbayá	Cumbayá	50,00	0,004	15,00	409	0,007334623	< 1

Elaboración: Rodríguez, 2019

La *Tabla 37* muestra los resultados con respecto a la mortalidad evitable por causas generales en individuos mayores de 30 años, en el marco de un escenario de reducción del 1% de las concentraciones de $PM_{2.5}$ en un año.

Al ser el escenario de reducción del contaminante tan bajo, la mortalidad evitable por ende resultó en valores menores a una muerte evitada en todas las parroquias bajo estudio a pesar de que variables como la población expuesta en Calderón tenga el valor más alto.

Tabla 37. Mortalidad general evitable en un año por reducción del 1% de concentración $PM_{2.5}$ en el DMQ

$PM_{2.5}$							
Mortalidad General (A00-R99) ≥ 15 años							
Punto de monitoreo	**Parroquia**	**Concentración (µg/m3)**	**FERij**	**ΔCj (1%)**	**P**	**Ti**	**Muertes evitadas**
1. PUCE	Mariscal Sucre	24,03	0,006	0,2403	11061	0,00605746	< 1
3. Escuela Sucre	Centro Histórico	17,53	0,006	0,1753	29840	0,010656748	< 1
4. Clínica del Sur	La Magdalena	30,97	0,006	0,3097	23249	0,013979055	1
5. Hogar de Paz	San Juan	27,86	0,006	0,2786	39980	0,004827416	< 1
6. Teatro Capitol	Itchimbia	19,67	0,006	0,1967	24793	0,007058368	< 1
7. Administración Calderón	Calderón	32,26	0,006	0,3226	107346	0,00401506	1
9. Unidad Educativa Gonzaga	Conocoto	15,12	0,006	0,1512	60389	0,005398372	< 1
10. Plaza de Cumbayá	Cumbayá	12,27	0,006	0,1227	23493	0,004511901	< 1

Elaboración: Rodríguez, 2019

La *Tabla 38* muestra los resultados con respecto a la mortalidad evitable por causas generales en individuos mayores de 15 años, en el marco de un escenario de reducción del 30% de las concentraciones de O_3 en un año.

Como en el caso del $PM_{2.5}$ los valores de mortalidad evitada son bajos debido a que el cambio de concentración del ozono son de igual manera bajos, sin embargo, cabe destacar que las parroquias de Conocoto y Centro Histórico poseen las concentraciones más altas y por su lado Calderón la mayor cantidad de población expuesta, alcanzando así una muerte evitada cada una.

Tabla 38. Mortalidad evitable en un año por reducción del 30% de concentración O_3 en el DMQ

O_3							
Mortalidad General (A00-R99) ≥ 30 años							
Punto de monitoreo	**Parroquia**	**Concentración (ppb)**	**FERij**	**ΔCj (30%)**	**P**	**Ti**	**Muertes evitadas**
1. PUCE	Mariscal Sucre	4,94	0,002	1,482	7462	0,008710221	< 1
3. Escuela Sucre	Centro Histórico	5,32	0,002	1,596	18169	0,017172502	1
4. Clínica del Sur	La Magdalena	2,37	0,002	0,711	15383	0,020736806	< 1
5. Hogar de Paz	San Juan	2,53	0,002	0,759	24933	0,007379642	< 1
6. Teatro Capitol	Itchimbia	2,71	0,002	0,813	15429	0,010629604	< 1
7. Administración Calderón	Calderón	4,08	0,002	1,224	63272	0,006511592	1
9. Unidad Educativa Gonzaga	Conocoto	5,56	0,002	1,668	38516	0,008282189	1
10. Plaza de Cumbayá	Cumbayá	4,45	0,002	1,335	15779	0,00671792	< 1

Elaboración: Rodríguez, 2019

En resumen, las *Tablas 35, 36, 37* y *38* muestran los insumos y resultados de la estimación de mortalidad evitable en diferentes escenarios de reducción para tres contaminantes atmosféricos en donde se evidenció que la disminución del PM_{10} en personas mayores a 30 años generó la mayor cantidad de muertes evitadas con un total de 171 casos para las ocho parroquias, es decir, que se podrían evitar 86 muertes por cada 100000 habitantes. Para el escenario de reducción de PM_{10} en infantes menores a 1 año a pesar de que se generaron valores menores a una muerte el total de muertes evitadas es de 14 por casi 7000 habitantes. En el caso del $PM_{2.5}$ el escenario de reducción resultó en 2 muertes evitadas, que vendrían a ser menos de una muerte por cada 100000 habitantes. Y por último el escenario del O_3 resultó en 3 muertes evitadas que representan 2 casos por cada 100000 habitantes.

4.1.4 Valoración económica

El asignar un valor monetario a la mortalidad evitable anteriormente calculada permite transformar los beneficios a la salud que implica la mejora de la calidad del aire en una

métrica común (USD) que facilite la comprensión de la viabilidad de implementar políticas públicas (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016).

Para Arthur (1981) citado en Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al. (2016) existen dos metodologías que generalmente sirven para valorar la mortalidad: la primera es la aproximación por capital humano y la segunda es el método de disposición a pagar o el Valor de una Vida Estadística (VVE). Para esta disertación se eligió el método del cálculo del VVE, el cual se basa en estimar la disposición a pagar de las personas para asegurar una disminución del riesgo de una muerte prematura (WHO & OECD, 2015). En este sentido, también se puede definir al VVE como la suma del valor que cada persona otorga a pequeños cambios en el riesgo de muerte (OECD, 2011). La VVE no está relacionada con el valor de una vida humana en específico sino más bien con el valor de evitar la muerte. En esta línea, es importante precisar que la valoración de la mortalidad en términos económicos no debe confundirse con costos meramente financieros (gastos en el sector salud por consulta médica, hospitalización o tratamiento) sino también con costos que involucran el valor que los individuos dan a la perdida de aspectos valiosos como la salud o la vida misma (WHO & OECD, 2015).

En Ecuador no existe un VVE oficial y los estudios relacionados como mínimo son escasos por lo que una opción para el cálculo, generalmente recomendada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), es la transferencia del VVE de estudios realizados en otros países (USA o Europa) al contexto nacional mediante un ajuste entre las diferencias de ingreso (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016). Los valores transferidos de países desarrollados son generalmente altos en contraste a los valores obtenidos de estudios primarios en países como México (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016). Ante esta situación, es necesario tomar con cautela la valoración económica de la mortalidad al no estar completamente adaptada al contexto del estudio y al ser un transferencia de otra VVE.

El VVE determinado por el frecuentemente citado meta-análisis realizado por Kochi, Hubbell, & Kramer (2006) es de 5.4 millones de USD a precios del año 2000. Según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de México el método de transferencia de beneficios se realiza a partir de la siguiente ecuación del INECC (2014) citado en Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al. (2016):

$$VVE_{ECU(2018)} = VVE_{KOCHI\,(2000)}\ x \left(\frac{I_{ECU(2000)}}{I_{USA\,(2000)}}\right)^{\beta}$$

(Ecuación 4)

Dónde:

VVE $_{ECU\,(2018)}$: Es el Valor de una Vida Estadística (VVE) para Ecuador en dólares de estadounidenses del 2018.

VVE $_{KOCHI\,(2000)}$: Es el VVE en dólares estadounidenses del 2000 recopilado del estudio de Kochi et al. (2006).

I $_{ECU\,(2000)}$: Es el Ingreso Nacional Bruto per cápita de Ecuador basado en el método de paridad de poder adquisitivo recopilado del Banco Mundial (2019).

I $_{USA\,(2000)}$: Es el Ingreso Nacional Bruto per cápita de Estados Unidos basado en el método de paridad de poder adquisitivo recopilado del Banco Mundial (2019).

β: Es la elasticidad del ingreso del VVE. Se utilizaron valores de elasticidad 0,5 y 2 según el INECC (2014) citado en Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al. (2016).

Siguiendo a Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al. (2016) se calcularon dos VVE a partir de la *Ecuación 4*, con los valores de elasticidad del ingreso de 0,5 y de 2 como escenario bajo y alto respectivamente. Se calculó la media geométrica en base a ambos resultados. Y al valor resultante se lo ajustó por inflación con el incremento porcentual de los precios del año 2000 al 2018 a partir del Índice de Precios al Consumidor de USA (CPI Inflation Calculator, 2019). El resultado del VVE se muestra en la *Tabla 39*.

Tabla 39. Valor de una Vida Estadística para Ecuador (a precios de 2018)

VVE ECU (2018 USD)						
VVE $_{KOCHI\,(2000)}$	I $_{ECU\,(2000)}$	I $_{USA\,(2000)}$	β		Media geométrica	VVE ajustada por inflación (45.82%)
			VVE_1 (β = 0.5)	VVE_2 (β = 2)		
5400000,00	6896,54	45974,49	121,512.75	2091465,88	504123	735111,84

Elaboración: Rodríguez, 2019

Una vez definido el VVE para Ecuador de 735111,84 USD a precios de 2018 se procedió a calcular la valoración económica de la mortalidad evitable cuyo resultado se muestra en la *Tabla 40*.

Tabla 40. Valoración económica de la mortalidad evitable

Contaminante	Grupo de edad	Muertes evitadas	Valoración económica (VVE USD)
$PM_{2.5}$	≥ 15 años	2	1470223,67
PM_{10}	≥ 30 años	171	125704124,03
	< 1 año	14	10291565,71
O_3	≥ 30 años	3	2205335,51
		Total	139671248,93

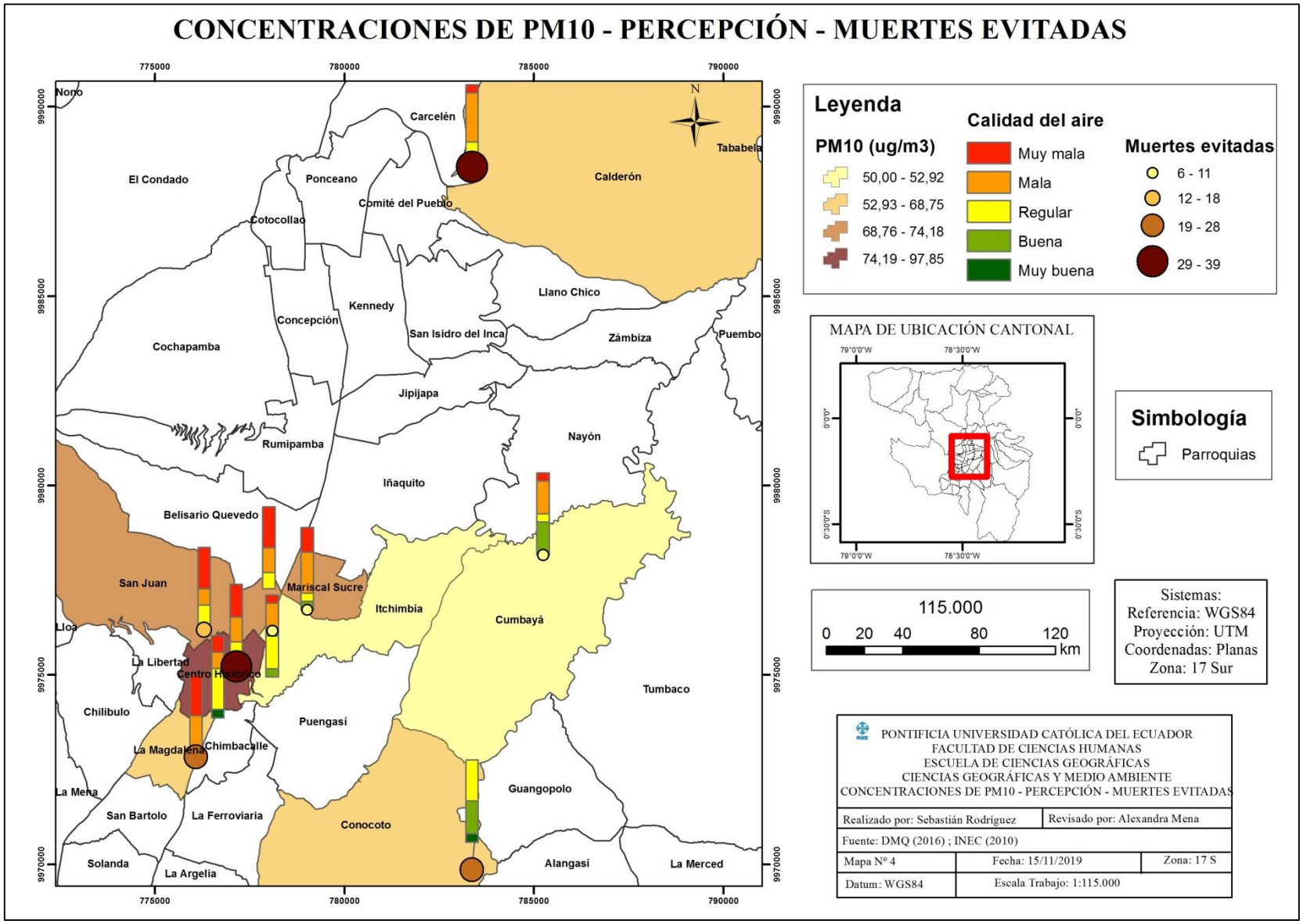
Elaboración: Rodríguez, 2019

El método de transferencia de beneficios utilizado para el cálculo de la VVE de Kochi et al. (2006) ha sido insumo valioso para diversos estudios internacionales, sin embargo, introduce un grado de incertidumbre sustancial, razón por la que hay que tomar con cautela los resultados calculados (Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, et al., 2016). A pesar de esto, es importante mencionar que sea cual sea el método de valoración económica, los beneficios de mejorar la calidad del aire en términos económicos y sociales son indudables.

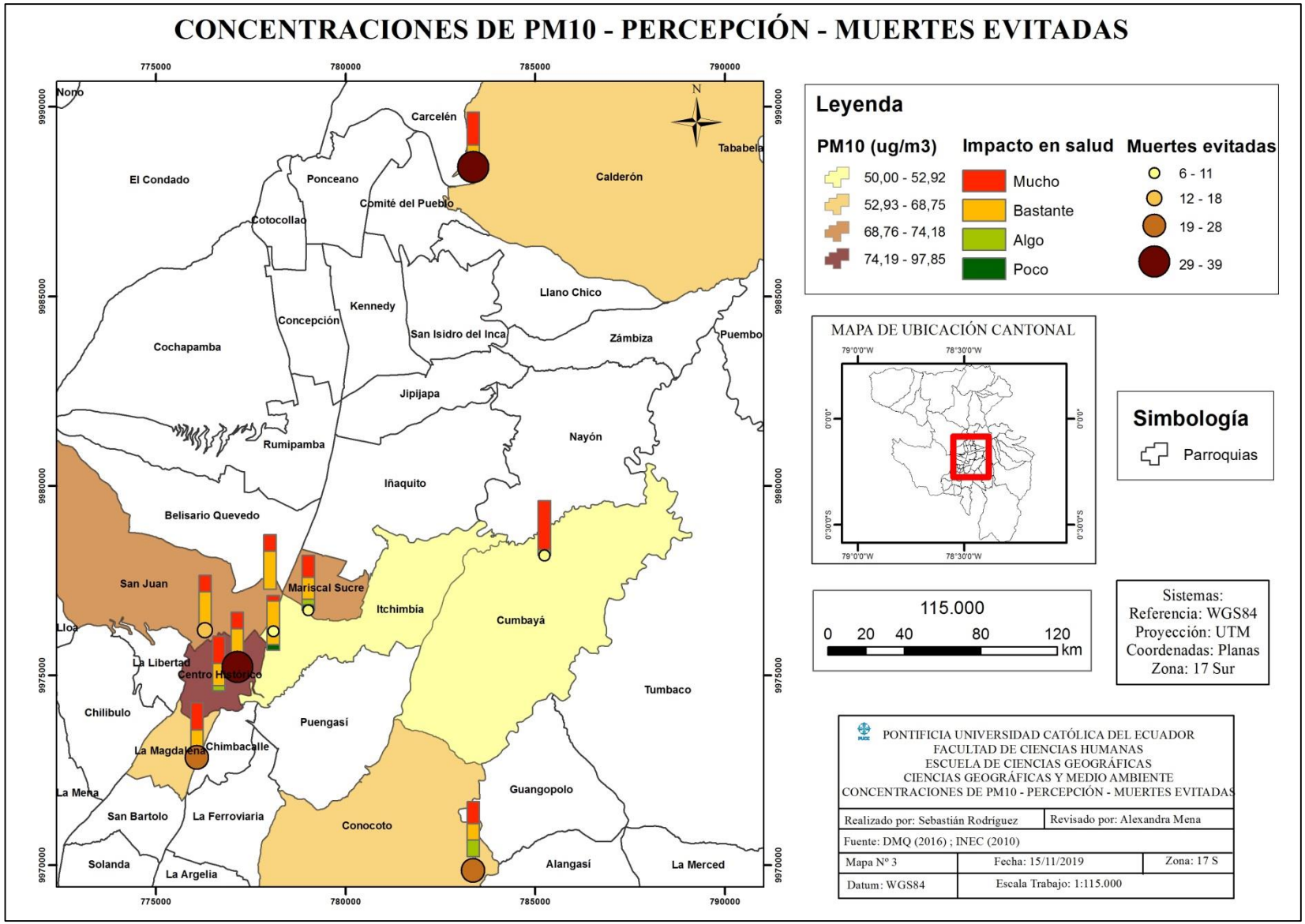
4.2 Contraste espacial entre los niveles de contaminación atmosférica, percepción y mortalidad evitable

Con el fin de contrastar los principales resultados de esta disertación se generó cartografía que permita diferenciar las variables de contaminación atmosférica, percepción poblacional y mortalidad evitable en el espacio, sin embargo, es importante precisar que la relación entre las variables es compleja y a veces no presenta coherencia entre las mismas como se evidenció anteriormente y se muestra en los siguientes mapas:

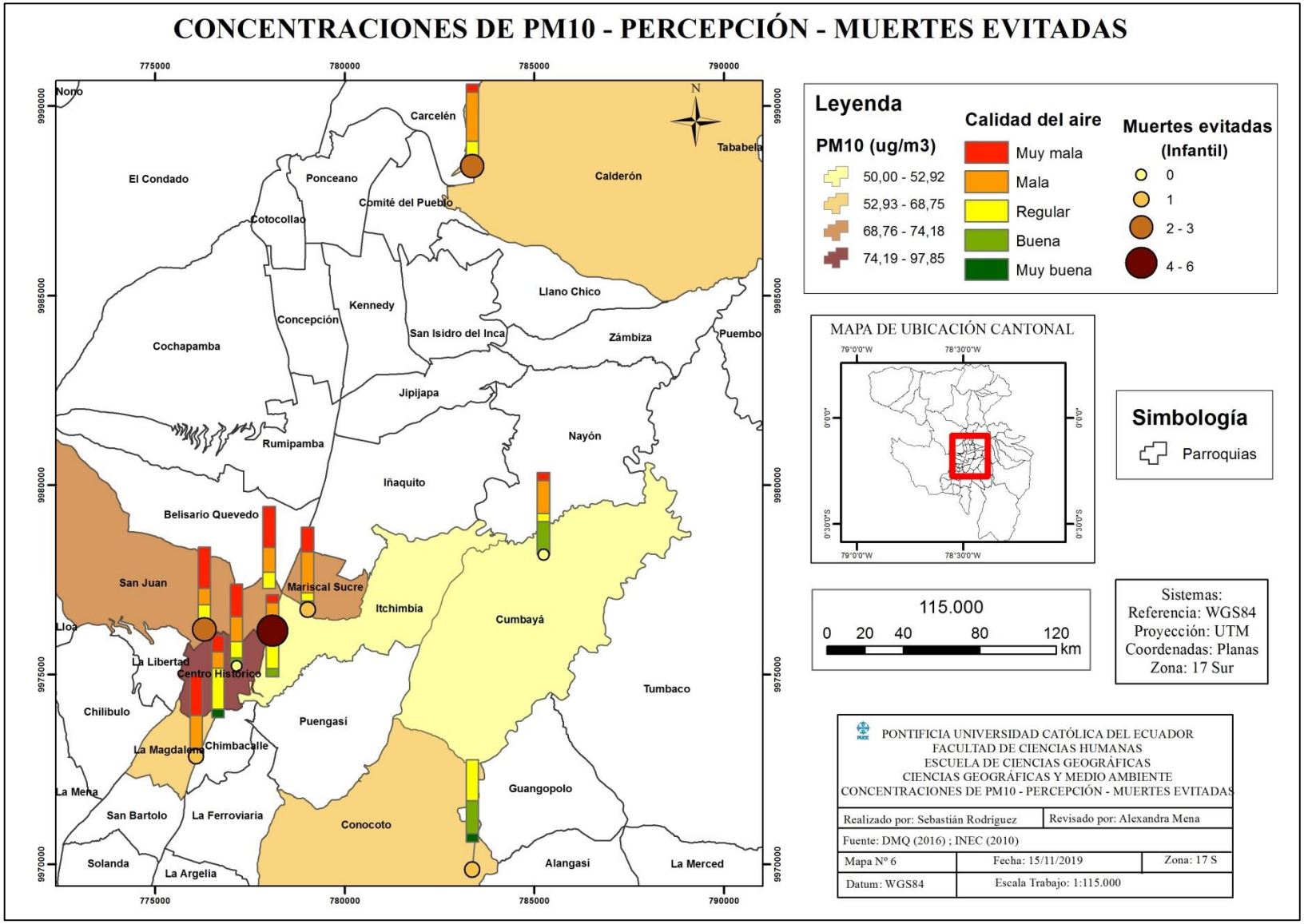
Mapa 1. Contraste espacial entre concentraciones de PM10, percepción de la calidad de aire y mortalidad evitada (≥ 30 años)



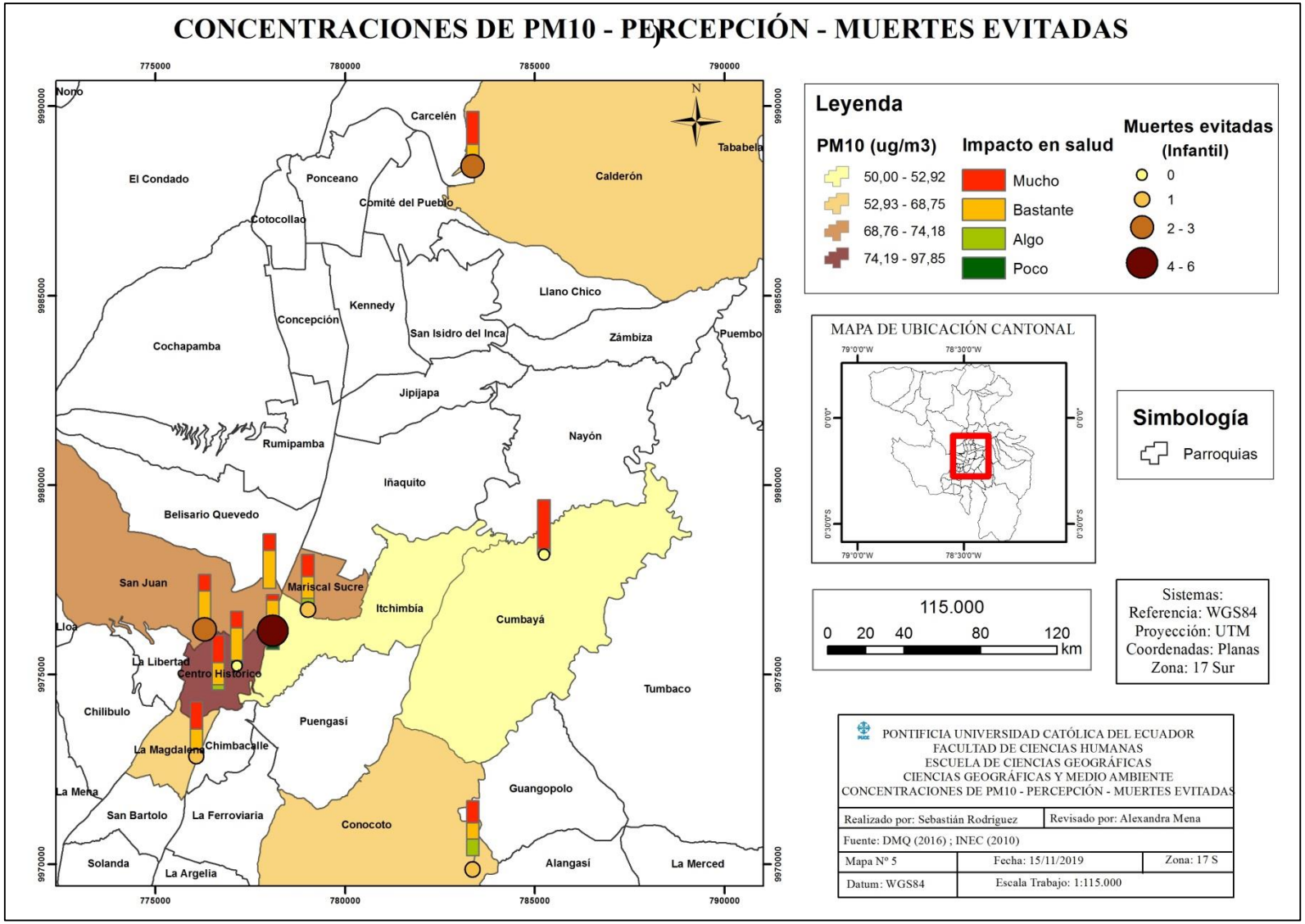
Mapa 2. Contraste espacial entre concentraciones de PM_{10}, percepción de impacto en salud y mortalidad evitada (≥ 30 años)



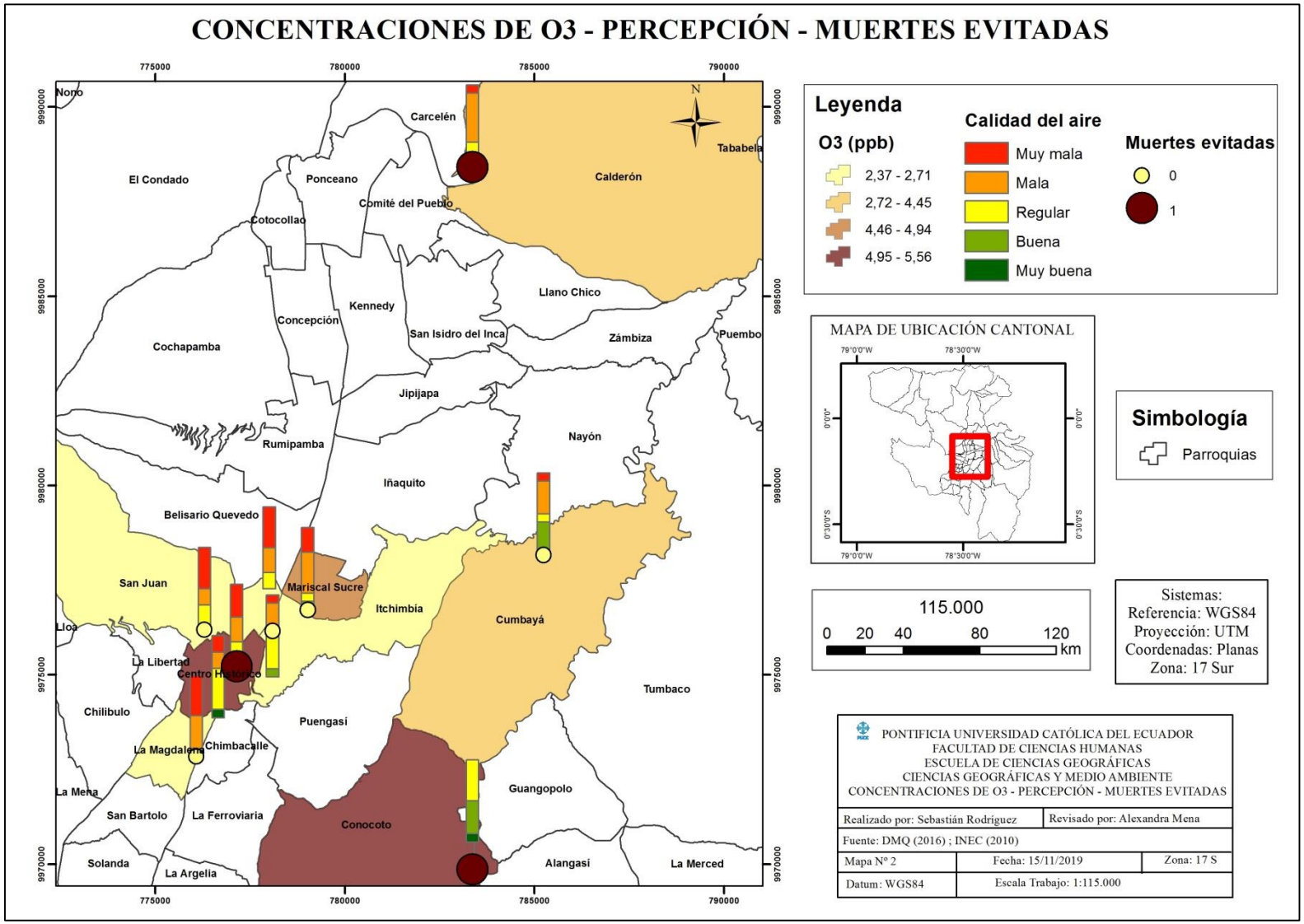
Mapa 3. Contraste espacial entre concentraciones de PM_{10}, percepción de la calidad del aire y mortalidad evitable (<1 año)



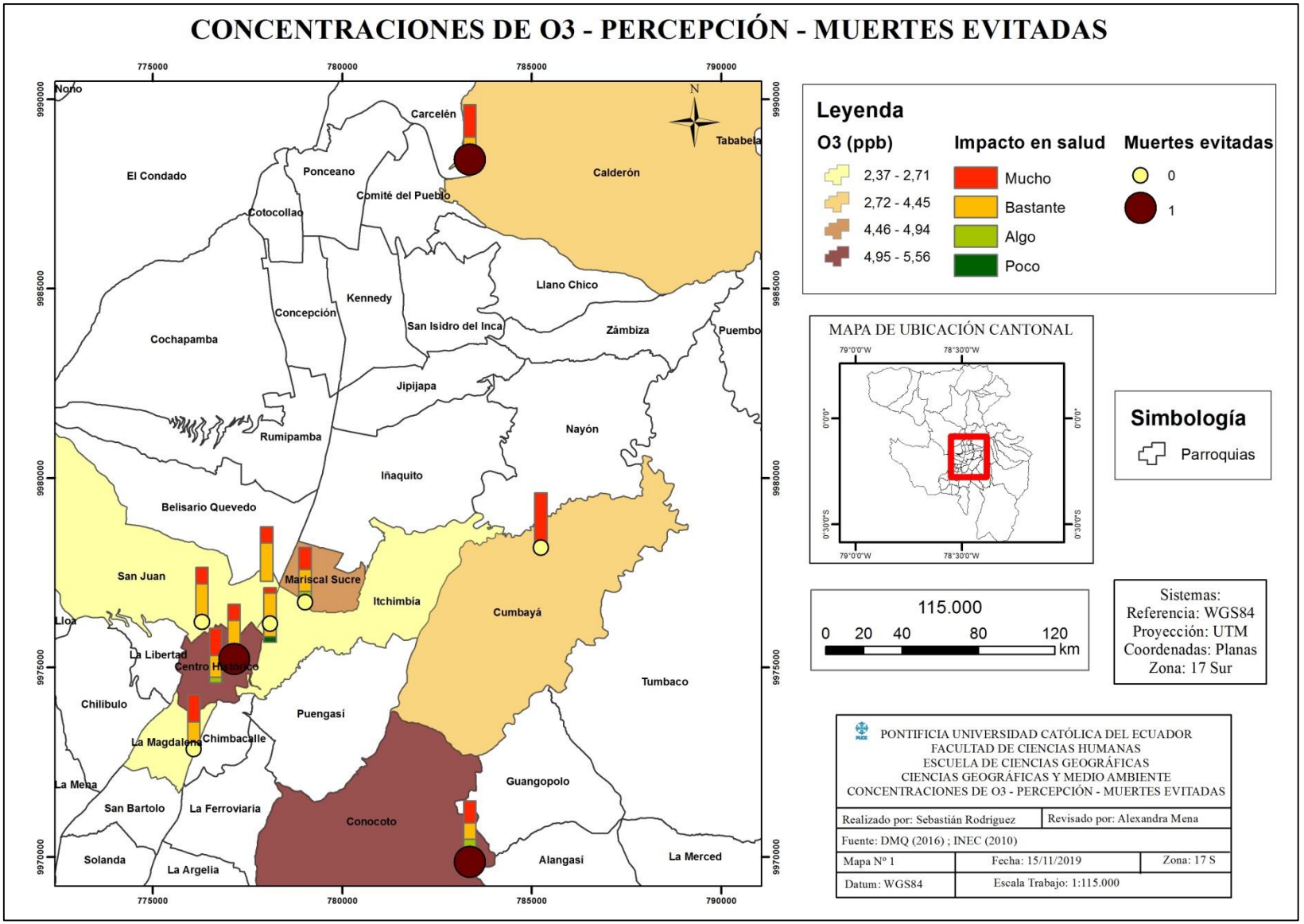
Mapa 4. Contraste espacial entre concentraciones de PM_{10}, percepción de impacto en salud y mortalidad evitable (<1 año)



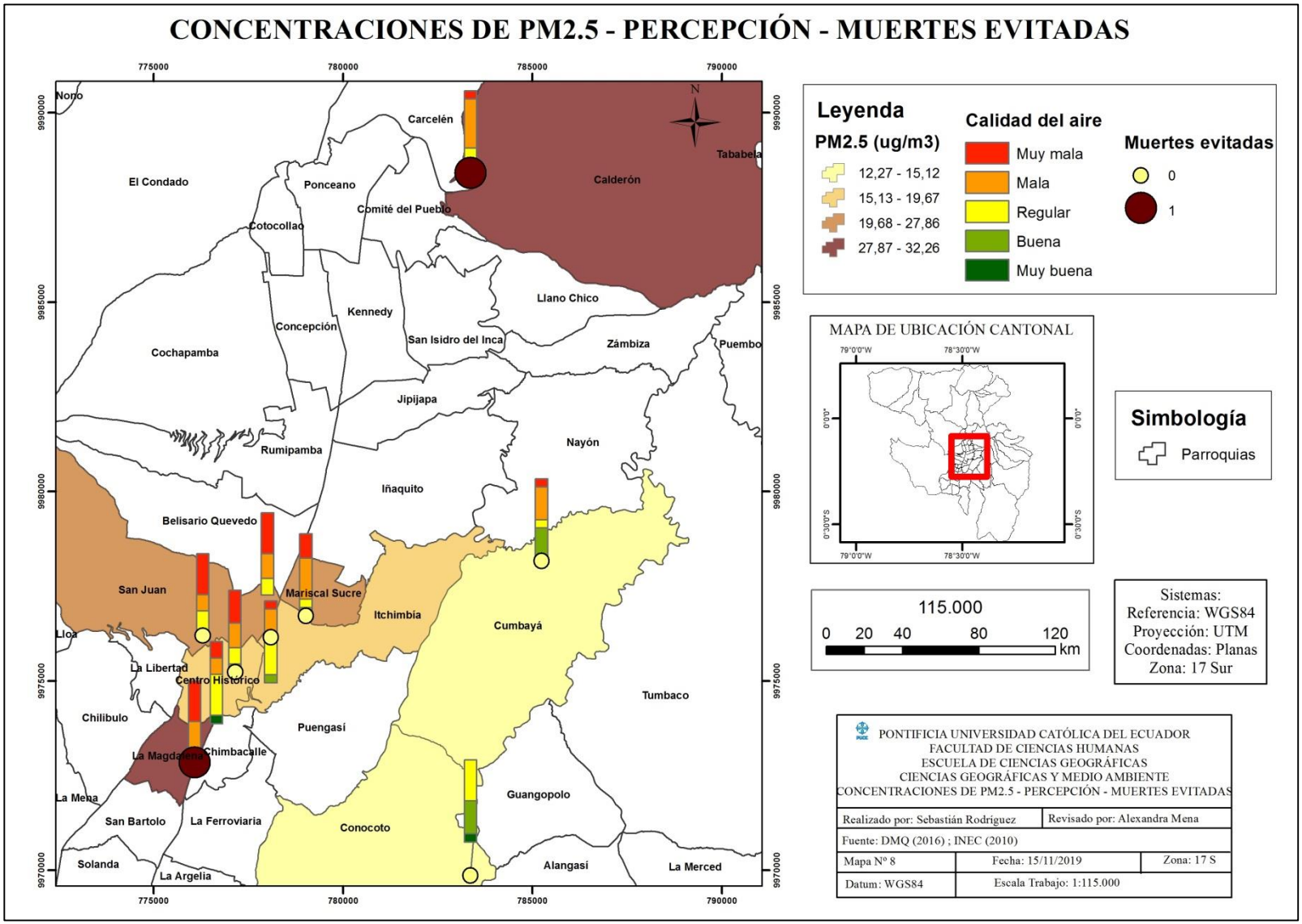
Mapa 5. Contraste espacial entre concentraciones de O_3, percepción de calidad del aire y mortalidad evitable (≥ 30 años)



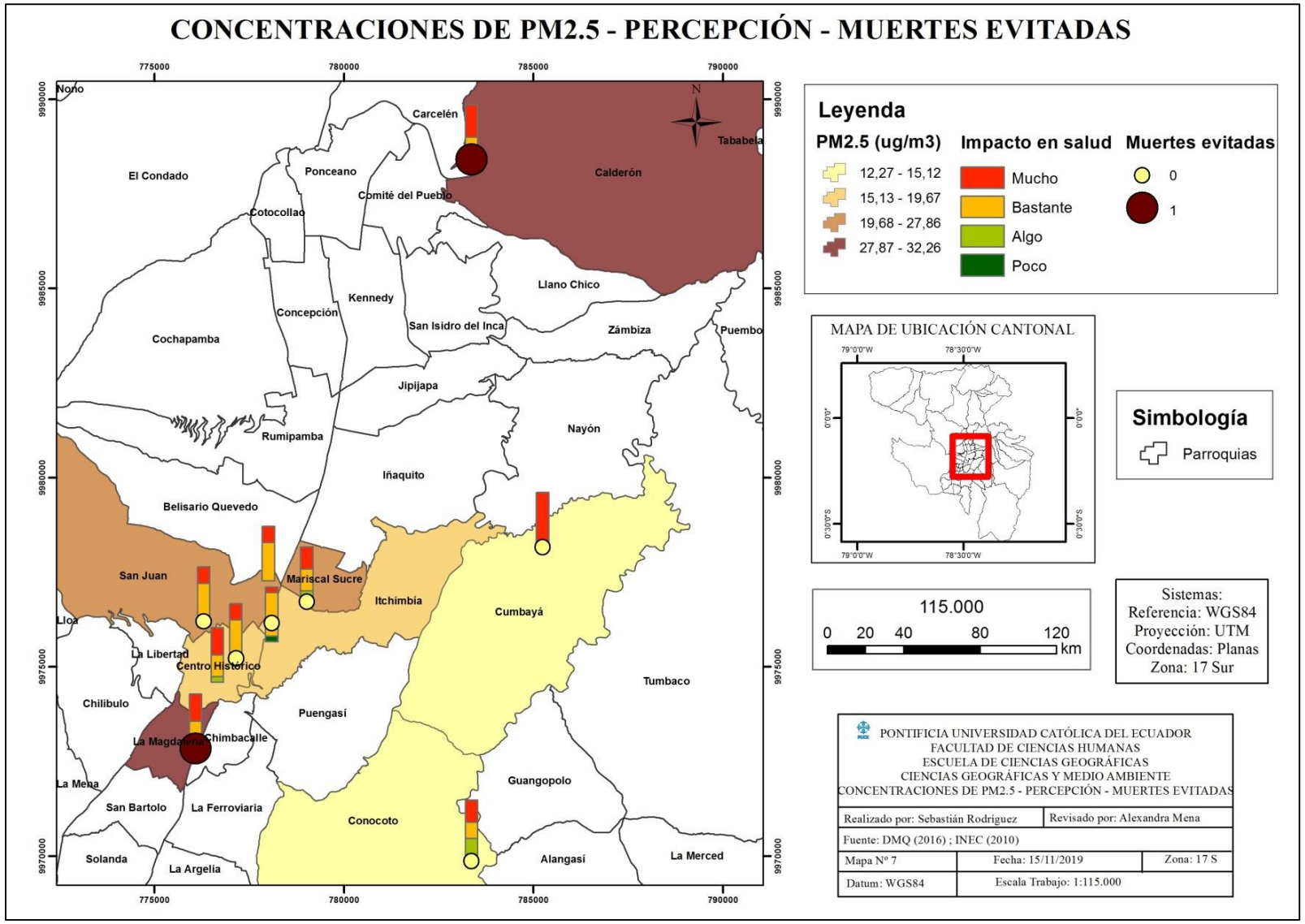
Mapa 6. Contraste espacial entre concentraciones de O_3, percepción de impacto en salud y mortalidad evitable (≥ 30 años)



Mapa 7. Contraste espacial entre concentraciones de $PM_{2.5}$, percepción de calidad del aire y mortalidad evitable (≥ 15 años)



Mapa 8. Contraste espacial entre concentraciones de $PM_{2.5}$, percepción de impacto en salud y mortalidad evitable (≥ 15 años)



CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En base al objetivo específico 1 (*Identificar la situación actual y políticas regulatorias de la calidad del aire en el DMQ*) se concluye lo siguiente:

- El DMQ se encuentra bajo constantes presiones antrópicas (cambio de uso de suelo, deforestación, acelerado crecimiento urbano, etc.) sobre los recursos naturales aire, agua y suelo que deterioran la calidad de los mismos y amenazan el bienestar de la población.
- La calidad del aire en el DMQ está sujeta a la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire donde se estipula que para los contaminantes criterio $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 los límites máximos permisibles de concentración ($\mu g/m^3$) promedio anual son de 15, 50 y 100 respectivamente. Sin embargo, debido a la documentada evidencia de impactos negativos a la salud que estos generan la WHO establece valores guía más estrictos para estos contaminantes de 10, 20 y 100 $\mu g/m^3$ respectivamente.
- Tras realizar un análisis comparativo de los 3 contaminantes atmosféricos a partir de los informes anuales de calidad del aire de la Secretaria de Ambiente del DMQ correspondientes a los años 2015, 2016 y 2017, se evidenció que en general las concentraciones de $PM_{2.5}$ sobrepasaron la norma nacional y las recomendaciones de la WHO en casi todas las estaciones de monitoreo. Para el $PM_{10,}$ solo las concentraciones registradas en el 2015 en Carapungo sobrepasaron la NECA, sin embargo, todos los valores registrados excedieron las recomendaciones de la WHO. El monitoreo del O_3 mostró que en la mayoría de estaciones, exceptuando el año 2016, se registraron valores por encima de la normativa nacional e internacional.
- Las zonas donde existe mayor tráfico vehicular generalmente presentan mayores concentraciones de contaminantes atmosféricos a filo de calle, motivo por el cual el Proyecto O13024 de la PUCE realizó mediciones de material particulado y gases en 10 zonas de alto tráfico vehicular correspondientes a 8 parroquias del DMQ (datos que fueron usados en la disertación).

En base al objetivo específico 2 (*Determinar la relación entre la contaminación atmosférica por $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 y la salud de la población de las ocho parroquias de estudio a través de un análisis de correspondencia contaminante – salud y un estudio de percepción de la población*) se tienen las siguientes conclusiones:

- La relación entre contaminación atmosférica y salud se puede representar a través de Funciones Exposición – Respuesta (FER) ya que son una métrica que buscan cuantificar los impactos a la salud que generan los contaminantes atmosféricos expresando la probabilidad de ocurrencia de un impacto en específico (aparición de enfermedades o muerte prematura) a partir del cambio en la concentración de un contaminante atmosférico. En este sentido, se recopiló de la literatura epidemiológica internacional FER para los contaminantes $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 para los grupos de edad de individuos ≥15 años, ≥30 años y <1 un año para el impacto de mortalidad general.
- El levantamiento de encuestas en los puntos de monitoreo evidenció que la percepción de la contaminación atmosférica y su influencia en la salud es: un tópico muy importante, la población tiende a calificar la calidad del aire de su entorno cotidiano como regular, mala o muy mala, reconoce una alta influencia en la salud de la mala calidad del aire distinguiendo la aparición de algunas enfermedades crónicas que se relacionan con la misma como también identifica al transporte público y vehicular como principales fuentes de contaminación del aire.
- Al analizar si los resultados de las encuestas se asocian entre sí o se asocian con las concentraciones medidas se encontró que entre mayor importancia se da al tema de calidad del aire se corresponden valoraciones de la calidad del aire negativas y una mayor cuantificación impactos a la salud, además que al correlacionar las calificaciones de la calidad del aire del entorno cotidiano con las concentraciones medidas se observó una asociación que se traduce en que a peores calificaciones de calidad del aire, mayores concentraciones de material particulado.

En base al objetivo específico 3 (*Estimar las muertes evitadas atribuidas a la reducción del nivel de concentración de los contaminantes $PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3 y el impacto económico que generan*) se concluye que:

- La Evaluación de Impactos en la Salud (EIS) es una metodología que permite cuantificar los beneficios a la salud de la población (mortalidad evitable) que implica la reducción de contaminantes atmosféricos ($PM_{2.5}$, PM_{10} y O_3). Siguiendo esta metodología, en primer lugar se estableció el impacto a la salud de mortalidad general y se seleccionó FER correspondientes a los 3 contaminantes atmosféricos. Posteriormente se evaluó la exposición de la población en función a 3 variables: número de personas expuestas a los contaminantes por parroquia de estudio, tasa de mortalidad por mortalidad general por parroquias de estudio y escenarios base y de control donde se utilizaron los datos provistos por la PUCE y se establecieron los niveles de reducción por contaminante que pueden ser producto de la implementación de Infraestructura Verde Urbana (IVU). Al integrar estos insumos se estimó la mortalidad evitable para la reducción de los tres contaminantes seleccionados, resultando que para la reducción del PM_{10} (para adultos e infantes) se pueden evitar 171 y 14 muertes respectivamente, para la reducción de $PM_{2.5}$ se evitarían 2 muertes y para la reducción del O_3 se podría evitar 3 muertes. Finalmente se asignó un valor monetario a la mortalidad mediante el cálculo del Valor de una Vida Estadística (VVE), resultando que para el Ecuador el VVE es de 735111,84 USD y que las muertes evitadas (190 en total) suponen un impacto económico de 138936137,09 USD.

5.2 Recomendaciones

- Al ser un estudio exploratorio y pionero en el contexto del DMQ es fundamental que instituciones encargadas de la gestión ambiental y de salud a escala local y nacional profundicen en este tipo de investigaciones con el fin de ser un soporte en la toma de decisiones con respecto al beneficio social y económico que supone la implementación de estrategias y medidas puntuales para la mejora de la calidad del aire.
- Al no contar con información adecuada en materia de contaminantes atmosféricos, población y salud se tomaron muchos supuestos para poder realizar esta

investigación, aumentando así la incertidumbre de los resultados, razón por la cual hay que manejarlos con cautela. En este sentido se recomienda realizar futuras EIS que utilicen información actual y en lo posible derivadas de estudios cuya población objetivo sea la misma a evaluar con la finalidad de disminuir la incertidumbre.

- Se recomienda que al realizar futuras EIS se tome en cuenta impactos a la salud en términos de morbilidad, admisiones hospitalarias, días de trabajo perdidos, días de escuela perdidos, etc. Esto con el fin de evaluar los beneficios de la reducción de contaminantes a corto y mediano plazo.

5.3 Bibliografía

Alonso Fustel, E., Martínez Rueda, T., Cambra Contín, K., Lopez Carrasco, L., Boldo Pascua, E., Zorrilla Torras, B., … Medina, S. (2005). Evaluación en cinco ciudades españoles del impacto en salud de la contaminación atmosférica por partículas. Proyecto europeo APHEIS. *Revista Española de Salud Pública*, *79*(2), 297–308. Recuperado de https://www.scielosp.org/pdf/resp/2005.v79n2/297-308/es

Álvarez Alva, R., & Kuri-Morales, P. (2018). *Salud Pública y Medicina Preventiva*. (J. Morales & V. Torres, Eds.) (5ª ed.). Ciudad de México: Manual Moderno. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=yLJZDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=salud+pública+y+medicina&ots=1lr053A9Qk&sig=ieG8fGDSlh6BoJ0eDUAfcKV0nW0#v=onepage&q=salud pública y medicina&f=false

Aránguez, E., Ordóñez, J., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, *73*(2), 123–132. Recuperado de https://www.scielosp.org/pdf/resp/1999.v73n2/123-132/es

Armijos, R. X., Weigel, M. M., Myers, O. B., Li, W.-W., Racines, M., & Berwick, M. (2015). Residential Exposure to Urban Traffic Is Associated with Increased Carotid Intima-Media Thickness in Children. *Journal of Environmental and Public Health*, *2015*, 1–11. https://doi.org/10.1155/2015/713540

Arthur, W. . (1981). The Economics of Risks to Life. *The American Economic Review*, *71*(1), 54–64. Recuperado de https://www.jstor.org/stable/1805039?seq=1#page_scan_tab_contents

Baca, J. C. (2014). *Actualización de la Huella Ecológica del Distrito Metropolitano de Quito*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/91-cambio-climatico/proyectos-cambio-climatico/reduccion-y-compensacion-de-la-huella-de-carbono-en-el-dmq#huella-ecológica

Bacigalupe, A., Esnaola, S., Calderón, C., Zuazagoitia, J., & Aldasoro, E. (2009). La evaluación del impacto sobre la salud: una herramienta para incorporar la salud en las intervenciones no sanitarias. *Gaceta Sanitaria*, *23*(1), 62–66. https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2008.02.004

Ballester Diéz, F., Tenías, J. M., & Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: Una introducción. *Revista Española de Salud Pública*, *73*(2), 109–121. Recuperado de https://www.scielosp.org/pdf/resp/1999.v73n2/109-121/es

Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. *Revista Española de Salud Pública*, *79*(2), 159–175. Recuperado de https://www.scielosp.org/pdf/resp/2005.v79n2/159-175/es

Banco Mundial. (2019). INB per cápita, PPA (dólares internacionales constantes de 2011). Recuperado 7 de noviembre de 2019, de https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GNP.PCAP.PP.CD?locations=EC-MX-US

Biblioteca Nacional de Agricultura (BNA). (2002). *Tesauro y Glosario Agrícola* (2018ª ed.). Baltimore: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Recuperado de https://agclass.nal.usda.gov/about_es.shtml

Bonita, R., Beaglehole, R., & Kjellström, T. (2008). *Epidemiología básica* (2ª ed.). Washington, D.C: Organización Panamericana de la Salud. Recuperado de http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/3311/Epidemiología basica.pdf?sequence=1.

Castillo, J. . (2010). *Estimación de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia*. Universidad de los Andes. Recuperado de http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-

busqueda/estimacion-de-los-beneficios-en-salud-asociados-a-la-reduccion-de-la-contaminacion-atmosferica-en-bogota-colombia

Catalán Vázquez, M. (2006). Estudio de la percepción pública de la contaminación del aire y sus riesgos para la salud: perspectivas teóricas y metodológicas. *Revista Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias de México*, *19*(1), 28–37. Recuperado de https://www.medigraphic.com/pdfs/iner/in-2006/in061d.pdf

Centro de Estudios Ambientales. (2014). *La Infraestructura Verde Urbana de Vitoria-Gasteiz*. Vitoria-Gasteiz. Recuperado de https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/eu/32/95/53295.pdf

CEPAL. (2014). *Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe*. (CEPAL, Ed.) (1ª ed.). Santiago: Naciones Unidas. Recuperado de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37647/S1420569_mu.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chuquer Solá, D., Ampudia Vásquez, S., Puertas de La Cruz, C., Bustamante Granda, L., Reina Velasco, C., & Ramírez Cevallos, F. (2018). Contaminación del aire a filo de calle en Quito, Caso de estudio Guayaquil y Espejo. *Perfiles*, *2*(20). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/329761202_CONTAMINACION_DEL_AIRE_A_FILO_DE_CALLE_EN_QUITO_CASO_ESTUDIO_GUAYAQUIL_Y_ESPEJO

Coral, K., Villalba, F., & Echeverría, H. (2010). *Plan Nacional de Caludad del Aire* (1ª ed.). Quito: Ministerio del Ambiente (MAE). Recuperado de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf

CPI Inflation Calculator. (2019). Inflation Calculator. Recuperado 7 de noviembre de 2019, de http://www.in2013dollars.com/2000-dollars-in-2018?amount=633104

Downs, R. M., & Stea, D. (2011). Cognitive Maps and Spatial Behaviour: Process and Products. En *The Map Reader* (pp. 312–317). Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9780470979587.ch41

Echániz Pellicer, G., Garibay Bravo, V., & Rojas Bracho, L. (2011). *Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminacion atmosférica*. (A. M. Sanchéz Mora, Ed.) (1ª ed.). Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología - Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de

http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/publicaciones/220/682_2011_Guia_evaluar_impactos_en_salud.pdf?sequence=1&isAllowed=y

EPA. (2008). *Environmental Benefits Mapping and Analysis Program –Community Edition : User's Manual*. Research Triangle Park, NC 27711: Environmental Protection Agency. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/benmap-ce_user_manual_march_2015.pdf

Estébanez Alvarez, J. (1979). Consideraciones sobre la Geografía de la Percepción. *Dialnet*, *37*(3), 5–22. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1381107

Estrella, R., Estrella, B., Narváez, X., Reyes, M. T., Gutiérrez, M., & Oviedo, J. (2000). Contaminación ambiental y enfermedades respiratorias en escolares de Quito. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Central del Ecuador (Quito)*, *25*(2). Recuperado de http://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/CIENCIAS_MEDICAS/search/authors/view?firstName=Bertha&middleName=&lastName=Estrella C&affiliation=Fundación Natura%2C Quito-Ecuador&country=EC

Goel, A., & Kumar, P. (2014). A review of fundamental drivers governing the emissions, dispersion and exposure to vehicle-emitted nanoparticles at signalised traffic intersections. *Atmospheric Environment*, *97*, 316–331. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.037

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. (M. Rocha Martínez, Ed.) (5ª ed.). Ciudad de México: McGraw- Hill / Interamericana Editores, S.A. Recuperado de http://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia de la investigación 5ta Edición.pdf

Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J. D. (2013). Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. *Environmental Health*, *12*(1), 43. https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43

Ibarluzea, J., Santa Marina, L., & Basterrechea, M. (2014). Epidemiología ambiental: ámbitos y retos. *Revista Salud Ambiental*, *14*(1), 69–70. Recuperado de http://www.ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/viewFile/643/535

INECC. (2014). *Valoración económica de los beneficios a la salud de la población que se alcanzarían porla reducción de las PM2.5en tres zonas metropolitanas mexicanas*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195224/2014_CGCSA_Beneficos_econ_micos_al_reducir_PM2.5.pdf

Iñiguez Rojas, L. (1998). Geografía y salud: temas y perspectivas. *Cadernos de Saúde Pública*, *14*(4), 701–711. Recuperado de https://www.scielosp.org/pdf/csp/1998.v14n4/701-711/es

INRIX. (2018). Global Traffic Scorecard. Recuperado 12 de agosto de 2019, de http://inrix.com/scorecard/

Instituto de la Ciudad. (2012). *Información Estadística por Parroquia (Censo Población y Vivienda 2010)*. Quito. Recuperado de http://institutodelaciudad.com.ec/19-publicaciones/49-informacion-estadistica-parroquia.html

Jayasooriya, V. M., Ng, A. W. ., Muthukumaran, S., & Perera, B. J. C. (2017). Green infrastructure practices for improvement of urban air quality. *Urban Forestry & Urban Greening*, *21*, 34–47. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.007

Jiménez Benítez, M., Ferrer Botero, A., Chaves Castaño, L., Navarro Carrascal, O. E., Marín Fuentes, J. G., Cárdenas Herrera, J., & Rodríguez Velásquez, S. C. (2016). Análisis preliminar de un cuestionario de evaluación de la percepción social de la contaminación atmosférica. *Revista de Salud Pública*, *17*(5), 713–727. https://doi.org/10.15446/rsap.v17n5.38474

Kochi, I., Hubbell, B., & Kramer, R. (2006). An Empirical Bayes Approach to Combining and Comparing Estimates of the Value of a Statistical Life for Environmental Policy Analysis. *Environmental & Resource Economics*, *34*(3), 385–406. https://doi.org/10.1007/s10640-006-9000-8

Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., … Sommer, H. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet*, *356*(9232), 795–801. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02653-2

Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2012). *Estadística aplicada a los Negocios y*

la Economía (15ª ed.). México, D.F.: McGraw- Hill / Interamericana Editores, S.A. Recuperado de https://cape.fcfm.buap.mx/jdzf/cursos/est1/libros/book1e1.pdf

MAE. (2011). *Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf

MAE. (2015). *Acuerdo Ministerial 097-A*. Quito. Recuperado de http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO OFICIAL 387 - AM 140.pdf

Martínez Vásquez, S. (2008). *Externalidades Ambientales Asociadas a la Contaminación del Aire*. Universitat Autònoma de Barcelona. Recuperado de http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2011/smv/cuantificacion.html

MDMQ. (2015). *Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2025*. Quito. Recuperado de http://www.emseguridad-q.gob.ec/mtdocuments/liteS_ord041_plan2015-2025.pdf

Millán Escriche, M. (2004). La geografía de la percepción: una metodología de análisis para el desarrollo rural. *Papeles de Geografía*, *40*, 133–149. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40704008

Molina Esquivel, E., & Meneses Ruiz, E. (2003). Evaluación epidemiológica del impacto de los contaminantes del aire. Propuesta metodológica. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, *41*(2–3). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032003000200002

Molina, L. T., & Molina, M. J. (2002). *Air Quality in the Mexico Megacity*. (L. T. Molina & M. J. Molina, Eds.) (Vol. 2). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0454-1

Moscoso Estrella, A., Carvajal Ledesma, F., Erazo Peñaherrera, M., Martínez Núñez, M., Tapia Ortega, P., & Torres López, S. (2014). *Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional, Exploración inicial 2008-2012*. (M. de los A. Barrionuevo & S. Torres López, Eds.) (1ª ed.). Quito: Ministerio del Ambiente (MAE). Recuperado de http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/242984/6.+Cuenta+de+Emisiones+al+Aire.pdf/9ffc6202-2c7d-4bef-b3be-

8133da96dd78;jsessionid=jU9Ghv8Y0GT0T2ULFgE6TQTh?version=1.0

MSP. (2016). Información estadística y geográfica de salud. Recuperado 25 de octubre de 2019, de https://public.tableau.com/profile/darwin5248#!/vizhome/defunciones2016/Historia1?publish=yes,

Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Hoehn, R. (2013). Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*, *178*, 395–402. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.050

OECD. (2011). *Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications*. Paris: OECD. Recuperado de https://www.oecd.org/env/tools-evaluation/48279549.pdf

ONU. (2013). *World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables* (ESA/P/WP.228). New York. Recuperado de https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/Files/WPP2012_HIGHLIGHTS.pdf

OPS. (2002). *La Salud Pública en las Américas. Nuevos Conceptos, Análisis del Desempeño y Bases para la Acción*. Washington, D.C. Recuperado de http://www1.paho.org/hq/dmdocuments/2010/FESP_Salud_Publica_en_las_Americas.pdf

Oviedo Carrillo, J. (2015). *Actualización del Plan de Manejo de la Calidad del Aire 2005 - 2010*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/plan-ambiental-distrital

Paez, C. (2012). *Gestión de la contaminación atmosférica urbana: El caso de Quito*. Facultad Lationamericana de Ciencias Sociales. Recuperado de https://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf

Peña, J., Perdomo, L. M., & Cuartas, D. E. (2016). GEOGRAFÍA Y SALUD, UNA VISIÓN DE PASADO Y PRESENTE. *Entorno Geográfico*, (9). https://doi.org/10.25100/eg.v0i9.3639

Pugh, T. A. M., MacKenzie, A. R., Whyatt, J. D., & Hewitt, C. N. (2012). Effectiveness of

Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environmental Science & Technology*, *46*(14), 7692–7699. https://doi.org/10.1021/es300826w

Ramírez, M. L. (2004). La moderna Geografía de la Salud y las Tecnologías de la Información Geográfica. *Revista de Invesigaciones y Ensayos Geográficos*, (4), 53–64. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/266218967_LA_MODERNA_GEOGRAFIA_DE_LA_SALUD_Y_LAS_TECNOLOGIAS_DE_LA_INFORMACION_GEOGRAFICA

Raysoni, A., Armijos, R., Weigel, M., Echanique, P., Racines, M., Pingitore, N., & Li, W.-W. (2017). Evaluation of Sources and Patterns of Elemental Composition of PM2.5 at Three Low-Income Neighborhood Schools and Residences in Quito, Ecuador. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(7), 674. https://doi.org/10.3390/ijerph14070674

Raysoni, A. U., Armijos, R. X., Weigel, M. M., Montoya, T., Eschanique, P., Racines, M., & Li, W.-W. (2016). Assessment of indoor and outdoor PM species at schools and residences in a high-altitude Ecuadorian urban center. *Environmental Pollution*, *214*, 668–679. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.085

Riojas Rodríguez, H., Soares da Silva, A., Texcalac Sangrador, J., & Moreno Banda, G. (2016). Air pollution management and control in Latin America and the Caribbean: implicationes for climate change. *Revista Panamericana de Salud Pública*, *40*(3), 150–159. Recuperado de http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/31229/v40n3a2_150-59.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Riojas Rodríguez, H., Texcalac Sangrador, J., Martínez Suárez, C., Cervantes Martínez, K., Hurtado Díaz, M., Guerrero López, C., … Zuñiga, P. (2016). *Estimación de impactos en la salud por contaminacion atmosférica en la región centro del país y alternativas de gestión*. Ciudad de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/196765/Estimacion_de_impactos_2016.pdf

Sánchez, J., Valdés, S., & Ostro, B. (1998). Los efectso en salud de la contaminacion

atmosférica por PM10 en Santiago. *Estudios Públicos*, *69*(2), 125–154. Recuperado de https://www.cepchile.cl/cep/site/artic/20160303/asocfile/20160303184533/rev69_sanchez.pdf

Santana, P. (2014). *Introducción a la Geografía de la salud: territorio, salud y bienestar*. (M. Santana, Ed.) (1ª ed.). Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Paula_Santana3/publication/273772708_Introduccion_a_la_Geografia_de_la_Salud_Territorio_Salud_Y_Bienestar/links/5549f42e0cf26eacd69225cd/Introduccion-a-la-Geografia-de-la-Salud-Territorio-Salud-Y-Bienestar.pdf

Secretaría de Ambiente. (2012). *Informes de Calidad de Aire 2012*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#informe-calidad-del-aire-2012

Secretaría de Ambiente. (2015a). *Informe de Calidad de Aire 2014*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#informe-calidad-del-aire-2014

Secretaría de Ambiente. (2015b). *Plan Ambiental Distrital 2015-2025*. (P. Espinosa, R. Ayala, D. Armas, & A. Robayo, Eds.) (1ª ed.). Quito: Secretaría de Ambiente - MDMQ. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/plan-ambiental-distrital

Secretaría de Ambiente. (2015c). *Sistema de Indicadores Distritales*. Quito. Recuperado de http://sid.quito.gob.ec/SitePages/SID.aspx

Secretaría de Ambiente. (2016). *Informe de Calidad de Aire 2015*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#informe-calidad-del-aire-2015

Secretaría de Ambiente. (2017). *Informe de Calidad de Aire 2016*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#informe-calidad-del-aire-2016

Secretaría de Ambiente. (2018). *Informe de Calidad de Aire 2017*. Quito. Recuperado de http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#informe-calidad-del-aire-2017

Tallis, M. J., Amorim, J. H., Calfapietra, C., Freer-Smith, P., Grimmond, S., & Kotthaus, S. (2015). The impacts of green infrastructure on air quality and temperature. En D. Sinnett, N. Smith, & S. Burgess (Eds.), *Handbook on Green Infrastructure* (pp. 30–49). Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781783474004.00008

Turner, M. C., Jerrett, M., Pope, C. A., Krewski, D., Gapstur, S. M., Diver, W. R., … Burnett, R. T. (2016). Long-Term Ozone Exposure and Mortality in a Large Prospective Study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, *193*(10), 1134–1142. https://doi.org/10.1164/rccm.201508-1633OC

Tyler, N., Ramírez, C., & Ortegón, A. (2013). *Marco teórico de la contaminación atmosférica en Colombia*. Bogotá. Recuperado de https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads/Caracterización-de-la-contaminación-atmosférica-en-Colombia1.pdf

Vargas, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*, *79*(2), 117–127. Recuperado de https://www.scielosp.org/pdf/resp/2005.v79n2/117-127/es

Vega, D., & Parra Narváez, R. (2014). Caracterización de la intensidad media diaria y de los perfiles horarios del tráfico vehicular del Distrito Metropolitano de Quito. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, *6*(2). https://doi.org/10.18272/aci.v6i2.186

Vergara Duarte, M., Benach, J., Martínez, J. M., Buxó Pujolràs, M., & Yasui, Y. (2009). La mortalidad evitable y no evitable: distribución geográfica en áreas pequeñas de España (1990–2001). *Gaceta Sanitaria*, *23*(1), 16–22. https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2007.10.002

WHO. (2000). *Quantification of health effects ofexposure to air pollution*. Bilthoven, Netherlands. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108463/E74256.pdf?sequence=1&isAllowed=y

WHO. (2006a). *Air Quiality Guidelines. Global Update 2005* (1ª ed.). Copenhagen: World Health Organization. Recuperado de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1

WHO. (2006b). *Guía de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005*.

Geneva. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?sequence=1

WHO. (2014). *Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012*. Geneva. Recuperado de https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf?ua=1

WHO. (2016a). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. (Inis Communication, Ed.) (1ª ed.). Geneva: World Health Organization. Recuperado de https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1

WHO. (2016b). *Health risk assessment of air pollution. General principles*. (P. Butler, Ed.) (1ª ed.). Copenhagen: World Health Organization. Recuperado de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf?ua=1

WHO. (2018). WHO releases country estimates on air pollution exposure and health impact. Recuperado 23 de febrero de 2019, de https://www.who.int/news-room/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact

WHO, & OECD. (2015). *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe. Recuperado de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/276772/Economic-cost-health-impact-air-pollution-en.pdf

Woodruff, T. J., Grillo, J., & Schoendorf, K. C. (1997). The relationship between selected causes of postneonatal infant mortality and particulate air pollution in the United States. *Environmental Health Perspectives*, *105*(6), 608–612. https://doi.org/10.1289/ehp.97105608

Yago, F. J. (2012). La Geografía de la Percepción: Una metodología válida aplicada al caso de una ciudad de tipo medio-pequeño. El ejemplo de Yecla (Murcia). *Papeles de Geografía*, (55–56), 137–152. Recuperado de https://revistas.um.es/geografia/article/view/176261/148741

Yang, J., McBride, J., Zhou, J., & Sun, Z. (2005). The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban Greening*, *3*(2), 65–78. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2004.09.001

5.4 Anexos

5.4.1 Anexo 1. Encuesta de percepción de contaminación atmosférica

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

ENCUESTA DE PERCEPCIÓN DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Solicitamos su valiosa colaboración para el desarrollo de esta encuesta que es anónima y voluntaria. Dentro del proyecto de investigación llamado "Percepción de los efectos en salud asociados a la contaminación atmosférica y estimación de la mortalidad evitable que implica su reducción en el DMQ" se busca estimar la percepción de la población con respecto a la contaminación atmosférica y su impacto en la salud humana.

I Información General . **Coordenadas:**

X: Y: Lugar: U Católica

1. Edad: 54
2. Sexo: M
3. Ocupación: Seguridad
4. Nivel de Estudio: Bachiller
5. Barrio/parroquia donde trabaja: Mariscal
6. Barrio/parroquia donde vive: La Mena (Panoramica)
7. Tiempo en el que vive en el barrio: 28 años

II Percepción

8. ¿Qué nivel de importancia tiene el tema de la contaminación del aire para usted?
   - No tiene ( )
   - Leve ( )
   - Moderada ( )
   - Importante ( )
   - Muy importante (X)
9. ¿Cómo calificaría la calidad del aire donde vive/trabaja?
   - Muy mala (X)
   - Mala ( )
   - Regular ( )
   - Buena ( )
   - Muy buena ( )
10. ¿Cree que la mala calidad del aire puede afectar su salud?
    - Si (X)
    - No ( )
11. ¿Cuánto cree afectar la mala calidad de aire a su salud?
    - Nada ( )
    - Poco ( )
    - Algo ( )
    - Bastante (X)
    - Mucho ( )
12. ¿Ha tenido usted o algún familiar dentro de la misma residencia alguna afección a la salud que se relacione con la mala calidad del aire?
    - Si (X)
    - No ( )

    ¿Cuál? .....
13. ¿Alguna de estas enfermedades las sufre o sufrió usted o algún familiar que vive dentro de la misma residencia? (Marque una o varias)
    - Cáncer de pulmón ( )
    - ASMA ( )

- Rinitis alérgica ( )
- Derrame o infarto cerebral ( )
- Neumonía ( )
- Otras relacionadas:

¿Cuál? .....

- No sabe (X)

14. ¿Cuáles son para usted las principales fuentes de contaminación? (Marque una o varias)

- Transporte pesado (X)
- Automóviles (X)
- Transporte público (X)
- Industrias (X)
- Maquinaria vial/construcción (X)
- Basurales a cielo abierto (X)
- Quema de residuos (X)
- Talleres artesanales, carpinterías, mecánicas, ebanisterías, etc. (X)
- Otro ( )

¿Cuál? .....

15. ¿Reconoce alguno de los siguientes contaminantes? (Marque una o varias)

- COV (Compuestos orgánicos volátiles) (X)
- CO-CO2 (Monóxido - Dióxido de carbono) (X)
- 03 (Ozono) (X)
- PM10 - 2,5 (Material particulado) (X)

- NO2 (Dióxido de nitrógeno) ( )
- SO2 (Dióxido de azufre) ( )
- Ninguno de los anteriores ( )

16. ¿Reconoce alguna medida tomada por el MDMQ para ayudar a preservar la calidad del aire?

- Si (X)
- No ( )

¿Cuál? Cero aire

17. ¿Conoce alguna o algunas de las siguientes acciones del MDMQ para ayudar a preservar la calidad del aire? (Marque una o varias)

- Ecovía ( )
- Mejoras del transporte público (X)
- Controles a fuentes móviles (X)
- Incentivo al uso de energías alternativas ( )
- Infraestructura verde ( )
- Concientización ciudadana ( )
- Uso de bicicletas (Ciclovías) (X)
- Ninguna de las anteriores ( )
- Otra ( )

¿Cuál? .....

5.4.2 Anexo 2. Registro fotográfico

	
Aplicación de encuestas en la Administración Zonal Calderón	Aplicación de encuestas en el sector cercano a la Unidad Educativa San Luis Gonzaga
	
Aplicación de encuestas en el sector cercano al Teatro Capitol	Aplicación de encuestas en el sector cercano a la Clínica del Sur