



**Análisis del impacto de la circulación vehicular de la zona norte de Ocaña, Colombia, sobre la concentración de PM10 y la salud respiratoria de sus habitantes**

Ing. Alexander Armesto Arenas, M.Sc.

Tesis de maestría presentada para optar al título de Magíster en Gestión Ambiental

Director

Ing. Julio Eduardo Cañón Barriga, M.Sc., Ph.D.

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Gestión Ambiental  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022

<b>Cita</b>	(Armesto Arenas. A & Cañón Barriga, J. E. 2022)
<b>Referencia</b>	Armesto Arenas. A & Cañón Barriga, J. E. (2022). <i>Análisis del impacto de la circulación vehicular de la zona norte de Ocaña, Colombia, sobre la concentración de pm10 y la salud respiratoria de sus habitantes</i> [Tesis de maestría]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Maestría en Gestión Ambiental, Cohorte IV.

Grupo de Investigación Gestión y Modelación Ambiental (GAIA).

Centro de Investigación Ambientales y de Ingeniería (CIA).



Elija un elemento.

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas.

**Jefe departamento:** Sara Vieira Agudelo.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	7
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1.1 Objetivos específicos .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Estructura del documento de investigación .....</b>	<b>11</b>
<b>2 Valoración de las causas de la contaminación atmosférica por material particulado en la ciudad de Ocaña .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Metodología .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1 Área de estudio .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2.2 Selección de factores que influyen en la contaminación del aire.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Resultados .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Discusión .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5 Conclusiones .....</b>	<b>25</b>
<b>3 Análisis horario de la concentración de PM2.5 y su relación con el flujo vehicular y las condiciones meteorológicas de la zona norte de Ocaña .....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Introducción.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Metodología .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.1 Perfil de la vía de la Zona de estudio .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.2 Modelo de emisiones.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3 Modelo de dispersión .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3 Resultados .....</b>	<b>33</b>
<b>3.4 Discusión .....</b>	<b>39</b>
<b>3.5 Conclusiones .....</b>	<b>42</b>
<b>4 Incidencia del PM10 y factores meteorológicos sobre la ocurrencia de infecciones respiratorias agudas de la zona norte de Ocaña.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Introducción.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 Metodología .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.1 Población y muestra .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2.2 Modelos estadísticos .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Resultados .....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 Discusión .....</b>	<b>54</b>

<b>4.5</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>59</b>
<b>5</b>	<b>Conclusiones generales .....</b>	<b>61</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>90</b>

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 1.1 Ubicación geográfica de la zona norte de Ocaña. Colombia.....	8
Figura 2.1. Mapa de la ciudad de Ocaña, Colombia.....	14
Figura 2.2. Diagrama de causa-efecto y árbol de problemas.....	16
Figura 2.3. Determinación de causa-efecto entre problemas relacionados con la contaminación atmosférica en la ciudad de Ocaña. ....	19
Figura 2.4. Representación de los problemas críticos, pasivos, indiferente y activos que influyen en la contaminación atmosférica de Ocaña.....	20
Figura 2.5. Jerarquización de problemas relacionados con la contaminación atmosférica en la ciudad de Ocaña.....	20
Figura 2.6. Análisis factorial múltiple. Parque automotor, consumo de combustible, vías, movimiento de pasajeros y de carga .....	22
Figura 3.1. Perfil del tramo de la vía nacional que atraviesa la Zona norte de la ciudad de Ocaña .	28
Figura 3.2. Área modelada (Imagen de Google Earth).....	32
Figura 3.3. Flujo vehicular, concentración de PM2.5 y condiciones meteorológicas. ....	34
Figura 3.4. Velocidad de vehículos que transitan por la vía de la zona norte de Ocaña .....	35
Figura 3.6. Plan maestro de movilidad (elaborado con datos de la Alcaldía municipal de Ocaña, 2015) .....	40
Figura 4.1. Casos hospitalarios de IRA por edad, concentración de PM2.5 y condiciones meteorológicas en Ocaña.....	48
Figura 4.2. Regresión lineal. PM2.5/PM10.....	49
Figura 4.3 Casos hospitalarios de IRA por barrio en la zona norte de Ocaña. ....	50

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Esquema de la matriz de Vester .....	15
Tabla 2.2. Descripción de expertos .....	15
Tabla 2.3. Problemas relacionados con la contaminación atmosférica por material particulado en la ciudad de Ocaña.....	17
Tabla 2.4. Evaluación de los factores .....	18
Tabla 3.1. Caracterización de los vehículos.....	30
Tabla 3.2. Variables del modelo de regresión lineal múltiple.....	33
Tabla 3.3. Análisis de las diferencias entre las categorías vehiculares con un intervalo de confianza de 95%. Método de Tukey .....	35
Tabla 3.4 Tecnología de los vehículos analizados. ....	36
Tabla 3.5 Factores de emisión calculados.....	37
Tabla 3.6. Modelos de regresión lineal. ....	39
Tabla 4.1. Relación de variables de modelación de PM10.....	46
Tabla 4.2. Variables que relacionan el PM10 con las IRA.....	47
Tabla 4.3. Análisis de las diferencias entre barrios con un intervalo de confianza de 95%.....	51
Método de Tukey .....	51
Tabla 4.4. Modelo de regresión lineal de IRA por barrio. Sexo femenino .....	52
Tabla 4.5. Modelo de regresión lineal de IRA por barrio. Sexo masculino .....	52
Tabla 4.6. Modelo de regresión lineal de IRA por edad. Sexo femenino.....	53
Tabla 4.7. Modelo de regresión lineal de IRA por edad. Sexo masculino.....	54
Tabla 4.8. Modelo de regresión lineal de IRA por edad. Barrió Galán y Santa Clara .....	54

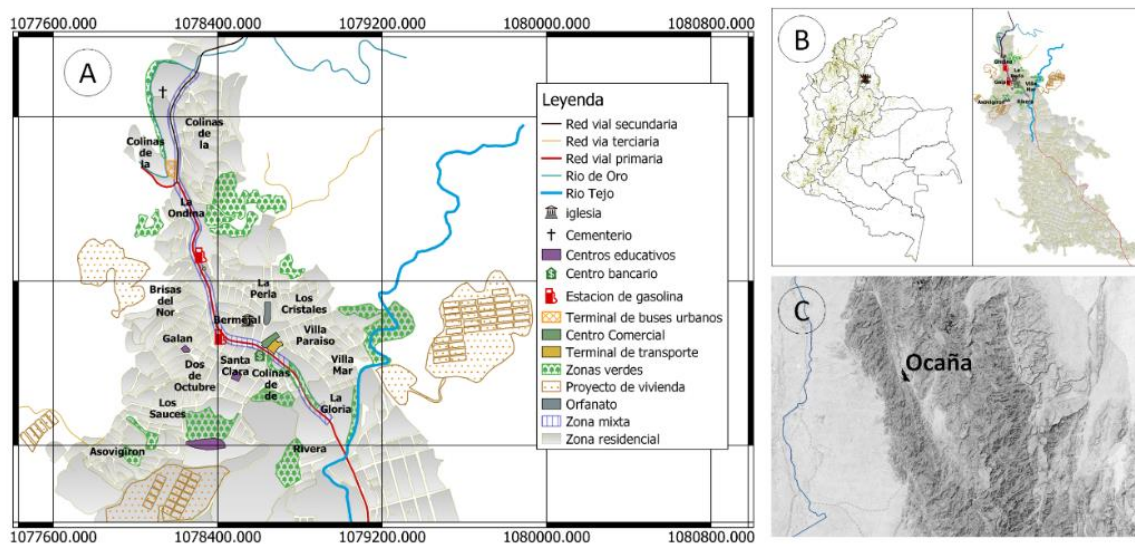
## Resumen

La ciudad de Ocaña es una de las ciudades intermedias de Colombia afectada por el material particulado emitido a la atmósfera por fuentes móviles. El propósito de esta investigación es identificar el grado de relación que existe entre el PM10, PM2.5, parque automotor, factores meteorológicos y las infecciones respiratorias agudas (IRA). En la metodología se empezó identificando y valorando las causas de este tipo de contaminación utilizando metodologías del marco lógico (Matriz de Vester, software Matriz de Impactos Cruzados-Multiplicación Aplicada a una Clasificación (MICMAC)). Posteriormente, mediante un análisis cuantitativo se implementó el modelo de regresión lineal para calcular el grado de influencia de las fuentes móviles y los factores meteorológicos sobre el PM2.5 y PM10, a su vez la relación de estos contaminantes sobre las infecciones respiratorias agudas, incluyendo el análisis de relación de las condiciones meteorológicas sobre este tipo de enfermedades. El estudio se apoyó en información oficial de los años 2018, 2019 y 2021, mediciones *in situ* de PM2.5, datos meteorológicos locales, modelos de regresión lineal, el modelo internacional de emisiones (software IVE por sus siglas en inglés) y el modelo de dispersión (software Envimet-3.1). De la valoración de causas de contaminación por material particulado se encontró que la cultura ciudadana es el factor más influyente. En los análisis de PM2.5 y PM10 se observaron valores superiores a la norma y correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ) con la Temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y vehículos. Así mismo una alta correlación entre el PM2.5 y el PM10 (Pearson  $r = 0.812$ ), donde las IRA representadas por el sexo femenino tuvo más casos hospitalarios y mayor correlación significativa ( $p < 0.05$ ) con el material particulado y la humedad relativa, especialmente para niños y adultos mayores. En conclusión, la concentración de PM2.5 y PM10 de la zona norte de Ocaña está significativamente relacionada con el flujo vehicular, las condiciones climáticas, la infraestructura vial y el comportamiento socioeconómico de la zona. Sus efectos son notorios en las personas que residen en dirección de la dilución del material particulado. Así mismo es concluyente que la ciudad necesita campañas pedagógicas eficaces y una inversión en la gestión de la calidad del aire similar a las grandes ciudades de Colombia con el propósito de cumplir con la norma colombiana y recapacitar en acciones que no han tenido resultados favorables.

# 1 INTRODUCCIÓN

A nivel global, la contaminación atmosférica por material particulado emitido por diferentes fuentes ha impactado el entorno urbano y sus efectos han sido muy notorios en la salud respiratoria de los seres humanos (EPA, 2021). (Glencross et al., 2021). Se reconoce que el mayor número de muertes por alteraciones pulmonares han ocurrido en países con poca gestión (Lee et al., 2018). Según Lelieveld et al. (2020) la principal causa se atribuye a partículas PM10 y PM2.5. En el año 2017, al PM2.5 provocó 2,9 millones de muertes con padecimientos respiratorios y cardiovasculares (Anenberg et al., 2019). Para Lelieveld. (2015), los países con alta actividad vehicular presentan la mayor cantidad de muertes. Es muy importante reconocer que los factores meteorológicos son muy influyentes sobre el comportamiento del material particulado (Ding et al., 2017; Menendez, 2020; Sass, 2021) y las alteraciones cardiopulmonares (McMichael, 2014).

Los estudios sobre contaminación atmosférica se concentran en las grandes ciudades (Zhang, et al., 2015). Lastimosamente en la mayoría de ciudades intermedias de Colombia no se oficializan redes de monitoreo de material particulado. La ciudad de Ocaña (Figura 1.1) es una de esas urbes.



**Figura 1.1** Ubicación geográfica de la zona norte de Ocaña. Colombia.



Ocaña se sitúa en el nororiente colombiano, a 1202 metros sobre el nivel del mar sobre una depresión montañosa de la cordillera oriental. La zona norte de Ocaña tiene una topografía ondulada con un área de 1.34 km<sup>2</sup>, atravesada por 1.68 km de vía nacional. Conjuntamente, en el norte se conecta una vía secundaria y en el oriente y occidente vías terciarias. Sus parques, centros educativos y religiosos están distribuidos en el área residencial. Su actividad económica está distribuida a los costados de la vía mencionada, no presenta industrias y se caracteriza por tener centros comerciales, micro-mercados, talleres de mecánica de motocicletas, carros y tracto-camiones. Así mismo, las emisiones atmosféricas provocadas en esta zona están principalmente representadas por fuentes móviles.

A pesar de que se ha catalogado como la segunda ciudad del departamento de Norte de Santander en presentar infecciones respiratorias agudas (IRA), las mediciones que ha realizado la autoridad ambiental con el apoyo de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) no han mostrado estudios oficiales por las autoridades competentes. Sin embargo, a partir de información suministrada por la red de monitoreo de calidad del aire, (Pineda y Santiago, 2016) identifican que, en el año 2015, la zona norte de Ocaña mostró concentraciones de PM10 superiores a lo permitido y de igual forma tuvo valores superiores al otro punto de medición ubicado en un área semejante comercialmente situada en la parte sur de Ocaña. Con datos suministrados por el hospital Emiro Quintero Cañizares Ocaña, que cubren el período entre noviembre del año 2014 y diciembre del año 2015, Contreras (2016) analizó el grado de correlación de las IRA y el PM10, observando que para ese año hubo una correlación significativa muy débil entre esas variables, aunque el material particulado tuvo correlaciones significativas inversas con la humedad, la temperatura, la precipitación y el viento. Posteriormente, Fonseca y Delgado (2017), mediante un inventario de emisiones, determinaron que la zona norte es atravesada por un tramo de la vía nacional que presenta demasiado estancamiento del flujo vehicular, alto volumen de tráfico pesado y altas emisiones atmosféricas según las estimaciones de PM2.5 realizadas solamente con aforo vehicular y factores de emisiones suministradas por la Unión Europea e investigaciones realizadas en grandes ciudades de Colombia.

A pesar de estos antecedentes, es necesario complementar las respectivas investigaciones. Si bien la zona norte es impactada principalmente por fuentes móviles, ¿Cuáles son las

características del parque automotor que impacta la calidad del aire de la zona norte de Ocaña? Así mismo, ¿Cuál es el nivel de emisión de PM2.5 y qué grado de relación tiene la concentración de PM2.5 con el parque automotor? De acuerdo a las IRA, en el área de estudio no se conoce el conjunto de personas vulnerables a este tipo de contaminante, es decir, ¿qué grupos etarios son los más impactados por el PM10 y PM2.5 en cuanto a la edad, género y ubicación geográfica? Por consiguiente, esta investigación en principio tiene el interés de responder a estas preguntas que, en efecto, son importantes para la gestión de la calidad del aire de la región de Ocaña.

El presente documento muestra un análisis general de Ocaña a partir de la posible influencia de diferentes factores que afectan la contaminación atmosférica. Posteriormente el estudio se enfoca en la zona norte de Ocaña (Figura 1.1A). Mediante una investigación cualitativa y cuantitativa y con el apoyo del software estadístico XLSTAT se describen las características de los vehículos, el comportamiento y su relación con el PM2.5. Por último, mediante el mismo tipo de investigación, se sustenta la relación de PM2.5/PM10 medido en la zona norte de Ocaña incluyendo la relación del contaminante PM10 con las IRA. Al respecto, la hipótesis que se plantea es la siguiente: la circulación vehicular de la zona norte de Ocaña determina la trayectoria, movimiento, dirección, cantidad y tipo de vehículo, por lo tanto, es un factor estadísticamente significativo en la ocurrencia temporal de concentración de PM10 y de los reportes hospitalarios de casos de IRA de los habitantes de la zona norte de Ocaña.

## **1.1 Objetivos**

El objetivo general de esta investigación es conocer la influencia de los vehículos que transitan en la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña sobre la concentración del material particulado (PM10 y PM2.5) y sobre la salud respiratoria de sus habitantes.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

Relacionar el flujo vehicular de la zona norte de Ocaña con el material particulado PM10 emitido por fuentes móviles a nivel de exhosto.

Estimar el impacto de PM10 y PM2.5 sobre la salud respiratoria de los habitantes de la zona norte de la Ciudad de Ocaña.

## **1.2 Estructura del documento de investigación**

Este documento se compone de tres capítulos principales, estructurados como artículos independientes para dar respuesta a cada una de las inquietudes planteadas en los objetivos. El capítulo 2 analiza los factores que intervienen de forma directa e indirecta en la contaminación atmosférica por material particulado en la ciudad de Ocaña. En esta parte se conocen los principales problemas que influyen en la calidad del aire de la región a partir de una jerarquización de factores/problema obtenido a partir de reuniones con los entes públicos, apoyo de expertos y con la aplicación del Modelo de Vester y el software MICMAC. Este capítulo ha sido sometido a la revista *Gestión y Ambiente* de la Universidad Nacional.

El capítulo 3 analiza las emisiones de PM<sub>2.5</sub> a nivel de exhosto y su dispersión con la ayuda del modelo IVE y Envimet 3.1. Estos modelos son muy apropiados para la estimación de las emisiones y dispersión de la concentración de material particulado emitido por vehículos (Gholam et al., 2018; Viecco et al., 2021). En esta parte se describe de forma cuantitativa y cualitativa el parque automotor local. Así mismo, mediante mediciones de PM<sub>2.5</sub> realizadas con un equipo automatizado, se dan a conocer las variaciones de este contaminante por hora durante cinco días y su relación con las condiciones meteorológicas y los vehículos. El capítulo ha sido sometido a la revista *Respuestas* de la Universidad Francisco de Paula Santander.

El capítulo 4 analiza la relación entre el PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>, las condiciones meteorológicas locales y las IRA mediante modelos de regresión lineal categorizando los grupos etarios por género, edad y barrio los registros de casos hospitalarios de IRA. El capítulo ha sido sometido a la revista de *Salud Pública* de la Universidad de Antioquia.

Por último, se exponen las conclusiones generales de la investigación y se relacionan las referencias bibliográficas consolidadas de todo el documento.

## **2 Valoración de las causas de la contaminación atmosférica por material particulado en la ciudad de Ocaña**

### **2.1 Introducción**

En Colombia existen diversas fuentes de contaminación atmosférica asociadas a industrias (Vidal et al., 2018), automotores (Gilliland et al., 2019) e incendios (Wen et al., 2020). Las emisiones de los automóviles en particular, pueden ser provocadas por factores como la baja velocidad vehicular (Hu et al., 2021), alto volumen de tráfico (Carceller et al., 2020), tecnología del vehículo obsoleta (Hao et al., 2019), mal estado del vehículo (Moreno et al., 2020), y mal estado de las vías (Cardozo et al., 2019), entre otros. Estos factores, concretamente las fuentes móviles y la poca capacidad de las vías urbanas, son notorios en la calidad del aire de la ciudad de Ocaña, especialmente en zonas impactadas por tramos de la vía nacional que atraviesa la ciudad y lugares con alto flujo comercial.

A nivel mundial los lugares más contaminados no son únicamente las grandes ciudades, sino también las ciudades intermedias afectadas por la contaminación por material particulado en las que hay poca información y participación ciudadana (Jorquera, 2019). En Colombia, la inversión en monitoreo y control de la contaminación atmosférica se enfoca en las grandes ciudades (Carriazo et al., 2020), con marcadas deficiencias en ciudades intermedias (IDEAM, 2017). Pérez et al. (2018) confirman que las ciudades intermedias tienen un déficit en la red vial y de infraestructura, un funcionamiento precario del transporte, ausencia de control de la contaminación atmosférica y una fragilidad en el sistema de salud. La ciudad de Ocaña no está exenta de estos problemas. Si bien, existen análisis de material Particulado PM10 y las fuentes que lo provocan, no existen publicaciones oficiales de los resultados. Del mismo modo, a pesar de que los factores mencionados tienen incidencia sobre la salud respiratoria (Molina et al., 2021), los entes de control no tienen los respectivos estudios y aunque se han planteado soluciones, no han tenido un impacto significativo. Desde un análisis realizado en Medellín, Lopez y Vega (2019) reconocen que en muchas ocasiones la gestión pública plantea soluciones pero “no son suficientes para el logro de los objetivos propuestos”. De acuerdo a Restrepo (2019), en una planificación estratégica con óptimos resultados se debe encontrar el problema principal incluyendo los agentes causales y sus efectos. Es por ello que

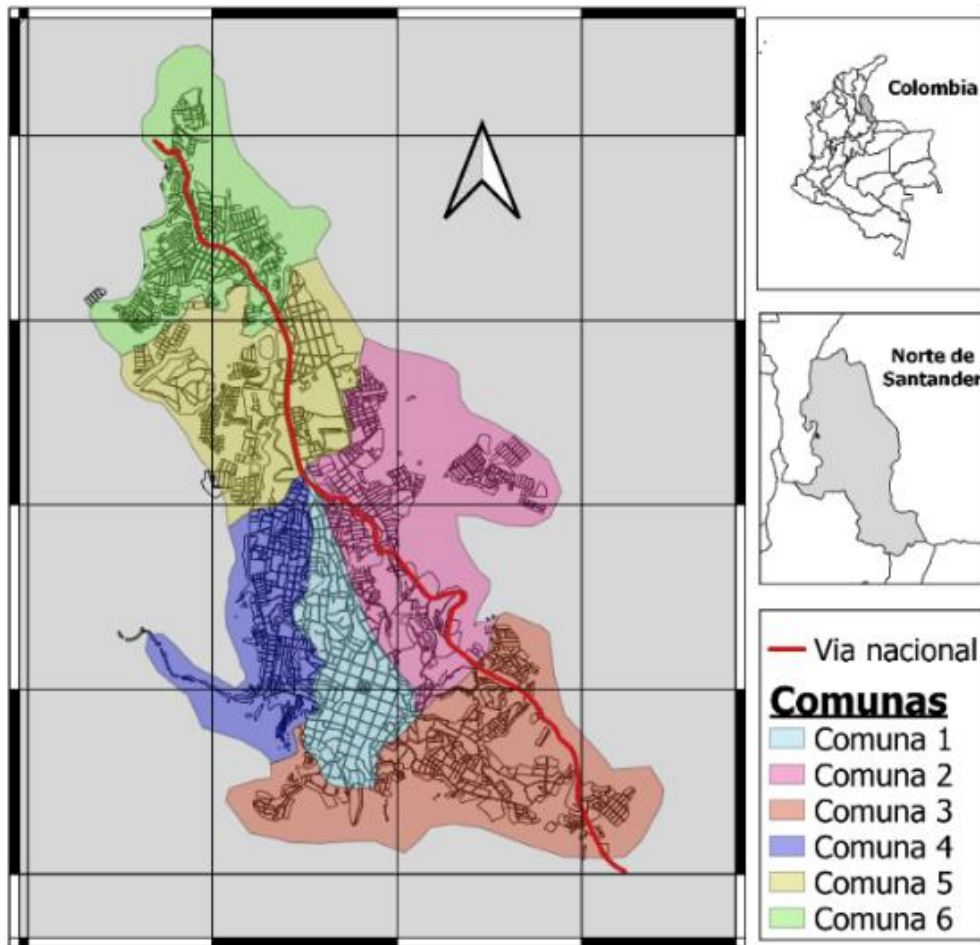
Kura et al. (2013) recomienda analizar todos los problemas que directa o indirectamente afectan la calidad del aire.

En este capítulo se exploran los posibles problemas que intervienen en la contaminación de la ciudad de Ocaña, a partir de experiencias de mediciones de concentración de material particulado, análisis de fuentes, reuniones con entes públicos municipales y opinión de expertos. El estudio emplea una metodología de marco lógico para mostrar el grado de influencia entre los factores y determinar los más críticos, según sus causas y efectos.

## **2.2 Metodología**

### **2.2.1 Área de estudio**

La ciudad de Ocaña está ubicada en la zona nororiental de Colombia, a una altura de 1202 m sobre una depresión montañosa de la cordillera oriental, con una temperatura promedio de 22°C y una extensión de 7 km<sup>2</sup>. Según el DANE (2018) la ciudad tiene una población de 100.104 habitantes, lo que la cataloga como una ciudad intermedia (UCLG, 2021). Ocaña está atravesada por una vía nacional que conecta el tráfico vehicular de Cúcuta con el resto del país. La división geopolítica está representada por seis comunas (Figura 2.1), con una actividad económica a nivel urbano representada por centros comerciales, venta de productos agropecuarios, industria de la construcción y empresas de transporte formales e informales. La gestión pública ambiental está estructurada por la alcaldía municipal, la secretaría de salud, la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (CORPONOR) territorial Ocaña, con el apoyo de la policía, el ejército nacional. La ciudad cuenta también con varios centros educativos universitarios y una oferta de atención médica de primer y segundo nivel en el Hospital Emiro Quintero Cañizares



**Figura 2.1.** Mapa de la ciudad de Ocaña, Colombia

### 2.2.2 Selección de factores que influyen en la contaminación del aire

En la selección de problemas influyentes se siguió la metodología de Solana (2019), la cual consta de tres pasos: definición de variables (problemas), establecimiento de relaciones causa-efecto y jerarquización de variables. Para la definición de variables se implementó la técnica lluvia de ideas (Dalton, 2018). Los problemas se clasificaron en 14 categorías (Tabla 2.3). Posteriormente, para la relación causa-efecto se utilizó la matriz de Vester (Tabla 2.1) (Bermudez, 2001). Esta matriz de doble entrada valora los problemas de acuerdo con su grado de causalidad (activos) y dependencia (pasivos). La calificación se da en valores 0, 1, 2, 3, donde cero no es agente causal y tres tiene la mayor causalidad. En la matriz, los mismos problemas se ubican en las columnas y en filas. El análisis se hace a partir de la sumatoria

de las columnas (dependencia) y filas (activos). El porcentaje de causalidad de cada problema se obtiene a partir de la división de la sumatoria total de calificaciones de la respectiva fila entre el total de la sumatoria del total de las filas, multiplicado por 100. El porcentaje de dependencia de cada problema se obtiene dividiendo el total de la suma de la respectiva columna entre el total de la suma de los totales de las columnas multiplicado por 100.

**Tabla 2.1** Esquema de la matriz de Vester

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Total de influencia (Activos)
$X_1$		$n_i$	$n_i$	$\sum n_i$
$X_2$	$n_i$		$n_i$	$\sum n_i$
$X_3$	$n_i$	$n_i$		$\sum n_i$
Total de dependencia (Pasivo)	$\sum n_i$	$\sum n_i$	$\sum n_i$	-

*$n_i$  es la valoración que se le asigna al grado de causalidad que tiene el problema ubicado en las filas sobre el problema ubicado en la columna*

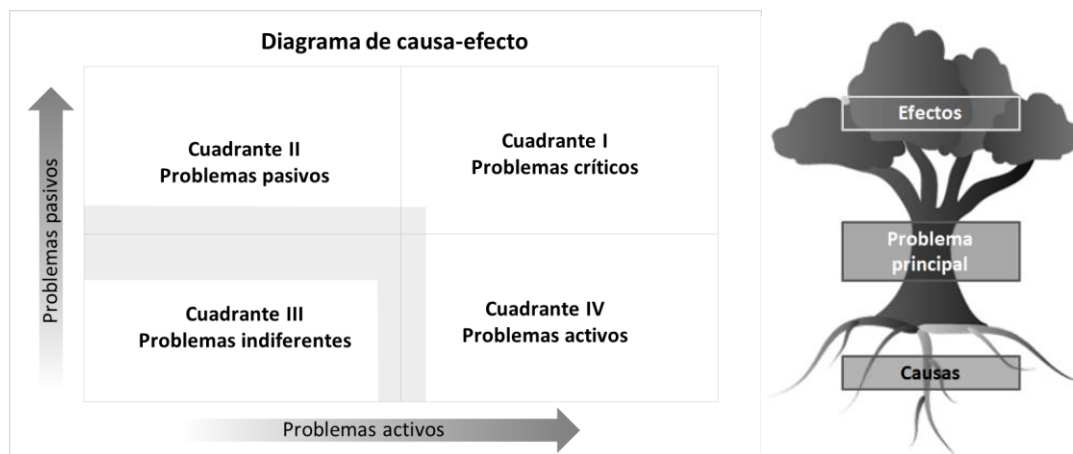
De acuerdo con Farah et al. (2021) la valoración se hizo teniendo en cuenta la calificación de cuatro expertos (Tabla 2.2). El primer y cuarto experto son autores del presente artículo. A las cuatro calificaciones obtenidas para cada factor evaluado se le halló el promedio teniendo en cuenta lo explicado por Pareja et al, 2007. Este valor se utilizó en la matriz de Vester como representación de la valoración conjunta de los expertos.

**Tabla 2.2.** Descripción de expertos

Experto	Descripción
<b>Experto 1</b>	Profesor. Universidad Francisco de Paula Santander. Coordinador Laboratorio de Calidad del Aire. Experto en Gestión de calidad del aire.
<b>Experto 2</b>	Profesor. Universidad Francisco de Paula Santander. Jefe Departamento de Ciencias Agrarias y del ambiente. Experto en Gestión ambiental y desarrollo sostenible.
<b>Experto 3</b>	Investigador. Científico. Consejo Nacional de Investigación (CNR, por sus siglas en inglés). Experto en estudios ambientales y de geología.
<b>Experto 4</b>	Profesor. Universidad de Antioquia Coordinador de posgrados de la Escuela Ambiental. Experto en estudio ambientales

Las influencias potenciales directas e indirectas entre problemas fueron analizadas estructuralmente con el software MICMAC (Godet, 1993) que clasifica los problemas en influyentes y dependientes. De acuerdo con el mismo software y la matriz de Vester, los valores obtenidos se representaron en un diagrama de dispersión (Figura 2.2) para determinar los problemas críticos, pasivos, indiferentes y activos (la sumatoria de las filas se ubica en el eje horizontal y los valores de la sumatorias de cada columna se ubican en el eje vertical).

Los problemas se jerarquizaron con un árbol con los problemas activos o causas en la raíz, los problemas principales o críticos en el tronco y los problemas pasivos o efectos en las hojas.



**Figura 2.2.** Diagrama de causa-efecto y árbol de problemas

La determinación de problemas se hizo a partir de la percepción que se tuvo de las reuniones convocadas entre los años 2018 y 2019 por el Consejo Territorial de Salud Ambiental (COTSA), donde participaron representantes de la UFPSO, la secretaria de salud, la secretaria de movilidad y tránsito, CORPONOR y el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Así mismo, se contó con mediciones de material particulado (PM10), aforos de fuentes móviles y fijas en la ciudad e información de experiencias de universidades públicas nacionales e internacionales.

En la discusión de resultados se incluyó un análisis del reporte oficial de las vías, el parque automotor y el combustible consumido en Colombia. Para ello se dispuso del software estadístico XLSTAT y se aplicó un análisis factorial múltiple.



### 2.3 Resultados

Se identificaron 36 problemas influyentes en la calidad del aire de Ocaña (Anexo 1), los cuales se agruparon en 14 factores/problemas (Tabla 2.3) que se determinaron en el marco de lo social, institucional y ambiental.

**Tabla 2.3.** Problemas relacionados con la contaminación atmosférica por material particulado en la ciudad de Ocaña

<b>Factores</b>	<b>Abreviatura</b>
<b>Gestión ambiental</b>	PA
<b>Planeación vial</b>	PV
<b>Salud respiratoria</b>	IRA
<b>Condiciones meteorológicas</b>	Meteo
<b>Topografía</b>	Topo
<b>Parque automotor</b>	Veh
<b>Infraestructura urbana</b>	Infra. Urb
<b>Cañones urbanos</b>	Cañón. Urb
<b>Ladrilleras artesanales</b>	Ladrilleras
<b>Incendios</b>	Quemas
<b>Espacio público</b>	Esp. publ
<b>Cultura ciudadana</b>	Cult. Urb
<b>Concentración de material particulado</b>	PM10
<b>Emisión de material particulado</b>	Emisión PM10

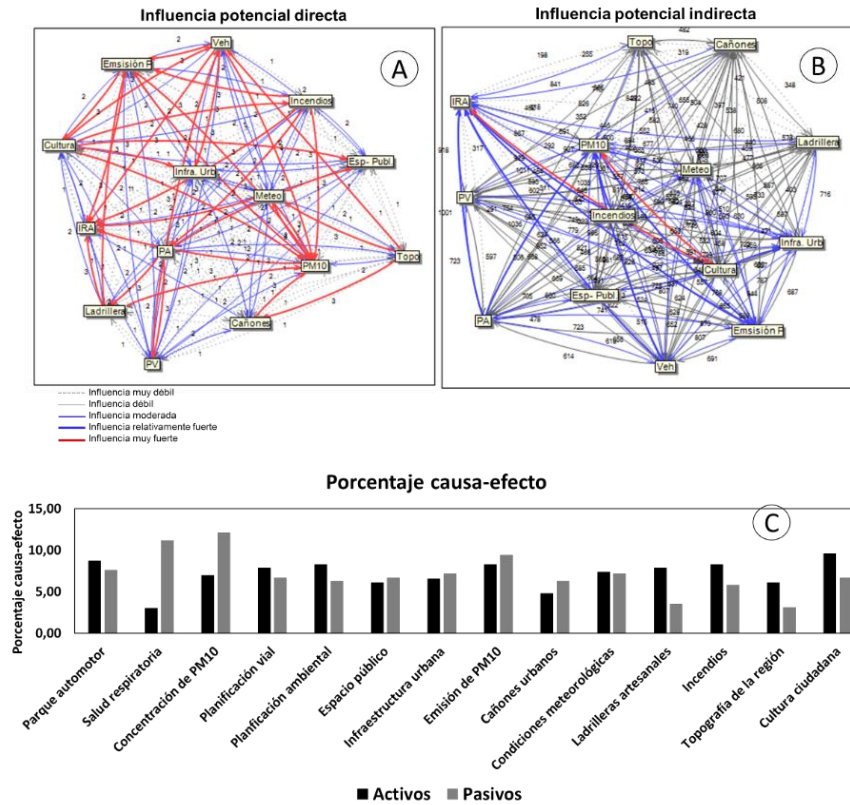
Los expertos tuvieron diferentes percepciones causa-efecto entre los factores analizados (Tabla 2.4, Anexo 1). La calificación realizada por el experto E<sub>4</sub>, ubica la mayoría de factores en el cuadrante uno (problemas críticos), en cambio, hubo mayor distribución de factores para las calificaciones realizadas por los otros evaluadores. No obstante, hubo situaciones en que tres evaluadores mostraron la misma calificación en alguno de los factores

**Tabla 2.4.** Evaluación de los factores

<i>Factores</i>	<i>Cuadrante I (Factores críticos)</i>				<i>Cuadrante II (Factores pasivos)</i>				<i>Cuadrante III (Factores indiferentes)</i>				<i>Cuadrante IV (Factores activos)</i>				
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	
<i>Parque automotor</i>	✓			✓										✓	✓		
<i>Salud respiratoria</i>			✓		✓	✓		✓									
<i>Concentración PM10</i>		✓	✓	✓	✓												
<i>Planificación vial</i>				✓			✓								✓	✓	
<i>Planificación ambiental</i>				✓									✓	✓			
<i>Espacio público</i>				✓						✓	✓		✓				
<i>Infraestructura urbana</i>				✓					✓	✓						✓	
<i>Emisión de PM10</i>				✓	✓									✓			
<i>Cañones urbanos</i>				✓					✓	✓	✓						
<i>Condiciones meteorológicas</i>					✓					✓	✓						✓
<i>Ladrilleras artesanales</i>									✓					✓	✓	✓	
<i>Incendios</i>				✓					✓						✓		
<i>Topografía</i>									✓					✓		✓	
<i>Cultura ciudadana</i>				✓									✓	✓	✓		

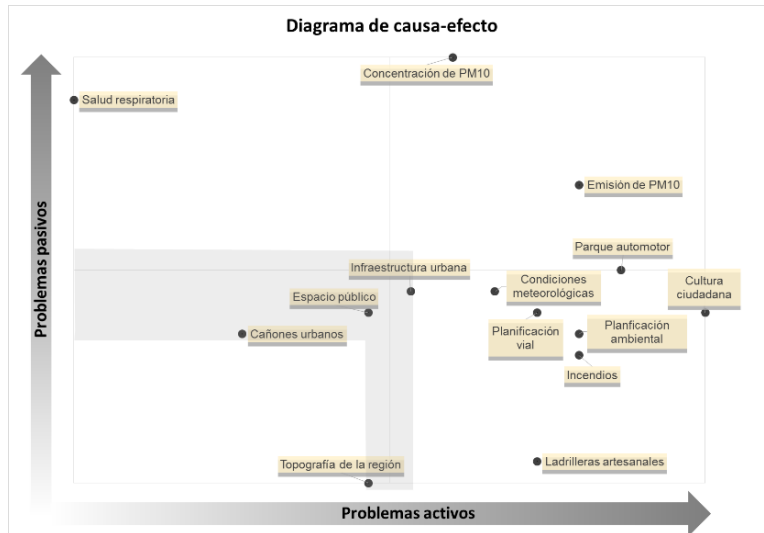
*E: Experto*

La calificación conjunta de los cuatro expertos establece que el material particulado y la salud respiratoria son los factores más impactados, es decir, dependen de la mayoría de los elementos evaluados que, a su vez, son fuertemente influenciados por la cultura ciudadana (Figura 2.3A). Este factor es el más influyente (Figura 2.3C), por consiguiente, también tiene una fuerte atribución potencial indirecta sobre el contaminante mencionado y los incendios (Figura 2.3B).



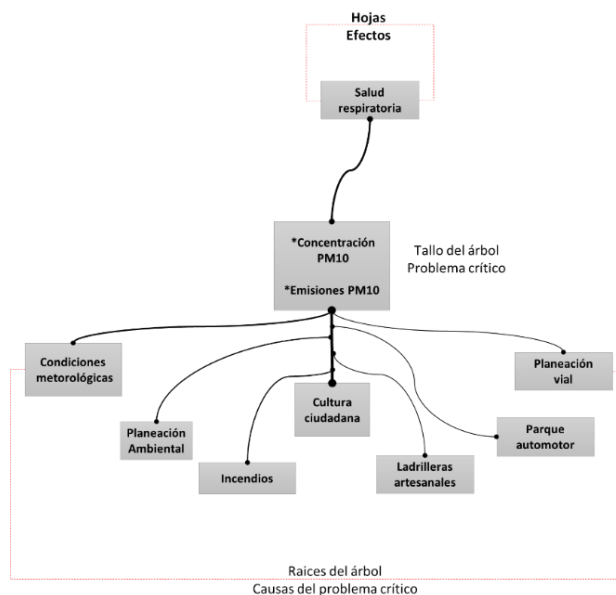
**Figura 2.3.** Determinación de causa-efecto entre problemas relacionados con la contaminación atmosférica en la ciudad de Oaxaca.

De acuerdo con lo anterior, la valoración conjunta reubicó los factores en el plano cartesiano. Los factores situados en el cuarto cuadrante de la figura 2.4 quedaron catalogados como problemas activos. Estos elementos requieren mayor atención puesto que cualquier acción sobre estas variables serán influyente sobre los demás factores, especialmente sobre los ubicados en el cuadrante uno y dos. En el primer cuadrante, las emisiones y concentración de PM10 quedan clasificados como agentes críticos. Estos son factores enlace con fuerte influencia sobre los elementos ubicados en el cuadrante dos. Sobre el cuadrante dos los elementos son poco influyentes. En este punto, la salud respiratoria queda señalada como el único factor altamente influenciado y poco causal sobre los demás problemas. En el tercer cuadrante están ubicados el espacio público, los cañones urbanos y la topografía. Al respecto, estos factores quedan clasificados como factores independientes. No obstante, por estar las áreas sombreada junto con la infraestructura urbana ubicada en el cuarto cuadrante, son factores medianamente activos.



**Figura 2.4.** Representación de los problemas críticos, pasivos, indiferente y activos que influyen en la contaminación atmosférica de Ocaña.

En la jerarquización de problemas se determina que las emisiones y la concentración de material particulado son los problemas críticos del tallo del árbol (Figura 2.5). Sus raíces están representadas por planeación vial, la cultura ciudadana, planeación ambiental, incendios, ladrilleras artesanales, parque automotor y condiciones meteorológicas. Las hojas están representadas con las infecciones respiratorias agudas.



**Figura 2.5.** Jerarquización de problemas relacionados con la contaminación atmosférica en la ciudad de Ocaña.

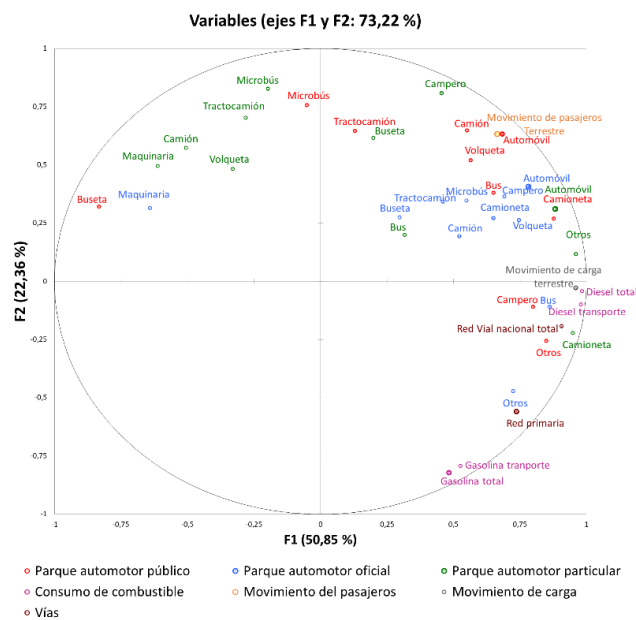
## 2.4 Discusión

La metodología utilizada en este estudio permitió identificar y ahondar en los problemas más importantes a tener en cuenta en la solución de la mitigación de la contaminación atmosférica por material particulado en la ciudad de Ocaña. Así mismo, se logró disminuir la subjetividad de la percepción que se tiene en lo momento de evaluar los respectivos problemas ambientales.

La cultura ciudadana ha sido uno de los principales problemas en el control ciudadano de la contaminación por material particulado (Fehr et al., 2017), con una dependencia del automóvil como uno de los elementos más sobresalientes de la culturización del transporte urbano principalmente del vehículo particular (Gómez, 2020). Para la ciudad de Ocaña, la cultura ciudadana es un problema raíz muy habitual en los procesos de control de tráfico, sobre todo por la manera en que se usan los vehículos. Al igual que en las grandes ciudades (Sarche et al., 2020), en Ocaña se utiliza el transporte particular con pocos pasajeros para un recorrido de cortas distancias. Para la zona norte de esta ciudad esto genera más congestión vial y estancamiento de camiones, lo que provoca altas emisiones de material particulado. Debido a esto, a partir del año 2018 se tiene institucionalizado un día sin carro por año, y un pico y placa temporal sobre la comuna uno, especialmente sobre las vías de alto flujo comercial (Decreto 22/2018). A pesar de que existe publicidad y jornadas pedagógicas, el poco control que se ejerce hace que los conductores violen la norma.

El transporte de carga es otro factor influyente. Si bien en Colombia se puede ejercer control de volumen vehicular en la red vial nacional, su gestión se concentra en las grandes ciudades (Ministerio de transporte, 2021). En Ocaña, este tipo de tráfico tiene permiso de movilidad sobre las vías urbanas y, por otro lado, no se puede interrumpir el tráfico que circula por la vía nacional que atraviesa la ciudad. Esta vía nacional es aprovechada entonces para la movilización vehicular local en los momentos de restricción. Según Alejo (2003) “la obediencia ya no es aceptada de buen grado por los ciudadanos y los empleados públicos, quienes ahora exigen libertad personal y autonomía individual”. Esto probablemente sea la causa del absentismo de la planificación vial y ambiental de la ciudad de Ocaña. Desde el año 2015, el plan básico de ordenamiento territorial describe en la ciudad de Ocaña una infraestructura vial precaria con una topografía poco favorable (Alcaldía Municipal de

Ocaña, 2015). Según conductores del transporte público de microbuses y buses, en Ocaña no se tienen rutas y paraderos definidos. Esto puede elevar las emisiones atmosféricas de material particulado (Álvarez et al., 2019), el consumo de combustible (Chávez et al., 2018), y la interrupción del flujo vehicular (Ojeda, 2018). Como solución se ha propuesto habilitar variantes viales en el occidente y oriente que hasta el momento no se han materializado. Tan solo se han logrado cambios de trayectoria en vías de la zona sur (comuna 1). Igualmente se resalta que en los documentos oficiales publicados no se ha puntualizado la calidad del aire en los planes de movilidad y ampliación de la red vial. El Ministerio de Transporte (2018) publica cifras acerca del crecimiento de red la vial y el parque automotor de Colombia y se pudo demostrar que la red vial nacional está significativamente correlacionada con los vehículos de carga y el consumo del combustible diesel (Figura 2.6, Anexo 2, 3) que es muy relevante en la producción de material particulado (Franceschi et al., 2018). Según Ntziachristos et al. (2019), los vehículos que utilizan combustible diesel alcanzan emisiones de material particulado más altas que los vehículos a gasolina, lo que refleja un problema de planificación ambiental de la ciudad (Sliwa, 2017).



**Figura 2.6.** Análisis factorial múltiple. Parque automotor, consumo de combustible, vías, movimiento de pasajeros y de carga

Elaborado con datos del Ministerio de transporte.

De acuerdo con Romero et al. (2020), la movilidad también influye sobre la infraestructura urbana en cuanto a su deterioro. Para Sánchez (2020), en Colombia existe “una baja integración entre la movilidad y los instrumentos de ordenamiento territorial”. Para este autor, tan solo el 30% de los municipios de Colombia con más de 1’000.000 de habitantes (Ley 1083/2006, Ley 1955/2019) tienen el plan de movilidad urbana sostenible, el 55% lo tienen desactualizado y el 12% en vencimiento a corto plazo. Esta baja integración puede tener efecto sobre los componentes del entorno, en especial sobre los factores meteorológicos, ya que las emisiones vehiculares podrían impactar las condiciones climáticas locales (Ramos, 2019). Barbosa (2018) expone que en Ocaña no se han realizado proyecciones viales adecuadas acorde con el crecimiento del parque automotor. De acuerdo con registros de la secretaría de movilidad y tránsito, entre los años 2000 y 2009 se matricularon 19,944 automóviles y en la década siguiente 45,570. De cada una de esas cantidades, las motocicletas representan el 45%. Lo preocupante de este aumento es la posibilidad de que el total de los vehículos esté circulando y en consecuencia sea una de las causas del alto tráfico en las calles de Ocaña. Sumado a ello, el Centro de Revisión técnico-mecánica y de gases CRT Ocaña Limitada comunica que más del 50% de vehículos matriculados en la ciudad están evadiendo la revisión técnico-mecánica (ASOCTAD, 2020). Según estudios de Liu et al. (2020), la falta de control podría representar un aumento en las emisiones y concentraciones de material particulado. De este modo, se puede confirmar que estos factores han sido las posibles causas de las altas concentraciones de material particulado PM10 registradas en la ciudad de Ocaña, en conjunto con las variaciones meteorológicas (Ścibor et al., 2020). De acuerdo con las investigaciones mencionadas y apreciaciones de entes municipales, posiblemente la zona norte de Ocaña tiene mayores concentraciones de PM10 debido a la cantidad de vehículos de carga pesada en la ciudad, estancamiento vehicular y alto flujo vehicular. El plan de acción de la Corporación Autónoma de la Frontera Nororiental (CORPONOR) determina que los vehículos son uno de los principales temas a resolver en el tema de la contaminación atmosférica por material particulado. Medina (2019) recomienda mayor gobernanza. Sin embargo, a pesar de que se ha medido este contaminante en la ciudad de Ocaña y se realizan encuentros entre entes de salud pública y autoridades ambientales, la Alcaldía Municipal de Ocaña (2019) manifiesta que no se han tomado medidas de control. Por otro lado, la Contraloría General del Departamento de Norte de

Santander y el IDEAM no han dado informes oficiales al respecto. De conformidad con lo explicado por Hassan et al. (2020), se reconoce que estos factores podrían ser influyentes en la salud respiratoria de los habitantes de Ocaña. Aunque en la zona no se han realizado análisis de la concentración de PM2.5, es muy probable que lo emitido por las fuentes móviles sea la principal causa de las IRA como así lo demuestran los estudios de Rovira et al. (2020). Aunque en ciudades intermedias las quemadas incontroladas también son influyentes en la contaminación atmosférica por material particulado y la salud pública (García, 2020). En esta investigación este factor queda ubicado como problema raíz de la contaminación por material particulado. Al respecto, en algunas temporadas del año se presentan incendios en el sector rural del municipio de Ocaña y por condiciones meteorológicas las emisiones se dirigen hacia la ciudad provocando situaciones de alerta. En el año 2021, Global Forest Watch mostró continuos informes de alertas de incendio forestal en el oriente de la provincia de Ocaña. Por otro lado, las ladrilleras artesanales son otro factor que impacta el entorno de ciudades intermedias debido a emisiones de material particulado (Bahena et al., 2019). En Ocaña, los asentamientos humanos formales e informales están aumentando su cercanía hacia este tipo de ladrilleras que temporalmente utilizan los hornos y generan inconformidades con la población.

Los problemas indiferentes mostrados en la figura 1 tienen baja prioridad, incluyendo los ubicados en la parte sombreada. Sin embargo, su poca atención podría generar alta influencia sobre la contaminación atmosférica por material particulado. Algunos estudios demuestran que la topografía y los cañones urbanos son agentes causales de la contaminación atmosférica (Lipp, 2014), incluyendo la invasión del espacio público (Jodeh et al., 2018). De lo mencionado, Ocaña tiene una topografía con pendientes elevadas y su expansión urbana está caracterizada por edificaciones que superan los cinco metros de altura, lo cual puede originar cañones urbanos que favorecen al aumento de la concentración del material particulado. Por otro lado debido a la cultura ciudadana se presentan constantes eventos típicos de invasión del espacio público.

Los resultados de esta investigación resaltan la cultura ciudadana como uno de los principales problemas raíz que influye sobre la contaminación por material particulado en la ciudad de Ocaña. De este modo, a partir del concepto de cultura explicado por Angarita et al. (2018),



para disminuir la contaminación atmosférica por material particulado se necesitaría conocer lo conveniente de la población ocañera en diferentes circunstancias sociales y, de acuerdo a Bolaños et al., (2019), Álvarez et al. (2019), impartir en los planes de gestión ambiental y vial una gobernanza colaborativa a partir de un diálogo directo entre las partes interesadas con el propósito de mejorar la confianza, el respeto, los objetivos comunes y los procesos que se quieran impartir en la gestión de la calidad del aire. Teniendo en cuenta a Forni et al. (2019), el encuentro entre las partes mencionadas logra compartir nuevos conocimientos que en la práctica despertarían un sentido de urgencia y acción entre los actores ante las posibles eventualidades adversas que se podrían presentar si continúa el desinterés en el control de la contaminación atmosférica por material particulado. Teniendo en cuenta lo explicado por West et al. (2020), estas metodologías de participación podrían mejorar el uso de los vehículos y espacios públicos, disminuir la contaminación del aire y se tendría un impacto positivo en el control de los efectos sobre la salud respiratoria de los habitantes de la ciudad de Ocaña.

## **2.5 Conclusiones**

Los problemas que de manera constante provocan contaminación atmosférica por material particulado en la ciudad de Ocaña son las condiciones meteorológicas, la planificación vial, los incendios, la planificación ambiental, las ladrilleras artesanales, el parque automotor y la cultura ciudadana. Este último queda clasificado como el elemento más influyente sobre los demás factores, seguido del parque automotor. Así mismo, la concentración de PM10 es medianamente influyente y es el factor más influenciado por los demás factores, es decir, no es la principal causa de los efectos sobre la salud respiratoria de los habitantes de Ocaña. Al respecto, en nuestra investigación, la salud respiratoria queda catalogada como el factor más influenciado por los diferentes problemas que se relacionan con la contaminación atmosférica.

En la ciudad de Ocaña, la deficiente cultura ciudadana provoca una pésima gestión pública en el entorno ciudadano y rural. Las propuestas y campañas ambientales en el control de la contaminación atmosférica no han sido eficaces en el control del material particulado, en

parte por la presencia de la vía nacional que atraviesa la ciudad. Sumado a lo anterior, el desconocimiento de los posibles impactos adversos sobre la salud respiratoria de los habitantes implica la necesidad de mejorar la gestión de la calidad del aire a través de campañas pedagógicas eficaces, articulada con las universidades, la secretaría de salud, la secretaria de tránsito y transporte, autoridades ambientales y entes encargados del apoyo al sector campesino. Es prioritario que la comunidad conozca, comprenda y se culturice en cuanto a las decisiones que se exijan en el control vial, ordenamiento territorial, calidad del aire y salud pública.

### **3 Análisis horario de la concentración de PM2.5 y su relación con el flujo vehicular y las condiciones meteorológicas de la zona norte de Ocaña**

#### **3.1 Introducción**

A nivel mundial se ha demostrado el impacto de diferentes tipos de fuentes de emisión de PM2.5 en la calidad del aire (Yin et al., 2017; Chen et al., 2019), siendo las fuentes móviles muy relevantes (Vu et al., 2019; Skiles et al., 2018), con un impacto creciente a la medida que aumenta el parque automotor (Zhai et al., 2017). Investigaciones a nivel urbano han demostrado que el PM2.5 emitido por los vehículos alcanza a representar el 40% del total de contaminación atmosférica (Arhami et al., 2018) y sus concentraciones en la mayoría de los casos son superiores a lo exigido por diferentes gobiernos (Tao et al., 2017) sin importar que los componentes químicos de este contaminante son de alto riesgo para la salud respiratoria (Lin et al., 2020; Wang et al., 2020) y las condiciones ambientales de los entornos naturales (Abou et al., 2017).

En Colombia, el tráfico vehicular es de gran preocupación (Silva, 2020) y los estudios acerca de la emisión de PM2.5 se destacan a nivel de las grandes ciudades (Aguilar et al., 2017; Duarte et al., 2021; Malagón et al., 2020; Montagut et al., 2021). El Ministerio de Medio Ambiente reconoce que en 46 áreas, incluyendo municipios entre 50,000 y 150,000 habitantes, no se tiene implementado el seguimiento y medición de PM2.5. La ciudad de Ocaña, con una población de 100,000 habitantes aún no dispone de este tipo de mediciones por parte de las autoridades, teniendo solo mediciones de material particulado PM10, como así se ha mencionado. De todas maneras, se ha determinado con cierta claridad que la vía nacional que atraviesa la zona norte es una de las más relevantes en tráfico, especialmente de tipo pesado, registrando el paso de hasta 235 tracto-camiones por día (INVIAS, 2019). Adicionalmente, la Secretaría de movilidad y tránsito informa que en la ciudad de Ocaña ha aumentado el parque automotor, en especial las motocicletas. Los registros también reconocen que esta ciudad se ha vuelto intransitable por el alto flujo vehicular y la poca capacidad de las vías, debido a la inadecuada planificación de la infraestructura vial y sus consecuencias ambientales. Según las cifras mostradas por la Asociación Nacional de

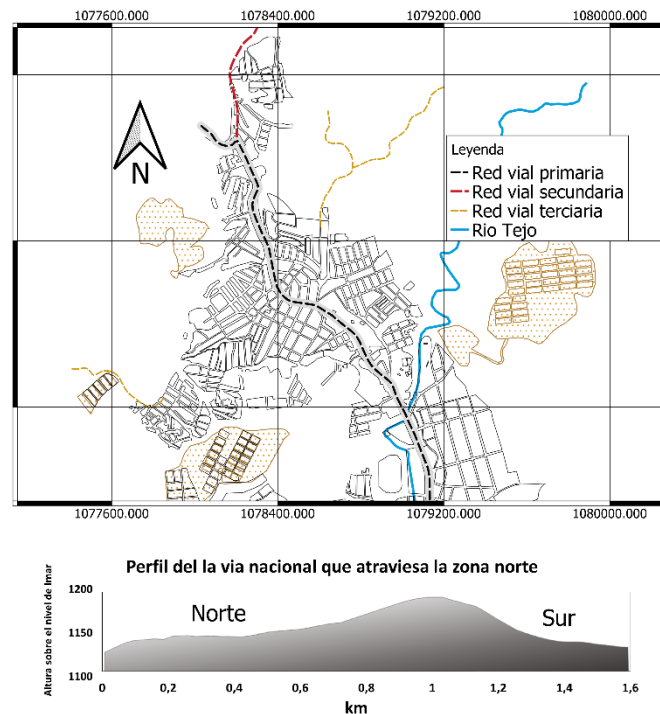
Centros de Diagnóstico Automotor, en Ocaña existe un alto porcentaje de vehículos que evaden la revisión técnico-mecánica.

El presente capítulo analiza la concentración horaria de PM2.5 en la zona norte de la ciudad de Ocaña y su relación con el flujo vehicular de la vía nacional que la atraviesa, las emisiones de los vehículos y las condiciones meteorológicas, incluyendo el análisis de la dispersión del contaminante. Los análisis se apoyaron en los modelos IVE, Envi-met3.1 y modelos de regresión lineal múltiple. Como hipótesis se determinó que el PM2.5 tiene una relación significativa con las variables mencionadas, incluyendo que, en las horas de mayor flujo vehicular, la concentración de PM2.5 aumenta.

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Perfil de la vía de la Zona de estudio

El tramo de la vía nacional que atraviesa la zona norte tiene un perfil topográfico ondulado con una distancia de 1.6 km (Figura 3.1)



**Figura 3.1.** Perfil del tramo de la vía nacional que atraviesa la Zona norte de la ciudad de Ocaña

La investigación fue de tipo cualitativo y cuantitativo. Se escogió a vía nacional que atraviesa la zona norte por ser la más transitada. El conteo de vehículos se hizo manual por hora durante cinco días con la ayuda de una filmación suministrada por el centro comercial Ciudadela Norte. La caracterización del parque automotor se hizo con visitas a parqueaderos, centros de diagnóstico vehicular, talleres de mecánica y con información secundaria facilitada por la Secretaría de tránsito y transporte, Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y empresas de transporte. Para la medición de material particulado PM2.5 se implementó un equipo automático de marca Honeywell HPMA115S0 perteneciente a la empresa RINGENIERIA. El equipo fue situado en la parte más alta de la vía, a una distancia horizontal de 6 metros y a una altura sobre el nivel del suelo de ocho metros. Los datos meteorológicos fueron obtenidos de estaciones portátiles de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y la alcaldía municipal de Ocaña. Para el análisis de patrones de conducción de los vehículos se dispuso de un GPS de marca Garmin y de repetidos viajes sobre los vehículos explicados en la tabla 1. Sin embargo, para los tracto-camiones y camiones se hicieron persecuciones para estimar los respectivos patrones.

### 3.2.2 Modelo de emisiones

Para la estimación de emisiones atmosféricas se implementó el Modelo Internacional de Emisiones (IVE por sus siglas en inglés) que se basa en las siguientes ecuaciones:

$$Q_{[t]} = B_{[t]} \cdot K_{(1)[t]} \cdot K_{(2)[t]} \cdot \dots \cdot K_{(x)[t]} \quad (1)$$

$$Q_{en\ ruta} = \sum_t \{ f_t \cdot \sum_d [ Q_t \cdot \overline{U_{FTP}} \cdot f_{[dt]} \cdot k_{[dt]} ] \} / \bar{U} \quad (2)$$

$$Q_{partida} = \sum_t \{ f_t \cdot Q_t \cdot \sum_d [ Q_t \cdot f_{[dt]} \cdot k_{[dt]} ] \} \quad (3)$$

Donde  $Q$  es el factor de emisión ajustado por cada tipo de vehículo (g/partida o en ruta g/km),  $B$  es la base de factores de emisión (g/partida o en ruta g/km),  $K$  son los factores de corrección,  $f_t$  es la fracción de viaje por tecnología específica,  $f_{[dt]}$  es la fracción de tiempo por cada tipo de conducción o fracción de tiempo *soak* por tecnología específica,  $U_{FTP}$  es la velocidad Promedio del ciclo de conducción LA4 (constante (km/h)),  $UC$  es la velocidad promedio del ciclo de conducción específico, valor ingresado por el usuario en el archivo Localidad (km/h).

En el modelo IVE se tiene en cuenta la potencia específica del motor (VPS) en kilowatts por tonelada (kW/ton) y el estrés del motor como:

$$VSP = v[1.1a + 9.81(\arctan(\sin(\text{pendiente}))) + 0.132] + 0.000302v^3 \quad (4)$$

$$\text{Pendiente} = (h_{t=0} - h_{t=1}) / v_{(t=-1 \text{ a } 0 \text{ segundos})}$$

Donde v es velocidad (m/s), a es aceleración (m/s<sup>2</sup>), y h es altitud en metros.

$$\text{Estrés del motor (sin unidades)} = \text{Índice RPM} + (0.08 \text{ ton/kW}) * \text{potencia promedio} \quad (5)$$

Donde potencia promedio es el promedio de VSPT<sub>(t=-5sec a -25sec)</sub>

$$\text{Índice RPM} = \text{Velocidad}_{t=0} / \text{divisor velocidad (sin unidades)}$$

Donde el Índice de RPM mínimo es 0.9

Para el modelo IVE, los vehículos de cuatro o más llantas se caracterizaron por el peso bruto (GVWR por sus siglas en inglés) y el cilindraje para vehículos de dos y tres llantas (Tabla 3.1). La motocicleta menor a 100cc se cataloga como vehículo ligero (lt), entre 100 cc y 300 cc como mediano (Med) y entre 300cc y 500cc como pesado (Hv).

**Tabla 3.1.** Caracterización de los vehículos

Descripción de los vehículos	Grupos
<b>Motocicletas &lt;100cc</b>	
<b>100&lt;Motocicletas &lt;300cc</b>	Motocicletas
<b>300&lt;Motocicletas &lt;500cc</b>	
<b>Vehículos GVWR &lt;2,5Ton</b>	Vehículos sedan y taxis
<b>Vehículos GVWR 2,5Ton&lt;GVWR&lt;3,3 Ton</b>	Camionetas y camperos
<b>Vehículos GVWR 3.3 Ton &lt;GVWR&lt;4.5Ton</b>	Camionetas, microbuses y busetas
<b>Vehículos GVWR 4,5 Ton &lt;GVWR&lt;7Ton</b>	Camiones pequeños
<b>Vehículos 7Ton &lt;GVWR&lt;16Ton</b>	Camiones medianos
<b>Vehículos GVWR &gt;16Ton</b>	Camiones grandes (Tracto-camiones)

Debido a las variaciones de pendientes de la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña, se hizo necesario calcular los factores de emisión en dos tramos de la vía, ubicados en la parte norte y sur de la zona de estudio. Así mismo, reconociendo que las velocidades y

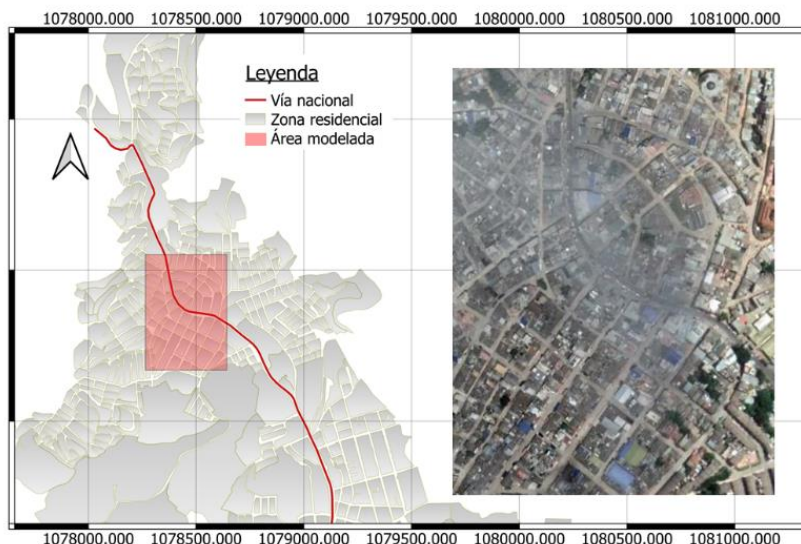
comportamiento de los vehículos en paradas y arranques son similares, se tomó un solo patrón de velocidad para el cálculo de los VSP (Anexo 4).

Para la implementación del modelo se dispuso de 4190 datos. Las encuestas de campo aportaron 150 registros de carros particulares, 30 de taxis, 100 de camionetas y camperos, 390 de motocicletas, 30 de camiones pequeños, 50 de camiones medianos y 60 de tracto-camiones. El resto de información fue suministrada por la Secretaría de Tránsito y Transporte de la región y por las empresas de transporte. Sin embargo, hubo limitaciones y cierto grado de incertidumbre en cuanto a la tecnología del parque automotor. Al respecto, parte de los datos se estimaron a partir del modelo del automóvil y la normativa colombiana, puesto que los lugares destinados para la revisión técnico-mecánica no suministraron información. Así mismo, parte de los propietarios encuestados no tenían buen conocimiento acerca de la tecnología de sus vehículos. Tampoco se dispuso de manera permanente de una persona experta en mecánica automotriz. Debido a la disponibilidad de la información, se recomienda que este tipo de trabajo se haga conjuntamente con las entidades competentes y la policía nacional.

### **3.2.3 Modelo de dispersión**

El modelo Envi-met es muy utilizado en diversas investigaciones acerca de las alteraciones atmosféricas (Rui et al., 2018) y en su práctica describe una metodología sencilla para estimar y conocer gráficamente la dispersión y concentración del material particulado (Mobarhan et al., 2019). Igualmente, Envi-met permite observar las acumulaciones de partículas en las paredes exteriores de las edificaciones y muestra valores muy cercanos a los medidos durante el día. En nuestro estudio se utilizó se aplicó este modelo sobre el área atravesada por el tramo vial que presenta mayor estancamiento vehicular ( $0.19\text{km}^2$ ) (Figura 3.2). De este modo, el primer paso de la implementación del modelo fue la delimitación del área de estudio por medio de grillas (163 grillas en el eje x y 220 grillas en el eje y), cada grilla con alto de 2.45 m y 2.27 m de ancho. Posteriormente, sobre el plano de grillas se editó la infraestructura física del lugar (Edificios, vías y zonas verdes), teniendo en cuenta sus características (tipo de pavimento, tipo de áreas verdes). Luego, en esta misma superficie de grillas se trazó la trayectoria de las fuentes móviles y se determinó la hora del día que se quiso modelar y la cantidad de emisión calculada en el modelo IVE. En este caso, se escogió la hora de mayor

emisión. En el área mencionada, las edificaciones no superan los 6 m de altura en su mayoría, la vía nacional es de asfalto, está en buen estado y carece de áreas verdes en los costados de la vía.



**Figura 3.2.** Área modelada (Imagen de Google Earth).

Para modelar la dispersión y la concentración de material particulado el software Envi-met3.1 se apoya en el siguiente modelo matemático obtenido por Bruse (2007) :

$$\frac{dX}{dt} + u \frac{dX}{dx} = v \frac{dX}{dy} + w \frac{dX}{dz} = \frac{d}{dx} \left( K_x \frac{dX}{dx} \right) + d \left( K_x \frac{dX}{dy} \right) + d \left( K_x \frac{dX}{dz} \right) + Q_{X(x,y,z)} + S_{X(x,y,z)} \quad (6)$$

Con las coordenadas cartesianas  $x_i = \{x, y, z\}$  y los correspondientes vectores de velocidad del viento  $u_i = \{u, v, w\}$ . Donde X denota la concentración de material particulado. Los procesos locales que conducen a una disminución o aumento de X, como las fuentes de contaminantes locales o la sedimentación de partículas, se incluyen explícitamente en las ecuaciones de pronóstico utilizando los términos de fuente y sumidero  $Q_X$  y  $S_X$  respectivamente.

En cuanto al estudio de relación del PM2.5 con las condiciones meteorológicas y los vehículos (Tabla 3.2) se utilizó el modelo de regresión lineal múltiple (Ecuación 7).



**Tabla 3.2.** Variables del modelo de regresión lineal múltiple

<b>Variables dependientes</b>	<b>Variables independientes</b>
<b>Concentración de PM2.5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	Humedad relativa (%)
	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
	Velocidad del viento (km/h)
	Precipitación (mm)
	Dirección del viento (Grados)
	Total de vehículos

*Todas las variables fueron analizadas en términos de cantidad por hora.*

$$C_{\text{PM2.5}} = \alpha + \beta_1 \cdot H + \beta_2 \cdot V + \beta_3 \cdot T + \beta_4 \cdot P + \beta_5 \cdot \text{Vehículos} \quad (7)$$

Donde  $C_{\text{PM2.5}}$  es la concentración de material particulado,  $\alpha$  es el intercepto con el eje,  $\beta$  determina el coeficiente parcial de cada una de las variables,  $P$  es la precipitación,  $H$  es la humedad relativa,  $V$  es la velocidad del viento y  $T$  es la temperatura ambiente.

### 3.3 Resultados

Sobre la vía nacional que atraviesa la zona norte de la ciudad de Ocaña transitan 40,778 vehículos/día. El conteo de los cinco días mostró un flujo de 93,442 vehículos de norte a sur y 92,712 vehículos de sur a norte. El domingo tuvo una reducción de hasta 10,290 vehículos (Figura 3.3A, B). Por tipo de vehículo, la motocicleta y motocarga representa el 68%. Del total de estos dos tipos de transporte, la motocarga representó el 0.66%. Los carros y taxis un 18%, las camionetas y jeeps un 7%, los microbuses un 3%, los camiones pequeños un 2% y los camiones medianos en conjunto con los tracto-camiones un 2%. Los niveles máximos de flujo vehicular se producen entre las 07:00 y 08:00 horas, las 11:00 y 14:00 horas y entre las 18:00 y 17:00 horas. El lunes mostró el máximo flujo vehicular, con 2,963 automóviles/hora, especialmente entre las 18:00 y las 19:00. El jueves mostró el mínimo flujo con 64 automóviles/hora entre las 00:00 y las 02:00. La concentración de PM2.5 mostró los mínimos valores con los niveles máximos de flujo vehicular, baja humedad relativa, alta temperatura ambiente y altas velocidades de viento. Por el contrario, entre las 00:00 y las 07:00 horas, cuando la humedad relativa alcanza los máximos valores y los demás factores meteorológicos disminuyen, el PM2.5 aumenta. Adicionalmente, en las figuras 3c y d se observa que la concentración de PM2.5 disminuye durante episodios de lluvia y altas velocidades de viento. Por otro lado, los días viernes y sábado tuvieron la concentración de PM2.5 superior a lo

exigido por la norma colombiana en 24 horas ( $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En la mayoría de los casos el  $\text{PM}_{2.5}$  se diluyó de oriente a occidente (Figura 3.3E).

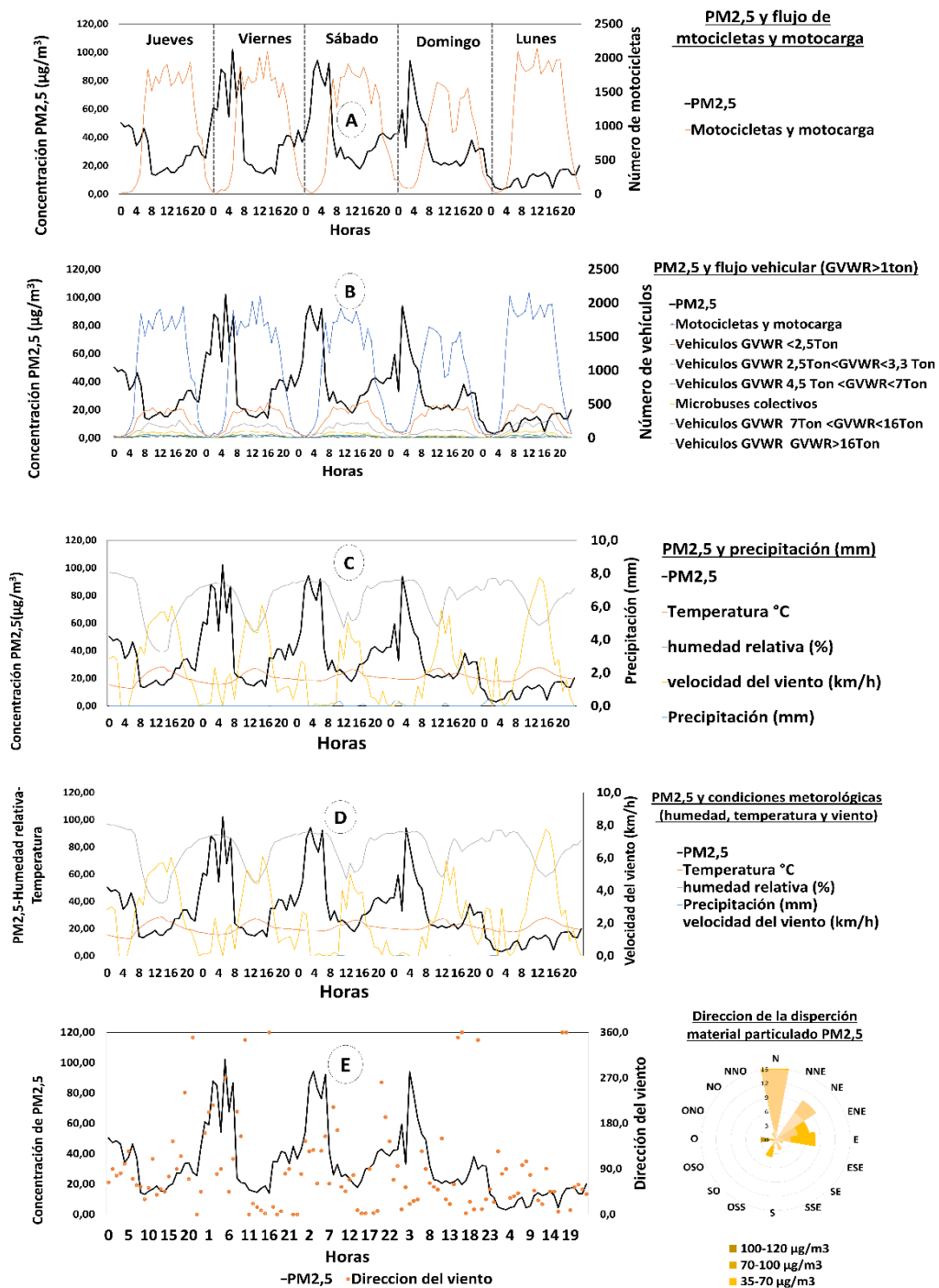
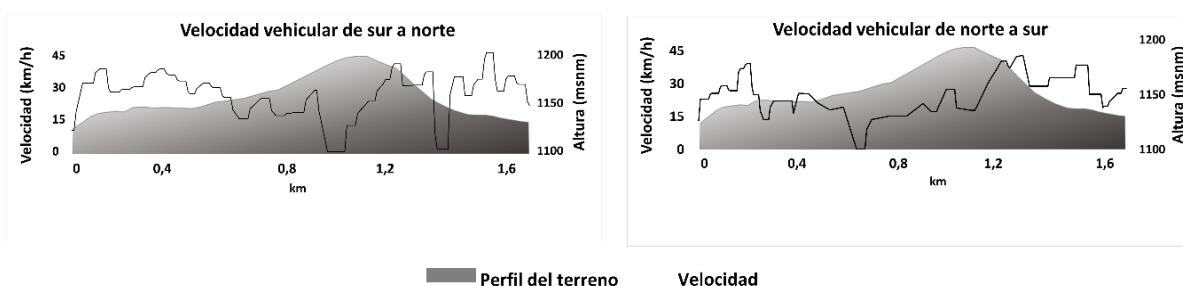


Figura 3.3. Flujo vehicular, concentración de  $\text{PM}_{2.5}$  y condiciones meteorológicas.

La cantidad de vehículos que fluye en ambos sentidos es igual para las todas categorías, excepto para los tracto-camiones que de sur a norte superaron en 256 vehículos/día al tránsito de norte a sur. Los resultados muestran diferencias significativas entre los volúmenes de tránsito de las diferentes categorías vehiculares (Tabla 3.3). En el periodo del día comprendido entre las 07:00 horas y las 20:00 horas, los vehículos sufren constante estancamiento, con una velocidad promedio de 23 km/h en ambos sentidos y una velocidad máxima de 40 km/h (Figura 3.4). En el periodo mencionado, cualquier vehículo tarda entre 4 y 6 minutos en recorrer toda la vía.



**Figura 3.4.** Velocidad de vehículos que transitan por la vía de la zona norte de Ocaña

**Tabla 3.3.** Análisis de las diferencias entre las categorías vehiculares con un intervalo de confianza de 95%. Método de Tukey

Categoría	Medias				
N-S Motocicletas	525.45	A			
S-N Motocicletas	524.37	A			
N-S Vehículos GVWR <2,5Ton	95.858	B			
S-N Vehículos GVWR <2,5Ton	78.625	B	C		
S-N Vehículos GVWR 2,5Ton<GVWR<3,3 Ton	58.967		C	D	
N-S Vehículos GVWR 2,5Ton<GVWR<3,3 Ton	52.325			D	
S-N Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	21.738				E
N-S Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	20.317				E
N-S Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	12.2				F
S-N Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	11.292				F
N-S Vehículos 7Ton <GVWR<16Ton	10.8				F
S-N Vehículos GVWR >16Ton	10.13				F
S-N Vehículos 7Ton <GVWR<16Ton	9.8				F
N-S Vehículos GVWR >16Ton	4.08				G

Las tecnologías de los vehículos que transitan en la zona norte de Ocaña es variada. Las motocicletas que tienen la tecnología de dos ciclos y cuatro ciclos -full inyección (FI) representan el menor porcentaje y el mayor porcentaje las de cuatro ciclos con carburador

(Tabla 3.4). La mayoría de vehículos, camionetas y vehículos de cargas tiene sistema de control de emisiones a nivel de exhosto e inyección de combustible.

**Tabla 3.4** Tecnología de los vehículos analizados.

Tipo de vehículos	Combustible	Tamaño	Control combustible	Control exhosto	Edad	Fracción cantidad de vehículos (%)
<b>Motocicletas</b>	Gasolina	lt	2-cycle	Ninguno	0-25kkm	1
		lt	4-cycle, carb	Ninguno	0-25kkm	3
		lt	4-cycle, carb	Ninguno	26-50kkm	4
		med	4-cycle, carb	Ninguno	0-25kkm	24
		med	4-cycle, carb	Ninguno	26-50kkm	28
		med	4-cycle, carb	Ninguno	>50kkm	16
		lt	4-cycle, FI	Catalizador	0-25kkm	3
		lt	4-cycle, FI	Catalizador	26-50kkm	4
		med	4-cycle, FI	Catalizador	0-25kkm	16
<b>Carros particulares GVWR &lt;2,5Ton</b>	Gasolina	lt	Multi-Pt FI	Catalizador	80-161kkm	31
		lt	Multi-Pt FI	Catalizador	>161kkm	52
		lt	Multi-Pt FI	Catalizador	<79kkm	17
<b>Taxis GVWR &lt;2,5Ton</b>	Gasolina	lt	Multi-Pt FI	Catalizador	>161kkm	100
<b>2,5Ton&lt;GVWR&lt;3,3 Ton</b>	Gasolina	med	Carb	Ninguno	>161kkm	4
	Gasolina	med	FI	Catalizador	<79kkm	16
	Diesel	med	Dir-Inj	Catalizador	80-161kkm	36
	Gasolina	med	FI	Catalizador	>161kkm	45
<b>3.3 Ton &lt;GVWR&lt;4.5Ton</b>	Diesel	med	FI	Euro II	>161kkm	100
<b>4,5 ton &lt;GVWR&lt;7Ton</b>	Diesel	lt	FI	Euro IV	>161kkm	20
		lt	FI	Euro II	80-161kkm	80
<b>7Ton &lt;GVWR&lt;16Ton</b>	Diesel	Me	Dir-inj	Ninguno	>161kkm	100
<b>GVWR &gt;16Ton</b>	Diesel	Hv	FI	Euro II	>161kkm	100

**Lt: Ligerio; Med: Mediano; Hv: Pesado; FI: Full inyección; Multi-Pt FI: Inyección de combustible multipunto; GVWR: Peso bruto por sus siglas en inglés; Dir-inj: Inyección directa; Carb: Carburador.**

En cuanto a las emisiones de PM2.5 (Tabla 3.5, Anexo 4) y de acuerdo con la figura 3.4, es necesario tener en cuenta que los factores de emisión hallados pueden variar con los cambios continuos de la velocidad vehicular. De todas maneras, con lo hallado se observó que la menor cantidad de gramos por kilómetro recorrido lo provocan las motocicletas y el mayor valor los vehículos con un peso bruto mayor a 16 ton (Tabla 3.5). No obstante, debido a la cantidad de motocicletas, estas producen la mayor cantidad de emisiones durante el día y la menor cantidad los microbuses. El total de emisiones de los cinco días de análisis fue de 52,3 kg, de los cuales las motocicletas representaron el 41%, los camiones medianos y tracto-

camiones el 28%, las camionetas y camperos el 19%, los colectivos el 8%, los taxis, los carros sedan el 2%, los camiones pequeños el 2%. El viernes y el domingo presentaron la mayor y menor emisión de PM2.5 respectivamente, mientras que el lunes a las 18:00 horas tuvo la emisión más alta, con un valor de 822.3 g. En general, entre las 07:00 y las 20:00 horas, la zona norte de Ocaña tiene emisiones vehiculares de PM2.5 entre los 700 y 900 g/h

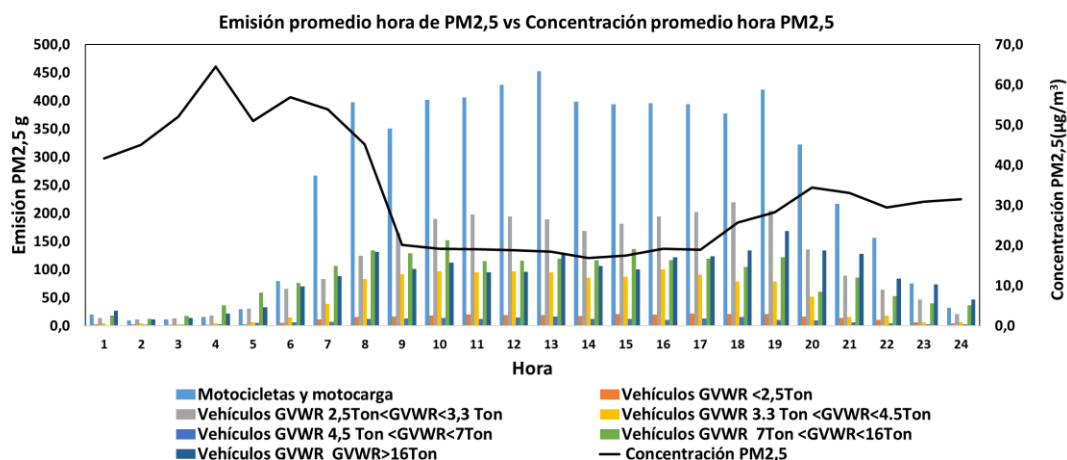


Figura 3.5. Emisión promedio hora de PM2.5 y Concentración promedio hora PM2.5

Tabla 3.5 Factores de emisión calculados

Tipo de vehículo	Fe (g/*veh)	
	N-S	S-N
Motocicletas	0,2	0,22
Vehículos GVWR <2,5Ton	0,0101	0,0101
Vehículos 2,5Ton<GVWR<3,3 Ton	0,07	0,15
Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	1,04	1,11
Vehículos 4.5 Ton <GVWR<7Ton	0,47	0,51
Vehículos 7 Ton <GVWR<16Ton	3,47	3,72
Vehículos GVWR>16Ton	4,67	5,01

En el modelo de dispersión aplicado para la hora con mayor emisión se incluyeron los siguientes valores meteorológicos: humedad relativa de 74.17%, temperatura 22,5°C y velocidad del viento de 2.7 km/h con dirección 10 grados noreste. De los resultados obtenidos se observa que, a una altura de 0.8 m sobre el nivel del suelo, la velocidad del viento disminuye y aumentan las concentraciones de PM2.5 y para alturas superiores aumentan las

velocidades del viento y disminuye la concentración del contaminante (Figura 3.5). Igualmente se observa que en partes donde las edificaciones interrumpen el flujo de partículas se elevan las concentraciones de PM2.5. Por otro lado, la dilución del PM2.5 se dirige hacia los barrios situados en el occidente de la vía nacional y, por su cercanía, a los barrios Galán y Santa Clara presentan las mayores concentraciones.

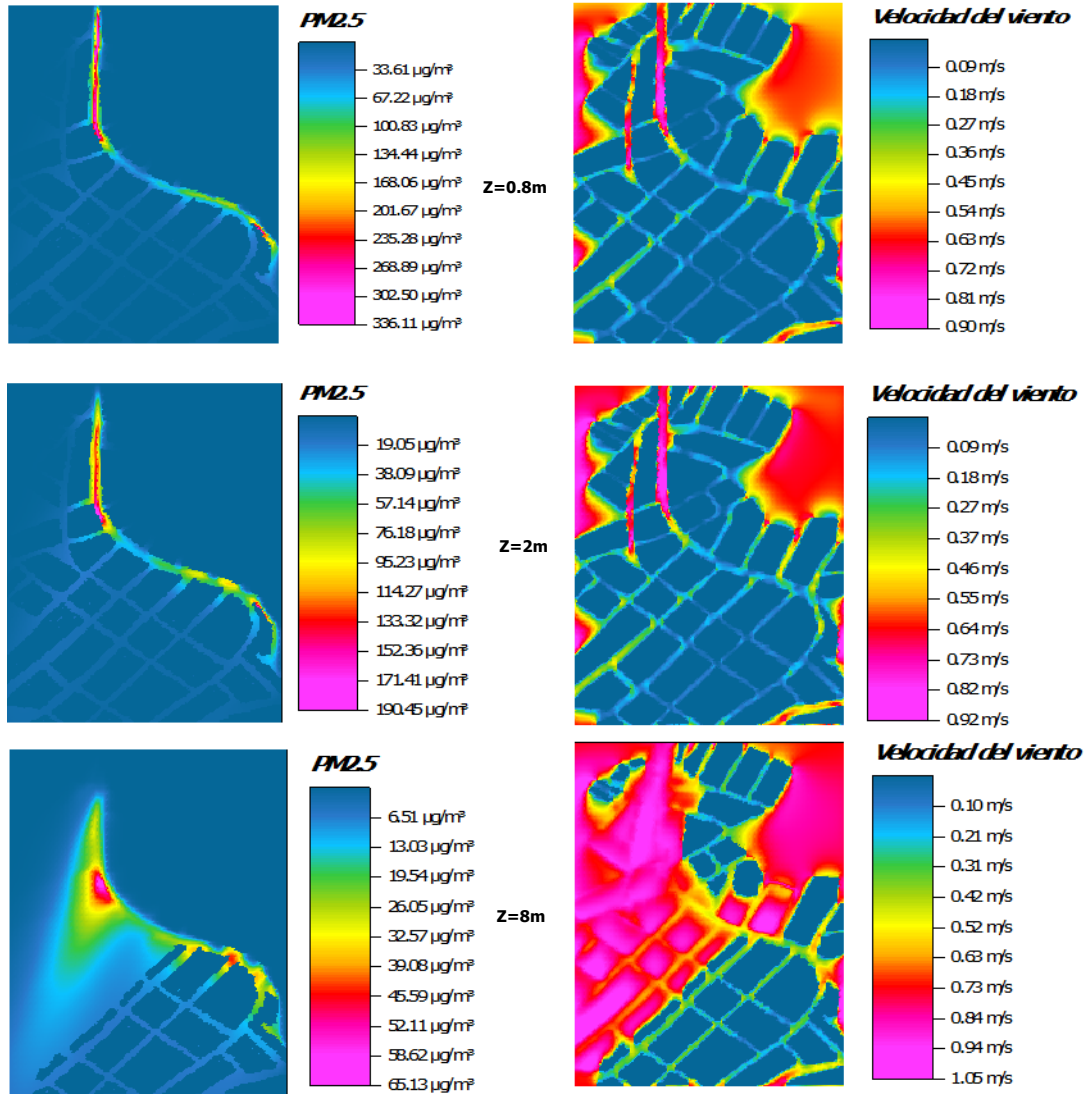


Figura 3.6. Modelo de dispersión de PM2.5

El análisis de regresión lineal realizado para los cinco días cinco días con  $R^2$  de 0.3 mostró correlaciones significativas de la concentración horaria de PM2.5 con las variables temperatura (-0.517), humedad relativa (0.492), velocidad del viento (-0.487) y total de vehículos (-0.497). Las correlaciones de estas variables aumentaron cuando se excluyó el día

con precipitaciones en las horas de la madrugada, alcanzando valores de  $-0.640$ ,  $0.632$ ,  $-0.596$  y  $-0.633$  respectivamente. En los dos casos, solamente los vehículos tuvieron significancia ( $t < 0.05$ ) en la variación de la concentración de PM<sub>2.5</sub> (Tabla 3.6).

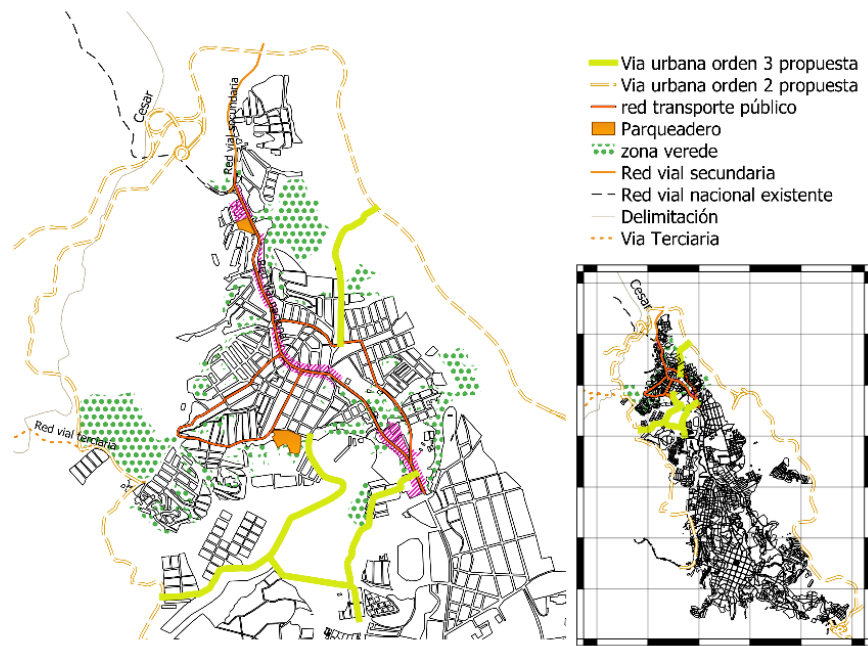
**Tabla 3.6. Modelos de regresión lineal.**

Ecuación	R <sup>2</sup>
$PM_{2,5} = 78,63 - 1,49 T - 0.025 H - 1,89 V - 0.0051 Vehículos$ (8)	0.3
$PM_{2,5}^* = 80,65 - 1,54 T + 0.0615 H - 2,237 V - 0.0064 Vehículos$ (9)	0.5
<i>* No se incluyó el día que tuvo precipitación en las horas de la madrugada</i>	

### 3.4 Discusión

El flujo de vehículos en la zona norte de la ciudad de Ocaña es mayor en horas del día y el mayor tráfico lo producen las motocicletas, de acuerdo a las figura 3.4A. Estudios recientes demuestran que este comportamiento también es típico de grandes ciudades (Ramos et al., 2017; Osorio et al., 2015). De acuerdo con el estudio de la Universidad Francisco de Paula Santander y la secretaria de movilidad y tránsito, el flujo es más alto que el de la comuna 1 (zona comercial) y los demás lugares de Ocaña. Una de las posibles causas de este comportamiento es el tráfico flotante (Aletta et al., 2020). En el área de estudio es evidente este tipo de tráfico procedente de poblaciones cercanas (p.ej., municipio de Río de Oro Cesar, corregimiento Aguas Claras, municipio de Convención), pertenecientes al departamento de Norte de Santander y otras partes de Colombia. De este modo, dependiendo de la capacidad de la vía y la planeación vial (Sanchez et al., 2021), esto podría provocar frecuentes trancones en el flujo de vehículos (Ramamoorthy et al., 2020). En nuestra investigación fue notoria la baja velocidad y las sucesivas paradas para cualquier tipo de vehículo. En la experiencia se observó que los microbuses urbanos causan muchas de estas paradas, mientras que los vehículos de cargar pesada generan un tránsito lento. Varios estudios han demostrado que estos comportamientos vehiculares provocan alta contaminación por material particulado (Vallesi et al ,2017; Ojeda, 2018). De manera oficial se expone que la malla vial de la ciudad está muy limitada en cuanto a su capacidad debido a la discontinuidad en los corredores viales e infraestructura inadecuada, geometría inadecuada, fuertes pendientes, radios de giro insuficientes, ausencia de señalización y semaforización (Alcaldía municipal de Ocaña,

2015). Estas características son típicas de ciudades intermedias (Ochoa et al., 2021), aunque se planteen soluciones (Salazar y Pachón, 2018). En el caso de Ocaña, el concejo municipal institucionalizó el día sin carro y el pico y placa (Decreto 60 del 22 de octubre de 2018) y se han proyectado variantes viales (figura 3.6). Hasta el momento no se ha materializado lo referente a las vías y en las propuestas no se han integrado análisis de la calidad del aire.



**Figura 3.6.** Plan maestro de movilidad (elaborado con datos de la Alcaldía municipal de Ocaña, 2015)

De acuerdo a datos oficiales publicados por el Ministerio de Transporte (2018), lo propuesto podría aumentar el parque automotor y el consumo de combustible. Lo explicado por Tong et al. (2020) y Chen et al. (2019) demuestra que esto posibilitaría el aumento de las emisiones de PM<sub>2.5</sub>, sus concentraciones y su influencia en la salud de los habitantes. Aunque lo que se propone en Ocaña se aísla de zonas residenciales, existe la posibilidad de que lugares cercanos a la vía proyectada sean invadidos y poco controlados, de manera similar a lo descrito por varias investigaciones en ciudades intermedias de Colombia (Benavides et al., 2018; Bejarano 2016; Araujo, 2018 y Morón et al., 2019) y muy parecido a lo observado en nuestro estudio. Análogo a lo investigado por Suarez et al. (2020), los tramos de la vía nacional que atraviesa la zona norte están invadidos por actividades comerciales y sitios de



parqueo, evadiendo lo establecido en los decretos 2770/1953 y 1228/2008. Según Mani et al. (2020), el estancamiento del flujo vehicular es otra causa de las elevadas emisiones de PM<sub>2.5</sub>, especialmente en horas pico. Los resultados de esta investigación describen algo similar para la zona norte de Ocaña. No obstante, como también lo han demostrado otras investigaciones (Li et al., 2017), las altas velocidades del viento en la zona de estudio provocan mayor dilución del PM<sub>2.5</sub>. Wan et al. (2018) y Buccolieri et al. (2018) muestran que, a pesar de que estas condiciones son favorables, la concentración del contaminante mencionado se puede elevar a bajas alturas del suelo debido a la obstaculización de edificaciones y la recirculación del viento. Así mismo, de acuerdo a Amato et al. (2014), Martins et al. (2018) y Carrion et al. (2019), el PM<sub>2.5</sub> emitido por fuentes móviles puede filtrarse en las edificaciones e igualarse a las concentraciones exteriores dependiendo de su ventilación natural, ventilación mecánica, flujos de entrada y salida de aire, resuspensión de partículas asentadas inducida por el movimiento de los habitantes de la vivienda, entre otros. De la figura 3.6 se detalla que, sobre las calles de los barrios Galán y Santa Clara, el PM<sub>2.5</sub> proveniente de la vía nacional se diluye a una altura inferior de dos metros con concentraciones que oscilan entre los 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Por otro lado, la figura 3.3D muestra que, a pesar de que en las horas de la madrugada hubo el menor flujo de vehículos, la concentración de PM<sub>2.5</sub> mostró los máximos valores. Según Hu et al. (2021) y Kakareka y Salivonchyk. (2020) esto posiblemente ocurrió por las bajas velocidades del viento entre las 16:00 horas y las 06:00 horas, acompañado de una posible inversión térmica que en efecto produce una acumulación de PM<sub>2.5</sub>. De ello se colige que posiblemente el mayor efecto sobre la salud respiratoria lo tienen las personas que trabajan y circulan sobre la vía y los barrios mencionados.

Las metodologías implementadas en esta investigación permitieron conocer el impacto ambiental que provocan los vehículos sobre la zona norte de Ocaña y al mismo tiempo abren las puertas para otras investigaciones. Se reconoce que hubo vacíos en la toma de datos, por tal razón se hace necesario que la secretaria de tránsito y transporte local haga un mayor esfuerzo en el acompañamiento de los estudios del parque automotor con el fin de facilitar las investigaciones de apoyo a los respectivos entes territoriales. De acuerdo a lo explicado por Wen et al. (2019), Wren et al. (2018) y Larson et al. (2017) esto permitirá optimizar los cálculos de los factores de emisión ajustados al contexto de la región con el fin de mejorar las alternativas de control. Además, teniendo en cuenta las conveniencias socioeconómicas

de la población es importante que este tipo de autoridades proponga estrategias de control en el tránsito de motocicletas y tracto-camiones que transitan de sur a norte puesto que en esta dirección este tipo de carga pesada fluye en mayor cantidad y según los resultados es el que mayores tasas de emisión provoca. Por otro lado, el equipo utilizado para medir el PM2.5 fue apropiado para la toma de registros en intervalos cortos, sin interrupciones en la medición. Hong et al. (2021) recomienda utilizarlo para análisis de exposición personal, identificar puntos críticos e incluso en redes de monitoreo de calidad del aire. Es importante que la autoridad ambiental de Ocaña tenga en cuenta esta recomendación. Si bien, para ciudades intermedias se exige como mínimo medir PM10 con equipos manuales estandarizados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (Ministerio de Medio Ambiente, 2010), se reconoce que esta medición supera el costo de inversión en comparación con el dispositivo utilizado en esta investigación. De este modo, es conveniente que las autoridades ambientales y de tránsito vehicular de Ocaña tengan un trabajo conjunto con las universidades o centros de educativos de investigación de tal manera que se coopere en la creación o ensamblaje de estos dispositivo y establecimiento de modelos que en efecto sean más oportunos en el control de la contaminación atmosférica por material particulado y sus efectos.

### **3.5 Conclusiones**

En la zona norte de Ocaña, las motocicletas representan el mayor porcentaje de movilidad sobre la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña (68%) y, a pesar de que muestran uno de los factores de emisión más bajos (0.2g/vehículo), por su cantidad son los vehículos que más emiten PM2.5, seguidos de las camionetas, tracto camiones, camiones grandes, microbuses, camiones pequeños y carros de pasajeros

La zona norte de Ocaña presenta promedios de concentraciones de PM2.5 a 24 horas superiores a la norma ( $37\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y tiene una relación directa con la humedad ( $p < 0.05$ ) e inversa con la temperatura, la velocidad del viento y los vehículos que transitan por la vía nacional. En ausencia de lluvia, la concentración de PM2.5 empieza a elevarse a partir de las 15 horas, alcanzado los valores pico en la madrugada, con concentraciones que superan los

100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  debido a una acumulación de contaminante por velocidades del viento muy bajas ( $<1$  km/h) y las demás condiciones meteorológicas.

La infraestructura urbana situada en los costados de la vía nacional retiene la dispersión del PM2.5 y sobre sectores del área comercial adyacente a la vía produce altas concentraciones ( $>150$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Por otro lado, las concentraciones disminuyen hacia las zonas residenciales alejadas de la vía por efectos de la dispersión, sin embargo, pueden presentarse altas concentraciones de PM2.5 dentro de las casas ( $>33$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) por efectos de filtración, acción acumulativa y bajas velocidades del viento.

## **4 Incidencia del PM10 y factores meteorológicos sobre la ocurrencia de infecciones respiratorias agudas de la zona norte de Ocaña**

### **4.1 Introducción**

El crecimiento poblacional en las urbes modernas provoca un aumento en la contaminación atmosférica y a su vez, un impacto en la salud respiratoria de los seres humanos (Han y Qian, 2017). Diferentes investigaciones concluyen que debido a las emisiones por fuentes móviles estas alteraciones son muy comunes en personas que viven cerca de las vías y son pocas las medidas de mitigación que se tienen (Gabbe et al., 2019). Así mismo, la concentración de material particulado PM10 y PM2.5 es una de las principales causas de este tipo de problemas siendo los niños los más afectados (Mahapatra et al., 2020)

Las metrópolis de Colombia registran correlaciones significativas del PM2.5 con las muertes de tipo cardiovascular y pulmonar (Hernandez et al., 2020). De los mencionado se destaca que en la mayoría de los casos, los estudios sobre los efectos del material particulado se concentran en las grandes ciudades de Colombia sin tener en cuenta que las ciudades intermedias pueden presentar iguales efectos (Rodríguez, 2018). Al respecto, Ocaña se ha ubicado en el segundo lugar del departamento de Norte de Santander, Colombia, con más episodios de IRA, donde, el 34% pertenecieron a los grupos etarios menores de 5 años (IDS, 2019). De igual forma, de acuerdo los registros del Hospital Emiro Quintero Cañizares Ocaña, la zona norte de Ocaña es una de las que presenta mayores casos de IRA en la ciudad y, aunque no tienen un estudio oficial preciso sobre sus causas, argumentan que posiblemente esto se presenta por la afluencia de población flotante desde Venezuela y otras ciudades de Colombia, así como por eventos culturales, flujo local de personas y condiciones climáticas. Sin embargo, aparte de la investigación local mencionada acerca de la relación PM10-IRA (Contreras, 2017) otro estudio obtuvo muestras de medición de PM10 tomadas de la zona norte encontró hongos relacionados con enfermedades respiratorias (Cuello et al., 2017).

El presente capítulo analiza la relación que tiene el PM10 con el PM2.5 y determina el grado de afectación de este contaminante sobre la salud respiratoria de los habitantes de la zona

norte de Ocaña, teniendo en cuenta la clasificación por género de las respectivas visitas hospitalarias y el desfase semanal de los registros mensuales de las respectivas consultas médicas. Igualmente, describe la incidencia de las condiciones meteorológicas y su grado de correlación con las IRA y el material particulado. Como hipótesis, este estudio determina que las condiciones meteorológicas y la concentración de PM10 y PM2.5 en la zona norte son estadísticamente significativas en la ocurrencia temporal de las infecciones respiratorias agudas.

## **4.2 Metodología**

### **4.2.1 Población y muestra**

La población de estudio comprendió todos los casos de IRA de la zona norte registrados en todos los centros médicos de Ocaña y la muestra fueron todos los casos de IRA por semana, edad y barrio registrados en el hospital Emiro Quintero Cañizares de Ocaña entre mayo de 2018 y septiembre de 2019. La información de concentración de material particulado PM10, comprendida entre los años mencionados, fue suministrada por la red de monitoreo de calidad del aire (Convenio Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y la Corporación Autónoma de la Frontera Nororiental). En esta red se manejó un equipo manual de alto volumen de marca Tisch Environmental durante un tiempo de medición de 24 horas cada tres días. Los datos meteorológicos se adquirieron de las estaciones automáticas portátiles de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña (UFPSO) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). La información demográfica de la zona norte de Ocaña proviene del censo del 2018 hecho por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Aparte de los efectos respiratorios del material particulado sobre grupos etarios caracterizados por edad, género y barrio también se tuvo la intención de involucrar el tipo de enfermedad, pero no fue posible debido a que en ese ámbito los reportes suministrados no fueron completos. Si bien se conocieron registros, estos no fueron continuos. Por otro lado, por motivos de privacidad y obedeciendo a lo estipulado en la ley 23/1981 no se mencionan datos personales y direcciones de aquellos que sufrieron IRA.

#### 4.2.2 Modelos estadísticos

La investigación que se implementó fue de tipo cuantitativo. De esta manera, Teniendo en cuenta varios estudios (Quintana et al., 2020), para el análisis de correlación de PM2.5 y PM10 se implementó un modelo de regresión lineal simple de la forma:

$$PM2.5 = \alpha + \beta * PM10 \quad (1)$$

Donde  $\beta$  es la pendiente de la recta que determina cuánto cambiará el PM2.5 por día y PM10 es el promedio del material particulado medido en 24 horas.

Para cada uno de los contaminantes el modelo se calibró con 21 mediciones hechas durante los meses de febrero y abril del año 2021. La muestra de PM2.5 se tomó con un equipo automático de marca Honeywell perteneciente a la empresa R INGENIERÍA en conjunto con la medición de concentración de PM10 medida por la red de monitoreo de calidad del aire.

En esta investigación primero se relacionó el promedio mensual de PM10 con el promedio mensual de las variables climáticas (tabla 4.1), aplicando un análisis de regresión lineal múltiple (Ecuación 2). Teniendo en cuenta que los valores de PM10 obtenidos no muestran largos periodos de secuencias diarias de concentraciones elevadas, para hallar la relación IRA-PM10 se implementó el modelo de regresión lineal según lo recomendado por el software AirQ+ y otras investigaciones (Piniche y Cortez, 2020; Ningrum et al., 2020). Así reconociendo que los factores meteorológicos influyen en las IRA (Liu et al., 2018) al igual que el PM10, como también lo factores climáticos sobre el PM10, se aplicó el modelo de regresión lineal simple para las correlaciones significativas entre los casos de IRA y el PM10 (Ecuación 3, ecuación 4 y ecuación 6), teniendo en cuenta las variables mostradas en la Tabla 4.2. En estas mismas condiciones, se les aplicó el mismo análisis de regresión para casos de IRA relacionados significativamente con algún factor meteorológico.

**Tabla 4.1.** Relación de variables de modelación de PM10

<b>Variable dependiente</b>		<b>Variable independiente</b>	
<b>Variable</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Variables</b>	<b>Unidad de medida</b>
PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Humedad	Porcentaje (%)
		Precipitación	mm
		Velocidad del viento	km/h

*La variable precipitación indica el total de precipitación mensual.*

$$PM10 = \alpha + \beta_1 * H + \beta_2 * P + \beta_3 * V \quad (2)$$

Donde PM10 indica es el promedio mensual de material particulado,  $\beta$  son los coeficientes parciales de cada una de las variables, H es el porcentaje promedio de humedad, P es el total de precipitación mensual, V es el promedio mensual de velocidad del viento y  $\alpha$  es el intercepto con el eje del PM10.

**Tabla 4.2.** Variables que relacionan el PM10 con las IRA.

Variable dependiente		Variable independiente	
Variable	Unidad de medida	Variabes	Unidad de medida
IRA por edad	Número de Casos	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
IRA por barrio	hospitalarios	Humedad relativa	%
		Precipitación	mm
		Velocidad del viento	km/h

$$IRA_{t+n} = \alpha + \beta * (PM10) \quad (3)$$

$$IRA_{t+n} = \alpha + \beta * (H) \quad (4)$$

$$IRA_{t+n} = \alpha + \beta * (P) \quad (5)$$

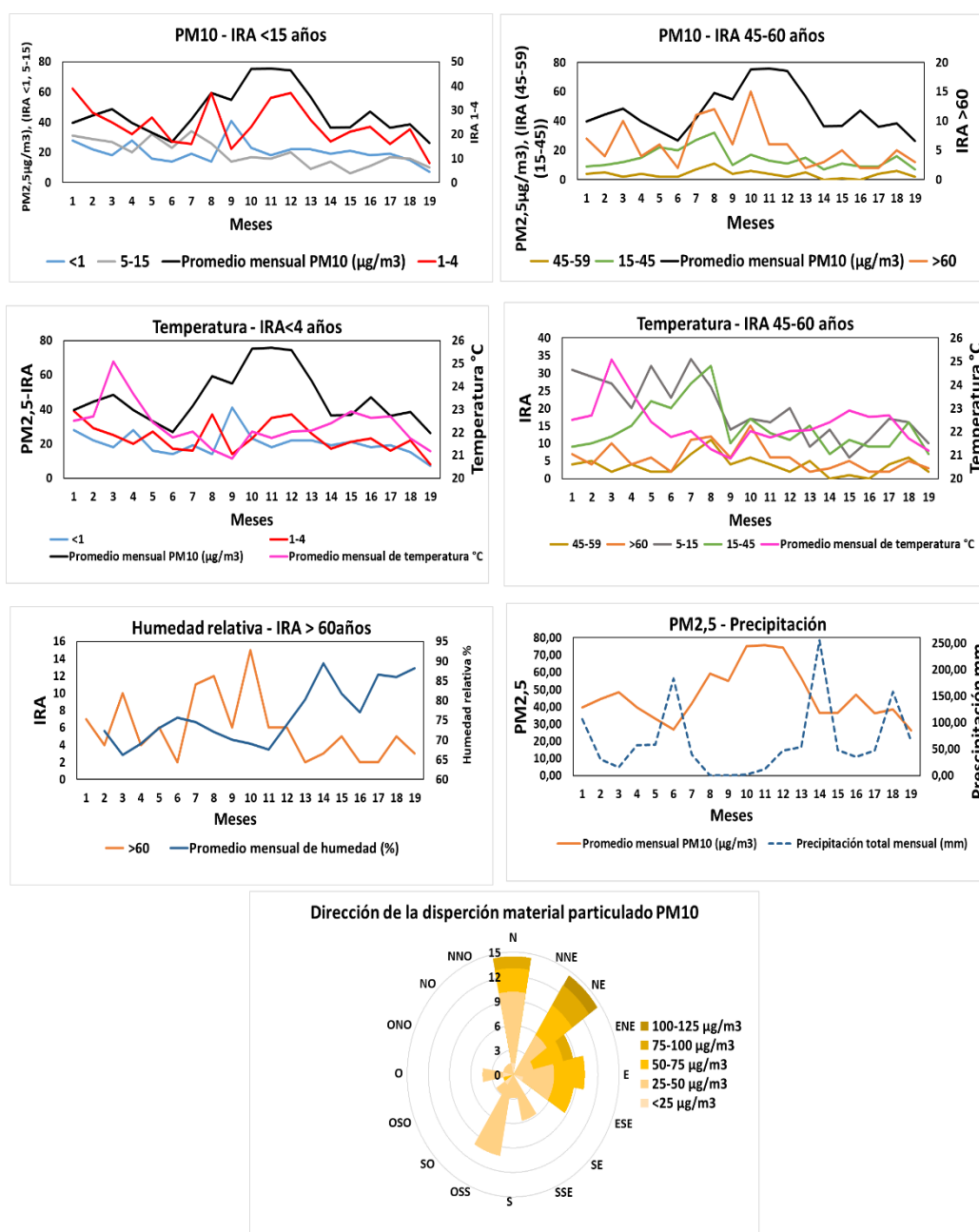
$$IRA_{t+n} = \alpha + \beta * (V) \quad (6)$$

Donde PM10 indica el promedio mensual de concentración de PM10,  $\alpha$  es intercepto con el eje y, y n indica el desfase de semanas entre los promedios mensuales.

### 4.3 Resultados

Entre mayo de 2018 y septiembre de 2019 la zona norte de Ocaña tuvo un promedio de 46.99  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM10. Este valor no superó lo exigido por la normativa colombiana (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sin embargo, en el mes de abril, categorizado en esta investigación como el mes 11, el promedio mensual alcanzó valores superiores a los 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 4.1, Anexo 9), por encima del máximo permisible en 24 horas (70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Durante el periodo de análisis se registró una temperatura promedio de 22.3 °C, Humedad de 73%, precipitación total de 1,112 mm, y velocidad promedio del viento de 7.8 km/h. De acuerdo con la dirección del viento, en la mayoría de los casos el PM10 viajó de oriente a occidente y la mayor concentración se dispersó de nororiente a suroccidente. Cuando la humedad, la velocidad del viento y la precipitación disminuyeron, la concentración de PM10 aumentó. En cuanto a las IRA, el periodo analizado mostró un total de 1,662 casos hospitalarios (Anexo 10). Para ese periodo

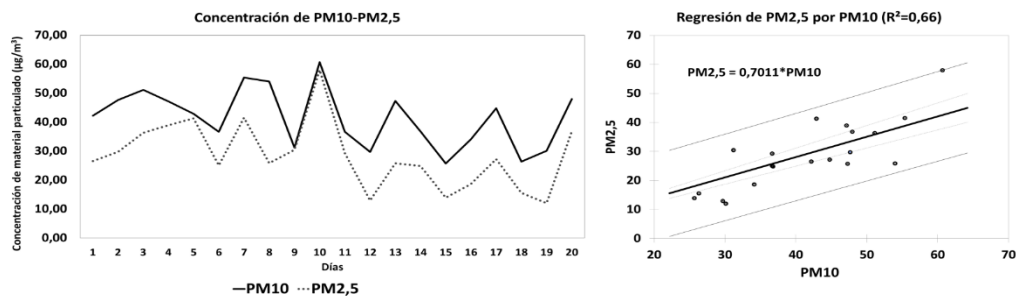
esta comuna estuvo en el tercer lugar de casos hospitalarios de IRA cuyo valor representó el 14.68% del total de casos registrados en Ocaña. Teniendo en cuenta el censo del DANE 2018, la relación IRA/habitante de la zona norte fue de una persona enferma por cada 12 habitantes, de los cuales, el 51.5% correspondió a las personas menores de 5 años. El grupo etario entre uno y cuatro años mostró un comportamiento similar al de la concentración de PM10



**Figura 4.1.** Casos hospitalarios de IRA por edad, concentración de PM2.5 y condiciones meteorológicas en Ocaña.



Como resultado del comportamiento del PM10 y del PM2.5, en algunos días el PM2.5 tuvo valores muy similares al PM10 como también diferencias de hasta  $28.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , así mismo, durante cuatro días las concentraciones alcanzaron valores superiores a los permitidos en 24 horas ( $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En cuanto al análisis de regresión (Figura 4.2, Anexo 8), las variables mostraron una relación promedio de PM2.5/PM10 igual a 0.668, un coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) de 0.812 con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.66



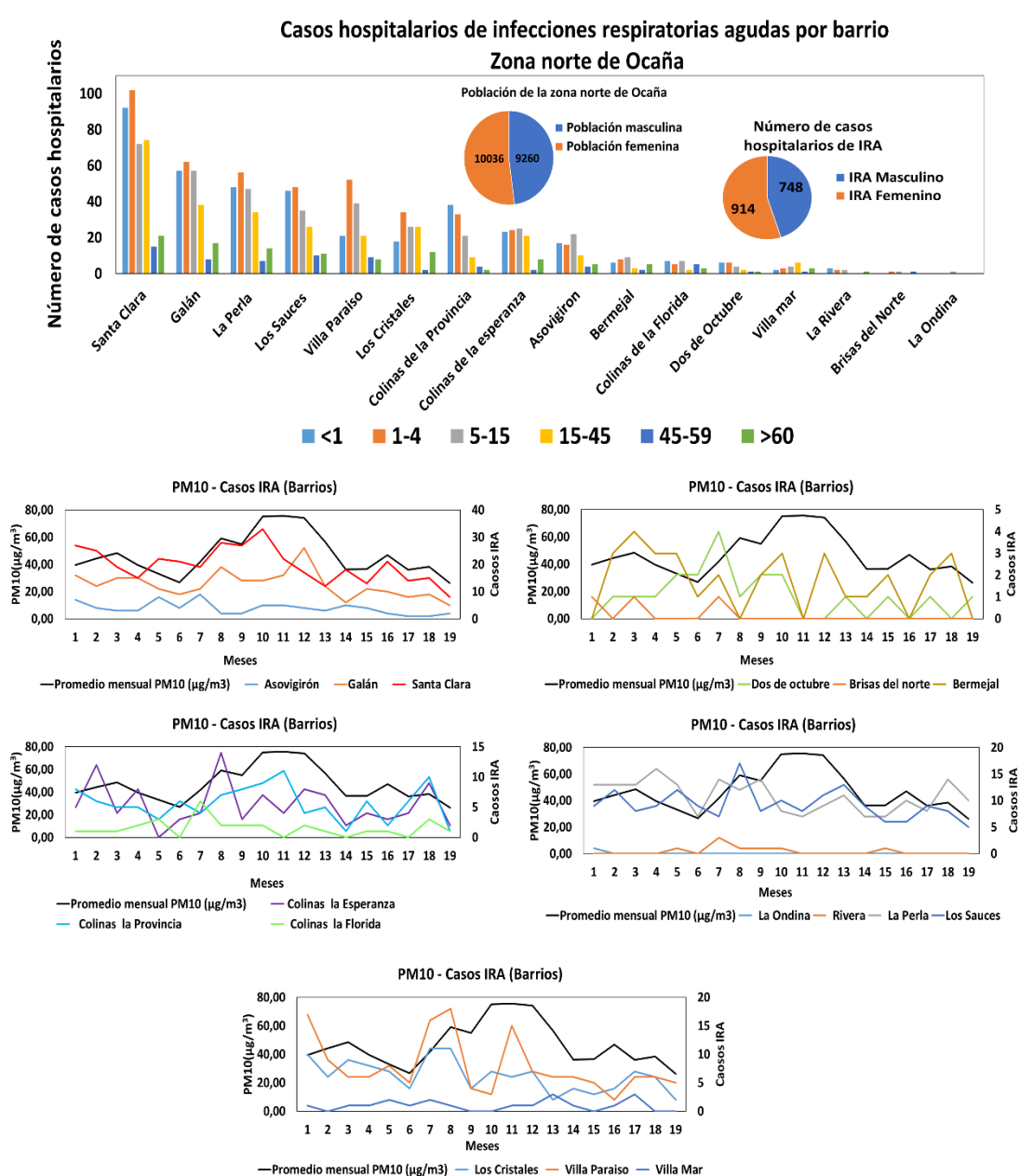
**Figura 4.2.** Regresión lineal. PM2.5/PM10

La modelación de regresión lineal múltiple (Ecuación 7) entre las variables PM10 y condiciones meteorológicas muestra que el 67.9% de variabilidad del contaminante es influenciada por las variables explicativas velocidad del viento, precipitación y humedad relativa, con coeficientes estandarizados de  $-0.563$ ,  $-0.323$  y  $-0.397$  respectivamente. Así mismo, entre las respectivas variables independientes tan solo hubo correlación directa significativa entre la humedad y la precipitación ( $0.623$ ). En el modelo hallado, se observó el valor  $t < 0.05$  para cada una de las variables explicativas, lo cual indica que son significativas en la variación del PM10.

$$PM10 = 140.96 - 3.18*(V) - 0.074*(P) - 0.39*(H) \quad (7)$$

Del total de casos hospitalarios de IRA, el género femenino de la zona norte de Ocaña mostró más casos hospitalarios. En la distribución de IRA por barrios (Figura 4.3, Anexo 10), el barrio Santa Clara presentó el mayor número de casos y el barrio la Ondina el menor número. Igualmente se evidencia que los gráficos de los barrios Galán y Santa Clara mostraron semejanza con el gráfico que explica la variación de material particulado. También se

observa que estas localidades alcanzaron el máximo número de casos de IRA con baja humedad, velocidad del viento y precipitación.



**Figura 4.3** Casos hospitalarios de IRA por barrio en la zona norte de Ocaña.

Con lo explicado en la figura 4.3, los barrios Santa Clara, Brisas del Norte y la Ondina tuvieron diferencias significativas con los demás barrios de la zona. Los barrios se representan en 8 grupos según sus semejanzas en el número de casos (tabla 4.3).

**Tabla 4.3.** Análisis de las diferencias entre barrios con un intervalo de confianza de 95%.  
Método de Tukey

CATEGORÍA	GRUPOS				
SANTA CLARA	A				
GALÁN	B				
LA PERLA	B	C			
LOS SAUCES		C	D		
VILLA PARAÍSO		C	D	E	
LOS CRISTALES			D	E	F
COLINAS DE LA PROVINCIA				E	F
ASOVIGIRÓN				F	G
COLINAS DE LA ESPERANZA				F	G
BERMEJAL				G	H
COLINAS DE LA FLORIDA				G	H
2 DE OCTUBRE				G	H
VILLA MAR				G	H
RIVERA				H	I
DOS DE OCTUBRE				H	I
BRISAS DEL NORTE					I
LA ONDINA					I

El género femenino presentó correlaciones de IRA directas significativas con la temperatura en los barrios Bermejál ( $R=0.498$ ) y Brisas del Norte ( $R=0.473$ ). No obstante, por la poca cantidad de casos mensuales de IRA, la temperatura no representa influencias significativas en la variación de los respectivos casos hospitalarios ( $t<0.05$ ). Las condiciones en el barrio Colinas de la Florida fueron similares, con una correlación inversa significativa con la humedad. El barrio Galán tuvo una correlación directa significativa con el PM10 ( $R=0.669$ ) e inversa significativa con la humedad ( $R=-0.596$ ). Para esta localidad, en la regresión lineal simple el PM10 fue significativo con las IRA y, de acuerdo con el  $R^2$ , el 39.7% de variabilidad de este tipo de enfermedad puede ser explicado por el PM10 (Tabla 4.4, Ecuación 8). El barrio Santa Clara presentó una correlación directa significativa con el PM10 (0.516) y una correlación inversa significativa con la precipitación (-0.504) y la humedad (-0.689). Posteriormente, con totales mensuales de IRA con un desfase de una semana, los mismos barrios mantuvieron índices de correlación significativos con menor valor y poca variación en los respectivos índices. Para el total mensual de IRA con dos semanas de desfase

sólo el barrio Galán mantuvo su correlación significativa con la humedad relativa (Tabla 4.4, Ecuación 11). En este mismo período el barrio Colinas de la Provincia presentó una correlación inversa significativa con la temperatura (Tabla 4.4, Ecuación 13). Los demás barrios pertenecientes a la zona norte de Ocaña no tuvieron correlaciones significativas entre las IRA de género femenino, el material particulado y las condiciones climáticas.

**Tabla 4.4.** Modelo de regresión lineal de IRA por barrio. Sexo femenino

Ecuación	R <sup>2</sup>	r	t
<i>IRA Barrio Galán.</i> $= 0,38 + 0,13 * PM10$ (8)	0.395	0.669	<0.05
<i>IRA Barrio Santa Clara.</i> $= 4,715 + 0,11 * PM10$ (9)	0.235	0.516	<0.05
<i>IRA Barrio Galán.</i> $_{(t+1)} = 0,74 + 0,12 * PM10$ (10)	0.305	0.552	<0.05
<i>IRA Barrio Galán.</i> $_{(t+2)} = 32,10 - 0,33 * H$ (11)	0.445	-0.667	<0.05
<i>IRA Barrio Santa Clara.</i> $_{(t+1)} = 4,29 + 0,12 * PM10$ (12)	0.239	0.489	<0.05
<i>IRA Barrio Colinas de la Provincia.</i> $_{(t+2)} = 25,22 - 0,98 * T$ (13)	0.290	-0.538	<0.05

Para el género masculino, el análisis de regresión simple mostró al Barrio Asovigirón con una correlación inversa significativa con la humedad (-0.576) con R<sup>2</sup> de 0.332 y un valor t<0.05 (Tabla 4.5, Ecuación 14). El barrio Galán tuvo una correlación directa significativa con el PM10 (0.551) e inversa con la precipitación (-0.521) y la humedad (-0.476) y en el modelo de regresión simple, el PM10 tuvo significancia en la variación de las IRA (Tabla 4.5, Ecuación 15). De forma semejante el barrio Los Sauces tuvo una correlación directa significativa con el PM10 (0.624) (Tabla 4.5, Ecuación 16) e inversa significativa con la humedad (-0.588).

**Tabla 4.5.** Modelo de regresión lineal de IRA por barrio. Sexo masculino

Ecuación	R <sup>2</sup>	r	t
<i>IRA Barrio Asovigirón</i> $= 10,18 - 0,11 * H$ (14)	0.332	-0.576	<0.05
<i>IRA Barrio Galán</i> $= 0,88 + 0,11 * PM10$ (15)	0.288	0.551	<0.05
<i>IRA Barrio Los Sauces</i> $= 0,63 + 0,077 * PM10$ (16)	0.388	0.624	<0.05
<i>IRA Barrio Asovigirón</i> $_{(t+1)} = 9,0 - 0,099 * H$ (17)	0.351	-0.592	<0.05
<i>IRA Barrio Galán</i> $_{(t+1)} = 0,5 + 0,11 * PM10$ (18)	0.231	0.480	<0.05
<i>IRA Barrio Los Sauces</i> $_{(t+1)} = 0,39 + 0,080 * PM10$ (19)	0.369	0.607	<0.05
<i>IRA Barrio Santa Clara</i> $_{(t+1)} = 27,19 - 0,24 * H$ (20)	0.223	-0.472	<0.05

Con respecto al total mensual de IRA con un desfase de una semana, los barrios mencionados tuvieron poca variación en los índices de correlación, excepto que, para el barrio Galán solamente se mantuvieron las variables PM10 y la humedad relativa. Adicionalmente, el barrio Santa Clara tuvo una correlación significativa inversa con la humedad. Posteriormente, en las IRA total mensual con un desfase de dos semanas solamente el barrio Santa Clara mostró una correlación inversa significativa con la precipitación (-0.203). Sin embargo, en

el modelo de regresión el  $R^2$  presentó un valor muy bajo (0.043) y la variable explicativa no mostró significancia en la variación de las IRA ( $t > 0.05$ ). Al igual que en el género femenino, los demás barrios no presentaron correlaciones significativas con el PM10 y las condiciones climáticas.

En cuanto a las IRA mensuales contemporáneas a las mediciones de PM10, las personas entre uno y 15 años mostraron índices de correlación significativos con el PM10 (Tabla 4.6, Ecuación 21) y la humedad relativa (Tabla 4.6, Ecuación 22) respectivamente, así como los mayores de 60 años con el PM10 (Tabla 46, Ecuación 23). El total de IRA mensual con desfase de una semana mantuvo la misma significancia de correlaciones con tendencia a elevar los valores con el PM10 y, para el total mensual de IRA con dos semanas de desfase solamente las personas entre uno y cuatro años mantuvieron una correlación significativa con el PM10 y la humedad. De los modelos de regresión lineal simple, las variables mencionadas tuvieron significancias en la variación de las IRA. Así mismo, en la zona norte de Ocaña, solamente los casos de IRA de las edades de las personas mencionadas en la tabla 4.6 describieron correlaciones significativas con el PM10 y las condiciones climáticas.

**Tabla 4.6.** Modelo de regresión lineal de IRA por edad. Sexo femenino

Ecuación	$R^2$	r	t
$IRA(1-4) = 3,47 + 0,19 * PM10$ (21)	0.447	0.669	<0.05
$IRA(5-15) = 29,70 - 0,27 * H$ (22)	0.319	-0.565	<0.05
$IRA(>60) = -0,40 + 0,082 * PM10$ (23)	0.216	0.474	<0.05
$IRA(1-4)_{(t+1)} = -0,15 + 0,26 * PM10$ (24)	0.476	0.690	<0.05
$IRA(5-15)_{(t+1)} = 27,97 - 0,25 * H$ (25)	0.263	-0.513	<0.05
$IRA(>60)_{(t+1)} = -0,24 + 0,079 * PM10$ (26)	0.271	0.520	<0.05
$IRA(1-4)_{(t+2)} = 1,6 + 0,22 * PM10$ (27)	0.477	0.720	<0.05

Con respecto al género masculino, 210 casos hospitalarios de IRA de niños menores de un año presentaron correlación positiva significativa con el PM10 (0.502), 218 casos de niños entre uno y cuatro años tuvieron correlación positiva significativa con el PM10 (0.523) (Tabla 4.7) e inversa significativa con la velocidad del viento (-0.471), 85 casos de IRA de personas entre 15 y 45 años describieron una correlación significativa con la humedad y 44 casos de IRA de personas mayores de 60 tuvieron una correlación inversa significativa con la precipitación y la humedad (-0.476 y -0.515). En lo relacionado con la regresión lineal simple, el PM10 y la humedad relativa demuestran tener influencia significativa sobre las IRA del tipo personas mencionadas.

**Tabla 4.7.** Modelo de regresión lineal de IRA por edad. Sexo masculino

Ecuación	R <sup>2</sup>	r	t
$IRA(15-45) = 14,57-0,133*H$ (30)	0.213	-0.462	0.046
$IRA(>60) = 12,839-0,138*H$ (31)	0.265	-0.515	0.029
$IRA(>60) = 3,19-0,0138*P$ (32)	0.227	-0.476	0.039
$IRA(<1)_{(t+1)} = 3,73+0,14*PM10$ (33)	0.217	0.466	0.044
$IRA(>60)_{(t+1)} = 3,19-0,0138*P$ (34)	0.283	-0.568	<0.0001
$IRA(15-45)_{(t+1)} = 18,9-0,19*H$ (35)	0.271	-0.521	0.022
$IRA(>60)_{(t+1)} = 12,34-0,13*H$ (36)	0.264	-0.514	0.024

De forma selectiva de casos de IRA por edad y barrio, solamente el total de los niños entre uno y cuatro años de los barrios Galán y Santa Clara tuvieron una correlación significativa con el PM10 (tabla 4.8). En el barrio Galán los casos mensuales hospitalarios de IRA de estos grupos mantuvieron las correlaciones significativas con el PM10 hasta con cuatro semanas de desfase. Santa Clara sólo tuvo correlaciones significativas sin desfases y con el total del mes posterior (cuatro semanas de desfase). En comparación con el barrio Santa Clara, es importante resaltar que el barrio Galán mostró mayores correlaciones.

**Tabla 4.8.** Modelo de regresión lineal de IRA por edad. Barrio Galán y Santa Clara

Barrio	Ecuación	R <sup>2</sup>	r	t
Galán	$IRA(1-4)_{(t+1)} = -0.822+0,086*PM10$ (37)	0.222	0.469	0.043
	$IRA(1-4)_{(t+2)} = -2.30+0,1155*PM10$ (38)	0.389	0.624	0.004
	$IRA(1-4)_{(t+3)} = -3.40+0,1355*PM10$ (39)	0.436	0.661	0.001
	$IRA(1-4)_{(t+4)} = -2.688+0,1196*PM10$ (40)	0.356	0.597	0.009
Santa Clara	$IRA(1-4)_{(t+4)} = 1.44+0,0775*PM10$ (41)	0.307	0.554	0.017

#### 4.4 Discusión

El ministerio de Medio Ambiente de Colombia considera buena la calidad del aire cuando el promedio anual de PM10 es menor que  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Al respecto, investigaciones en varias ciudades concluyen que están cumpliendo con dicho parámetro. Sin embargo, se debe tener presente la excedencia que puede existir en el periodo analizado (Espinosa y Franco, 2019). En nuestra investigación, el promedio de todas las mediciones fue inferior al valor exigido, pero hubo promedios mensuales superiores que demuestran la existencia de concentraciones más altas que las normatizadas dentro de los promedios de 24 horas ( $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que inciden en los casos hospitalarios de IRA registrados en las semanas posteriores. En algunos casos, estos aumentos de concentración de material particulado se dan directa o inversamente con las condiciones climáticas (Biglari et al., 2017). En nuestro caso, la humedad, el viento y la

precipitación tuvieron una correlación inversa con el PM10, especialmente el viento. Del modelo obtenido, es significativo reconocer la confiabilidad para determinar el promedio mensual de concentración de PM10 a partir de las condiciones meteorológicas, pero no se podría utilizar para estimar los posibles eventos futuros de tipo horario, diario o semanal. Al respecto, es recomendable hacer mediciones temporales en intervalos más cortos. Así mismo, es necesario tener en cuenta otros factores locales tales como la presencia de invasiones y proyectos urbanísticos cercanos a la zona de estudio y los incendios forestales (Uttajug., 2021).

Por otro lado, de acuerdo a otros estudios (Phillips et al., 2021), también es probable que el alto nivel de concentración se deba al flujo vehicular con ausencia de control que transita por la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña. Se sabe que el parque automotor desprende partículas finas (PM2.5) que también se pueden interpretar como PM10 (Mani et al., 2020). En nuestra investigación, la correlación PM2.5/PM10 muestra la alta contribución que puede tener este tipo de fuentes sobre la contaminación atmosférica por material particulado. Es importante resaltar que el modelo lineal hallado sirve para estimar el PM2.5 a partir de los datos suministrados por la red de monitoreo de calidad del aire local y para evaluar el comportamiento de las fuentes mencionadas con sus efectos sobre la salud de los habitantes de la zona norte. Al respecto, el estudio demuestra una correlación significativa del PM10 con los casos hospitalarios de IRA, especialmente de personas menores a cinco años, con más predominancia en grupos etarios femeninos. Desde lo fisiológico se ha concluido que posiblemente esto ocurra por múltiples factores, por ejemplo, la constitución de los pulmones más pequeños que el de los niños, con dificultad para adaptarse a concentraciones de PM2.5 (Putri y Susanna, 2019). Inclusive, el hospital de Ocaña expone que es por causa de la interacción entre niños contagiados, por descuido de los padres, por eventos religiosos de semana santa y otros eventos culturales que provocan alta aglomeración de población local y visitantes de otras ciudades. No obstante, otra posible causa es el tipo de combustible utilizado (Tipanluisa et al., 2017). Según informes oficiales, en Ocaña, por ser zona de frontera con Venezuela, es frecuente el tráfico ilegal de gasolina y ACPM (Pabón, 2019) y, según los conductores de la región, es combustible de mala calidad.

La dirección de dispersión del PM<sub>2.5</sub> emitido a nivel de exhosto por fuentes móviles y la ubicación de los receptores también influyen en las IRA (Kakareka y Salivonchyk, 2020). Los resultados de esta investigación muestran que el material particulado se concentra en la vía nacional y se diluye en mayor proporción hacia el occidente de la respectiva vía. Al respecto, los barrios Santa Clara y Galán se encuentran en esa dirección y presentaron los mayores casos de IRA con correlaciones significativas con el PM<sub>10</sub>. Investigaciones demuestran que los niños pueden ser los más afectados (Nascimento, et al., 2020). De acuerdo a los registros oficiales de Bienestar Familiar en la zona norte se cuidan 533 niños menores de cinco años, distribuidos en 28 hogares comunitarios en el barrio Santa Clara y 13 en el barrio Galán. Aunque para estos barrios las niñas con estas edades no mostraron una correlación significativa con el PM<sub>10</sub>, en conjunto, los dos géneros sí presentaron las respectivas correlaciones. Por otra parte, se ha confirmado que los adultos mayores también son los más afectados por la contaminación por material particulado (Feng et al., 2019). En nuestro estudio se observó que las mujeres mayores de 60 años presentaron correlaciones significativas con este contaminante. Para este grupo de personas, esto puede ocurrir por problemas fisiológicos innatos o adquiridos (Liu et al., 2019). No obstante, semejante a lo sucedido con los niños, la ubicación residencial de estas personas también puede influir en la alta correlación con el PM<sub>10</sub>. El DANE (2018) indica que en el occidente de la vía nacional existe mayor población de personas mayores de 60 años, especialmente en los barrios mencionados. Adicionalmente, varios estudios demuestran que estos impactos en la salud respiratoria pueden persistir varios días (Ferrero et al., 2019). En nuestro caso quedó demostrado que el efecto del PM<sub>10</sub> sobre la salud respiratoria de los habitantes puede permanecer por varias semanas, en especial sobre infantes entre uno y cuatro años.

En cuanto a las condiciones meteorológicas, sin tener una correlación simultánea con el material particulado u otro factor climático, solamente su influencia se observó con la humedad y la temperatura. Al respecto, se ha confirmado que la eficiencia de transmisión de IRA aumenta cuando existen variaciones de humedad y temperatura (Mansour et al., 2020). En nuestro caso de estudio no se puede determinar si el efecto se deba solamente a las variables nombradas, puesto que los dos factores climáticos pueden incidir sobre las IRA de las personas (Byrne y O’Gorman, 2018) y sobre el material particulado que eventualmente produce más IRA. Igualmente, es importante conocer el lugar y el tiempo de permanencia de



este grupo de personas (Rodrigues et al., 2021), es decir, es probable que residan en la zona norte pero su trabajo está en lugares externos con menos contaminación por material particulado y, en efecto, las alteraciones en la salud sean por los factores climáticos nombrados. En este sentido, a pesar de que los impactos en la salud provocados por los factores climáticos mencionados persisten sobre los promedios mensuales de IRA con una semana de desfase, es necesario hacer un estudio más selectivo que permita identificar el efecto independiente de cambios meteorológicos y los contaminantes atmosféricos.

Con lo hallado acerca de los grupos de personas y barrios que presentaron IRA y no tuvieron relación con el material particulado y las condiciones meteorológicas es importante tener en cuenta que las aglomeraciones de la población puede causar dichos efectos (Santos et al., 2019). En esta investigación se observa que las altas concentraciones del material particulado y sus efectos ocurren en periodos de eventos religiosos y culturales de la ciudad de Ocaña. Los eventos de migración e inmigración también pueden ser situaciones causantes de las IRA (Houston et al., 2020). La secretaria de salud local puntualiza que desde Venezuela y algunos lugares de Colombia llegan al hospital de Ocaña niños y personas con este tipo de problemas. Según la entidad nombrada, parte de esta población reside de forma temporal en la zona norte con escasez de alimentos y vivienda. Adicionalmente, de acuerdo a lo mencionado por Isabel Molina et al. (2021), el desplazamiento de las personas dentro de una ciudad puede incidir en las infecciones respiratorias agudas. Un estudio realizado por la secretaria de planeación de la ciudad de Ocaña detalla que la zona norte es muy concurrida por su alta actividad comercial y terminales de transporte.

Por otro lado, esta investigación muestra un número significativo de personas que no tuvieron IRA. Es probable que los eventos de IRA se presentaron, pero no alcanzaron la gravedad necesaria para acudir al hospital. A nivel mundial, investigaciones demuestran que esta capacidad es por su sistema inmune innato (Johnston, 2021). También es posible que las personas que viven en la zona norte trabajen en lugares de Ocaña con menos concentración de contaminantes atmosféricos. De acuerdo a la alcaldía de Ocaña, la comuna uno es un área que se caracteriza por sus fuentes de empleo y, según la red de monitoreo de calidad del aire mencionada, presenta menos concentración de PM10 que la zona norte de Ocaña. De lo explicado, es recomendable hacer visitas *in situ* para conocer de forma detallada el

comportamiento socio económico y cultural de la zona norte y su relación con las IRA y su exposición a contaminantes atmosféricos y condiciones meteorológicas.

De los modelos hallados, a pesar de tener bajos valores de  $R^2$ , los valores  $t < 0.05$  de las variables independientes demuestran su significancia en la variabilidad de las IRA. Al respecto, Minitab blog Editor (2019) en su página web explica lo siguiente: “...*La gráfica con R-cuadrado bajo muestra que incluso datos ruidosos y de alta variabilidad pueden tener una tendencia significativa. La tendencia indica que la variable predictora proporciona información acerca de la respuesta a pesar de que los puntos de datos se ubican más lejos de la línea de regresión...*” Conjuntamente, es importante mencionar que estudios científicos tomados como referentes bibliográficos en nuestro trabajo de investigación describen valores  $R^2$  bajos, por ejemplo, Sahanavin et al. (2018), en su estudio acerca de la relación del PM2.5 y las fuentes móviles, reconoce los  $R^2$  que oscilan entre los 0.4 y 0.2. Lo mismo se observa en investigaciones de Cao et al, (2018) y Biancofiore et al, (2017). Es recomendable continuar con el mejoramiento de modelos matemáticos y científicos de este tamaño. Incluso, sería necesario tomar parte de los datos suministrados en esta investigación de tal forma que surjan nuevos aportes científicos en Ocaña y sirva de apoyo a otras ciudades intermedias de Colombia.

En este trabajo fue oportuna información suministrada por las instituciones competentes que, en efecto, cumplen con los protocolos vigentes. Esto permitió conocer las concentraciones de material particulado y facilitó la demostración puntual de las influencias de los factores y fuentes de emisión propias de la ciudad de Ocaña. Sin embargo, los registros hospitalarios no fueron claros en la identificación de los tipos de IRA. Esto evitó detallar los estudios de correlación al respecto. Es recomendable que los centros médicos de Ocaña registren este tipo de información de tal manera que las partes interesadas puedan profundizar los análisis. Por otro lado, el equipo electrónico de PM2.5 fue adecuado en la adquisición datos y a su vez recomendado para redes de monitoreo de calidad del aire, sin embargo, es apropiado que la autoridad competente utilice equipos certificados por la EPA según lo sugerido por la Resolución 2254/2017 o, igual que otros municipios (López, 2020), implemente dispositivos validados a partir del apoyo científico y de forma oportuna socialice oficialmente los resultados con la población, para que de manera conjunta con la secretaría de tránsito y la

secretaría de salud pública, haya una cooperación en la solución de picos de IRA por causa del material particulado emitido principalmente por fuentes móviles.

#### 4.5 Conclusiones

En la zona norte de Ocaña, el 66% de material particulado PM10 está significativamente representado por el PM2.5. Por la cercanía de las mediciones, las fuentes móviles tienen una representativa incidencia sobre la concentración de PM10. Así mismo, las variaciones de la concentración de PM10 dependen del viento, la precipitación y la humedad. Por otro lado, es importante mencionar que el promedio anual de PM10 no superó los límites permitidos, por lo que el PM2.5 en principio tampoco estuvo por fuera de la norma.

En cuanto a las IRA se concluye que el material particulado PM10 no es influyente sobre la salud respiratoria de todos los barrios de la zona norte de Ocaña. Tan solo el 47% del total de los casos hospitalarios de IRA analizados (4% de la población total de la zona norte de Ocaña), representados por los barrios Galán, Santa Clara y Los Sauces, demostraron una correlación significativa con el PM10 pero con una baja influencia en la variabilidad de los casos totales de IRA femeninos ( $R^2$  entre 0.22 y 0.395,  $p < 0.05$ ) y masculinos ( $R^2$  entre 0.22 y 0.369). Sin embargo, con 162 casos hospitalarios de IRA se demuestra que los menores de edad entre uno y cuatro años de los barrios Santa Clara y Galán pueden ser los más vulnerables ante la variabilidad de la concentración del PM10 ( $R^2$  entre 0.304 y 0.436,  $p < 0.05$ ). Del total de casos de la zona norte categorizados por grupos etarios se evidencia que el PM10 aumenta su influencia sobre las niñas ( $R^2$  entre 0.44 y 0.47,  $p < 0.05$ ), cuya representación fue del 14% del total de casos de IRA y el 1.23% de la población de la zona estudiada. Existen épocas del año donde las condiciones meteorológicas favorecen el aumento de las concentraciones de PM10 ( $> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a 24 horas) y en efecto producen picos de casos hospitalarios de IRA en niños entre uno y cuatro años.

Al igual que con el material particulado, sólo los barrios Asovigirón, Galán y Santa Clara mostraron una relación significativa con la humedad, aunque los coeficientes de determinación demuestran una baja influencia en la variabilidad de las IRA ( $R^2$  entre 0.22 y 0.351). Por otro lado, el barrio Colinas de la Provincia muestra una correlación significativa

entre las bajas temperaturas y las IRA. No obstante, este factor meteorológico también comprueba tener poca influencia en la variabilidad de las IRA ( $R^2=0.29$ ). Igualmente, es determinante que las condiciones meteorológicas no tienen correlación significativa con los grupos etarios analizados. Tan solo el 11% y el 5% del total de los casos IRA representados por mujeres entre cinco y 15 años y hombres entre 15 y 45 años, demostraron que puede existir una correlación significativa con la humedad relativa, pero con poca influencia sobre las respectivas variaciones de salud ( $R^2$  entre 0.213 Y 0.351). Igualmente ocurre con la precipitación ( $R^2$  entre 0.22 y 0.264). En conjunto, con los factores meteorológicos resaltados, es importante mencionar la dirección y la velocidad del viento, puesto que, a pesar que no mostraron relevancia en el modelo de regresión lineal, el modelo gráfico nos permite concluir que, los mayores casos hospitalarios de IRA en la zona norte de Ocaña ocurren hacia donde se dirige la dispersión del PM10, en especial los barrios más cercanos a la vía nacional, es decir, los casos de IRA están influenciados por el material particulado emitido por fuentes móviles. El efecto persiste en periodos relativamente largos, y con una influencia mayor que los factores meteorológicos. Por lo tanto, el material particulado es uno de los factores de la zona norte de Ocaña que puede alcanzar un alto nivel de infección respiratoria, pudiéndose catalogar como otro agente causal de situaciones críticas de hospitalización y gasto público municipal.

Los comportamientos económicos y socioculturales del área de estudio y zonas aledañas contribuyeron en los efectos adversos de la salud respiratoria de los residentes de la zona de estudio que acudieron al hospital. Así mismo, aunque la zona norte de Ocaña mostró un porcentaje relevante de personas que no acudieron al respectivo centro médico, no se puede descartar que sufrieron posibles alteraciones respiratorias causadas por los factores discutidos especialmente por el material particulado y las condiciones climáticas.

## 5 Conclusiones generales

Tras los diferentes tipos de análisis implementados en esta investigación se puede concluir que el marco teórico, las metodologías e información primaria y secundaria fueron elementos propicios para obtener resultados ajustados al contexto de la región, confirmar y aceptar la hipótesis planteada, y darle respuesta a las preguntas trazadas logrando concluir por primera vez en la ciudad de Ocaña que las emisiones de PM10 y PM2.5 provocadas por el parque automotor impactan de forma adversa la calidad del aire de la zona norte y de forma temporal alteran la salud respiratoria de sus habitantes. Esto destaca la importancia de las mediciones de material particulado realizadas por la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña y la Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental y de los datos de morbilidad suministrados por el Hospital de Emiro Quintero Cañizares. Es importante por lo tanto que se mantenga la continuidad de las mediciones de PM10 y de PM2.5 con equipos automatizados como lo exige la norma vigente.

Los datos meteorológicos y de PM2.5 de resolución horaria fueron trascendentales en el análisis de la dinámica del material particulado. Con ellos se pudo localizar la zona geográfica crítica de las personas vulnerables de acuerdo a la dilución del contaminante y ratificar la alta influencia de la vía nacional sobre la salud respiratoria de los habitantes de la zona norte de Ocaña. Así mismo se pudo corroborar las horas críticas de contaminación atmosférica por material particulado, que son resultados clave para la autoridad ambiental y la secretaria de salud pública en las recomendaciones que se brinden a la población en general.

El aforo vehicular y el análisis de las tecnologías de los vehículos para el control de emisiones permiten concluir que, aunque tengan estos sistemas, existen condiciones externas al vehículo que limitan el respectivo control. Dentro de ellas se encuentra la densidad vehicular, la topografía y la capacidad vial. Sin embargo, estos estudios permitieron hallar factores de emisión propios del área de estudio e implementados para el análisis de dispersión con el apoyo de los modelos y del análisis de regresión lineal. Estos análisis ofrecen un mapeo de fácil interpretación y demostración gráfica que puede ser ajustado a las necesidades del estudio.

A partir de los resultados obtenidos con el apoyo de metodologías del marco lógico se determina que los análisis de calidad del aire, además de enfocarse en los estudios de relación cuantitativa fuente-contaminante-receptor, también deben incluir otros elementos cualitativos, como la cultura ciudadana y la gestión ambiental, que pueden catalogarse como los principales agentes causales de los altos niveles de contaminación atmosférica.

Las ciudades intermedias de Colombia necesitan una intervención similar a las grandes ciudades en temas de gestión de la calidad del aire. Los entes gubernamentales no ejercen control sobre los problemas derivados de la ausencia del sistema de vigilancia de calidad del aire, a pesar de que, por normativa, se exija como mínimo hacer estudios relacionados con el material particulado PM10. Se espera que los resultados obtenidos y metodologías implementadas sean instrumento de apoyo a la población ocañera y otras partes interesadas, de tal forma que se les permita reconsiderar acciones que no tienen un efecto significativo sobre los problemas ambientales de calidad de aire.

## Anexos

### Anexo 1. Identificación evaluación de problemas influentes en la calidad del aire de Ocaña.

**Tabla 1.** Identificación problemas influentes en la calidad del aire de Ocaña.

Factores	Abreviatura	Problemas
<b>Gestión ambiental</b>	PA	Poca Inversión en procedimiento de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire
		Poco control de las emisiones por fuentes móviles y fijas
		No se publican los resultados de las mediciones de PM10
		Poco trabajo grupal entre las instituciones publicas
<b>Planeación vial</b>	PV	El control de flujo vehicular
		Pocas estrategias de movilidad urbana
		Poco trabajo grupal entre las instituciones publicas
<b>Salud respiratoria</b>	IRA	Problemas de salud respiratoria en lugares con fuentes fijas.
		Problemas de salud respiratoria en lugares con altos flujos vehiculares
		No hay estudios precisos que relacionen las IRA con algún factor del entorno
		Poco trabajo grupal entre las instituciones publicas
<b>Condiciones meteorológicas</b>	Meteo	Las concentraciones de material particulado pueden aumentar o disminuir por las condiciones meteorológicas.
		Ocurren incendios en los tiempos de sequia
		El viento dispersa las emisiones de las quemas rurales hacia el entorno urbano de Ocaña
<b>Topografía</b>	Topo	La topografía presenta altas pendientes que influyen sobre el esfuerzo del vehículo
		La topografía están el flujo de las emisiones.
<b>Parque automotor</b>	Veh	Aumento del parque automotor y constante estancamiento vehicular,
		Ausencia representativa de la revisión tecnicomecánica
		Aumento del parque automotor venezolano.
		Flujo de carro pesado
		Parque automotor antiguo.
<b>Infraestructura urbana</b>	Infra. Urb	Poco trabajo grupal entre las instituciones publicas
		Existen calles angostas, deterioradas, sin semaforización, Extensión urbana informal.
<b>Cañones urbanos</b>	Cañón. Urb	Los cañones urbanos pueden provocar alta contaminación atmosférica
<b>Ladrilleras artesanales</b>	Ladrilleras	Existencia de ladrilleras artesanales cercan a los asentamientos urbanos.
<b>Incendios</b>	Quemas	Existe poco control de las emisiones provocadas por las ladrilleras
		Incendios en el sector rural de Ocaña con ausencia de control o estudio previo.
<b>Espacio público</b>	Esp. publ	Parqueaderos informales sobre espacio publico
		Economía informal con ausencia de control sobre las vías
		Economía formal invadiendo el espacio público.
<b>Cultura ciudadana</b>	Cult. Urb	La ciudadanía Ocañera hace caso omiso al control vehicular
<b>Concentración de material particulado</b>	PM10	Ausencia de estrategias pedagógicas eficaces.
<b>Emisión de material particulado</b>	Emisión PM10	La concentración de material particulado excede lo exigido por Colombia.
		La mayor cantidad de emisión de material particulado en la ciudad de Ocaña es provocada por las fuentes móviles.





## Anexo 2. Parque automotor de Colombia, consumo de combustible y red vial

Las siguientes tablas fueron ordenadas de acuerdo a la información publicada por el Ministerio de Transporte, (2018)

**Tabla 1.** Parque automotor público en Colombia

Parque automotor público										
año	Automóvil	Bus	Buseta	Camión	Camioneta	Campero	Microbús	Tractocamión	Volqueta	Otros
Año 2002	2952	774	1444	1265	1569	23	2272	150	39	6
Año 2003	3921	1204	1747	1819	2304	17	2857	497	31	5
Año 2004	3540	1474	1614	2526	2217	63	2697	851	115	3
Año 2005	6553	2087	1659	2453	3894	62	3304	1455	122	0
Año 2006	8940	2074	1766	5260	5648	28	2529	3316	345	0
Año 2007	12686	2315	1936	14748	10935	54	2989	6172	1067	0
Año 2008	15948	2224	1089	10860	11609	102	3865	4489	1954	3
Año 2009	13210	1853	1038	7285	7452	122	3039	883	1634	0
Año 2010	12963	2006	967	4695	4228	146	1564	555	435	3
Año 2011	18538	2393	496	8282	10032	217	2578	2153	1603	222
Año 2012	15064	2687	734	14092	17274	259	4369	10673	3666	640
Año 2013	16596	2337	820	12116	15797	448	3922	6320	4169	601
Año 2014	15829	5346	675	7497	15676	455	3283	932	1318	1459
Año 2015	12834	3732	802	11961	19401	932	3380	1754	3530	1411
Año 2016	14284	2224	497	6933	12894	844	1430	43	284	864
Año 2017	9614	1999	389	6219	11905	280	1019	70	323	742
Año 2018	5592	1336	266	3146	8579	135	512	85	221	849

**Tabla 2.** Parque automotor oficial en Colombia

Parque automotor oficial											
año	Automóvil	Bus	Buseta	Camión	Camioneta	Campero	Maquinaria	Microbús	Tractocamión	Volqueta	Otros
Año 2002	113	25	43	93	369	73	3	8	1	17	3
Año 2003	91	34	22	334	400	115	12	18	0	8	6
Año 2004	117	8	12	198	502	98	4	8	0	12	12
Año 2005	227	28	3	91	645	211	9	17	2	11	8
Año 2006	244	37	49	126	859	233	5	27	9	31	5
Año 2007	348	61	58	350	967	399	11	63	11	78	8
Año 2008	383	75	12	381	2017	534	14	55	6	56	6
Año 2009	580	53	40	404	2862	596	2	113	2	61	27
Año 2010	306	26	144	375	1285	516	0	112	1	78	16
Año 2011	376	72	86	149	1291	540	0	99	6	75	22
Año 2012	465	58	45	190	1141	246	0	68	1	200	25
Año 2013	488	93	64	596	1573	931	0	53	18	256	24
Año 2014	540	97	68	347	1418	1322	0	105	33	332	19
Año 2015	736	162	58	431	2288	746	0	54	10	266	65
Año 2016	279	141	32	289	1563	334	0	27	2	49	28
Año 2017	350	108	14	316	1340	444	0	68	0	64	66
Año 2018	319	77	39	312	1507	309	0	69	7	91	56

**Tabla 3. Consumo de combustible en Colombia, movimiento de pasajeros y de carga, red vial**

año	Consumo de combustible				Movimiento de pasajeros Terrestre	Movimiento de carga Terrestre	Vias	
	Gasolina total	Gasolina transporte	Diesel total	Diesel transporte			Red vial primaria	Red vial nacional total
Año 2002	90445	83119	59946	41782	99570498	84019	16531	117250
Año 2003	88625	81446	69640	48539	120201516	99782	16528	117339
Año 2004	84371	77537	75065	52320	128893186	117597	16677	124501
Año 2005	82636	75942	81927	57103	156568326	139646	16750	124574
Año 2006	76550	70349	88765	61869	164118093	155196	16771	124595
Año 2007	74079	68078	94098	65586	172127092	183126	16676	124500
Año 2008	71253	65481	96904	67542	168021219	169714	16676	151932
Año 2009	69682	64038	104584	72895	177855357	173558	16786	117234
Año 2010	74593	68551	104004	72491	175260455	181021	17143	191137
Año 2011	77636	71348	124156	86537	184958703	191701	16898	201797
Año 2012	76894	70666	131634	91749	170404280	199369	17118	202390
Año 2013	88202	81058,11288	131348	91549,65778	179915072	220309	17037	203392
Año 2014	94077,09538	92928,19977	134051,4023	94270,28364	187896491	232480,2347	17434	204855
Año 2015	106582,4404	105164,1422	139782,0016	99166,8265	188836000	235112,4449	19305,736	206726,736
Año 2016	117376,2665	116326,4398	136164,4199	98705,76375	189953909	234450,7514	19079	206500
Año 2017	118865,684	117764,0307	132396	96184	128337252	233964,1803	18515,759	205936,759
Año 2018	123164,6176	122245,3611	136319,052	99691,97284	137184263	243171,4462	19206,094	206627,094

### Anexo 3. Análisis factorial múltiple. Parque automotor de Colombia, consumo de combustible y red vial

**Tabla 1. Coeficientes lg**

Coeficientes Lg:								
	Parque automotor público	Parque automotor oficial	Parque automotor particular	Consumo de combustible	Movimiento del pasajeros	movimiento de carga	VIAS	AFM
Parque automotor público	1,244	0,822	0,974	0,696	0,590	0,660	0,612	1,043
Parque automotor oficial	0,822	1,180	0,785	0,605	0,505	0,702	0,553	0,960
Parque automotor particular	0,974	0,785	1,593	0,884	0,489	0,657	0,800	1,152
Consumo de combustible	0,696	0,605	0,884	1,086	0,249	0,798	0,950	0,982
Movimiento del pasajeros	0,590	0,505	0,489	0,249	1,000	0,386	0,149	0,627
Movimiento de carga	0,660	0,702	0,657	0,798	0,386	1,000	0,770	0,927
Vías	0,612	0,553	0,800	0,950	0,149	0,770	1,031	0,907

**Tabla 2. coeficientes RV**

Coeficientes RV:								
	Parque automotor público	Parque automotor oficial	Parque automotor particular	Consumo de combustible	Movimiento del pasajeros	movimiento de carga	VIAS	AFM
Parque automotor público	1,000	0,678	0,692	0,598	0,529	0,592	0,540	0,843
Parque automotor oficial	0,678	1,000	0,573	0,534	0,464	0,646	0,501	0,797
Parque automotor particular	0,692	0,573	1,000	0,672	0,387	0,520	0,624	0,823
Consumo de combustible	0,598	0,534	0,672	1,000	0,239	0,766	0,897	0,849
Movimiento del pasajeros	0,529	0,464	0,387	0,239	1,000	0,386	0,146	0,566
Movimiento de carga	0,592	0,646	0,520	0,766	0,386	1,000	0,758	0,836
Vías	0,540	0,501	0,624	0,897	0,146	0,758	1,000	0,805

## Anexo 4. Cálculo de factores de emisión de los vehículos que transitan por la zona norte de Ocaña. Colombia

La vía que atraviesa la zona norte de Ocaña presenta un punto de elevación máxima de los cuales presenta tramos viales con diferentes grados de inclinación. En este sentido, para hacer el cálculo de emisiones fue necesario dividir la respectiva vía en dos partes como así lo señala la figura 1.

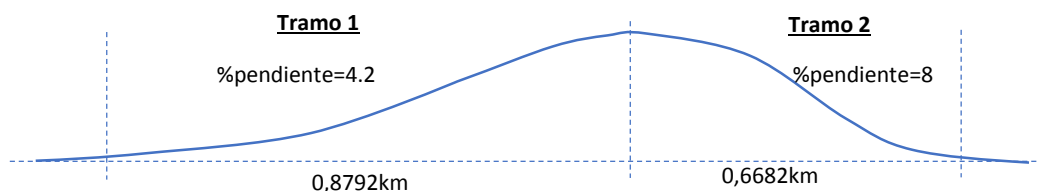


Figura 1. Perfil de elevación del tramo de vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña

Con el apoyo del modelo IVE y sus anexos, y la velocidad de norte a sur y de sur a norte (Tabla 3) que puede tener un vehículo que transita por la vía mencionada, se procedió a calcular el valor de la potencia específica del motor (VPS) (Tabla 1).

Tabla 1. Valor de la potencia específica del motor (VPS).

NORTE - SUR						SUR-NORTE					
Tramo 1			Tramo 2			Tramo 2			Tramo 1		
VSP Bin	# Seconds in Each Bin	Fraction in Each VSP Bin	VSP Bin	# Seconds in Each Bin	Fraction in Each VSP Bin	VSP Bin	# Seconds in Each Bin	Fraction in Each VSP Bin	VSP Bin	# Seconds in Each Bin	Fraction in Each VSP Bin
1	3	0,00123967	1	3	0,00123967	1	0	0	1	0	0
2	1	0,00041322	2	1	0,00041322	2	0	0	2	0	0
3	0	0	3	0	0	3	0	0	3	0	0
4	1	0,00041322	4	1	0,00041322	4	0	0	4	1	0,00041288
5	0	0	5	0	0	5	0	0	5	0	0
6	1	0,00041322	6	1	0,00041322	6	0	0	6	0	0
7	2	0,00082645	7	2	0,00082645	7	0	0	7	1	0,00041288
8	0	0	8	0	0	8	0	0	8	0	0
9	1	0,00041322	9	1	0,00041322	9	0	0	9	6	0,00247729
10	7	0,00289256	10	4	0,00165289	10	0	0	10	3	0,00123865
11	8	0,00330579	11	5	0,00206612	11	5	0,00206441	11	11	0,0045417
12	2284	0,94380165	12	2348	0,97024793	12	2365	0,97646573	12	2328	0,9611891
13	76	0,03140496	13	29	0,01198347	13	47	0,01940545	13	51	0,02105698
14	22	0,00909091	14	11	0,00454545	14	3	0,00123865	14	9	0,00371594
15	1	0,00041322	15	1	0,00041322	15	2	0,00082576	15	7	0,00289017
16	1	0,00041322	16	1	0,00041322	16	0	0	16	2	0,00082576
17	1	0,00041322	17	1	0,00041322	17	0	0	17	0	0
18	0	0	18	0	0	18	0	0	18	1	0,00041288
19	2	0,00082645	19	2	0,00082645	19	0	0	19	1	0,00041288
20	9	0,00371901	20	9	0,00371901	20	0	0	20	1	0,00041288

Posteriormente se procedió en incluir el valor de los Bin en el software IVE para cada uno de los tipos de vehículos. Para ello se tuvo en cuenta una velocidad promedio de 23km/h de norte a sur y de sur a norte, un promedio de 6 paradas por tramo, característica de combustible moderado, humedad relativa del 70%, elevación de 1177msnm y los respectivos valores de

los pendientes mostrados en la figura uno de este anexo. Por últimos se corrió el modelo IVE y obtuvieron lo datos mostrados en la tabla 2.

**Tabla 2.** Factores de emisión

Tipo de vehículo	Factor de emisión g/vehículo			
	Norte-sur		Sur - norte	
	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 2	Tramo 1
motocicletas	0,16	0,04	0,15	0,07
Vehículos GVWR <2,5Ton	0,01	0,0001	0,01	0,0001
Vehículos GVWR 2,5Ton<GVWR<3,3 Ton	0,04	0,03	0,1	0,05
Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	0,68	0,36	0,6	0,51
Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	0,31	0,16	0,28	0,23
Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	2,27	1,2	2,02	1,7
Vehículos GVWR GVWR>16Ton	3,06	1,61	2,72	2,29

**Tabla 3.** Velocidad. Tramo de la vial nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña.

Sur - norte			Norte - sur		
Hora	Altitud (msnm)	Velocidad (km/h)	Hora	Altitud (msnm)	Velocidad (km/h)
11:08:03 a. m.	1177	22,92	11:12:14 a. m.	1156	29,14
11:08:11 a. m.	1163	42,25	11:12:19 a. m.	1153	26,89
11:08:16 a. m.	1161	5,08	11:12:25 a. m.	1148	36,99
11:08:21 a. m.	1159	44,22	11:12:29 a. m.	1151	39,20
11:08:27 a. m.	1159	46,52	11:12:33 a. m.	1153	25,11
11:08:33 a. m.	1164	48,53	11:12:39 a. m.	1152	13,76
11:08:39 a. m.	1162	48,20	11:12:45 a. m.	1154	22,24
11:08:44 a. m.	1162	40,63	11:12:52 a. m.	1152	1,87
11:08:48 a. m.	1165	4,74	11:13:00 a. m.	1151	25,63
11:08:53 a. m.	1159	4,36	11:13:06 a. m.	1152	25,53
11:08:58 a. m.	1162	42,95	11:13:12 a. m.	1152	21,08
11:09:04 a. m.	1165	42,27	11:13:19 a. m.	1156	18,08
11:09:09 a. m.	1170	39,59	11:13:27 a. m.	1154	19,38
11:09:14 a. m.	1170	47,20	11:13:35 a. m.	1158	0,18
11:09:21 a. m.	1172	4,20	11:13:44 a. m.	1163	13,70
11:09:31 a. m.	1177	46,44	11:13:55 a. m.	1163	15,35
11:09:38 a. m.	1176	41,41	11:14:05 a. m.	1160	15,30
11:09:47 a. m.	1172	44,94	11:14:15 a. m.	1165	21,07
11:09:56 a. m.	1163	45,76	11:14:22 a. m.	1170	15,75
11:10:02 a. m.	1163	17,82	11:14:29 a. m.	1172	27,59
11:10:08 a. m.	1167	39,69	11:14:35 a. m.	1177	1,14
11:10:11 a. m.	1169	34,31	11:14:38 a. m.	1178	18,99
11:10:21 a. m.	1168	4,41	11:14:46 a. m.	1189	17,63
11:10:28 a. m.	1170	42,19	11:14:54 a. m.	1192	30,40
11:10:33 a. m.	1165	4,31	11:14:59 a. m.	1189	36,45
11:10:37 a. m.	1164	49,00	11:15:03 a. m.	1191	41,73
11:10:43 a. m.	1163	41,13	11:15:07 a. m.	1185	37,12
11:10:48 a. m.	1162	49,03	11:15:11 a. m.	1182	42,30
11:10:53 a. m.	1159	48,84	11:15:15 a. m.	1176	43,07
11:11:01 a. m.	1163	46,10	11:15:19 a. m.	1175	28,93
11:11:06 a. m.	1158	4,17	11:15:24 a. m.	1166	28,94
11:11:12 a. m.	1161	44,73	11:15:29 a. m.	1169	13,58
11:11:17 a. m.	1163	51,73	11:15:35 a. m.	1168	71,44
11:11:21 a. m.	1162	37,77	11:15:40 a. m.	1168	12,32
11:11:26 a. m.	1162	46,59	11:15:45 a. m.	1167	13,67
11:11:31 a. m.	1162	41,57	11:15:50 a. m.	1166	75,94
11:11:36 a. m.	1159	40,44	11:15:51 a. m.	1166	37,97
			11:15:52 a. m.	1166	10,07
			11:15:56 a. m.	1166	30,26
			11:15:57 a. m.	1165	80,59

## Anexo 5. Medición de concentración de PM2.5

**Tabla 1.** Concentración de PM2.5 y condiciones meteorológicas

Fecha	Día	Hora	PM2,5	Condiciones meteorológicas				
				Temperatura °C	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Dirección del viento	Precipitación (mm)
11/02/2021	1	0	50,38	15,40	97,00	2,83	63,43	0,00
11/02/2021	1	1	47,35	14,62	96,00	3,01	90,00	0,00
11/02/2021	1	2	48,57	14,01	96,00	2,80	77,01	0,00
11/02/2021	1	3	46,28	13,53	95,00	0,00	81,25	0,00
11/02/2021	1	4	34,25	13,13	94,00	0,00	100,00	0,00
11/02/2021	1	5	37,85	12,82	93,00	0,00	125,00	0,00
11/02/2021	1	6	46,37	12,46	93,00	1,01	70,35	0,00
11/02/2021	1	7	37,38	17,08	89,00	2,79	57,72	0,00
11/02/2021	1	8	14,23	19,86	73,00	3,57	54,46	0,00
11/02/2021	1	9	13,28	22,42	59,00	3,10	30,00	0,00
11/02/2021	1	10	15,23	24,72	49,00	4,88	52,77	0,00
11/02/2021	1	11	16,63	26,24	44,00	5,15	110,00	0,00
11/02/2021	1	12	18,65	27,42	41,00	5,36	38,93	0,00
11/02/2021	1	13	15,37	28,09	39,00	5,65	50,00	0,00
11/02/2021	1	14	15,32	28,36	39,00	5,70	45,00	0,00
11/02/2021	1	15	18,77	25,40	41,00	5,10	75,00	0,00
11/02/2021	1	16	20,23	25,10	59,17	6,03	144,75	0,00
11/02/2021	1	17	27,30	23,57	64,43	5,28	90,00	0,00
11/02/2021	1	18	27,37	21,88	69,95	4,16	115,00	0,00
11/02/2021	1	19	33,58	20,62	74,93	2,36	240,91	0,00
11/02/2021	1	20	33,97	19,65	78,97	1,64	70,00	0,00
11/02/2021	1	21	27,77	19,33	80,13	1,53	350,00	0,00
11/02/2021	1	22	25,55	18,27	83,15	0,86	0,00	0,00
11/02/2021	1	23	44,82	17,40	85,53	0,00	45,00	0,00
12/02/2021	2	0	60,95	17,01	86,47	0,11	161,25	0,00
12/02/2021	2	1	59,03	16,52	87,35	0,11	202,13	0,00
12/02/2021	2	2	87,92	16,09	88,20	0,21	216,00	0,00
12/02/2021	2	3	84,92	15,81	88,95	2,31	80,00	0,00
12/02/2021	2	4	54,35	15,69	88,78	0,94	90,00	0,00
12/02/2021	2	5	102,07	15,83	88,45	0,00	270,00	0,00
12/02/2021	2	6	67,62	16,18	87,55	1,61	45,00	0,00
12/02/2021	2	7	86,75	16,80	86,67	1,93	110,00	0,00
12/02/2021	2	8	23,95	18,65	83,12	0,40	203,37	0,00
12/02/2021	2	9	21,02	20,37	77,43	2,36	154,64	0,00
12/02/2021	2	10	20,55	22,58	69,65	3,83	345,00	0,00
12/02/2021	2	11	16,27	24,59	62,58	5,26	0,00	0,00
12/02/2021	2	12	15,33	26,20	56,80	4,93	21,37	0,00
12/02/2021	2	13	14,67	27,18	53,63	4,48	14,53	0,00
12/02/2021	2	14	17,17	26,78	55,45	4,40	7,85	0,00
12/02/2021	2	15	18,85	25,41	60,62	6,09	1,97	0,00
12/02/2021	2	16	14,12	23,79	66,03	5,39	360,00	0,00
12/02/2021	2	17	35,00	21,82	77,67	4,00	15,00	0,02
12/02/2021	2	18	34,54	20,60	83,68	2,15	0,00	0,00
12/02/2021	2	19	41,45	20,41	84,58	0,80	6,34	0,00
12/02/2021	2	20	40,73	20,23	86,25	1,02	80,54	0,00
12/02/2021	2	21	33,42	20,02	87,37	1,13	90,00	0,00
12/02/2021	2	22	44,83	19,97	87,85	1,15	0,00	0,00
12/02/2021	2	23	36,59	19,41	89,42	0,38	0,00	0,00

**Tabla 2.** Concentración de PM2.5 y condiciones meteorológicas

Fecha	Día	Hora	PM2,5	Condiciones meteorológicas				
				Temperatura °C	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Dirección del viento	Precipitación (mm)
13/02/2021	3	0	43,19	19,31	89,07	1,20	80,00	0,00
13/02/2021	3	1	54,34	18,80	90,40	2,70	145,00	0,00
13/02/2021	3	2	86,75	18,59	90,97	2,50	124,70	0,00
13/02/2021	3	3	94,28	18,57	90,85	0,00	127,57	0,00
13/02/2021	3	4	82,92	18,57	90,03	0,00	61,10	0,00
13/02/2021	3	5	76,30	18,49	89,60	0,13	125,89	0,00
13/02/2021	3	6	92,19	18,18	90,50	0,03	154,42	0,00
13/02/2021	3	7	41,17	18,63	90,18	0,05	60,88	0,00
13/02/2021	3	8	26,15	19,56	86,88	0,03	212,25	0,00
13/02/2021	3	9	33,03	20,93	78,97	0,21	166,66	0,00
13/02/2021	3	10	24,90	22,38	72,00	0,08	54,61	0,20
13/02/2021	3	11	26,33	22,70	65,00	4,02	45,79	0,30
13/02/2021	3	12	23,80	23,94	56,53	2,86	69,03	0,00
13/02/2021	3	13	20,17	25,15	68,12	5,01	77,51	0,00
13/02/2021	3	14	17,80	26,38	61,58	4,13	8,43	0,00
13/02/2021	3	15	22,15	26,04	62,55	3,81	2,05	0,00
13/02/2021	3	16	29,98	25,12	67,12	3,92	2,12	0,03
13/02/2021	3	17	30,75	22,45	81,25	1,80	90,00	0,09
13/02/2021	3	18	33,42	21,61	86,92	1,61	2,73	0,00
13/02/2021	3	19	41,17	21,45	84,90	0,54	6,71	0,00
13/02/2021	3	20	42,97	21,01	86,65	0,48	261,23	0,00
13/02/2021	3	21	40,25	20,52	89,00	0,08	192,73	0,00
13/02/2021	3	22	38,67	20,34	89,95	0,91	144,64	0,00
13/02/2021	3	23	42,47	20,28	89,97	0,13	68,50	0,00
14/02/2021	4	0	42,55	20,15	90,17	0,00	95,87	0,00
14/02/2021	4	1	59,42	19,79	91,12	0,00	9,93	0,30
14/02/2021	4	2	33,00	19,54	91,13	0,21	53,80	0,30
14/02/2021	4	3	94,02	19,39	90,67	0,13	21,04	0,00
14/02/2021	4	4	79,03	19,24	90,70	0,00	26,57	0,00
14/02/2021	4	5	63,12	19,16	91,50	0,00	29,74	0,00
14/02/2021	4	6	53,05	19,33	91,02	0,00	125,23	0,00
14/02/2021	4	7	49,22	20,03	88,57	1,20	90,00	0,00
14/02/2021	4	8	32,10	21,09	84,23	0,43	61,93	0,00
14/02/2021	4	9	22,97	22,97	75,53	2,15	54,46	0,00
14/02/2021	4	10	22,35	24,78	68,35	2,09	49,09	0,00
14/02/2021	4	11	20,55	26,45	61,33	2,76	150,00	0,00
14/02/2021	4	12	22,18	27,14	57,83	3,73	30,07	0,00
14/02/2021	4	13	20,62	26,94	62,73	5,82	20,56	0,00
14/02/2021	4	14	21,52	23,20	78,90	4,34	60,00	0,17
14/02/2021	4	15	23,42	21,36	86,30	5,44	350,00	0,01
14/02/2021	4	16	19,80	23,25	82,85	2,90	360,00	0,00
14/02/2021	4	17	22,35	23,81	76,50	2,25	2,20	0,00
14/02/2021	4	18	28,67	23,00	79,50	3,41	25,00	0,00
14/02/2021	4	19	38,17	22,28	81,63	2,12	10,00	0,00
14/02/2021	4	20	29,88	21,31	83,17	1,15	345,00	0,00
14/02/2021	4	21	32,17	20,58	84,58	0,70	10,62	0,00
14/02/2021	4	22	31,87	20,03	86,67	1,21	30,00	0,00
14/02/2021	4	23	13,35	20,18	83,98	2,92	50,00	0,00

**Tabla 3. Concentración de PM2.5 y condiciones meteorológicas**

Fecha	Día	Hora	PM2,5	Condiciones meteorológicas				
				Temperatura °C	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Dirección del viento	Precipitación (mm)
15/02/2021	5	0	11,13	19,70	84,60	2,84	24,44	0,16
15/02/2021	5	1	4,87	18,53	92,00	1,15	125,00	0,41
15/02/2021	5	2	3,77	17,91	92,20	0,00	80,25	0,15
15/02/2021	5	3	3,07	17,96	92,22	2,95	90,00	0,00
15/02/2021	5	4	4,47	18,20	87,37	0,51	32,47	0,00
15/02/2021	5	5	5,10	17,68	90,58	0,00	36,03	0,00
15/02/2021	5	6	9,77	17,50	91,20	0,24	41,99	0,00
15/02/2021	5	7	11,25	17,94	90,52	0,80	97,59	0,00
15/02/2021	5	8	4,38	18,78	86,20	2,09	104,74	0,00
15/02/2021	5	9	5,46	20,05	82,28	2,57	78,11	0,00
15/02/2021	5	10	12,36	22,02	78,32	4,21	47,12	0,00
15/02/2021	5	11	14,26	24,42	71,03	5,31	27,65	0,00
15/02/2021	5	12	12,37	26,25	63,35	6,25	20,32	0,00
15/02/2021	5	13	13,27	27,20	60,88	6,89	90,64	0,00
15/02/2021	5	14	15,26	27,88	58,30	7,75	45,45	0,00
15/02/2021	5	15	12,37	27,18	60,40	7,51	45,30	0,00
15/02/2021	5	16	10,33	26,20	62,02	6,25	5,53	0,00
15/02/2021	5	17	12,82	24,33	68,70	3,89	360,00	0,00
15/02/2021	5	18	17,08	22,75	74,17	2,47	360,00	0,00
15/02/2021	5	19	17,40	21,60	77,45	2,82	8,53	0,00
15/02/2021	5	20	17,80	20,99	78,80	0,88	53,75	0,00
15/02/2021	5	21	13,80	20,22	81,80	1,58	59,04	0,00
15/02/2021	5	22	13,58	19,85	81,43	0,51	49,76	0,00
15/02/2021	5	23	20,08	19,04	85,05	0,00	40,24	0,00



## Anexo 6. Aforo vehicular. Tramo de la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña.

**Tabla 1.** Aforo vehicular. Tramo de la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña

Fecha	Día	Hora	Flujo vehicular						Total Vehículos
			Vehículos GVWR <2,5Ton	Vehículos GVWR 2,5Ton<GV WR<3,3 Ton	Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR >16Ton	
11/02/2021	1	0	36	14	5	0	5	7	95
11/02/2021	1	1	18	15	3	3	0	4	61
11/02/2021	1	2	26	8	3	8	8	3	82
11/02/2021	1	3	48	30	8	5	13	6	158
11/02/2021	1	4	68	31	3	15	23	3	279
11/02/2021	1	5	119	72	8	25	23	14	565
11/02/2021	1	6	290	114	33	23	28	21	1765
11/02/2021	1	7	343	109	90	48	31	27	2484
11/02/2021	1	8	409	181	83	52	34	16	2288
11/02/2021	1	9	396	224	78	55	38	22	2544
11/02/2021	1	10	449	201	91	44	46	28	2479
11/02/2021	1	11	393	187	79	45	18	22	2586
11/02/2021	1	12	356	165	78	50	46	27	2628
11/02/2021	1	13	352	162	69	44	24	23	2264
11/02/2021	1	14	447	150	79	32	48	28	2436
11/02/2021	1	15	387	192	100	34	34	26	2573
11/02/2021	1	16	407	178	79	29	36	15	2363
11/02/2021	1	17	430	266	81	44	26	26	2603
11/02/2021	1	18	419	199	78	31	23	34	2725
11/02/2021	1	19	283	134	33	48	8	28	1860
11/02/2021	1	20	194	70	5	15	8	37	1220
11/02/2021	1	21	198	68	16	13	8	15	1134
11/02/2021	1	22	113	24	6	8	13	20	427
11/02/2021	1	23	71	16	6	8	8	16	225
12/02/2021	2	0	44	9	0	5	6	1	80
12/02/2021	2	1	49	6	3	10	3	1	88
12/02/2021	2	2	34	8	0	0	3	2	115
12/02/2021	2	3	28	9	3	6	6	2	107
12/02/2021	2	4	73	21	6	15	15	9	250
12/02/2021	2	5	101	61	13	25	21	17	590
12/02/2021	2	6	261	79	31	30	33	23	1800
12/02/2021	2	7	393	169	88	28	55	19	2633
12/02/2021	2	8	371	172	73	43	31	15	2236
12/02/2021	2	9	391	202	105	53	50	14	2543
12/02/2021	2	10	441	212	93	38	25	21	2466
12/02/2021	2	11	411	184	93	48	48	18	2471
12/02/2021	2	12	401	192	98	61	38	16	2822
12/02/2021	2	13	394	158	86	33	33	12	2407
12/02/2021	2	14	468	172	93	48	38	14	2926
12/02/2021	2	15	393	177	95	25	38	24	2416
12/02/2021	2	16	526	215	86	48	38	31	2657
12/02/2021	2	17	445	177	78	58	25	26	2225
12/02/2021	2	18	423	184	58	35	36	32	2403
12/02/2021	2	19	412	119	43	30	20	23	2012
12/02/2021	2	20	329	69	13	10	33	22	1364
12/02/2021	2	21	156	74	13	10	8	13	890
12/02/2021	2	22	138	59	6	6	11	14	492
12/02/2021	2	23	96	15	8	8	11	5	256

**Tabla 2.** Aforo vehicular. Tramo de la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña

Fecha	Día	Hora	Flujo vehicular						Total Vehículos
			Vehículos GVWR <2,5Ton	Vehículos GVWR 2,5Ton<GV WR<3,3 Ton	Vehículos 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	Vehículos 4,5 Ton <GVWR<7Ton	Vehículos 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR >16Ton	
			13/02/2021	3	0	63	8	0	
13/02/2021	3	1	48	8	8	6	3	3	99
13/02/2021	3	2	30	9	0	3	5	3	76
13/02/2021	3	3	48	11	3	3	13	4	160
13/02/2021	3	4	51	46	6	13	8	8	287
13/02/2021	3	5	108	74	13	15	13	10	558
13/02/2021	3	6	191	65	33	28	31	12	1426
13/02/2021	3	7	269	139	65	35	23	23	2255
13/02/2021	3	8	326	168	90	25	45	15	1933
13/02/2021	3	9	459	141	88	30	46	27	2505
13/02/2021	3	10	425	231	81	43	28	9	2543
13/02/2021	3	11	438	196	85	38	28	15	2715
13/02/2021	3	12	421	187	83	48	33	22	2575
13/02/2021	3	13	363	207	75	33	45	18	2483
13/02/2021	3	14	486	229	65	35	35	20	2579
13/02/2021	3	15	461	209	80	38	41	16	2713
13/02/2021	3	16	517	217	66	33	35	23	2572
13/02/2021	3	17	525	204	50	63	40	22	2220
13/02/2021	3	18	555	232	75	33	40	27	2578
13/02/2021	3	19	388	149	35	18	28	25	2077
13/02/2021	3	20	319	101	15	23	28	11	1332
13/02/2021	3	21	281	73	21	16	26	14	1104
13/02/2021	3	22	190	84	0	8	10	9	809
13/02/2021	3	23	126	39	5	10	8	1	400
14/02/2021	4	0	106	24	3	3	3	7	354
14/02/2021	4	1	84	19	0	0	5	1	222
14/02/2021	4	2	86	29	0	0	5	0	208
14/02/2021	4	3	53	20	0	8	3	2	169
14/02/2021	4	4	69	19	3	18	8	3	226
14/02/2021	4	5	76	53	6	0	18	4	377
14/02/2021	4	6	261	52	6	6	11	0	847
14/02/2021	4	7	300	56	17	12	9	22	1180
14/02/2021	4	8	362	80	25	9	10	23	1629
14/02/2021	4	9	314	102	29	16	11	24	1891
14/02/2021	4	10	444	127	34	14	9	14	2284
14/02/2021	4	11	473	115	26	17	15	12	2273
14/02/2021	4	12	481	135	35	9	7	27	2271
14/02/2021	4	13	408	109	23	9	11	23	2084
14/02/2021	4	14	494	105	31	7	6	10	1556
14/02/2021	4	15	446	108	21	9	3	18	1548
14/02/2021	4	16	432	115	44	5	5	17	2020
14/02/2021	4	17	443	125	25	8	5	16	2050
14/02/2021	4	18	424	107	28	20	5	13	2160
14/02/2021	4	19	414	115	28	6	8	15	1764
14/02/2021	4	20	461	80	15	20	10	13	1580
14/02/2021	4	21	318	54	10	6	10	11	1032
14/02/2021	4	22	139	28	8	5	5	4	487
14/02/2021	4	23	76	8	3	8	6	0	276

**Tabla 3.** Aforo vehicular. Tramo de la vía nacional que atraviesa la zona norte de Ocaña

Fecha	Día	Hora	Flujo vehicular						Total Vehículos
			Vehículos GVWR <2,5Ton	Vehículos GVWR 2,5Ton<GV WR<3,3 Ton	Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR >16Ton	
15/02/2021	5	0	67	10	8	0	3	0	166
15/02/2021	5	1	51	6	3	3	3	0	86
15/02/2021	5	2	51	6	8	8	0	3	104
15/02/2021	5	3	48	16	3	13	8	3	149
15/02/2021	5	4	59	26	6	8	16	3	216
15/02/2021	5	5	140	52	18	23	15	10	709
15/02/2021	5	6	251	81	53	10	23	14	1815
15/02/2021	5	7	411	115	73	46	41	13	2797
15/02/2021	5	8	396	179	95	46	33	11	2643
15/02/2021	5	9	498	230	88	41	36	2	2694
15/02/2021	5	10	471	164	81	28	28	3	2604
15/02/2021	5	11	439	239	106	53	28	9	2753
15/02/2021	5	12	436	215	88	53	18	8	2963
15/02/2021	5	13	371	160	91	45	26	8	2464
15/02/2021	5	14	416	204	83	38	35	7	2631
15/02/2021	5	15	512	233	108	35	23	12	2888
15/02/2021	5	16	493	233	88	68	28	12	2716
15/02/2021	5	17	451	267	83	38	28	16	2857
15/02/2021	5	18	451	245	75	21	41	27	2841
15/02/2021	5	19	345	123	68	28	8	15	1985
15/02/2021	5	20	244	102	15	13	23	18	1333
15/02/2021	5	21	158	35	13	16	11	13	777
15/02/2021	5	22	78	27	3	11	8	11	396
15/02/2021	5	23	66	22	3	5	10	15	191

## Anexo 7. Emisiones vehiculares de PM2.5

**Tabla 1.** Emisiones vehiculares de PM2.5 de norte a sur

N-S									
Fecha	Día	Hora	Motocicleta	Vehículos GVWR <2,5Ton	Vehículos GVWR 2,5Ton<GVWR <3,3 Ton	Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	Vehículos GVWR 4,5Ton <GVWR<7Ton	Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR >16Ton
11/02/2021	1	0	4,6	0,1313	0,77	0	0	17,35	0
11/02/2021	1	1	2	0,0505	0,63	0	0	0	0
11/02/2021	1	2	3,6	0,101	0	3,12	1,41	10,41	9,34
11/02/2021	1	3	5,6	0,202	0,77	3,12	2,35	34,7	14,01
11/02/2021	1	4	15,2	0,2828	0,56	3,12	2,35	34,7	4,67
11/02/2021	1	5	41,2	0,5353	1,82	8,32	4,7	52,05	18,68
11/02/2021	1	6	138,6	1,3635	4,97	18,72	7,05	52,05	18,68
11/02/2021	1	7	200,6	1,9493	3,71	46,8	14,1	79,81	23,35
11/02/2021	1	8	151,6	2,3028	5,6	52	15,51	69,4	9,34
11/02/2021	1	9	169	2,2018	7,91	41,6	18,8	86,75	23,35
11/02/2021	1	10	165,2	2,5957	7,42	42,64	10,34	93,69	23,35
11/02/2021	1	11	201,2	1,9796	5,81	41,6	7,99	24,29	23,35
11/02/2021	1	12	185	1,6867	5,18	39,52	11,28	90,22	28,02
11/02/2021	1	13	154,4	1,9998	5,67	37,44	11,28	48,58	60,71
11/02/2021	1	14	178,2	2,3634	4,2	42,64	7,05	65,93	23,35
11/02/2021	1	15	200,6	1,8685	5,46	52	8,46	79,81	18,68
11/02/2021	1	16	159,2	2,2725	7,07	46,8	7,05	45,11	14,01
11/02/2021	1	17	158,6	2,3533	5,6	31,2	4,7	52,05	32,69
11/02/2021	1	18	171,6	1,8281	6,16	29,12	8,46	45,11	23,35
11/02/2021	1	19	134,6	1,414	3,01	10,4	3,76	0	32,69
11/02/2021	1	20	75,6	1,0908	2,73	0	2,35	17,35	32,69
11/02/2021	1	21	63,6	0,8585	2,38	8,32	4,7	10,41	9,34
11/02/2021	1	22	25,6	0,6363	0,77	3,12	2,35	27,76	32,69
11/02/2021	1	23	12	0,3838	1,12	3,12	2,35	17,35	37,36
12/02/2021	2	0	1	0,2121	0,21	0	2,35	10,41	0
12/02/2021	2	1	2,6	0,2323	0,42	0	2,35	0	4,67
12/02/2021	2	2	6,6	0,2121	0,56	0	0	10,41	0
12/02/2021	2	3	8,6	0,1515	0,21	0	1,41	10,41	0
12/02/2021	2	4	11,6	0,3838	0,56	3,12	4,7	34,7	23,35
12/02/2021	2	5	57,2	0,505	1,47	5,2	4,7	62,46	28,02
12/02/2021	2	6	154	1,5756	2,73	23,92	11,75	86,75	46,7
12/02/2021	2	7	204,6	2,121	7,28	44,72	7,05	121,45	23,35
12/02/2021	2	8	178,6	2,2018	6,51	46,8	13,16	79,81	23,35
12/02/2021	2	9	180	2,1816	6,72	57,2	10,81	104,1	23,35
12/02/2021	2	10	177,6	2,4038	6,51	52	13,16	17,35	14,01
12/02/2021	2	11	164,6	1,8988	5,32	44,72	11,75	79,81	23,35
12/02/2021	2	12	189,6	2,2018	6,02	49,92	15,51	45,11	18,68
12/02/2021	2	13	180,6	2,1513	4,48	44,72	13,16	45,11	18,68
12/02/2021	2	14	191	2,8785	4,9	49,92	14,1	52,05	23,35
12/02/2021	2	15	172,2	1,818	5,32	57,2	7,05	62,46	32,69
12/02/2021	2	16	167	2,5553	7,77	39,52	9,4	69,4	42,03
12/02/2021	2	17	146,6	2,1715	5,46	36,4	11,75	34,7	32,69
12/02/2021	2	18	156	2,3533	5,67	18,72	9,4	62,46	28,02
12/02/2021	2	19	139	1,9291	3,92	23,92	4,7	17,35	9,34
12/02/2021	2	20	81,6	1,7776	2,66	5,2	2,35	52,05	42,03
12/02/2021	2	21	61,6	0,8888	2,52	10,4	2,35	17,35	32,69
12/02/2021	2	22	25	0,808	2,31	3,12	1,41	27,76	46,7
12/02/2021	2	23	9	0,5555	1,05	0	1,41	27,76	14,01

**Tabla 2.** Emisiones vehiculares de PM2.5 de norte a sur

## N-5

Fecha	Día	F	Hora	Motocicleta	Vehículos					
					Vehículos GVWR <2,5Ton	Vehículos GVWR 2,5Ton<GVWR <3,3 Ton	Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR GVWR>16Ton
13/02/2021	3		0	9	0,1818	0,35	0	0	17,35	4,67
13/02/2021	3		1	4	0,202	0	3,12	1,41	0	9,34
13/02/2021	3		2	3,6	0,202	0,42	0	0	17,35	14,01
13/02/2021	3		3	9	0,3333	0,21	0	1,41	10,41	9,34
13/02/2021	3		4	18	0,2121	1,96	3,12	3,76	10,41	18,68
13/02/2021	3		5	34	0,4848	2,66	8,32	7,05	27,76	14,01
13/02/2021	3		6	121,6	0,9393	1,89	20,8	8,46	79,81	14,01
13/02/2021	3		7	184,6	1,3433	4,97	36,4	11,75	69,4	42,03
13/02/2021	3		8	105,6	1,7473	6,37	57,2	7,05	69,4	42,03
13/02/2021	3		9	182,6	2,5048	3,85	36,4	7,05	131,86	56,04
13/02/2021	3		10	164,6	2,3735	8,61	39,52	9,4	45,11	9,34
13/02/2021	3		11	189	2,323	7,7	46,8	8,46	34,7	14,01
13/02/2021	3		12	164,2	1,8786	6,37	49,92	14,1	52,05	42,03
13/02/2021	3		13	147,2	2,0503	6,16	46,8	6,11	69,4	32,69
13/02/2021	3		14	163,2	2,5048	7,91	26	7,05	86,75	56,04
13/02/2021	3		15	194,6	2,4341	6,02	46,8	8,46	62,46	23,35
13/02/2021	3		16	158,6	2,2826	6,58	29,12	4,7	34,7	37,36
13/02/2021	3		17	127	2,8785	7	26	11,75	86,75	23,35
13/02/2021	3		18	144	2,626	7,77	41,6	9,4	69,4	18,68
13/02/2021	3		19	141,2	2,2725	4,76	10,4	4,7	34,7	23,35
13/02/2021	3		20	67	1,5453	3,71	5,2	6,11	45,11	9,34
13/02/2021	3		21	52	1,4645	2,94	13,52	3,76	27,76	14,01
13/02/2021	3		22	51	0,9595	3,01	0	2,35	17,35	23,35
13/02/2021	3		23	26,6	0,5858	2,17	0	2,35	17,35	4,67
14/02/2021	4		0	13,6	0,5555	0,56	0	1,41	10,41	9,34
14/02/2021	4		1	14	0,4646	0,56	0	0	17,35	4,67
14/02/2021	4		2	8	0,3333	1,12	0	0	17,35	0
14/02/2021	4		3	8,6	0,1818	1,05	0	2,35	0	9,34
14/02/2021	4		4	9,6	0,3838	0,21	3,12	0	27,76	4,67
14/02/2021	4		5	15	0,4343	1,96	3,12	0	10,41	0
14/02/2021	4		6	51	1,4241	1,4	2,08	1,41	0	0
14/02/2021	4		7	73,4	2,1614	1,26	2,08	4,23	0	32,69
14/02/2021	4		8	109,6	2,525	2,59	4,16	2,35	0	23,35
14/02/2021	4		9	137,8	1,7978	2,31	3,12	6,58	0	23,35
14/02/2021	4		10	154,8	2,4341	3,64	12,48	4,7	0	32,69
14/02/2021	4		11	156	2,7169	3,57	2,08	5,64	0	23,35
14/02/2021	4		12	149,8	2,727	4,06	9,36	3,29	0	46,7
14/02/2021	4		13	142,4	2,3836	3,15	7,28	3,76	0	37,36
14/02/2021	4		14	94,8	3,1613	3,01	6,24	3,29	0	23,35
14/02/2021	4		15	82,6	2,5856	3,78	4,16	3,29	0	32,69
14/02/2021	4		16	141	2,3432	3,01	11,44	1,88	0	37,36
14/02/2021	4		17	152,8	2,8179	3,64	7,28	3,29	0	23,35
14/02/2021	4		18	158	2,4341	3,57	8,32	0,94	0	0
14/02/2021	4		19	133	2,4543	5,04	20,8	1,41	27,76	9,34
14/02/2021	4		20	103,6	2,4745	3,08	5,2	4,7	34,7	9,34
14/02/2021	4		21	61,6	1,6665	2,31	0	1,41	34,7	4,67
14/02/2021	4		22	33,6	0,8181	1,4	5,2	2,35	17,35	4,67
14/02/2021	4		23	14	0,3838	0,21	0	1,41	10,41	0
15/02/2021	5		0	4,6	0,4646	0,35	3,12	0	10,41	0
15/02/2021	5		1	2	0,2323	0,21	0	1,41	0	0
15/02/2021	5		2	4	0,2828	0,42	3,12	2,35	0	4,67
15/02/2021	5		3	6	0,2828	0,21	0	2,35	10,41	4,67
15/02/2021	5		4	11,6	0,1818	0,91	3,12	2,35	27,76	4,67
15/02/2021	5		5	46,6	0,707	1,61	10,4	2,35	34,7	9,34
15/02/2021	5		6	160	1,3938	3,01	34,32	4,7	62,46	14,01
15/02/2021	5		7	229,6	2,6361	4,83	36,4	15,51	114,51	14,01
15/02/2021	5		8	197,6	2,0806	6,51	57,2	17,86	79,81	14,01
15/02/2021	5		9	180,2	2,4745	7,63	52	13,16	45,11	9,34
15/02/2021	5		10	183,2	2,5048	5,32	34,32	6,11	34,7	14,01
15/02/2021	5		11	178,6	2,2018	7,28	55,12	8,46	34,7	9,34
15/02/2021	5		12	208	2,3028	6,02	41,6	9,4	45,11	9,34
15/02/2021	5		13	193,6	2,2321	6,23	49,92	9,4	45,11	14,01
15/02/2021	5		14	190,6	1,8483	6,37	49,92	8,46	52,05	14,01
15/02/2021	5		15	199	2,6361	7,14	57,2	7,05	62,46	9,34
15/02/2021	5		16	165,2	2,525	7,07	52	13,16	45,11	4,67
15/02/2021	5		17	189,2	2,1513	10,08	44,72	8,46	69,4	14,01
15/02/2021	5		18	197,6	2,3028	7,77	31,2	3,76	62,46	14,01
15/02/2021	5		19	137	1,8685	4,06	36,4	2,35	17,35	14,01
15/02/2021	5		20	88	1,3736	3,57	10,4	1,41	52,05	4,67
15/02/2021	5		21	48,6	0,8585	1,05	8,32	3,76	27,76	9,34
15/02/2021	5		22	21	0,3838	1,33	3,12	3,76	17,35	14,01
15/02/2021	5		23	4	0,3333	0,77	3,12	0	34,7	14,01

**Tabla 3.** Emisiones vehiculares de PM2.5 de sur a norte

S-N									
Fecha	Día	Hora	Motocicleta	Vehículos GVWR <2,5Ton	Vehículos GVWR 2,5Ton<GVWR <3,3 Ton	Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR >16Ton
11/02/2021	1	0	1,1	0,2323	0,45	5,55	0	0	35,07
11/02/2021	1	1	1,76	0,1313	0,9	3,33	1,53	0	20,04
11/02/2021	1	2	1,76	0,1616	1,2	0	2,55	18,6	5,01
11/02/2021	1	3	4,4	0,2828	2,85	5,55	0	11,16	15,03
11/02/2021	1	4	13,2	0,404	3,45	0	5,1	48,36	10,02
11/02/2021	1	5	21,56	0,6666	6,9	0	7,65	29,76	50,1
11/02/2021	1	6	123,86	1,5655	6,45	16,65	4,08	48,36	85,17
11/02/2021	1	7	183,26	1,515	8,4	49,95	9,18	29,76	110,22
11/02/2021	1	8	166,1	1,8281	15,15	36,63	9,69	52,08	70,14
11/02/2021	1	9	194,92	1,7978	16,65	42,18	7,65	48,36	85,17
11/02/2021	1	10	174,68	1,9392	14,25	55,5	11,22	70,68	115,23
11/02/2021	1	11	183,92	1,9897	15,6	43,29	14,28	40,92	85,17
11/02/2021	1	12	215,82	1,9089	13,65	44,4	13,26	74,4	105,21
11/02/2021	1	13	179,96	1,5554	12,15	36,63	10,2	37,2	50,1
11/02/2021	1	14	167,42	2,1513	13,5	42,18	8,67	107,88	115,23
11/02/2021	1	15	175,34	2,0402	17,1	55,5	8,16	40,92	110,22
11/02/2021	1	16	181,06	1,8382	11,55	37,74	7,14	85,56	60,12
11/02/2021	1	17	206,14	1,9897	27,9	56,61	17,34	40,92	95,19
11/02/2021	1	18	238,26	2,4038	16,65	55,5	6,63	37,2	145,29
11/02/2021	1	19	143,66	1,4443	13,65	25,53	20,4	29,76	105,21
11/02/2021	1	20	112,86	0,8686	4,65	5,55	5,1	11,16	150,3
11/02/2021	1	21	109,56	1,1413	5,1	8,88	1,53	18,6	65,13
11/02/2021	1	22	25,3	0,505	1,95	3,33	1,53	18,6	65,13
11/02/2021	1	23	8,8	0,3333	0	3,33	1,53	11,16	40,08
12/02/2021	2	0	2,2	0,2323	0,9	0	0	11,16	5,01
12/02/2021	2	1	0,66	0,2626	0	3,33	2,55	11,16	0
12/02/2021	2	2	7,7	0,1313	0	0	0	0	10,02
12/02/2021	2	3	2,2	0,1313	0,9	3,33	1,53	11,16	10,02
12/02/2021	2	4	11,66	0,3535	1,95	3,33	2,55	18,6	20,04
12/02/2021	2	5	14,52	0,5151	6	8,88	7,65	11,16	55,11
12/02/2021	2	6	126,06	1,0605	6	8,88	2,55	29,76	65,13
12/02/2021	2	7	188,76	1,8483	9,75	49,95	6,63	74,4	70,14
12/02/2021	2	8	140,36	1,5453	11,85	31,08	7,65	29,76	50,1
12/02/2021	2	9	182,16	1,7675	15,9	55,5	15,3	74,4	45,09
12/02/2021	2	10	164,56	2,0503	17,85	47,73	5,1	74,4	90,18
12/02/2021	2	11	186,12	2,2523	16,2	55,5	11,73	93	65,13
12/02/2021	2	12	234,96	1,8483	15,9	55,5	14,28	93	60,12
12/02/2021	2	13	173,36	1,8281	14,1	47,73	2,55	74,4	40,08
12/02/2021	2	14	250,36	1,8483	15,3	49,95	9,18	85,56	45,09
12/02/2021	2	15	176,66	2,1513	15,15	44,4	5,1	74,4	85,17
12/02/2021	2	16	193,16	2,7573	15,6	53,28	14,28	66,96	110,22
12/02/2021	2	17	150,26	2,323	14,85	47,73	16,83	55,8	95,19
12/02/2021	2	18	188,1	1,919	15,45	44,4	7,65	66,96	130,26
12/02/2021	2	19	147,4	2,2321	9,45	22,2	10,2	55,8	105,21
12/02/2021	2	20	105,6	1,5453	4,65	8,88	2,55	66,96	65,13
12/02/2021	2	21	67,76	0,6868	5,7	3,33	2,55	11,16	30,06
12/02/2021	2	22	29,26	0,5858	3,9	3,33	1,53	11,16	20,04
12/02/2021	2	23	14,96	0,4141	0	8,88	2,55	11,16	10,02

**Tabla 4.** Emisiones vehiculares de PM2.5 de sur a norte

Fecha	Día	Hora	Motocicleta	Vehículos GVWR <2,5Ton	Vehículos GVWR 2,5Ton<GVWR <3,3 Ton	Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton	Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR >16Ton
13/02/2021	3	0	7,7	0,4545	0,45	0	2,55	0	25,05
13/02/2021	3	1	0,66	0,2828	1,2	5,55	1,53	11,16	5,01
13/02/2021	3	2	1,76	0,101	0,45	0	1,53	0	0
13/02/2021	3	3	7,26	0,1515	1,2	3,33	0	37,2	10,02
13/02/2021	3	4	14,3	0,303	2,7	3,33	2,55	18,6	20,04
13/02/2021	3	5	34,1	0,606	5,4	5,55	0	18,6	35,07
13/02/2021	3	6	100,76	0,9898	5,7	14,43	5,1	29,76	45,09
13/02/2021	3	7	171,16	1,3736	10,2	33,3	5,1	11,16	70,14
13/02/2021	3	8	161,92	1,5453	11,55	38,85	5,1	93	30,06
13/02/2021	3	9	176,22	2,1311	12,9	58,83	7,65	29,76	75,15
13/02/2021	3	10	198,66	1,919	16,2	47,73	11,73	55,8	35,07
13/02/2021	3	11	213,4	2,1008	12,9	44,4	10,2	66,96	60,12
13/02/2021	3	12	211,2	2,3735	14,4	38,85	9,18	66,96	65,13
13/02/2021	3	13	221,32	1,616	17,85	33,3	10,2	93	55,11
13/02/2021	3	14	196,46	2,4038	17,4	44,4	10,2	37,2	40,08
13/02/2021	3	15	196,9	2,222	18,45	38,85	10,2	85,56	55,11
13/02/2021	3	16	195,36	2,9391	18,45	42,18	11,73	93	75,15
13/02/2021	3	17	149,82	2,424	15,6	27,75	19,38	55,8	85,17
13/02/2021	3	18	197,12	2,9795	18,15	38,85	6,63	74,4	115,23
13/02/2021	3	19	160,16	1,6463	12,15	27,75	4,08	66,96	100,2
13/02/2021	3	20	110	1,6766	7,2	11,1	5,1	55,8	45,09
13/02/2021	3	21	90,86	1,3736	4,65	8,88	4,08	66,96	55,11
13/02/2021	3	22	55,66	0,9595	6,15	0	1,53	18,6	20,04
13/02/2021	3	23	17,16	0,6868	1,2	5,55	2,55	11,16	0
14/02/2021	4	0	30,8	0,5151	2,4	3,33	0	0	25,05
14/02/2021	4	1	9,46	0,3838	1,65	0	0	0	0
14/02/2021	4	2	10,56	0,5353	1,95	0	0	0	0
14/02/2021	4	3	8,8	0,3535	0,75	0	1,53	11,16	0
14/02/2021	4	4	12,76	0,3131	2,4	0	9,18	0	10,02
14/02/2021	4	5	31,9	0,3333	3,75	3,33	0	55,8	20,04
14/02/2021	4	6	56,32	1,212	4,8	4,44	1,53	40,92	0
14/02/2021	4	7	87,34	0,8686	5,7	16,65	1,53	33,48	75,15
14/02/2021	4	8	125,84	1,1312	6,45	23,31	2,04	37,2	90,18
14/02/2021	4	9	155,32	1,3736	10,35	28,86	1,02	40,92	95,19
14/02/2021	4	10	190,96	2,0503	11,25	24,42	2,04	33,48	35,07
14/02/2021	4	11	183,7	2,0604	9,6	26,64	2,55	55,8	35,07
14/02/2021	4	12	182,16	2,1311	11,55	28,86	1,02	26,04	85,17
14/02/2021	4	13	173,58	1,7372	9,6	17,76	0,51	40,92	75,15
14/02/2021	4	14	94,38	1,8281	9,3	27,75	0	22,32	25,05
14/02/2021	4	15	116,6	1,919	8,1	18,87	1,02	11,16	55,11
14/02/2021	4	16	153,34	2,02	10,8	36,63	0,51	18,6	45,09
14/02/2021	4	17	146,08	1,6564	10,95	19,98	0,51	18,6	55,11
14/02/2021	4	18	170,06	1,8483	8,4	22,2	9,18	18,6	65,13
14/02/2021	4	19	112,86	1,7271	6,45	8,88	1,53	0	65,13
14/02/2021	4	20	101,86	2,1816	5,4	11,1	5,1	0	55,11
14/02/2021	4	21	69,3	1,5453	3,15	11,1	1,53	0	50,1
14/02/2021	4	22	28,6	0,5858	1,2	3,33	0	0	15,03
14/02/2021	4	23	23,1	0,3838	0,75	3,33	2,55	11,16	0
15/02/2021	5	0	12,1	0,2121	0,75	5,55	0	0	0
15/02/2021	5	1	2,2	0,2828	0,45	3,33	0	11,16	0
15/02/2021	5	2	1,76	0,2323	0	5,55	1,53	0	10,02
15/02/2021	5	3	6,16	0,202	1,95	3,33	4,08	18,6	10,02
15/02/2021	5	4	8,8	0,4141	1,95	3,33	1,53	29,76	10,02
15/02/2021	5	5	47,96	0,707	4,35	8,88	9,18	18,6	40,08
15/02/2021	5	6	128,26	1,1413	5,7	22,2	0	18,6	55,11
15/02/2021	5	7	209	1,515	6,9	42,18	6,63	29,76	50,1
15/02/2021	5	8	196,9	1,919	12,9	44,4	4,08	37,2	40,08
15/02/2021	5	9	197,56	2,5553	18,15	42,18	6,63	85,56	0
15/02/2021	5	10	200,86	2,2523	13,2	53,28	7,65	66,96	0
15/02/2021	5	11	216,92	2,2321	20,25	58,83	17,85	66,96	35,07
15/02/2021	5	12	243,1	2,1008	19,35	53,28	16,83	18,6	30,06
15/02/2021	5	13	174,9	1,515	10,65	47,73	12,75	48,36	25,05
15/02/2021	5	14	196,9	2,3533	16,95	38,85	10,2	74,4	20,04
15/02/2021	5	15	213,4	2,5351	19,65	58,83	10,2	18,6	50,1
15/02/2021	5	16	212,96	2,4543	19,8	42,18	20,4	55,8	55,11
15/02/2021	5	17	226,16	2,4038	18,45	44,4	10,2	29,76	65,13
15/02/2021	5	18	218,46	2,2523	20,1	49,95	6,63	85,56	120,24
15/02/2021	5	19	156,86	1,616	9,75	36,63	11,73	11,16	60,12
15/02/2021	5	20	105,16	1,0908	7,65	5,55	5,1	29,76	85,17
15/02/2021	5	21	63,36	0,7373	3	5,55	4,08	11,16	55,11
15/02/2021	5	22	33,66	0,404	1,2	0	1,53	11,16	40,08
15/02/2021	5	23	11	0,3333	1,65	0	2,55	0	60,12

Tabla 5. Total de emisiones PM2.5

Fecha	Día	Hora	Motocicleta	Vehículos			Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR GVWR>16Ton	Total de emisiones
				Vehículos GVWR <2,5Ton	Vehículos GVWR 2,5Ton<GVWR< 3,3 Ton	Vehículos GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5To n				
11/02/2021	1	0	5,7	0,3636	1,22	5,55	0	17,35	35,07	65,25
11/02/2021	1	1	3,76	0,1818	1,53	3,33	1,53	0	20,04	30,37
11/02/2021	1	2	5,36	0,2626	1,2	3,12	3,96	29,01	14,35	57,26
11/02/2021	1	3	10	0,4848	3,62	8,67	2,35	45,86	29,04	100,02
11/02/2021	1	4	28,4	0,6868	4,01	3,12	7,45	83,06	14,69	141,42
11/02/2021	1	5	62,76	1,2019	8,72	8,32	12,35	81,81	68,78	243,94
11/02/2021	1	6	262,46	2,929	11,42	35,37	11,13	100,41	103,85	527,57
11/02/2021	1	7	383,86	3,4643	12,11	96,75	23,28	109,57	133,57	762,60
11/02/2021	1	8	317,7	4,1309	20,75	88,63	25,2	121,48	79,48	657,37
11/02/2021	1	9	363,92	3,9996	24,56	83,78	26,45	135,11	108,52	746,34
11/02/2021	1	10	339,88	4,5349	21,67	98,14	21,56	164,37	138,58	788,73
11/02/2021	1	11	385,12	3,9693	21,41	84,89	22,27	65,21	108,52	691,39
11/02/2021	1	12	400,82	3,5956	18,83	83,92	24,54	164,62	133,23	829,56
11/02/2021	1	13	334,36	3,5552	17,82	74,07	21,48	85,78	110,81	647,88
11/02/2021	1	14	345,62	4,5147	17,7	84,82	15,72	173,81	138,58	780,76
11/02/2021	1	15	375,94	3,9087	22,56	107,5	16,62	120,73	128,9	776,16
11/02/2021	1	16	340,26	4,1107	18,62	84,54	14,19	130,67	74,13	666,52
11/02/2021	1	17	364,74	4,343	33,5	87,81	22,04	92,97	127,88	733,28
11/02/2021	1	18	409,86	4,2319	22,81	84,62	15,09	82,31	168,64	787,56
11/02/2021	1	19	278,26	2,8583	16,66	35,93	24,16	29,76	137,9	525,53
11/02/2021	1	20	188,46	1,9594	7,38	5,55	7,45	28,51	182,99	422,30
11/02/2021	1	21	173,16	1,9998	7,48	17,2	6,23	29,01	74,47	309,55
11/02/2021	1	22	50,9	1,1413	2,72	6,45	3,88	46,36	97,82	209,27
11/02/2021	1	23	20,8	0,7171	1,12	6,45	3,88	28,51	77,44	138,92
12/02/2021	2	0	3,2	0,4444	1,11	0	2,35	21,57	5,01	33,68
12/02/2021	2	1	3,26	0,4949	0,42	3,33	4,9	11,16	4,67	28,23
12/02/2021	2	2	14,3	0,3434	0,56	0	0	10,41	10,02	35,63
12/02/2021	2	3	10,8	0,2828	1,11	3,33	2,94	21,57	10,02	50,05
12/02/2021	2	4	23,26	0,7373	2,51	6,45	7,25	53,3	43,39	136,90
12/02/2021	2	5	71,72	1,0201	7,47	14,08	12,35	73,62	83,13	263,39
12/02/2021	2	6	280,06	2,6361	8,73	32,8	14,3	116,51	111,83	566,87
12/02/2021	2	7	393,36	3,9693	17,03	94,67	13,68	195,85	93,49	812,05
12/02/2021	2	8	318,96	3,7471	18,36	77,88	20,81	109,57	73,45	622,78
12/02/2021	2	9	362,16	3,9491	22,62	112,7	26,11	178,5	68,44	774,48
12/02/2021	2	10	342,16	4,4541	24,36	99,73	18,26	91,75	104,19	684,90
12/02/2021	2	11	350,72	4,1511	21,52	100,22	23,48	172,81	88,48	761,38
12/02/2021	2	12	424,56	4,0501	21,92	105,42	29,79	138,11	78,8	802,65
12/02/2021	2	13	353,96	3,9794	18,58	92,45	15,71	119,51	58,76	662,95
12/02/2021	2	14	441,36	4,7268	20,2	99,87	23,28	137,61	68,44	795,49
12/02/2021	2	15	348,86	3,9693	20,47	101,6	12,15	136,86	117,86	741,77
12/02/2021	2	16	360,16	5,3126	23,37	92,8	23,68	136,36	152,25	793,93
12/02/2021	2	17	296,86	4,4945	20,31	84,13	28,58	90,5	127,88	652,75
12/02/2021	2	18	344,1	4,2723	21,12	63,12	17,05	129,42	158,28	737,36
12/02/2021	2	19	286,4	4,1612	13,37	46,12	14,9	73,15	114,55	552,65
12/02/2021	2	20	187,2	3,3229	7,31	14,08	4,9	119,01	107,16	442,98
12/02/2021	2	21	129,36	1,5756	8,22	13,73	4,9	28,51	62,75	249,05
12/02/2021	2	22	54,26	1,3938	6,21	6,45	2,94	38,92	66,74	176,91
12/02/2021	2	23	23,96	0,9696	1,05	8,88	3,96	38,92	24,03	101,77

Tabla 6. Total de emisiones PM2.5



Fecha	Dia	Hora	Motocicleta	Vehículos			Vehículos GVWR 4,5 Ton <GVWR<7Ton	Vehículos GVWR 7Ton <GVWR<16Ton	Vehículos GVWR GVWR>16Ton	Total de emisiones
				GVWR <2,5Ton	2,5Ton<GVWR< 3,3 Ton	GVWR 3.3 Ton <GVWR<4.5Ton				
13/02/2021	3	0	16,7	0,6363	0,8	0	2,55	17,35	29,72	67,76
13/02/2021	3	1	4,66	0,4848	1,2	8,67	2,94	11,16	14,35	43,46
13/02/2021	3	2	5,36	0,303	0,87	0	1,53	17,35	14,01	39,42
13/02/2021	3	3	16,26	0,4848	1,41	3,33	1,41	47,61	19,36	89,86
13/02/2021	3	4	32,3	0,5151	4,66	6,45	6,31	29,01	38,72	117,97
13/02/2021	3	5	68,1	1,0908	8,06	13,87	7,05	46,36	49,08	193,61
13/02/2021	3	6	222,36	1,9291	7,59	35,23	13,56	109,57	59,1	449,34
13/02/2021	3	7	355,76	2,7169	15,17	69,7	16,85	80,56	112,17	652,93
13/02/2021	3	8	267,52	3,2926	17,92	96,05	12,15	162,4	72,09	631,42
13/02/2021	3	9	358,82	4,6359	16,75	95,23	14,7	161,62	131,19	782,95
13/02/2021	3	10	363,26	4,2925	24,81	87,25	21,13	100,91	44,41	646,06
13/02/2021	3	11	402,4	4,4238	20,6	91,2	18,66	101,66	74,13	713,07
13/02/2021	3	12	375,4	4,2521	20,77	88,77	23,28	119,01	107,16	738,64
13/02/2021	3	13	368,52	3,6663	24,01	80,1	16,31	162,4	87,8	742,81
13/02/2021	3	14	359,66	4,9086	25,31	70,4	17,25	123,95	96,12	697,60
13/02/2021	3	15	391,5	4,6561	24,47	85,65	18,66	148,02	78,46	751,42
13/02/2021	3	16	353,96	5,2217	25,03	71,3	16,43	127,7	112,51	712,15
13/02/2021	3	17	276,82	5,3025	22,6	53,75	31,13	142,55	108,52	640,67
13/02/2021	3	18	341,12	5,6055	25,92	80,45	16,03	143,8	133,91	746,84
13/02/2021	3	19	301,36	3,9188	16,91	38,15	8,78	101,66	123,55	594,33
13/02/2021	3	20	177	3,2219	10,91	16,3	11,21	100,91	54,43	373,98
13/02/2021	3	21	142,86	2,8381	7,59	22,4	7,84	94,72	69,12	347,37
13/02/2021	3	22	106,66	1,919	9,16	0	3,88	35,95	43,39	200,96
13/02/2021	3	23	43,76	1,2726	3,37	5,55	4,9	28,51	4,67	92,03
14/02/2021	4	0	44,4	1,0706	2,96	3,33	1,41	10,41	34,39	97,97
14/02/2021	4	1	23,46	0,8484	2,21	0	0	17,35	4,67	48,54
14/02/2021	4	2	18,56	0,8686	3,07	0	0	17,35	0	39,85
14/02/2021	4	3	17,4	0,5353	1,8	0	3,88	11,16	9,34	44,12
14/02/2021	4	4	22,36	0,6969	2,61	3,12	9,18	27,76	14,69	80,42
14/02/2021	4	5	46,9	0,7676	5,71	6,45	0	66,21	20,04	146,08
14/02/2021	4	6	107,32	2,6361	6,2	6,52	2,94	40,92	0	166,54
14/02/2021	4	7	160,74	3,03	6,96	18,73	5,76	33,48	107,84	336,54
14/02/2021	4	8	235,44	3,6562	9,04	27,47	4,39	37,2	113,53	430,73
14/02/2021	4	9	293,12	3,1714	12,66	31,98	7,6	40,92	118,54	507,99
14/02/2021	4	10	345,76	4,4844	14,89	36,9	6,74	33,48	67,76	510,01
14/02/2021	4	11	339,7	4,7773	13,17	28,72	8,19	55,8	58,42	508,78
14/02/2021	4	12	331,96	4,8581	15,61	38,22	4,31	26,04	131,87	552,87
14/02/2021	4	13	315,98	4,1208	12,75	25,04	4,27	40,92	112,51	515,59
14/02/2021	4	14	189,18	4,9894	12,31	33,99	3,29	22,32	48,4	314,48
14/02/2021	4	15	199,2	4,5046	11,88	23,03	4,31	11,16	87,8	341,88
14/02/2021	4	16	294,34	4,3632	13,81	48,07	2,39	18,6	82,45	464,02
14/02/2021	4	17	298,88	4,4743	14,59	27,26	3,8	18,6	78,46	446,06
14/02/2021	4	18	328,06	4,2824	11,97	30,52	10,12	18,6	65,13	468,68
14/02/2021	4	19	245,86	4,1814	11,49	29,68	2,94	27,76	74,47	396,38
14/02/2021	4	20	205,46	4,6561	8,48	16,3	9,8	34,7	64,45	343,85
14/02/2021	4	21	130,9	3,2118	5,46	11,1	2,94	34,7	54,77	243,08
14/02/2021	4	22	62,2	1,4039	2,6	8,53	2,35	17,35	19,7	114,13
14/02/2021	4	23	37,1	0,7676	0,96	3,33	3,96	21,57	0	67,69
15/02/2021	5	0	16,7	0,6767	1,1	8,67	0	10,41	0	37,56
15/02/2021	5	1	4,2	0,5151	0,66	3,33	1,41	11,16	0	21,28
15/02/2021	5	2	5,76	0,5151	0,42	8,67	3,88	0	14,69	33,94
15/02/2021	5	3	12,16	0,4848	2,16	3,33	6,43	29,01	14,69	68,26
15/02/2021	5	4	20,4	0,5959	2,86	6,45	3,88	57,52	14,69	106,40
15/02/2021	5	5	94,56	1,414	5,96	19,28	11,53	53,3	49,42	235,46
15/02/2021	5	6	288,26	2,5351	8,71	56,52	4,7	81,06	69,12	510,91
15/02/2021	5	7	438,6	4,1511	11,73	78,58	22,14	144,27	64,11	763,58
15/02/2021	5	8	394,5	3,9996	19,41	101,6	21,94	117,01	54,09	712,55
15/02/2021	5	9	377,76	5,0298	25,78	94,18	19,79	130,67	9,34	662,55
15/02/2021	5	10	384,06	4,7571	18,52	87,6	13,76	101,66	14,01	624,37
15/02/2021	5	11	395,52	4,4339	27,53	113,95	26,31	101,66	44,41	713,81
15/02/2021	5	12	451,1	4,4036	25,37	94,88	26,23	63,71	39,4	705,09
15/02/2021	5	13	368,5	3,7471	16,88	97,65	22,15	93,47	39,06	641,46
15/02/2021	5	14	387,5	4,2016	23,32	88,77	18,66	126,45	34,05	682,95
15/02/2021	5	15	412,4	5,1712	26,79	116,03	17,25	81,06	59,44	718,14
15/02/2021	5	16	378,16	4,9793	26,87	94,18	33,56	100,91	59,78	698,44
15/02/2021	5	17	415,36	4,5551	28,53	89,12	18,66	99,16	79,14	734,53
15/02/2021	5	18	416,06	4,5551	27,87	81,15	10,39	148,02	134,25	822,30
15/02/2021	5	19	293,86	3,4845	13,81	73,03	14,08	28,51	74,13	500,90
15/02/2021	5	20	193,16	2,4644	11,22	15,95	6,51	81,81	89,84	400,95
15/02/2021	5	21	111,96	1,5958	4,05	13,87	7,84	38,92	64,45	242,69
15/02/2021	5	22	54,66	0,7878	2,53	3,12	5,29	28,51	54,09	148,99
15/02/2021	5	23	15	0,6666	2,42	3,12	2,55	34,7	74,13	132,59

## Anexo 8. Medición de concentración de PM10 y PM2.5

**Tabla 1.** Concentración de PM10 y PM2.5

<b>Fecha</b>	<b>PM2,5 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>PM10 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>
29/01/2021	26,55	42,18
02/02/2021	29,75	47,65
06/02/2021	36,35	51,12
10/02/2021	38,94	47,13
14/02/2021	41,33	42,88
16/02/2021	25,03	36,66
18/02/2021	41,51	55,36
22/02/2021	18,44	54,00
26/02/2021	30,45	31,20
04/03/2021	57,96	60,69
07/03/2021	29,26	36,67
09/03/2021	12,92	29,70
11/03/2021	25,77	47,30
13/03/2021	24,87	36,79
16/03/2021	13,90	25,69
18/03/2021	18,63	34,12
20/03/2021	27,22	44,76
25/03/2021	15,56	26,34
27/03/2021	12,10	30,13
01/04/2021	36,83	47,98

## **Anexo 9. Concentración de PM10/semana**

Para la distribución de las semanas se tomó como referencia el calendario epidemiológico del año 2018 y el año 2019 (Tabla 1)

**Tabla 1.** Concentración de PM10 (2018-2019)

Fecha	Semana epidemiológica	Mes	Promedio PM10 (µg/m³)	Condiciones meteorológicas					
				Velocidad del viento (km/h)	Dirección del viento	Precipitación (mm)	Temperatura °C	Humedad relativa (%)	
06/05/2018	12/05/2018	19	1	35,94	-	-	33,2	22,5	-
13/05/2018	19/05/2018	20	1	27,38	-	-	56,33	22	-
20/05/2018	26/05/2018	21	1	42,49	-	-	10,12	23	-
27/05/2018	02/06/2018	22	1	52,45	-	-	7	22,5	-
03/06/2018	09/06/2018	23	2	46,43	9,2	180	18	22,5	71,29
10/06/2018	16/06/2018	24	2	44,87	8,2	196	1,02	22,6	73,44
17/06/2018	23/06/2018	25	2	35,36	8,07	25	28,96	21,9	75,62
24/06/2018	30/06/2018	26	2	50,53	12,5	243	0,51	23,6	67,65
01/07/2018	07/07/2018	27	3	47,83	10,6	201	12,19	24,1	69,10
08/07/2018	14/07/2018	28	3	49,08	12,6	280	0,51	25,8	64,75
15/07/2018	21/07/2018	29	3	48,44	16,1	224,3	0,51	25,4	63,31
22/07/2018	28/07/2018	30	3	48,51	10,4	225,7	3,05	25	67,65
29/07/2018	04/08/2018	31	4	35,89	9,5	153	4,82	23,2	70,55
05/08/2018	11/08/2018	32	4	39,49	13,9	135,8	1,78	26,6	60,41
12/08/2018	18/08/2018	33	4	44,14	8,8	180	27,94	22,8	72,72
19/08/2018	25/08/2018	34	4	38,77	8,61	37	23,37	22,1	72,72
26/08/2018	01/09/2018	35	5	33,16	9	10	0,25	22,7	71,27
02/09/2018	08/09/2018	36	5	34,69	9,6	0	37,34	22,5	72,72
09/09/2018	15/09/2018	37	5	29,72	7,5	355	15,5	21,7	75,62
16/09/2018	22/09/2018	38	5	34,66	7,83	0	5,08	22,8	72,72
23/09/2018	29/09/2018	39	6	33,21	7	328	35,06	22,4	74,89
30/09/2018	06/10/2018	40	6	23,95	10,3	4	39,37	22,1	74,17
07/10/2018	13/10/2018	41	6	28,98	7,7	22,5	86,35	21,1	77,07
14/10/2018	20/10/2018	42	6	21,05	6,5	266	22,65	21,5	76,34
21/10/2018	27/10/2018	43	7	43,32	6,7	67,5	12,45	21,9	75,62
28/10/2018	03/11/2018	44	7	44,47	6,8	156	4,57	22,1	73,44
04/11/2018	10/11/2018	45	7	35,89	6,4	319	22,61	21,5	75,62
11/11/2018	17/11/2018	46	7	43,49	7,5	280	0	22,6	73,44
18/11/2018	24/11/2018	47	8	63,84	9	28,3	0	22,2	73,44
25/11/2018	01/12/2018	48	8	57,27	9,8	177	0	21,1	71,27
02/12/2018	08/12/2018	49	8	57,94	7,7	111	0	20,2	72,00
09/12/2018	15/12/2018	50	8	57,60	8	276	0	21,5	71,27
16/12/2018	22/12/2018	51	9	54,43	8,3	262	0,25	21,5	69,82
23/12/2018	29/12/2018	52	9	60,93	9,7	335	0	20,8	69,10
30/12/2018	05/01/2019	1	9	52,75	10	90,4	0	21	67,20
06/01/2019	12/01/2019	2	9	51,62	7,3	109,3	0,51	20,1	74,24
13/01/2019	19/01/2019	3	10	51,35	8,7	60	1,78	21	70,03
20/01/2019	26/01/2019	4	10	59,80	10,7	61,7	0	24,4	68,45
27/01/2019	02/02/2019	5	10	86,78	6,9	164,4	0	22	69,04
03/02/2019	09/02/2019	6	10	102,64	5,2	45,9	0	20,7	68,66
10/02/2019	16/02/2019	7	11	85,76	7,8	223,3	0	21,9	67,99
17/02/2019	23/02/2019	8	11	69,48	8,4	92,9	0	21,4	66,64
24/02/2019	02/03/2019	9	11	71,37	3,6	55,2	0,51	21,8	66,96
03/03/2019	09/03/2019	10	11	76,03	1,4	42,9	11,93	21,9	68,83
10/03/2019	16/03/2019	11	12	76,34	1,7	51,8	0	22,1	66,03
17/03/2019	23/03/2019	12	12	91,09	1,2	125	4,32	22,2	76,39
24/03/2019	30/03/2019	13	12	79,02	1	73,1	16,77	22,4	78,80
31/03/2019	06/04/2019	14	12	50,69	1,1	38,6	25,91	21,4	74,40
07/04/2019	13/04/2019	15	13	71,21	1,5	128,1	18,55	22,3	78,15
14/04/2019	20/04/2019	16	13	48,65	1,6	37,3	16,51	21,9	82,32
21/04/2019	27/04/2019	17	13	44,06	1,8	63,2	6,6	22,1	87,66
28/04/2019	04/05/2019	18	13	62,71	3,2	77,2	12,5	22	72,73
05/05/2019	11/05/2019	19	14	48,90	7,2	79,7	10,1	22,2	87,07
12/05/2019	18/05/2019	20	14	41,54	6	123,5	80,1	22,6	87,42
19/05/2019	25/05/2019	21	14	31,51	6,3	100,5	118,1	22,8	91,30
26/05/2019	01/06/2019	22	14	23,79	6,3	215,7	46,74	22	92,18
02/06/2019	08/06/2019	23	15	31,57	7,1	136,4	44,19	22,6	87,88
09/06/2019	15/06/2019	24	15	43,44	7,9	81,4	1,02	22,9	84,22
16/06/2019	22/06/2019	25	15	38,39	9,2	123,2	1,02	23,4	77,65
23/06/2019	29/06/2019	26	15	33,02	9,1	89,6	2,28	22,7	77,09
30/06/2019	06/07/2019	27	16	50,01	9,5	92,7	0,25	22,5	75,88
07/07/2019	13/07/2019	28	16	41,78	8,6	119,5	0,76	22,4	81,20
14/07/2019	20/07/2019	29	16	62,74	8,9	133,7	22,09	23,1	77,08
21/07/2019	27/07/2019	30	16	33,18	9	186,2	11,93	22,5	73,92
28/07/2019	03/08/2019	31	17	40,89	7,6	204,1	11,68	23,2	85,56
04/08/2019	10/08/2019	32	17	30,96	7,6	192,2	1,52	22,7	86,48
11/08/2019	17/08/2019	33	17	37,10	7,3	198,9	33,02	22,1	87,51
18/08/2019	24/08/2019	34	17	35,70	10,3	155,8	1,1	22,8	86,91
25/08/2019	31/08/2019	35	18	36,09	8,13	210,20	9,90	22,15	82,21
01/09/2019	07/09/2019	36	18	36,49	9,69	266,70	32,40	21,64	86,53
08/09/2019	14/09/2019	37	18	43,90	9,49	212,60	0,00	22,18	84,98
15/09/2019	21/09/2019	38	18	37,22	10,81	300,20	116,40	20,92	90,20
22/09/2019	28/09/2019	39	19	24,18	10,60	116,90	29,80	21,58	88,22
29/09/2019	05/10/2019	40	19	28,45	10,82	147,10	35,60	20,79	88,10

## Anexo 10. Casos hospitalarios mensuales de IRA. (2018-2019)

Los datos mostrados en la tabla 1 son los registros de casos de IRA comprendidos desde la semana 19 de 2018 hasta la semana 40 del año 2019 de acuerdo al calendario epidemiológico de cada año.

**Tabla 1.** Casos de IRA por edad por barrio

Barrios	Edad						Total
	<1	1-4	5-15	15-45	45-59	>60	
Santa Clara	92	102	72	74	15	21	376
Galán	57	62	57	38	8	17	239
La Perla	48	56	47	34	7	14	206
Los Sauces	46	48	35	26	10	11	176
Villa Paraiso	21	52	39	21	9	8	150
Los Cristales	18	34	26	26	2	12	118
Colinas de la Provincia	38	33	21	9	4	2	107
Colinas de la esperanza	23	24	25	21	2	8	103
Asovigiron	17	16	22	10	4	5	74
Bermejál	6	8	9	3	2	5	33
Colinas de la Florida	7	5	7	2	5	3	29
Dos de Octubre	6	6	4	2	1	1	20
Villa mar	2	3	4	6	1	3	19
La Rivera	3	2	2	0	0	1	8
Brisas del Norte	0	1	1	0	1	0	3
La Ondina	0	0	1	0	0	0	1
<b>Total</b>	<b>384</b>	<b>452</b>	<b>372</b>	<b>272</b>	<b>71</b>	<b>111</b>	<b>1662</b>

Los meses indicados en las siguientes tablas son los correspondientes al calendario epidemiológico 2018 y 2019 explicados en el anexo H, tabla H1.

**Tabla 2. Casos de infecciones respiratorias agudas por barrio. Sexo masculino**

Deffase. Casos IRA	Mes	Casos hospitalarios de IRA por Barrio															Condiciones meteorológicas					
		Dos de octubre	Asovigiron	Bernejal	Colinas la esperanza	Colinas la florida	Colinas la provincia	Galán	La Ondina	La Perla	Rivera	Los Sauces	Los Cristales	Santa Clara	Villa Mar	Villa Paraiso	Promedio mensual PM10 (µg/m3)	Promedio mensual velocidad del viento (km/h)	Promedio mensual dirección del viento	Precipitación total mensual (mm)	Promedio mensual de temperatura °C	Promedio mensual de humedad (%)
-	1	0	2	0	3	0	5	7	1	6	0	4	6	14	1	6	39,57			106,65	22,50	
	2	0	3	3	4	0	4	7	0	6	0	5	4	13	0	5	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	0	3	1	2	0	0	6	0	6	0	5	3	9	0	2	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	0	1	2	2	1	3	8	0	9	0	3	4	7	1	1	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	0	2	3	0	1	2	4	0	8	1	5	3	8	0	4	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	1	2	0	2	0	1	3	0	2	0	4	1	13	1	0	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	2	5	1	2	4	2	4	0	7	1	5	2	7	1	6	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	0	1	0	6	1	2	12	0	6	1	8	4	10	1	4	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	2	0	2	1	0	5	9	0	5	1	6	1	13	0	1	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	2	3	1	2	0	3	2	0	4	1	5	2	19	0	0	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	0	3	0	1	0	5	8	0	3	0	5	1	7	1	7	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	0	1	2	3	1	2	12	0	7	0	8	3	10	0	4	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	0	2	1	2	0	4	7	0	5	0	5	1	4	0	1	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	0	1	1	0	0	4	0	4	0	4	0	3	1	11	1	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	0	1	2	3	1	2	4	0	5	1	1	2	6	0	2	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	0	0	0	3	0	0	8	0	1	0	2	1	11	0	0	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	1	0	1	2	0	5	5	0	5	0	2	3	7	1	1	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	0	0	1	5	2	5	5	0	11	0	2	0	7	0	0	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19	0	0	0	0	1	0	2	0	2	0	3	1	2	0	3	26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16
Una semana	1	0	1	0	3	0	2	5	0	4	0	2	3	6	1	2	39,57			106,65	22,50	
	2	0	2	2	0	0	4	8	1	7	0	5	3	12	0	6	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	0	4	2	4	0	0	3	0	4	0	2	4	9	0	3	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	0	1	2	2	1	3	11	0	10	0	5	4	7	1	1	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	0	1	3	0	1	2	4	0	7	1	4	4	8	0	4	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	1	3	0	2	0	1	2	0	3	0	5	1	15	1	0	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	2	4	1	0	3	2	5	0	7	1	5	2	6	1	1	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	0	2	0	8	2	2	11	0	7	1	8	5	11	1	9	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	0	1	1	0	3	5	5	0	4	1	6	0	12	0	1	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	3	1	1	0	0	5	6	0	4	1	5	3	18	0	0	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	1	4	1	3	0	4	5	0	4	0	5	1	10	1	4	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	0	2	1	1	1	2	15	0	7	0	9	3	9	0	7	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	0	2	2	4	1	5	6	0	5	0	3	1	4	0	1	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	0	1	1	0	0	3	3	0	2	0	4	1	11	1	2	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	0	1	2	3	1	2	4	0	7	1	2	2	6	0	4	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	0	0	0	3	0	0	7	0	0	0	2	1	10	0	0	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	1	0	1	2	0	4	5	0	5	0	1	2	6	0	0	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	0	0	0	3	1	6	4	0	12	0	2	1	10	1	1	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19	0	0	1	2	0	0	4	0	2	0	2	1	1	0	2	26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16
Dos semanas	1	0	1	0	2	0	1	4	1	1	0	1	4	6	0	3	39,57			106,65	22,50	
	2	0	3	3	4	0	4	7	0	6	0	5	4	13	0	5	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	0	3	1	2	0	0	6	0	6	0	5	3	9	0	2	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	0	1	2	2	1	3	8	0	9	0	3	4	7	1	1	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	0	2	3	0	1	2	4	0	8	1	5	3	8	0	4	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	1	2	0	2	0	1	3	0	2	0	4	1	13	1	0	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	2	5	1	2	4	2	4	0	7	1	5	2	7	1	6	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	0	1	0	6	1	2	12	0	6	1	8	5	10	1	4	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	2	0	2	1	0	5	9	0	5	1	6	1	13	0	1	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	2	3	1	2	0	3	2	0	4	1	5	2	19	0	0	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	0	3	0	1	0	5	8	0	3	0	5	1	7	1	7	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	0	1	2	3	2	2	12	0	7	0	8	3	10	0	4	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	0	2	1	2	0	4	7	0	5	0	5	1	4	0	1	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	0	0	1	1	0	0	1	0	4	0	3	1	11	1	4	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	0	1	2	3	1	2	4	0	5	1	1	2	6	0	2	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	0	0	0	3	0	0	8	0	1	0	2	1	11	0	0	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	1	0	1	2	0	5	5	0	5	0	2	3	7	1	1	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	0	0	1	5	2	5	5	0	11	0	2	0	7	0	0	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19	0	0	0	0	1	0	2	0	2	0	3	1	2	0	3	26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16

**Tabla 3. Casos de infecciones respiratorias agudas por barrio. Sexo femenino**

Desfase. Casos IRA	Casos hospitalarios de IRA por Barrio															Condiciones meteorológicas							
	MES	Dos de octubre	Asovigirón	Bermejaj	Brisas del norte	Colinas de la esperanza	Colinas de la florida	Colinas de la provincia	Galán	La Ondina	La Perla	Rivera	Los Sauces	Los Cristales	Santa Clara	Villa Mar	Villa Paraiso	Promedio mensual PM10 (µg/m3)	Promedio mensual velocidad del viento (km/h)	Promedio mensual dirección del viento	Precipitación total mensual (mm)	Promedio mensual de temperatura °C	Promedio mensual de humedad (%)
	1	0	5	0	1	2	1	3	9	0	7	0	5	4	13	0	11	39,57			106,65	22,50	
	2	1	1	0	0	8	1	2	5	0	7	0	7	2	12	0	4	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	1	0	3	1	2	1	5	9	0	7	0	3	6	10	1	4	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	1	2	1	0	6	1	2	7	0	7	0	6	4	8	0	5	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	2	6	0	0	0	2	1	7	0	5	0	7	4	14	2	4	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	1	2	1	0	1	0	5	6	0	5	0	5	3	8	0	5	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	2	4	1	1	2	2	2	7	0	7	2	2	9	12	1	10	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	1	1	0	0	8	1	5	7	0	6	0	9	7	18	0	14	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	0	2	0	0	2	2	3	5	0	9	0	2	3	14	0	3	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	0	2	2	0	5	2	6	12	0	4	0	5	5	14	0	3	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	0	2	0	0	3	0	6	8	0	4	0	3	5	15	0	8	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	0	3	1	0	5	1	2	14	0	2	0	3	4	7	1	3	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	1	1	0	0	5	1	1	5	0	6	0	8	1	8	3	5	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	0	5	0	0	1	0	1	5	0	3	0	6	3	7	0	2	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	1	3	0	0	1	0	4	7	0	2	0	5	1	7	0	3	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	0	2	0	0	0	1	2	2	0	9	0	4	3	10	1	2	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	0	1	1	0	2	0	1	3	0	3	0	7	4	7	2	5	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	0	1	2	0	4	1	5	4	0	3	0	6	6	8	0	6	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19	1	2	0	0	2	0	1	3	0	8	0	2	1	6	0	2	26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16
	1	1	4	0	1	4	1	3	10	0	8	0	5	4	10	0	7	39,57			106,65	22,50	
	2	1	1	0	0	4	1	6	7	0	5	0	6	3	14	0	5	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	0	0	4	1	4	2	2	7	0	8	0	4	4	8	1	4	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	1	4	0	0	4	0	1	8	0	6	0	7	5	10	0	5	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	2	5	1	0	0	2	2	6	0	6	0	6	3	10	2	4	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	2	1	0	0	3	2	4	6	0	4	1	4	3	8	0	6	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	2	4	1	1	4	0	3	7	0	7	1	6	11	16	2	13	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	0	2	0	0	4	3	4	6	0	11	0	6	6	16	0	9	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	0	2	0	0	2	0	5	10	0	2	0	3	5	15	0	3	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	0	1	2	0	7	2	8	7	0	6	0	3	3	13	0	4	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	0	3	0	0	2	1	3	15	0	4	0	3	4	13	1	7	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	0	2	1	0	4	0	2	10	0	2	0	6	4	8	0	4	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	1	2	0	0	5	1	1	3	0	5	0	5	2	9	3	4	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	0	5	0	0	2	0	0	4	0	3	0	7	2	6	0	3	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	1	2	0	0	0	0	4	7	0	5	0	6	1	8	1	2	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	0	2	0	0	2	2	2	2	0	7	0	3	4	9	0	5	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	0	1	2	0	2	0	3	5	0	1	0	7	5	7	2	3	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	1	2	1	0	4	1	3	3	0	8	0	6	5	8	0	7	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19	0	0	0	0	2	0	1	0	0	2	0	0	1	0	0	0	26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16
	1	1	4	0	1	5	2	3	7	0	9	0	6	4	13	0	7	39,57			106,65	22,50	
	2	1	0	0	0	5	0	6	6	0	4	0	4	3	10	1	6	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	0	1	4	1	2	2	1	8	0	8	0	6	5	10	0	5	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	2	4	0	0	4	0	1	9	0	7	0	6	4	9	1	4	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	2	4	1	0	0	2	3	6	0	4	0	5	4	12	1	4	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	2	1	1	1	3	2	3	6	0	5	1	5	2	9	1	8	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	1	5	0	0	4	1	3	4	0	9	1	5	12	19	1	13	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	0	2	0	0	4	2	4	6	0	10	0	5	6	15	0	7	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	0	2	1	0	6	0	7	15	0	2	0	5	4	10	0	3	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	0	2	1	0	3	2	6	5	0	5	0	2	3	16	0	6	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	0	2	1	0	6	1	3	14	0	3	0	4	5	10	1	5	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	1	2	0	0	0	0	2	9	0	5	0	5	3	10	1	4	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	0	2	0	0	5	1	1	4	0	3	0	8	3	7	2	3	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	0	6	0	0	2	0	2	3	0	3	0	4	1	8	0	4	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	1	0	0	0	0	2	3	6	0	6	0	6	1	5	1	1	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	0	2	0	0	2	0	2	4	0	5	0	2	5	9	0	5	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	0	1	2	0	0	1	3	3	0	2	0	7	5	8	2	3	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	1	2	1	0	6	0	3	3	0	9	0	6	4	8	0	7	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19																	26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16

**Tabla 4. Casos de infecciones respiratorias agudas por edad. Sexo masculino**

Desfase. Casos IRA	Casos de IRA por edad							Condiciones meteorológicas						
	MES	<1	1-4	5-15	15-45	45-59	>60	Promedio mensual PM10 (µg/m3)	Promedio mensual velocidad del viento (km/h)	Promedio mensual dirección del viento	Precipitación total mensual (mm)	Promedio mensual de temperatura °C	Promedio mensual de humedad (%)	
1	21	18	10	1	1	3	39,57				106,65	22,50		
2	9	18	16	4	1	3	44,30	9,59	154,67		30,49	22,70	72,24	
3	9	8	13	5	0	6	48,46	12,43	232,75		16,26	25,08	66,20	
4	11	9	14	5	2	2	39,57	10,20	126,45		57,91	23,68	69,10	
5	11	11	18	5	1	1	33,06	8,48	91,25		58,17	22,43	73,08	
6	7	10	11	4	1	0	26,80	7,88	155,13		183,43	21,78	75,62	
7	8	9	20	7	2	2	41,79	6,85	205,63		39,63	22,03	74,53	
8	8	17	14	10	0	7	59,16	8,63	148,08		0,00	21,25	72,00	
9	23	8	4	4	1	5	54,93	8,83	199,18		0,76	20,85	70,09	
10	12	10	8	5	2	4	75,14	7,88	83,00		1,78	22,03	69,05	
11	9	14	8	6	1	1	75,66	5,30	103,58		12,44	21,75	67,61	
12	17	18	10	5	0	2	74,29	1,25	72,13		47,00	22,03	73,91	
13	12	12	6	4	0	0	56,66	2,03	76,45		54,16	22,08	80,21	
14	9	8	7	2	0	1	36,43	6,45	129,85		255,04	22,40	89,49	
15	12	12	0	5	0	2	36,61	8,33	107,65		48,51	22,90	81,71	
16	9	10	4	1	0	1	46,93	9,00	133,03		35,03	22,63	77,02	
17	7	10	9	4	0	1	36,16	8,20	187,75		47,32	22,70	86,62	
18	9	10	9	4	2	2	38,43	9,53	247,43		158,70	21,72	85,98	
19	2	2	7	2	0	1	26,32	10,71	132,00		65,40	21,18	88,16	
Una semana	1	17	20	12	1	1	2	39,57			106,65	22,50		
	2	8	13	14	5	1	4	44,30	9,59	154,67		30,49	22,70	72,24
	3	11	8	16	5	1	5	48,46	12,43	232,75		16,26	25,08	66,20
	4	8	10	13	6	1	2	39,57	10,20	126,45		57,91	23,68	69,10
	5	11	11	16	5	1	1	33,06	8,48	91,25		58,17	22,43	73,08
	6	6	11	14	3	2	0	26,80	7,88	155,13		183,43	21,78	75,62
	7	12	12	26	8	1	5	41,79	6,85	205,63		39,63	22,03	74,53
	8	8	14	8	10	0	6	59,16	8,63	148,08		0,00	21,25	72,00
	9	23	8	2	3	2	4	54,93	8,83	199,18		0,76	20,85	70,09
	10	11	8	9	7	2	3	75,14	7,88	83,00		1,78	22,03	69,05
	11	10	21	7	7	2	2	75,66	5,30	103,58		12,44	21,75	67,61
	12	19	18	12	4	0	1	74,29	1,25	72,13		47,00	22,03	73,91
	13	11	6	4	3	0	1	56,66	2,03	76,45		54,16	22,08	80,21
	14	11	13	6	1	0	0	36,43	6,45	129,85		255,04	22,40	89,49
	15	9	10	2	6	0	3	36,61	8,33	107,65		48,51	22,90	81,71
	16	11	10	4	1	0	0	46,93	9,00	133,03		35,03	22,63	77,02
	17	7	11	15	4	1	2	36,16	8,20	187,75		47,32	22,70	86,62
	18	8	10	7	5	1	2	38,43	9,53	247,43		158,70	21,72	85,98
	19	1	0	3	0	0	0	26,32	10,71	132,00		65,40	21,18	88,16

**Tabla 5.** Casos de infecciones respiratorias agudas por edad. Sexo femenino

Desfase. Casos IRA	Casos de IRA por edad							Condiciones meteorológicas					
	MES	<1	1-4	5-15	15-45	45-59	>60	Promedio mensual PM10 (µg/m3)	Promedio mensual velocidad del viento (km/h)	Promedio mensual dirección del viento	Precipitación total mensual (mm)	Promedio mensual de temperatura °C	Promedio mensual de humedad (%)
-	1	7	21	21	8	3	4	39,57			106,65	22,50	76,26
	2	13	11	13	6	4	1	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	9	17	14	7	2	4	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	17	11	6	10	2	2	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	5	16	14	17	1	5	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	7	7	12	16	1	2	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	11	7	14	20	5	9	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	6	20	12	22	11	5	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	18	6	10	6	3	1	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	11	13	9	12	4	11	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	9	21	8	7	3	5	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	5	19	10	6	2	4	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	10	14	3	11	5	2	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	10	9	7	5	0	2	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	9	9	6	6	1	3	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	9	13	7	8	0	1	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	12	6	8	5	4	1	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	6	12	7	12	4	3	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19	5	6	3	5	2	2	26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16
Una semana	1	8	15	19	9	4	4	39,57			106,65	22,50	
	2	13	16	10	7	5	2	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	10	15	12	6	1	4	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	14	14	8	12	1	1	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	5	12	12	17	2	6	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	8	4	16	15	0	2	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	9	9	15	27	10	8	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	9	20	11	16	8	5	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	19	5	7	10	2	3	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	8	18	11	6	3	9	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	10	19	9	9	4	5	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	3	21	7	7	2	4	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	10	9	4	10	4	3	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	10	10	6	4	0	2	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	12	8	6	8	1	2	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	9	14	6	6	1	1	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	8	6	10	8	4	2	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	9	15	5	14	3	3	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19	2	0	3	0	1	0	26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16
Dos semanas	1	10	15	20	9	4	5	39,57			106,65	22,50	
	2	11	14	9	7	2	2	44,30	9,59	154,67	30,49	22,70	72,24
	3	12	16	12	6	2	4	48,46	12,43	232,75	16,26	25,08	66,20
	4	12	14	8	15	0	1	39,57	10,20	126,45	57,91	23,68	69,10
	5	8	12	13	14	2	6	33,06	8,48	91,25	58,17	22,43	73,08
	6	7	3	15	18	3	4	26,80	7,88	155,13	183,43	21,78	75,62
	7	8	12	13	29	10	7	41,79	6,85	205,63	39,63	22,03	74,53
	8	11	18	12	12	5	3	59,16	8,63	148,08	0,00	21,25	72,00
	9	18	6	8	10	4	7	54,93	8,83	199,18	0,76	20,85	70,09
	10	6	18	9	7	4	7	75,14	7,88	83,00	1,78	22,03	69,05
	11	9	21	10	7	1	7	75,66	5,30	103,58	12,44	21,75	67,61
	12	6	19	6	8	3	1	74,29	1,25	72,13	47,00	22,03	73,91
	13	11	9	4	9	3	2	56,66	2,03	76,45	54,16	22,08	80,21
	14	10	8	9	2	0	4	36,43	6,45	129,85	255,04	22,40	89,49
	15	11	8	3	10	1	0	36,61	8,33	107,65	48,51	22,90	81,71
	16	8	13	7	5	1	1	46,93	9,00	133,03	35,03	22,63	77,02
	17	8	7	8	9	4	2	36,16	8,20	187,75	47,32	22,70	86,62
	18	9	14	8	12	4	3	38,43	9,53	247,43	158,70	21,72	85,98
	19							26,32	10,71	132,00	65,40	21,18	88,16



**Tabla 6.** Casos de infecciones de IRA. Barrio Galán y Santa Clara

MES	Barrio Galán					Barrio Santa Clara					Promedio mensual PM10 (µg/m3)
	IRA (1-4)	Una semana de desfase IRA (1-4)	Dos semanas de desfase IRA (1-4)	Tres semanas de desfase IRA (1-4)	Cuatro semanas de desfase IRA (1-4)	IRA (1-4)	Una semana de desfase IRA (1-4)	Dos semanas de desfase IRA (1-4)	Tres semanas de desfase IRA (1-4)	Cuatro semanas de desfase IRA (1-4)	
1	2	5	4	1	1	5	5	4	2	4	39,57
2	5	2	1	2	2	8	7	8	9	6	44,30
3	2	3	6	6	6	6	7	6	5	5	48,46
4	6	5	2	2	1	5	3	3	6	6	39,57
5	1	3	3	3	3	6	5	8	5	5	33,06
6	3	1	1	0	0	5	7	4	3	3	26,80
7	0	0	0	2	6	3	1	1	2	3	41,79
8	6	7	8	6	2	3	7	7	8	7	59,16
9	2	1	0	1	2	7	4	4	2	3	54,93
10	2	2	3	3	2	3	4	5	6	7	75,14
11	2	3	5	7	10	7	8	10	13	11	75,66
12	10	10	10	13	10	11	9	5	2	4	74,29
13	10	9	7	1	2	4	3	4	4	5	56,66
14	2	3	2	2	1	5	7	7	6	3	36,43
15	1	1	1	3	3	3	3	2	4	5	36,61
16	3	2	2	0	0	5	9	10	9	8	46,93
17	0	0	2	2	2	8	4	4	4	4	36,16
18	2	2	1	2	2	4	6	5	4	4	38,43
19	2	2	1	0		4	0	0	0		26,32

## 6 Referencias

Abou, R. S. A., Martins, L. D., Kawashima, A. B., Almeida, D. S., Morais, M. V. B., Souza, R. V. A., Oliveira, M. B. L., Souza, R. A. F., Medeiros, A. S. S., Urbina, V., Freitas E. D., Martin, S. T., Martins, J. A. (2017). Contributions of mobile, stationary and biogenic sources to air pollution in the Amazon rainforest: a numerical study with the WRF-Chem model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17(12), 7977–7995.

Aguiar, G. D., Gómez, P. L. M., Álvarez. J. T., Correa, O. M. A., & Saldarriaga, M. J. C. (2020). Evaluating the impact of PM<sub>2.5</sub> atmospheric pollution on population mortality in an urbanized valley in the American tropics. *Atmospheric Environment*, 224, 117343. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117343>

Alcaldía Municipal de Girardota (2020). *Girardota le apuesta a la ciencia, tecnología e innovación para frenar la contaminación ambiental*. <https://www.girardota.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Paginas/Girardota-le-apuesta-a-la-ciencia-tecnolog%C3%ADa-e-innovaci%C3%B3n-para-frenar-la-contaminaci%C3%B3n-ambiental.aspx>

Alcaldía municipal de Ocaña (2019). *Plan de desarrollo 2020-2023*. Ocaña. [https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000764/38184\\_plan-de-desarrollo-2020--2023-mas-por-ocana.pdf](https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000764/38184_plan-de-desarrollo-2020--2023-mas-por-ocana.pdf)

Alcaldía municipal de Ocaña. (2015). *Formulación del plan maestro de movilidad del municipio de Ocaña*. Ocaña. [https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000069/3450\\_plan\\_de\\_movilidad.pdf](https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000069/3450_plan_de_movilidad.pdf)

Alcaldía Municipal de Ocaña. (2015). *Plan básico de ordenamiento territorial*. Alcaldía Municipal de Ocaña, Ocaña. [https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000112/5556\\_formulacin\\_urbana\\_2015.pdf](https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000112/5556_formulacin_urbana_2015.pdf)

Alcaldía municipal de Ocaña. (22 de Octubre de 2018). *Decreto 22 de 2018 por la cual se adopta de manera transitoria la medida de pico y placa en el municipio de Ocaña, Norte de Santande*. Ocaña, Colombia. <https://www.pyphoy.com/ocana/decreto-60-del-22-de-octubre-de-2018.pdf>

Aletta, F., Brinchi, S., Carrese, S., Gemma, A., Guattari, C., Mannini, L. y Patella, SM (2020). Analizar los volúmenes de tráfico urbano y cartografiar las emisiones de ruido en Roma (Italia) en el contexto de las medidas de contención de la enfermedad COVID-19. *Mapeo de ruido*, 7 (1), 114-122.

Ali Akbarzadeh, M., Khaheshi, I., Sharifi, A., Yousefi, N., Naderian, M., Namazi, M. H., . . . Nickdoost, N. (2018). The association between exposure to air pollutants including PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, ozone, carbon monoxide, sulfur dioxide, and nitrogen dioxide concentration and the relative risk of developing STEMI: A case-crossover design. *Environmental Research*, 16, 299-303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.020>

Álvarez, N. V. Á., Aldegunde, J. A., Quiñones, B. E., Saba, M., & Herrera, A. C. (2019). Estimation of the Vehicle Emission Factor in Different Areas of Cartagena de Indias. *Revista de Ciencias*, 23(2), 53-73.

- Álvarez, J. E., Moscoso, L. G., & Jaramillo, S. S. (2019). Ciencias del comportamiento y gobernanza colaborativa: experiencias de cultura ciudadana en Medellín, Colombia. *European Public & Social Innovation Review*, 4(1), 53-63.
- Amato, F., Rivas, I., Viana, M., Moreno, T., Bouso, L., Reche, C., ... & Querol, X. (2014). Sources of indoor and outdoor PM<sub>2.5</sub> concentrations in primary schools. *Science of the Total Environment*, 490, 757-765.
- Anenberg, S. C., Miller, J., Henze, D. K., Minjares, R., & Achakulwisut, P. (2019). The global burden of transportation tailpipe emissions on air pollution-related mortality in 2010 and 2015. *Environmental Research Letters*, 14(9).
- Angarita, R. D., Duarte, J. E., & Fernandez, F. H. (2018). Desarrollo de un MEC para la creación de cultura ciudadana sobre el uso del recurso hídrico en estudiantes de educación básica. *Revista Espacios*, 39(15).
- Araujo, A. M. (2018). *Alternativas de solución frente a la construcción de vivienda ilegal en el municipio de Valledupar*. [Tesis de maestría. Derecho para el urbanismo y el desarrollo territorial sostenible, Universidad Industrial de Santander] Repositorio Universidad de Santander.
- Arhami, M., Shahne, M. Z., Hosseini, V., Haghghat, N. R., Lai, A. M., & Schauer, J. J. (2018). Seasonal trends in the composition and sources of PM<sub>2.5</sub> and carbonaceous aerosol in Tehran, Iran. *Environmental pollution*, 239, 69-81.
- Asociación Nacional de Centros de Diagnóstico Automotor (2020). *Cifras de revisión tecnicomecánica. Boletín estadístico de enero a septiembre del 2020*. Bogotá, Colombia.
- Bahena, M. F. N., Bedolla, S. R., Juárez, L. A. L., Corral, A. A.Y., Reyes, U. M., y Rosas, A. J. L. (2019). Programa de Educación Ambiental Comunitaria para Promover la Transferencia de Tecnología en el Sector Ladrillero Artesanal. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales Aplicadas*, 14 (6), 627-654.
- Barbosa, P. (2018). *Apoyo técnico y administrativo en la ejecución de las obras viales a cargo de la secretaria de vías, infraestructura y vivienda de la alcaldía municipal de Ocaña, Norte de Santander*. [Trabajo de Pregrado. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Becklake, M. R., & Kauffmann, F. (1999). Gender differences in airway behaviour over the human life span. *Thorax*, 54, 1119–1138. <http://dx.doi.org/10.1136/thx.54.12.1119>
- Bejarano, M. S. (2016). Tipología de invasiones urbanas. Una propuesta a partir del caso de Cali, Colombia. *Entorno Geográfico*, (12), 70-100.
- Benavides, T., & Leño, A. (2018). Rol del estado en los procesos de urbanización periférica de las ciudades colombianas. *Margen* (88), 1-9.
- Bermudez, G. (2001). Los problemas en tecnología. Una propuesta metodológica. *Tecnura*, 5(9), 68-79. <https://doi.org/10.14483/22487638.6120>
- Biancofiore, F., Busilacchio, M., Verdecchia, M., Tomassetti, B., Aruffo, E., Bianco, S., ... & Di Carlo, P. (2017). Recursive neural network model for analysis and forecast of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>. *Atmospheric Pollution Research*, 8(4), 652-659.

- Biglari, H., Mohammadi, S., Porazmey, M. J., Chaturkova, E. J., Khaniabadi, R. Z., Goudarzi, G., Mahboubi, M., Mohammadi, B. & Yari, A. R. (2017). Relationship between air particulate matter and meteorological parameters. *Fresenius environmental bulletin*, 26(6), 4047-4056.
- Bolaños, M. J. I., Castellanos, S. M. T., & Rojas, G. J. O. (2019). Didáctica de la ética. El aporte de Mockus a la gobernabilidad en Colombia. *Hallazgos*, 16(32), 151-167.
- Bruse, M. (2007). Particle filtering capacity of urban vegetation: A microscale numerical approach. *Berliner Geographische Arbeiten*, 109, 61-70.
- Buccolieri, R., Jeanjean, A. P., Gatto, E., & Leigh, R. J. (2018). The impact of trees on street ventilation, NOx and PM2.5 concentrations across heights in Marylebone Rd street canyon, central London. *Sustainable Cities and Society*, 41, 227-241.
- Byrne, M. P., & O’Gorman, P. A. (2018). Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean warming. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of Americans*, 115(19). <https://doi.org/10.1073/pnas.1722312115>
- Cao, Q., Rui, G., & Liang, Y. (2018). Study on PM2.5 pollution and the mortality due to lung cancer in China based on geographic weighted regression model. *BMC public health*, 18(1), 1-10.
- Carceller, X. Q., Ramasco, J. J., Rodríguez, M. D. M. V., & Escámez, A. T. M. (2020). Movilidad urbana y calidad del aire. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, 58, 9-14.
- Cardozo, J. I. H & Sánchez, D. F. P (2019). Un estudio experimental y numérico de la contaminación del aire cerca de carreteras sin pavimentar. *Calidad del aire, atmósfera y salud*, 12 (4), 471-489.
- Carríazo, F., & Gomez, M. J. A. (2018). The demand for air quality: evidence from the housing market in Bogotá, Colombia. *Environment and Development Economics*, 23(2), 121-138.
- Carrillo, E. C. (2016). *Evaluación de los efectos en salud relacionados con la contaminación del aire para el sector ciudadela norte de la ciudad de Ocaña, norte de Santander*. [Trabajo de de pregrado. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Carrion, M. A., Kang, C. M., Gaffin, J. M., Hauptman, M., Phipatanakul, W., Koutrakis, P. y Gold, D. R. (2019). Aula interior PM2.5 fuentes y exposiciones en escuelas del centro de la ciudad. *Environment International*, 131, 104968.
- Chávez, R. M. F., Carvajal, P. E., Jaramillo, J. E. M., Egüez, A., Mahecha, R. E. G., Schaeffer, R., Szklo, A., Lucena, A. F. P., & Aramburo, S. A. (2018). Fuel saving strategies in the Andes: Long-term impacts for Peru, Colombia and Ecuador. *Energy strategy reviews*, 20, 35-48.
- Chen, C., Zhu, P., Lan, L., Zhou, L., Liu, R., Sun, Q., . . . Li, T. (February de 2018). Short-term exposures to PM 2.5 and cause-specific mortality of cardiovascular health in China. *Environmental Research*, 161, 188-194. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.10.046>
- Chen, S., Zhang, X., Lin, J., Huang, J., Zhao, D., Yuan, T., ... & Xie, L. (2019). Fugitive road dust PM2.5 emissions and their potential health impacts. *Environmental science & technology*, 53(14), 8455-8465.

Chen, Y., Fung, J. C. H., Chen, D., Shen, J., & Lu, X. (2019). Source and exposure apportionments of ambient PM<sub>2.5</sub> under different synoptic patterns in the Pearl River Delta region. *Chemosphere*, 236, 124266. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.236>

Ciudades y gobiernos locales unidos [CGLU]. (2021). *Ciudades intermedias*. <https://www.uclg.org/es/agenda/ciudades-intermedias>

Colla, N. S., Botté, S. E., & Marcovecchio, J. E. (April de 2021). Atmospheric particulate pollution in South American megacities. *Environmental Reviews*. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0105>

Contraloría general del departamento de Norte de Santander. (2019). *Informe ambiental de calidad del aire de los municipios sujetos de control de la contraloría general del Departamento de Norte de Santander*. Cúcuta. [http://www.contraloriands.gov.co/Content/ControlAmbiental/14\\_INFORME%20CALIDAD%20DEL%20AIRE.pdf](http://www.contraloriands.gov.co/Content/ControlAmbiental/14_INFORME%20CALIDAD%20DEL%20AIRE.pdf)

Contreras, E. (2016). *Evaluación de los efectos en salud relacionados con la contaminación del aire para el sector ciudadela norte de la ciudad de Ocaña, norte de Santander*. [Trabajo de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

CORPONOR. (2020). *Plan de acción 2020-2030*. Cúcuta. [https://corponor.gov.co/corponor/PLAN\\_ACCION\\_2020\\_2023/CAP\\_1\\_MARCO\\_GENERAL\\_PAIS\\_2020-2023.pdf](https://corponor.gov.co/corponor/PLAN_ACCION_2020_2023/CAP_1_MARCO_GENERAL_PAIS_2020-2023.pdf)

Crudo Transparente (2019). Silvia Pabón: *Contrabando de combustible en Norte de Santander: Complicidad fronteriza*. <https://crudotransparente.com/2019/10/02/complicidad-fronteriza-el-contrabando-de-combustible-en-norte-de-santander/>

Cuello, J. A., Armesto, A. A., Hernández, C. J. D., & Pedraza, F. M. (2017). Hongos asociados al material particulado, en Ocaña Norte de Santander. *Revista Ingenio*, 12(1), 75-83. <https://doi.org/10.22463/2011642X.2126>

Dalton J. (2019) Brainstorming. In: Great Big Agile. Apress, Berkeley, CA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4206-3\\_18](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4206-3_18)

Departamento Nacional de Estadística [DANE]. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda. Estadísticas*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>

Ding, A., Huang, X., & Fu, C. (2017). *Air Pollution and Weather Interaction in East Asia*. In Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.536>

Duarte, A. L., Schneider, I. L., Artaxo, P., & Oliveira, M. L. (2021). Spatiotemporal assessment of particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) and ozone in a Caribbean urban coastal city. *Geoscience Frontiers*, 13, 101168.

Dumas, A., Bernard, L., & Yannick Poquet, G. L. (2018). The role of the lung microbiota and the gut-lung axis in respiratory infectious diseases. *Cell Microbiol*, 20(12). 1-9.

Environmental Protection Agency [EPA]. (2021). *Particulate Matter (PM) Basics*. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>

- Espinosa, M., & Franco, J. F. (2019). *Gestión de la Calidad del Aire en Bogotá* [Conferencia]. Foro nacional ambiental. Bogotá, Colombia.
- Espinoza, J. F., Herrera, L. C., Remolina, B. R., & Pachon, J. E. (2017). Stimulation of resuspended dust emission factors before, during and after road paving process in bogota. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(1), 43-60. <https://doi.org/10.18359/rcin.1797>.
- Ezhilkumar, M. R., & Karthikeyan, S. (2020). Vertical Measurement of PM2. 5 and PM10 in Street Canyons and Cohort Health Risk Estimation at Chennai, South India. *Environmental Engineering Science*, 37(8), 535-547. <https://doi.org/10.1089/ees.2019.0494>
- Farah, S. A., Navarro, A., & Ruiz, R. M. F. (2021). Análisis estructural para la determinación de variables clave en el sistema de educación ambiental (EA) de la niñez temprana peruana. *Revista científica*, 40(1), 30-44.
- Fehr, R., Yam, K. C., He, W., Chiang, J. T., Wei, W. (2017). Polluted work: A self-control perspective on air pollution appraisals, organizational citizenship, and counterproductive work behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 143, 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2017.02.002>
- Feng, W., Li, H., Wang, S., Lutterodt, N. V., An, J., Liu, Y., . . . Guo, X. (March de 2019). Short-term PM10 and emergency department admissions for selective cardiovascular and respiratory diseases in Beijing, China. *Science of the Total Environment*, 657, 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.066>
- Ferrero, F., Abrutzky, R., Ossorio, M. F., & Torres, F. (2019). Effects of contamination and climate in the Pediatric Emergency Department visits for acute respiratory infection in the City of Buenos Aires. *Arch Argent Pediatr*, 117(6), 368-374
- Fonseca, K. J., & Delgado, E. C. (2017). *Inventario de emisiones por fuentes móviles en el perímetro urbano del municipio de Ocaña Norte de Santander*. [Trabajo de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Forni, E., Negro, E., Carlucci, C., Nasso, A., Struppek, M. (2019). Actions against air pollution in Turin for a healthy and playable city. *Cities & Health*, 3(1), 53-58. <https://doi.org/10.1080/23748834.2019.1596045>
- Franceschi, F., Cobo, M., & Figueredo, M. (2018). Discovering relationships and forecasting PM10 and PM2. 5 concentrations in Bogotá, Colombia, using artificial neural networks, principal component analysis, and k-means clustering. *Atmospheric Pollution Research*, 9(5), 912-922.
- Gabbe, C. J., Oxlaj, E., & Wang, J. (2019). Residential development and near-roadway air pollution: Assessing risk and mitigation in San Jose, California. *Journal of Transport & Health*, 13, 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2019.03.011>
- Galindo, N. E., Varea, N. M., & Crespo, J. (2018). Characterization of metals in PM1 and PM10 and health risk evaluation at an urban site in the western Mediterranean. *Chemosphere*, 201, 243-250. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.162>
- García, A. C. (2020). Contaminación atmosférica por incendios forestales en Morelia, Michoacán. *Ciencia Nicolaita*, 80, 56-75.

- Gil, D. A., Peláeza, L. M., Jaramillo, T. Á., Correa, O. M. A., & Saldarriaga, M. J. C. (2020). Evaluating the impact of PM2.5 atmospheric pollution on population mortality in an urbanized valley in the American tropic. *Atmospheric Environment*, 224, 117343 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117343>
- Gilliland, J., Maltby, M., Xu, X., Luginaah, I., Loebach, J., & Shah, T. (2019). Is active travel a breath of fresh air? Examining children's exposure to air pollution during the school commute. *Spatial and Spatio-temporal epidemiology*, 29, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.sste.2019.02.004>
- Glencross, D., RenHo, T., Camiñ, N., Hawrylowicz, C. M., & E.Pfefferc, P. (2021). Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radical Biology and Medicine*, 151, 56-68 <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.01.179>
- Global watch forest (2021). *Global forest watch*. <https://www.globalforestwatch.org/>
- Godet, M. (1993). Estrategia y gestión competitiva de la anticipación a la acción. MARCOMBO S.A.
- Gómez, L. A. (2020). Transit reforms in intermediate cities of Colombia: An ex-post evaluation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 349-364.
- Gómez, R. S., & Martínez, E. R. (2017). Métodos cuantitativos para un modelo de regresión lineal con multicolinealidad: Aplicación a rendimientos de letras del tesoro. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 24, 169-189.
- Guo, J., Hou, R., Zhou, M., Jin, X., Li, C., Liu, X., & Gao, H. (2021). Monitoring 2019 Forest Fires in Southeastern Australia with GNSS Technique. *Remote Sensing*, 13(3), 386.
- Han, L., Zhou, W., Li, W., & Qian, Y. (2017). Global population exposed to fine particulate pollution by population increase and pollution expansion. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 10(10), 1221-1226.
- Hao, Y., Gao, C., Deng, S., Yuan, M., Song, W., Lu, Z. y Qiu, Z. (2019). Caracterización química de PM2.5 emitidos por vehículos de motor propulsados por diesel, gasolina, gas natural y combustible de metanol. *Ciencia del medio ambiente total*, 674, 128-139.
- Hassan, H., Latif, M. T., Juneng, L., Amil, N., Khan, M. F., Yik, D. J., & Abdullah, N. A. (2020). Interaction of PM10 concentrations with local and synoptic meteorological conditions at different temporal scales. *Atmospheric Research*, 241, 104975.
- He, M., Chen, J., He, Y., Li, Y., Long, Q., Qiao, Y., & Zhang, K. (2021). Trends and Source Contribution Characteristics of SO2, NOX, PM10 and PM2.5 Emissions in Sichuan Province from 2013 to 2017. *Atmosphere*, 12(2), 189. <https://doi.org/10.3390/atmos12020189>
- Henríquez, C., & Romero, H. (2019). *Urban Climates in Latin America*. Springer.
- Hernandez, C. Z., Giraldo, G. D., & Tobón, R. B. (2020). Physicochemical Characterization of Airborne Particulate Matter in Medellín, Colombia, and its Use in an In Silico Study of Ventricular Action Potential. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04884-5>
- Hime, N. J., Marks, G. B., & Cowie, C. T. (2018). A Comparison of the Health Effects of Ambient Particulate Matter Air Pollution from Five Emission Sources. *International journal of environmental research and public health*, 15(6), 508-1206. <https://doi.org/10.3390/ijerph15061206>

Hong, G. H., Le, T. C., Tu, J. W., Wang, C., Chang, S. C., Yu, J. Y., ... & Tsai, C. J. (2021). Long-term evaluation and calibration of three types of low-cost PM<sub>2.5</sub> sensors at different air quality monitoring stations. *Journal of Aerosol Science*, *157*, 105829.

Houston, A. R., Lynch, K., Ostrach, B., & Isaacs, Y. S. (2020). United States immigration detention amplifies disease interaction risk: A model for a transnational ICE-TB-DM2 syndemic. *Global Public Health*.1-20. <https://doi.org/10.1080/17441692.2021.1919737>

Hu, H., Chen, Q., Qian, Q., Lin, C., Chen, Y., & Tian, W. (2021). Impacts of traffic and street characteristics on the exposure of cycling commuters to PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> in urban street environments. *Building and Environment*, *188*, 107476.

Hu, J., Zhao, T., Liu, J., Cao, L., Xia, J., Wang, C., ... & Li, Y. (2021). Nocturnal surface radiation cooling modulated by cloud cover change reinforces PM<sub>2.5</sub> accumulation: Observational study of heavy air pollution in the Sichuan Basin, Southwest China. *Science of The Total Environment*, *794*, 148624.

Hwa H. G., WeiTu, T. C., Wang, C., Chang, S. C., Yu, J. Y., Lin, G. Y., . . . Tsai, C. J. (September de 2021). Long-term evaluation and calibration of three types of low-cost PM<sub>2.5</sub> sensors at different air quality monitoring stations. *Journal of Aerosol Science*, *157*, 105829. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105829>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2020). *Informe de Calidad del Aire 2019*. [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023898/InformeCalidadAire\\_2019.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023898/InformeCalidadAire_2019.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2017). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia*. Bogotá, Colombia. [http://www.andi.com.co/Uploads/Informe\\_ECalidadl\\_Aire\\_2017\\_636748401757382604.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Informe_ECalidadl_Aire_2017_636748401757382604.pdf)

Instituto Departamental de Salud [IDS]. (2019). *Informe de comportamiento de eventos de interés en salud pública. Norte de Santander. Semanas epidemiológicas*. Instituto Departamental de Salud, Cúcuta.

Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2019). *Mapa de carreteras*. <https://hermes.invias.gov.co/carreteras/>

Jaykaran, C. P. B., Dutta, S., Kaur, R., Bist, S. K., Detha, M. D., Kanchan, T., Sharma, P. (2020). Use of Complementary and Alternative Medicine (CAM) and Home Remedies by COVID-19 Patients: A Telephonic Survey. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, *36*(1), 108-11.

Jeong, C. H., Wang, J. M., Hilker, N., Jerzy Debosz, U. S., Su, Y., Noble, M., J.Evans, D. H. (2019). Temporal and spatial variability of traffic-related PM<sub>2.5</sub> sources: Comparison of exhaust and non-exhaust emissions. *Atmospheric Environment*, *198*, 55-69. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.038>

Jo, E. J., Lee, W. S., Jo, H. Y., Chang Hoon Kim, J. S., Mok, J. H., Kim, M. H., . . . Park, H. K. (2017). Effects of particulate matter on respiratory disease and the impact of meteorological factors in Busan, Korea. *Respiratory Medicine*, *124*, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2017.02.010>

Jodeh, S., Hasan, AR, Amarah, J., Judeh, F., Salghi, R., Lgaz, H. y Jodeh, W. (2018). Análisis de la calidad del aire interior y exterior para la ciudad de Nablus en Palestina: tendencias estacionales de



PM 10, PM 5.0, PM 2.5 y PM 1.0 de hogares residenciales. *Calidad del aire, atmósfera y salud*, 11(2), 229-237.

Johnston, R. B. (2021). *An overview of the innate immune system*. <https://www.uptodate.com/contents/an-overview-of-the-innate-immune-system#topicContent>

Kakareka, S., & Salivonchyk, S. (2020). Assessment of atmospheric pollutant dispersion from mobile sources in Antarctica: a case study of Vecherny Oasis. *Polar Geography*, 43(4), 280-294.

Kaur, N., Bisht, B., & Kaur, M. (January de 2021). Self Medication Practices among Youngsters: A Global Health Concern. *Medico-legal Update*, 21(1).

Kura, B., Verma, S., Ajdari, E., & Iyer, A. (2013). Growing public health concerns from poor urban air quality: strategies for sustainable urban living. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, 2(02).

Larson, T., Gould, T., Riley, EA, Austin, E., Fintzi, J., Sheppard, L., ... y Simpson, C. (2017). Ambient Air Quality Measurements from a Moving Mobile Platform: Area-wide Estimation of Emission Factors from Fuel-Based Mobile Sources Using Absolute Principal Component Scores. *Ambiente atmosférico*, 152, 201-211.

Lee, K. K., Miller, M. R., & Shah, A. S. (2018). Air Pollution and Stroke. *Journal of Stroke*. 20(1), 2-11.

Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525. 367-371

Lelieveld, J., Pozzer, A., Pöschl, U., Fnais, M., Haines, A., & Münzel, T. (2020). Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective. *Cardiovascular research*, 16, 1910-1917. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa025>

Li, X., Ma, Y., Wang, Y., Liu, N., & Hong, Y. (2017). Temporal and spatial analyses of particulate matter (PM10 and PM2.5) and its relationship with meteorological parameters over an urban city in northeast China. *Atmospheric research*, 198, 185-193.

Lin, Y.-C., Li, Y.-C., Amesho, K. T. T., Shangdiar, S., Chou, F.-C., & Cheng, P.-C. (2020). Chemical characterization of PM2.5 emissions and atmospheric metallic element concentrations in PM2.5 emitted from mobile source gasoline-fueled vehicles. *Science of The Total Environment*, 739, 139942.

Lipp, D. (2014). *El cañón urbano su incidencia en la contaminación del aire [Conferencia]. Congreso Internacional de Geografía*, San Juan, Argentina (pp. 123-128).

Liu, W. K., Liu, Q., Chen, D. H., Tan, W. P., Cai, Y., Qiu, S. Y., ... & Zhou, R. (2018). Epidemiology of HBoV1 infection and relationship with meteorological conditions in hospitalized pediatric patients with acute respiratory illness: a 7-year study in a subtropical region. *BMC infectious diseases*, 18(1), 1-8.

Liu, H., Qi, L., Liang, C., Deng, F., Man, H., & He, K. (2020). How aging process changes characteristics of vehicle emissions? A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(17), 1796-1828.

Liu, J., Wang, W., Chen, Y. E., & Ping, C. C. (2019). Age Structures and Air Pollution: What Role Does Gender Play. *Problemy Ekorożwoju*, 14(1).

López, M. J., & Vega, A. F. (2019). *Estrategias de mejoramiento de la calidad del aire en ciudades con problemas de contaminación*. [Monografía. Especialización en gestión ambiental, Universidad de Antioquia]. Biblioteca digital de la universidad de Antioquia.

Ma1, Y., Yue, L., Liu, J., He, X., Li, L., Niu, J., & Luo, B. (2020). Association of air pollution with outpatient visits for respiratory diseases of children in an ex-heavily polluted Northwestern city, China. *BMC Public Health*, 20(816), 1-14.

Magnani, F. S., Garcia, N. P. D. Á., Cavalcanti, F. W., Hora, A. L. D. A., & Valença, D. A. D. A. (2021). Multimetric Analysis of a Simulated Mixed Traffic of Motorcycles and Automobiles: Flw, Energy, CO<sub>2</sub>, and Costs. *Ingeniería e Investigación*, 41(2), 1-8. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v41n2.83114>

Mahapatra, B., Monika Walia1, W. R., & Saggurti, N. (2020). Effect of exposure to PM<sub>10</sub> on child health: evidence based on a large-scale survey from 184 cities in India. *BMJ global health*, 5(8). 1-8. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjgh-2020-002597>

Malagon, R. J., Pinzón, S. D. C., Parra, E. L., Lagos, L., Toloza, P. Y. G., Florez, L. J. H., ... & Sarmiento, O. L (2020). Exposure to air pollutants in different microenvironments and their relationship to the respiratory health of population traveling by several modes of transportation in Bogotá, Colombia: protocol for a mixed-methods study. *JMIR Publications*. <https://doi.org/10.2196/preprints.25690>

Mangones, S. C., Jaramillo, P., Rojas, N. Y., & Fischbeck, P. (2020). Air pollution emission effects of changes in transport supply: the case of Bogotá, Colombia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29), 35971–35978. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08481-1>

Mani, S. A., Mani, F. S., Kumar, A., Shah, S., & Peltier, R. E. (2020). Traffic related PM<sub>2.5</sub> air quality: Policy options for developing Pacific Island countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102519.

Mani, S. A., Mani, F. S., Kumar, A., Shah, S., & Peltier, R. E. (2020). Traffic related PM<sub>2.5</sub> air quality: Policy options for developing Pacific Island countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102519. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102519>

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>

Mannucci, P. M., & Franchini, M. (2017). Health effects of ambient air pollution in developing countries. *International journal of environmental research and public health*. *International journal of environmental research and public health*, 14(9), 1048. <https://doi.org/10.3390/ijerph14091048>

Mansour, E., Vishinkin, R., Rihet, S., Saliba, W., Fish, F., Sarfati, P., & Haick, H. (2020). Measurement of temperature and relative humidity in exhaled breath. *Sensors and actuators B: Chemical*, 304, 127371. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127371>

Martins, N. R.; Carrilho da Graça, G. (2018). Impact of PM<sub>2.5</sub> in indoor urban environments: a review. *Sustainable Cities and Society*, 42, 259-275.

- Martynowicz, H., Dymczyk, P., Dominiak, M., Kazubowska, K., Skomro, R., Poreba, R., . . . Grzegorz Mazur, M. W. (2018). Evaluation of Intensity of Sleep Bruxism in Arterial Hypertension. *Clinical medicine*, 7(10), 327. <https://doi.org/10.3390/jcm7100327>
- Maulud, D. H., & Abdulazeez, A. M. (2020). A Review on Linear Regression Comprehensive in Machine Learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*. 1(4). 140-147.
- McMichael, A. J. (2014). Extreme weather events and infectious disease outbreaks. *Virulence*, 6(6). 533-534. <https://doi.org/10.4161/21505594.2014.975022>
- Medina Palacios, E. K. (2019). La contaminación del aire, un problema de todos. *Revista de la Facultad de Medicina*, 67(2), 189-191.
- Menendez, J. A. (2020). Metformin and SARS-CoV-2: mechanistic lessons on air pollution to weather the cytokine/thrombotic storm in COVID-19. *Aging (Albany NY)*, 12(10). 8760-8765.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2010). *Manual de diseño de sistemas de vigilancia de calidad del aire*. Bogotá, Colombia. Ministerio de Medio Ambiente.
- Ministerio de transporte. (2018). *Transporte en cifras*. (2018). Ministerio de Transporte
- Ministerio de transporte. (2021). *Boletín estratégico de seguridad y movilidad*. Ministerio de Transporte
- Ministerio Nacional de Medio Ambiente y desarrollo sostenible (2019). *Estrategia nacional de calidad del aire*. Bogotá, Colombia
- Mobarhan, M. y Yeganeh, M. (2019). Analyzing the influence of different streets and physical enclosures in reducing the amount of suspended particles in pedestrian streets. *Revista American Journal of Research*, 7(8), 120-128.
- Molina, G. N. I., Calderón, R. D. S., Sierra, P.R., Díaz, A. J. L., & López, J. P. A. (2021). Analysis of incidence of air quality on human health: a case study on the relationship between pollutant concentrations and respiratory diseases in Kennedy, Bogotá. *International Journal of Biometeorology*, 65(1), 119-132.
- Molina, G. N. I., Parada, R. S., Arévalo, J. L., & Jiménez, P. A. (2021). Analysis of incidence of air quality on human health: a case study on the relationship between pollutant concentrations and respiratory diseases in Kennedy, Bogotá. *International Journal of Biometeorology*, 65. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-020-01955-4>
- Montagut, L. B., Gutierrez, J. D. C., & Perez, M. L. B. (2021). Correlación entre el flujo vehicular, el PM<sub>2.5</sub> y variables meteorológicas, un estudio de caso al oriente de Bucaramanga (Colombia). *Bistua*, 18(2). 15-25
- Moreno, D. L. M., Osorio, G. G., & Córdoba, M. J. (2020). *Caracterización de motocicletas de calle para el desarrollo de un kit de hibridación* [Conferencia]. 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA). Medellin Colombia.
- Morón, J. B., & Marín, D. R. (2019). Cuadernos de historia económica. Planificación urbana en América Latina: el caso de Valedupar. (pp. 7-10)

- Mukherjee, A., & Agrawal, M. (2017). A global perspective of fine particulate matter pollution and its health effects. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 44, 5-51.
- Nascimento, A. P., Santos, J. M., Mill, J. G., Albuquerque, T. T., Júnior, N. C., AnselmoReisen, V., & Page, É. C. (2020). Association between the incidence of acute respiratory diseases in children and ambient concentrations of SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and chemical elements in fine particles. *Environmental Research*, 188. 109619 <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109619>
- Nino, G., Martinez, C. E., & Gutierrez, M. J. (2021). Early Microbial–Immune Interactions and Innate Immune Training of the Respiratory System during Health and Disease. *Children*, 8. <https://doi.org/10.3390/children8050413>
- Ningrum, P. R. W., Syafei, A. D., Assomadi, A. F., Boedisantoso, R., Hermana, J., & Suparta, W. (2020). The effect of air quality on the incidence of acute respiratory infection (ari) in pontianak city. *Geographia Technica*, 15(2), 19-28.
- Agencia Europea de Medio Ambiente [EEA]. (2019). *Guía de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos*.
- O’Grady, K. A., Kerry, A. B., Anne, C., & Potter, C. (2018). Review of respiratory diseases among Aboriginal and Torres Strait Islander children. *Australian Indigenous Health Bulletin*, 18(2). Obtenido de <https://eprints.qut.edu.au/119551/>
- Ojeda, H. D. (2018). *Proyecto bajo los lineamientos del PMI de incorporación de una vía fluvial al sistema de transporte público de una ciudad: caso río Bogotá*. [Tesis Maestría en Ingeniería, Universidad la Salle] Biblioteca digital Universidad La Salle.
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021). *Contaminación del aire ambiente (exterior)* [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Osorio, C. G. V., Pacichana, Q. S. G., Bonilla, E. F. J., Fandiño, L. A., Jaramillo, C., & Gutiérrez, M. M. I. (2015). First motorcycle-exclusive lane (Motovia) in Colombia: perceptions of users in Cali, 2012–2013. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 24(2), 145–151.
- Pareja, J. G., & Marisca, J. (2008). Aplicación del método delphi en la elaboración de las tablas input-output 2001 de Cataluña. *Cuadernos aragoneses de economía*, 18(1), 35-60
- Pérez, Y., & Rojas, Y. (2018). Estrategias de manejo y resolución de conflictos socio-ambientales relacionados con los efectos del cambio climático en ciudades intermedias de América Latina y el Caribe. N. Novillo, P. Olmedo M., Y. Pérez, & Y. Rojas Paiva (Eds.), *Aproximaciones al estudio de la relación entre ciudades y cambio climático*, 111.
- Phillips, B. B., Bullock, J. M., L. Osborne, J., & Gaston, K. J. (2021). Spatial extent of road pollution: A national analysis. *Science of the Total Environment*, 773. 145589 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145589>
- Pineda, D. A. (2018). *Análisis de la concentración de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en la ciudad de Manizales*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional]. Biblioteca digital Universidad Nacional.
- Pineda, Y. C., & Santiago, L. F. (2017). *Evaluación de la contaminación atmosférica respecto al material particulado menor a 10µm, en el casco urbano del municipio de Ocaña, norte de Santander*.

[Tesis de pregrado, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Biblioteca digital de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Peniche, S., & Cortez, H. M. (2020). La costumbre al envenenamiento: El caso de los contaminantes atmosféricos de la ciudad de Guadalajara, México. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 1-19.

Posada, E., Gómez, M., & Almanza, J. (2017). Análisis comparativo y modelación de las situaciones de calidad del aire en una muestra de ciudades del mundo. *Comparación con el caso de Medellín. Revista Politécnica*, 13(25). 9-29. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v13n25a1>

Putri, M. S., & Susanna, D. (2019). *The Effectiveness of Health Promotion on Knowledge of Mothers about Acute Respiratory Infections (ARI) in Mipiran Village, Padamara Public Health Center* [Conferencia]. The 2nd International Meeting of Public Health 2016: Public Health Perspective of Sustainable DevelopmentGoals: Challenges and Opportunities in Asia Pacific Region, KnE Life Sciences, pages 123–128

Quintana, G. R., Polo, G. R., & Santodomingo, N. A. (2020). Modelo de regresión lineal múltiple para estimar concentración de pm1. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1). 179-194. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.13>

Ramamoorthy, R. y Thangavelu, M. (2020). Un enrutamiento mejorado de optimización de colonias de hormigas basado en la distancia para redes ad hoc vehiculares. *Revista internacional de sistemas de comunicación*, 33(14). <https://doi.org/10.1002/dac.4502>

Ramos, B. A. (2019). *Cambio Climático, planeamiento y urbanismo* [Conferencia]. Congreso internacional. Ciudad y territorio virtual. Barcelona, España:

Ramos, R., Cantillo, V., Arellana, J., & Sarmiento, I. (2017). From restricting the use of cars by license plate numbers to congestion charging: Analysis for Medellín, Colombia. *Transport Policy*, 60, 119-130.

Restrepo, V. J. (2019). ¿Cómo gerenciar un proyecto a través de la matriz Vester en planificación estratégica? Caso: explotación minera en Timbiquí (Cauca). *Punto de Vista*, 11(17). 63–84. <https://doi.org/10.15765/pdv.v12i17.1670>

Reza, P. Z., Kingham, S., & Pearce, J. (2005). Evaluation of a year-long dispersion modelling of PM10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand. *Science of The Total Environment*, 349. 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.037>

Rodrigues, V., Gama, C., Ascenso, A., K.Oliveira, Coelho, S., Monteiro, A., . . . Lopes, M. (2021). Assessing air pollution in European cities to support a citizen centered approach to air quality management Science of The Total Environment. *Science of The Total Environment*, 799. 149311. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149311>

Rodriguez, V. L. A., Villamizar, N. Y.N. (2018). Short-term effects of air pollution on respiratory and circulatory morbidity in colombia 2011–2014: A multi-city, time-series analysis. *International journal of environmental research and public health*, 15(8), 1-12.

Romero, D. L. P., Trilleras, J. M., Castellarini, F., & Quijas, S. (2020). Ecosystem services in urban ecological infrastructure of Latin America and the Caribbean: How do they contribute to urban planning? *Science of the Total Environment*, 728, 138780.

- Rovira, J., Domingo, J. L., & Schuhmacher, M. (2020). Air quality, health impacts and burden of disease due to air pollution (PM10, PM2.5, NO2 and O3): Application of AirQ+ model to the Camp de Tarragona County (Catalonia, Spain). *Science of The Total Environment*, 703, 135538.
- Rui, L., Buccolieri, R., Gao, Z., Gatto, E., Ding, W. (2018). Study of the effect of green quantity and structure on thermal comfort and air quality in an urban-like residential district by ENVI-met modelling. *Building Simulation*, 12, 183-194.
- Sahanavin, N., Prueksasit, T., & Tantrakarnapa, K. (2018). Relationship between PM 10 and PM 2.5 levels in high-traffic area determined using path analysis and linear regression. *Journal of Environmental Sciences*, 69. 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.01.017>
- Salazar, C. R., Pachón de la Cruz, Á. (2018) Design of Urban Mobility Services for an Intermediate City in a Developing Country, Based on an Intelligent Transportation System Architecture. In Figueroa-García J., Villegas J., Orozco-Arroyave J., Maya Duque P. (eds) *Applied Computer Sciences in Engineering. WEA 2018. Communications in Computer and Information Science*, 916. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00353-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00353-1_16)
- Salazar, J. R. (2018). La importancia de la técnica de regresión lineal simple en el área de las ciencias económico administrativas. En J. M. Trejo, *Análisis Multivariante con enfoque dependiente en las ciencias de la administración como base para la innovación* (págs. 41-50). Universidad de Guadalajara.
- Sánchez, C. J. L., Gaona, S. C. A., & Parra, O. C. A. (2021). *Afectación de la capacidad vial por estacionamiento en vía, caso de estudio: Avenida Carrera 7ma con Avenida Calle 72*, [Trabajo de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Biblioteca digital Universidad Piloto de Colombia.
- Sánchez, N. G. (2020). *Retos y estrategias de integración sectorial* [Conferencia]. Movilidad sostenible, el reto de las ciudades en Colombia. Primer Encuentro Virtual de secretarios y Autoridades de Territorio y Movilidad. Bogotá, Colombia.
- Santos, P. D., Silva, F. C., Santos, B. W., & Schivinski, a. I. (December de 2019). Early childhood education professionals' knowledge about prevention, detection and treatment of acute respiratory infections in children. *Acta Scientiarum. Health Sciences*, 41, 1-10. <https://doi.org/10.4025/actascihealthsci.v41i1.43759>
- Sarche, X. A., Sarche, X. A., & Herrera, C. M. F (2020). Movilidad sostenible como capacitación para los socios de cooperativas de taxis soluciones, innovación y emprendimiento. *Pol. Con.* 5(5), 562-584
- Sass, D. (2021). *Spatio-temporal data modeling with applications to weather and disease*. [Tesis doctoral, University of Illinois]. Biblioteca digital la Universidad de Illinois Estados Unidos
- Saygın, M., Taner, G., Has, M., Çalışkan, S., Has, Z. G., & Akkaya, A. (2017). To Investigate the Effects of Air Pollution (PM10 and SO2) on the Respiratory Diseases Asthma and Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Turkish Thoracic Journal*, 18(2), 33-39.
- Ścibor, M., Bokwa, A., & Balcerzak, B. (2020). Impact of wind speed and apartment ventilation on indoor concentrations of PM10 and PM2.5 in Kraków, Poland. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 13(5), 553-562.

- Shafabakhsh, G., Taghizadeh, S. A., & Kooshki, S. M. (2018). Investigation and sensitivity analysis of air pollution caused by road transportation at signalized intersections using IVE model in Iran. *European Transport Research Review*, 10(1), 1-13.
- Silva, A. D. (2020). Políticas globales para las ciudades en movimiento: El papel de los think tanks en la proliferación de sistemas de transporte rápido de autobuses en América Latina y el mundo. *Política y sociedad*, 39 (1), 70-90.
- Sistema de alerta temprana ante evento extremos del clima. Note de Santander [Satecortedesantander]. (2021). *Pronostico del tiempo*. <https://www.satecortedesantander.gov.co/#no-back-button>
- Skiles, M. J., Lai, A. M., Olson, M. R., Schauer, J. J., & de Foy, B. (2018). Source apportionment of PM 2.5 organic carbon in the San Joaquin Valley using monthly and daily observations and meteorological clustering. *Environmental Pollution*, 237, 366–376.
- Sliwa, M. (2017). Master plans and urban ecosystems: How the poor transform land-use from rigid into organic-A case from Colombia. *Habitat international*, 66, 1-12.
- Sol, D. J., Yin, Z., & Cao, P. (2020). An improved CAL3QHC model and the application in vehicle emission mitigation schemes for urban signalized intersections. *Building and Environment*, 183. 107213. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107213>
- Solana, F. M. (2019). *Priorización de variables que determinan las condiciones ambientales del mercado público en el municipio de Soledad Atlántico*. [Tesis de especialización, Universidad Santiago de Cali]. Biblioteca digital Universidad Santiago de Cali.
- Sorensen, G. L. (2018). Surfactant Protein D in Respiratory and Non-Respiratory Diseases. *Frontiers in medicine*. *Pulmonary medicine*, 5(18). <https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00018>
- Soriano, J. B., Kendrick, P. J., Paulson, K. R. (2020). Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Respiratory Medicine*, 8. 585-596. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30105-3](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30105-3)
- Sosa, B. S., Porta, A., Lerner, J. E. C., Noriega, R. B., & Massolo, L. (2017). Human health risk due to variations in PM10-PM2. 5 and associated PAHs levels. *Atmospheric environment*, 160, 27-35.
- Suárez, JR, Abril, MO y Botia, GP (2020, diciembre). Diagnóstico de capacidad vial y nivel de servicio mediante el manual de capacidad vial. *Journal of Physics: Conference Series*. 1674(1).
- Tao, J., Zhang, L., Cao, J., Zhong, L., Chen, D., Yang, Y., ... Zhang, R. (2017). Source apportionment of PM 2.5 at urban and suburban areas of the Pearl River Delta region, south China - With emphasis on ship emissions. *Science of The Total Environment*, 574, 1559–1570.
- Tasci, S. S., Kavalci, C., & Kayipmaz, A. E. (2018). Relationship of meteorological and air pollution parameters with pneumonia in elderly patients. *Emergency medicine international*, 2018(18). <https://doi.org/10.1155/2018/4183203>
- Tellez, L. E. (2019). Calidad de la atención médica y adherencia a la guía de manejo colombiana de neumonía adquirida en la comunidad en el Hospital Universitario de Santander: periodo 2014-2015. *Medicas UIS*, 32(2). <https://doi.org/10.18273/revmed.v32n2-2019003>

- Thabethe, N. D., & Wichmann, K. V. (2021). Association between ambient air pollution and cause-specific mortality in Cape Town, Durban, and Johannesburg, South Africa: any susceptible groups. *Environmental Science and Pollution Research*, 28.
- Tipanluisa, L. E., Remanche, A. P., Ayabaca, C. R., & Reina, S. W. (2017). Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades. *Información tecnológica*, 28(1), 3-12. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002>
- Tong, R., Liu, J., Wang, W. y Fang, Y. (2020). Efectos sobre la salud de PM2. 5 emisiones de vehículos en carretera durante los días de semana y fines de semana en Beijing, China. *Ambiente atmosférico* , 223 , 117258.
- Uttajug, A., Ueda, K., Oyoshi, K., Honda, A., & Takano, H. (2021). Association between PM10 from vegetation fire events and hospital visits by children in upper northern Thailand. *Science of The Total Environment*, 764, 142923.
- Valle, H., López, B. E., Torres, R. M., Agapito, A. C. y Mugica, Á.V. (2021). Estudio preliminar de hollín e hidrocarburos aromáticos policíclicos en partículas emitidas por hornos de adobe que utilizan llantas de desecho como combustible. *Atmósfera* , 34 (1), 41-57.
- Vidal, D. O. A., & Pérez, V. A. (2018). Estimación de la dispersión de contaminantes Atmosféricos emitidos por una industria papelera mediante el modelo Aermod. *Ingeniería*, 23(1), 31-47.
- Viecco, M., Jorquera, H., Sharm, A., Bustamante, W., & SergioVera, H. J. (2021). Green roofs and green walls layouts for improved urban air quality by mitigating particulate matter. *Building and Environment*, 204, 108120. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108120>
- Vu, D., Roth, P., Berte, T., Yang, J., Cocker, D., Durbin, T., ... Asa-Awuku, A. (2019). Using a new Mobile Atmospheric Chamber (MACH) to investigate the formation of secondary aerosols from mobile sources: The case of gasoline direct injection vehicles. *Journal of Aerosol Science*, 13, 1-13
- Wang, W., Ding, X., Turap, Y., Tursun, Y., Abulizi, A., Wang, X., ... Liu, H. (2020). Distribution, sources, risks, and vitro DNA oxidative damage of PM2.5-bound atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Urumqi, NW China. *Science of The Total Environment*, 739, 139518.
- Wang, Y., Zhou, Y., Zuo, J., & Rameezdeen, R. (2018). A computational fluid dynamic (CFD) simulation of PM10 dispersion caused by rail transit construction activity: a real urban street canyon model. *International journal of environmental research and public health*, 15(3), 482.
- Wen, X., Chen, W., Chen, B., Yang, C., Tu, G. y Cheng, T. (2020). ¿La prohibición de quemar paja al aire libre mitiga la contaminación del aire? Un estudio empírico en la provincia de Jilin de China en la temporada de poscosecha. *Revista de gestión ambiental* , 264 , 110451.
- Wen, Y., Wang, H., Larson, T., Kelp, M., Zhang, S., Wu, Y., & Marshall, J. D. (2019). On-highway vehicle emission factors, and spatial patterns, based on mobile monitoring and absolute principal component score. *Science of the Total Environment*, 676, 242-251.
- West, S. E., Büker, P., Ashmore, M., Njoroge, G., Welden, N., Muhoza, C., ... & Apondo, W. (2020). Particulate matter pollution in an informal settlement in Nairobi: Using citizen science to make the invisible visible. *Applied Geography*, 114, 102133.



- Wren, S. N., Liggio, J., Han, Y., Hayden, K., Lu, G., Mihele, CM, ... y Brook, JR (2018). Elucidar los factores de emisión de vehículos del mundo real a partir de mediciones móviles en una gran región metropolitana: un enfoque en el ácido isocianico, el cianuro de hidrógeno y el carbono negro. *Química y física atmosférica*, 18 (23), 16979-17001.
- Xue Li, P., Chan, K. Y., Campbell, H., Theodoratou, E., & Rudan, I. (2020). The disease burden of childhood asthma in China: a systematic review and meta-analysis. *Journal of global health*, 10(1). 1-8.
- Xue, F., & Li, X. (2017). The impact of roadside trees on traffic released PM10 in urban street canyon: Aerodynamic and deposition effects. *Sustainable cities and society*, 30, 195-204. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.001>
- Yang Shen, X. Z., Cai Chen, Q. L., Li, X., Qu, W., Xuejian Liu, L. Z., & Chang, S. (2021). The relationship between ambient temperature and acute respiratory and cardiovascular diseases in Shenyang, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 20058-20071.
- Yin, X., Huang, Z., Zheng, J., Yuan, Z., Zhu, W., Huang, X., & Chen, D. (2017). Source contributions to PM2.5 in Guangdong province, China by numerical modeling: *Results and implications. Atmospheric Research*, 186, 63–71.
- Yu, W., Guo, Y., Shi, L., & Li, S. (2018). The association between long-term exposure to low-level PM2.5 and mortality in the state of Queensland, Australia: A modelling study with the difference-in-differences approach. *PLoS medicine*, 17(6), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003141>
- Zafra, C., Suárez, J., & Pachón, J. E. (2021). Public Health Considerations for PM10 in a High-Pollution Megacity: Influences of Atmospheric Condition and Land Coverage. *Atmosphere*, 12(1), 118. <https://doi.org/10.3390/atmos12010118>
- Zhai, X., Mulholland, J. A., Russell, A. G., & Holmes, H. A. (2017). Spatial and temporal source apportionment of PM 2.5 in Georgia, 2002 to 2013. *Atmospheric Environment*, 161, 112–121.
- Zhang, Y., Wanga, H., Liang, S., Qian, M. X., Zhan, Zhao, H., & Bi, J. (2015). A dual strategy for controlling energy consumption and air pollution in China's metropolis of Beijing. *Energy*, 81(1), 294-303. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.12.041>