

**DISEÑO BASICO DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA EN LA CALIDAD DEL  
AIRE PURO PARA EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO-DEPARTAMENTO DE  
BOYACA**

**LUZ SAYDA ZAMBRANO BARRERA  
JOSÉ LUIS GÓMEZ VERGEL**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2010**

**DISEÑO BASICO DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA EN LA CALIDAD DEL  
AIRE PURO PARA EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO-DEPARTAMENTO DE  
BOYACA**

**LUZ SAYDA ZAMBRANO BARRERA  
JOSÉ LUIS GÓMEZ VERGEL**

Monografía para optar al título de  
ESPECIALISTA EN QUIMICA AMBIENTAL

Director

**AMÍLCAR RIZZO ALVARADO**

Ingeniero Químico Esp. Ing. Ambiental - Epidemiológico

Codirector

**MARIANNY YAJAIRA COMBARIZA**

Química Ph.D.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE QUÍMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2010**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GENERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3. MARCO TEORICO	19
3.1 GENERALIDADES	19
3.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA	20
3.3 INDICE DE CALIDAD DE AIRE.	21
3.4 MARCO NORMATIVO	23
4. METODOLOGÍA	24
5. ANALISIS Y RESULTADOS	27
5.1. MICROMETEOROLOGÍA	27
5.1.1. Precipitación.	27
5.1.2. Vientos.	28
5.1.3. Temperatura Superficial	28
5.2 FUENTES DE EMISIÓN (INVENTARIO DE EMISIONES).	29
5.3 MONITOREOS DE LA CALIDAD DE AIRE	31
5.4 INDICE DE CALIDAD DEL AIRE	35
5.5 MODELACIÓN	37
5.6 DISEÑO BASICO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO	39
5.6.1. Localización de las estaciones de monitoreo.	40
5.6.2. Contaminantes a monitorear	40
5.7 SALUD PÚBLICA	42
5.7.1 Tasas de morbilidad	42
5.7.2 Tasas de mortalidad	44

6. CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFIA	51

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. División Político Administrativa	20
Cuadro 2. Categorías del Índice de Calidad de Aire	22
Cuadro 3. Normatividad Nacional para el desarrollo investigativo	23
Cuadro 4. Contaminantes identificados en el Municipio de Sogamoso	30
Cuadro 5. Estándares internacionales de valores permisibles para PM10	32
Cuadro 6. Características de ubicación de estaciones	40
Cuadro 8. Estaciones de Monitoreo	41
Cuadro 10. Mortalidad Infantil evitable a nivel municipal	45
Cuadro 11. Causas de Mortalidad Sentida, año 2007	46
Cuadro 12. Distribución de Recursos por eje Programático, 2008-2011.	47

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Topografía Valle de Sogamoso.	19
Figura 2. Diagrama de Metodología para el desarrollo del proyecto	25
Figura 3. Metodología AERMOD.	26
Figura 4. Precipitación Total Mensual 2008 - 2009.	27
Figura 5. Rosa de vientos	28
Figura 6. Temperatura Promedio Mensual 2008 - 2009	29
Figura 7. Aporte de Sector Industrial en la Contaminación Atmosférica.	31
Figura 8. Concentraciones Máxima Mensual Promedio Diaria de Material Particulado Municipio de Sogamoso 2007 -2009.	33
Figura 9. Concentraciones Máxima Promedio Anual de Material Particulado Municipio de Sogamoso 2004 -2009.	34
Figura 10. Índice de Calidad de Aire para el año 2007	35
Figura 11. Índice de Calidad de Aire para el año 2008	36
Figura 12. Índice de Calidad de Aire para el año 2009	36
Figura 13. Isopletras Diarias de Concentración de Material Particulado PM 10	38
Figura 14. Isopletras Anuales de Concentración de PM - 10	39
Figura 15. Datos de Morbilidad Municipio de Sogamoso, años 2003 al 2005	43

## GLOSARIO

**AIRE\***: Es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición es, cuando menos, de veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

**ÁREA – FUENTE\***: Es una determinada zona o región, urbana, suburbana o rural, que por albergar múltiples fuentes fijas de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire.

**CONCENTRACIÓN DE UNA SUSTANCIA EN EL AIRE\***: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen del aire en la cual está contenida.

**CONTAMINANTES\***: Son fenómenos físicos, o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos, o en combinación, o como productos de reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas.

**CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA\***: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

**EMISIÓN\***: Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de éstos, proveniente de una fuente fija o móvil.

**EPISODIO O EVENTO\***: Es la ocurrencia o acaecimiento de un estado tal de concentración de contaminantes en el aire que, dados sus valores y tiempo de duración o exposición, impone la declaratoria por la autoridad ambiental competente, de alguno de los niveles de contaminación, distinto del normal.

**FUENTE DE EMISIÓN\***: Es toda actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

**GPS**: Global Positioning System (Sistema de Geoposicionamiento Satelital)

---

\* Ministerio del Medio Ambiente. Artículo 2, Decreto 948 de 1995

**MODELOS DE CALIDAD DEL AIRE:** Los modelos de calidad del aire son una herramienta valiosa en la gestión ambiental ya que permiten relacionar las concentraciones ambientales de los diferentes contaminantes directamente con sus fuentes de emisión (en el caso de los contaminantes primarios como el monóxido de carbono), o con la emisión de sus precursores (en el caso de los contaminantes secundarios como el ozono), así como con las condiciones topográficas, de uso de suelo y la meteorología. Esto es, los modelos de calidad del aire son una herramienta científica valiosa que permite predecir los cambios en las concentraciones ambientales de distintas especies químicas a lo largo de un día o periodos mayores como resultado de cambios en las condiciones iniciales y en consecuencia ofrecen la posibilidad de evaluar la efectividad de diferentes medidas de control de emisiones antes de su aplicación.

**NORMA DE CALIDAD DEL AIRE O NIVEL DE INMISIÓN\*:** es el nivel de concentración legalmente permisible de sustancias o fenómenos contaminantes presentes en el aire, establecido por el Ministerio del Medio Ambiente, con el fin de preservar la buena calidad del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana.

**RED DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE:** Conjunto de estaciones de monitoreo que miden tanto las concentraciones de los contaminantes en el aire como la meteorología con un objetivo específico en una región durante un periodo determinado.

**RIESGO AMBIENTAL:** Es la probabilidad de que ocurra un efecto adverso a nivel individual o poblacional, por la exposición a concentraciones elevadas o por dosis específicas de un agente ambiental peligroso.

**TRANSPORTE DE CONTAMINANTES:** La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana. La turbulencia puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera. Las variaciones globales y regionales del clima y las condiciones topográficas locales afectan el transporte y dispersión de los contaminantes.

**MORBILIDAD:** Se define como el conjunto de enfermedades, así como de sus secuelas, incapacidades y otros problemas de salud detectados en una población para un periodo de tiempo determinado.

**MORBILIDAD SENTIDA:** Cuando la morbilidad corresponde a la definición dada por el individuo a partir de la percepción de síntomas o de molestias; esta noción corresponde a la necesidad sentida descrita con anterioridad.

**MORTALIDAD:** Registra la relación que existe entre el número de muertes o defunciones en un periodo de tiempo y la población total en ese mismo periodo.

**MORTALIDAD INFANTIL\*\*:** Muestra la relación que existe entre el número de defunciones en menores de un año y el total de nacidos vivos durante un periodo determinado de tiempo.

**MORTALIDAD MATERNA\*\*:** Muerte de una mujer mientras está embarazada o dentro de los 42 días siguientes a la terminación del embarazo, independientemente de la duración y el sitio del embarazo, debida a cualquier causa relacionada con o agravada por el embarazo mismo o su atención, pero no por causas accidentales incidentales.

**MORTALIDAD PERINATAL\*\*:** son las que ocurren durante este período (muertes fetales acaecidas a partir de 22 semanas de gestación y los nacidos vivos que fallezcan durante los primeros siete (7) días de vida.

**MORTALIDAD SENTIDA:** Cuando la mortalidad corresponde a la definición dada por los individuos a partir de la percepción de síntomas o de molestias que llevaron finalmente al deceso de la víctima.

**PM-10:** Partículas de tamaño menor a 10 micrómetros de diámetro.

**PM-2.5:** Partículas menores a 2.5 micrómetros.

**PST:** Partículas totales suspendidas

---

\*\* Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas, DANE.

## RESUMEN

TITULO\* DISEÑO BASICO DE UN SISTEMA DE VIGILANCIA EN LA CALIDAD DE AIRE LIMPIO PARA EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO-DEPARTAMENTO DE BOYACA

AUTOR: Gómez, José y Zambrano, Sayda\*\*

PALABRAS CLAVES: contaminación atmosférica, calidad del aire, dispersión de contaminantes, protección medio ambiente, salud pública, fuentes de emisión, normatividad ambiental

### CONTENIDO

La contaminación atmosférica generada por el sector industrial es un tema de gran interés debido a sus impactos tanto al medio ambiente como a la salud humana. El Municipio de Sogamoso es una de las zonas del país donde se concentra uno de los porcentajes más significativos de la contaminación ambiental por lo que es importante el desarrollo y la implementación de nuevas herramientas para mejorar la gestión de la autoridad ambiental

El objetivo del presente trabajo es Desarrollar el diseño básico de un sistema de vigilancia en la calidad del aire (SVCA) para el Municipio de Sogamoso, considerando los protocolos establecidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en busca de identificar, inspeccionar y controlar las actividades generadoras de emisiones contaminantes, además de evaluar el nivel de cumplimiento de la normatividad ambiental.

En el desarrollo del proyecto se siguieron diferentes etapas que inician con la compilación de fuentes y estudios realizados en el área, donde se analizo la topografía del lugar, estudios epidemiológicos y el marco jurídico ambiental vigente. Seguido se analizo la dispersión de la contaminación en el área de estudio donde se requirió una campaña de monitoreo para identificar los contaminantes criterio, análisis de datos meteorológicos, inventario de fuentes de emisiones y modelos de transporte de contaminantes. Finalmente se plantea un diseño básico de un SVCA que permitió identificar los sitios de mayor concentración, la influencia de los procesos productivos e industriales que ocasionan la mayor generación emisión de contaminación y verificar el cumplimiento de los estándares de inmisión establecidos por la ley para material particulado PM - 10, como agente contaminante. Se recomienda a las autoridades competentes del municipio adelantar proyectos en busca de la declaración de área fuente de contaminación el sector del Valle de Sogamoso.

---

\* Trabajo de Monografía

\*\* Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Director Esp. Amilcar Rizzo, Co-director Ph.D. Marianny Combariza

## ABSTRACT

TITLE: BASIC DESIGN OF A SYSTEM OF MONITORING THE QUALITY OF AIR CLEAN FOR THE MUNICIPALITY OF SOGAMOSO-DEPARTMENT OF BOYACA

AUTHOR: Gómez, José y Zambrano, Sayda\*\*

KEYWORDS: air pollution, air quality, dispersal of contaminants, environmental protection, public health, sources of emissions, environmental regulations

## ABSTRACT

Air pollution generated by the industry is a topic of great interest due to its impact on the environment and human health. The municipality of Sogamoso is one of the areas of the country which concentrates one of the most significant percentages of environmental pollution for this reason it is important to develop and the deployment new tools to improve the management of the environmental authority.

The objective of the present work is to Develop the basic design of an air quality forecast system (SVCA) for the municipality of Sogamoso, considering the protocols established by the Ministry of environment, housing and territorial development, looking forward to identify, inspect and control the generating activities of pollution emissions, in addition to evaluate the level of compliance with environmental regulations.

The development of the project followed different stages starting with a compilation of sources and accomplished studies in the area, where the topography of the place was analyzed, epidemiological studies and the current environmental legal framework. The following stage analyzed the dispersion of pollutants in the area of study where a campaign of monitoring for identification of pollutants, analysis of meteorological data, inventory of emissions and models for transport of pollutants were required. Finally a basic design of a SVCA was established, which allowed to identify the places with higher concentration of pollutants, and the influence of production and industrial processes on the increase of pollution emission and verify compliance with established standards of sound by law for particulate matter, PM-10 as agent pollutant. It is recommended to the competent authorities of the municipality to advance projects in search of the declaration of source of contamination area in the Valley of Sogamoso place.

---

\* Monograph work

\*\* Faculty of Sciences, School of Chemistry, Director Esp. Amilcar Rizzo y Co-director Ph.d. Marianny Combariza

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire es considerada a nivel mundial como el problema ambiental más grave con efectos directos sobre el deterioro de la calidad de vida de la población. Estos efectos se reflejan a parte de los daños económicos, en el incremento de la frecuencia y severidad de las enfermedades respiratorias y cardiacas.

A nivel nacional, en varias ciudades de nuestro país se observa una fructífera actividad de investigación y monitoreo de la calidad del aire. También se destacan los esfuerzos del gobierno para impulsar cambios en la calidad de los combustibles y mejorar la movilidad de las principales ciudades a través de sistemas de transporte masivo que contribuyen a la reducción de emisiones de agentes contaminantes del aire.

Aunque los esfuerzos son significativos en control, seguimiento y reducción de la contaminación atmosférica en centros urbanos, el problema sigue latente y de no tomarse a tiempo las medidas necesarias por entes gubernamentales, centrales y locales, es muy probable que esta situación empeore significativamente en el futuro.

Teniendo en cuenta que el municipio de Sogamoso, es uno de los corredores industriales mas importantes en el departamento de Boyacá, es importante el desarrollo de un Diseño Básico de Sistema de Vigilancia en la Calidad del Aire en busca de identificar, monitorear y controlar las actividades generadoras de emisiones atmosféricas, además de evaluar el nivel de cumplimiento de la normatividad vigente.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación atmosférica generada por el sector industrial es un tema de gran interés debido a sus importantes impactos tanto al medio ambiente como a la salud humana. Este problema se incrementa día a día a causa de la falta de control por las autoridades ambientales, falta de conocimiento, utilización de materias primas inadecuadas o la operación de industrias con tecnología obsoleta.

El Municipio de Sogamoso está incluido entre las zonas del país donde se concentra uno de los porcentajes más significativos de la contaminación ambiental, junto a Bucaramanga, Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena y Pereira, según datos del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial reportados en el estudio caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas, contrato 2062394, desarrollado con la Universidad de la Salle en el año 2007.

Sogamoso es la segunda ciudad del departamento de Boyacá, también llamada la Ciudad del Sol y del Acero. Con una población de 117.094 habitantes (Censo de población y vivienda 2005), es la segunda ciudad más poblada del departamento, después de Tunja y por encima de Duitama.

La actividad industrial en Sogamoso es un factor importante tanto para el crecimiento económico como para el aumento de la contaminación atmosférica. En la actualidad se registran seiscientos veinticinco (625) chircales activos, más de setenta (70) minas de carbón de nivel artesanal, sesenta y ocho (68) explotaciones de arena y once (11) de roca fosfórica. Otras industrias como la del acero y el cemento también contribuyen a la contaminación ambiental pues no sólo generan lluvia ácida, material particulado en suspensión y gases de efecto invernadero sino también producen desertización que en forma directa afecta el recurso suelo del Municipio.

Debido a la gran problemática de calidad del aire que se vive hoy en día en el Municipio de Sogamoso, es importante la implementación y el desarrollo de nuevas herramientas para mejorar la gestión de la autoridad ambiental. Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente una herramienta útil es el Desarrollo de un Diseño Básico de Sistema de Vigilancia en la Calidad del Aire para el Municipio de Sogamoso, cuya finalidad es identificar, monitorear y controlar las actividades con alto potencial de impacto negativo hacia el medio ambiente.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar el diseño básico de un sistema de vigilancia en la calidad del aire para el Municipio de Sogamoso, considerando los protocolos, especificaciones y criterios técnicos exigidos por la autoridad ambiental nacional y los estándares internacionales.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificación de las actividades con alto potencial de impacto hacia el medio ambiente.
- Verificar el cumplimiento de la normatividad para calidad del aire que aplica en el sector (Resolución 610 de 2010) mediante el modelo de dispersión Aermod.
- Determinar las áreas críticas de calidad del aire en el municipio de Sogamoso, como herramienta para la gestión de la autoridad ambiental y para la planificación de las alcaldías municipales.
- Brindar las bases a la Autoridad Ambiental, Autoridades Territoriales, Comunidad Académica y Población para generar programas de reducción de la emisión de contaminantes al aire y por ende disminuir el riesgo sobre la salud humana.

### 3. MARCO TEORICO

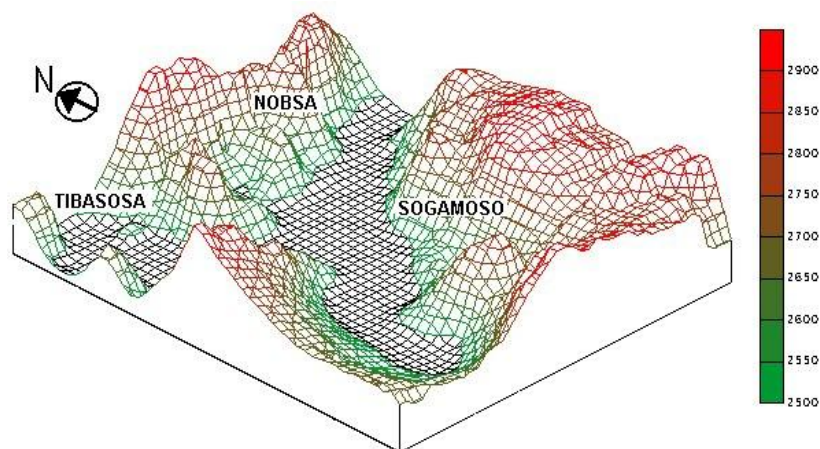
En este capítulo se presentan una descripción de la zona objeto de estudio, los conceptos técnicos asociados a la contaminación atmosférica y la normatividad ambiental que aplica de acuerdo con las políticas establecidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

#### 3.1 GENERALIDADES

El municipio de Sogamoso se encuentra en la parte oriental del valle ubicado en la región del Alto Chicamocha, en las estribaciones del ramal oriental de la Cordillera de los Andes. Está localizado en la parte central del Departamento de Boyacá, a una altura que oscila entre los 2500 m.s.n.m. y los 4000 m.s.n.m., entre las coordenadas N= 1.109.000 – 1.130.000 m y E= 1.122.000 – 1.145.000 m. El municipio tiene un área de 214 km<sup>2</sup>, limitando al norte con los municipios de Nobsa y Tópaga; al oriente con los de Tópaga, Monguí y Aquitania; al sur con Aquitania, Cuitiva e Iza y al occidente con Tibasosa, Firavitoba e Iza. La población del municipio es de 117.094 habitantes.

La zona donde se localiza el municipio presenta un paisaje que tiene su origen en dos grandes eventos: la acumulación de sedimentos provenientes del río Chicamocha que formó la actual planicie y el levantamiento de la cordillera que trajo como resultado una serie de plegamientos y fallamientos.

**Figura 1. Topografía Valle de Sogamoso.**



**Fuente:** Alcaldía Sogamoso – 2004.

En el siguiente cuadro se detalla la división política administrativa del Municipio de Sogamoso:

**Cuadro 1. División Político Administrativa**

Municipio	Cabecera municipal y centros poblados		Cantidad de manzanas
	Nombre	Categoría	
Sogamoso	Sogamoso	CM	1.156
	Morcá	CP	15
	Mortiñal	CAS	( * )
	Vanegas	CAS	( * )
	Siatame	CAS	( * )
	El Crucero	CAS	( * )
	Alcaparral	CAS	9
	Milagro y Playita	CAS	4

**Fuente:** DANE

CM = Cabecera Municipal; CP= Centro Poblado; CAS= Caserío

( \* ) No se cuenta con cartografía del lugar

### 3.2 CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA

El aire que respiramos está formado por muchos componentes químicos. Los componentes primarios son el nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O). En el aire también se encuentran pequeñas cantidades de sustancias como el dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrógeno y metano.

Las actividades humanas tienen un efecto perjudicial sobre la calidad del aire. La quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales han cambiado su composición debido a la introducción de contaminantes como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas sólidas y líquidas conocidas como material particulado.

La organización mundial de la salud ha clasificado el material particulado de acuerdo a su tamaño en PST (Partículas Totales Suspendidas), PM 10 (Partículas menores a 10 micrómetros) y PM 2.5 (Partículas menores a 2.5 micrómetros); siendo las partículas menores a 2.5 micrómetros las más perjudiciales para la población ya que estas pueden ingresar al sistema respiratorio.

Aunque todos estos contaminantes pueden ser generados por fuentes naturales, las actividades humanas han aumentado significativamente su presencia en el aire que respiramos. La contaminación del aire tiene un efecto directo sobre la salud humana. En casos extremos se pueden causar muertes como resultado de la combinación de factores geográficos, climáticos y de contaminación.

### 3.3 INDICE DE CALIDAD DE AIRE.

La interpretación del índice de calidad del aire se da a través de los intervalos, descripción y clasificación epidemiológica adoptada de la U.S.EPA (United States *Environmental Protection Agency*).

De acuerdo a la definición de la EPA este índice reporta diariamente la calidad de aire e indica qué tan limpio o contaminado está el aire, y los efectos sobre la salud asociados. El índice de calidad de aire se enfoca en los efectos sobre la salud que puede experimentar en unas pocas horas o días después de respirar el aire contaminado. La EPA calcula este índice de teniendo en cuenta los cinco principales contaminantes atmosféricos regulados por la Ley de Aire Limpio: ozono a nivel de superficie, material particulado, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno. Para cada uno de estos contaminantes, se ha establecido normas nacionales de calidad del aire para proteger la capa de ozono y la salud pública<sup>[1]</sup>.

En la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, el índice de calidad del aire es un indicador que oscila entre 0 a 10. A mayor valor del índice de calidad del aire, mayor nivel de contaminación atmosférica y mayores los efectos nocivos. La calidad del aire se determina con base en los índices de calidad que incluyen cuatro agentes contaminantes: ozono a nivel de superficie, contaminación de partículas (también conocido como material particulado), monóxido de carbono y dióxido de azufre.

El índice de calidad de aire se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$ICA = (10 \cdot Ci) / Li$$

Siendo Ci concentración del contaminante de interés y Li el valor límite de ese Contaminante dado por la norma de calidad de aire, Resolución 610 de 2010.

---

<sup>[1]</sup> U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS). Air Quality Index (AQI). Página Web versión HTML, Cincinnati, Ohio. 2010. [citado 14 de julio del 2010]. Disponible en Internet: <<http://www.airnow.gov/>>

El índice de calidad del aire se divide en las seis categorías que se observan en el cuadro siguiente:

**Cuadro 2. Categorías del Índice de Calidad de Aire**

Valores del índice de calidad del aire	Niveles de salubridad	Colores
0 a 1.25	Buena	Verde
1.26 a 2.5	Moderado	Amarillo
2.51 a 5.0	* Perjudicial para grupos sensibles	Naranja
5.1 a 7.5	Perjudicial	Rojo
7.51 a 10	Muy Perjudicial	Púrpura
> 10	Peligroso	Marrón

**Fuente:** CORPOBOYACÀ, Red de Monitoreo de Calidad del Aire.

\* Grupo Sensible: Entiéndase por grupo sensible el sector de la población menor a 5 años y mayor de 65 años.

- De 0 – 1.25 la Calidad del aire es buena y es considerada satisfactoria, y la contaminación atmosférica plantea poco o ningún riesgo.
- Moderada de 1.26 – 2.5 la Calidad del aire es aceptable; sin embargo, para un muy pequeño número de personas que es excepcionalmente sensible a la contaminación atmosférica puede haber una preocupación para la salud de las mismas.
- Perjudicial para Grupos Sensibles 2.51 – 5.0 Miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud. Un gran número de personas es afectado.
- Perjudicial entre 5.1 – 7.5 Cada persona puede comenzar a experimentar efectos de salud; los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud más serios.
- Muy Perjudicial entre 7.6 - 10 niveles de alarma de Salud: cada persona puede experimentar efectos de salud más serios.
- Arriesgado > 10 advertencias de Salud de condiciones de emergencia. La población entera con mayor probabilidad es afectada.

### 3.4 MARCO NORMATIVO

En Colombia, se señalan deberes y derechos ambientales a partir del Decreto 2811 de 1974 ó Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, sobre este cimiento, el Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental han ido desarrollando una serie de normas reglamentarias dirigidas a la preservación y el uso sostenible del medio ambiente. Dentro de la normatividad emitida en materia de calidad del aire, se tiene:

**Cuadro 3. Normatividad Nacional para el desarrollo investigativo**

<b>Norma</b>	<b>Aspectos que regula</b>
Ley 99 del 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA y se dictan otras disposiciones
Decreto 948 de 1995	Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.
Resolución 909 de 2008	Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.
Resolución 619 de 1997	Por la cual se establecen parcialmente los factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas.
Resolución 610 de 2010	Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006, que establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
Resolución 910 de 2008	Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el Artículo 91 del Decreto 948 de 1995.
Resolución 650 de 2010	Por la cual se adopta el protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

## 4. METODOLOGÍA

Para desarrollar el proyecto se siguieron diferentes etapas que inician con la compilación de fuentes bibliográficas y de estudios realizados, seguido de la interpretación del modelo de dispersión de contaminantes para finalmente plantear el diseño básico de un sistema de vigilancia en la calidad del aire para el Municipio de Sogamoso.

Con el fin de establecer la procedencia de los contaminantes y su grado de dispersión en la atmósfera, es importante conocer la micrometeorología de la zona de estudio. Los parámetros meteorológicos fueron tomados de la estación automática El Recreo, perteneciente a la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire ubicada en la calle 28 entre Carreras 10 y 11 del Municipio de Sogamoso, durante el periodo comprendido entre Junio del 2008 a Diciembre del 2009.

Con la información de la Estación El Recreo relacionada con la velocidad y dirección del viento se construyó la Rosa de los vientos. Se analizaron 12667 datos correspondientes a periodos horarios entre Junio del 2008 a Diciembre de 2009, en dos periodos estacionales correspondientes a invierno y verano, en el programa WINDRose.exe para establecer la Rosa de los Vientos.

En cuanto al inventario de Emisiones, la información se recopiló teniendo en cuenta lo estipulado en el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial<sup>[2]</sup>. En este documento se especifican los datos necesarios para la Modelación de la Calidad del Aire. Las principales variables son Ubicación Geográfica, Altitud, Contaminantes Emitidos, Altura de Chimenea, Diámetro de Chimeneas, Temperatura y velocidad de salida de los gases en chimenea. Esta información se obtuvo por medio de visitas de campo. La georeferenciación se realizó por medio de GPS, la velocidad y temperatura de los gases por medio del anemómetro digital, las emisiones se calcularon por medio de factores de emisión, mediciones directas (si existen) o balance de materia.

La información sobre condiciones locales (topografía, actividades económicas, uso del suelo, ordenamiento urbano de la ciudad, micrometeorología, emisiones y calidad del aire), se encuentra disponible y en propiedad de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, información que fue utilizada como base para la alimentación del modelo de dispersión de contaminantes. Éste modelo sirve para llenar vacíos dejados por la campaña de monitoreo y para entender los procesos de dispersión de contaminantes atmosféricos en el área de estudio.

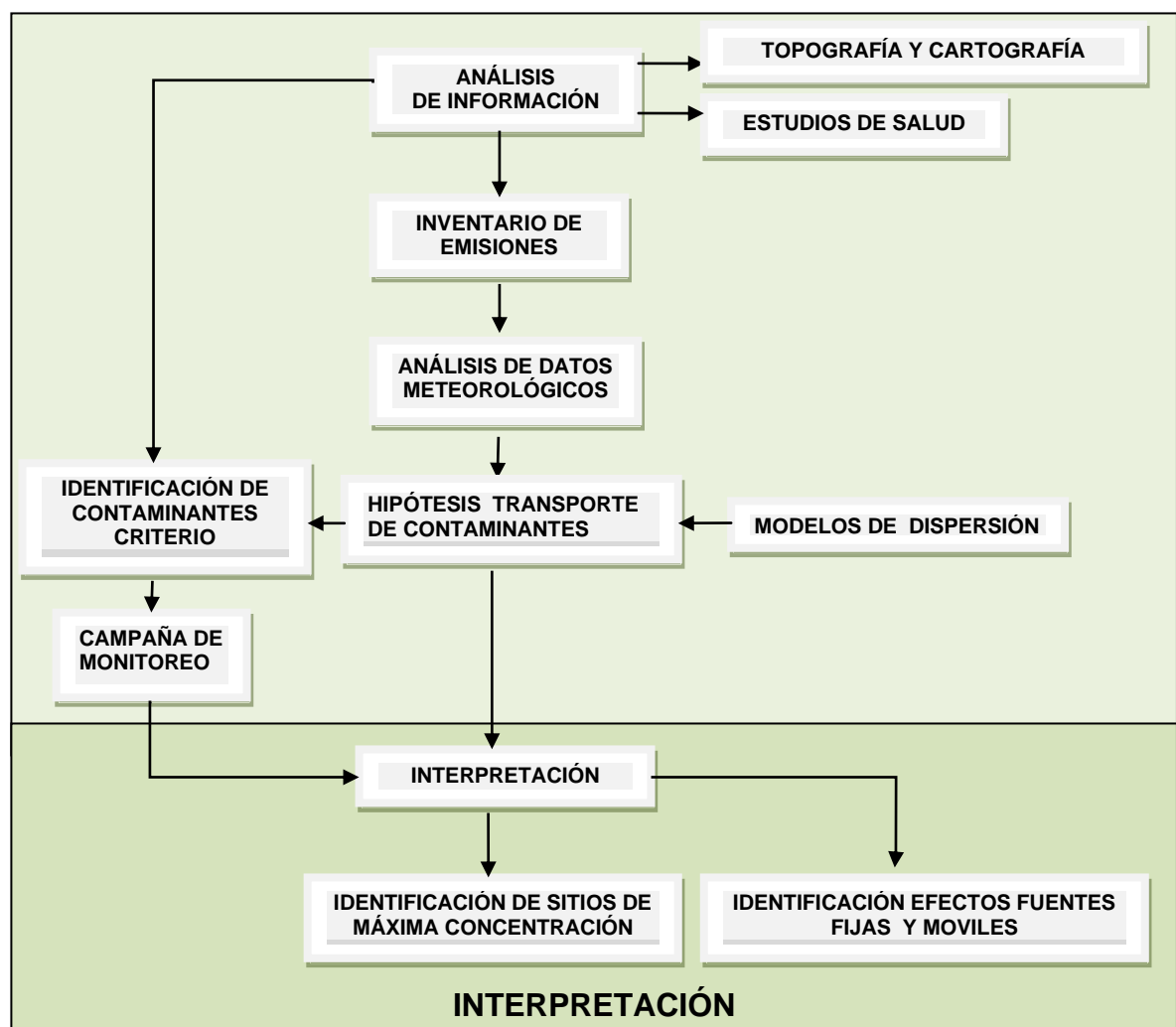
---

<sup>[2]</sup> Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, Bogotá, Marzo 2010.

Para el diseño del sistema de vigilancia de la calidad del aire se tuvo en cuenta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado mediante Resolución 650 del 29 de marzo de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial el cual permite establecer las directrices, metodologías y procedimientos necesarios para llevar a cabo actividades de monitoreo.

En la figura 2 se describe la metodología experimental empleada para cada una de las fases del proyecto.

**Figura 2. Diagrama de Metodología para el desarrollo del proyecto**

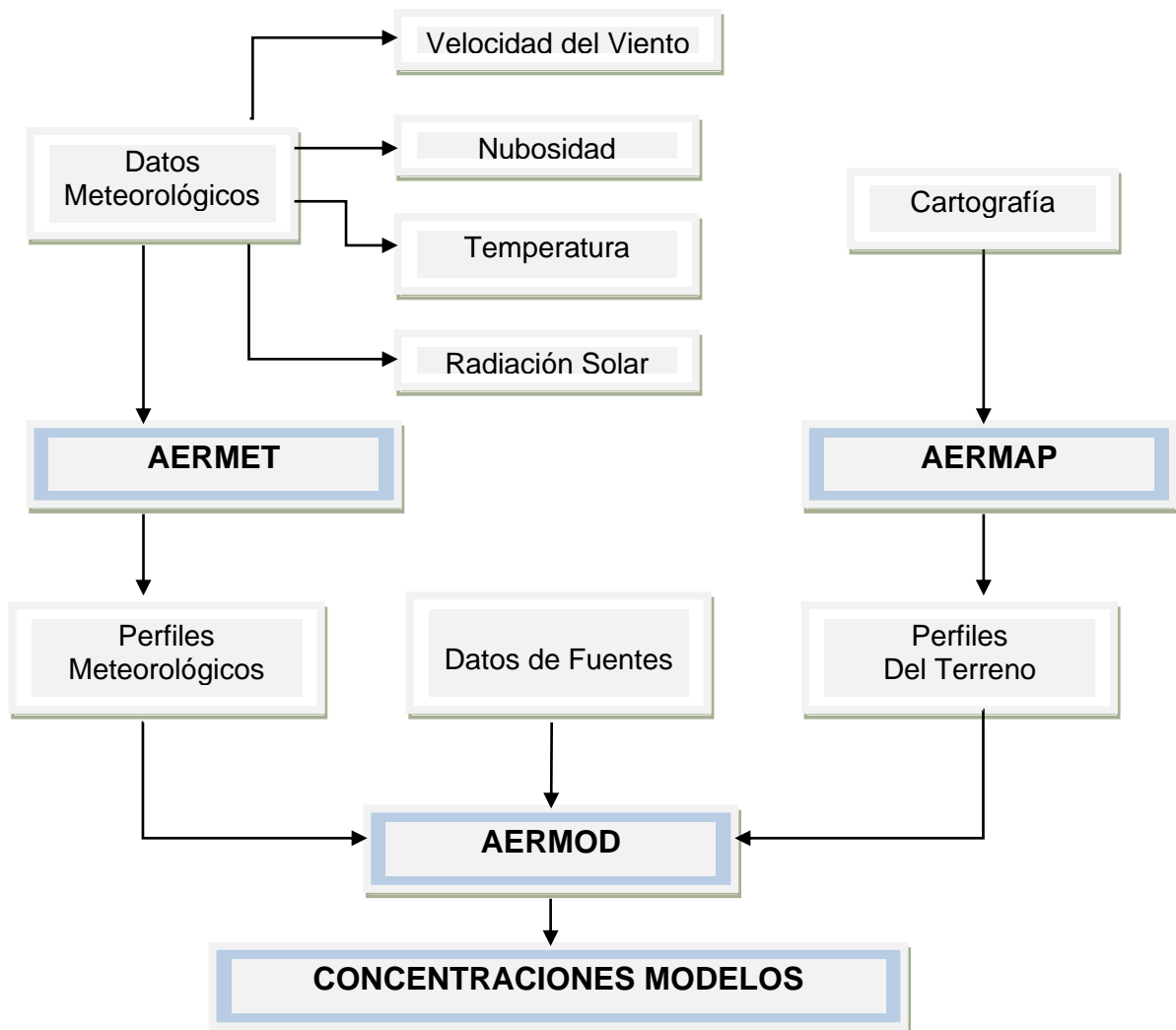


**Fuente:** Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, Bogotá, Marzo 2010.

En cuanto a la modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos, se realizó únicamente para material particulado PM 10, la modelación fue realizada por la Corporación Autónoma de Boyacá y la Universidad de la Salle en el segundo semestre del 2009.

En la figura 3 se describe la estructura y flujo de datos del sistema de modelación del AERMOD.

**Figura 3. Metodología AERMOD.**



**Fuente:** Manual Aermod, 2005

## 5. ANALISIS Y RESULTADOS

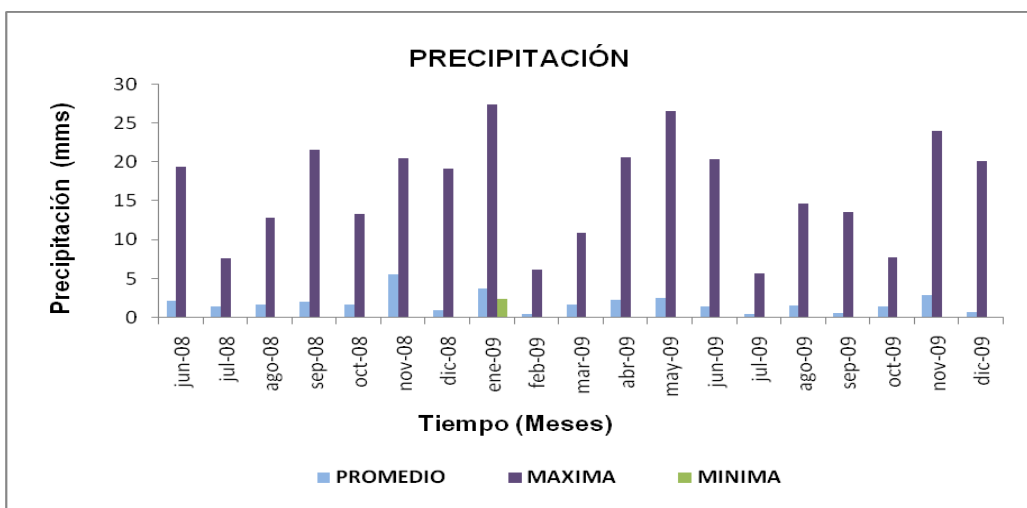
### 5.1. MICROMETEOROLOGÍA

El análisis de los datos registrados por la estación automática El Recreo, ubicada en la calle 28 entre Carreras 10 y 11 del Municipio de Sogamoso para el periodo comprendido de Junio del 2008 - Diciembre del 2009, datos suministrados por la Unidad de emisiones atmosféricas de la Corporación Autónoma de Boyacá, se presentan a continuación.

**5.1.1. Precipitación.** Con relación a la precipitación, en la parte norte del Municipio de Sogamoso se presenta un comportamiento de tipo bimodal. Las precipitaciones oscilan entre 6,2 y 28 mm para los periodos lluviosos: marzo - mayo y octubre - noviembre, mientras que para los periodos secos: febrero, julio y diciembre no supera los 5 mm.

Como se ve en la Figura 4, el comportamiento es bimodal, siendo los periodos lluviosos de marzo a junio y de septiembre a noviembre. Los periodos secos corresponden al periodo de diciembre a febrero y el mes de julio. El máximo valor se presentó en los meses de enero y mayo de 2009 con 27,3 mm y 26,5 mm. A continuación se presenta en la Figura 4. El comportamiento en precipitación registrado por la Estación del Recreo durante los años 2008 – 2009.

**Figura 4. Precipitación Total Mensual 2008 - 2009.**



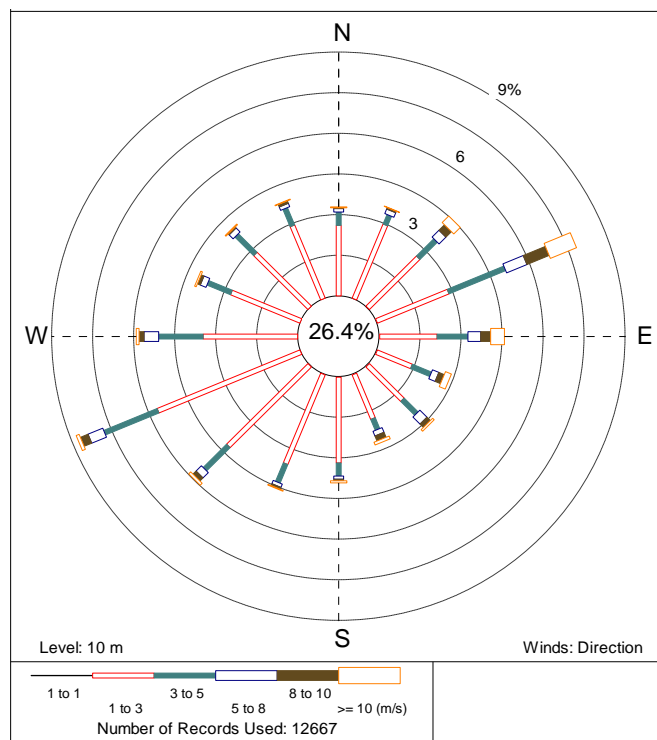
**Fuente:** Estación Meteorológica del Recreo.

**5.1.2. Vientos.** Los datos reportados en la estación del Recreo muestran una tendencia predominante de dirección sur oeste y noreste. El rango de velocidad más frecuente (55 %) es de 1 a 3 m/s, estas velocidades son bajas y no facilitan una adecuada dispersión de contaminantes.

De igual forma se presentan velocidades del viento de 3 a 5 m/s en todas las direcciones destacándose los vientos predominantes oeste suroeste es decir desde el municipio de Firavitoba hacia el municipio de Sogamoso y este noreste es decir desde el municipio de Corrales.

Es importante destacar la presencia de vientos con velocidades de 10 m/s en la dirección Este Noreste. En la figura 5 se presenta la rosa de vientos para la estación El Recreo para el periodo comprendido de Junio del 2008 - Diciembre del 2009, construida en el primer semestre de 2010.

**Figura 5. Rosa de vientos**

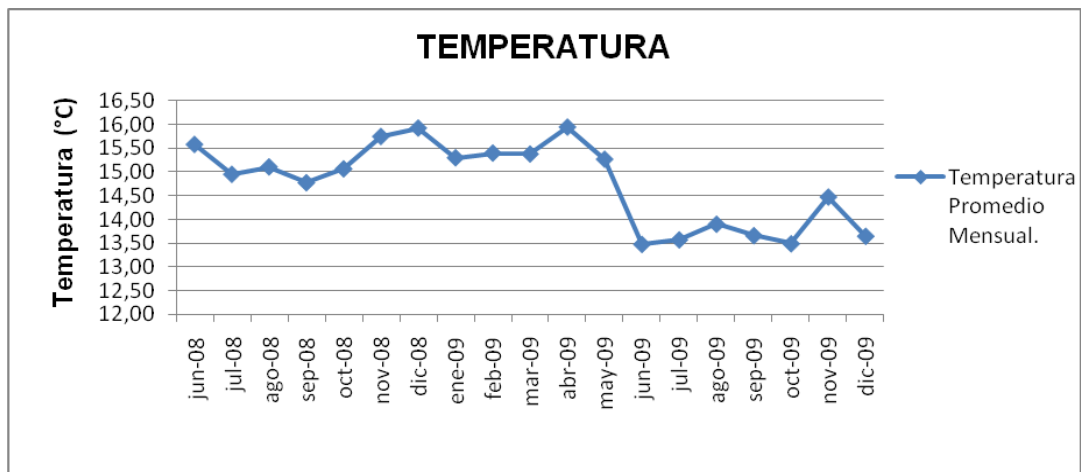


**Fuente:** Estación Meteorológica del Recreo.

**5.1.3. Temperatura Superficial.** La temperatura media registrada en la estación del Recreo para el año 2009 es de 14.4 °C con fluctuaciones entre los 13.5°C y 16.0 °C.

La figura 6, muestra que los máximos valores de temperatura se presentan en los meses diciembre de 2008 y abril 2009, mientras que los valores mínimos se dan en junio a octubre de 2009.

**Figura 6. Temperatura Promedio Mensual 2008 - 2009**



**Fuente:** Estación Meteorológica del Recreo.

## 5.2 FUENTES DE EMISIÓN (INVENTARIO DE EMISIONES).

El municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá constituye uno de los corredores industriales más importantes en Colombia debido a que allí se encuentran instaladas grandes industrias metalúrgicas y cementeras y pequeñas industrias de explotación de arcilla y carbón.

En las últimas décadas la actividad industrial en la región ha venido creciendo y convirtiéndose en una de las principales fuentes de generación de recursos económicos para la población. De la misma forma ha venido aumentando la problemática de contaminación ambiental por el asentamiento de múltiples industrias y procesos artesanales. De acuerdo con el inventario de emisiones, en el municipio de Sogamoso existen actualmente 374 Chircales, 25 explotaciones de arena, 163 explotaciones de arcilla, 34 explotaciones de carbón, 1 planta de asfalto, 1 cementera “Cementos Argos”, 2 siderúrgicas y 36 industrias pequeñas y medianas. Estas actividades constituyen la principal fuente de contaminación atmosférica en el municipio de Sogamoso.

Los contaminantes problemáticos que se pueden identificar de acuerdo al tipo de actividad industrial que se desarrolla en el municipio de Sogamoso y se muestran a continuación.

**Cuadro 4. Contaminantes identificados en el Municipio de Sogamoso**

<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>EFECTOS</b>
<b>Material particulado</b>	Son partículas entre las 0,01 micras y 10 micras.	Pueden penetrar en los pulmones y generar graves irritaciones y obstrucciones. Causan enfermedades respiratorias.
<b>Óxido de azufre</b>	Se produce por la oxidación del azufre de los combustibles en calderas, hornos, fundición de metales y refinerías.	Produce esmog, lluvia ácida y enfermedades pulmonares.
<b>Ozono</b>	Es un contaminante secundario que se produce a partir de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, en presencia de abundante luz solar.	Puede causar irritación de los ojos, nariz y garganta. Disminuye la capacidad respiratoria y puede ocasionar edemas pulmonares, hemorragias y daños en el sistema cardiovascular.
<b>Monóxido de carbono</b>	Se origina a partir de la quema de combustibles fósiles, como el carbón, o de materiales orgánicos.	Causa desde sensación de cansancio hasta intoxicación.

**Fuente:** Inventario de Emisiones 2009

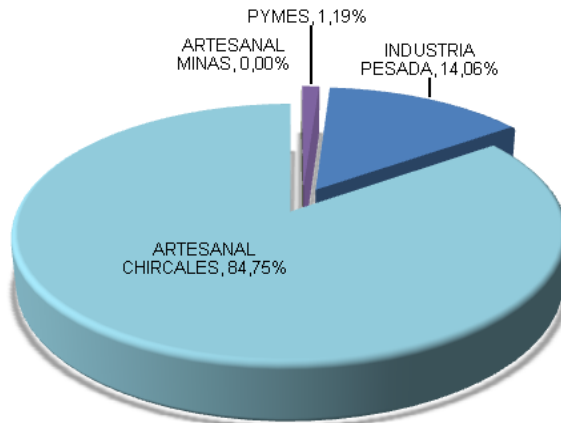
Los datos registrados en el Inventario de Emisiones correspondiente a la concentración de material particulado de menos de 10 micrómetros provienen de estudios isocinéticos presentados por las empresas a CORPOBOYACÁ, los cuales son realizados por empresas acreditadas ante el IDEAM y supervisados por CORPOBOYACÁ.

Para las actividades artesanales se procedió a calcular las emisiones de material particulado de menos de 10 micrómetros, por medio de factores de emisión formulados por la EPA/USA. Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Ap – 42.

De acuerdo con el análisis del inventario de emisiones en el municipio de Sogamoso se registran emisiones de material particulado de menos de 10 micrómetros para la Industria Pesada de 46,9849 g/s, Artesanal Chircales 283,276 g/s, Artesanal Minas  $2,72 \cdot 10^{-3}$  g/s y PYMES 3,97 g/s

En la Figura 7 se ilustra el aporte de cada sector industrial en la contaminación atmosférica del municipio de Sogamoso en cuanto a material particulado menor de 10 micras.

**Figura 7. Aporte de Sector Industrial en la Contaminación Atmosférica.**



**Fuente:** Inventario de Emisiones

### 5.3 MONITOREOS DE LA CALIDAD DE AIRE

El análisis de los datos registrados de concentraciones de PM 10 por la estación automática El Recreo, ubicada en la calle 28 entre Carreras 10 y 11 del Municipio de Sogamoso para los años 2007 al 2009, datos suministrados por la Unidad de emisiones atmosféricas de la Corporación Autónoma de Boyacá, se muestran a continuación.

Para verificar el cumplimiento de la normatividad para calidad del aire que aplica en la zona de estudio, se tomo los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 610 de 2010, Artículo Segundo, Parágrafo Transitorio\*, el cual establece que hasta el 31 de diciembre de 2010 el nivel máximo permisible anual de PM10 será de  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el nivel máximo permisible para 24 horas de PM10 será de  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Sin embargo debemos destacar que aunque la Organización Mundial de la Salud (OMS) aun no ha establecido un umbral para los efectos del material particulado

---

\* Después del 31 Dic. 2010, el nivel máximo permisible anual de PM10 será de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el nivel máximo permisible para 24 horas de PM10 será de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$

en la salud humana, dichos niveles hoy en día son excesivamente permisibles comparados con normatividades internacionales vigentes como valores límites para la protección de la salud humana. Existen guías de calidad de aire para PM10 que han encontrado asociaciones estadísticamente significativas entre el incremento de los efectos nocivos observados y el incremento de las concentraciones de MP10 para niveles estimados de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ <sup>[3]</sup>.

**Cuadro 5. Estándares internacionales de valores permisibles para PM10**

PAIS	Valor límite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo promedio de muestreo	Frecuencia de excedencia permitida
Bolivia	150	24 horas	Solo una vez por año
	50*	1 año	Ninguna
Brasil	150	24 horas	Solo una vez por año
	50*	1 año	Ninguna
China	50 (I), 150 (II), 250 (III)	24 horas	Ninguna
	40 (I), 100 (II), 150 (III)	1 año	Ninguna
Chile	150	24 horas	El percentil 98 anual no debe superar el valor límite
E.E.U.U	150	24 horas	No más de una vez por año en promedio de 3 años consecutivos
	50	1 año	No Aplica**
Japón	200	1 hora	Ninguna
	100	24 horas	Ninguna
México	150	24 horas	Solo una vez por año
	50	1 año	Ninguna
U.E.	50	24 horas	< 35 ocasiones por año
	40	1 año	Ninguna

\*Media geométrica

\*\*Debido a la falta de evidencia que vincula los problemas de salud con la exposición a largo plazo a la contaminación de partículas gruesas, el organismo revocó la norma anual de PM10 en el año 2006 (a partir del 17 de diciembre 2006).

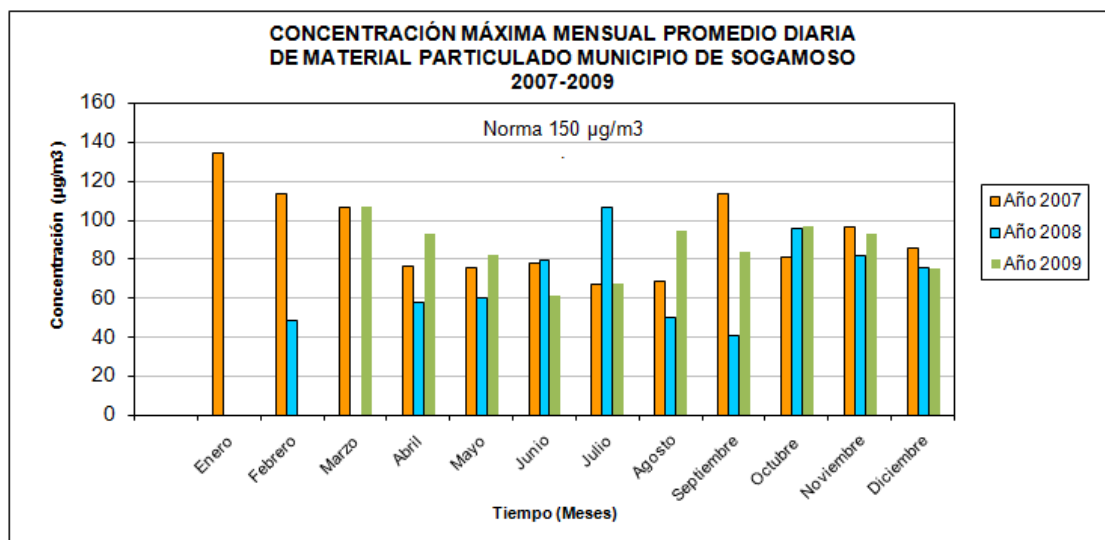
[3] Korc, Marcelo E, et al. Proceso de fijación y revisión de normas de calidad del aire. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Organización Panamericana de la Salud. Lima; CEPIS . -035145. AIDIS-AR. OPS/OMS-VE. OPS/OMS-SV., 2000, 65 p.

**Fuente:** Organización Panamericana de la Salud (OPS). Lima, 2000.

Los datos registrados por la estación automática El Recreo son comparados directamente con la Resolución 610 de 2010, dado que el equipo es ajustado a las condiciones locales es decir en los parámetros de temperatura, presión y altura sobre el nivel del mar.

En la Figura 8 se presentan las Concentraciones Máximas Mensuales Promedio Diaria de Material Particulado PM 10, registradas en la estación de monitoreo del Recreo del Municipio de Sogamoso durante los años 2007 al 2009.

**Figura 8. Concentraciones Máxima Mensual Promedio Diaria de Material Particulado Municipio de Sogamoso 2007 -2009.**



**Fuente:** Estación Meteorológica del Recreo.

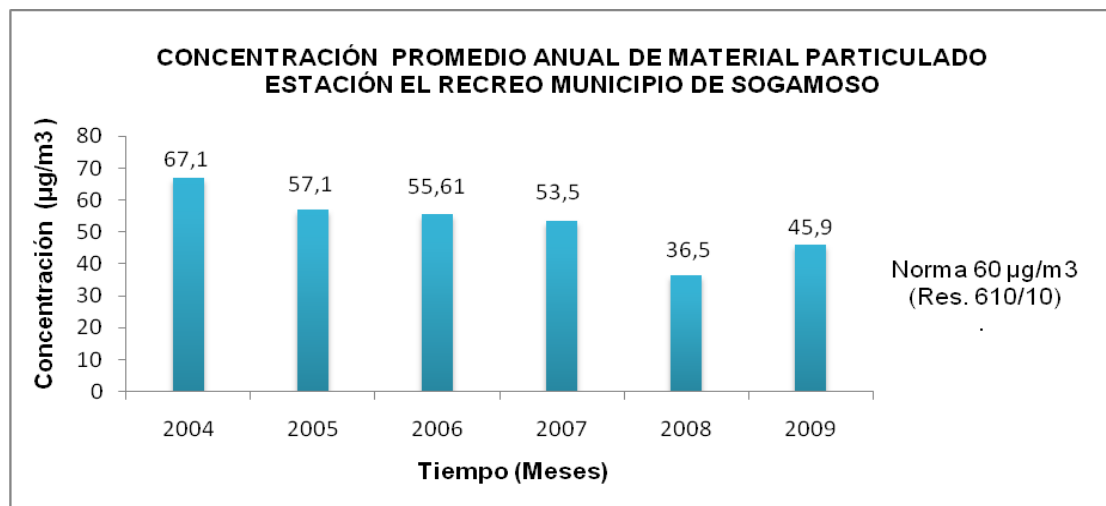
Los datos mostrados en la figura 8. Corresponde al valor máximo diario registrado durante cada mes de estudio.

De acuerdo con esta tendencia las concentraciones máximas diarias durante el 2007 corresponden al mes de enero ( $134,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Similarmente, durante el 2008 en el mes de octubre se observan las máximas concentraciones diarias de PM10 ( $96,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y finalmente para el 2009 mes de marzo registra concentraciones de  $107 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ninguno de los datos registrados sobrepasa el límite máximo diario permisible establecido en  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Comparando los resultados para los tres años en la estación el Recreo, se observa que para el año 2009 se registro la concentración promedio diarias más baja en el mes de septiembre de  $41,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y

en el año 2007 se registro niveles máximos promedio diario más altos de 134,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En cuanto a la concentración promedio anual de material particulado registrada en la estación del Recreo en el municipio de Sogamoso en la Figura 9 que se muestra a continuación se puede observar los resultados para los años comprendidos entre el 2004 y 2009.

**Figura 9. Concentraciones Máxima Promedio Anual de Material Particulado Municipio de Sogamoso 2004 -2009.**



**Fuente:** Estación Meteorológica del Recreo.

Durante el año 2004 se observa la máxima concentración anual de PM10 con un valor que sobrepasa el límite máximo permisible que establece la Resolución 610 de 2010, aunque cabe destacar que se da cumplimiento a la Resolución 601 de 2006 que aplicaba en el momento de la medición.

Para los años 2005 al 2009, monitoreados en la estación el Recreo se registran valores inferiores al estándar máximo permisible establecido por la Resolución 610 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Comparando los resultados para los años comprendidos entre el 2004 al 2008 se observa en la estación El Recreo una disminución en la concentración promedio anual de material particulado año tras año, que se puede atribuir a la implementación de sistemas de control por el sector industrial y a las actividades de control y seguimiento de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, caso contrario al que ocurre en el año 2008 al 2009, donde se registra aumento en la concentración promedio anual de material particulado que de acuerdo al estudio

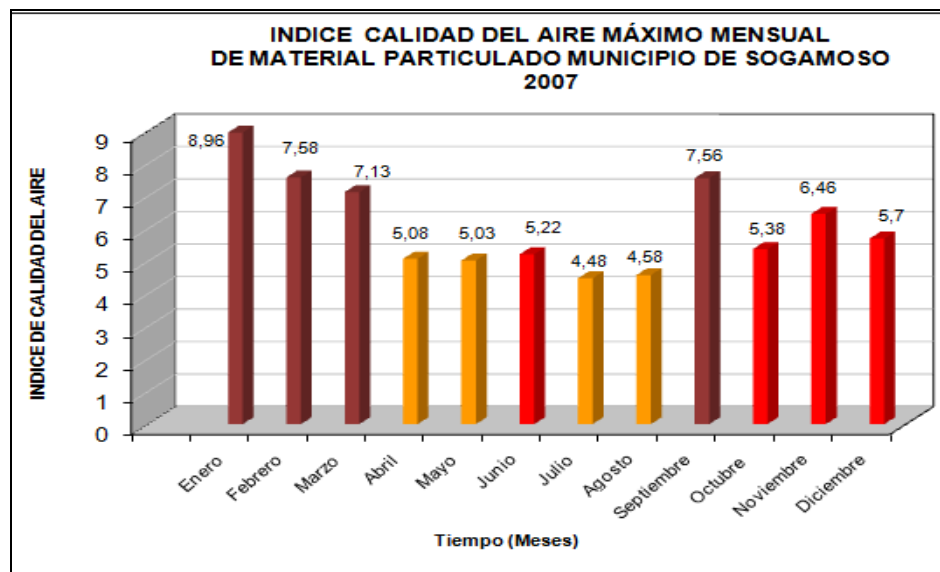
realizado por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá durante el año 2009 es atribuido a la falla de los sistemas de control de emisiones en los procesos de la Empresa Acerías Paz del Río, especialmente Convertidores y Sinterización .

#### 5.4 INDICE DE CALIDAD DEL AIRE

El cálculo del índice de Calidad del Aire del municipio de Sogamoso ICASO se realizó para la mayor concentración de material particulado registrada en cada mes en la estación de monitoreo del Recreo y se comparó con la norma nacional. Los datos analizados son suministrados por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá.

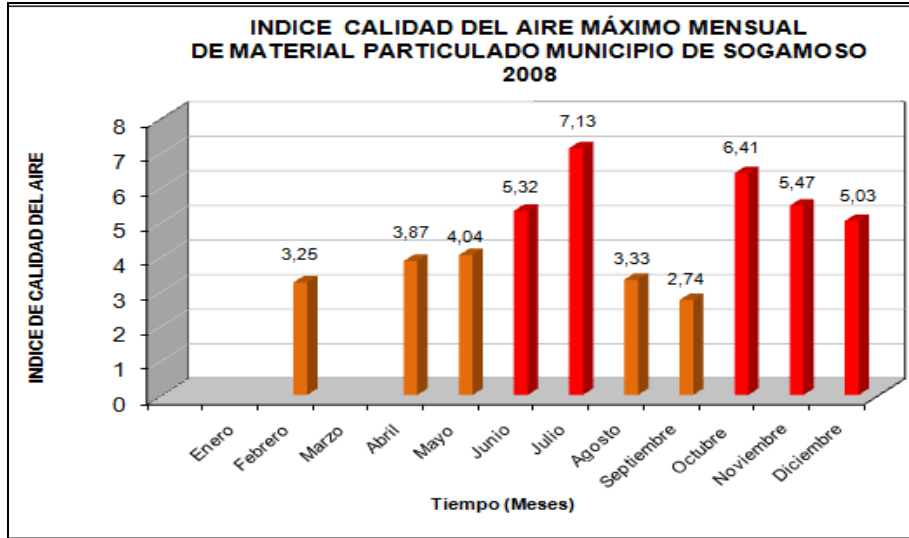
El índice de calidad del aire se ha dividido en seis categorías que se pueden observar en el Cuadro 1.... Véase el numeral 3.3... En las Figuras 10, 11 y 12, se puede observar el índice de calidad de aire para los años 2007 al 2009, de acuerdo con la clasificación epidemiológica en colores adoptada por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá.

**Figura 10. Índice de Calidad de Aire para el año 2007**



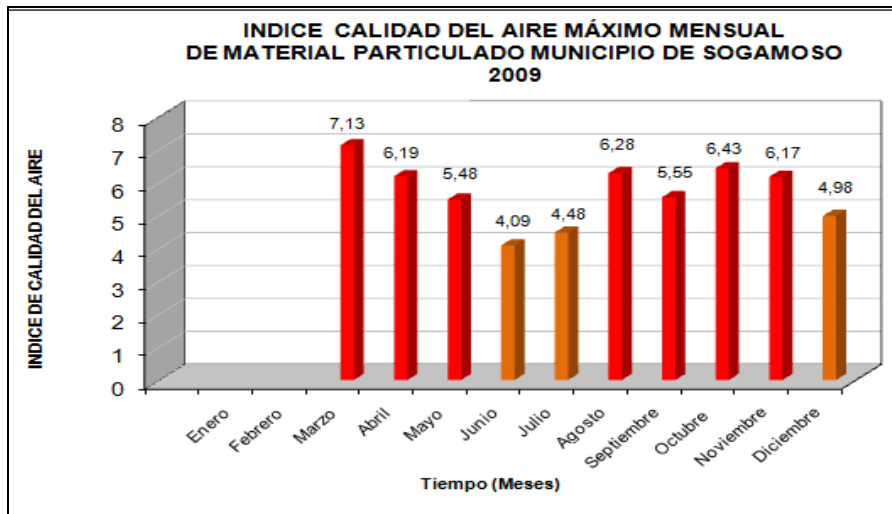
**Fuente:** Estación Meteorológica del Recreo

**Figura 11. Índice de Calidad de Aire para el año 2008**



**Fuente:** Estación Meteorológica del Recreo.

**Figura 12. Índice de Calidad de Aire para el año 2009**



**Fuente:** Estación Meteorológica del Recreo.

La información monitoreada a lo largo de los años 2007 al 2009 para material particulado, refleja que las condiciones de calidad del aire en el municipio de Sogamoso han mejorado respecto al año 2007, año en el cual se alcanzan niveles

de peligrosidad y muy perjudicial, donde hay agravamiento significativo de la salud en personas con enfermedades respiratorias y se afecta población sana, lo anterior basado en la clasificación del Cuadro 1.... Véase el numeral 3.3....

Los niveles reportados del ICASO para los años 2008 y 2009 señalan mayor afectación para grupos sensibles (menores a 5 años y mayores de 65 años), se presentan meses donde la calidad del aire por contaminación de gases se clasifica como perjudicial donde son evidentes molestias respiratorias para la población en general de acuerdo a la clasificación del Cuadro 2.... Véase el numeral 3.3....

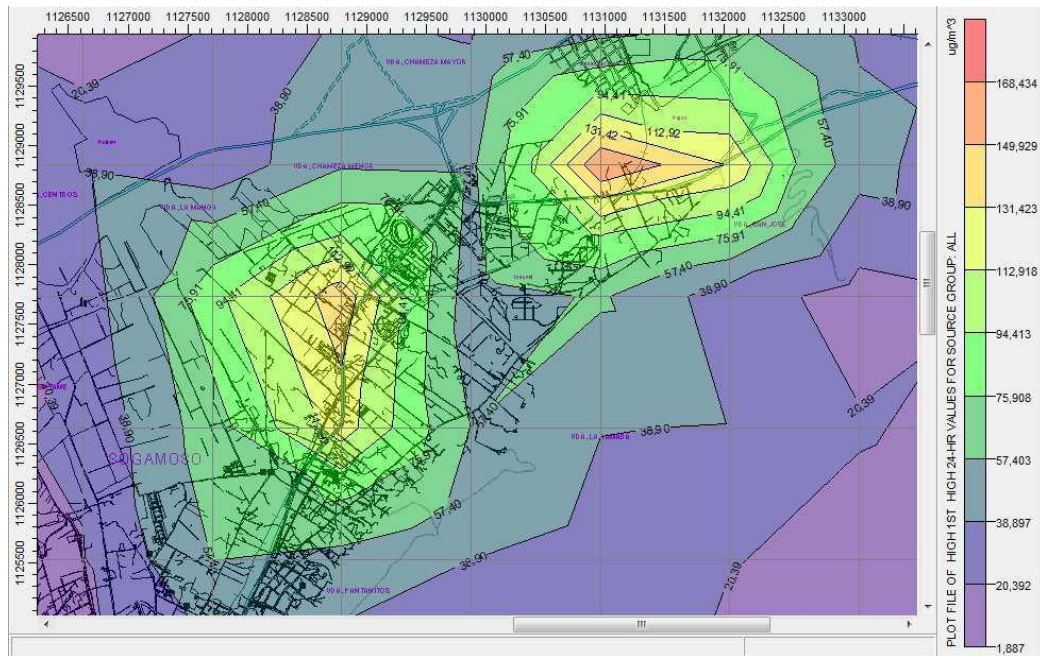
Es importante mencionar, que aunque las concentraciones de PM10 en el municipio de Sogamoso no superan la norma nacional, de acuerdo con estándares internacionales el aire que se respira aún en temporadas de bajas concentraciones de PM10 es considerado como perjudicial.

## **5.5 MODELACIÓN**

La modelación fue realizada por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá y la Universidad de la Salle durante el segundo semestre del 2009; como resultado de la modelación de la calidad del aire en el municipio de Sogamoso se tiene un mapa de distribución de concentraciones de material particulado, específicamente para PM 10. Es importante tener en cuenta que los datos que se muestran a continuación, no corresponden a la concentración final ya que no tienen incluida la concentración de fondo diaria y anual (24,86  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y 22,9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente).

A continuación se muestra en detalle las isopletras diarias y anuales, sobre el área del Parque Industrial de Sogamoso donde se registró la mayor concentración de material particulado PM 10.

**Figura 13. Isopletas Diarias de Concentración de Material Particulado PM 10**

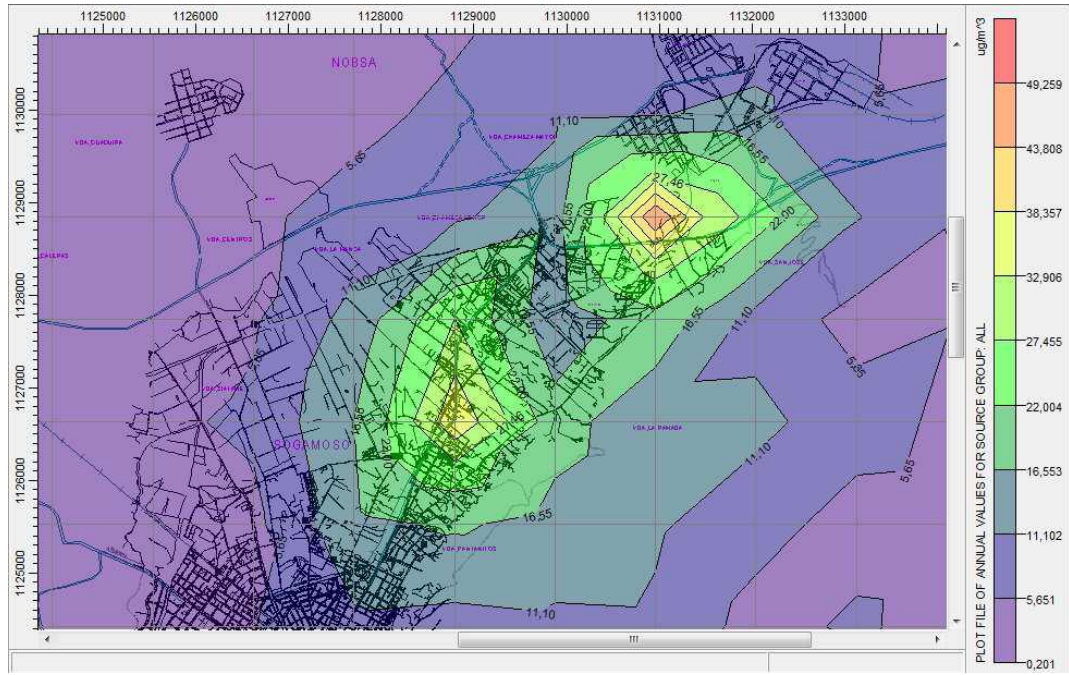


**Fuente:** CORPOBOYACÁ – Universidad de la Salle, 2009.

Teniendo en cuenta las isopletas de concentración de PM 10 arrojadas por el modelo, se establece que las concentraciones más altas, y por ende los mayores impactos, se encuentran en el parque industrial de Sogamoso y los barrios aledaños a este; el primer pico de concentraciones mayores a  $168,434 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , se encuentra sobre el Parque Industrial.

Por otra parte, el segundo pico tiene concentraciones de  $129,929$  a  $168,434 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y se encuentra ubicado en la zona urbana de Sogamoso, cercana al Barrio Gustavo Jiménez. A diferencia del primer pico este es ocasionado por la incidencia de los chircales que se encuentran localizados sobre la falda de la montaña.

**Figura 14. Isopletas Anuales de Concentración de PM - 10**



**Fuente:** CORPOBOYACÁ – Universidad de la Salle, 2009.

Las concentraciones anuales de PM 10 tienen el mismo comportamiento que las diarias, con respecto a su dispersión pero, a diferencia de las diarias, el mayor pico es de concentraciones por encima de  $43,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y el segundo pico se encuentra en concentraciones de  $32,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## **5.6 DISEÑO BASICO DEL SISTEMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE PARA EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO**

Con base en el análisis de la información recopilada a través de la investigación y teniendo en cuenta los lineamientos nacionales en materia de control y reducción de la contaminación del aire y las características propias de la región en cuanto a sus aspectos económicos, naturales y ambientales, además de factores como disponibilidad del terreno, acceso a los sitios de muestreo, disponibilidad de corriente eléctrica, seguridad del sitio y protección contra vandalismo; se plantea el siguiente diseño básico de sistema de vigilancia en la calidad del aire para el municipio de Sogamoso.

**5.6.1. Localización de las estaciones de monitoreo.** Actualmente el municipio de Sogamoso cuenta con dos estaciones que de acuerdo a los resultados de la evaluación preliminar y del modelo de dispersión de material particulado que cumplen con el protocolo Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Estas estaciones se localizan en:

- **AEROPUERTO:** La estación que se encuentra en el Aeropuerto de Sogamoso está ubicada al suroeste del municipio de Sogamoso, en límites con el municipio de Firavitoba, actualmente no se encuentra en operación.
- **EL RECREO:** La estación El Recreo está ubicada en el Parque recreacional del Norte barrio el recreo, zona residencial del Municipio de Sogamoso.

En el siguiente cuadro se muestrean los criterios de ubicación para cada una de las estaciones de monitoreo que permiten corroborar que las estaciones se encuentran bien ubicadas:

**Cuadro 6. Características de ubicación de estaciones**

CRITERIOS	RECREO	AEROPUERTO
<b>Localización</b>	Zona urbana residencial, con influencia directa de la industria.	Zona rural, concentraciones de fondo
<b>Equipos</b>	Estación central Medición de todos los contaminantes	Importante: medición de O <sub>3</sub>
<b>Tipo de estación</b>	De contaminantes primarios y ozono	
<b>Escala de Monitoreo (EPA)</b>	Urbana / Regional	

**5.6.2. Contaminantes a monitorear.** Teniendo en cuenta el inventario de fuentes fijas se debe monitorear contaminantes atmosféricos como Ozono O<sub>3</sub> troposférico, material particulado y SO<sub>2</sub>.

A continuación se muestra el estado actual de monitoreo en las estaciones existentes.

**Cuadro 7. Contaminantes monitoreados**

ESTACIÓN	CONTAMINANTES		
	Ozono O <sub>3</sub>	Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub>	Material Particulado PM-10
El Recreo	Monitoreado	Monitoreado	Monitoreado
Aeropuerto	No se encuentra en funcionamiento.		

Es importante la medición de Ozono O<sub>3</sub>, en la estación del Aeropuerto ya que según el CFR 40 (EPA), en muchos casos los sitios de concentración máxima de ozono están localizados de 16 a 50 km del área urbana.

La frecuencia de muestreo debe ser continua considerando los niveles reportados del ICASO para los años 2008 y 2009 donde la mayor afectación es para grupos sensibles (menores a 5 años y mayores de 65 años)... Véase el numeral 5.4..., además se presentan meses donde la calidad del aire por contaminación de gases se clasifica como perjudicial.

**5.6.3. Condiciones de operación para estaciones de medición.** A continuación en el Cuadro 8. Se describe las condiciones de operación necesarias para las estaciones de monitoreo.

**Cuadro 8. Estaciones de Monitoreo**

ESTACIÓN	COMPONENTE
El Recreo	<p><b>Hardware:</b> Analizadores Automático de Ozono O<sub>3</sub>, material particulado PM – 10 y SO<sub>2</sub>.</p> <p><b>Software:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelos de dispersión Gaussianos (fuentes fijas y móviles)</li> <li>• Base de datos de Inventario de Emisiones</li> <li>• Software de Gestión de la información AQMS (Air Quality Monitoring Sistem)</li> </ul> <p><b>Reportes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reporte mediante pagina web con actualización mensual.</li> <li>• Reporte Mensual en el SISAIRE</li> </ul>

**Cuadro 8. (Continuación)**

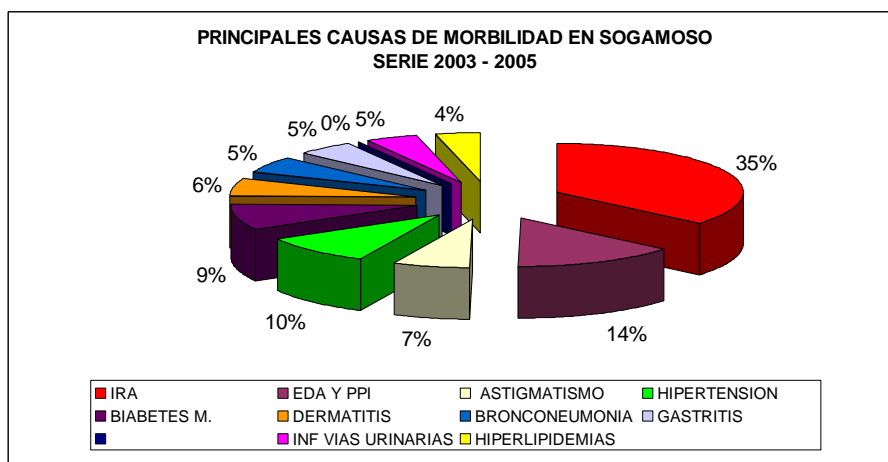
ESTACIÓN	COMPONENTE
Aeropuerto	<p><b>Hardware:</b> Analizadores Automático de Ozono O<sub>3</sub>, material particulado PM – 10 y SO<sub>2</sub></p> <p><b>Software:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Modelos de dispersión Gaussianos (fuentes fijas y móviles)</li><li>• Base de datos de Inventario de Emisiones</li><li>• Software de Gestión de la información AQMS (Air Quality Monitoring System)</li></ul> <p><b>Reportes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Reporte mediante pagina web con actualización mensual.</li><li>• Reporte Mensual en el SISAIRE</li></ul>

## 5.7 SALUD PÚBLICA

Considerando que la contaminación del aire puede afectar la población mediante el contacto con la piel, los ojos o el aparato respiratorio, esta última la que causa mayor daño a la salud, es importante la realización de estudios epidemiológicos, además del análisis de la frecuencia de estas enfermedades respiratorias y su relación con episodios registrados de contaminación atmosféricas en las redes de monitoreo de calidad de aire.

**5.7.1 Tasas de morbilidad.** Las causas de morbilidad y sus porcentajes registrados durante los años 2003 al 2005 en el municipio de Sogamoso se muestran a continuación:

**Figura 15. Datos de Morbilidad Municipio de Sogamoso, años 2003 al 2005**



EDA: Enfermedad Diarreica Aguda  
 PPI: Poliparasitismo Intestinal  
 INF VIAS URINARIAS: Infección Vías Urinarias.  
 Biabetis M. : Diabetes mellitus o diabetes sacarina

**Fuente:** Boletín Epidemiológico de Boyacá, Indicadores Básicos en Salud, Gobernación de Boyacá – Secretaría de Salud de Boyacá – Dirección de Salud Pública.

Para el periodo del 2003 al 2005, la principal causa de morbilidad en la población del municipio de Sogamoso corresponde a las enfermedades respiratorias agudas (IRA) siendo asociado a esta causa un 35% de los cuadros clínicos presentado en ese periodo.

Para el año 2007 las infecciones respiratorias agudas “IRA”, se encuentran ocupando posiciones de importancia con un 15.9 %, siendo nuevamente un factor de riesgo importante la contaminación ambiental, principalmente dentro de los grupos de edad infantil.

Según la encuesta del 2007 de morbilidad sentida realizada en el municipio de Sogamoso la percepción de los habitantes indica que unas de las causas más frecuentes de consulta médica son las enfermedades respiratorias con un 13.1%, siendo esta más persistente en el sector rural (15.9%). Destacando que el factor de riesgo más prevalente es atribuido a la contaminación ambiental, puntualmente la contaminación atmosférica.

**Cuadro 9. Causas de Morbilidad Sentida, año 2007**

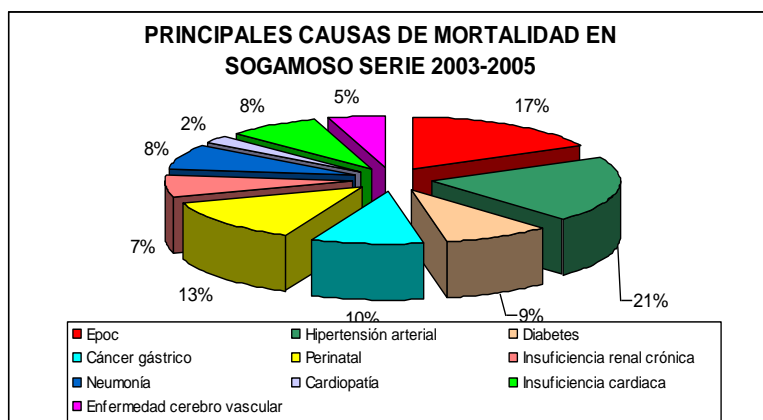
Causa	TOTAL		RURAL		URBANO		FACTOR DE RIESGO	ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN
	OR DEN	%	OR DEN	%	ORD EN	%		
RESPIRATORIOS	1	13.1	1	15.9	1	11	Contaminación	Autocuidado
DIGESTIVOS	2	11.1	2	13.1	4	9.7	Hábitos alimentarios	Políticas de seguridad alimentaria.
CORAZON	3	10.6	3	11.9	5	9.7	Hábitos alimentarios, sedentarismo	Políticas de seguridad alimentaria, promoción y prevención de enf. crónicas
TENSION ARTERIAL	4	9.8	4	10.2	6	9.4	Hábitos alimentarios, sedentarismo	Políticas de seguridad alimentaria, promoción y prevención de enf. crónicas
DIABETES	5	8.9	5	7.3	3	10.1	Hábitos alimentarios, sedentarismo	Políticas de seguridad alimentaria, promoción y prevención de enf. crónicas

**Fuente:** Encuesta de Morbilidad y Mortalidad Sentida 2007.

**5.7.2 Tasas de mortalidad.** Las causas de mortalidad y sus porcentajes registrados durante los años 2003 al 2005 en el municipio de Sogamoso se muestran en la figura 16.

Aunque en el periodo del 2003 al 2005, el municipio de Sogamoso presento que el 53% de la mortalidad en el municipio fueron por causas no reportadas, el porcentaje restante corresponde a problemas por causa de Hipertensión con 21% y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica con un 17%, siendo esta ultima ligada a factores de riesgo por contaminación atmosférica.

**Figura 16. Datos de Mortalidad Municipio de Sogamoso, años 2003 al 2005**



Epoc: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica.

**Fuente:** Boletín Epidemiológico de Boyacá, Indicadores Básicos en Salud, Gobernación de Boyacá – Secretaría de Salud de Boyacá – Dirección de Salud Pública.

**Cuadro 10. Mortalidad Infantil evitable a nivel municipal**

EVENTO	2004		2005		2006		2007	
	No.	TASA	No.	TASA	No.	TASA	No.	TASA
MORTALIDAD MATERNA (Tasa x 1000 nacidos vivos)	1	0,47	0	0	2	0,99	0	0
MORTALIDAD PERINATAL (Tasa x 1000 nacidos vivos)	32	15,03	17	8,91	26	12,86	16	8,36
MORTALIDAD EDA < 5 AÑOS (Tasa x 100,000 niños < 5 años)	2	9,49	0	0	0	0	0	0
MORTALIDAD IRA < 5 AÑOS (Tasa x 100,000 niños < 5 años)	3	14,25	3	13,92	3	29,06	1	9,69
MORTALIDAD DENGUE								
MORTALIDAD MALARIA								
MORTALIDAD POR TBC (Tasa x 100,000 habitantes)	0	0	4	3,42	1	0,86	3	2,57
Otras:								

Fuente: Certificados de Defunción.

Para el año 2006 se registró la mayor tasa de mortalidad infantil con un 29,06% causada por infecciones respiratorias agudas “IRA”, siendo considerado la población infantil como un grupo sensible ante enfermedades asociadas a problemas de contaminación atmosférica.

**Cuadro 11. Causas de Mortalidad Sentida, año 2007**

Causa	TOTAL		RURAL		URBANO		FACTOR DE RIESGO	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
	ORDE N	%	ORDE N	%	ORDE N	%		
CANCER	1	20.8	1	23.3%	1	18.9%	Detección tardía	Tamizajes
ACCIDENTES	2	14.1	2	13.7%	2	14.2%	Inseguridad vial	Mayor Control por parte de las autoridades y educación a la comunidad.
RINONES	3	10.9	4	10.4%	3	11.2%	Control inadecuado, hipertensión, diabetes	Manejo adecuado de patologías de riesgo
VIOLENCIA	4	10.4	3	10.6%	4	10.2%		
PULMONARES	5	9.3	5	8.9%	5	9.5%	Contaminación ocupacionales	Salud ocupacional, política ambiental
DIGESTIVAS	6	8.5%	6	8.8%	7	8.3%	Calidad de agua, hábitos alimenticios y detección tardía.	
CORAZON	7	7.5%	8	6.5%	6	8.6%	Control inadecuado, hipertensión, diabetes	Manejo adecuado de patologías de riesgo
VEJEZ	8	7.3%	7	7.3	8	7.2%		
PARTO	9	5.6%	9	5.4%	9	6.2%	Acceso a servicios de salud, falta de conocimiento	Educación
OTRAS	10	5.3%	10	5.2%	10	5.4%	Control inadecuado, hipertensión, diabetes	Manejo adecuado de patologías de riesgo

Fuente: Encuesta de Morbilidad y Mortalidad Sentida 2007

En la encuesta del 2007 de mortalidad sentida realizada en municipio de Sogamoso se encontró entre la población que las principales causas de mortalidad a excepción de problemas de salud (violencia y accidentalidad), fueron atribuidas a problemas de cáncer con 20.8%, riñones 10.9% y problemas pulmonares con 9.3%, siendo la primera controversialmente asociada también a factores externo de ambientes no sanos y la ultima atribuida principalmente a la contaminación ocupacional (calidad del aire).

**5.7.3 Plan territorial de salud.** Según el plan de territorial de salud del municipio de Sogamoso para los años 2008-2011, se realizo la distribución de los recursos

de las entidades territoriales competentes para el sector salud de acuerdo a los ejes programáticos enunciados en la Resolución 425 de 2008 del Ministerio de protección Social.

**Cuadro 12. Distribución de Recursos por eje Programático, 2008-2011.**

<b>CODIGO EJE</b>	<b>NOMBRE EJE PROGRAMATICO</b>	<b>VALOR TOTAL( miles de pesos)</b>	<b>VALOR 2008</b>	<b>PESO PORCENTUAL</b>
1	Aseguramiento	56.980.839	15.637.047	85.69%
2	Prestación y Desarrollo de los Servicios de Salud	1.670.675	620.000	2.51%
3	Salud Pública	3.333.715	768.400	5.01%
4	Promoción Social	3.695.075	1.504.625	5.56%
5	Prevención, Vigilancia y Control de Riesgos profesionales	93.682	21.100	0.14%
6	Emergencias y Desastres	725.600	20000	1.09%
	<b>TOTAL</b>	<b>66.504.587</b>	<b>18.751.172</b>	<b>100.00%</b>

El eje programático de Salud Pública fue el tercer mayor rubro en asignación de recursos con un monto alrededor de los \$ 3.334.000.000 millones de pesos, siendo este el encargado de garantizar las acciones individuales y colectivas que propendan por el mejoramiento del estado de salud de la población, través de acciones de promoción de la salud, prevención de los riesgos.

En este eje abordan los programas de carácter educativo y preventivo relacionados con salud infantil, salud mental, salud sexual y reproductiva, prevención y control de Enfermedades crónicas y salud ambiental, este ultimo teniendo como una de sus acciones principales la articulación intersectorial para eliminar factores de riesgo ambientales.

## 6. CONCLUSIONES

- El desarrollo del diseño básico del sistema de vigilancia en la calidad del aire para el Municipio de Sogamoso permitió identificar los procesos productivos e industriales que ocasionan la emisión de contaminantes al aire, dando como resultado que las concentraciones mas altas de material particulado PM 10 en el municipio de Sogamoso son ocasionadas por la Industria Pesada en 14,06% y Artesanal Chircales 84.75 %.
- Con el diseño básico del sistema de vigilancia en la calidad del aire para el Municipio de Sogamoso se verificó el cumplimiento de los estándares de inmisión para PM 10 establecidos por la Resolución 0610 de 2010.
- La información monitoreada a lo largo de los años 2007 al 2009 para material particulado, refleja que las condiciones de calidad del aire en el municipio de Sogamoso han mejorado respecto al año 2007, año en el cual se alcanzan niveles peligrosidad y muy perjudicial, donde hay agravamiento significativo de la salud en personas con enfermedades respiratorias y se afecta población sana.
- Comparando los resultados para los años comprendidos entre el 2004 al 2008 se observa en la estación El Recreo una disminución en la concentración promedio anual de material particulado año tras año, que se puede atribuir a la implementación de sistemas de control por el sector industrial y a las actividades de control y seguimiento de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, caso contrario al que ocurre en el año 2008 al 2009, donde se registra aumento en la concentración promedio anual de material particulado que de acuerdo al estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá durante el año 2009 es atribuido a la falla de los sistemas de control de emisiones en los procesos de la Empresa Acerías Paz del Rio, especialmente Convertidores y Sinterización .
- Los niveles reportados del ICASO para los años 2008 y 2009 señalan mayor afectación para grupos sensibles (menores a 5 años y mayores de 65 años), se presentan meses donde la calidad del aire por contaminación de gases se clasifica como perjudicial.

- Las concentraciones de material particulado PM 10 más altas de acuerdo al modelo de dispersión corresponden al parque industrial de Sogamoso y los barrios aledaños, verificado con el comportamiento de los vientos registrados en la rosa de vientos pues confluyen sobre este sector .
- Es evidente la importancia que tiene el la Red de Monitoreo de Calidad de Aire (RMCA) en el municipio del Sogamoso. Con los datos recopilados por una sola estación fue posible realizar un seguimiento de la calidad del aire de la región. Sin embargo es evidente la necesidad del fortalecimiento de la red de monitoreo, y el compromiso por parte de entidades privadas y publicas para establecer programas y políticas que disminuyan en impacto ambiental de las emisiones a la atmósfera en esta región del país.
- Aunque los estudios y actividades que dieron origen a la red de monitoreo se encuentran bien desarrollados hasta el momento, es importante que la destinación de recursos económicos y humanos sea cada vez mayor, lo que requiere de personal mas capacitado e interés por parte de los funcionarios de las entidades públicas.
- Dada la problemática ambiental se debe implementar un tipo de sistema de vigilancia de calidad del aire especial en el valle se Sogamoso.
- En los últimos años, en muchos países en vías de desarrollo los índices de mortalidad y morbilidad también han aumentado considerablemente a causa de la contaminación atmosférica. Este hecho es preocupante ya que, en la práctica, es imposible evitar el estar expuesto a la contaminación atmosférica, sobre todo para las poblaciones que viven en centros urbanos.
- Aunque las entidades territoriales tienen contemplado en sus planes de salud territorial recursos, el control o eliminación de estos factores de riesgos ambientales, estos no son adecuadamente direccionados debido a la falta de estudios que permitan una buena planeación de las acciones o correctivos a realizar.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá realizar un diagnóstico de las redes existentes en el valle de Sogamoso y diseñar un Sistema especial de vigilancia de la calidad de aire que sirva de herramienta en la evaluación de políticas claras en busca de la reducción de la contaminación atmosféricas.
- La Corporación Autónoma Regional de Boyacá debe adelantar proyectos a corto plazo en busca de la declaración de área fuente en el Valle de Sogamoso.
- Se hace necesario realizarse un mantenimiento periódico a cada uno de los elementos que conforman las estaciones de monitoreo.
- Es importante documentar procedimientos para calibraciones en campo en cada una de las estaciones de monitoreo, además de adquirir los equipos que permitan diagnosticar y garantizar el correcto funcionamiento de los equipos, analizadores y sensores. Como medidores de flujo, multímetro, osciloscopio.
- Teniendo en cuenta la problemática ambiental que enfrenta el valle de Sogamoso, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial entregó en comodato a la Corporación Autónoma Regional de Boyacá equipos automáticos para la medición de material particulado PM 10 y PM 2.5, de acuerdo a lo anterior se recomienda sean utilizados para campañas de medición ubicándolos en el parque industrial, Hospital San José y Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Dirigir estudios ambientales de calidad del aire en conjunto con estudios epidemiológicos de campo que permitan establecer la incidencia la contaminación atmosférica como un factor de riesgo importante para la salud humana y así permitir dirigir y concentrar los esfuerzos de las entidades territoriales responsables para la mitigación o eliminación estos factores de riesgo.

## BIBLIOGRAFIA

- ESPINOSA, Fernando. 2001. Bases para la investigación de la contaminación atmosférica en el Valle de Sogamoso: Caso del material particulado generado en la fabricación artesanal de ladrillo y cal. Universidad de los Andes y École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausana. Suiza.
- Instituto Nacional de Salud (INS). Subdirección de Vigilancia y Control en Salud Pública. Sistema de Vigilancia en Salud Pública “SIVIGILIA”.
- LINARES, J; Díaz, C. 2004. Relationship between emergency hospital admissions and air pollution (PM10) in children under 10 years old. Madrid, España.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2007. Informe anual sobre el estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables en Colombia: Calidad del aire. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010. Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, Bogotá.
- PIÑEROS, Lady; Rodríguez, David. 2008. Aplicación del modelo ISC AERMOD para determinar los niveles de incumplimiento de la norma de calidad del aire para material particulado (PM 10), en el sector industrial de Patiobonito en el municipio de Nemocón (Cundinamarca). Universidad de la Salle. Bogotá.
- RODRÍGUEZ, Sandra; Rojas, Mauricio. 2003. Reactivación y manejo de la información de la red para el monitoreo de la calidad del aire en el Valle de Sogamoso. Universidad de la Salle. Bogotá.
- SAEZ, Alonso. *et al.* 1999. Estudio multicéntrico español sobre la relación entre la contaminación del aire y la mortalidad. antecedentes, participantes, objetivos y metodología. Revista especial Salud Pública. Vol 73, N°2. Madrid, España.
- Secretaria local de salud y seguridad Social. Oficina de planeación. Plan territorial de salud 2008-2011. Alcaldía de Sogamoso.