



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE POR INMISIÓN DE PM10 Y SU  
CORRELACIÓN CON LAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS  
REPORTADAS PARA EL AÑO 2016 EN EL ÁREA URBANA MUNICIPIO DE  
RÁQUIRA, BOYACÁ.**

YENY PAOLA RICO MELO  
CHRISTIAN DAVID TORRES SALCEDO

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, fecha de terminación del trabajo

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE POR INMISIÓN DE PM10  
Y SU CORRELACIÓN CON LAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS  
REPORTADAS PARA EL AÑO 2016 EN EL ÁREA URBANA  
MUNICIPIO DE RÁQUIRA, BOYACÁ.**

YENY PAOLA RICO MELO  
CHRISTIAN DAVID TORRES SALCEDO

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Ambiental**

DIRECTOR:  
Möritz Velásquez Riaño

Línea de Investigación:  
Salud Ambiental

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia  
2018

## Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

## *Dedicatoria*

Dedico el presente trabajo a mi madre, María Melo quien con su esfuerzo y dedicación hizo posible este logro. De igual forma a mi hermana Laura Rico y mi hermanito Manuel José por su apoyo incondicional.

***YENY PAOLA RICO MELO***

Dedico el presente trabajo a mi madre, mi padre y mi hermana quienes con su apoyo incondicional hicieron parte fundamental de este logro.

***CHRISTIAN DAVID TORRES SALCEDO***

## **Agradecimientos**

El presente trabajo de grado fue el resultado de nuestro esfuerzo en conjunto con el Director Möriz Velásquez Riaño, quien con su acompañamiento a lo largo del proceso investigativo nos brindó herramientas de gran ayuda en el proyecto.

## Tabla de contenido

I.	RESUMEN.....	10
II.	ABSTRACT.....	11
III.	INTRODUCCIÓN .....	12
IV.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.	<i>Pregunta de investigación</i> .....	13
V.	JUSTIFICACIÓN .....	14
VI.	OBJETIVOS.....	15
1.	<i>Objetivo general</i> .....	15
2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	15
VII.	<b>MARCO GEOGRÁFICO</b> .....	16
1.	<i>Economía</i> .....	17
2.	<i>Demografía</i> .....	17
VIII.	<b>MARCO LEGAL</b> .....	19
IX.	<b>MARCO INSTITUCIONAL</b> .....	21
X.	<b>MARCO CONCEPTUAL</b> .....	22
1.	<i>Generalidades sobre la calidad del aire</i> .....	22
2.	<i>Sistemas de vigilancia de la calidad del aire</i> .....	23
3.	<i>Variable meteorológicas</i> .....	23
4.	<i>Emisión e Inmisión</i> .....	24
5.	<i>Características Industrias Alfareras en Ráquira</i> .....	24
6.	<i>Tipos de contaminantes generados por la producción de artesanías</i> .....	24
7.	<i>Hornos para cerámica</i> .....	25
8.	<i>Enfermedades respiratorias</i> .....	26
9.	<i>Prueba Paramétrica de estadística de correlación de Pearson</i> .....	26
10.	<i>Índice de calidad del aire (ICA)</i> .....	27
11.	<i>Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado (2005)</i> .....	28
XI.	<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	28
XII.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	31
1.	<i>Análisis Metodológico</i> .....	31
2.	<i>Plan de trabajo</i> .....	33
XIII.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	36
XIV.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	64
XV.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	65
XVI.	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	66
XVII.	<b>ANEXOS</b> .....	70

## Listado de Figuras

Figura 1. Mapa ubicación geográfica del municipio Ráquira Boyacá.....	16
<i>Figura 2. Cocción de artesanías en hornos de carbón, vereda Torres .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3. Plan de trabajo primer objetivo específico .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4. Plan de trabajo segundo objetivo específico .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5. Plan de trabajo tercer objetivo específico.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6. Concentración de PM<sub>10</sub> durante los meses de enero a Diciembre de 2016 en la estación El Colegio y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de enero de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 8. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de febrero de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de Marzo de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 10. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de abril de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 11. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de mayo de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de mayo de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de julio de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 14. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de agosto de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de septiembre de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional. ....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 16. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de octubre de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 17. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de noviembre de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional. ....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 18. Emisiones de PM<sub>10</sub> cada 24 h durante el mes de diciembre de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional. ....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 19. Relación entre el No. de casos de Asma año 2016, el contaminante (PM<sub>10</sub>) y los grupos etarios vulnerables .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 20. Relación entre el No. de casos de Bronquitis año 2016, el contaminante (PM<sub>10</sub>) y los grupos etarios vulnerables.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 21. Relación entre el No. de casos de Rinofaringitis año 2016, el contaminante (PM<sub>10</sub>) y los grupos etarios vulnerables.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 22. Relación entre el No. de casos de EPOC año 2016, el contaminante (PM<sub>10</sub>) y los grupos etarios vulnerables. ....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 23. Estación de monitoreo 11 Ráquira- colegio .....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 24. Equipos de la estación de monitoreo 11 Ráquira- colegio.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 25. Toma muestras de material Particulado (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>) BAM-1020.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 26. Temperatura año 2016 en el municipio de Ráquira, Boyacá .....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 27. Precipitación año 2016 en municipio de Ráquira, Boyacá. ....</i>	<i>59</i>

<i>Figura 28. Rosa de vientos promedio para el año 2016 del municipio de Ráquira, Boyacá. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 29. Mapa con los focos de emisión en el área Urbana del municipio de Ráquira para el año 2016. ....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 30. Mapa con los focos de emisión en el área Rural del municipio de Ráquira para el año 2016. ....</i>	<i>62</i>

## Listado de Tablas

<i>Tabla 1. Total población en el municipio de Ráquira .....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2. Distribución y extensión veredal del municipio de Ráquira .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3. Normativa de calidad del aire vigente para la República de Colombia. ....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4. Actores involucrados.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 5. Valores límite de contaminante establecidos en la Resolución 2254 de 2017.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 6. Contaminantes generados durante el proceso productivo de artesanías.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 7. Rangos de Correlación de Pearson .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 8. Análisis metodológico .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 9. Cumplimiento de las emisiones de PM<sub>10</sub> en la estación El Colegio del municipio del municipio de Ráquira de acuerdo la Normativa Colombiana (Resolución 610/2010). ....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 10. Cumplimiento de las emisiones de PM<sub>10</sub> en la estación El Colegio del municipio del municipio de Ráquira a partir de lo establecido por la GCA de la OMS (2005).....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 11. No de días del año 2016 de acuerdo a la clasificación por Puntos de corte para PM<sub>10</sub> del Índice de Calidad del Aire ICA en Colombia .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 12. Resultados Prueba paramétrica estadística de Correlación de Pearson. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 13. No. total de casos por enfermedad respiratoria y grupos vulnerables .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 14. Comparación entre el No. de casos reportados en Ráquira y No. de casos reportados en Sutamarchán. ....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 15. Criterios para ubicar toma muestras y caminos de medición .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 16. Cantidad de los focos de emisión en el municipio de Ráquira. ....</i>	<i>60</i>

## I. RESUMEN

Boyacá cuenta con una red de monitoreo de calidad del aire, que permite medir la concentración de los contaminantes atmosféricos presentes en el Departamento. La red de monitoreo de calidad del aire de Boyacá está compuesta por varias estaciones de monitoreo, una de ellas es la estación “el colegio” ubicada en el municipio de Ráquira, a la fecha dicha estación de monitoreo cuenta con reportes mensuales de los contaminantes  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , siendo estos los que más afectan la calidad del aire en el municipio. Con base en lo anterior, el presente proyecto busca realizar un análisis de tipo correlacional entre las emisiones atmosféricas, la calidad del aire y las enfermedades respiratorias para el área urbana del municipio de Ráquira en el año 2016. El desarrollo metodológico se basó en un enfoque mixto correlacional, permitiendo el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos en un mismo estudio. Los resultados evidencian que las enfermedades respiratorias que más afectan a la población vulnerable del municipio son EPOC, asma, bronquitis y rinofaringitis. Las emisiones del contaminante  $PM_{10}$  a causa de la combustión incompleta en hornos a carbón, se muestran como la principal fuente de contaminación del aire, superando constantemente los valores permisibles establecidos por la normativa nacional como lo sugerido por la OMS. En conclusión, mediante la correlación de Pearson se logró determinar la existencia de una correlación lineal tanto directa como inversa, baja y alta, entre el número de casos de enfermedades respiratorias reportadas y las concentraciones del contaminante  $PM_{10}$  anual. Siendo así, la rinofaringitis la enfermedad respiratoria que presentó la correlación directa más alta, además de presentar el mayor número de casos reportados (189) para el año 2016.

Palabras clave: material particulado, enfermedades respiratorias, calidad del aire, hornos a carbón, Ráquira, Boyacá.

## II. ABSTRACT

Boyaca has an air quality monitoring network, which allows measuring the concentration of air pollutants present in the department. The Boyaca air quality monitoring network is composed of several monitoring stations, one of which is "el colegio" station located in the municipality of Raquira, to date the monitoring station has monthly reports of PM<sub>10</sub> pollutants and PM<sub>2.5</sub>, these being the ones that most affect air quality in the municipality. Based on this, the project seeks to perform a correlational analysis between atmospheric emissions, air quality and respiratory diseases for the urban area of the municipality of Raquira in 2016. The methodological development was based on a correlational mixed approach allowing the analysis of both qualitative and quantitative data in the same study. The results show that the respiratory diseases that most affect the vulnerable population of the municipality are COPD, Asthma, Bronchitis and Rhinopharyngitis. PM<sub>10</sub> pollutant emissions due to incomplete combustion in charcoal ovens are shown as the main source of air pollution, constantly exceeding the permissible values established by national regulations as suggested by the WHO. In conclusion, by means of the Pearson correlation, it was possible to determine the existence of a linear correlation, direct and inverse, low and high, between the number of cases of reported respiratory diseases and the PM<sub>10</sub> annual pollutant concentrations. Thus, the Rhinopharyngitis respiratory disease that presented the highest direct correlation, in addition to presenting the largest number of cases reported (189) for the year 2016.

Key words: Particulate matter, respiratory disease, air quality, charcoal ovens, Raquira, Boyaca.

### III. INTRODUCCIÓN

El municipio de Ráquira ubicado en la provincia de Ricaurte, en el departamento de Boyacá es considerado a nivel nacional e internacional como la capital artesanal de Colombia (Siart, 2015). Lo anterior, debido a que la principal actividad a través de los años y en la actualidad ha sido la elaboración de artesanías en cerámica, representando parte significativa de la economía de dicho municipio, puesto que con esto se dio origen a las calles comerciales que allí se encuentran, donde se sitúan los locales en los cuales se comercializan diferentes objetos en cerámica elaborados a mano o con diferentes técnicas. Sin embargo, la presencia de la industria artesanal no solo ha traído consigo grandes ventajas como hacer de Ráquira un municipio tan turístico, sino también grandes impactos ambientales y posibles afectaciones a la salud de la población como es el caso de los habitantes que se encuentran en el casco urbano del municipio, debido a la constante presencia de emisiones atmosféricas de material particulado provenientes principalmente de las chimeneas de los hornos artesanales utilizados para la cocción de artesanías, estos emiten especialmente  $PM_{10}$ , en altas concentraciones, que pueden representar riesgos para la salud de las personas (IDEAM, 2016).

De acuerdo a esta problemática ambiental, emerge la idea de desarrollar el presente proyecto, ya que actualmente no se cuentan con estudios que cuantifiquen de alguna manera la magnitud de problema enfocándolo principalmente a la salud de los habitantes. Se realizó un análisis de las series de tiempo (anual y 24h) para establecer el grado de cumplimiento de acuerdo a la normativa correspondiente a material particulado vigente para el año en cuestión, analizando así las posibles causas de porque se presentaban dichas concentraciones para luego analizar los eventos en salud asociados a los niveles del contaminante ( $PM_{10}$ ), solo se tomaron los eventos presentes en la población urbana del municipio pues es allí es donde se encuentra la única estación de monitoreo y de esta fue donde se tomaron los registros del contaminante . Finalmente, se analizó la ubicación de la estación de monitoreo.

#### **IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La polución del aire provoca daños en el medio ambiente, afectando la flora, la fauna y las fuentes hídricas y en áreas urbanas incluso produce el deterioro de edificios, monumentos, estatuas y otras estructuras construidas con diversos materiales. Las afectaciones de la contaminación del aire en seres humanos se manifiestan principalmente por trastornos en el sistema respiratorio de tal manera que pueden generar desde lesiones pulmonares y de las vías respiratorias, hasta cáncer, malformaciones congénitas, daños cerebrales y trastornos del sistema nervioso. Adicionalmente, en altas concentraciones y/o después de cierto tiempo de exposición pueden causar la muerte (Lezama, 2001).

El municipio de Ráquira basa el 80% de su economía en la alfarería (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), mediante el uso de hornos para la cocción de artesanías, los hornos utilizados en el proceso de alfarería son los denominados de fuego dormido, similares a los utilizados en la industria ladrillera artesanal, estos hornos se construyen en forma circular o cilíndrica, son de baja producción y generan alta contaminación debido a una quema no homogénea y una combustión incompleta (López, 2011).

Lo anterior, ha llevado a que la contaminación atmosférica sea de las más elevadas en el país, siendo Bogotá D.C, el Área Metropolitana de Medellín y el municipio de Ráquira los lugares con peor calidad del aire en el país (MADS, 2018).

##### ***1. Pregunta de investigación***

¿De qué forma la calidad del aire puede ser evaluada teniendo en cuenta el contaminante (PM<sub>10</sub>) y el No. de casos de enfermedades respiratorias reportadas en el área urbana del municipio de Ráquira, Boyacá para el año 2016?

## **V. JUSTIFICACIÓN**

Para los habitantes del municipio de Ráquira es indispensable que se determine si existe una relación entre la calidad del aire y la presencia de ciertas enfermedades respiratorias pues según el último informe del IDEAM sobre la calidad del aire publicado en año 2017, Ráquira es el tercer lugar con mayor contaminación atmosférica en Colombia. Por otro, lado determinar el grado de cumplimiento de la normativa vigente para material Particulado implica conocimiento acerca de las multas que se pueden generar por exceder los límites máximos permisibles y las acciones que se deben empezar a llevar a cabo por parte de los artesanos y de las entidades encargadas para realizar acciones de mejora e intervenciones específicas, para garantizar un ambiente sano y mejorar la calidad de vida. Finalmente, determinar si la única estación de monitoreo de la calidad del aire con la que cuenta el municipio de Ráquira se encuentra en el lugar adecuado, brindará mayor validez de la información para la población objeto de estudio.

## VI. . OBJETIVOS

### 1. *Objetivo general*

Evaluar la calidad de aire por inmisiones de  $PM_{10}$  y su correlación con las enfermedades respiratorias reportadas para el año 2016 en el área urbana del municipio de Ráquira, Boyacá.

### 2. *Objetivos específicos.*

1. Determinar el grado de cumplimiento de la normativa vigente relacionada con la emisión de los contaminantes.
2. Establecer la correlación entre la concentración de  $PM_{10}$  y las enfermedades respiratorias presentes en el área urbana del municipio de Ráquira, Boyacá.
3. Analizar la ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire “El Colegio”.

## VII. MARCO GEOGRÁFICO

El Municipio de Ráquira se encuentra ubicado en la Provincia de Ricaurte, al oriente del Departamento de Boyacá, muy cerca del desierto de la Candelaria a una altura de 2.150 msnm, tiene una extensión aproximada de 233 Km<sup>2</sup>, su temperatura promedio es de 17 °C, y se encuentra ubicado a 65 Km de la capital del Departamento, Tunja (Muñoz, Moreno, Molina, Aguasca, & Añez, 2008).

Las coordenadas del casco urbano son 05° grados 32' minutos y 28" segundos, de latitud norte y 73° grado, 33' minutos y 09" segundo de longitud, oeste del meridiano Greenwich. Ráquira limita: por el Norte con el municipio de Tinjacá y Sutamarchán, por el Sur con Guacheta (Cundinamarca), por el Oriente con Sáchica y Samacá, y por el Occidente con el Municipio de San Miguel de Sema y Laguna de Fúquene (Figura 1) (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013).



**Figura 1.** Mapa ubicación geográfica del municipio Ráquira Boyacá (Alcaldía Municipal, 2008-2011).

## 1. Economía

La base de la economía de la población urbana del municipio es la fabricación y comercialización de artesanías, complementada con las actividades relacionadas con la afluencia turística, inclusive, la ubicación equidistante del casco urbano a dos polos económicos importantes del departamento, como lo son Chiquinquirá y Villa de Leyva, hacen que Ráquira tenga una gran afluencia de turismo atraído por la comercialización de artesanías (Alcaldía Municipal, 2008-2011).

Con respecto al área rural, presenta actividades productivas diversas de acuerdo a los recursos naturales que poseen y a la aptitud del suelo para usos agropecuarios, las actividades productivas más importantes son la agricultura, la ganadería, la explotación minera (carbón, arcillas, materiales de construcción y caliza), industria de alfarería, acuicultura y la explotación de bosques naturales (Alcaldía Municipal, 2008-2011).

## 2. Demografía

Según las estadísticas DANE y la base de datos del SISBEN, el municipio de Ráquira está compuesto por la siguiente población; según estadísticas del DANE la población total es de 13.558 y según la base de datos SISBEN hay una población de 6528 habitantes para el año 2016, lo que demuestra una diferencia y una población bastante elevada según estadísticas del DANE (Tabla 1).

**Tabla 1.** Total población en el municipio de Ráquira

	<b>DANE</b>	<b>SISBEN</b>
<b>Población Total</b>	<b>13.558</b>	<b>6528</b>
<b>Casco urbano urbana</b>	3.425	1837
<b>Resto</b>	10.163	4691

(Alcaldía Municipal de Ráquira, 2016)

El municipio de Ráquira se encuentra conformado por el centro urbano y además un centro poblado rural denominado la Candelaria cuenta en total con veinte veredas (Tabla 2). La extensión del municipio en su zona rural es de 215,85, esto cual de resaltar pues abarca la mayoría del municipio (Alcaldía Municipal de Ráquira, 2016)

*Tabla 2. Distribución y extensión veredal del municipio de Ráquira*

No.	NOMBRE DE LA VEREDA	AREA (Ha)	%
1	Roa	1.132,95	5,24%
2	Carapacho	950,66	4,40%
3	Chinguichanga	1.171,54	5,42%
4	Candelaria Oriente	586,85	2,71%
5	Candelaria Occidente	828,77	3,83%
6	Tapias	763,12	3,53%
7	Casablanca	903,77	4,18%
8	Gachaneca	1.369,28	6,33%
9	Firita Peña Arriba	2.318,43	10,72%
10	Firita Peña Abajo	2.092,91	9,68%
11	Farfan	997,01	4,61%
12	Valero	1.204,23	5,57%
13	Mirque	503,05	2,33%
14	Pueblo Viejo	878,15	4,06%
15	Resguardo Occidente	1.123,54	5,20%
16	Resguardo Oriente	682,99	3,09%
17	Ollerias	479,35	2,22%
18	Torres	1.149,63	5,32%
19	San Cayetano	1.281,73	5,93%
20	Quicaqota	1.166,83	5,40%

(Alcaldía Municipal de Ráquira, 2016)

## VIII. MARCO LEGAL

El marco legal está regido por varios entes gubernamentales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS); sin embargo, la OMS ha sido el organismo pionero a nivel mundial para la regulación de contaminantes en la atmosfera (Dirección de Salud Pública, 2013).

De acuerdo a lo anterior, es importante mencionar la normativa vigente que rige los lineamientos relacionados con la calidad, emisiones atmosféricas y límites permisibles de contaminantes en Colombia (Tabla 3).

*Tabla 3. Normativa de calidad del aire vigente para la República de Colombia.*

<b>NORMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>Decreto – Ley 2811 de 1974</b>	Por medio de este se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, el cual regula el manejo de los recursos naturales renovables, vela por la defensa del ambiente, establece los incentivos y estímulos económicos, define las tasas retributivas de servicios ambientales (MAVDT, 1974).
<b>Constitución política de 1991</b>	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, y que es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente y fomentar la educación para el logro de estos fines (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).
<b>Ley 99 de 1993</b>	Norma base para la gestión ambiental a nivel nacional. Esta Ley Nacional se establece como un referente y apoyo normativo para la ejecución de cualquier proyecto de carácter ambiental. Así mismo como hace referencia al apoyo y función de las instituciones públicas (MAVDT, 1993).
<b>Resolución 601 de 2006</b>	Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia. Donde se identifica al PM <sub>10</sub>

	como contaminante que excede los límites permisibles establecidos (MAVDT, 2006).
<b>Resolución 909 de 2008</b>	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones (MAVDT, 2008).
<b>Protocolo del 2010</b>	Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas (MAVDT, 2010).
<b>Resolución 610 de 2010</b>	La norma de calidad del aire o nivel de inmisión para todo el territorio nacional en condiciones de referencia y modifica la resolución 601 de 2006 (MAVDT, 2010).
<b>Resolución 6982 de 2011</b>	Se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire, en donde establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas (MADS, 2011).
<b>Resolución 2254 del 2017</b>	Por el cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones (MADS, 2017).
<b>Conpes 3943 de 2018</b>	Por el cual se modifican los límites permisibles establecidos con anterioridad, para mejorar la calidad del aire que se ha visto afectada en los últimos años en sectores como el área metropolitana de Medellín, Bogotá D.C. y el municipio de Ráquira, Boyacá (DNP, 2018).

*Fuente: Autores, 2018*

En la anterior tabla se encuentra una compilación por orden cronológico de las normas (Decretos, Leyes, Resoluciones, Protocolo, Constitución, Conpes) de interés para el desarrollo del proyecto; se encuentra desde el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección Ambiental, el cual fue primer Decreto-Ley de estas características en el país; pasando por la norma base para la gestión ambiental nacional y terminando con la norma más reciente en temas de calidad del aire.

## IX. MARCO INSTITUCIONAL

En la tabla 4 se presentan los actores que presentan algún tipo de interés en el presente trabajo de investigación y en el área de estudio.

**Tabla 4.** Actores involucrados

Actores	Interés	Limitantes
Corporación Autónoma Regional (CAR)	El municipio de Ráquira, Boyacá hace parte de la jurisdicción de la CAR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No hay presencia de Personal de la entidad en el municipio.</li> <li>• No cuentan con la información actualizada.</li> </ul>
Centro de salud San Antonio de la Pared	Es el único centro médico que se encuentra en el municipio, atiende tanto a la población rural como a la población urbana del mismo.	Es el único centro médico en el municipio
Asociación de Artesanos (ASOALFA)	Son el grupo de interés a quienes va dirigida la socialización de los resultados obtenidos en la realización del proyecto, la asociación cuenta con 250 artesanos inscritos.	Es una asociación reciente formada a finales del año 2017
Alcaldía Municipal de Ráquira	Es el ente de orden gubernamental que promueve el bienestar e impulsa el desarrollo y mejoramiento continuo en cada uno de los sectores, en búsqueda de mejorar la calidad de vida de sus habitantes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No están al tanto de los registros de emisiones que se presentan en el municipio</li> <li>• No tienen acceso a la estación de monitoreo</li> </ul>
Universidad El Bosque	Desarrollar el trabajo de investigación EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE POR INMISIONES DE PM <sub>10</sub> Y SU CORRELACIÓN CON LAS ENFERMEDADES RESPIRATORIAS EN EL AREA URBANA MUNICIPIO DE RÁQUIRA, BOYACÁ PARA EL AÑO 2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encontró información actualizada para el año 2017.</li> <li>• No se encontró información del contaminante PM<sub>2.5</sub></li> </ul>

*Fuente: Autores, 2018*

## X. MARCO TEORICO CONCEPTUAL

### 1. Generalidades sobre la calidad del aire

El componente aire es un fluido que forma la atmósfera de la tierra, compuesto por diferentes tipos de gases y vapor de agua teniendo una relación volumétrica aproximada distribuida de la siguiente manera, de nitrógeno (N<sub>2</sub>) 78%; oxígeno (O<sub>2</sub>) 20%; gases nobles 1%; dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) 0,03% y agua (H<sub>2</sub>O) 0,97%; A su vez, los llamados gases nobles incluyen: argón (Ar), neón (Ne), criptón (Kr), helio (He) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Con el paso del tiempo el aire empezó a sufrir una serie de modificaciones producto de una serie de emisiones realizadas por parte del hombre, donde se evidencia la descarga al aire de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso o en combinación, provenientes de una fuente fija o móvil (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Dichas emisiones generan la contaminación atmosférica que hace referencia a la presencia de material indeseable (contaminantes) en el aire producto de diversas fuentes, en grandes cantidades como para producir efectos nocivos a la salud humana, vegetación y los bienes humanos (de Nevers, 1998). Se estima que la contaminación ambiental del aire tanto en las ciudades como en las áreas rurales, fue la causa de 4 millones de muertes prematuras en todo el mundo anualmente, esta mortalidad se debe a la exposición a material particulado 2.5; que puede causar enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer (OMS, 2018).

Dentro de los contaminantes que son emitidos a la atmósfera, está el material particulado, el cual es emitido desde una fuente directa o secundaria (Vallero, 2014). El material particulado está compuesto por partículas finas sólidas o líquidas que contienen ácidos, químicos orgánicos, metales, partículas de tierra y polvo (Anderson, Thundiyil, & Stolbach, 2012). Está dividido en tres fracciones: las partículas suspendidas totales (PST), que abarcan las partículas que tienen un tamaño hasta de 70 micras y las menores a 10 y 2,5 micras, el material Particulado de tamaño menor o igual a 10 micras (PM<sub>10</sub>) y por último el material Particulado con un tamaño menor o igual a 2,5 micras (PM<sub>2,5</sub>) que son las partículas inhalables (MAVDT, 2010).

Para tomar muestras de la cantidad de los contaminantes que una fuente emite al aire, se utilizan procedimientos de medición en el punto de descarga de la fuente, sin embargo, para medir la concentración del contaminante, modificado en su distribución espacial y en su dilución temporal por los procesos meteorológicos como humedad, radiación solar, precipitación, velocidad y dirección del viento, se instalan los sistemas de vigilancia de la calidad del aire que miden el nivel de inmisión, es decir la concentración en el aire de cada contaminante, la cual es regulada a través de la normativa local. Los valores fijados para Colombia los establece la Resolución 2254 expedida en el año 2017 y se presentan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Valores límite de contaminante establecidos en la Resolución 2254 de 2017

<b>Contaminante</b>	<b>Nivel Máximo Permisible (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>Tiempo de Exposición</b>
PST	100	Annual
	300	24 horas
PM <sub>10</sub>	50	Annual
	100	24 horas
PM <sub>2.5</sub>	25	Annual
	50	24 Horas

(DNP, 2018)

## 2. *Sistemas de vigilancia de la calidad del aire*

Estos se implementan como medida para que el estado pueda plantear decisiones de acción al control y la prevención de la calidad del aire son un sistema de monitoreo ambiental para las mediciones de la contaminación del aire y variables meteorológicas (de Nevers, 1998). En el caso del municipio de Ráquira solo se cuenta con una estación de monitoreo ubicada en el colegio municipal, la cual es monitoreada por la Corporación Autónoma de Cundinamarca.

Las mediciones realizadas por los SVCA, se hacen para emisiones proveniente de todo tipo de fuentes tanto móviles como fijas, donde las fuentes fijas son aquellas instalaciones establecidas en un solo lugar, que tienen como finalidad desarrollar operaciones y procesos industriales, comerciales de servicio o actividades que puedan generar emisiones de contaminantes a la atmosfera (Mújica-Álvarez & Figueroa-Lara, 1996).

Se estima que la contaminación ambiental del aire tanto en las ciudades como en las áreas rurales, fue la causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo anualmente, esta mortalidad se debe a la exposición a material particulado 2,5; que puede causar enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer (OMS, 2018).

## 3. *Variables Meteorológicas*

La meteorología es determinante en el estudio de la calidad del aire, ya que se encarga de estudiar los fenómenos que ocurren en la atmósfera y para esto cuenta con variables como la temperatura, radiación solar, humedad, precipitación y viento. De igual manera, las variables meteorológicas permiten hacer una relación con la dispersión y transporte de los contaminantes en la atmósfera teniendo en cuenta mecanismos como la deposición en la superficie de la tierra y la formación de la precipitación (Sienfeld & Pandis, 2006).

## 4. *Emisión e Inmisión*

El termino Emisión implica todos aquellos materiales, sustancias o formas de energía que se descargan a al ambiente como resultado de una actividad, ya se de origen natural o antrópico, dependiendo de los diferentes procesos se genera un tipo particular de emisión y el grado de incidencia sobre el medio ambiente depende de la características físicas, químicas o biológicas (Chaparro, 2011).

En cuanto a la Inmisión se entiende como la transferencia de contaminantes de la atmósfera a un receptor (MAVDT, 2010). Producto de la inmisión se generan los efectos a la salud pública, asociados principalmente al sistema respiratorio, donde el comportamiento de los contaminantes en el sistema depende del tamaño de las partículas (Martínez & de Mera, 2004). La fracción inhalable de tamaño menor a 10 micras (PM<sub>10</sub>) permanece en el área de la boca y la cabeza, depositándose en la región nasal por impactación en los pelos de la nariz o las curvas nasales y puede llegar hasta la laringe y la fracción respirable de tamaño menor a 2,5 micras (PM<sub>2.5</sub>) que puede infiltrarse profundamente en la región traqueo bronquial y pulmonar (Vallero, 2014).

### *5. Características Industrias Alfareras en Ráquira*

El concepto de industrias alfareras corresponde aquellas industrias productoras de artesanías en cerámica, en el municipio de Ráquira se encuentran alrededor de 300 fábricas destinadas a tal fin. Por otro lado, el proceso de la fabricación de artesanías da inicio con la extracción de materia prima: arcilla y arena de río en las minas de explotación establecidas para la extracción. Para de esta manera, iniciar el proceso de producción con la mezcla de dicho materiales, Posteriormente, se procede a mezclar manualmente con agua esto indispensable para obtener la consistencia deseado, luego continua el colado o rayado del material dependiendo del estado en el que se encuentre la arcilla ya sea líquida o sólida; las pasta de arcilla que se obtiene pasa a manos del artesano para ser moldeada de forma manual o utilizando la herramienta del torno donde se le da la figura deseada, también se utiliza la técnica de introducir arcilla líquida en moldes de yeso con diferentes estilos. A continuación, se le hace pulido a la pieza para así seguir con el acabado. Las piezas obtenidas se trasladan a una zona de secado al aire libre; para evitar su deterioro al momento de ser trasladadas hacia al horno donde lleva a cabo la cocción de las artesanías para obtener la consistencia requerida la resistencia requerida y el color para su función final. Finalmente se espera el enfriamiento tanto del horno como de las piezas que están dentro para retirarlas (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2014).

### *6. Tipos de contaminantes generados por la producción de artesanías*

En la tabla 6 se presentan las distintas etapas del proceso de fabricación de artesanías seguido de las actividades generadoras de contaminantes y el tipo de contaminante generado.

**Tabla 6.** *Contaminantes generados durante el proceso productivo de artesanías*

<b>Etapas</b>	<b>Actividades que generan Contaminantes</b>	<b>Tipo de Contaminantes</b>
Extracción de Arcilla	- Extracción con herramientas manuales	- Escasas Partículas en suspensión
Mezclado	- Rallado y colado - Mezcla de arcillas con agua y arena	- Partículas en suspensión - Consumo de agua
Moldeado	- No generan contaminantes	- Ninguno
Secado	- El secado de los moldes al aire libre solo se desprende vapor de agua.	- No representativo
Carga del horno	- No genera contaminantes	- Ninguno
Cocción	- Uso de combustibles: Principalmente carbón, biomasa (ramas y leña)	- Material Particulado - Dióxido de azufre - Dióxido de nitrógeno - Monóxido de Carbono - Dióxido de Carbono
Descarga del horno	- Apertura del horno, manipulación de artesanías, limpieza de ceniza.	- Partículas en suspensión
Clasificación	- Descarte de productos rotos, mal cocidos	- Residuos sólidos inertes

(Piñeiro, 2010)

### *7. Hornos para cerámica*

Son la herramienta utilizada para la cocción de las artesanías, estos hornos son de tipo artesanal, construidos en ladrillo, llevan forma de colmena y poseen una pequeña chimenea existe hornos de diferentes capacidades ya sea para pequeñas artesanías o algunas de grandes volúmenes como materas o esculturas (Figura 2).



**Figura 2.** Cocción de artesanías en hornos de carbón, vereda Torres

Fuente: (Melo, 2012)

## 8. *Enfermedades Respiratorias*

Los efectos en el humano producto de la contaminación atmosférica están relacionado principalmente a enfermedades respiratorias, tanto agudas como crónicas, donde las enfermedades respiratorias agudas (ERA) incluyen desde irritaciones leves hasta inflamaciones alérgicas, hiperreactividad bronquial, irritaciones nariz y garganta, inflamación de la vía insuficiencia respiratoria dependiendo del nivel de la exposición y las enfermedades crónicas como las Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas (EPOC), el asma, siendo principalmente evidente en los niños menores a cinco años, mujeres embarazadas y adultos mayores que son los más vulnerables a sufrir los efectos (Vallero, 2014).

La **Enfermedad Obstructiva Crónica (EPOC)**, se refiere a la presencia de obstrucción crónica del flujo del aire, esta se asocia a una reacción inflamatoria pulmonar que persiste en el tiempo, Los principales síntomas son falta de aliento, producción de esputo y tos crónica. Entre los principales factores de riesgo de la enfermedad se encuentra la contaminación del aire interior y exterior y está directamente asociada a contaminación por material Particulado  $PM_{10}$ . Los principales síntomas son falta de aliento, producción de esputo y tos crónica (OMS, 2011). EL **Asma** es una enfermedad que afecta las vías aéreas produciendo inflamación y generando mucosidad (secreciones pegajosas), haciendo que dichas vías se estrechen más de lo normal y sea demasiado difícil llevar el aire dentro y fueras de los pulmones, los irritantes que pueden causar asma son el humo de los tubos de escape de medios de transporte y emisiones de material Particulado de fuentes fijas (American Thoracic Society, 2010). La **Bronquitis Aguda** Es una inflamación aguda de la tráquea y bronquios, normalmente está acompañada de unas tos constante con o sin producción de esputo, esta tiene una duración aproximada de tres semanas y en ocasiones se puede acompañar de síntomas como fiebre (Emiliana, 2010).

Se estima que para el año 2016, aproximadamente el 58 % de las muertes prematuras relacionadas con la contaminación atmosférica a cardiopatías isquémicas (infarto) y accidentes cerebrovasculares, mientras que el 18 % de las muertes se debieron a Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas (EPOC) e Infecciones Respiratorias Agudas (IRA), y el 6% restante de las muertes se debieron al cáncer de pulmón (OMS, 2018).

## 9. . *Prueba Paramétrica de estadística de correlación de Pearson*

El coeficiente de correlación de Pearson es una prueba estadística para analizar la relación entre las variables medidas en un nivel por intervalos, mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente, sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1. La magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de +1 como de -1. En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa. Se dice que la correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra. Esto sucede cuando la relación entre ambas variables es funcionalmente exacta (Perez, 2010).

En el presente trabajo de investigación se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson para evaluar las variables del número reportados de casos de las respectivas enfermedades respiratorias con los datos obtenidos de inmisiones del Material Particulado; siendo el No. de casos de enfermedades la variable dependiente de los datos obtenidos de inmisión del contaminante.

En la tabla 7, se muestran los diferentes rangos de correlación que posee la prueba estadística de Pearson, de cual cabe aclarar que el coeficiente de determinación sea bajo no indica que las variables sean independientes, simplemente se asume que hay una debilidad en la relación lineal entre las variables.

**Tabla 7.** Rangos de Correlación de Pearson

$r = -1$	Correlación inversa perfecta
$-1 < r < 0$	Correlación inversa
$r = 0$	No hay correlación
$0 < r < 1$	Correlación directa
$r = 1$	Correlación directa perfecta

*Fuente: Autores, 2018*

#### 10. Índice de la Calidad del Aire (ICA)

Para la evaluación de los posibles efectos de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en la salud de la población se realiza a través del Índice de Calidad del Aire (ICA), lo anterior corresponde a un valor adimensional, que le asigna a determinada concentración, una categoría y un color, que representa los potenciales efectos asociados en la salud. El Índice de Calidad del Aire el ICA, se calcula para seis de los siete contaminantes criterio contemplados en la normativa nacional ( $O_3$ ,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $CO$ ,  $SO_2$  y  $NO_2$ ) en tiempos de exposición que oscilan entre 1 hora y 24 horas de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. (IDEAM, 2017).

Los valores que se representan en la escala del ICA se encuentran entre, 0 y 500, los valores con número más alto se refieren a mayores niveles de contaminación atmosférica, por lo tanto, afectaciones más nocivas a la salud de las personas. El rango se divide en seis categorías las cuales son indicativas de la calidad del aire, pues el objetivo primordial del ICA es notificar de forma sencilla y a tiempo a las personas acerca de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud (IDEAM, 2017).

## 11. . *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado (2005)*

Las guías de calidad del aire (GCA) de la Organización Mundial de la Salud se desarrollaron con el fin de respaldar acciones orientadas a obtener una calidad del aire que no sea dañina para la salud pública. Sin embargo, cada nación plantea sus normas en cuanto a calidad del aire en pro de proteger la salud pública de la población, esto depende principalmente de nivel de desarrollo de los países. Las GCA de la OMS se basan en el conjunto de pruebas científicas referentes a la contaminación del aire y sus consecuencias en la salud.

Las pruebas respectivas al material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos para la salud. Existe gran diversidad en los efectos de la salud, pero los mismos se manifiestan principalmente en los sistemas respiratorio y cardiovascular. En efecto, se ve afectada toda la población, sin embargo, el grado de susceptibilidad a la contaminación varía de acuerdo con la salud o la edad de las personas. Finalmente, está demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y existe pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prevenir efectos adversos en la salud (OMS, 2005).

### **XI. Estado del Arte**

Como estado del arte se ha realizado la indagación respectiva para referenciar las fuentes nacionales, regionales e internacionales que se relacionan con el presente trabajo de investigación.

A nivel global, se han realizado diferentes investigaciones de correlación entre las afectaciones que trae las inmisiones de material particulado y la salud pública de la población de interés; por ejemplo, en México se realizó un análisis de la relación entre las concentraciones de PM<sub>10</sub> y O<sub>3</sub> con el número diario de consultas al servicio de urgencias por enfermedades respiratorias agudas y asma en niños menores de 15 años. El análisis metodológico del trabajo se realizó mediante el uso de series de tiempo que emplea regresión de Poisson. Finalmente, los resultados obtenidos por los autores se encontraron asociaciones positivas entre las concentraciones de PM<sub>10</sub> y el número de consultas por asma y enfermedades respiratorias aun cuando los niveles alcanzados no superaban los límites establecidos por la legislación mexicana (Hernández, y otros, 2000).

En la ciudad de Barcelona (España) se realizó una investigación de tipo observacional, realizado en 2 hospitales de Baladona. Según los autores, mediante una regresión binomial negativa se analizó la posible influencia de la temperatura ambiental y los valores mensuales medios de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> en el número de ingresos mensuales por bronquiectasias. Como principal resultado se obtuvo que el número de ingresos por agudización de bronquiectasias parece ser mayor en los meses con bajas temperaturas y/o altas concentraciones de dióxido de azufre (García, y otros, 2018).

De igual manera en la ciudad de Brescia (Italia), los autores documentaron la asociación entre exposición a contaminación atmosférica y eventos cardiovasculares agudos, aunque no estaba disponible suficiente información para evaluar la seguridad de la salud pública de diversas dosis de material particulado debajo de los umbrales actuales aceptados. Exploraron la asociación transversal entre  $PM_{10}$  y las hospitalizaciones cardiovasculares agudas diarias a través de modelos de regresión. Los autores tomaron la información de septiembre de 2004 a septiembre de 2007, donde el incremento de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $PM_{10}$  se relacionó con mayores tasas de hospitalizaciones por dichos eventos, es decir el riesgo aumenta incluso bajo los niveles permisibles por la unión europea ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (Vaduganathan, y otros, 2016).

Además, un estudio realizado en la ciudad de Milán tuvo como objetivo verificar si la exposición por  $PM_{10}$  estaba asociada con la bronquiolitis. Para ello, los autores tomaron registros del hospital teniendo en cuenta para su búsqueda las temporadas epidémicas del 2012 y 2013 y a los casos se les asignó el  $PM_{10}$  diario y niveles de temperatura aparentes de la capital de su provincia residencial. El número total de entradas al hospital por esta enfermedad fue de 3207 casos, de los cuales 256 fueron niños entre 1 y 4 años. El 72% de los casos ocurrieron en el invierno y los valores de  $PM_{10}$  promediados oscilaron de un mínimo de  $29,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Lecco a un máximo de  $59,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Milán. Finalmente, el estudio encontró una asociación clara entre las exposiciones a corto y mediano plazo de  $PM_{10}$  y el incremento del riesgo de hospitalización debido a bronquiolitis RSV entre los niños (Carugno, y otros, 2018).

A nivel regional también se han encontrado varios trabajos que relacionen la contaminación atmosférica con la salud de la población; por ejemplo, Reupo (2018), realizó una investigación que tuvo como objetivo principal determinar la influencia del  $PM_{10}$  en la incidencia de enfermedades respiratorias de las vías superiores e inferiores (VRS Y VRI) en la población infantil menor de 5 años. Para la metodología se recolectaron datos mensuales de la concentración de  $PM_{10}$  y la frecuencia de casos de enfermedades respiratorias en los niños. Para confirmar la correlación entre enfermedades y el contaminante  $PM_{10}$  se realizó la prueba estadística de Pearson y se comprobó que el  $PM_{10}$  influye significativamente en la incidencia de enfermedades respiratorias.

En Córdoba (Argentina), Carreras, Zanobetti & Koutrakis (2015), Evaluaron el impacto del rango de temperatura diaria en las infecciones respiratorias altas y bajas, y exploraron el efecto de la modificación de factores socioeconómicos y la influencia de partículas aéreas. Se encontró en este estudio, que dicho rango de temperatura es un fuerte factor de riesgo para las mencionadas infecciones respiratorias, especialmente en personas mayores, y que estos efectos son mayores en personas que viven en condiciones de pobreza.

Además, en Concepción Metropolitano (Chile) se realizó un estudio de las mediciones en las estaciones de monitoreo que llevaron a que en 2006 se declarara zona latente por  $PM_{10}$ . En este proyecto, los efectos de la concentración de  $PM_{10}$  sobre la mortalidad y morbilidad son estudiados de forma desagregada según causa y por rango etario con distintos modelos estadísticos, luego, se valorizan económicamente los efectos en la salud de variaciones en las concentraciones diarias de  $PM_{10}$ . Para las evaluaciones económicas de los beneficios en salud

se utiliza el método de la función de daño, el cual ha sido utilizado en Chile para evaluar diversos planes de descontaminación. De acuerdo a los datos y metodología utilizada, los beneficios en salud estimados para todas las comunas de Concepción Metropolitana varían entre 1.025,8 y 32.490,9 millones de pesos anuales con un nivel de confianza del 95% por una reducción de  $1 \text{ mg/m}^3$  en las concentraciones diarias de  $\text{PM}_{10}$  (Mardones, Saavedra, & Jiménez, 2015).

Por último, a nivel nacional se encontró en Bogotá en este estudio se realizó un análisis de la relación entre las fluctuaciones en la concentración de partículas respirables  $\text{PM}_{10}$  y la morbilidad por enfermedad respiratoria. Como metodología se realizó un estudio observacional analítico en el cual se describe una serie de casos, para relacionarlos con el contaminante, en el transcurso de seis meses. Los resultados obtenidos por los autores (Solarte, Caicedo, & Restrepo, 2002) muestran que las mediciones de las concentraciones de  $\text{PM}_{10}$  superan el promedio máximo anual permitido en la legislación internacional y sobrepasan en varias ocasiones la norma diaria.

En Medellín (Colombia), a diferencia de los demás estudios se evaluó la prevalencia de síntomas respiratorios, bronquitis crónica y EPOC. La investigación se desarrolló en dos fases; en la fase uno se evaluaron aspectos ambientales y se seleccionaron áreas de mayor y menor influencia de contaminación por  $\text{PM}_{10}$ . En la segunda fase, se llevó a cabo una investigación epidemiológica, se utilizó un cuestionario y se realizó pruebas de espirometría, el análisis de los datos se llevó a cabo usando un software. Finalmente, después del análisis probabilístico se concluyó que vivir por más de cinco años en el lugar contaminado con  $75 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$  comparado con vivir por más de cinco años en área con niveles de  $45 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , está asociado con una mayor prevalencia de síntomas respiratorios lo que demostró que la contaminación por  $\text{PM}_{10}$  presenta efectos de larga duración sobre la enfermedad respiratoria crónica en adultos (Orduz, Toro, & Gómez, 2013).

En el municipio de Suesca (Cundinamarca); Charres & González (2016), evaluaron el estado de calidad de aire del municipio, utilizando como indicador la concentración de material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ), para establecer si existe o no un grado de afectación en la salud de la población asociado a dicho contaminante. Para ello inicialmente se identificaron las fuentes de emisión y se estimó la tasa de emisión por cada actividad, se ejecutó el Software AERMOD para evaluar la dispersión del contaminante. Los resultados muestran que la calidad del aire en Suesca es buena, pues de acuerdo a la concentración estimada en las dos estaciones de monitoreo y a la reportada en los expedientes de la CAR, esta se encuentra dentro de los límites diarios permisibles de la legislación ambiental Colombiana (Charres & González, 2016).

## XII. METODOLOGÍA

En el siguiente capítulo se presenta la fase metodológica del trabajo de investigación, la cual se llevó a cabo en dos etapas. En la primera etapa se describe el diseño metodológico en donde por objetivos se mencionan cada una de las técnicas e instrumentos usados, adicionalmente se detalla el enfoque, alcance, población, muestra y la unidad de análisis, esto de acuerdo a lo planteado por Sampieri (2013). Para culminar el capítulo se aborda la segunda etapa, la cual corresponde al plan de trabajo, allí se detallan los pasos a seguir por objetivo específico.

### 1. Análisis Metodológico

**Tabla 8.** Análisis metodológico

<b>Objetivo General:</b> Evaluar la calidad de aire por inmisión de PM <sub>10</sub> y su correlación con las enfermedades respiratorias reportadas para el año 2016 en el municipio de Ráquira, Boyacá.			
<b>Objetivo Específico</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Actividad</b>
Determinar el grado de cumplimiento de la normativa vigente relacionada con la inmisión de los contaminantes.	Analizar las mediciones de PM <sub>10</sub>	Datos de mediciones del contaminante.  Guías de Calidad del Aire de la OMS, año 2005  Índice de Calidad el Aire (ICA)	Revisión y comparación de las concentraciones con la norma nacional, lo sugerido el GCA de la OMS y finalmente en el ICA
	Entrevista informal conversacional o no estructurada	Libreta de Campo Grabadora  Libro: más allá del dilema de los métodos, para investigación cualitativa	Realizar entrevista a líder de la agremiación de artesanos.
Establecer si existe correlación entre la exposición PM <sub>10</sub> y las enfermedades respiratorias presentes en el municipio de Ráquira, Boyacá.	Correlación de datos mediante el método Pearson	Datos número de casos de enfermedades respiratorias, datos mediciones del contaminante, Coeficiente de correlación de Pearson	Realizar la regresión lineal de Pearson
	Análisis de las series de tiempo (mensual) vs No. de casos por enfermedad respiratorias (EPOC, Asma,	Datos número de casos de enfermedades respiratorias, datos mediciones del contaminante	Comparar las gráficas de series de tiempo con el número de casos de enfermedades respiratorias

	Bronquitis y Rinofaringitis aguda)		
	Entrevista informal conversacional o no estructurada	Libreta de campo Grabadora Libro: más allá del dilema de los métodos, para investigación cualitativa	Realizar entrevista a trabajador del DANE para el municipio de Ráquira
Analizar la ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire “El Colegio” es la adecuada	Análisis de la rosa de vientos con respecto a la ubicación de la estación de monitoreo y los focos de emisión	rosa de vientos del municipio Google Earth Pro Inventarío de Hornos	Realizar la ubicación de los foco de emisión del contaminante tanto para el casco urbano como para el área rural
Enfoque	La investigación tiene un enfoque mixto y correlacional el cual se fundamenta en un proceso que recolecta y analiza datos cuantitativos y características cualitativas en el mismo estudio para así dar respuesta al planteamiento de un problema. Asimismo, correlacional pues busca evaluar el grado de asociación entre dos variables.		
Alcance	Es exploratorio suministrando nuevos elementos para la población objeto de estudio ya que en Municipio de Ráquira no se encuentra ningún tipo de estudio y tema ha sido poco profundizado de acuerdo a la literatura investigada a nivel municipal (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2006).		
Población	La población del estudio está conformada por el número total de personas que habitan el casco urbano del municipio.		
Muestra	El presente estudio está conformado por el número total de casos de enfermedades respiratorias como EPOC, Bronquitis Aguda, Asma		
Unidad de análisis	PM <sub>10</sub> y su correlación con enfermedades respiratorias		

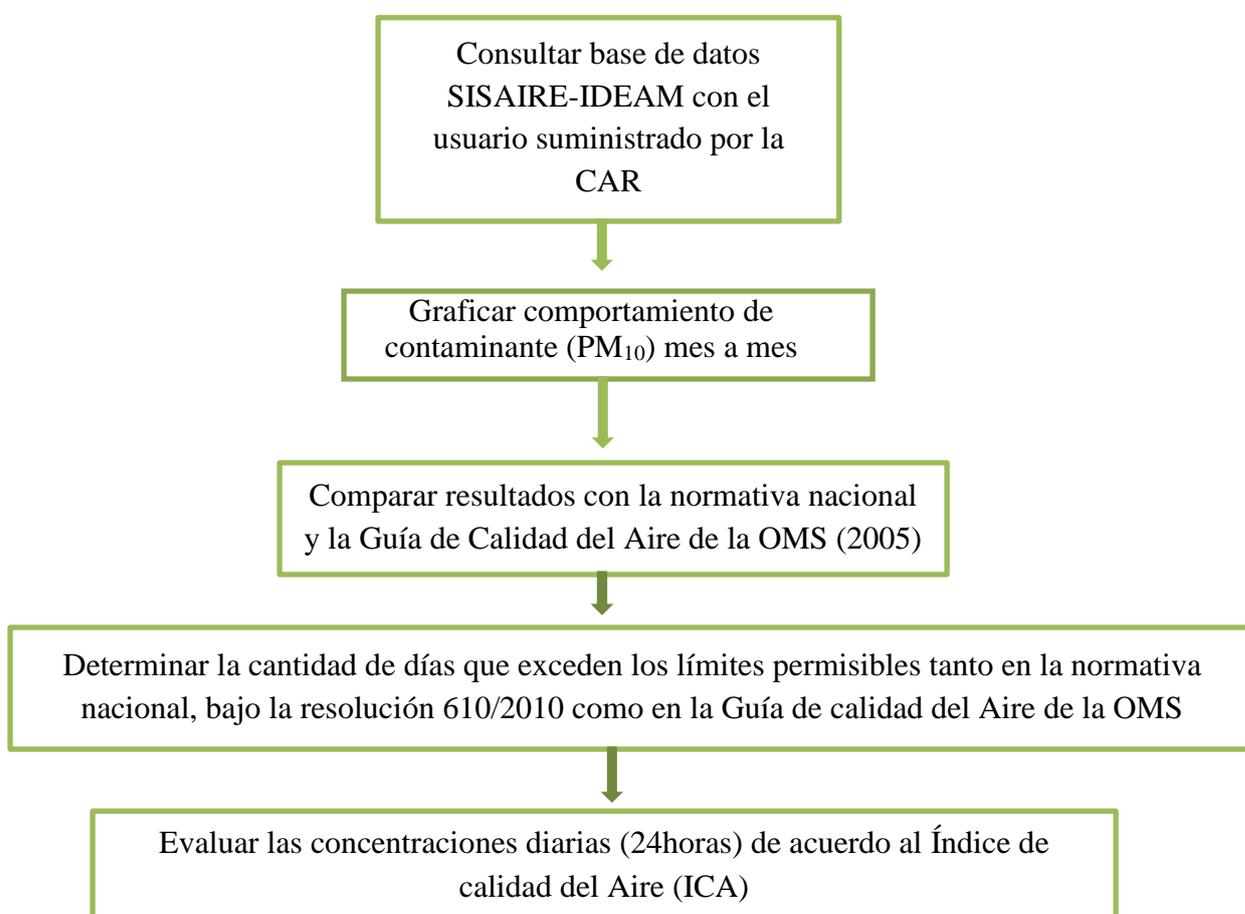
*Fuente: Autores, 2018*

## 2. Plan de trabajo

Con base en los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto se establecieron tres fases de metodología que serán expuestas a continuación.

### Primera fase (objetivo 1).

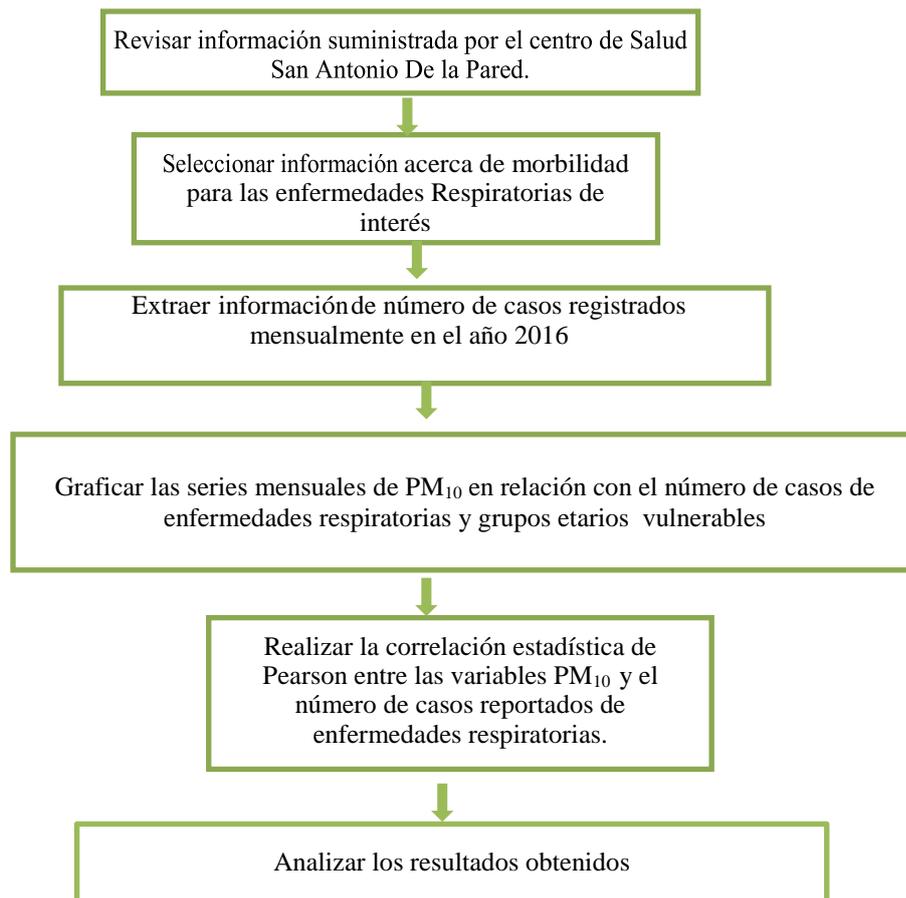
Para el presente objetivo inicialmente se tuvo que pasar una carta dirigida a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) quien tiene la jurisdicción del municipio en cuestión, allí se solicitaron los registros diarios y anuales de material Particulado (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) para los años 2016 y 2017. No obstante, dicha entidad (CAR) se pronunció comunicando que la estación de monitoreo de calidad de aire ubicada en el municipio de Ráquira empezó a medir material Particulado (PM<sub>2,5</sub>) hasta el año 2017, por lo tanto la información de dicho contaminante no se encontraba actualizada, igualmente sucedió con el PM<sub>10</sub> para el año 2017. Por lo anterior, se tuvo que trabajar únicamente con los registros del contaminante PM<sub>10</sub> para el año 2016. A continuación, se presentan los pasos que se llevaron a cabo para analizar el estado de la calidad del aire en términos de material Particulado por medio de series de tiempo (anual y 24 h) en el municipio de Ráquira, Boyacá en el año 2016 (Figura 3).



**Figura 3.** Plan de trabajo primer objetivo específico  
Fuente: Autores, 2018.

**Segunda Fase (objetivo 2).** Establecer la correlación entre la concentración de  $PM_{10}$  y las enfermedades respiratorias presentes en el área urbana del municipio de Ráquira, Boyacá.

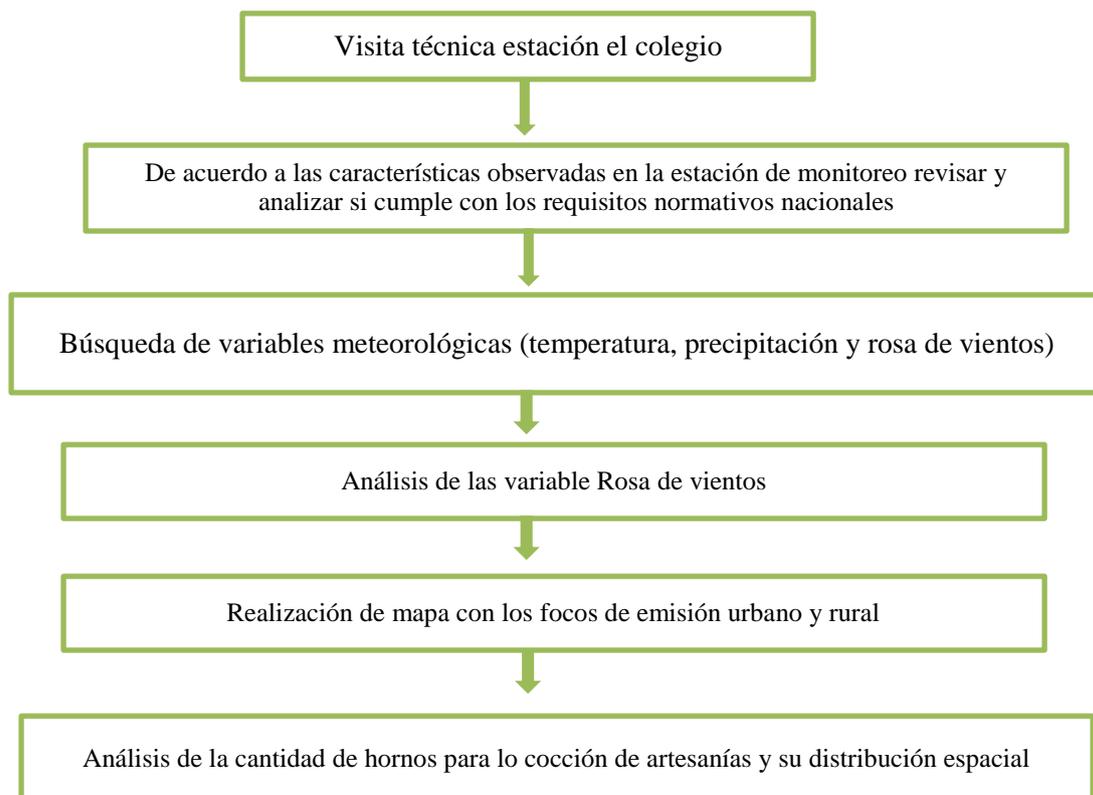
Para el desarrollo de este objetivo fue necesario enviar una carta al centro de salud San Antonio de la pared del municipio de Ráquira solicitando los registros del número de casos de enfermedades respiratorias que se presentaron en el año 2016. De ahí, se procedió a elegir las 4 enfermedades que de acuerdo a la teoría se podrían asociar con la exposición a material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ). Por consiguiente, las enfermedades que se seleccionaron fueron tres de las vías respiratorias superiores (asma, bronquitis y rinofaringitis) y una de las vías inferiores (EPOC). A continuación, en la figura 4 se presentan los pasos con mayor detalle.



**Figura 4.** Plan de trabajo segundo objetivo específico  
Fuente: Autores, 2018.

**Tercera fase (Objetivo 3).** Analizar la ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire “El Colegio”.

Para la Realización de este objetivo en primer lugar se tuvo que realizar una visita técnica a la estación de monitoreo de calidad de aire “El Colegio” ubicada en la institución educativa San Antonio del municipio de Ráquira, esto con el fin de verificar aspectos de la estación como: la ubicación, la altura a la que se encuentra, la calibración de equipo, la marca, entre otros. Lo anterior, se llevó a cabo para determinar si la misma cumple con los requisitos establecidos por la normativa nacional. En segundo lugar, se hizo una búsqueda minuciosa acerca de las variables meteorológicas del municipio (temperatura, precipitación y rosa de vientos), pues de acuerdo al IDEAM (2015) la meteorología es uno de los aspectos más importantes para definir a dirección de los contaminantes. Por otra parte, se solicitó a la alcaldía municipal de Ráquira, más exactamente a la oficina de planeación un inventario y mapa con los principales focos de emisión (hornos para la cocción de artesanías), en respuesta a la solicitud se obtuvo simplemente el inventario ya que este había sido realizado recientemente (año 2017), por lo tanto aun no contaban con un mapa con las fuentes de emisión, lo anterior fue enviado vía correo electrónico en formato Excel y contenía la siguiente información: nombres y apellidos del propietario del horno, ubicación, tipo de combustible, coordenadas y altura sobre el nivel de mar. Finalmente, se elaboró un mapa con la ubicación exacta de cada uno de los hornos en el área urbana y rural del municipio de Ráquira, a continuación, se describe paso por paso las actividades del objetivo (Figura 5).



**Figura 5.** Plan de trabajo tercer objetivo específico.

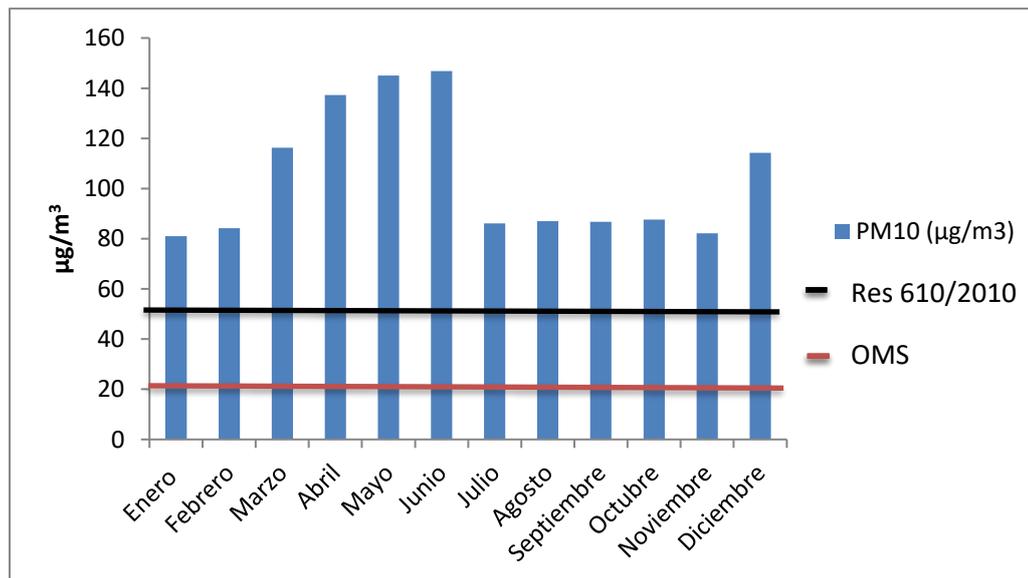
*Fuente: Autores, 2018.*

### XIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la investigación, en cuanto a la recopilación de datos de  $PM_{10}$  para el año 2016 en el municipio de Ráquira se contó con el 100 % de la información obteniendo registros de los 365 días del año como se evidencia en el ANEXO 1. Por otro lado, se obtuvo el número de casos mensuales de tres enfermedades respiratorias de las vías superiores (asma, bronquitis y rinofaringitis) y una enfermedad de las vías respiratorias inferiores (EPOC).

1. Determinar el grado de cumplimiento de la normativa vigente relacionada con la inmisión de los contaminantes.

Para determinar el cumplimiento normativo, se debió realizar la comparación entre los datos obtenidos de  $PM_{10}$  registrados por la estación de monitoreo para los meses de enero a diciembre del año 2016 y la normativa colombiana vigente para el año en cuestión Resolución 610 (MAVDT, 2010) y lo sugerido a nivel internacional (OMS, 2005). En la figura 6, se puede observar que todos los meses la concentración de  $PM_{10}$  supera con creces los límites permisibles de la normativa colombiana. A su vez, todos los meses superan los límites propuestos por la OMS.

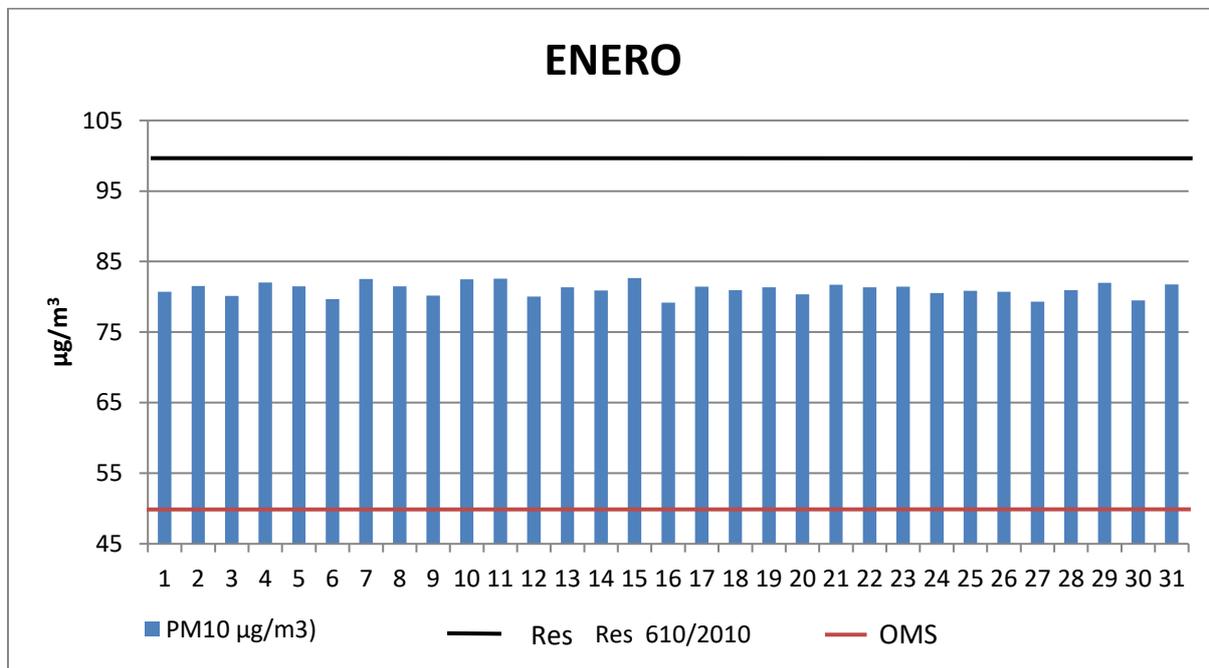


**Figura 6.** Concentración de  $PM_{10}$  durante los meses de enero a Diciembre de 2016 en la estación El Colegio y su comparación con la normativa nacional e internacional

Para determinar el grado de cumplimiento de la normativa con el límite permisible de 24 h, según la Resolución 610 (MAVDT, 2010) y lo establecido en las Guías de Calidad de Aire de

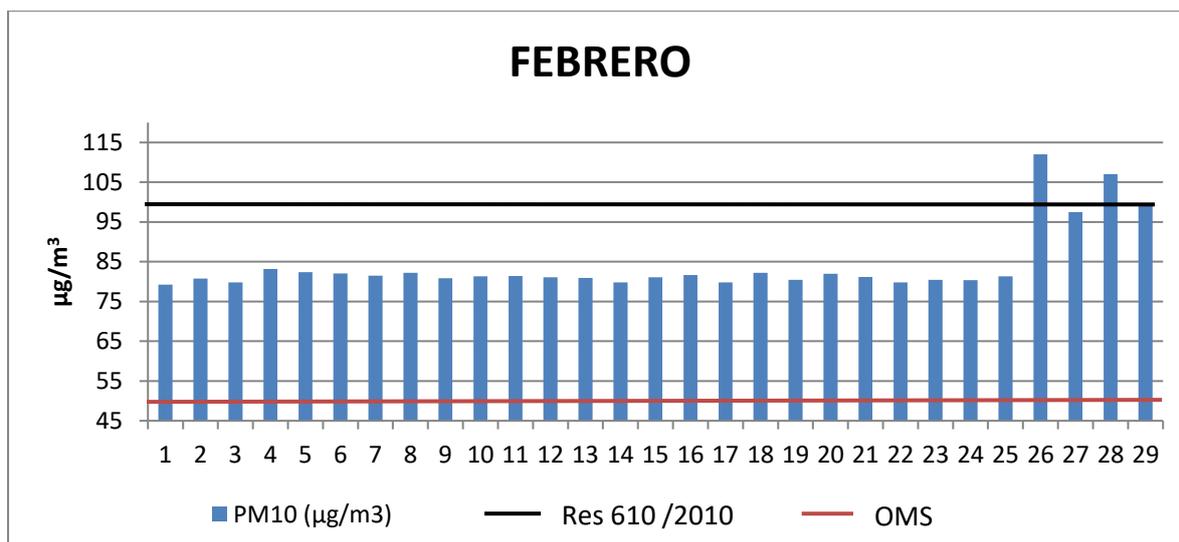
la OMS (2005), se desarrollaron graficas mes a mes donde se observaron las emisiones de  $PM_{10}$  junto con los límites permisibles correspondientes.

En la Figura 7, se aprecia que para el mes de enero se registró un comportamiento constante y que en ninguno de los días se sobrepasaron los límites dispuestos en la resolución 610 de 2010. En cuanto, a lo establecido por la OMS (2005) se evidencia que durante todo el mes se sobrepasó dicho límite. Es importante mencionar que en este mes se presenta el promedio mensual más bajo durante todo el año con un valor de  $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



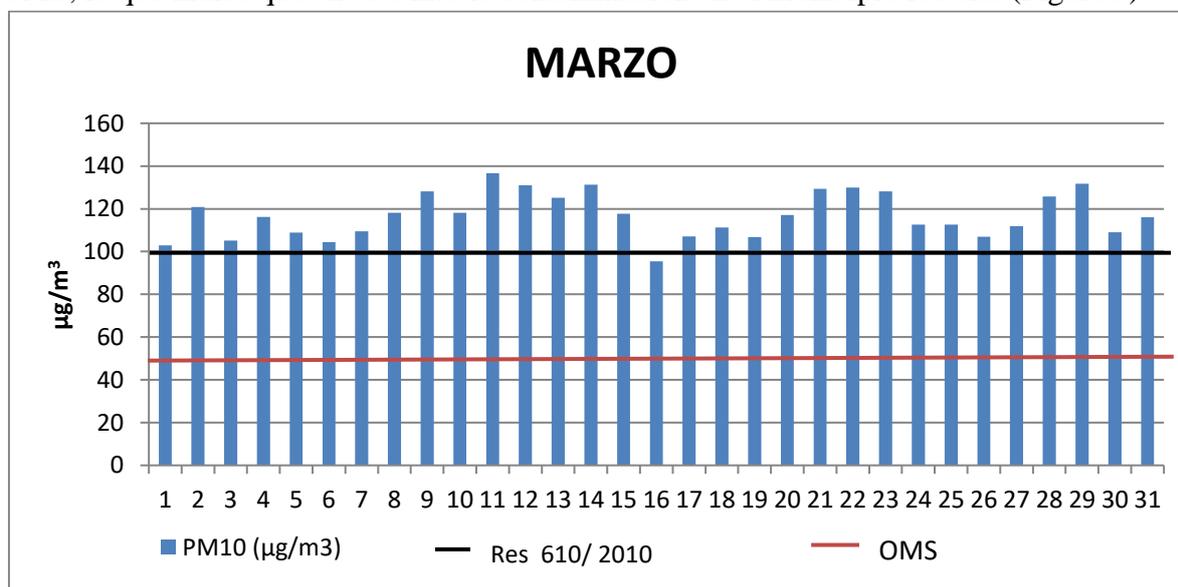
**Figura 7.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de enero de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.  
Fuente: Autores, 2018.

Para el mes de febrero, se observa un comportamiento constante de la inmisión del contaminante, el cual sobrepasa la normativa colombiana solo los últimos días del mes (Figura 8); en cuanto a la lo sugerido por la OMS, se supera el límite todos los días del mes.



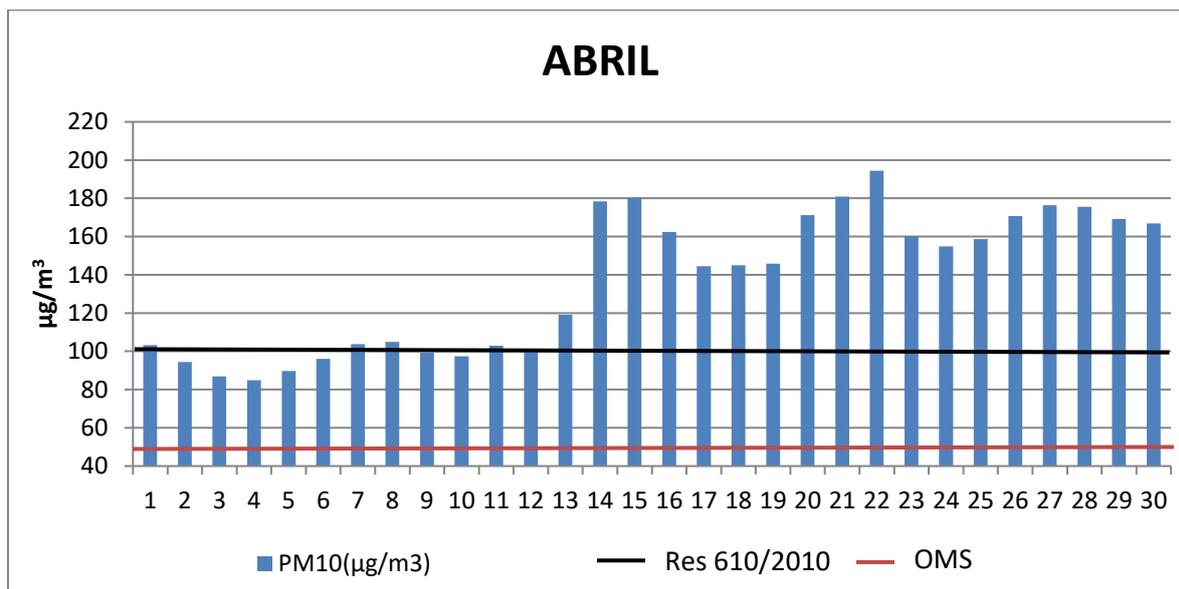
**Figura 8.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de febrero de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.  
Fuente: Autores, 2018

Se observa que, en el mes de marzo, 30 de los 31 días del mes sobrepasaron la normativa colombiana con valores de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y todos los días del mes superaron lo sugerido por la OMS, lo que indica que en este mes la contaminación en el municipio fue alta (Figura 9).



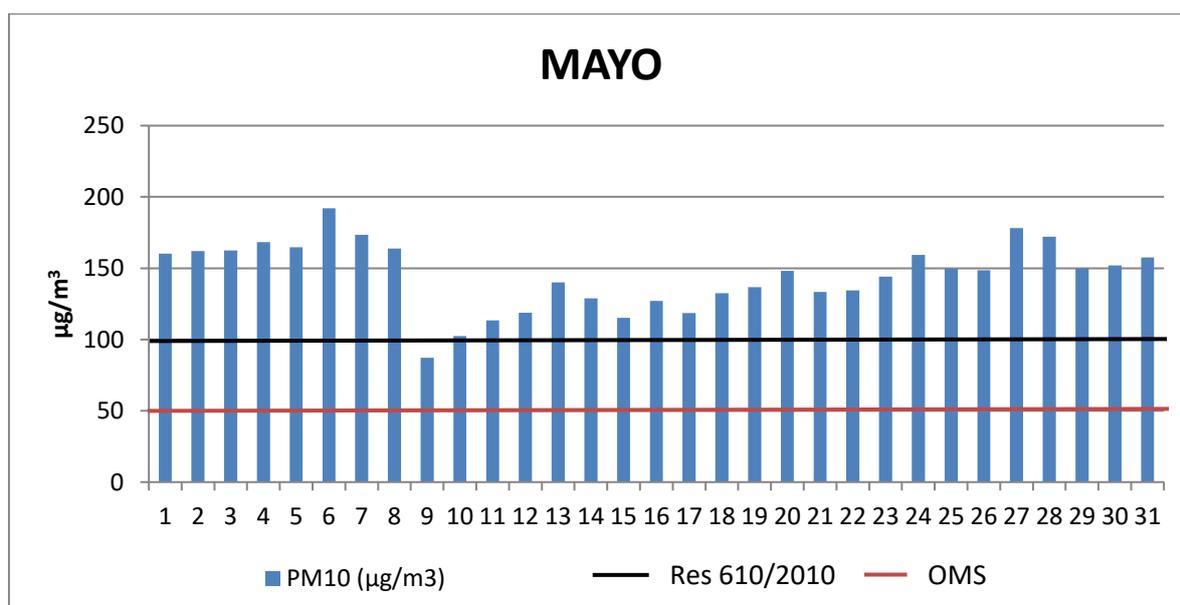
**Figura 9.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de Marzo de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.  
Fuente: Autores, 2018

En la figura 10, se observa que desde mediados del mes de abril hay un aumento progresivo del contaminante presentando un pico el día 22 con un valor de  $194,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el registro más bajo se presentó el día 4 con un valor de  $84,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Así mismo, se aprecia que 26 de los 30 días del mes sobrepasaron tanto lo sugerido por la OMS como establecido por la normativa nacional.



**Figura 10.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de abril de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.  
Fuente: Autores, 2018

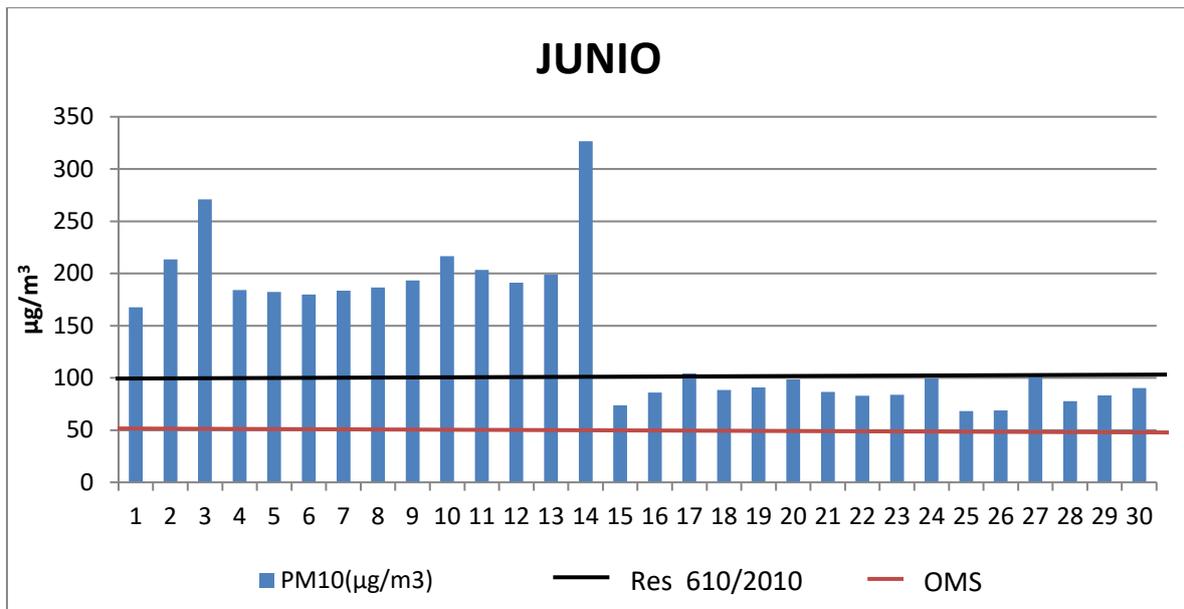
En el mes de mayo, se aprecia que 30 de los 31 días del mes sobrepasan el límite permisible de la resolución 610 de 2010 y durante todo el mes se supera notablemente el límite recomendado por la GCA. De igual forma, se aprecia que se registra un pico el día 6 con un valor de 192  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y un valor mínimo con registro de 87,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 11).



**Figura 11.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de mayo de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.  
Fuente: Autores, 2018

En la figura 12, correspondiente al mes de junio del año de 2016, se identificó que durante los primeros 14 días del mes hay mayor concentración de  $PM_{10}$  respecto al resto de días. Así mismo, se identifica que 16 de los 30 días del mes superan los límites nacionales e

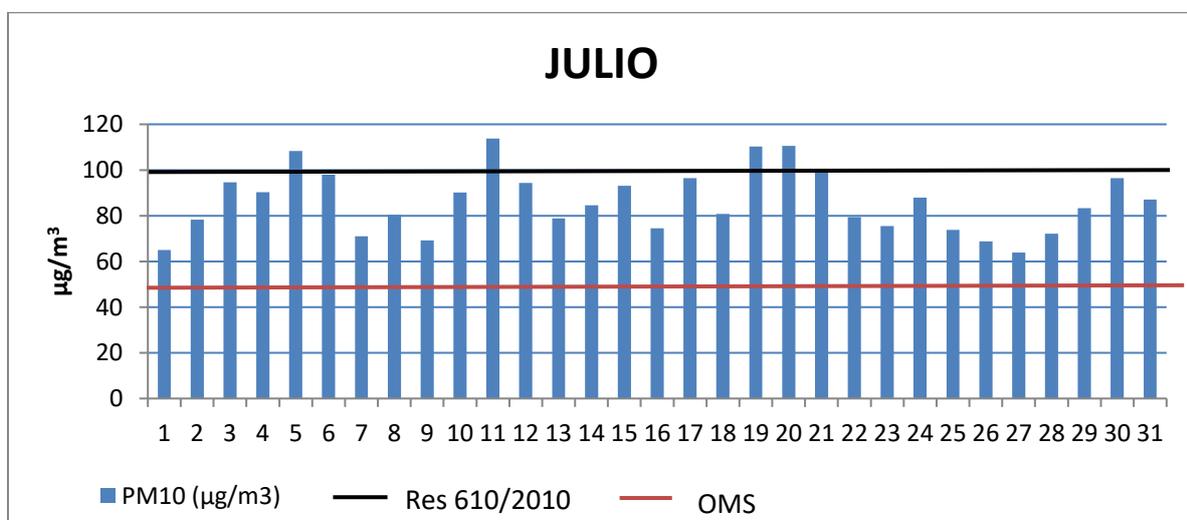
internacionales. Finalmente se evidencia que el día 14 se presenta el registro más elevado durante todo el año, con un valor de  $327 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 12.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de mayo de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.

Fuente: Autores, 2018

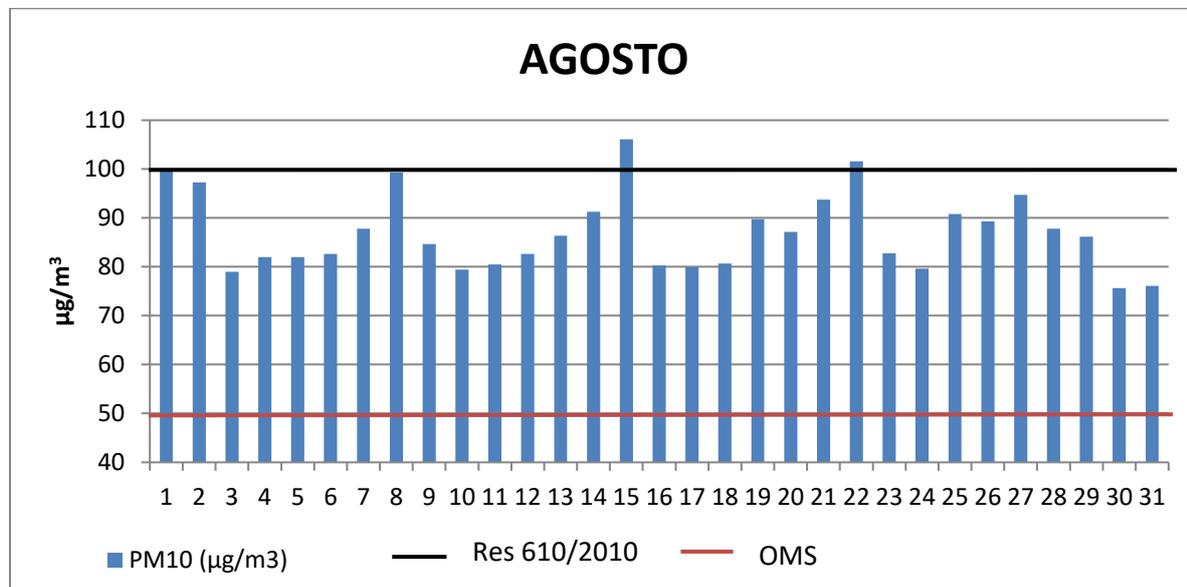
Durante el mes de julio del año 2016, se puede evidenciar el día de mayor cantidad de contaminación fue el 11, ya que con un  $113,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  supera los límites permisibles de la normativa colombiana y se superan en todos los días los valores permisibles propuestos en la Guía de Calidad del Aire. Por otro lado, el día 27 se registró un  $63,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$  siendo este que menor contaminación registró (Figura 13).



**Figura 13.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de julio de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.

Fuente: Autores, 2018

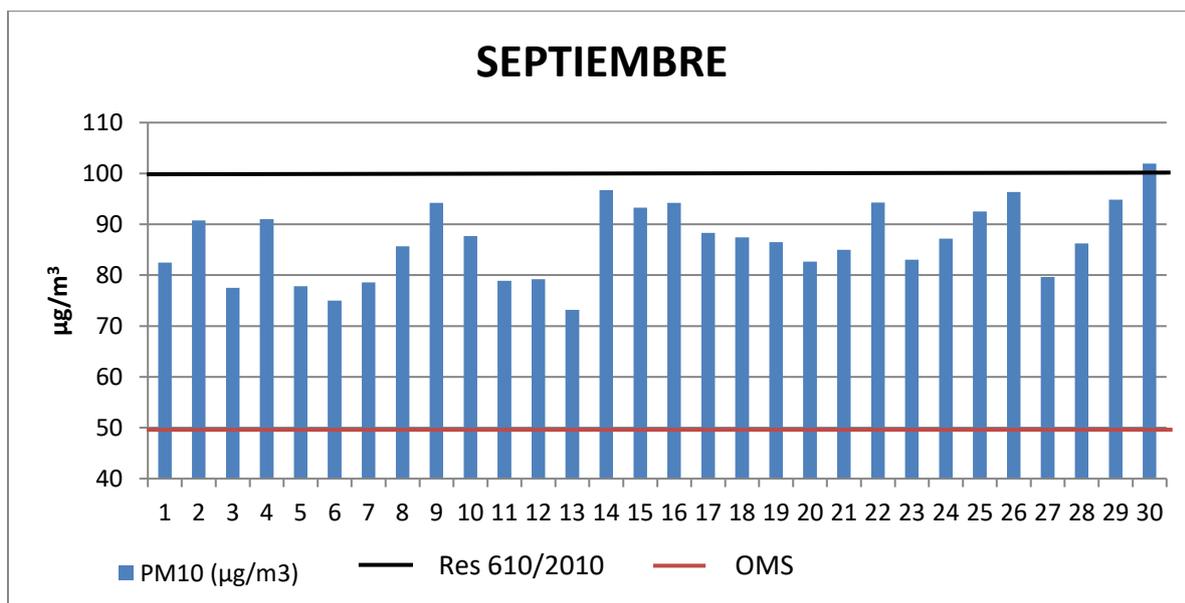
En la figura 14, se puede observar que para el mes de agosto del año 2016 los días que sobrepasaron el límite permisible propuesto por la normativa colombiana ( $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) fueron el 1, 15 y 22. Además, se observa que en los últimos días del mes se registran menor cantidad de contaminación siendo el 30 y 31 los que llegaron al pico más bajo. Sin embargo, todos los días sobrepasan ostensiblemente los límites propuestos por la Guía de Calidad de Aire de la OMS ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Figura 14.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de agosto de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.

Fuente: Autores, 2018.

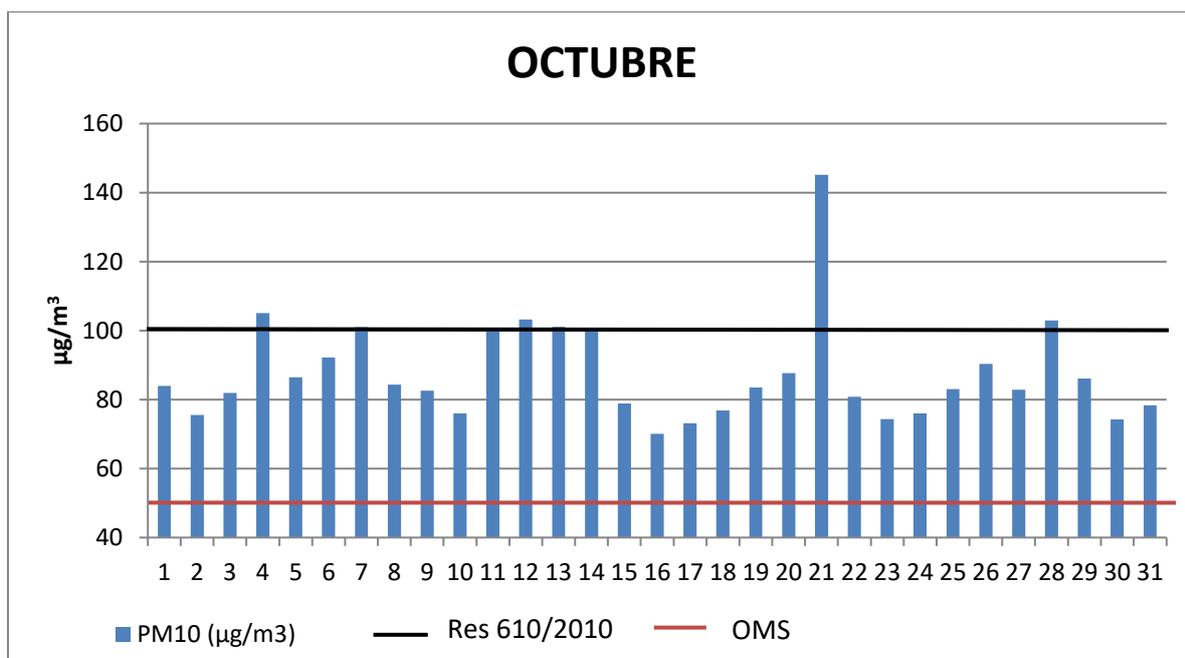
Para el mes de septiembre del año 2016, solo hubo un día que sobrepasó el límite permisible de la normativa colombiana, siendo el día 30, registrando  $101,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Además de ello, todos los días del mes sobrepasan los límites propuestos por la Guía de Calidad del Aire. Por otro lado, el día 13 se registró la menor cantidad de  $PM_{10}$  con un  $73,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figura 15).



**Figura 15.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de septiembre de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.

Fuente: Autores, 2018.

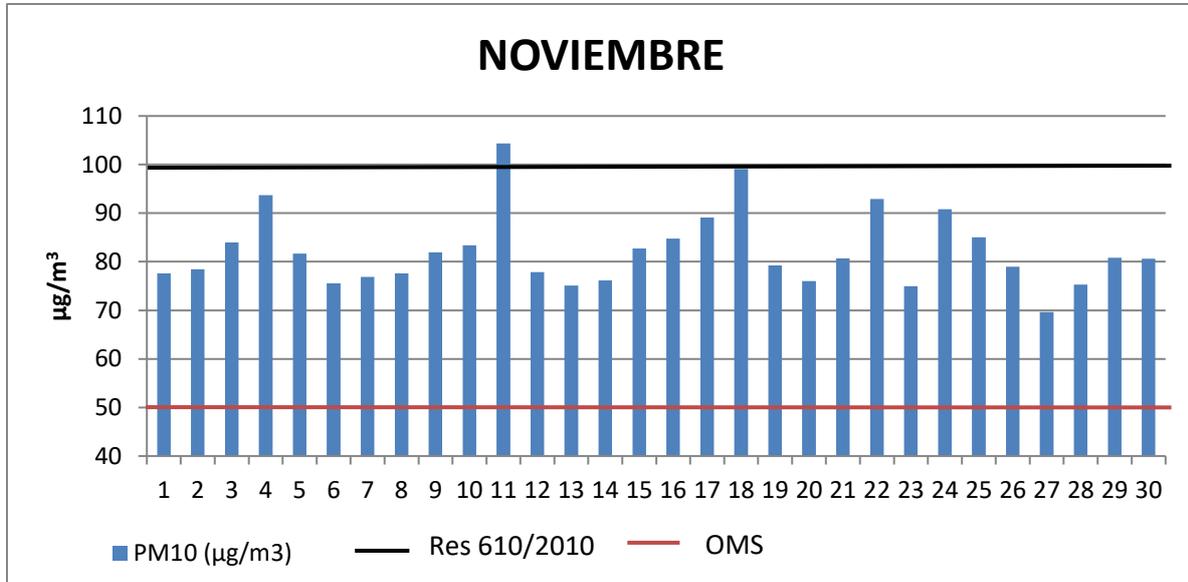
En el mes de octubre del año 2016, los reportes de contaminación diarias fluctuaron entre 73,20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (límite máximo de la normativa nacional). Sin embargo, el día 21 se registró un pico mayor a los anteriores marcando 145,19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Además, todos los días del mes sobrepasan los límites sugeridos por la Guía de Calidad de Aire de la OMS (2005).



**Figura 16.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de octubre de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.

Fuente: Autores, 2018.

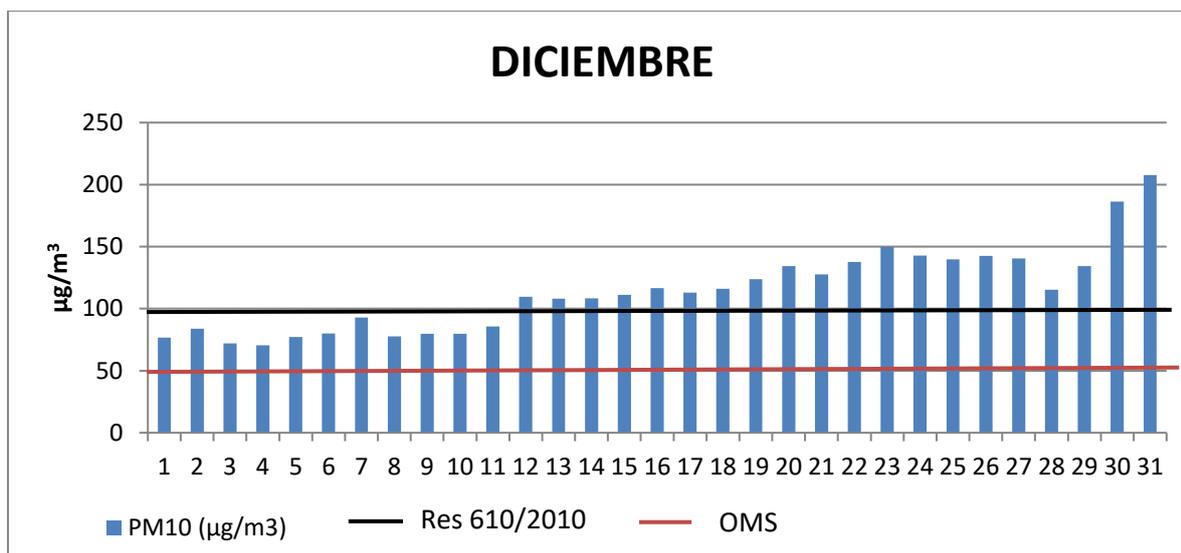
En la figura 17, se observa que para el mes de noviembre del año 2016 solamente el día 11 sobrepasó los límites permisibles de la normativa Colombiana con un  $104,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sin embargo, todos los 30 días de este mes sobrepasan las GCA (Guía de Calidad de Aire) propuesta por la OMS.



**Figura 17.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de noviembre de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.

*Fuente: Autores, 2018.*

Finalmente, en la figura 18, se observa que desde la segunda semana del mes de diciembre del año 2016 las concentraciones de  $PM_{10}$  van en aumento hasta finalizar el año sobrepasando los límites permisibles propuestos por la normativa colombiana, además de superar los límites propuestos por la OMS. Siendo el último día del año el que mayor contaminante atmosférico presentó ( $207,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Por otro lado, el día 4 presentó la menor cantidad de contaminación registrando un valor de  $70,37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .



**Figura 18.** Emisiones de  $PM_{10}$  cada 24 h durante el mes de diciembre de 2016 y su comparación con la normativa nacional e internacional.

*Fuente: Autores, 2018.*

Para el mes de enero, una de las posibles causas para que el valor de inmisiones sea tan reducido es porque iniciando el año baja considerablemente la producción de artesanías pues en el siguiente mes (febrero) inicia una temporada baja para los artesanos del municipio. Adicionalmente, el municipio es muy visitado por turistas los primeros 15 días del mes de enero y desde la Alcaldía Municipal decretan que en estos días no se enciendan los hornos, (Alcaldía Municipal Ráquira, 2018), por tal razón se presenta un promedio del contaminante bajo para los primeros 15 días con un valor de  $81,3 \text{ mg/m}^3$ . Cabe mencionar, que para el mes de febrero se presentó un incendio forestal a unos treinta minutos del casco urbano del municipio de Ráquira, esto ocurrió a finales de mes lo cual podría explicar los picos que presenta el contaminante al final del mismo. Se ha encontrado que las emisiones producidas en los incendios forestales son transportadas a través del aire a distintas zonas y por grandes distancias causando aumento en las concentraciones de los distintos contaminantes sobretodo en centros urbanos (Rivera, 2015).

En el mes de marzo, 30 de los 31 días del mes sobrepasaron los límites propuestos por la normativa nacional, esto pudo deberse a que, en este mes según uno de los artesanos líder, se suele presentar una mayor demanda de artesanías (por festividades de Semana Santa) por lo tanto hay mayor uso de los hornos de carbón (Figura 9). Por otro lado, para el mes de octubre el día 21 presentó la contaminación más alta del mes, el cual puede ser debido a como lo manifiesta “El artesano Adolfo Melo la demanda de artesanías aumentan en los fines de semana festivos”. (A. Melo, comunicación personal, 30 de septiembre de 2018). Es por ello, que el día 21 de octubre siendo un viernes antes de un fin de semana festivo se presentó esa diferencia tan marcada con respecto a los demás días del mes (Figura 16).

A partir de la normativa colombiana, establecida por la resolución 610 (MAVDT, 2010) vigente para el año 2016 y la Guía de La OMS del año 2005, se pudo determinar el grado de cumplimiento tanto diario como anual para el contaminante en estudio. Para el año 2016 hubo un 38% de días en los cuales no se cumplen con los límites permitidos por la normativa colombiana. Además, se muestra que los meses que más veces superaron esta barrera fueron marzo y mayo con un 96,7% cada uno.

Además, para este año no hubo ningún día que estuviera por debajo de los límites estipulados por la Guía de Calidad de Aire (OMS, 2005), por ende, todos los días superaron los  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tablas 9 y 10). Los resultados muestran que las concentraciones de los contaminantes del aire como el material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ) a las cuales están expuestos los Ráquireños superan en termino generales los niveles recomendados internacionalmente

De acuerdo a la Guía de Calidad de Aire (OMS, 2005) se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prever efectos adversos en la salud, lo que indica que concentraciones por debajo de los niveles propuesto por la OMS también existen riesgos a la salud, por consiguiente es evidente que en Colombia se presentan efectos adversos para la salud pues los límites son más permisibles que los de los propuestos internacionalmente.

**Tabla 9.** Cumplimiento de las emisiones de  $\text{PM}_{10}$  en la estación El Colegio del municipio del municipio de Ráquira de acuerdo la Normativa Colombiana (Resolución 610/2010).

MES	CUMPLIMIENTO (días/mes)		TOTAL (días)	Días de no cumplimiento (%)
	SI	NO		
ENERO	31	0	31	0%
FEBRERO	27	2	29	6,9%
MARZO	1	30	31	96,7%
ABRIL	8	22	30	73,3%
MAYO	1	30	31	96,7%
JUNIO	14	16	30	53,3%
JULIO	26	5	31	16,1%
AGOSTO	28	3	31	9,6%
SEPTIEMBRE	29	1	30	3,3%
OCTUBRE	23	8	31	25,8%
NOVIEMBRE	29	1	30	3,3%
DICIEMBRE	11	20	31	64,5%
<b>TOTAL (%)</b>	228	138	366	38%

Fuente: Autores, 2018.

**Tabla 10.** Cumplimiento de las emisiones de  $PM_{10}$  en la estación El Colegio del municipio del municipio de Ráquira a partir de lo establecido por la GCA de la OMS (2005)

MES	CUMPLIMIENTO (días/mes)		TOTAL (días)	Días de no cumplimiento (%)
	SI	NO		
ENERO	0	31	31	100%
FEBRERO	0	29	29	100%
MARZO	0	31	31	100%
ABRIL	0	30	30	100%
MAYO	0	31	31	100%
JUNIO	0	30	30	100%
JULIO	0	31	31	100%
AGOSTO	0	31	31	100%
SEPTIEMBRE	0	30	30	100%
OCTUBRE	0	31	31	100%
NOVIEMBRE	0	30	30	100%
DICIEMBRE	0	31	31	100%
<b>TOTAL (%)</b>	0%	100%	366	100%

*Fuente: Autores, 2018.*

Los datos suministrados por la CAR, recolectados por la estación “El Colegio” de Ráquira y de acuerdo a los 12 meses evaluados en el año 2016 oscilaron entre  $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $327 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el último informe de calidad del aire en Colombia del año 2016 emitido y publicado por el IDEAM, se establecen categorías para material Particulado de acuerdo a los puntos de corte del índice de calidad del aire (ICA) estos valores corresponden a un valor adimensional, que se le asigna a determinada concentración, una categoría y un color, que representa los potenciales efectos asociados a la salud (IDEAM, 2017). La escala que representa el ICA, está entre 0 y 500, donde los valores más elevados corresponden a mayores niveles de contaminación atmosférica y, en consecuencia, efectos más nocivos a la salud de la población ANEXO X. Por lo anterior, la mayoría de los datos de  $PM_{10}$  para el año 2016 se encuentran en las categorías de moderado a dañino para la salud de grupos sensibles (Tabla 11).

**Tabla 11.** No de días del año 2016 de acuerdo a la clasificación por Puntos de corte para  $PM_{10}$  del Índice de Calidad del Aire ICA en Colombia

COLOR	CLASIFICACIÓN	ICA $PM_{10}$ 24 h ( $\mu g/m^3$ )	No. de días año 2016
Verde	Buena	0 -54	0
Amarillo	Moderada	55 – 154	324
Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	155 – 254	40
Rojo	Dañina a la salud	255 – 354	2

Fuente: Autores, 2018.

De acuerdo a la tabla anterior se puede afirmar que en el municipio de Ráquira no se encontró ningún día del año 2016 con buena calidad del aire. Así mismo, se afirma que en la mayoría del año se presentó una calidad de aire moderada con concentraciones entre 55 y 154  $\mu g/m^3$ . Sin embargo, se presentan 40 días del año en los que la calidad del aire tiene clasificación dañina a la salud para grupos sensibles; lo cual podría verse reflejado en un incremento de síntomas respiratorios en personas vulnerables ya que en diferentes estudio se evidencia que existen grupos poblacionales más susceptibles y que merecen mayor atención como los ancianos o niños (Onatra, Vargas, Páez, Rojas, & López, 2009).

2. Establecer si existe correlación entre la concentración de  $PM_{10}$  y las enfermedades respiratorias presentes en el área urbana del municipio de Ráquira, Boyacá.

Para el desarrollo de este objetivo, se tuvo en cuenta el número de casos de tres enfermedades de las vías respiratorias superiores (rinofaringitis aguda, asma y bronquitis) y una enfermedad de las vías inferiores (EPOC), y se utilizaron los registros de  $PM_{10}$  ( $\mu g/m^3$ ) para cada uno de los meses del año 2016.

De acuerdo con Onatra y cols. (2009), el análisis de datos de la concentración del contaminante, junto con los datos de enfermedades ya sean crónicas o agudas, sirven para evaluar la correlación que existen entre los mismos; pudiendo determinar qué tipo de contaminante puede propiciar o exacerbar una Enfermedad Respiratoria Aguda (ERA) en específico.

En la tabla 12, se presentan los resultados de la prueba paramétrica estadística de Correlación de Pearson entre las variable  $PM_{10}$  y las cuatro enfermedades respiratorias. Por lo tanto, se evidencia que la enfermedad que mayor correlación presentó con las concentraciones de  $PM_{10}$  fue la rinofaringitis, presentando un rango de correlación directa ( $R=0,7528$ ), lo que indica que dichas variables mantienen una correlación lineal bastante significativa (Perez, 2010). En cuanto a los demás resultados, se aprecia que la correlación entre la variable  $PM_{10}$  y las enfermedades de asma y bronquitis fue débil ( $R= 0,3962$  y  $0,2990$  respectivamente); sin embargo, esto no indica que las variables sean independientes (Perez, 2010). Finalmente, la

correlación entre el PM<sub>10</sub> y el EPOC, resultó ser inversa, presentando un relación lineal baja pero mayor a la de las enfermedades de asma y bronquitis (R=-0,4641).

**Tabla 12.** Resultados Prueba paramétrica estadística de Correlación de Pearson.

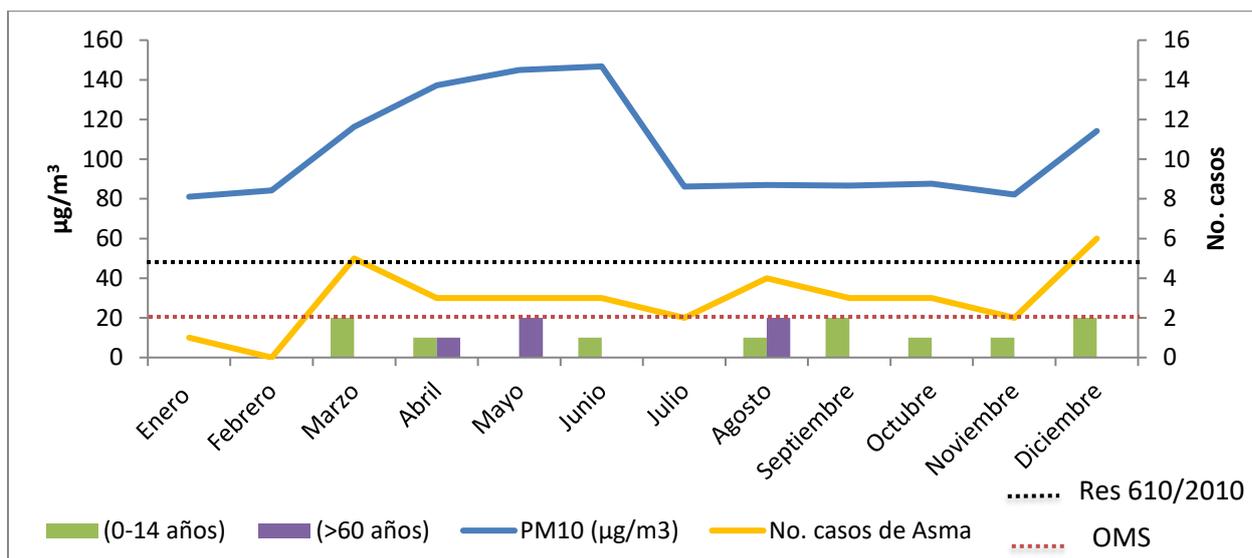
VARIABLES A CORRELACIONAR		CORRELACIÓN DE PEARSON
VARIABLE 1 (µg/m <sup>3</sup> )	VARIABLE 2	RESULTADO
PM <sub>10</sub>	No. de casos Asma (2016)	0,3962
PM <sub>10</sub>	No. de casos Bronquitis (2016)	0,2990
PM <sub>10</sub>	No. de casos Rinofaringitis (2016)	0,7528
PM <sub>10</sub>	No. de casos EPOC (2016)	-0,4641

*Fuente: Autores, 2018*

A continuación, se muestran las figuras que correlacionan las cuatro enfermedades anteriormente mencionadas, con los valores mensuales de PM<sub>10</sub> para el año 2016. Además, se tienen en cuenta el número de casos que corresponden a los grupos etarios con mayor vulnerabilidad, incluyendo también los límites permisibles de contaminación propuestos por la normativa nacional y lo sugerido por la OMS.

En la figura 19, se observa que los meses que mayor número de casos de asma presentaron fueron marzo y diciembre con 5 y 6 respectivamente. Según, El artesano Adolfo Melo “el número de casos por enfermedades respiratorias aumentan en el mes de diciembre” (Melo, comunicación personal, 30 de septiembre de 2018). Además de ello, al analizar la figura 20, se evidencia un incremento acentuado de número de casos de asma para el último mes del año. Por otro lado, se evidencia una baja correlación lineal directa entre el contaminante PM<sub>10</sub> y el No. de casos de asma en el año 2016 (R=0,3962).

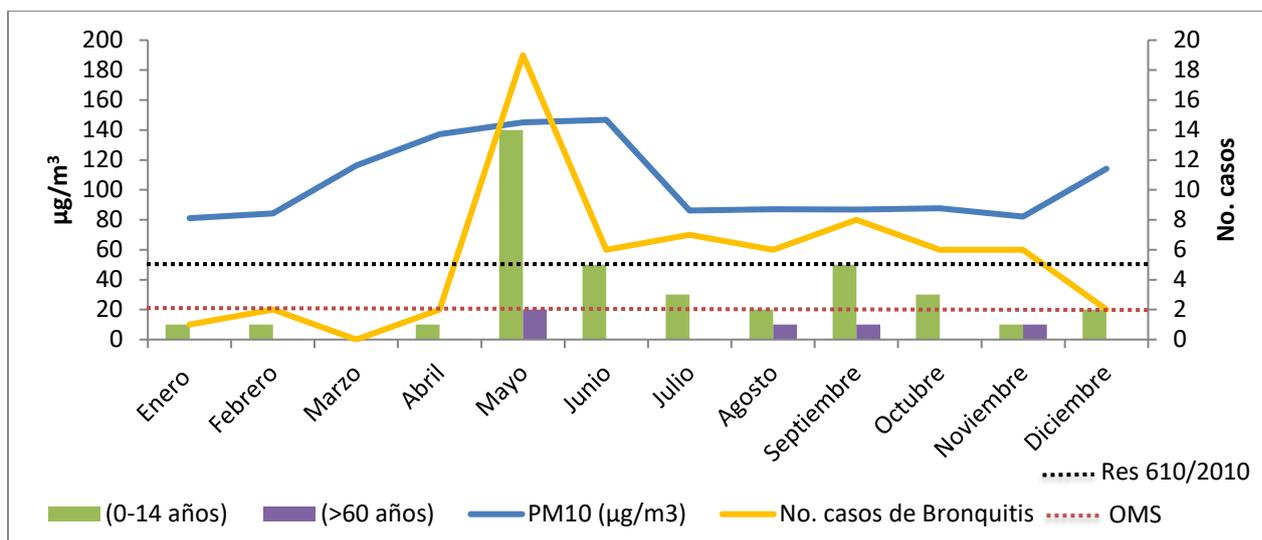
En la gráfica se puede observar como en los meses de junio y julio a medida que la concentración del contaminante va decayendo, los números de casos de asma en los mismos meses también bajan; así como, en los meses de noviembre y diciembre a medida que la concentración del contaminante va en aumento, los números de casos también. Por último, en la figura 20, se puede apreciar una asociación entre los grupos etarios con mayor vulnerabilidad y las variables anteriormente mencionadas, ya que para el año 2016 se presentó un mayor número de afectaciones respiratorias por asma en niños (0-14 años) con 11 casos, y en adultos mayores (>60 años) con 5 casos. Según Lemanske (2014), el Asma es una de las causas más comunes de enfermedad crónica en los niños, ya que los niños tienen vías respiratorias más pequeñas, lo cual, al momento de presentarse la inflamación en el tracto respiratorio produce que el mismo se estreche, reduciendo aún más los conductos de aire y haciendo que sea más difícil respirar.



**Figura 19.** Relación entre el No. de casos de Asma año 2016, el contaminante ( $PM_{10}$ ) y los grupos etarios vulnerables  
Fuente: Autores, 2018

En la figura 20 se puede apreciar claramente la relación que hay entre la concentración de  $PM_{10}$ , el No. de casos de bronquitis y los grupos etarios vulnerables como los son niños de 0 a 14 años y adultos mayores de 60 años. Para el mes de mayo se presentó un pico en la concentración de  $PM_{10}$  a igual que con el No. de casos de bronquitis (14) en especial en los niños entre los 0 a 14 años. Dicha enfermedad en general, afecta en su mayoría a niños pues de los 68 casos que se presentaron en total para el año 2016, 38 correspondieron a niños entre 0 y 14 años y 11 casos de los 38 correspondieron a niños menores de 1 año (ANEXO 5). Estos resultados, son similares a los obtenidos por Muñoz y Sá Carvalho (2009), los cuales encontraron en un estudio realizado en Chile que a medida que incrementaban las concentraciones de  $PM_{10}$  se incrementaban los casos de bronquitis en niños. No obstante, los resultados del análisis estadístico anual entre el  $PM_{10}$  y el No. de casos de bronquitis establecen una relación lineal estadísticamente baja ( $R= 0,2990$ ).

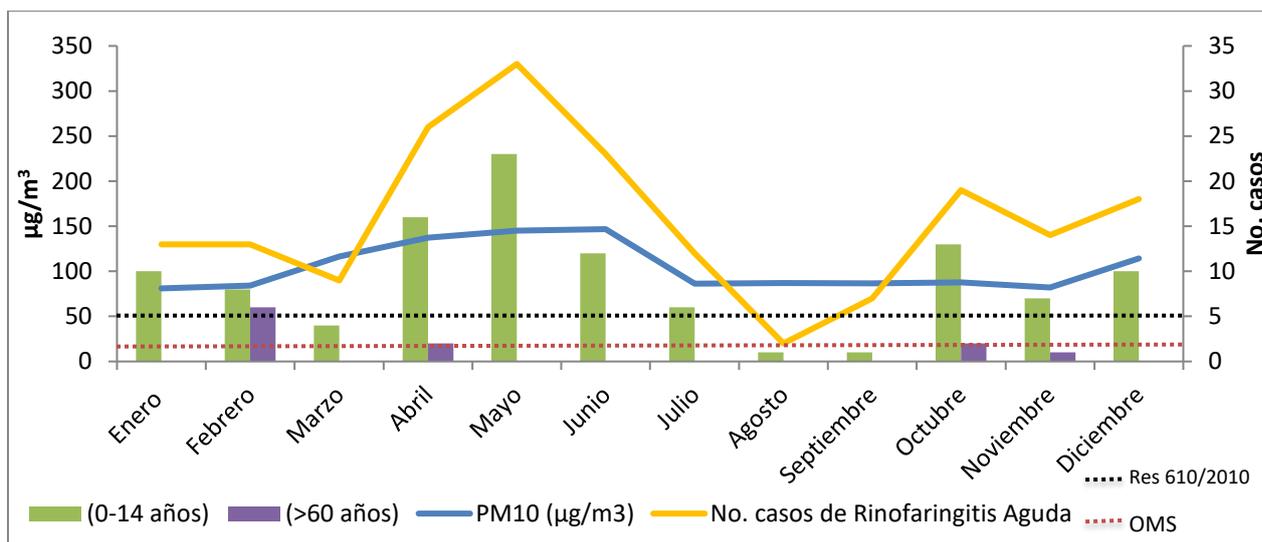
La vulnerabilidad de los niños a enfermedades como bronquitis, se debe principalmente a que su sistema inmunológico, respiratorio y nerviosos central aún están en desarrollo y a que tienen mayor exposición, ya que consumen más alimentos, agua y aire en proporción a su peso. Así mismo, la exposición de material particulado en los niños se ha asociado con déficits y crecimiento en la función pulmonar, aumentos de las enfermedades respiratorias e incremento de la mortalidad e incremento y morbilidad en lactantes y niños pequeños. Estos efectos se presentan con mayor frecuencia en niños menores a 5 años, sin embargo, la susceptibilidad por exposición y desarrollo del sistema de los órganos se presenta hasta los 18 años. Finalmente, se ha evidenciado que el PM tiene una mayor asociación con muertes prematuras, bronquitis y afecciones respiratoria en niños menores de 14 años (Jimenez, 2011).



**Figura 20.** Relación entre el No. de casos de Bronquitis año 2016, el contaminante (PM<sub>10</sub>) y los grupos etarios vulnerables  
*Fuente: Autores, 2018*

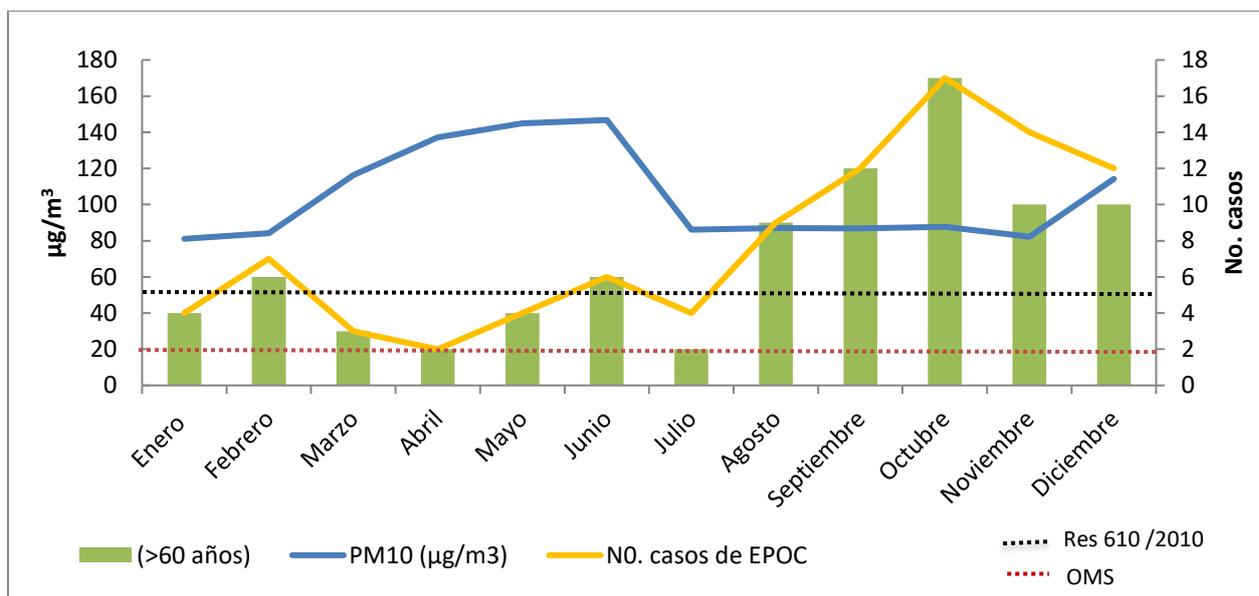
La correlación positiva y bastante significativa que hay entre la concentración de PM<sub>10</sub>, el No. de casos de rinofaringitis y grupos etarios vulnerables como los son niños de 0 a 14 años y adultos mayores de 60 años se puede apreciar en la figura 22 (R=0,7528). Por otro lado, para los meses de abril y mayo donde se presentaron los picos de concentración PM<sub>10</sub> también se presentaron los picos con el mayor No. de casos de esta enfermedad, especialmente en niños de 0 a 14 años. Además, se observa que, en el resto de los meses, cuando bajan las inmisiones del contaminante disminuyeron notablemente el No. de casos, a excepción del mes de octubre. De acuerdo a una publicación de la OMS en el año 2018, existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) y el aumento de la morbilidad diaria y a largo plazo de enfermedades respiratorias como rinofaringitis.

De acuerdo a lo anterior, y teniendo en cuenta que de los 189 casos de rinofaringitis que se presentaron en el año 2016 en el municipio 111 corresponde a niños menores de 14 años se determinó de acuerdo a la literatura, que esta es una de las enfermedades que más afecta a este grupo etario, un estudio realizado en la ciudad de Santa Marta, para describir la asociación epidemiológica entre el PM<sub>10</sub> y sus efectos en las enfermedades respiratorias en niños menores de 14 años durante los años 2008 y 2009 dio como resultado, que dentro de las enfermedades respiratorias altas, la rinofaringitis aportó cerca del 50% de los diagnósticos en los años de estudio (Salazar & Alvarez, 2011)



**Figura 21.** Relación entre el No. de casos de Rinofaringitis año 2016, el contaminante ( $PM_{10}$ ) y los grupos etarios vulnerables  
Fuente: Autores, 2018

La correlación que existe entre el contaminante y el número de casos de EPOC registrados para el año 2016 se presenta en la figura 22. Se evidencia como durante el segundo semestre del año, el número de casos de EPOC aumentó progresivamente hasta alcanzar su pico más alto en el mes de octubre (17 casos). Además, se observa como en ciertos meses del año cuando la concentración del contaminante  $PM_{10}$  va en aumento los números de casos de EPOC disminuyen ( $R = -0,4641$ ). Para esta enfermedad, no se registró afectación en los niños menores de 14 años, como si se observó en los adultos mayores de 60 años, en donde se presentó una cifra elevada de 85 casos. Según Ortiz, Toro & Gómez (2013) la EPOC tiene mayor incidencia en la población mayor a causa del deterioro pulmonar a través de los años. Además de ello, en un estudio realizado en el Hospital Universitario Nacional (HUN) se encontró que en pacientes adultos ingresados a hospitalización finalmente fueron diagnosticados con EPOC, habían presentado exposición 48 horas antes al inicio sintomático, a material particulado  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  superiores a las recomendadas por la OMS (Morantes, 2017).



**Figura 22.** Relación entre el No. de casos de EPOC año 2016, el contaminante ( $PM_{10}$ ) y los grupos etarios vulnerables.

Fuente: Autores, 2018

En la tabla 13, se presentan los resultados del total de casos por enfermedad respiratoria reportados para el año 2016 en el área urbana del municipio de Ráquira y de este total cuántos fueron casos de población vulnerable, niños entre 0 a 14 años y adultos mayores de 60 años. Se observa que el número total de las cuatro enfermedades respiratorias objeto de estudio fue de 383, siendo 160 de estos niños menores de 14 años y 106 adultos mayores a 60 años. Por consiguiente, el porcentaje de enfermedades respiratorias para el año 2016 con respecto a la población total del área urbana fue del 21 %, teniendo en cuenta que la población que se tomó fue la reportada por el Sistema de Selección de Beneficiarios Para Programas Sociales (SISBEN), pues de acuerdo a la entrevista realizada al señor Alejandro Salinas contratista del área de planeación el afirma que “La población reportada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) no es una cifra real sino que presenta inflación”. Según estadísticas DANE el número total de habitantes es de 13.558 y según la base de datos SISBEN, para el año 2016 se tiene una población de 6.528, lo que demuestra una clara diferencia con respecto a lo reportado por el DANE (Alcaldía Municipal de Ráquira, 2016). Lo que corroboraría la información obtenida en la entrevista.

**Tabla 13.** No. total de casos por enfermedad respiratoria y grupos vulnerables

<b>ENFERMEDAD RESPIRATORIA</b>	<b>No. TOTAL DE CASOS EN EL AÑO 2016</b>	<b>No DE CASOS NIÑOS MENORES DE 14 AÑOS</b>	<b>No. DE CASOS ADULTOS MAYORES DE 60 AÑOS</b>
Asma	35	11	5
Bronquitis	65	38	5
Rinofaringitis	189	111	11
EPOC	94	0	85
Total	383	160	106
<b>% con respecto a la población total del casco urbano</b>	<b>21 %</b>	<b>9%</b>	<b>6%</b>

*Fuente: Autores, 2018*

A continuación, se presentan la tabla con la comparación del número de casos de enfermedades respiratorias en el municipio de Ráquira y el municipio de Sutamarchán el cual tiene características como variables meteorológicas y demografía similares al municipio en estudio. Por lo tanto, Ráquira para el año 2016 contaba con una población urbana de 1837 habitantes (Alcaldía Municipal de Ráquira, 2016), asemejándose a Sutamarchán que contaba con una población urbana de 1950 habitantes para el mismo año (Alcaldía Municipal Sutamarchán, 2016). Sin embargo, en Sutamarchán no se encuentran ningún tipo de hornos, por lo tanto no hay fuentes de emisiones que sean representativas, por tal razón en dicho municipio se considera que hay buena calidad del aire en comparación con Ráquira. De acuerdo a lo anterior, se puede evidenciar que los números de casos de enfermedades reportadas en el municipio de Ráquira duplican (rinofaringitis) y hasta cuadruplican (EPOC, bronquitis) los casos de enfermedades reportadas en el municipio de Sutamarchán. Así mismo, el número total de casos de las cuatro enfermedades es más del doble en Ráquira que en Sutamarchán, lo que también podría indicar una posible asociación entre la mala calidad del aire y el aumento del número de casos de dichas enfermedades.

**Tabla 14.** Comparación entre el No. de casos reportados en Ráquira y No. de casos reportados en Sutamarchán.

<b>ENFERMEDAD RESPIRATORIA</b>	<b>No. TOTAL DE CASOS EN EL AÑO 2016</b>		<b>No DE CASOS NIÑOS MENORES DE 14 AÑOS</b>		<b>No. DE CASOS ADULTOS MAYORES DE 60 AÑOS</b>	
	<b>Ráquira</b>	<b>Sutamarchán</b>	<b>Ráquira</b>	<b>Sutamarchán</b>	<b>Ráquira</b>	<b>Sutamarchán</b>
Asma	35	20	11	6	5	0
Bronquitis	65	19	38	10	5	5

Rinofaringitis	189	86	111	52	11	3
EPOC	94	20	0	1	85	19
Total	383	145	160	69	106	27
<b>% con respecto a la población total del casco urbano</b>	<b>21 %</b>		<b>9%</b>		<b>6%</b>	

*Fuente: Autores, 2018*

### 3. Analizar la ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire “El Colegio”.

Para el desarrollo de este objetivo inicialmente se tuvo en cuenta las características de la estación de monitoreo, observadas en la visita técnica con el fin de analizarlas de acuerdo a lo planteado en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT, 2010). Luego, se analizó la meteorología para el año 2016 en el municipio de Ráquira, ya que es una de las variables de mayor importancia al realizar un análisis sobre la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire. Por lo tanto, se describen las variables meteorológicas tales como temperatura, precipitación y dirección de los vientos. En consecuencia, se presenta el mapa que se realizó con la ubicación de los principales focos de emisión (hornos de carbón) tanto en la zona rural como en la urbana pues de esta manera se estableció la cantidad y distribución de los mismos.

#### 3.1 Análisis sobre la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire

Según el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (MAVDT, 2010), no existe una regla única para el diseño detallado de un Sistema de Vigilancia de La calidad del Aire (SVCA), dado que las decisiones sobre el número y ubicación de las estaciones de vigilancia, están sometidas a los objetivos y a la problemática específica que pueden ser diferentes para cada región o industria (MAVDT, 2010). De acuerdo a lo anterior, a continuación, se evalúan los requerimientos mínimos para el funcionamiento de un SVCA, en este caso se evalúan las condiciones de la estación de monitoreo de Ráquira entendiendo que el municipio no cuenta con un SVCA sino con una estación de calidad del aire fija con tipo de monitoreo puntual, denominada 11 Ráquira – Colegio, ubicada en colegio Municipal. La misma hasta el año 2008 fue manual, actualmente es automática con telemetría, ubicada en plataforma (figura 23). De acuerdo al Protocolo Para el Monitoreo y Seguimiento de la calidad del Aire (MAVDT, 2010), las estaciones se implementan para responder a uno o varios objetivos. En el caso de Ráquira la estación de monitoreo se implementó con el objetivo de dar cumplimiento de las normas, dicha estación tiene una escala a nivel local y se encuentra activa (SISAIRE, 2018). Adicionalmente, en respuesta de una carta que se pasó a la CAR, se obtuvo que hasta el año 2017 se empezó a medir material particulado (PM<sub>2.5</sub>) sin embargo, dichos registros aún no se encuentran actualizados.

A partir de la visita técnica, se puede determinar que en general la estación de monitoreo se encuentra en buenas condiciones, pues está ubicada a una altura de 7 m, y de acuerdo a lo descrito en el Manual de Diseño del SVCA (MAVDT, 2010), la altura desde el piso al toma

muestra horizontal o vertical (en este caso vertical) para una estación de monitoreo local con mediciones de material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ ) debe estar entre 2 y 15 m de altura (Tabla 15), lo cual se cumple en dicha estación. Por otro lado, también se tuvo en cuenta la distancia a la que se encuentra la estación de las vías, 11 Ráquira-colegio, esta se encuentra ubicada cerca de dos carreteras, una de ellas es la carretera principal del municipio, la cual está pavimentada y la otra es la carretera que conduce a la vereda de la Candelaria la cual se encuentra sin pavimentar, siendo esta de muy poco tráfico vehicular. Ambas vías se encuentran a más de 100 mts de distancia de la estación de monitoreo (ANEXO 3), esta distancia es permisible de acuerdo Manual de Diseño del SVCA (MAVDT, 2010). Finalmente, el equipo de material particulado en la estación, es de la marca Met One Instruments tipo BAM-1020 el cual mide y registra automáticamente los niveles de concentración de partículas en el aire (en mg o  $\mu g/m^3$ ) utilizando el principio de atenuación de rayos beta (Met One Instruments, Inc, 2015) (Figuras 24 y 25).



**Figura 23.** Estación de monitoreo 11 Ráquira- colegio  
Fuente: Autores, 2018.



*Figura 24. Equipos de la estación de monitoreo 11 Ráquira- colegio  
Fuente: Autores, 2018.*

**Tabla 15. Criterios para ubicar toma muestras y caminos de medición**

CONTAMINANTE	Escala de Vigilancia (Longitud máxima del camino de medición en metros)	Altura desde el piso al toma muestra horizontal o vertical, u 80% de la altura hasta el camino de medición <sup>a</sup> (metros)	Distancia desde estructuras de soporte <sup>b</sup> hasta el toma muestra horizontal o vertical, o 90 % de la distancia al camino de medición* (metros)	Distancia desde el toma muestra o desde el camino de medición <sup>a</sup> a los árboles cercanos (metros)
PM10 <sup>c, d, e, t, n</sup> y PM2.5 <sup>c, d, e, f, h, i</sup>	Micro, Media, Vecindario, Urbana y Regional	2 - 7 (micro) 2 - 15 (otras)	>2 (todas las escalas, solo distancia horizontal)	>10 a todas las escalas

Fuente: (MAVDT, 2010)



**Figura 25. Toma muestras de material Particulado (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>) BAM-1020**

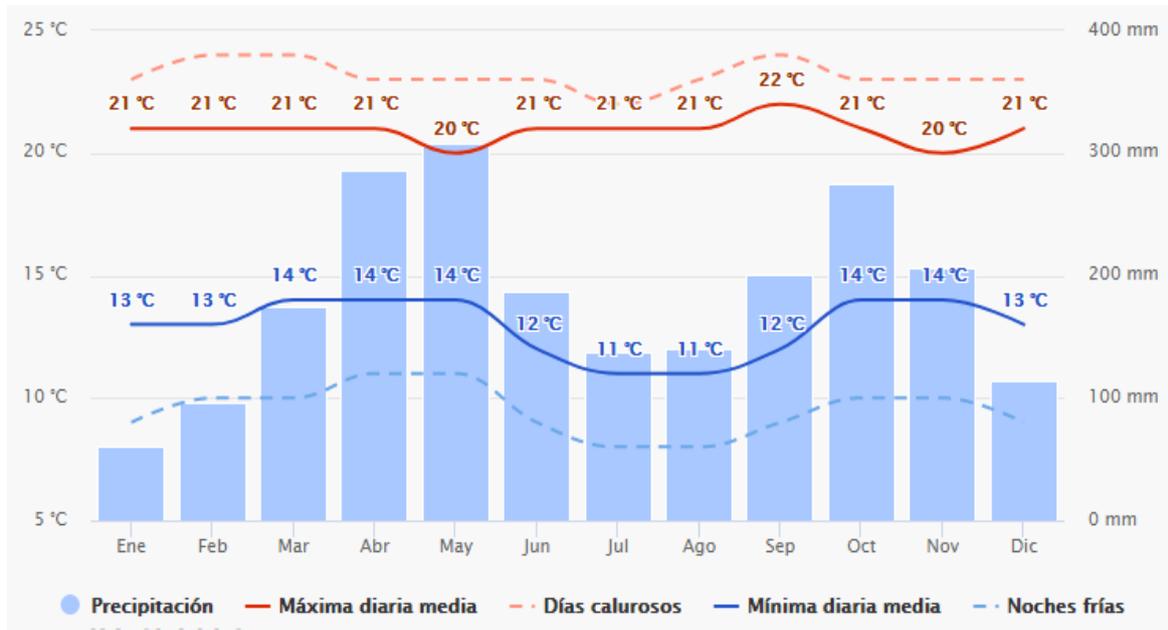
Fuente: (Met One Instruments, Inc, 2015)

### 3.2 Variables meteorológicas a tener en cuenta en la dispersión del PM<sub>10</sub>.

Temperatura:

Se puede observar el comportamiento de la temperatura promedio en la figura 26, así como los máximos diarios medios (línea roja continua) y los mínimos diarios medios (línea azul continua). Se aprecia, que los meses en los cuales se presentaron picos de temperatura fueron los meses de abril, mayo y octubre, esto puede verse asociado a que en los meses de marzo abril, mayo y junio presentaron los promedios mensuales de concentraciones más altos durante todo el año. Así mismo, se encontró que las enfermedades como bronquitis y rinofaringitis, presentaron el mayor número de casos en los meses de abril y mayo, en algunos estudios, se estima que la incidencia de eventos en salud está correlacionada con las estaciones climáticas

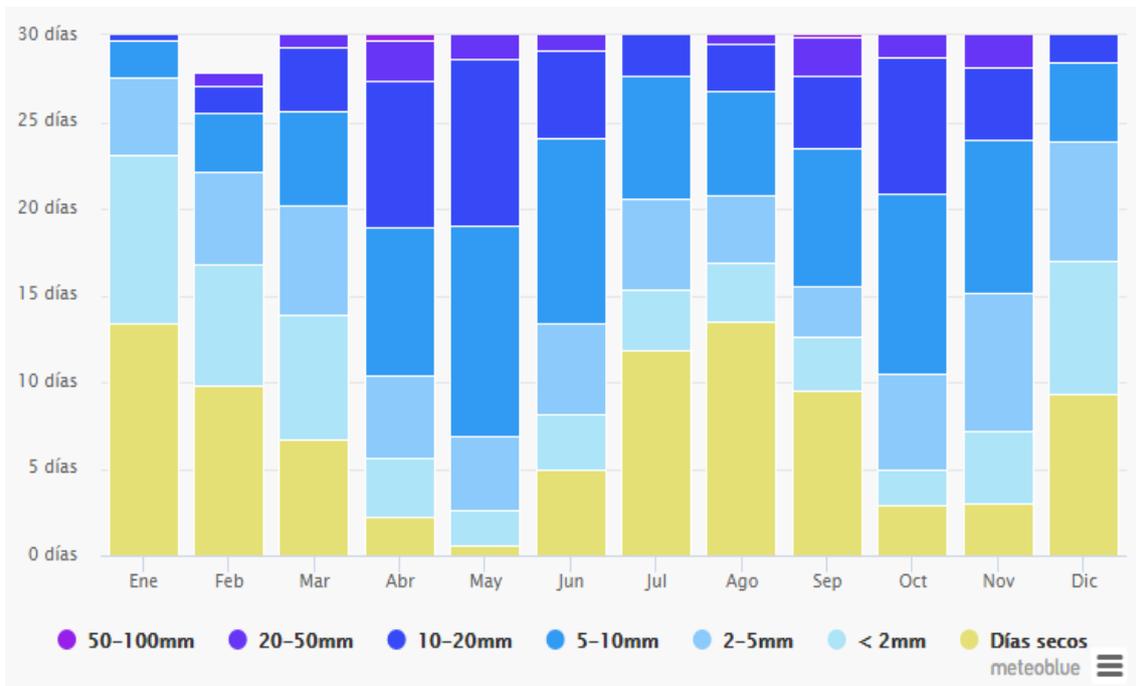
y covariables como la temperatura, la precipitación y la humedad (Gaviria, benavides & Tangarife, 2011).



**Figura 26.** Temperatura año 2016 en el municipio de Ráquira, Boyacá  
Fuente: Meteoblue, 2018

Precipitación:

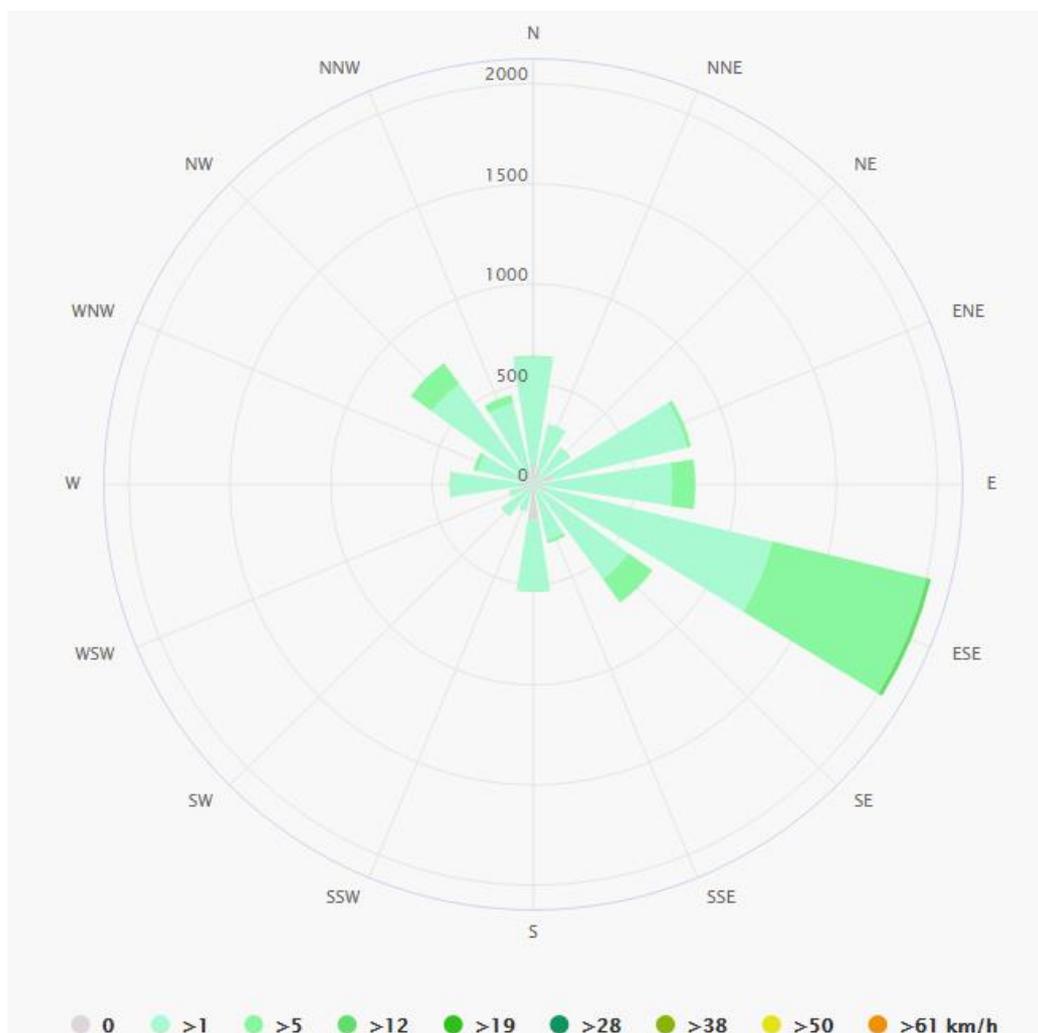
En cuanto a la precipitación se puede observar en la figura 27, un rango de precipitaciones por mes desde los días más secos a los más lluviosos. En la figura se puede observar que los meses que más días secos presentaron fueron enero, julio y agosto, los cuales hacen referencia a las temporadas de sequía que se presentan en el municipio. Por otro lado, los meses más lluviosos fueron abril, mayo y octubre, noviembre.



**Figura 27.** Precipitación año 2016 en municipio de Ráquira, Boyacá.  
 Fuente: Meteoblue, 2018.

Rosa de vientos:

La distribución de los contaminantes en la atmósfera requiere del conocimiento de la frecuencia y distribución de la dirección y de la velocidad del viento, ya que cuantifican el rigor y la incidencia del transporte de contaminantes en diferentes direcciones a partir del foco de emisión (Meteoblue, 2018). En la Figura 28, se observa la rosa de vientos anual del municipio de Ráquira, en donde se puede evidenciar que la dirección predominante del viento es Este-Sureste (ESE).



**Figura 28.** Rosa de vientos promedio para el año 2016 del municipio de Ráquira, Boyacá.  
Fuente: Meteoblue, 2018.

En la tabla 16, se presenta la cantidad de hornos que hay en el municipio de Ráquira, tanto en la zona rural como urbana, lo anterior según el inventario suministrado por la Alcaldía para el año 2016. Por lo tanto, se puede apreciar que en todo el municipio se cuenta con una cantidad representativa de 275 hornos, siendo 220 los que usan carbón como combustible.

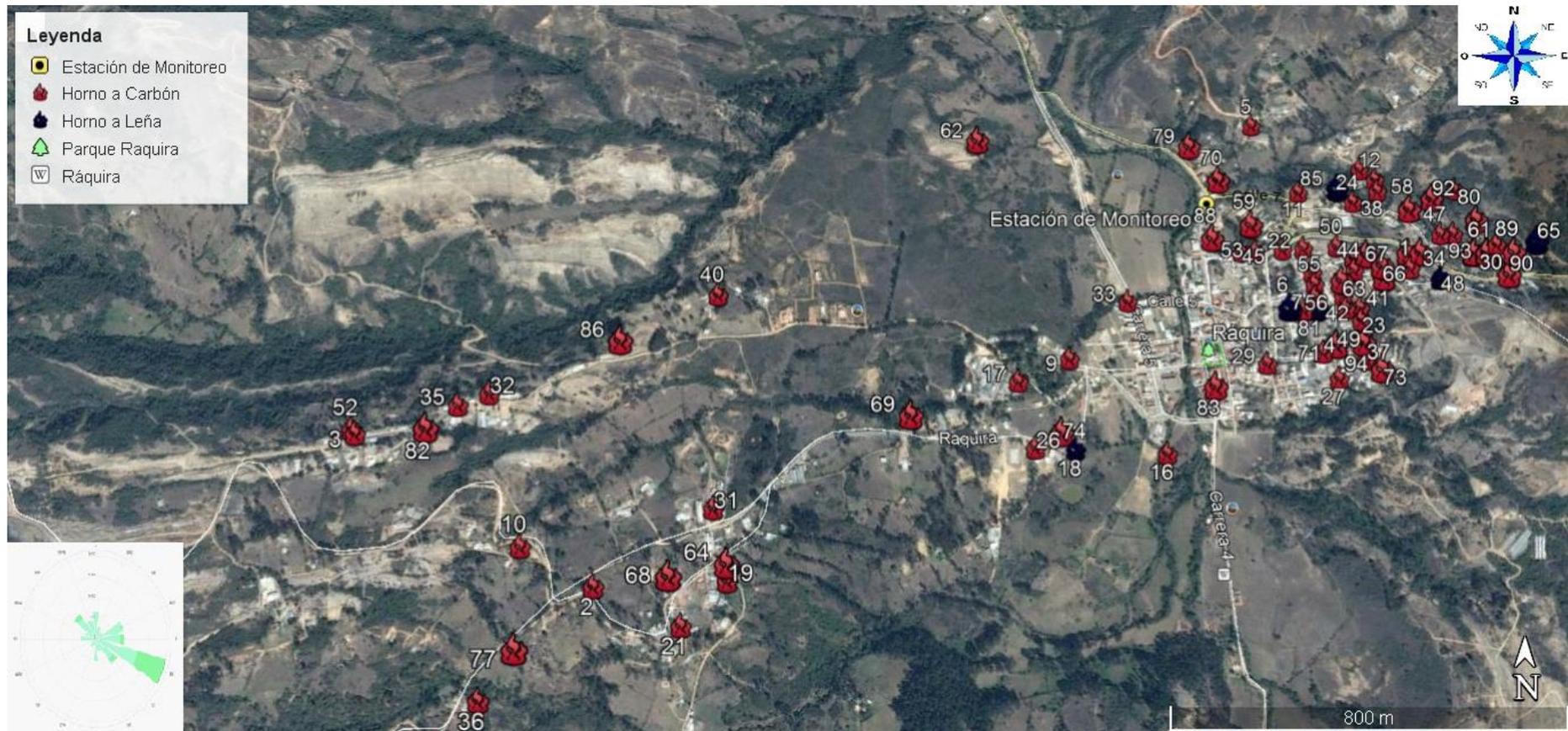
**Tabla 16.** Cantidad de los focos de emisión en el municipio de Ráquira.

TIPO COMBUSTIBLE USADO	DE	ZONA	CANTIDAD	Porcentaje (%)
Carbón		Urbano	84	31%
		Rural	136	49%
Leña		Urbana	7	2,5%
		Rural	12	4,4%
Gas propano		Urbana	9	3,3%
		Rural	2	0,7%

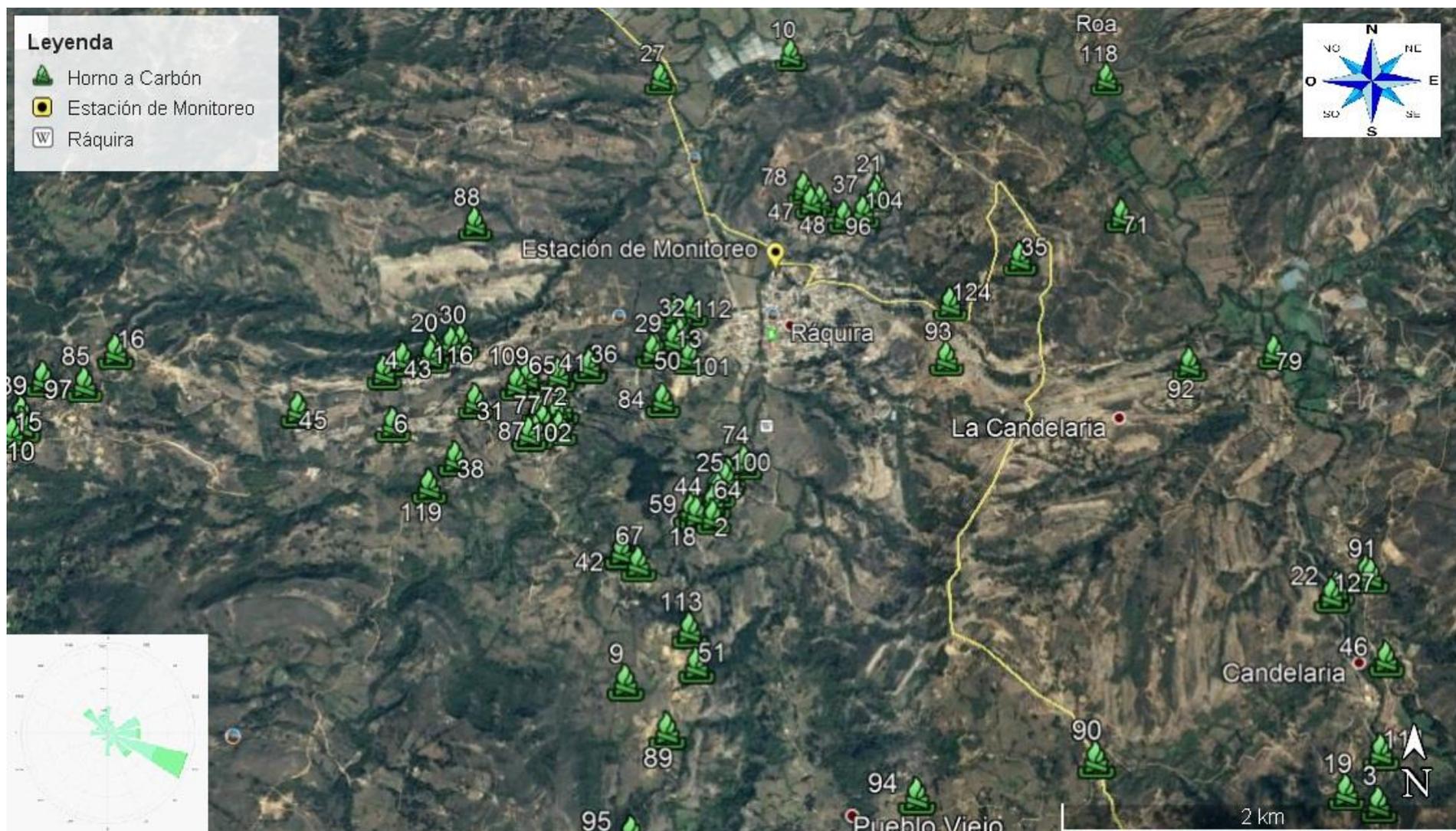
Gas natural	Urbana	25	9%
	Rural	0	0%
Total	Urbana	125	45%
	Rural	150	55%
Total Hornos en Ráquira		275	

*Fuente: Autores, 2018*

A continuación, se muestran los mapas donde se georreferenciaron los focos de emisión del contaminante PM<sub>10</sub> tanto en el casco urbano como en el área rural del municipio para el año 2016. Se puede apreciar un total de 125 hornos en la zona urbana, de los cuales 84 corresponden a hornos a carbón y 7 a leña (Figura 29). En la figura 30, se puede observar el mapa con las fuentes de emisión del contaminante PM<sub>10</sub> para el área rural del municipio de Ráquira, donde se georreferenciaron un total de 150 focos de emisión, de los cuales 136 son de hornos a carbón dentro del área rural del municipio, y los restantes 14 se dividen entre hornos a leña y hornos a gas propano. De lo anterior, cabe resaltar que es notable la diferencia que existe entre la cantidad de fuentes de emisión a base de carbón y el resto de fuentes de emisión tanto para el área urbana como para área rural del municipio, siendo esta última donde se encontró un mayor porcentaje de hornos a carbón (49%) con respecto al casco urbano del municipio (31%).



**Figura 29.** Mapa con los focos de emisión en el área Urbana del municipio de Ráquira para el año 2016.  
 Fuente: Google Earth, 2018 Elaborado por: Autores, 2018.



**Figura 30.** Mapa con los focos de emisión en el área Rural del municipio de Ráquira para el año 2016.

Fuente: Google Earth, 2018 Elaborado por: Autores, 2018.

De acuerdo a la meteorología de la zona de estudio, se puede observar que la dirección de los vientos se dirige hacia el este-sureste, desde el punto de ubicación de la estación de monitoreo y de esta manera se pudo determinar que el casco urbano de la población objeto de estudio (Ráquira) se encuentra situada hacia el sur de la estación mencionada (Figura 29). Por ello, se podría decir de manera indirecta que la población urbana se encuentra expuesta a las emisiones generadas por los hornos de cocción de artesanías del sector, información que debe ser verificada mediante un muestreo puntual en el área objeto de estudio. Además de ello, por la dirección de los vientos (dirigiéndose hacia el este-sureste), se puede observar que el área rural del municipio posiblemente este siendo afectada por las emisiones de dichas fuentes fijas siendo las veredas Resguardo Oriente y Resguardo Occidente las que mayores afectaciones presentarían, pues estas encuentran ubicadas más al nororiente del municipio, teniendo en cuenta que en el área rural del municipio existe también una alta concentración de hornos a carbón (Figura 30).

El análisis de la dirección del viento en el área de estudio durante el año 2016, nos indica claramente que los contaminantes se dirigen hacia el este-sureste (ESE), llegando directamente al centro del casco urbano del municipio de Ráquira que se encuentra en las coordenadas 5°32'20"N 73°37'48"O. Por otro lado, la temperatura osciló entre 11 °C y 22 °C y se aprecian valores de precipitación media de hasta 100 mm; teniendo en cuenta los datos anteriores y de acuerdo a las figuras mes a mes realizadas (Objetivo 2), en los meses de abril, mayo y octubre en donde se excedió de forma notable la normativa nacional, pudo deberse a la variabilidad de temperatura y la precipitación evidenciada para el año 2016. La dispersión de los contaminantes en la atmósfera depende de múltiples factores meteorológicos, entre los que se encuentran la dirección y velocidad del viento, la precipitación, temperatura, entre otros (IDEAM, 2013).

Según el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (2010), para las poblaciones con problemáticas ambientales especiales, con cualquier número de habitantes, bajo la influencia de fuentes de emisión de gran magnitud, se regirán por el diseño de Sistemas Especiales de Vigilancia de la Calidad del Aire (SEVCA); la ubicación de las estaciones de dichos sistema, como mínimo debe contar con una estación de fondo, estaciones ubicadas en las principales concentraciones de población de la región analizada y mínimo una estación vientos debajo de las fuentes de emisión. Teniendo en cuenta que el municipio de Ráquira es una de las áreas pobladas con peor calidad de aire en el país (IDEAM, 2017) y además de ello, tan solo cuenta con una estación de monitoreo para todo el municipio, ubicada al norte del casco urbano, se recomienda a las entidades ambientales competentes la adecuación de un SEVCA que se adecue mejor a las necesidades de este municipio.

#### XIV. CONCLUSIONES

- De los 366 días del año 2016, se registró un 38% de incumplimiento de la normativa nacional (MAVDT, 2010) para las inmisiones del contaminante PM<sub>10</sub> en el municipio de Ráquira, lo cual equivale a 138 días que superaron los límites permisibles de la misma. En cuanto a los límites sugeridos permisibles en la Guía de Calidad del Aire de la OMS, todos los días del año superaron con creces dichos límites. Según los niveles reportados en el estudio se determinó que las concentraciones de PM<sub>10</sub> se enmarcaron en las categorías Moderada y Dañina a la salud para grupos sensibles de acuerdo a lo establecido en el Índice de Calidad del Aire para el año estudiado; la categoría Moderada implica posibles síntomas respiratorios en personas inusualmente sensibles, posible agravamiento de enfermedades en el corazón o los pulmones en personas con enfermedades cardiopulmonares y en adultos mayores; para la categoría dañina a la salud para grupos sensibles se registraron 40 días del año donde pudo haber un aumento en las enfermedades respiratorias para niños y adultos mayores.
  
- Mediante la correlación de Pearson se logró determinar la existencia de correlación lineal tanto directa como inversa, baja y alta, entre el número de casos de enfermedades respiratorias reportadas y las concentraciones del contaminante PM<sub>10</sub> anual. Siendo así, la rinofaringitis la enfermedad respiratoria que presentó la correlación directa más alta, además de presentar el mayor número de casos reportados (189) para el año 2016.
  
- La estación de monitoreo de calidad del aire “el colegio” se encuentra bien ubicada con respecto al casco urbano del municipio, teniendo en cuenta la dirección de los vientos (Este-Sureste). Además de ello, de acuerdo al análisis de las características de la estación con respecto a lo propuesto en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del aire (MAVDT, 2010), se determinó que cumple los parámetros básicos para la ubicación de la misma.

## XV. RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta lo obtenido como resultados en este proyecto, se recomienda realizar un análisis de las emisiones generadas por hornos de cocción de artesanías que llegan al área rural más específicamente a las veredas Candelaria, Pueblo viejo y Candelaria occidental, con el fin de determinar si existe correlación entre los contaminantes  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$  y los números de casos de enfermedades respiratorias reportadas.
- Se sugiere a la CAR como entidad de vigilancia y control componente agilizar los procesos de reconversión tecnológica en el municipio para r las concentraciones de material particulado
- Se sugiere que, desde el sector privado y público, como también desde la academia, se desarrollen más investigaciones de este tipo orientadas a establecer la relación de contaminantes atmosféricos de fuentes fijas con calidad del aire con las problemáticas de salud pública a nivel local. Especialmente de material particulado ( $PM_{2,5}$ ) teniendo en cuenta que se empezó a medir en Ráquira hasta el año 2017
- De acuerdo a lo obtenido en el análisis de la ubicación de estación de monitoreo y lo propuesto en el Protocolo Para el Monitoreo de la calidad del Aire se indica un posible punto vientos arriba (Anexo 10) donde se debería ubicar e implementar la estación de fondo de monitoreo de calidad del aire.

## XVI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alcaldía Municipal. (2008-2011). *Esquema de Ordenamiento Territorial del Municipio de Ráquira*. Ráquira: Alcaldía de Ráquira.
- Alcaldía Municipal Ráquira. (2018). *Uso de Hornos*. Ráquira.
- Alcaldía Municipal de Ráquira. (2016). *Plan de desarrollo Municipal 2016-2019*. Ráquira.
- American Thoracic Society. (06 de Enero de 2010). *American Thoracic Society*. Recuperado el 31 de Agosto de 2018, de <https://www.thoracic.org/patients/patient-resources/resources/spanish/asthma.pdf>
- Anderson, J., Thundiyil, J., & Stolbach, A. (2012). Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health. *PubMed*.
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política de 1991*. Bogotá D.C.
- Carreras, H., Zanobetti, A., & Koutrakis, P. (2015). Effect of daily temperature range on respiratory health in Argentina and its modification by impaired socio-economic conditions and PM10 exposures. *Environmental Pollution*, 175-182.
- Carugno, M., Dentali, F., Mathieu, G., Fontanella, A., Mariani, J., Bordini, L., . . . Pessatori, A. C. (2018). PM10 exposure is associated with increased hospitalizations for respiratory syncytial virus bronchiolitis among infants in Lombardy, Italy. *Environmental Research*, 452-457.
- Chaparro, L. (Septiembre04 de 2011). *IDEAM*. Recuperado el 31 de Agosto de 2018, de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap13.pdf>
- Charres, I., & González, D. (2016). *Evaluación de la calidad de aire*. Obtenido de [http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9539/Tesis\\_Evaluaci%C3%B2n%20de%20a%20calidad%20del%20aire%20en%20el%20Municipio%20de%20Suesca%20-%20Cundinamarca.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9539/Tesis_Evaluaci%C3%B2n%20de%20a%20calidad%20del%20aire%20en%20el%20Municipio%20de%20Suesca%20-%20Cundinamarca.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- DANE. (2005). *Censo General 2005*. Gobierno de Colombia.
- de Nevers, N. (1998). *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. México D.F.: McGrawHill.
- DNP. (2018). *Conpes 3943 de 2018*. Bogotá D.C.: Republica de Colombia.
- Dirección de Salud Pública. (2013). *Mapa de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano del Centro Urbano del Municipio de Ráquira-Boyacá*. Ráquira: Gobernación de Boyacá.
- Emiliana, N. (16 de Junio de 2010). *Universidad Finis Terrae, Facultad de Medicina*. . Recuperado el 31 de Agosto de 2018, de <http://medfinis.cl/img/manuales/bronquitis.pdf>
- FOLLOS, F. (2012). *Open Air*. Recuperado el 03 de Septiembre de 2018, de Open Air: <http://www.openair-project.org/PDF/ROpenairaplicado%20acalidaddelaire.pdf>.
- García, I., Radua, J., Sánchez, D., Hernández, A., Raya, P., Stojanovic, Z., . . . Ruiz, J. (2018). Asociación entre factores ambientales e ingresos por bronquiectasias en Badalona, Barcelona (2007-2015). *Elsevier*, 257-261.
- García, J., & Cebrián, F. (2008). La interpolación como método de representación cartográfica para la distribución de la población: Aplicación a la provincia de Albacete. En *EL ACCESO A LA INFORMACIÓN ESPACIAL Y LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS GEOGRÁFICAS* (págs. 165-178). Albacete.
- Gavidia, T., & Pronczuk, J. (2009). Impactos ambientales sobre la salud respiratoria de los niños. Carga global de las enfermedades respiratorias pediátricas ligada al ambiente. Santiago: Revista chilena de enfermedades respiratorias, nº 25.
- Gaviria, C. F., Benavides, P. C., & Tangarife, C. A. (2011). *Scielo*. Recuperado el 01 de Octubre de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v29n3/v29n3a04.pdf>
- Gutiérrez, H. (1997). *La Contaminación del Aire, riesgos para la Salud., México: El Manual Moderno*. México D.F.

- Hernandez, L. (09 de Junio de 2000). *SCIELO*. Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua: [https://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S0036-36342000000400003&script=sci\\_arttext](https://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S0036-36342000000400003&script=sci_arttext)
- Hernández, L., Téllez, M., Sanín, L., Lacasaña, M., Campos, A., & Romieu, i. (2000). *Relación entre consultas a urgencias por enfermedad respiratoria y contaminación atmosférica en Ciudad Juárez, Chihuahua*. Ciudad Juárez: Scielo.
- IDEAM. (3 de Abril de 2013). *IDEAM.gov*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/documents/24189/359110/INFORME+DE+GESTI%C3%93N+2012+FINAL.pdf/c889e52a-6532-4895-bec0-e52948d822b0?version=1.1>
- IDEAM. (2016). *IDEAM*. Recuperado el 23 de Agosto de 2108, de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023637/Informe\\_del\\_Estado\\_de\\_la\\_Calidad\\_del\\_Aire\\_en\\_Colombia\\_2011-2015\\_vfinal.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023637/Informe_del_Estado_de_la_Calidad_del_Aire_en_Colombia_2011-2015_vfinal.pdf)
- IDEAM. (2017). *INFORME DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE 2016*. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2017). *INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA 2016*. Bogotá.
- Jang, J.-C. (2006). *Development and Applications of U.S. EPA's Regulatory Air Quality Modeling Systems*. North Carolina: Office of Air Quality Planning and Standards.
- Jimenez, L. (2011). *Biblioteca Digital de la Univesidad Del Valle*. Recuperado el 14 de octubre de 2018, de <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1/1/CB-0466810.pdf>
- Kjellström, T., & de Kok, T. (s.f.). El Aire. En *Salud Ambiental Básica, México* (págs. 239-278). México D.F.: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Lemanske, Robert. (2014). *Pediatric Allergy and Immunology*. Wisconsin: University of Wisconsin.
- MADS. (2011). *Resolución 6982 de 2011*. Bogotá D.C.: Secretaria Distrital de Ambiente.
- MADS. (2017). *Resolución 2254 del 2017*. Bogotá D.C.
- Mardones, C., Saavedra, A., & Jiménez, J. (2015). Cuantificación económica de los beneficios en salud asociados a la reducción de la contaminación por MP10 en Concepción Metropolitano, Chile. *Revista Médica de Chile*, 143(4).
- Martínez, E., & de Mera, Y. (2004). *Contaminación Atmosférica*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- MAVDT. (1974). *DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974*. Bogotá D.C.
- MAVDT. (1993). *Ley General Ambiental de Colombia LEY 99 DE 1993*. Bogotá D.C.
- MAVDT. (2006). *Resolución 601 de 2006*. Bogotá D.C.
- MAVDT. (2008). *Resolución 909 de 2008*. Bogotá D.C.
- MAVDT. (2010). *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas*. Bogotá D.C.
- MAVDT. (2010). *Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas*. Bogotá D.C.
- MAVDT. (2010). *PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE*. Bogotá, D.C.
- MAVDT. (2010). *Resolución 610 de 2010*. Bogotá D.C.
- Melo, A. (30 de Septiembre de 2018). Comunicación personal. (P. Rico, & C. Torres, Entrevistadores)
- Melo, L. (2012). *Repositorio Universidad Autónoma de Manizales*. Recuperado el 31 de Agosto de 2018, de [file:///D:/Datos%20User/Usuario/Downloads/TESIS%20MAESTRIA-CLAUDIA%20LORENA%20ORTIZ%20MELO%20\(1\).pdf](file:///D:/Datos%20User/Usuario/Downloads/TESIS%20MAESTRIA-CLAUDIA%20LORENA%20ORTIZ%20MELO%20(1).pdf)
- Met One Instruments, Inc. (2015). *Met One Instruments, Inc*. Recuperado el 08 de Octubre de 2018, de <https://metone.com/air-quality-particulate-measurement/regulatory/bam-1020/>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política de prevención y control de la contaminación del aire*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2014). *Diagnóstico del proceso productivo Municipio de Ráquira - Oficio Cerámica*. Bogotá D.C.

- Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). *Plan Decenal de Salud Pública*. Bogotá D.C.: Ministerio de Salud y Protección Social.
- Morales, P. (2005). *Manual para la medición y evaluación de emisiones atmosféricas en fuentes fijas, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Bogotá D.C.: Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Morantes, J. (2017). *Efecto de la Polución ambiental en la exacerbación aguda de la EPOC en población adulta en Bogotá 2015-2017*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia .
- Mújica-Álvarez, V., & Figueroa-Lara, J. (1996). Contaminación ambiental causas y control. *UAM-Azcapotzalco*.
- Muñoz, Moreno, Molina, Aguasca, & Añez. (2008). *Proyecto Fortalecimiento productivo y comercial de las comunidades artesanas del departamento de Boyacá*. Ráquira: Artesanías Colombia.
- Navarro, R. (1981). Química Ambiental: Contaminación del aire y del agua. En R. Navarro, *Química Ambiental: Contaminación del aire y del agua* (págs. 67-136). Barcelona: Blume.
- OMS. (2005). *Guía de calidad del aire de la OMS relativas a material particulado* .
- OMS. (2 de Mayo de 2011). *Organización Mundial de la salud*. Recuperado el 31 de Agosto de 2018, de <http://www.who.int/features/qa/48/es/>
- OMS. (2 de Mayo de 2018). *Organización Mundial de la Salud* . Recuperado el 9 de Agosto de 2018, de [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Onatra, w., Vargas, S., Páez, E., Rojas, D., & López, A. (2009). Correlación entre ERA y mujeres embarazadas y la calidad del aire. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 27-37.
- Orduz, C., Toro, M., & Gómez, J. (2013). *EPOC, bronquitis crónica y síntomas respiratorios, asociados a la contaminación por PM10 en la ciudad de Medellín (Colombia)*. Medellín: Universidad Militar Nueva Granada.
- Organización Mundial de la Salud. (02 de Mayo de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 01 de Octubre de 2018, de [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- PAHO. (2009). *Publications PAHO*. Recuperado el 22 de agosto de 20, de [https://publications.paho.org/spanish/+629+Cap\\_2.pdf](https://publications.paho.org/spanish/+629+Cap_2.pdf)
- Perez, f. (2010). *Scielo*. Recuperado el 03 de Septiembre de 2018, de Scielo: <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>
- Piñeiro, M. C. (2010). Recuperado el 31 de Agosto de 2018, de <http://www.redladrilleras.net/assets/files/a8832ab5c8e44f4b8bb1d3250fdf2d45.pdf>
- REPUBLICA DE COLOMBIA. (1974). *DECRETO 2811 DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1974*. Bogotá D.C.
- Republica de Colombia. (1991). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA 1991*. Bogotá D.C.: Presidencia.
- Republica de Colombia. (1993). *Ley General Ambiental de Colombia LEY 99 DE 1993* . Bogotá D.C.
- Reupo, G. (2018). *Influencia del PM10 en la incidencia de enfermedades respiratorias en la población infantil menor a 5 años del distrito de Ate, Lima 2014- 2015*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Reupo, G. (2018). *Repositorio Digital Institucional Cesar Vallejo*. Recuperado el 28 de Agosto de 2018, de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/15029/Reupo\\_FGM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/15029/Reupo_FGM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Rivera, L. M. (2015). *Biblioteca Universidad Nacional de Colombia*. Recuperado el 2018 de 09 de 18, de <http://bdigital.unal.edu.co/53148/1/52086917.2015.pdf>
- salazar, A., & Alvarez, L. (2011). *ResearchGate*. Recuperado el 13 de Octubre de 2018, de [https://www.researchgate.net/publication/215764774\\_Los\\_efectos\\_del\\_material\\_particulado\\_PM10\\_y\\_de\\_las\\_variables\\_climatologicas\\_en\\_las\\_admisiones\\_hospitalarias\\_por\\_enfermedades\\_respiratorias\\_en\\_ninos\\_en\\_la\\_ciudad\\_de\\_Santa\\_Marta\\_Colombia\\_2008-2009](https://www.researchgate.net/publication/215764774_Los_efectos_del_material_particulado_PM10_y_de_las_variables_climatologicas_en_las_admisiones_hospitalarias_por_enfermedades_respiratorias_en_ninos_en_la_ciudad_de_Santa_Marta_Colombia_2008-2009)
- Siart. (04 de Septiembre de 2015). *Artesanías de Colombia*. Recuperado el 14 de Octubre de 2018, de [http://artesaniadescolombia.com.co/PortalAC/Noticia/colombia-artesanal-raquira-manos-que-le-dan-vida-al-barro\\_6133](http://artesaniadescolombia.com.co/PortalAC/Noticia/colombia-artesanal-raquira-manos-que-le-dan-vida-al-barro_6133)
- Sienfeld, J., & Pandis, S. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. *John Wiley & Sons*, 2nd Edition.

SISAIRE. (agosto de 2009). *SUBSISTMA DE INFORMACIÓN SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE*.

Recuperado el 01 de agosto de 2018, de

<http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/redesEstaciones/redesEstaciones.jsp>

SISAIRE. (2018). *SISAIRE*. Recuperado el 01 de Octubre de 2018, de

<http://sisaire.gov.co/faces/redesEstaciones/redesEstaciones.jsp>

Solarte, P., Caicedo, M., & Restrepo, S. (Junio de 2002). Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. *Revista Medica Sanitas* , V(2), 20-38.

Recuperado el 2018, de SCIELO.

The Lancet Commission. (2017). *The Lancet Commission on Pullution and Health*. The Lancet.

Vaduganathan, M., De Palma, G., Manerba, A., Goldoni, M., Triggiani, M., Apostoli, P., . . . Nodari, S.

(2016). Risk of Cardiovascular Hospitalizations from Exposure to Coarse Particulate Matter (PM10) Below the European Union Safety Threshold. *The American Journal of Cardiology*, 1231-1235.

Vallero, D. (2014). *Fundamentals of air pollution*. Academic press.