

CALIDAD DEL AIRE EN EL SUR OCCIDENTE DE VILLAVICENCIO: INFLUENCIA DEL
MATERIAL PARTICULADO GENERADO POR EL MOLINO DE ARROZ ROA FLOR
HUILA



CEILA ERMIR PEÑA BECERRA
JOSÉ FERNANDO AFANADOR GUTIÉRREZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

CALIDAD DEL AIRE EN EL SUR OCCIDENTE DE VILLAVICENCIO: INFLUENCIA DEL
MATERIAL PARTICULADO GENERADO POR EL MOLINO DE ARROZ ROA FLOR
HUILA

CEILA ERMIR PEÑA BECERRA
JOSÉ FERNANDO AFANADOR GUTIÉRREZ

Pasantía presentada como requisito para optar al título de ingeniero ambiental

Asesor
Mg. CARLOS DAVID GÓMEZ ORTIZ
Ingeniero Químico
Magíster En Ingeniería Química

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P. Juan Ubaldo LÓPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Arturo RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental.

Nota De Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad de Ingeniería Ambiental

CARLOS DAVID GÓMEZ ORTIZ

Director Trabajo de Grado

ANGELICA MARIA BUSTAMANTE ZAPATA

jurado

VERONICA DUQUE PARDO

jurado

Villavicencio, agosto de 2019

A mis padres por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por brindarme la oportunidad y las herramientas para hacer de mí una mejor persona, todo en pro de cumplir las metas y proyectos planteados.

Agradecimientos

Agradezco a cada persona que de una u otra forma ha aportado en mi formación académica y personal, por las críticas y las correcciones a mi actuar, ya que contribuyen en la formación del carácter, agradezco a quienes me han brindado una voz de aliento en los momentos donde la carrera se torna agobiante, agradezco por el apoyo familiar y por depositar su fe en mí, por creer en mis capacidades y darme el mejor ejemplo y la motivación para no desfallecer.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Objetivos.....	16
1.1. Objetivo general	16
1.2. Objetivos específicos.....	16
2. Marco referencial.....	17
2.1 Antecedentes	17
2.2 Marco teórico	19
2.3 Marco Conceptual	21
2.3.1 PM ₁₀ y su monitoreo.	21
2.3.2 Contaminación atmosférica.	21
2.3.3 Fuentes de emisión.....	22
2.3.4 Contaminación del aire	23
2.3.5 Calidad del aire	23
2.3.6 Enfermedades respiratorias	24
2.3.7 Variables meteorológicas.....	24
2.3.8 Rosa de vientos	27
2.3.9 Hi-Vol.	27
2.3.10 Filtro.....	27
2.3.11 WRPLOT VIEW.....	27
2.4 Marco legal.....	28
3. Desarrollo de la pasantía.....	29
3.1 Metodología	29
3.1.1 Fase 1	29
3.1.2 Fase 2	31
3.1.3 Fase 3	31

4. Resultados obtenidos	34
4.1 Punto de muestreo y Resultados de Laboratorio	34
4.2 Resultados monitoreo de Material Particulado PM ₁₀	34
4.2.1 Concentración (µg/m ³).....	34
4.2.2 Índice de calidad del aire, ICA, para PM10.....	36
4.3 Análisis de datos meteorológico	37
4.4 Procesamiento de la información	38
4.4.1 Diagramas de correlación	38
4.5 Rosa de Contaminantes	41
4.6 Modelo de dispersión de contaminantes	42
4.7 Estudios de referencia	46
Conclusiones	50
Recomendaciones	51
Referencias bibliográficas.....	52
Anexos	58

Listado de tablas

	Pág.
Tabla 1. Normatividad legal vigente.....	28
Tabla 2. Estabilidad Atmosférica.....	33
Tabla 3. Estadísticos básicos de las concentraciones de PM ₁₀	35
Tabla 4. Condiciones meteorológicas obtenidas de la estación Catumare.	37
Tabla 5. Estadísticos de las condiciones meteorológicas obtenidas de la estación Catumare.	38
Tabla 6. Coeficiente de correlación “R” entre la variable PM ₁₀ y las condiciones meteorológicas.	39
Tabla 7. Cálculos de emisión.	43
Tabla 8. Tasa de emisión.	43
Tabla 9. Datos de las muestras #8 y #14.....	44
Tabla 10. Comparación, concentración medida y concentración modelada.....	45
Tabla 11. Bitácora de trabajo	58

Listado de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación.....	34
Figura 2. PM10 en relación con la Resolución 2254 de MADS.....	35
Figura 3. Puntos de corte del ICA.....	36
Figura 4. Índice de calidad del aire (ICA) para PM10, durante el periodo muestreado	36
Figura 5. Figura. Correlación entre PM10 y la temperatura	39
Figura 6. Correlación entre PM10 y la precipitación.....	40
Figura 7. Correlación entre PM10 y la velocidad del viento	40
Figura 8. Rosa de Contaminantes	42
Figura 9. Concentración de PM10 modelada, en SCREEN View, muestra #8	44
Figura 10. Concentración de PM10 modelada, en SCREEN View, muestra #14	45
Figura 11. PM10 en relación con la Resolución 2254 MADS.	46
Figura 12. PM10 año 2014 en relación con la Resolución 2254 del 2017	47
Figura 13. PM10 año 2015 en relación con la Resolución 2254 del 2017	48
Figura 14. Desechado inicia.....	60
Figura 15. Pesaje inicial.....	60
Figura 16. Calibración del HI-VOL.....	61
Figura 17. Calibración del HI-VOL.....	61
Figura 18. Recolección de muestra.....	62
Figura 19. Cambio de filtro.....	62
Figura 20. Muestra.	63
Figura 21. Manipulación del equipo	63
Figura 22. Montaje del Muestreador de Alto Volumen.....	64
Figura 23. Montaje del Muestreador de Alto Volumen.....	64
Figura 24. Desechado final	65
Figura 25. Pesaje final.....	65

Listado de anexos

	Pág.
Anexo 1. Soportes.....	58
Anexo 2. Respuesta de Cormacarena ante la solicitud de información meteorológica	59
Anexo 3. Registro Fotográfico	60

Resumen

En el presente proyecto se realizó una investigación práctica y analítica donde se determinó la calidad del aire en inmediaciones de la comuna 8 al sur occidente de Villavicencio: Establece la influencia del material particulado mediante la recopilación de datos meteorológicos de la estación ubicada en el barrio Catumare y de estudios anteriores de la calidad del aire realizados o supervisados por Cormacarena y la recolección diaria durante un periodo de 18 días consecutivos de datos de material particulado empleando el equipo Hi-Vol siguiendo el protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, y posteriormente analizados en laboratorio.

Esta información fue analizada y contrapuesta para verificar variaciones por diversos factores que pueden influenciar la captación del PM_{10} objeto de estudio. Los datos recopilados de las emisiones de material particulado (PM_{10}) emergentes de la industria presente; se analizaron mediante un modelo de dispersión gaussiano a partir de las estimaciones recopiladas en un periodo de 18 días, donde se obtiene como resultado datos de concentración calculada y modelada que se adaptan a lo establecido en la normatividad vigente, según el art 2 de la Resolución 2254 expedido en el 2017 por el MADS, la calidad del aire teniendo en cuenta el índice de calidad del aire ICA se clasifica como buena en la zona de impacto de la industria presente.

Lo anterior se realizó bajo la dirección de la Universidad Santo Tomas y a petición de la Contraloría Municipal de Villavicencio a cargo del Doctor Juan Carlos Villalba Artunduaga, ya que se presenta en el sector una problemática socio-ambiental.

Palabras claves: Calidad del aire, Material particulado, contaminación atmosférica, Comportamiento meteorológico.

Abstract

In this project a practical and analytical investigation was carried out, where the air quality was determined in the vicinity of “commune 8” located southwest of Villavicencio: this establishes the influence of particulate material when collecting meteorological data from the station located in “Catumare”, and of previous studies of air quality developed or supervised by “Cormacarena”, and additionally the daily collection of particulate material data using Hi-Vol equipment and following the air quality protocol for monitoring, in A period of 18 consecutive days.

The information was subsequently analyzed in the laboratory and was opposed to verifying the variations related to various factors that may influence the absorption of the PM10 studied. Information collected from particle emissions (PM10) that arose from the industry in the area; It was analyzed using a Gaussian dispersion model based on the estimates collected during those 18 days. The results of the calculated and modeled concentration are in accordance with the provisions of current regulations, in relation to the second article of Resolution 2254 of 2017 of The Environmental and Ministry of Sustainable Development "MADS". Therefore, the air taken into account with the ICA air quality index tool is classified as good in the area of impact of today's industry.

This study was conducted under the direction of the University "Santo Tomás" and at the request of the Municipal Comptroller of the city of Villavicencio, in charge of Dr. Juan Carlos Villalba Artunduaga, taking into account that there is a socio-environmental problem in the area.

Keywords: Air quality, Particulate matter, air pollution, Weather behavior.

Introducción

En Colombia, la contaminación atmosférica se ha constituido como una de las principales problemáticas ambientales a estudiar, debido a sus múltiples causas; una de ellas es el material particulado expedido del sistema agrario, industrial, vehicular, entre otros, el cual se ha convertido en una de las partículas más estudiadas a nivel mundial (Buitrago & Tejeiro, 2018). Los países latinoamericanos cuentan con regulaciones propias enfocadas en la calidad del aire, estos se basan en distintos contaminantes criterio, entre los que se encuentra el PM_{10} , la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), es la principal referencia para la construcción de estas regulaciones; la Organización Mundial de la Salud (OMS), identifica programas de monitoreo, seguimiento y control. Quince de estos países recopilan información sobre algunos de los contaminantes criterio, pero tan solo cinco países tienen la capacidad de publicar la información en tiempo real; el PM es el contaminante criterio más monitoreado del mundo (Morantes, 2016).

Una de las industrias que más presentan impactos ambientales atmosféricos a nivel local, es la industria arrocera, debido a la cantidad de molinos que se emplean para las distintas fases del proceso. Una de las actividades que presenta grandes alteraciones al medio ambiente es durante el proceso de pilado del arroz, donde son emitidos a la atmósfera material particulado (polvillo) y gases contaminantes, los cuales causan efectos negativos en la población circundante o aledaña al molido, cabe mencionar que la exposición prolongada de este tipo de contaminantes causa enfermedades como neumonía, cáncer de pulmón, dolores articulares, entre otros. (Quesquén, 2005)

Según reportes presentados por el periódico el Tiempo, el Sur-Oriente de Villavicencio-Meta, es una de las zonas que más presenta influencia industrial cerca a sectores urbanos, en la que se encuentran fuentes fijas de emisión como el Molino De Arroz Roa Flor Huila, la Maderera El Vergel, La Funeraria Inversiones Y Planes De La Paz, entre otras, sin contar con el alto flujo vehicular que se presenta en la vía Villavicencio-Acacias; las cuales traen consigo emisiones de material particulado y gases contaminantes que perjudican a salud pública (Buitrago & Tejeiro, 2018).

Por tanto, el presente estudio se centra en evaluar los niveles de concentraciones de material particulado (PM_{10}) posiblemente emitido por el molino de arroz Roa Flor Huila, ubicado en el sur occidente de la ciudad de Villavicencio/Meta. El punto de muestreo en el que se realizó el montaje del equipo (Hi-Vol), se localizó a 235 metros del punto de muestreo, en la dirección predominante 324° (NW) del viento; una vez dispuesto el equipo se realizó la calibración para la inserción del filtro en el que se depositarían las partículas para ser que serían analizadas posteriormente.

Los datos meteorológicos fueron suministrados por CORMACARENA provenientes de la estación Catumare del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire de la ciudad, ubicado a 495 metros del molino en dirección 39° (NE). Los datos meteorológicos y de concentración de PM_{10} se correlacionaron y analizaron mediante software especializados ((R, SCREEN View, Excel, entre otros) las concentraciones de PM_{10} ; fueron contrastadas con la resolución 2254 de 2017 para ver si dichos valores superaban los niveles máximos permisibles.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Evaluar los niveles de concentración de material particulado (PM10) emitidas por el molino de arroz Roa Flor Huila, ubicada en el sur occidente de la ciudad de Villavicencio/Meta.

1.2. Objetivos específicos

- Estudiar la variación en la concentración de PM10 en el punto de influencia del molino de arroz ROA.
- Analizar el comportamiento meteorológico para el sur occidente y su relación con los niveles de contaminación atmosférica encontrados.
- Evaluar la aplicación preliminar de un modelo de dispersión de contaminantes a través del análisis de las emisiones de PM10 del molino y su influencia sobre el área.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

La exposición de la salud humana al material particulado ha sido objeto de estudio en reiteradas ocasiones puesto que se encuentra asociada con el ascenso en la morbilidad y mortalidad de los individuos, entre los múltiples contaminantes que se presentan en el aire, las partículas en suspensión muestran un mayor grado de evidencia en efectos perjudiciales sobre la salud. de estas, las partículas denominadas PM₁₀ son de mayor interés, ya que estas, llegan a penetrar en los pulmones e incluso pueden alcanzar zonas como el torrente sanguíneo (Gaviria G, Benavides C, & Tangarite, 2011).

Según un artículo realizado por BI et al; para el año 2000, China presentó un incremento de la polución del aire de las partículas en suspensión TSP y PM₁₀; las cuales se encontraron en altas concentraciones en gran parte de sus principales áreas urbanas, cerca de 208 ciudades (61.5%) presentaron niveles alarmantes en su concentración según lo permitido por el Estándar Nacional de calidad del aire se reporta que seis ciudades del norte de China alcanzaron niveles de 200 mg/m³ de TSP y 100 mg/m³ de MP₁₀; en el que PM resulta ser una de las partículas que más se presenta en forma de hollín (Gaviria G, Benavides C, & Tangarite, 2011).

Según un informe presentado por el IDEAM se expuso que el material particulado denominado PM₁₀, se presenta en altas concentraciones en las ciudades de Bogotá y Medellín; dichos resultados se obtuvieron mediante un sistema de programación R específicamente usando el paquete Openair para determinar las altas concentraciones en las zonas de estudio; dichas partículas en suspensión se encuentran presentes debido a las actividades industriales, de transporte de mercancías, sistemas de transporte público, entre otros. Las cuales presentan grandes afecciones en la salud de la población sensible a sufrir problemas cardiovasculares, pulmonares debido a su tiempo de exposición. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2016)

Candanoza et al; presentaron un estudio en el 2013 de la ciudad de Santa Marta en la que se establecieron las concentraciones de material particulado (PM₁₀) respirable y partículas gruesas (PST). En la que se expone una relación de los valores máximos y mínimos encontrados en

distintas zonas de la ciudad; las cuales arrojaron como resultado $0,179 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0,740 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en un periodo de tiempo que comprendió entre enero del 2009 y junio del 2010. Dichas muestras fueron tomadas en un espacio temporal determinado con el fin de establecer las zonas de la ciudad que presentaron grandes variaciones en sus concentraciones. Donde se reportan valores críticos de calidad es en la estación Zaleza, en la que para PM_{10} se reporta que el 83% de las muestras tomadas sobrepasaban los valores permitidos por la norma. Gran parte de estas partículas suspendidas se presentan por el tráfico automotor urbano, debido al auge de los moto taxis y el aumento del número de vehículos particulares; el manejo del carbón mineral, dados los volúmenes de éste, que son exportados desde cuatro puertos ubicados en la zona costera de Ciénaga y Santa Marta (Candanoza, Goribar, & García, 2013).

De acuerdo con los datos presentados por Wendler et al; las emisiones atmosféricas generadas por la molienda de arroz en cada una de las Etapas del Proceso de Producción y en el total; fueron obtenidas mediante los factores de emisión establecidos por la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense (EPA), la cual presentó resultados del balance en las tasas de emisión emitidas por dos industrias en la que se produce cerca de 7,353 (Tn/año) y 4,90 (Tn/año). Dichas emisiones se tienen en cuenta por el impacto que causan en los sectores (económico, social, cultural y natural) en las zonas emitidas (Wendler, 2018)

En el 2014 se desarrolló una evaluación de las concentraciones de metales pesados presentes en el polvo vial en tres sectores de alta confluencia vehicular en la ciudad de Villavicencio, los resultados de esta evaluación se relacionan con la calidad del aire, debido a que estos metales son provenientes de la combustión interna de los motores diésel y a gasolina principalmente, los cuales emiten estas sustancias y gran parte de las mismas se mantienen en suspensión en el aire y ya luego algunas variables meteorológicas propician su precipitación por lo cual la metodología del estudio se pasa en el polvo Vial. (Trujillo, 2014) (Wendler, 2018)

Según reportes presentados por la corporación autónoma del departamento del Meta (Cormacarena), se establece que la contaminación atmosférica en la ciudad de Villavicencio ha ido en aumento en los últimos años en el que se destaca el sur oriente de la ciudad como una de las zonas más vulnerables en la cual se recalca el PM_{10} como uno de los más abundantes en el área, emitidos en su gran mayoría por vehículos de combustión, algunas empresas vinculadas al sector molinero y de cementeras (LLano Sietedías, 2015).

Es por tal motivo que Arciniegas en el 2011 destaca el papel fundamental de la ingeniería en estudios relacionados con los comportamientos atmosféricos del material particulado, con la finalidad de establecer los riesgos e impactos a los que se encuentran expuestos los seres humanos, a través métodos que ayuden a la cuantificación de las emisiones y concentraciones de dichas partículas en suspensión en el medio e incluyendo las consecuencias en escenarios futuros para que junto a esto se establezcan medidas de control y prevención que mejoren la gestión pública ambiental y la calidad del aire (Arciniégas, 2012).

2.2 Marco teórico

¿De qué manera inciden las variables atmosféricas y las condiciones geográficas sobre la contaminación del aire; y bajo qué condiciones se puede presentar una mayor incidencia del material particulado?

Las variables atmosféricas o variables meteorológicas junto con las características topográficas del terreno, influyen en el proceso de dispersión y movimiento de los contaminantes, así como en la incidencia en sus concentraciones; las cuales, afectan al medio ambiente y sus habitantes; el efecto del contaminante puede ser alto en poblaciones que se encuentran situadas en grandes cascos urbanos, esto es el caso de ciudades como Bogotá, Santiago de Chile, São Paulo y México, D.F. En lugares como estos los factores meteorológicos, como la inversión térmica, reducen la dispersión de los contaminantes, sin mencionar qué en ciudades como México, D.F. y Santiago de Chile, las condiciones topográficas, orográficas, vientos moderados en la superficie y dirección de los vientos, dificulta y limita la ventilación, dificultando la dispersión de los distintos contaminantes como el PM_{10} , generando estancamiento temporal lo cual reduce las condiciones en la calidad del aire, sin mencionar que las intensas radiaciones solares, favorecen a la formación de la capa de Ozono y otros contaminantes fotoquímicos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2003).

¿Cuáles son las etapas críticas del proceso industrial del arroz en las que se genera material particulado?

La industria de la molienda de arroz es una de las que más impactos ambientales presenta a nivel local; las emisiones atmosféricas producidas son material particulado y en pequeñas proporciones gases de combustión. El material particulado que estas emiten se da en la gran mayoría de las etapas del proceso ya sea por las actividades de cargue, descargue, manejo, acondicionamiento, trilla, entre otras; este contaminante tiene una influencia sobre la calidad del aire y la salud pública, y los gases producidos de la combustión generada en la etapa de secado del grano, en el cual se implementan secadores de gas natural o carbón coque para calentar el aire que pasa a través de los lechos del grano (Quesquén, 2005) (Wendler, 2018).

¿Qué medidas se deberían tener en cuenta para reducir su emisión?

En el 2015, miembros de los 193 estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 para el desarrollo Sostenible, en la cual se establece la visión transformadora hacia la sostenibilidad de la sociedad, economía y medio ambiente, la cual será la guía referente de trabajo durante los próximos 15 años; la cual representa un conocimiento de los 17 objetivos de desarrollo sostenible denominado (ODS) asociados a dicha agenda. (Organizaciones de las Naciones Unidas (ONU), 2015)

Algunas industrias llevan a cabo procesos como el balance de masas para reducir las emisiones de muchas de las fuentes; este método de balance de material es implementado comúnmente en los casos en que no hay datos disponibles de muestreos en la fuente, factores de emisión u otros métodos de desarrollo; esta técnica es frecuentemente aplicada a fuentes puntuales, las cuales, se puede usar a nivel de dispositivo o de planta, mientras que en el caso de las fuentes de área el balance de materiales podría aplicarse a nivel regional o nacional. (Wendler, 2018).

Otra técnica para calcular las emisiones directamente y para verificar las estimaciones de emisión calculadas son a través de la técnica de extrapolación, aunque este enfoque no toma en cuenta de manera pertinente algunas diferencias importantes entre dos regiones y presentar sesgos entre un inventario a otro; resulta práctico cuando este es combinado con un macro de modelado, es así que

la extrapolación da un enfoque práctico y eficiente en el desarrollo de estimaciones de emisiones que las zonas o regiones en que la información es escasa o insuficiente para soportar metodologías de estimación más rigurosas que ayuden en el proceso de reducción de la contaminación atmosférica producto de las emisiones industriales. (Wendler, 2018).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 PM₁₀ y su monitoreo.

PM₁₀ son partículas inhalables, con un tamaño menor a 10 micrómetros, son producidas por fuentes móviles o fijas, estas partículas se componen de materiales sólidos y líquidos, que se dispersan en el aire, estas pueden ser de origen natural o antropogénico. (Canales-Rodríguez, Quintero-Núñez, Castro-Romero, & García-Cuento, 2014). Concentración de una sustancia en el aire: es la correlación que hay entre el peso de una sustancia y la unidad de volumen de aire donde está incluida. (Resolución No.909, 2008)

Para monitorear la calidad del aire se requiere medir de forma constante diversos parámetros, uno de estos es el PM₁₀ el cual puede ser rastreado mediante un equipo llamado Hi-Vol, este tiene como principal ventaja la reducción de costos de operación, porque cuenta con un tamaño menor lo que facilita su transporte y requiere de insumos (filtros) más pequeños; este equipo se encarga de succionar un determinado volumen de aire hacia la cámara de muestreo mediante un filtro en un tiempo establecido (24 horas), este filtro es debidamente pesado antes y después del procedimiento, la concentración de PM₁₀ es calculada como la masa recogida dividida por el volumen de aire. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial , 2010)

2.3.2 Contaminación atmosférica.

Se cataloga como contaminación atmosférica la presencia de una o más sustancias que alteren la calidad del aire; de modo que implique riesgos, daños o molestias graves para el personal que habiente en la zona, ya sea natural o rural; la presencia de una sustancia que sea considerada contaminante, dependerá del efectos que incidan en el individuo; la presencia en la atmósfera de sustancias contaminantes puede llegar a presentarse por acciones del hombre como los procesos industriales que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones

residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes, el metabolismo de la materia viva y los fenómenos naturales que se producen en la superficie o en el interior de la tierra, las cuales van acompañadas de emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles. Los cuales afecta los diferentes ciclos Agua (H_2O), Carbono (C), Oxígeno (O_2), Hidrógeno (H), Azufre (S) y Nitrógeno (N_2) (Carnicer, 2008) (González & Niclós, 2002).

2.3.2.1 Contaminantes primarios.

Se catalogan como contaminantes primarios, aquellos gases que son emitidos directamente a la atmósfera y después del tiempo no presentan algún tipo de alteración en su composición; entre los que se encuentran: el dióxido de azufre, el monóxido de carbono, el óxido de nitrógeno, los hidrocarburos y las partículas (Carnicer, 2008) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007).

2.3.2.2 Contaminantes secundarios

Los contaminantes secundarios son productos generados mediante combinaciones químicas en la atmósfera con uno o más contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera que estén sujetos a cambios. Entre los contaminantes secundarios encontramos el ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que se forma por la oxidación del SO_2 , el dióxido de nitrógeno NO_2 , que se forma al oxidarse el contaminante primario NO y el ozono, O_3 , que se forma a partir del oxígeno O_2 (Carnicer, 2008) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007).

2.3.3 Fuentes de emisión

Según el artículo 2.2.5.1.1.2 del Decreto 1076 de 2015, se define como una fuente de emisión “toda actividad, proceso u operación, realizada por los seres humanos o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire”.

2.3.3.1 Fijas

Se catalogan como fuentes fijas, aquellas edificaciones o instalaciones situadas en un lugar determinado e inamovible, aun cuando las emisiones del contaminante se presenten de manera dispersa; de esta manera se pueden catalogar como: Puntuales; fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas; y, dispersas o difusas, las cuales son aquellas en que los focos de emisión de una fuente fija se dispersan en un área, por razón del desplazamiento de la acción causante de la emisión (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

2.3.3.2 Móviles

Son aquellas que, por su razón de uso son susceptibles a desplazarse, entre los que se incluyen los vehículos de tipo motor como: motocicletas, los motociclos, automotores, mototriciclos, trenes, barcos, aviones, entre otros. (Castro & Escobar, 2019) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017)

2.3.4 Contaminación del aire

La contaminación en el aire resulta una de las principales problemáticas ambientales, las cuales en su gran mayoría se derivan de acciones antrópicas; las actividades industriales como la fundición y la producción de sustancias químicas, domésticas, vehiculares, agropecuarias, entre otras pueden provocar el deterioro de la calidad del aire. la combustión empleada para generar energía eléctrica o movimiento, para obtener calor es el proceso más significativo de emisión de contaminantes (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007).

2.3.5 Calidad del aire

La calidad del aire se cataloga como un estándar universal de la mezcla gaseosa de conocida composición, del cual es un conjunto de características físicas y químicas definidas, que aseguran el estado de excelencia del recurso para satisfacer la salud y el bienestar de la población y ambiente; es así como se puede llegar a combatir la contaminación, en caso de que ésta sea alterada, la cual será comprobada, a través de la gestión de planes de manejo del recurso aire. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007)

2.3.6 Enfermedades respiratorias

Según evaluaciones realizadas por la OMS, se asocia que la carga de enfermedades presentadas por la contaminación del aire ha causado más de dos millones de muertes prematuras que se puede atribuir a la contaminación del aire; los efectos provocados sobre la salud son amplios, pero en su gran mayoría se producen por las partículas que se introducen en los sistemas respiratorios (La acumulación en los pulmones origina enfermedades como la silicosis y la asbestosis) y cardiovasculares. Entre las partículas que más presentan complicaciones se en cuenta el MP10, que constituye una masa de partículas gruesas de tamaños comprendido entre 2,5 y 10 μ , con finas con tamaños inferiores a los 2,5 y PM 2,5; las cuales se consideran que contribuye a los efectos sobre la salud de las personas en el ámbito urbano (Organización Mundial de la Salud (OMS), 2005) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), 2007).

2.3.7 Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas son indicadores que ayudan a la medición de las condiciones propias de determinada zona, estas deben tenerse en cuenta para los análisis de concentraciones de contaminantes en el aire ya que cambian las condiciones de muestreo y pueden modificar la concentración de determinadas sustancias en el aire, entre estos parámetros encontramos: humedad, temperatura, presión barométrica, precipitaciones, entre otros, los análisis meteorológicos son fundamentales para predecir impactos ambientales. (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), 2004)

Una de las herramientas más utilizadas para la predicción y modelación de la dispersión de contaminantes en la atmósfera mediante rosas de vientos es el WRPLOT View, ya que este tiene en cuenta las variables meteorológicas y las condiciones topográficas. (Ramos, Magaña, & Carrera, 2015)

Una rosa de vientos es la representación gráfica de la dirección y velocidad de los vientos, esta se ubica sobre una estrella que señalan los puntos cardinales. (Salas, 2015)

2.3.7.1 Presión Atmosférica

La presión atmosférica varía según la altitud, a una mayor altitud menor presión atmosférica, en un aumento paulatino en la altitud de 1.000 m, representa una disminución de presión

atmosférica de aproximadamente 100 hPa. La precisión atmosférica es de mayor importancia en las variaciones diarias del tiempo, ya que el diferencial de presión atmosférica es el origen de los desplazamientos del aire, los que a su vez producen variaciones en la temperatura, precipitación y humedad relativa. Sus variaciones diarias en superficie no son perceptibles, como lo son, por ejemplo, los de temperatura, precipitación, humedad relativa o viento. Es por ello que la presión en relación con las otras variables del tiempo, como las variaciones en la presión del aire son un factor de la mayor importancia en los pronósticos del tiempo (Fernández & Padial, 2018).

2.3.7.2 Temperatura

El concepto de temperatura nace de la idea de medir el grado de caliente o frío, el cual resulta relativo de las observaciones entre las variaciones de calor sobre un cuerpo ante una variación en su temperatura; las sensaciones de calor o frío, derivan de las propiedades que posee una sustancia para conducir el calor junto a otros factores, es por ello que la temperatura resulta ser una de las variables básicas del tiempo y clima, las cuales varían en diferentes escalas de tiempo en un mismo lugar, en periodos estacionales, diarios, horarios, entre otros; el instrumento que se caracteriza en la implementación de la medición de la temperatura para grandes extensiones, son las isotermas; Cuyas curvas trazadas sobre un mapa que se unen a una serie de puntos de igual temperatura identifican los cambios de temperatura que se presentan en una determinada dirección dictaminando el espacio se tiene como nombre gradiente de temperatura (Inzunza, s.f.).

2.3.7.3 Viento

Se designa propiamente como "viento" a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal por las fuerzas de presión y en su gran mayoría, resultado del equilibrio establecido entre tales fuerzas y la fuerza de coriolis; las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, más frío y, por tanto, más denso, la cual es producto de las diferencias de temperatura existentes producidas por el desigual calentamiento en las distintas zonas terrestres y atmosféricas (Capel, 1999). El viento constituye uno de los elementos meteorológicos que presenta cierta dificultad en su tratamiento, debido a su carácter sectorial; es por ello que el viento puede ser considerado como un vector con magnitud y dirección (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2019).

2.3.7.4 Velocidad del viento

En meteorología al hablar sobre la velocidad del viento, se hace referencia al conjunto de aire circundante en movimiento que se encuentra cerca de la latitud o superficie terrestre; la cual presenta una relación entre la distancia recorrida por la masa de aire con respecto al tiempo empleado en su desplazamiento o trayectoria; adherido a esto; la velocidad del viento puede presentar distintas características de evaluación, entre las que se encuentran; la velocidad instantánea que se presenta entre un intervalo infinitamente pequeño y la velocidad media que presenta un intervalo de tiempo finito (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2019).

2.3.7.5 Dirección del viento

La dirección del viento se establece según su lugar de ascendencia. Al ser los datos una serie de tiempo larga en su mayoría, son medidos por instrumentos de presión o de carácter rotativo. Entre los instrumentos más utilizados se encuentra el anemógrafo mecánico tipo universal con transmisión mecánica que registra con un trazo fino la dirección, el recorrido y la velocidad instantánea del viento; en un anemógrafo mecánico, consta de una veleta y un medidor de velocidad conectado a unos rodillos que marca el sobre un papel (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2019).

2.3.7.6 Precipitación.

La precipitación es la fase el ciclo hidrológico que proporciona agua al terreno en forma de líquido, sólido (nieve, granizo) y vapor. Las cuales dan origen a las corrientes superficiales y subterráneas. Las nubes están compuestas por corpúsculos o gotas de aguas con un medio de 0.02 mm. El proceso de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en estado de vapor a la atmósfera de tal forma que se enfríe y condense. La precipitación se presenta de tipo: Convectiva, orográficas y ciclónicas (Salge, 2018).

2.3.7.7 Radiación solar

La superficie de la Tierra, suelos y océanos, y también la atmósfera, absorben energía solar y la radiación en forma de calor en todas direcciones. Dicha energía llega emitida desde el sol con

una longitud de onda entre los 300 y 2.500 nm. Dicha radiación se presenta en distintos componentes: radiación directa (procedente en línea recta desde el sol), radiación difusa (procedente de todas direcciones, salvo del sol) y albedo (radiación reflejada por la superficie terrestre) (Instituto de hidrología, 2005).

2.3.8 Rosa de vientos

La rosa de los vientos es útil para el análisis de la dinámica atmosférica a través de su movimiento representado por las ocho puntas con las direcciones de los ocho vientos (Norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste y noroeste), junto con ocho medias puntas que se encuentran equidistantes de los señalados; los cuales ayudan a estudios meteorológicos, como la calidad del aire, gestión del riesgo, entre otros (Ñaupari, 2006).

2.3.9 Hi-Vol.

Equipo muestreador de alto volumen de aire del ambiente hacia el interior de la caja mediante un sistema de succión, el cual se encarga de muestrear las partículas de diámetro igual o inferior a 10 μm ; mediante un filtro durante un periodo de tiempo determinado, generalmente 24 horas. (Universidad de la Salle, 2017)

2.3.10 Filtro

Se presentan dos tipos de filtros, para el Equipo Hi-Vol para la toma de muestras de partículas PM 10; el primer filtro es un PN G3000 en fibra de cuarzo PN GQMA y para el Equipo PM2.5 es un filtro en teflón de 45mm. Estos tipos de filtros se disponen en el interior del equipo durante el periodo de tiempo establecido y una vez transcurrido el tiempo de monitoreo se analiza el filtro mediante gravimetría (Sanabria, 2012)

2.3.11 WRPLOT VIEW

Es un software de tipo gratuito implementado para la construcción de la rosa de vientos con datos meteorológicos. En la cual se desarrolla un gráfico de vista previa de la dirección y velocidad del viento en la zona de estudio, junto con una gráfica de frecuencia; el cual puede ser llevado a Google Earth Pro para ser interpretado con la orografía y características del terreno (Herrera & Vlueta, 2017).

2.4 Marco legal

Colombia es un país que se ha acogido a múltiples tratados mundiales para la preservación del medio ambiente, en los que se han dispuesto diferentes leyes enfocadas a mejorar el estado del ambiente, partiendo desde su vigilancia, control y protección.

Tabla 1. Normatividad legal vigente.

Constitución política de Colombia	Descripción
Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
Artículo 80	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.
Ley	Descripción
Ley 23 de 1973	El objetivo de la presente ley busca definir y comprender lo que se entiende por contaminación o alteración del medio ambiente, para así prevenir y controlar dicho impacto; esto como objetivo de buscar el mejoramiento de la conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional.
Decreto	Descripción
2811 de 1974	El estado y los particulares deben participar en el proceso de manejo y preservación de los recursos naturales renovables puesto que también son de utilidad pública e interés social. Es por ello que lograr regular las conductas humanas, individuales o colectivas y de administración pública, respecto al ambiente y de los recursos naturales y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos.
Resolución	Descripción
Resolución 909 de 2008	La presente resolución tiene como objetivo establecer las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes en el aire para fuentes fijas, adoptando los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas.
Resolución 2154 de 2010	El presente protocolo establece las directrices, metodología y procedimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en el territorio nacional.
Resolución 2254 de 2017	Por la cual se establece la norma de calidad del aire o niveles de inmisión (niveles máximos permisibles de contaminantes criterio en el aire) y adopta dispersiones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objetivo de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda causar por la exposición a los contaminantes en la atmósfera.

NOTA Descripción breve del contenido de las normas, Por Afanador & Peña, 2019

3. Desarrollo de la pasantía

3.1 Metodología

3.1.1 Fase 1

A continuación, se describen los principales procedimientos de toma de muestra y análisis de datos utilizados en este estudio.

Determinación del punto de muestreo y montaje

Con acompañamiento de la comunidad, quienes indicaron las zonas presuntamente afectadas por la presencia de PM₁₀ se dispuso a establecer el sitio en el cual se instaló el equipo necesario para la toma de muestras (Hi-Vol), tomando especificaciones y argumentando criterios propios de los responsables del proyecto.

El equipo se ubicó en una de las viviendas del barrio Catumare (cll 17b sur #45-19 mz ZA casa 14 a 235 metros del molino), afectadas según testimonios por la presencia de material particulado proveniente del molino de Arroz Roa y de acuerdo con la predominancia de la dirección del viento, se establecen condiciones de seguridad del equipo: fuente de energía eléctrica constante, altura óptima para la toma de muestras, medidas de seguridad física, entre otras, este punto se encuentra en las siguientes coordenadas: 4°06'30.44"N 73°39'04.84"O 437msnm.

Se siguieron las recomendaciones del (Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica) para la toma de muestras utilizando un muestreador manual de alto volumen (TISCH-ENVIROMENTAL; 1-TSP-AND-PM10). Se utilizaron filtros de fibra de vidrio los cuales se rotularon asignando un número de identificación. Posterior a esto se pusieron en un desecador durante un tiempo de 24 horas para así remover la humedad, Paso seguido se pesaron los filtros en el laboratorio utilizando una balanza analítica. Finalizando esto se verificó la integridad de los filtros y se guardaron en bolsas con sello hermético por separado.

Calibración de los equipos de muestreo: se hizo reconocimiento de los equipos necesarios para el estudio, adicionalmente se cambian el motor y respectivos accesorios del HI-VOL para garantizar su continuo funcionamiento durante el periodo de muestreo.

El proceso de calibración se realiza una vez ubicado el equipo en el punto de muestreo, este proceso consta de una revisión de fugas, para lo cual es necesario encender el equipo y apoyado en manómetros se verifican las variaciones de presión, si esta varía considerablemente entre un punto y otro, posiblemente el equipo presente fugas, se realizan ensayos aumentando y disminuyendo el caudal del flujo de aire, y se determina que no existen fugas en el equipo que impidan la utilización de este para el levantamiento de muestras de PM_{10} .

La ejecución del muestreo dio inicio el día 30 de mayo del 2019, exactamente a las 00:00, momento en que el equipo inicia su funcionamiento, durante 18 días de forma continua, como se indica en el Manual de Monitoreo y Seguimiento Para la Calidad del Aire, durante el procedimiento no se presentaron novedades que implicaran el cese de operaciones de esta manera se da por terminado el proceso de levantamiento de muestras de material particulado PM_{10} el día 16 de junio del 2019, según el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la calidad del aire, cada noche justo a las 00.00 horas se procedía a realizar la toma de los siguientes datos: la presión interna del equipo y las horas de trabajo, seguido a esto se retira el filtro usado y se coloca uno nuevo para tomar las muestras del siguiente día, se inicia la operación y nuevamente se toman datos de presión interna.

Especificaciones del procedimiento del cambio de filtro y toma de datos.

Para brindarle confiabilidad al muestreo fue necesario contar con algunos materiales como guantes, tapabocas, bolsas resellables, reloj, manómetros, faltando cinco (5) minutos para las 00:00, se tomó cada noche la hora indicada por el tablero del HI-VOL, indicó las horas trabajadas por el equipo, la cual debe ser de 24 horas aproximadamente, seguido a esto se conectó el manómetro al equipo para tomar nota de la presión a la que estaba siendo sometido el equipo antes de ser apagado, llegadas las 00:00 se cortaba el suministro de energía eléctrica y se procedía a cambiar el filtro usado por uno nuevo, la manipulación de estos era muy cuidadosa para evitar alterar las muestras, el filtro usado se guarda en una bolsa hermética para proteger su integridad, finalizado esto se aseguraba el equipo y se retomaba el suministro de energía eléctrica, intentando invertir el menor tiempo posible en esta acción, para finalizar nuevamente se conectaba el manómetro para una medida que corresponde a la presión inicial del siguiente día muestreado.

Una vez obtenidas las 18 muestras, se procedió a llevarlas a laboratorio para un proceso de desecado con el fin de extraer la humedad y evitar que esta nos influyera en el proceso de pesaje final donde se tomó nota y verificó la variación en peso de las muestras antes y después del procedimiento antes mencionado.

3.1.2 Fase 2

Con respecto a la información secundaria que corresponde a los datos meteorológicos, se realizó la solicitud vía correo electrónico ante la autoridad ambiental a cargo de las estaciones de monitoreo en la ciudad de Villavicencio, solicitando así la información pertinente; datos de precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad de los vientos, correspondientes al mismo periodo de tiempo en el que se tomaron los datos de PM_{10} , los datos solicitados corresponden a la estación ubicada en el Barrio Catumare con coordenadas $4^{\circ}06'28.63''$ O, $73^{\circ}39'20.26''$ N, ya que por su cercanía con el punto de muestreo, nos aproxima a las condiciones reales en las que se realizó el estudio además de esta información se obtienen informes de años anteriores con respecto a la calidad del aire realizados en el mismo sector del sur occidente de Villavicencio.

Estos datos fueron organizados y son tomados a consideración los siguientes datos: Precipitación, Temperatura, Velocidad del Viento y Dirección del Viento; para realizar correlaciones y determinar la influencia de los mismos sobre las concentraciones de PM_{10} encontradas, así como para obtener la Rosa de Contaminantes, para lo anterior hemos desarrollado funciones de Excel e implementado el software R Studio, para obtener gráficas y datos estadísticos que describen el comportamiento meteorológico durante el periodo de muestreo.

Además, para la obtención de los datos de concentraciones de PM_{10} , fue necesario apoyarse en la Carta de Flujo, una vez obtenidas las concentraciones y medidas en $\mu g/m^3$, estas son comparadas con la normatividad existente con respecto a los límites máximos permisibles, y así determinar el estado de la calidad del aire en el sector aledaño a la organización ROA Florhuila y demás industrias del barrio Catumare.

3.1.3 Fase 3

El modelo SCREEN fue desarrollado para proporcionar un método fácil de usar para obtener estimaciones de concentración de contaminantes basadas en el documento de procedimientos de filtración. Aprovechando la gran disponibilidad de las computadoras personales (PCs), el modelo SCREEN hace los cálculos de filtración accesibles a una gran variedad de usuarios. (Environmental Protection Agency (EPA), 2000)

El Tipo de modelo implementado es un modelo de dispersión Gaussiano, este modelo describe el transporte y mezcla de los contaminantes asumiendo que las emisiones presentan, en las

direcciones horizontal y vertical, una distribución normal o de curva Gaussiana con una concentración máxima en el centro de la pluma. (González C. , 2018)

Los datos de entrada que se requirieron para realizar el modelo de dispersión fueron los siguientes: tasa de emisión, la cual calculamos tomando un factor de emisión de la base de datos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el consumo por actividad medido en Toneladas de Biomasa requerida, que para el caso ha sido tomado de los expedientes de Cormacarena, además se hace una estimación del porcentaje de reducción de emisiones teniendo en cuenta que la Organización Roa Florhuila cuenta con un sistema de control de emisiones que implementa el uso de ciclones, y estos tienen un porcentaje de eficiencia que varía según las condiciones presentes entre el 30 al 90 por ciento. Además, se requiere ingresar la altura de la fuente de emisión y las dimensiones de la fuente emisora.

La tasa de emisión se calcula a través la fórmula:

$$E = FE * CA * \%R$$

Donde:

E: Emisión

FE: Factor de emisión

CA: Consumo por actividad

%R: Porcentaje de reducción

Esta fuente se clasifica como fuente fija de área, porque realiza varias actividades dentro de las instalaciones que son susceptibles de generar emisión de material particulado.

El área que se toma se calcula con el apoyo de google Earth de donde tomamos las dimensiones de la Organización Roa Florhuila y posteriormente calculamos el área en metros cuadrados, adicional a esto, se extrae de la misma fuente la distancia existente entre el punto de emisión y el punto de muestreo.

Este tipo de modelos realiza algunas aproximaciones o asume unas condiciones constantes, entre las que encontramos: una emisión continua desde la fuente a una velocidad constante, un flujo en estado estacionario y condiciones meteorológicas constantes, conservación de la masa en la pluma, lo que implica que ninguno de los materiales es eliminado mediante reacción química, asentamiento gravitacional o deposición en la superficie, todo el material que llega a la superficie a través de la difusión turbulenta se refleja atrás y ninguno es absorbido allí, la distribución

Gaussiana de la concentración media en la dirección lateral y vertical en cualquier ubicación a favor del viento en la pluma.

Metodología para la determinación de la estabilidad atmosférica Pasquill-Gifford, la estabilidad atmosférica se determina relacionando datos de radiación solar y velocidad del viento ver Tabla 2, y puede clasificarse como estabilidad atmosférica tipo A, B, C o D.

Tabla 2. Estabilidad Atmosférica.

Velocidad viento (m/s)	Radiación Solar Global (W/m ²)					
	>700	700-540	540-400	400-270	270-140	<140
<2	A	A	B	B	C	D
2-3	A	B	B	B	C	D
3-4	B	B	B	C	C	D
4-5	B	B	C	C	D	D
5-6	C	C	C	C	D	D
>6	C	C	D	D	D	D

NOTA: Descripción de la estabilidad atmosférica en relación a la radiación solar y velocidad del viento, Por Afanador & Peña, 2019

Días seleccionados para la modelación, Se seleccionaron los días 06/06/2019 y 12/06/2019 que corresponden a las muestras #8 y #14, estas son las que presentaron menor y mayor concentración de material particulado respectivamente.

4. Resultados obtenidos

4.1 Punto de muestreo y Resultados de Laboratorio

El punto de muestreo se estableció dentro de la rosa de vientos y se encuentra a 235 metros de la Organización Roa Florhuila, ubicada en el barrio Catumare.

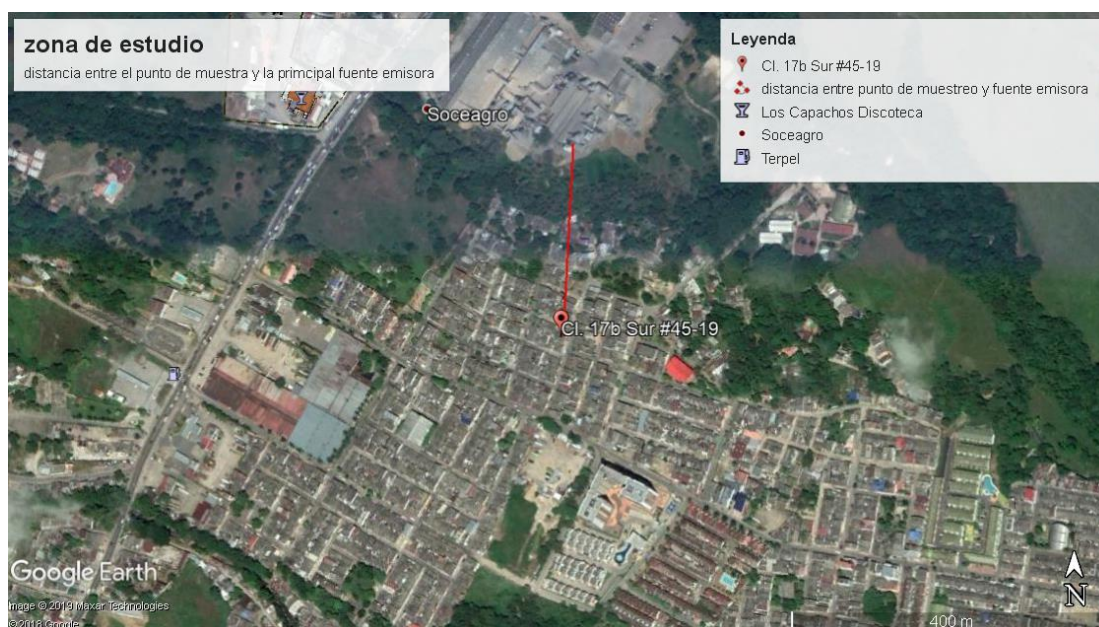


Figura 1. Ubicación, Adaptado de: Google Earth

Del periodo operacional del equipo HI-VOL se diligencia la Anexo 1. **Soportes**

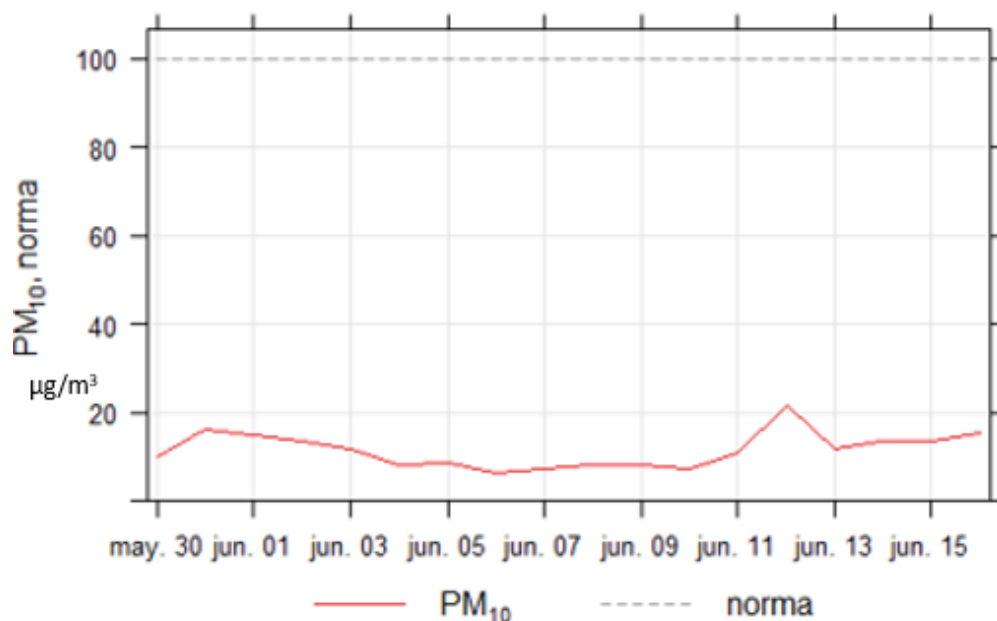
Tabla 11 (ver anexos), en la que se presenta la información tomada cada noche durante el proceso de cambio del filtro correspondientes a las presiones, horas de trabajo, además, se presenta la diferencia en gramos (g) que presenta cada filtro entre el pesaje inicial y el pesaje final

4.2 Resultados monitoreo de Material Particulado PM₁₀

4.2.1 Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Los datos presentados por la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestran valores inferiores a la norma, el día muestreado con mayor concentración de PM₁₀ medido en

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, fue el 12 de junio del 2019 el cual presenta una concentración de $21,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y el de menor concentración es el 06 de junio del 2019 con $6,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Según la Resolución 2254 de 2017 emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el límite máximo permisible para el muestreo de 24 horas es de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por tanto, las concentraciones



encontradas durante el periodo de muestreo (30 de mayo-16 de junio del 2019), son aceptables.

Figura 2. PM₁₀ en relación con la Resolución 2254 de MADS. Por Afanador & Peña, 2019

En la Tabla 3, se presenta a continuación los valores máximos, mínimo, promedio, desviación estándar y percentil de la concentración de PM₁₀ que se obtuvo de los días de muestreo. Se observa que el dato promedio registrado es de $11,533 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (desv. std = $4,003 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla 3. Estadísticos básicos de las concentraciones de PM₁₀.

	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Promedio	11,533
Max	21,800
Min	6,489
Desviación Estándar	4,003
Percentil 95%	17,003

NOTA. Descripción de los valores máximos, mínimo, promedio, desviación estándar y percentil de la concentración de PM, Por Afanador & Peña, 2019

4.2.2 Índice de calidad del aire, ICA, para PM10

Índice de Calidad del Aire			Puntos de corte del ICA						
ICA	Color	Categoría	PM ₁₀ µg/m ³ 24 horas	PM _{2.5} µg/m ³ 24 horas	CO µg/m ³ 8 horas	SO ₂ µg/m ³ 1 hora	NO ₂ µg/m ³ 1 hora	O ₃ µg/m ³ 8 horas	O ₃ µg/m ³ 1 hora ⁽¹⁾
0-50	Verde	Buena	0 – 54	0 – 12	0 – 5094	0 – 93	0 – 100	0 – 106	
51-100	Amarillo	Aceptable	55 – 154	13 – 37	5095 – 10819	94 – 197	101 – 189	107 – 138	
101 - 150	Naranja	Dañina a la salud de Grupos Sensibles	155 – 254	38 – 55	10820 – 14254	198 - 486	190 – 677	139 - 167	245 – 323
151 - 200	Rojo	Dañina a la salud	255 – 354	56 – 150	14255 – 17688	487 – 797	678 - 1221	168 - 207	324 – 401
201 - 300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 – 424	151 – 250	17689 – 34862	798 – 1583	1222 – 2349	208 - 393	402 – 794
301 - 500	Marrón	Peligrosa	425 - 604	251 – 500	34863 - 57703	1584 - 2629	2350 - 3853	394 ⁽²⁾	795 – 1185

Figura 3. Puntos de corte del ICA. Adaptado de: Resolución 2254 del MADS

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, extraída de la Resolución 2254 de 2017, presenta las categorías para el índice de calidad del aire.

Junio de 2019

(µg/m³)

domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
26	27	28	29	30	31	1
				9,96	16,16	14,98
2	3	4	5	6	7	8
13,61	11,88	8,17	8,59	6,49	7,38	8,16
9	10	11	12	13	14	15
8,12	7,34	10,75	21,8	11,79	13,42	13,58
16	17	18	19	20	21	22
15,43						
23	24	25	26	27	28	29

Figura 4. Índice de calidad del aire (ICA) para PM10, durante el periodo muestreado. Por Afanador & Peña, 2019

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, representa el ICA obtenido en el monitoreo con referencia al material particulado PM₁₀, donde se le da la categoría de buena, al

encontrarse dentro del rango de 0-54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas, según lo indica la Resolución 2254 de 2017.

4.3 Análisis de datos meteorológico

En la siguiente Tabla 4 , se presentan los parámetros meteorológicos (Dirección del viento (m/s), Humedad relativa, Precipitación (mm), Radiación, Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Velocidad del viento (m/s)), obtenidos en los 18 días que se realizaron los muestreos por la estación Catumare del Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire, operada por Cormacarena, que se encuentra ubicada en el área circundante al molino ROA.

Tabla 4. Condiciones meteorológicas obtenidas de la estación Catumare.

$^{\circ}\text{N}$	Wd (m/s)	Hr	Ppt (mm)	Rs	T ($^{\circ}\text{C}$)	Ws (m/s)
1	108,023	74,4166667	8,9	299,4166667	25,9208333	0,90916667
2	274,826	78,8695652	2,1	251,7307692	25,4217391	0,8573913
3	5,407	86,5416667	14,2	66,58333333	23,4125	0,73958333
4	44,5687507	77,9565217	9,9	246,9153846	24,7565217	0,91521739
5	271,09399	81,5416667	38,4	232,6666667	24,3958333	0,72708333
6	129,047009	77,625	30,9	291,6363636	24,85	1,26541667
7	228,032956	74,5833333	0	345,6666667	25,0708333	0,84416667
8	303,954693	86,375	9,8	77	22,55	0,73583333
9	93,8767288	77,5416667	0	298,6666667	24,3041667	1,03916667
10	310,52719	82,173913	11,2	158,9	24,3956522	0,70173913
11	3,69497392	79,4583333	6,4	233,5	24,8583333	0,68958333
12	99,1659594	87,4583333	6,8	116,9166667	22,875	0,70958333
13	92,5908901	81,7916667	0,6	243,5833333	23,8458333	0,79166667
14	43,2738599	80,25	8,9	220,1666667	23,8041667	0,75875
15	52,9953467	81,9166667	3	166,25	23,4958333	0,74083333
16	352,089234	81,3333333	5,3	232,6666667	24,4625	0,69833333
17	77,1112098	82,3333333	13,3	196,4166667	23,625	1,07583333
18	19,0924245	79,125	0,6	217,4166667	24,5625	0,69833333

Nota. Dirección del viento (Wd), Humedad relativa (Hr), Precipitación (ppt), Radiación (Rs), (t), Velocidad del viento (Ws) y Numero de muestras ($^{\circ}\text{N}$). Fuente: Elaboración propia con datos suministrados por CORMACARENA. Por Afanador & Peña, 2019

En la Tabla 5, se evidencian los valores máximos, mínimo, promedio, desviación estándar y percentil al 95% de las variables meteorológicas que se obtuvieron de los días de muestreo. Se observa que la temperatura promedio registrada es de 24,2 °C, la cual, se relaciona con la temperaturas promedios registradas por (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), s.f.). Según el valor máximo de la temperatura registrado en los días de muestreo, fue de 25,9 °C; el cual no evidencia que dichos valores alcancen los niveles máximos registrados que oscilan al medio día entre los 28 y 32 °C. para el caso del valor mínimo registrado se presenta una temperatura de 22,5 °C. La velocidad del viento registra su valor máximo de 1,265 (m/s) y un valor mínimo de 0,689 (m/s), con una relación promedio de 0,827 (m/s). La precipitación máxima que se registra es de un valor de 38,4 (mm), junto su mínima registrada de 0 (mm) y un promedio de 9,461 (mm). Para el caso de la humedad relativa se evidencia un valor máximo de 87,458 y un valor mínimo de 74,416; con un promedio de 80,627.

Tabla 5. Estadísticos de las condiciones meteorológicas obtenidas de la estación Catumare.

	Wd (m/s)	Hr	Ppt (mm)	Rs	T (°C)	Ws (m/s)
Promedio	139,409	80,627	9,461	216,449	24,255	0,827
Max	352,089	87,458	38,4	345,666	25,920	1,265
Min	3,694	74,416	0	66,583	22,55	0,689
Desviación	116,955	3,693	10,301	75,840	0,868	0,160
Estándar						
Percentil	316,761	86,679	32,025	306,354	25,496	1,104
95%						

Nota. Dirección del viento (Wd), Humedad relativa (Hr), Precipitación (ppt), Radiación solar (Rs), Temperatura (t), Velocidad del viento (Ws) y Numero de muestras (°N). Por Afanador & Peña, 2019

4.4 Procesamiento de la información

4.4.1 Diagramas de correlación

La determinación de los coeficientes de correlación R entre cada una de las variables meteorológicas y el material particulado (PM₁₀), fueron obtenidos mediante Excel.

Tabla 6. Coeficiente de correlación “R” entre la variable PM10 y las condiciones meteorológicas.

	Temperatura	Velocidad del Viento	Precipitación Atmosférica
PM ₁₀	0,06785986	-0,15001434	-0,045601984

Nota. Correlación entre las variables meteorológicas y el PM₁₀. Por Afanador & Peña, 2019

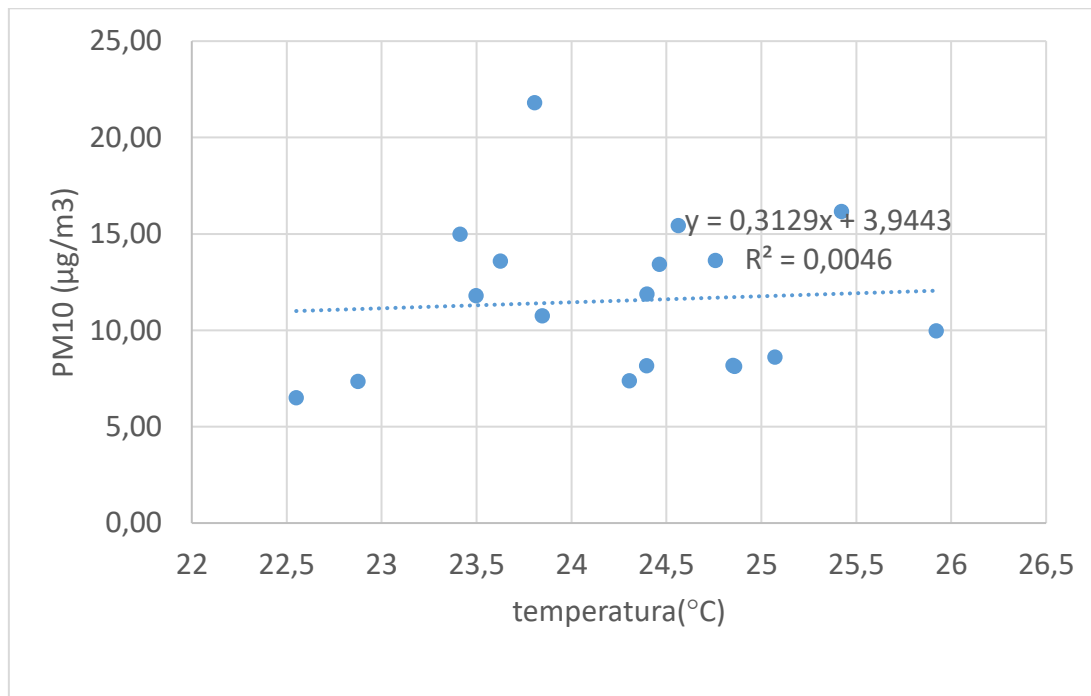


Figura 5. Figura. Correlación entre PM10 y la temperatura. Adaptado de “Excel, 2019”. Por Afanador & Peña, 2019

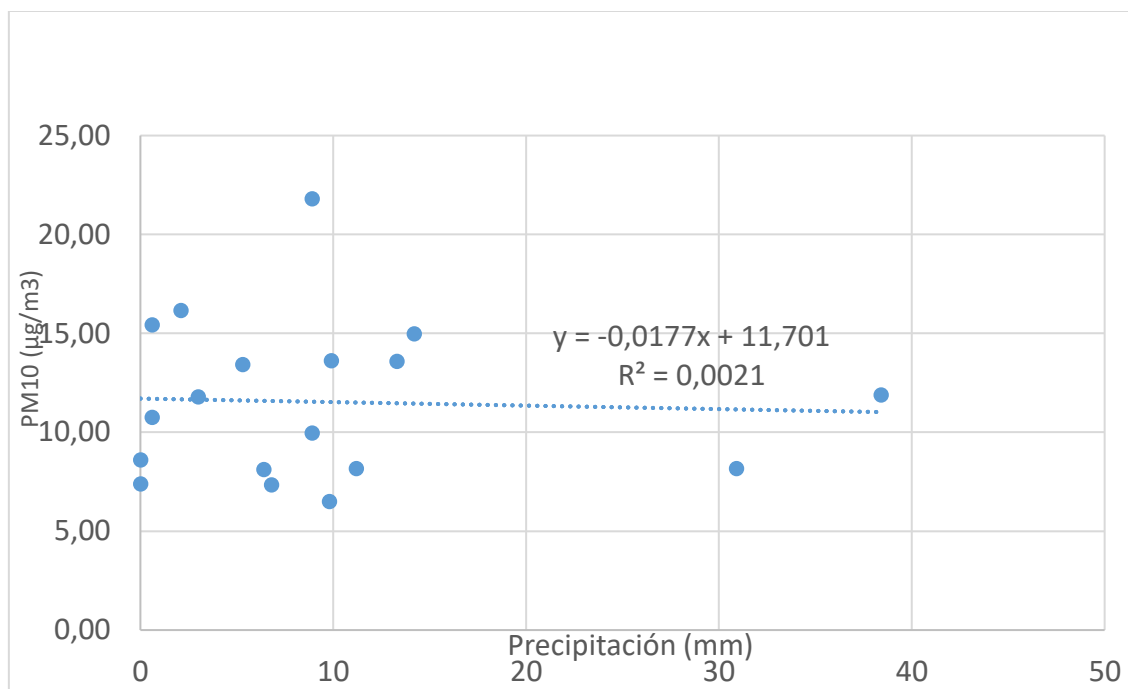


Figura 6. Correlación entre PM10 y la precipitación. Por Afanador & Peña, 2019

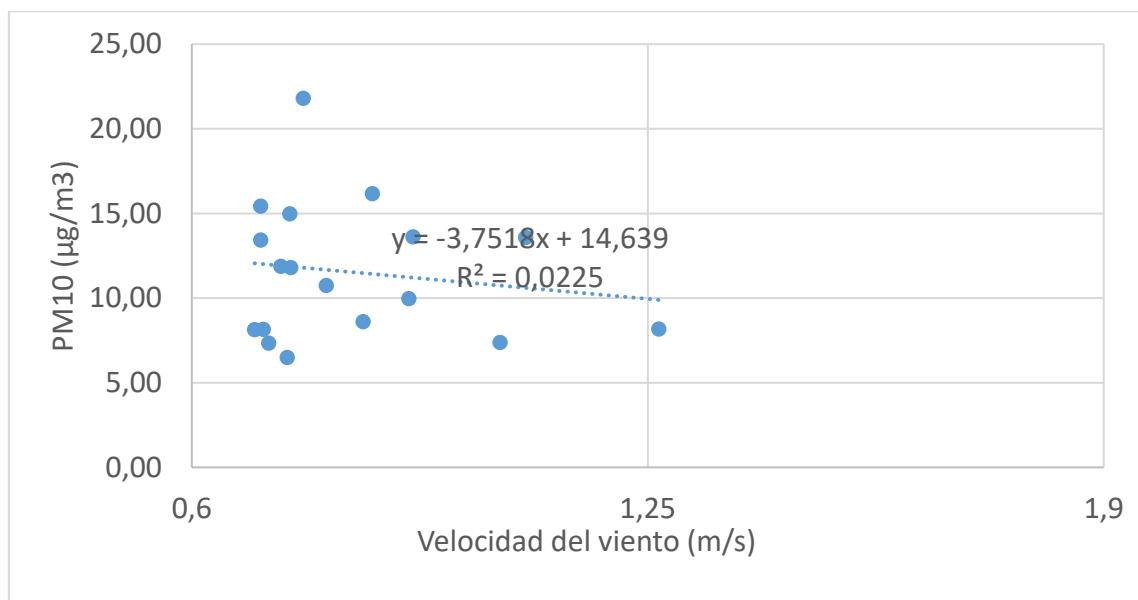


Figura 7. Correlación entre PM10 y la velocidad del viento. Por Afanador & Peña, 2019

En las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que no existe una correlación significativa en general con ninguna de las variables meteorológicas implementadas (temperatura, precipitación y la velocidad del viento) y el material particulado

(PM₁₀), esto se debe a la baja resolución temporal de los datos obtenidos, puesto que, al no presentarse datos horarios de las concentración y meteorología de la zona, no se puede desarrollar una mejor correlación entre las. A pesar de que no se pudo evidenciar el proceso de correlación que se presenta entre las variables meteorológicas y el material particulado; informes presentados por (Zapata, Gálvez, González, Aristizábal, & Velasco, 2019) indica que al desarrollarse un proceso de precipitación se genera un lavado en la atmósfera, haciendo que las partículas suspendidas se depositen en el suelo; lo cual da origen a un fenómeno conocido como Scavenging. En este mismo se expresa que la velocidad del viento influye en las concentraciones del contaminante, a una mayor velocidad del viento la dispersión de estos será igualmente mayor, al igual que su concentración en la zona disminuirá.

4.5 Rosa de Contaminantes

En la figura 8, se evidencia la proyección a manera de rosa de vientos de los datos registrados en los días de muestreo en los que se obtiene que la rosa de contaminantes no presenta valores elevados tanto en su concentración de PM₁₀ como en su velocidad. Se denota que la mayor velocidad del viento registrada es de 1,26541667 (m/s) en dirección 129° (SE), la cual presenta una concentración entre los 12 a 14 (µg/m³) de PM₁₀. La dirección 43° (NE) presenta una velocidad del viento de 0,75875 (m/s) con una concentración de PM₁₀ de 21,80 (µg/m³); seguida por la dirección 274° (W), con una velocidad del viento de 0,8573913 (m/s) y una concentración de 16,16 (µg/m³) de PM₁₀; el reporte de la menor concentración de material particulado registrada fue en dirección 86° (E). con una velocidad del viento de 0,7358333 (m/s) para una concentración de 6,49 (µg/m³), tal y como se puede observar en la imagen. Según (Zapata, Gálvez, González, Aristizábal, & Velasco, 2019), variables como la precipitación, al incrementar sus niveles en la zona, presenta una relación en el aumento de la humedad en las partículas, el incremento en su peso, lo cual incide una influencia en la velocidad de caída en las partículas suspendidas y una disminución en las partículas re-suspendidas. Es por tanto que se resalta la influencia o efecto que dichas variables meteorológicas informadas como la temperatura, la velocidad del viento y la precipitación,

presentan una importancia en los niveles de concentración de PM_{10} presentes en el área o zona de estudio.

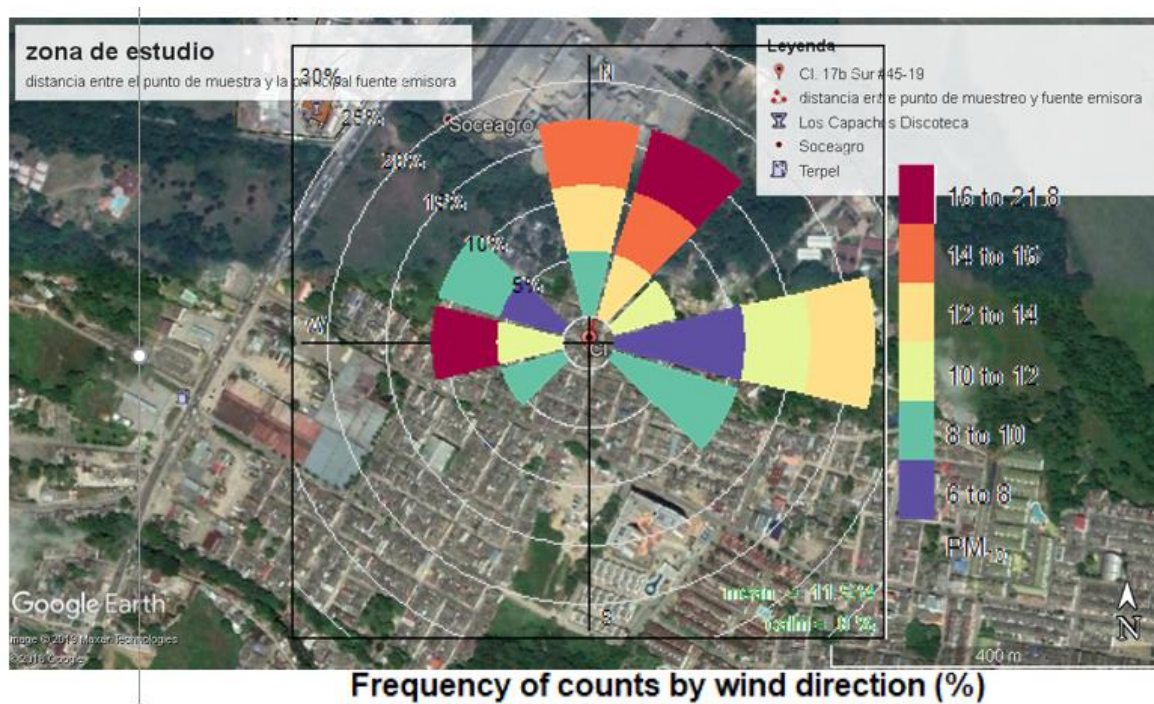


Figura 8. Rosa de Contaminantes. Por Afanador & Peña, 2019

4.6 Modelo de dispersión de contaminantes

Para el cálculo de la emisión se tomaron datos de la Agencia de Protección Ambiental conocida por sus siglas en inglés (EPA), según esta misma agencia los sistemas de reducción de emisiones para contaminantes que emplean ciclones tienen entre el 30 al 90 % de eficiencia. (Environmental Protection Agency (EPA), 1998)

La EPA en su inventario de factores de emisión & AP42, el cual es la compilación de factores de emisión de contaminantes del aire, que se publican desde 1972, este inventario presenta información para más de 200 categorías de fuentes de contaminación del aire, nos presenta un factor que concuerda con las características del consumo de Biomasa por actividad, donde se genera energía calorífica. (Environmental Protection Agency (EPA), 1992)

$$FE = 1,36 \text{ lbPM}_{10}$$

Entiéndase por FE: Factor de Emisión

La ORF (Organización Roa Florhuila S.A), cuenta con tres hornos empleados para el secado de arroz, de estos se tiene un consumo individual de:

Horno 1 (H1): 3000 Ton/año

Horno 2 (H2): 3504 Ton/año

Horno 3 (H3): 3600 Ton/año

$$H1 + H2 + H3 = CA$$

Total, consumo por actividad: 10104 Ton/año Biomasa

Esta información fue extraída de los expedientes de Cormacarena (Corporación Para El Desarrollo Sostenible del Área Manejo Especial la Macarena (Cormacarena), 2005), donde se presenta un conteo de equipos y sus consumos, además existen otras fuentes dispersas que no se consideraron para este estudio por presentarse incompletas o carentes de información.

Porcentaje de Reducción: 60%

Tabla 7. Cálculos de emisión.

factor (lb/Ton)	emisión (Ton/año)	consumo (Ton/año)	actividad 1 - % de eficiencia	Emisión (lb/año)
1,36		10104	0,4	5496,576

NOTA Datos y resultados de emisión, Por Afanador & Peña, 2019

Teniendo en cuenta que el modelo de dispersión opera con las siguientes unidades $\text{g}/(\text{s}/\text{m}^2)$, se procede a convertir las unidades de emisión.

Tabla 8. Tasa de emisión.

emisión (lb/año)	emisión (g/s)
5496,576	0,087147641

NOTA Datos y resultados de emisión, Por Afanador & Peña, 2019

Esto teniendo en cuenta que: un año es igual a (365×86400) (días*segundos) y una lb equivale a 500g.

El área fuente consta de las siguientes dimensiones: 300 metros x 270 metros, por tanto, su área es de 81000 metros cuadrados (m^2).

Entonces: $0,087147641/81000 = 1,0759 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{s}/\text{m}^2)$.

Según Tabla 2, de estabilidad atmosférica que considera la radiación solar y la velocidad del viento, la muestra #8 presenta estabilidad tipo D, (tipo neutral), y la muestra #14 presenta estabilidad tipo B (tipo inestable).

La velocidad del viento que se asume para este modelo es 1m/s, esta es la mínima que el programa permite.

Tabla 9. Datos de las muestras #8 y #14.

	date	rs	Ws	PM10	NORMA	ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA
8	6/06/2019	77	0,735833	6,49	100	D
14	7/06/2019	220,16	0,75	21,8	100	B

NOTA Datos y resultados de muestras, Por Afanador & Peña, 2019

Adicionalmente se ingresa una distancia discreta de 235 metros, una altura de 10 metros que corresponden al montaje del muestreador de alto volumen, con la intención de obtener una relación entre la concentración modelada y la concentración medida.

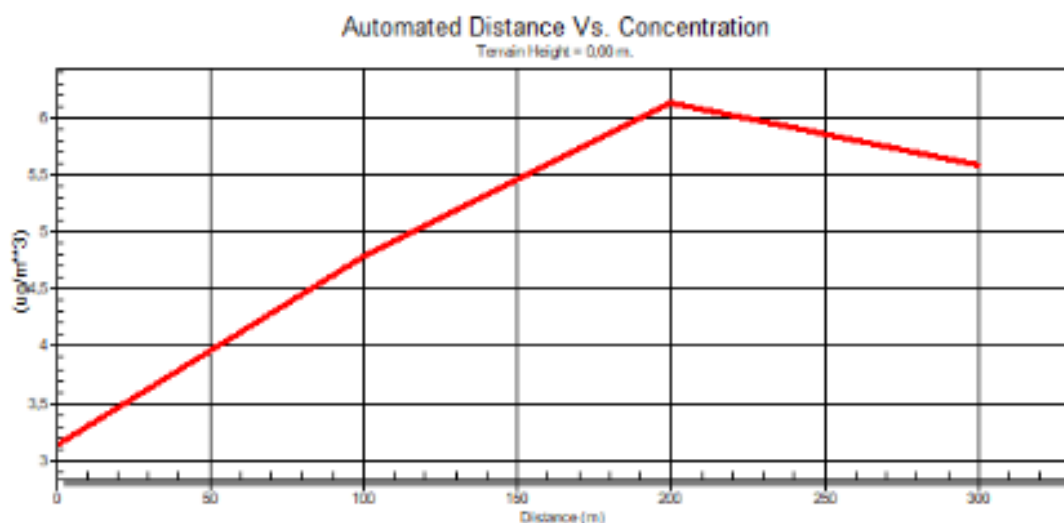


Figura 9. Concentración de PM10 modelada, en SCREEN View, muestra #8. Por Afanador & Peña, 2019

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** nos muestra la concentración arrojada por el modelo de dispersión de contaminantes, donde a una distancia de 235 metros y una altura de 10 metros, además de considerar las condiciones presentes en el día 06/06/2019, la concentración de PM₁₀ equivale 6,440 µg/m³.

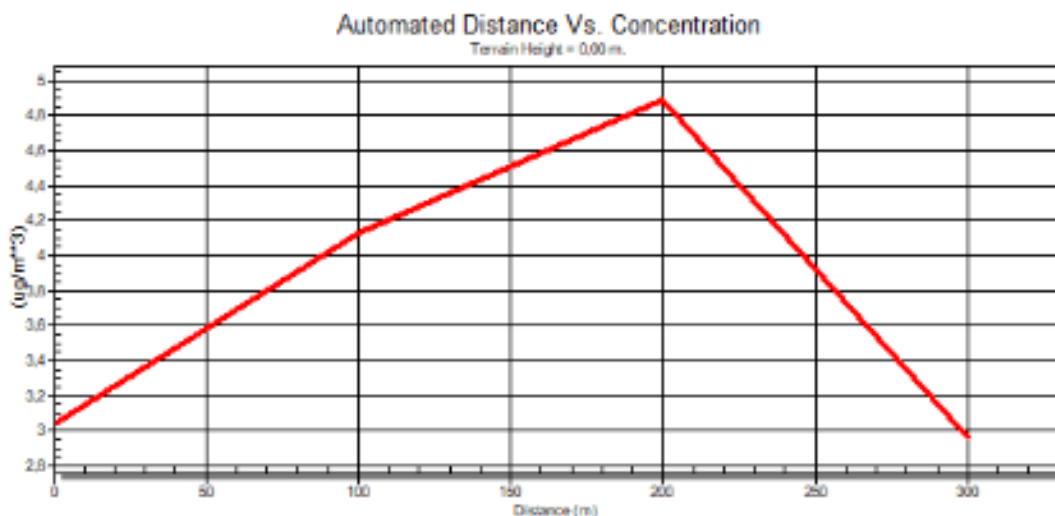


Figura 10. Concentración de PM₁₀ modelada, en SCREEN View, muestra #14. Por Afanador & Peña, 2019

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** nos muestra la concentración arrojada por el modelo de dispersión de contaminantes, donde a una distancia de 235 metros y una altura de 10 metros, además de considerar las condiciones presentes en el día 12/06/2019, la concentración de PM₁₀ equivale 4,484 µg/m³.

Tabla 10. Comparación, concentración medida y concentración modelada.

Fecha	# muestra	concentración µg/m ³		
		Medida	modelada	diferencia
6/06/2019	8	6,49	6,44	0,05
12/06/2019	14	21,8	4,484	17,316

NOTA. Resultados de concentración, Por Afanador & Peña, 2019

Este resultado demuestra que la muestra #8 tiene similitud con la concentración modelada con respecto a la Organización Roa Florhuila S.A., además, la muestra #14 supera la concentración modelada por un rango más amplio (17,316 µg/m³), esto puede deberse a las actividades realizadas por otras industrias presentes en la zona, sin embargo, estas muestras no superan el límite máximo permisible establecido en la (Resolución 2254 del 2017, la cual establece límites máximos permisibles de contaminantes en el aire) expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

4.7 Estudios de referencia

Los estudios de referencia fueron extraídos de la documentación suministrada por Cormacarena, dentro de los que se presentan tanto estudios de calidad del aire como de emisión de ruido, además de actas de reuniones realizadas entre la ORF, los entes gubernamentales y la comunidad implicada en la ciudad de Villavicencio se resalta que para este trabajo se tuvo en consideración solamente aquella información concerniente a la calidad del aire.

INAMCON S.A.S., realizó en el año 2018 un estudio de material particulado en el que se incluye el monitoreo de partículas menores a 10micras (PM_{10}), donde presenta la muestra #8 con un valor de $46,71 \mu g/m^3$ como el registro máximo tomado, el valor mínimo corresponde a la muestra #9 con un valor de $26,08 \mu g/m^3$, los cálculos de un periodo de 24 horas se encuentran por debajo de $75 \mu g/m^3$ por lo que se asumen conforme a la legislación legal vigente (Resolución 2254 de 2017 MADS). (INAMCON S.A.S., 2018)

En cuanto a los límites normativos en un periodo anual, se toma como referencia el promedio aritmético que podría ser evaluado con varias campañas de monitoreo durante diferentes épocas del mismo año. (INAMCON S.A.S., 2018)

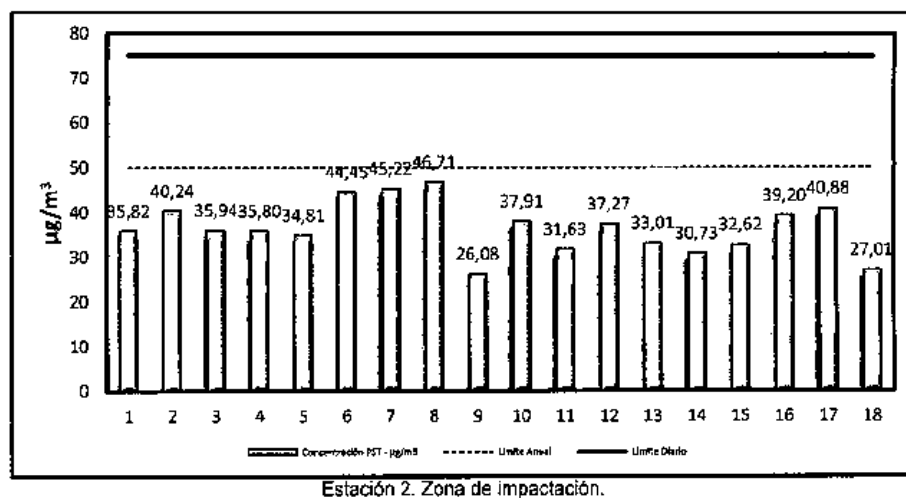


Figura 11. PM_{10} en relación con la Resolución 2254 MADS, Adaptado de: INAMCON S.A.S.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, presenta los datos obtenidos durante un periodo de estudio de 18 días iniciado el día 16 de septiembre y finalizado el 03 de octubre, para el

cual se realizó un montaje en la denominada zona de impactación, que corresponde a la zona comprendida entre el área de secado y el barrio Catumare.

Otro estudio realizado por TECNOAMBIENTAL LTDA. Presenta mediciones de PM_{10} , realizadas en los meses de octubre-noviembre del 2014, donde la concentración más alta ocurrió el día 25 de octubre con un valor de $38,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor más bajo se presentó el día 20 de octubre, con una concentración de $9,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$, basado en los datos diarios se determinó que ninguno sobrepasa el límite máximo permisible por la legislación para el tiempo de exposición diaria ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Además, analizados los 18 datos correspondientes al periodo de estudio, se presenta el promedio aritmético con un valor de $26,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual es inferior al establecido por la norma anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tecnoambiental. S.A.S, 2015)

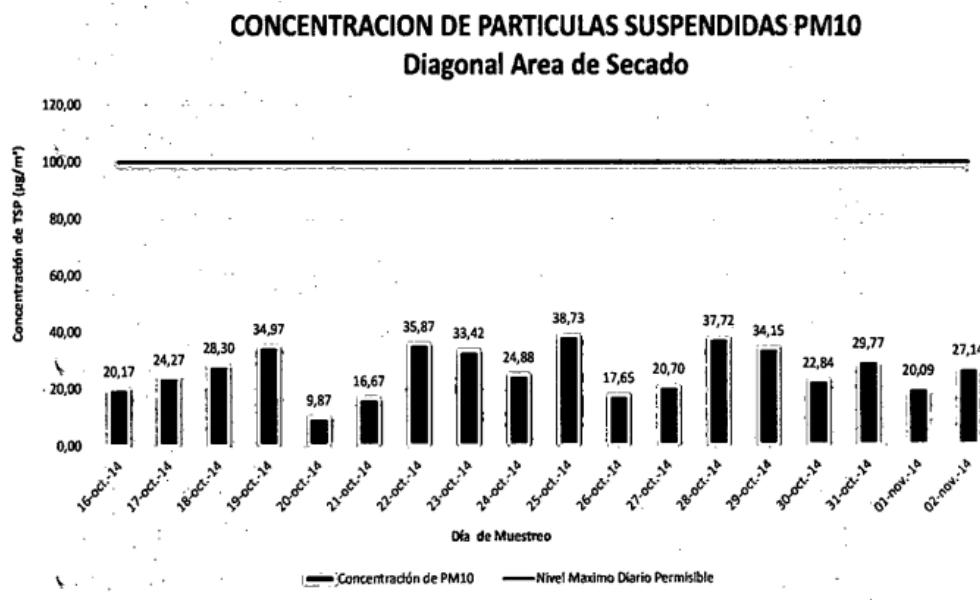


Figura 12. PM_{10} año 2014 en relación con la Resolución 2254 del 2017, Adaptado de: TECNOAMBIENTAL SAS.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, presenta los datos obtenidos durante un periodo de estudio de 18 días, para el cual se realizó un montaje en proximidades del área de secado, donde se genera la mayor cantidad de emisiones y además es el proceso productivo más cercano a la comunidad.

En el año 2015, TECNOAMBIENTAL LTDA. Presenta mediciones de PM_{10} , realizadas en los meses de-noviembre-diciembre del 2015, donde la concentración más alta ocurrió el día 25 de noviembre con un valor de $72,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el valor más bajo se presentó el día 16 de noviembre, con

una concentración de $17,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, basado en los datos diarios se determinó que ninguno sobrepasa el límite máximo permisible por la legislación para el tiempo de exposición diaria ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Además, analizados los 18 datos correspondientes al periodo de estudio, se presenta el promedio aritmético con un valor de $26,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual es inferior al establecido por la norma anual ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Tecnoambiental. S.A.S, 2015)

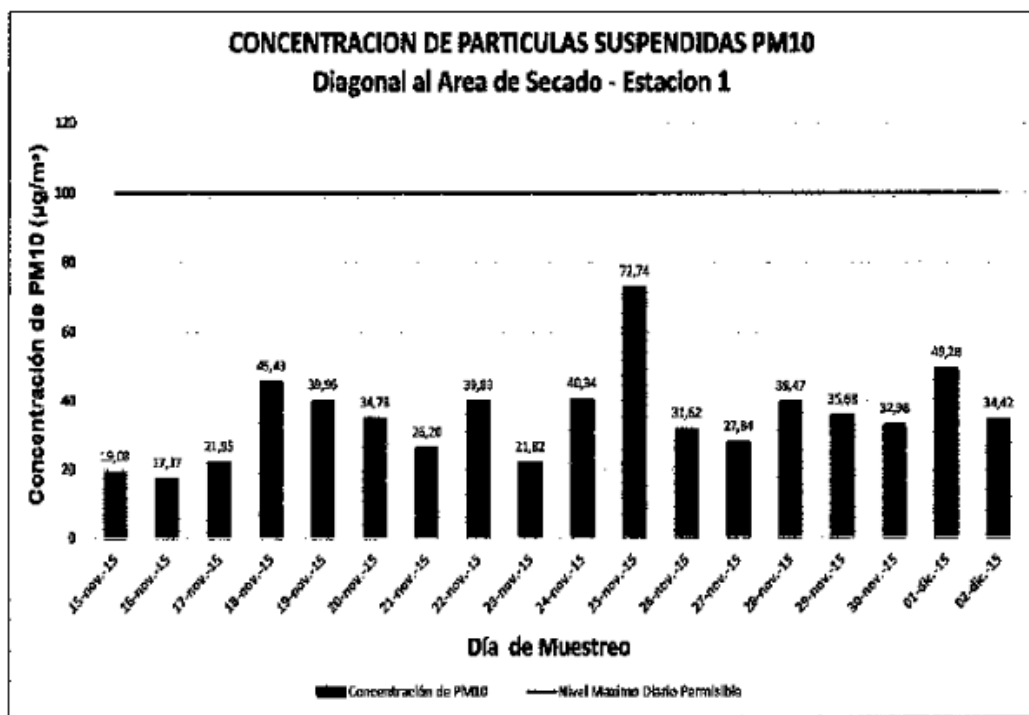


Figura 13. PM10 año 2015 en relación con la Resolución 2254 del 2017, Adaptado de: TECNOAMBIENTAL SAS.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, presenta los datos obtenidos durante un periodo de estudio de 18 días, para el cual se realizó un montaje en proximidades del área de secado, donde se genera la mayor cantidad de emisiones y además es el proceso productivo más cercano a la comunidad.

Los estudios de calidad del aire desarrollados en la ciudad de Villavicencio, anteriormente presentados corresponden a los años 2018, 2014 y 2015 respectivamente, y fueron presentados por las empresas INAMCON S.A.S. y TECNOAMBIENTAL SAS, los mismos y los resultados obtenidos por este estudio realizado en el año 2019 concuerdan en afirmar que las mediciones tomadas no superan en ningún momento los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 2254 de 2017 y en su momento la Resolución 610 de 2010.

Los estudios realizados por INAMCON S.A.S. y TECNOAMBIENTAL SAS, se realizaron durante la etapa de mayor producción de arroz, sin embargo, este estudio “Calidad del Aire en el Sur Occidente de Villavicencio: influencia del material particulado generado por el molino de Arroz Roa Florhuila” se realizó en un periodo distinto por tratarse de un requerimiento exigido por la Contraloría Municipal de Villavicencio, entidad con la cual se desarrolló el proceso de pasantía, esto nos permite conocer el comportamiento de las concentraciones de PM_{10} durante distintos ciclos.

Conclusiones

De este estudio realizado en el sector de Catumare, Comuna 8 de la ciudad de Villavicencio podemos concluir:

Al determinar los niveles de concentración del polígono de estudio perteneciente a la Comuna 8, aledaña a la zona agroindustrial de la Organización Roa Flor Huila S.A., durante un periodo de estudio entre el 30 de mayo al 16 de junio del 2019, a través del equipo Hi-Vol se concluyó que el material particulado denominado como PM_{10} llegó a los niveles máximos de $21.80 \mu g/m^3$ para PM_{10} , lo cual indica que según la normatividad colombiana en cuanto a la calidad del aire no exceden el límite máximo permisible durante el periodo muestreado, por tal motivo la exposición a las actividades de la Organización Roa Florhuila S.A. se encuentran en condiciones permisibles por la Resolución 2254 de 2017 en su art 2.

Se denota en los gráficos realizados de dispersión entre las correlaciones de las condiciones meteorológicas como (precipitación, temperatura y velocidad de los vientos) tomadas de la estación de monitoreo y seguimiento a cargo de la Corporación Autónoma Regional Cormacarena, se identifica que a pesar de que dichas variables se encuentren relacionadas con los niveles de concentración, estas presentan una baja medida de influencia en la cantidad de MP_{10} emitido en los resultados obtenidos en los 18 días de muestreo.

Si bien con el resultado de la simulación se podría demostrar que para los días seleccionados el material particulado provendría en su mayoría de ORF, estas concentraciones no están superando los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 2254 de 2017, ni en ninguno de los días del estudio. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las quejas de la población se han presentado principalmente por la presencia de cenizas y material particulado de gran tamaño (mayor a 10 micrómetros), que pueden generar molestia y daños materiales y que no se podrían atribuir solamente a las emisiones de la ORF, puesto que existen otras fuentes de emisiones por combustiones cercanas.

En respuesta a las quejas por parte de la veeduría ambiental, la comunidad del Barrio Catumare y los barrios colindantes sobre la contaminación atmosférica, este estudio concluye que según las concentraciones alcanzadas en el tiempo de muestreo no se considera perjudicial para la salud los niveles encontrados por ende se aseguran que la agroindustria del sector no presenta altas concentraciones de PM_{10} .

Recomendaciones

Se aconseja realizar estudios enfocados a la calidad del aire durante diferentes épocas en el año, con lo que se podría estimar con mayor certeza un promedio de concentraciones anuales, y ayudaría a determinar si en efecto existe un periodo en el que la comunidad se vea expuesta a concentraciones de PM_{10} que sobrepasen los límites permisibles determinados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Se debe tener en cuenta que el monitoreo constante de la concentración de PM_{10} por parte del equipo Hi-Vol; requiere suministro eléctrico las 24 h del día. Es por ello que se aconseja tener una planta de suministro eléctrico como reserva de alimentación en caso de presentarse algún tipo de falla en el suministro que pueden llegar a afectar el proceso de muestreo.

Se recomienda desarrollar un proceso de muestreo en distintas zonas estratégicas de la comuna o polígono que reporten presuntas contaminaciones elevadas de PM_{10} , para determinar los niveles que puede llegar a alcanzar y saber cuáles pueden ser las influencias que puede causar en el sector.

Se recomienda seguir realizando estudios referentes a la calidad del aire, los cuales ayudan a mantener información actualizada de los niveles de concentraciones de emisiones de las distintas actividades ya sean de tipo industrial, civil o urbano. Con lo anterior se espera identificar industrias generadoras de material particulado, como los sectores de la comunidad que se ven mayormente afectados.

Referencias bibliográficas

- Arciniégas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM₁₀. *Revista Luna Azul*(34), págs.195-213. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a12.pdf>
- Buitrago, A., & Tejeiro, J. (2018). Influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de PST y pm₁₀ en inmediaciones de la Universidad Santo Tomás sede loma linda. *Trabajo de grado*. Villavicencio, Colombia: Universidad Santo Tomás. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/15598>
- Canales-Rodríguez, M., Quintero-Núñez, M., Castro-Romero, T., & García-Cuento, R. (13 de 06 de 2014). Las Partículas Respirables PM₁₀ y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México. *Revista Información tecnológica*, 25(6), págs.13-22. Recuperado el 10 de 10 de 2018, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v25n6/art03.pdf>
- Candanoza, S., Goribar, L., & García, F. (2013). Relación partículas respirables (PM₁₀)/ partículas suspendidas totales (PST) en Santa Marta (Colombia). *Revista DYNA*, 80(179), págs.165-175. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/32239/40660>
- Capel, J. (1999). La presión atmosférica y los vientos del Monzón Ibérico en la Península Ibérica. *Revista de climatología, meteorología y paisaje: Nimbus*(4), págs.5-60. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/199697.pdf>
- Carnicer, J. M. (2008). *Contaminación atmosférica*. Madrid: Asociación de Antiguos Alumnos – Club EOI. Obtenido de <https://www.eoi.es/es/file/18607/download?token=DQeBhR8t>
- Castro, P., & Escobar, L. (25 de 07 de 2019). Estimacion de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulacion de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión. *Trabajo de grado*. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle. Obtenido de Universidad de la salle: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14781/00798220.pdf?sequence=1>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (Junio de 2003). *Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana*. Obtenido de repositorio.cepal.org: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2351/1/S02121026_es.pdf

- Corporación Para El Desarrollo Sostenible del Área Manejo Especial la Macarena (Cormacarena). (2005). *Monitoreo de Calidad del Aire y Ruido*. Villavicencio: Cormacarena.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (22 de julio de 2019). *Velocidad media del Viento en superficie (Velocidad del Viento)*. Obtenido de Ficha Técnica: Sistema de Información del Medio Ambiente: <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/88HM-Velocidad-del-viento-4.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). (1992). *Emission Factor Details*. Obtenido de [cfpub.epa.gov](https://cfpub.epa.gov/cfpub.epa.gov:): <https://cfpub.epa.gov/webfire/index.cfm?action=fire.showfactor&factorid=3785>
- Environmental Protection Agency (EPA). (1998). *Hoja de Datos - Tecnología de Control*. Madrid: CINCA.
- Environmental Protection Agency (EPA). (09 de 2000). *Guía del Usuario del Modelo SCREEN3*. Obtenido de [epa.gov](https://www3.epa.gov/ttn/catc/cica/files/scrn3ds.pdf): <https://www3.epa.gov/ttn/catc/cica/files/scrn3ds.pdf>
- Fernández , C. S., & Padial, R. L. (2018). Revista Viento. *Medicina Clínica*, 1. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=2426>
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). (2004). *Meteorología y climatología*. Recuperado el 26 de 10 de 2018, de cab.inta-csic.es: <https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>
- Gaviria G, C. F., Benavides C, P. C., & Tangarite, C. A. (2011). Contaminación por material particulado (pm_{2,5} y pm₁₀) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, págs.241-250. Obtenido de http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/5299/1/GaviriaCarlos_2011_ContaminacionMaterialParticulado.pdf
- Gonzáles, S., & Niclós, J. (2002). *Contaminación Atmosférica*. Madrid: Reverte.
- González, C. (2018). *Modelización de calidad del aire modelo gaussiano*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <file:///C:/Users/FERNANDO/Downloads/Sesi%C3%B3n%207.%20Modelizaci%C3%B3n%20de%20CA%20-%20El%20modelo%20gaussiano.pdf>
- INAMCON S.A.S. (2018). *Evaluación de la calidad del aire ORF S.A. Planta Villavicencio*. Bogotá: INAMCON S.A.S.

- Instituto de hidrología, m. y. (2005). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogota: IDEAM. Obtenido de https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/1236/1/upme_331_Atlas%20de%20radiaci%3b3n%20solar%20Colombia_2005.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2007). *Informe del estado de la calidad del aire en Colombia 2007-2010*. Obtenido de [ideam.gov.co/documents: http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0](http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (10 de 2016). *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015*. Recuperado el 24 de 10 de 2018, de [ideam.gov.co: 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)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (s.f.). *Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos*. Obtenido de [ideam.gov.co: http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc](http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc)
- Inzunza, J. (s.f.). *Meteorología descriptiva*. Obtenido de Capitulo. 4 Temperatura: http://nimbus.com.uy/weather/Cursos/Curso_2006/Textos%20complementarios/Meteorologia%20descriptiva_Inzunza/cap4_Inzunza_Temperatura.pdf
- LLano Sietedías. (2015). En 2015 el nivel de contaminación del aire aumentó en Villavicencio. pág. 1. Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16387267>
- Martínez Val, B. (2016). La Contaminación atmosférica en China. *Trabajo final de master*. Barcelona, España: Universitat Pompeu Fabra. Recuperado el 15 de 10 de 2018, de [Tra: http://repositori.upf.edu/handle/10230/27463](http://repositori.upf.edu/handle/10230/27463)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*. Bogotá: Colombia. MinAmbiente. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisi>

ones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial . (Octubre de 2010). *Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*. Recuperado el 9 de 10 de 2018, de minambiente.gov.co:

http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Dise%C3%B1o.pdf

Morantes, G. ,. (04 de 2016). *Información relacionadas con la contaminación del aire*. Recuperado el 05 de 11 de 2018, de Scopus:

<https://bdatos.usantotomas.edu.co/login?url=https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84964883429&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=CALIDAD+DEL+AIRE+Y+PM10&st2=&sid=2e9c733f77cfeefb7e939825a35b7645&sot=b&sdt=b&sl=38&s=TITLE-ABS-KEY%28CALI>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Obtenido de apps.who.int:
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=9D2437F1B7F2A12BE09C3510C8D7104D?sequence=1

Organizaciones de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Obtenido de Objetivos de desarrollo sostenible: <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>

Quesquén, L. (2005). *Aplicación de modelos de análisis ambiental para el proceso de pilado de arroz*. Obtenido de academia.edu:
https://www.academia.edu/18370966/Analisis_del_proceso_del_arroz

Ramos, S., Magaña, E., & Carrera, J. (2015). *Manual para el manejo de software especializado: Lenguaje R aplicado de datos de calidad del aire*. Recuperado el 26 de 10 de 2018, de riaat.ujat.mx:
http://www.riaat.ujat.mx/hablandoal aire/tutoriales/Manual_SoftwareEspecializadoParaAire.pdf

- Resolución No.909. (05 de junio de 2008). *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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Recuperado el 20 de 10 de 2018, de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcdf0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9>
- Rojano, L., Ángulo, L., & Restrepo, G. (2013). Niveles de Partículas Suspendidas Totales (PST), PM10 y PM2.5 y su Relación en Lugares Públicos de la Ciudad Riohacha, Caribe Colombiano. *Revista Información tecnológica*, 24(2), págs.37-46. Recuperado el 05 de 11 de 2018, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n2/art06.pdf>
- Salas, J. D. (2015). Viento y ventilación natural en la arquitectura. *Revista Ambientalmente*(2). Recuperado el 26 de 10 de 2018, de <http://www.unipiloto.edu.co/descargas/Ambientalmente2.pdf>
- Salge, M. (2018). *El principio arcóntico del patrimonio*. Bogota: Universidad de los Andes, Colombia.
- Sanabria, Á. (2012). *Operación de la estación de calidad del aire del IDEAM para el diagnostico, verificación y determinación de la representatividad en cuanto al uso y ubicación de la misma*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Tecnoambiental. S.A.S. (2015). *Monitoreo de Calidad del Aire, Planta Villavicencio*. Villavicencio: Tecnoambiental. S.A.S.
- Tecnoambiental. S.A.S. (2016). *Monitoreo de Calidad del Aire, Planta Villavicencio*. Villavicencio: Tecnoambiental. S.A.S.
- Trujillo, J. (2014). Evaluación de tres zonas de la ciudad de villavicencio a partir de las concentraciones de metales pesados presentes en el polvo vial. *Trabajo de grado*. Bogotá, Colombia: Universidad Sergio Tadeo Lozano. Recuperado el 05 de 11 de 2018, de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/1762/T056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Universidad de la Salle. (2017). Descripción manejo de Hivol y Lowvol. *Anexo 7.Propuesta de una estrategia periódica de caracterización fisicoquímica de material particulado para la ciudad de Bogotá con el fin de contribuir en la gestión de la calidad del aire*. Bogota,

- Colombia: Centro Lasallista de investigación y modelación ambiental. Obtenido de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/22401/41122127_2017_P5.pdf
- Wendler, D. M. (2018). *Analisis de la carga de material particulado generado por la industria arroceras en el pueblo de los charrúas*. Obtenido de <http://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/2926/PROYECTO%20FINAL%20-%20WENDLER%2C%20DARIO%20MARTIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Zapata, C., Gálvez, A., González, C., Aristizábal, B., & Velasco, M. (abril de 2019). *Boletín calidad del aire en manizales periodo enero - marzo de 2019*. Obtenido de Sistema Integrado de Monitoreo ambiental de Caldas (SIMAC): <http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/publicaciones/Boletin%20calidad%20del%20aire%20Manizales%20enero-junio%202019.pdf>

Anexos

Anexo 1. Soportes

Tabla 11. Bitácora de trabajo

Fecha		Filtro	Horas muestreo	Pf (in H ₂ O)		Peso filtro (g)			Coцент. PM10 (ug/m ³)
inicial	final			inicial	final	inicial	final	Diferencia	
30/05/2019	31/05/2019	1	23,19	3	3,4	2,91700	2,93280	0,01580	9,96
31/05/2019	30/05/2019	2	23,68	3	3,4	2,89920	2,92540	0,02620	16,16
1/06/2019	31/05/2019	3	23,83	3	3,1	2,91100	2,93560	0,02460	14,98
2/06/2019	1/06/2019	4	23,87	3	3	2,90340	2,92570	0,02230	13,61
3/06/2019	2/06/2019	5	23,67	3,1	3,1	2,87000	2,88930	0,01930	11,88
4/06/2019	3/06/2019	6	24,1	3	3,1	2,87700	2,89050	0,01350	8,17
5/06/2019	4/06/2019	7	23,93	3	3,2	2,88890	2,90300	0,01410	8,59
6/06/2019	5/06/2019	8	23,88	3,1	3,2	2,86020	2,87090	0,01070	6,49
7/06/2019	6/06/2019	9	23,86	3	3,1	2,89870	2,91080	0,01210	7,38
8/06/2019	7/06/2019	10	24,09	3	3,2	2,88490	2,89840	0,01350	8,16
9/06/2019	8/06/2019	11	23,77	2,5	2,7	2,88980	2,90310	0,01330	8,12
10/06/2019	9/06/2019	12	23,89	3,1	3,2	2,89050	2,90260	0,01210	7,34
11/06/2019	10/06/2019	13	23,95	3,1	3,2	2,90380	2,92150	0,01770	10,75
12/06/2019	11/06/2019	14	23,79	3	3,1	2,90080	2,93650	0,03570	21,80
13/06/2019	12/06/2019	15	23,96	2,2	3,2	2,91670	2,93630	0,01960	11,79
14/06/2019	13/06/2019	16	23,87	3	3,1	2,90230	2,92430	0,02200	13,42
15/06/2019	14/06/2019	17	23,84	3	3	2,91270	2,93500	0,02230	13,58
16/06/2019	15/06/2019	18	23,88	3	3	2,88820	2,91350	0,02530	15,43

Anexo 2. Respuesta de Cormacarena ante la solicitud de información meteorológica



El ambiente
es de todos
Minambiente



PM.GA.3.19.7144
Villavicencio,

013256'

(Al contestar cite el número completo
de este oficio)

30 JUL 2019

Señor:
JOSÉ FERNANDO AFANADOR GUTIÉRREZ
Estudiante de Ingeniería Ambiental
Universidad Santo Tomás
Email: joseafanador@usantotomas.edu.co

Asunto: Respuesta a PQRS No. 014195 radicado del 16 de julio de 2019.

Cordial saludo

Luego de revisado el contenido de su petición, allegada mediante el radicado del asunto correspondiente a la solicitud de los datos generados con la operación del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire del Municipio de Villavicencio – SVCAV, Cormacarena se permite enviar como archivo adjunto a la presente comunicación, la información de los parámetros y variables meteorológicas monitoreados en la estación Catumare para el periodo comprendido entre el 29 de mayo al 17 de junio de 2019.

Cordialmente,

Ing. VÍCTOR HÚMBERTO BRAVO TURRIAGO
Coordinador Grupo Aire y Urbano

Anexo: 1 archivos digitales formato csv.

NOMBRES Y APELLIDOS	CARGO	FIRMA
Revisó Ing. Víctor Bravo	Coordinador Grupo Aire y Urbano	
Proyectó Juan Nieto	Técnico Grupo Aire y Urbano	

AUTORIDAD AMBIENTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL META
NIT 822000091-2
Cra 35 Nº 25-17 San Benito Villavicencio (Meta) - Colombia
PQR 6736428 - 6736427 - 6736418 PQR 6736420 Ext. 135 Línea Gratuita: 01800117137
www.cormacarena.gov.co info@cormacarena.gov.co



Anexo 3. Registro Fotográfico

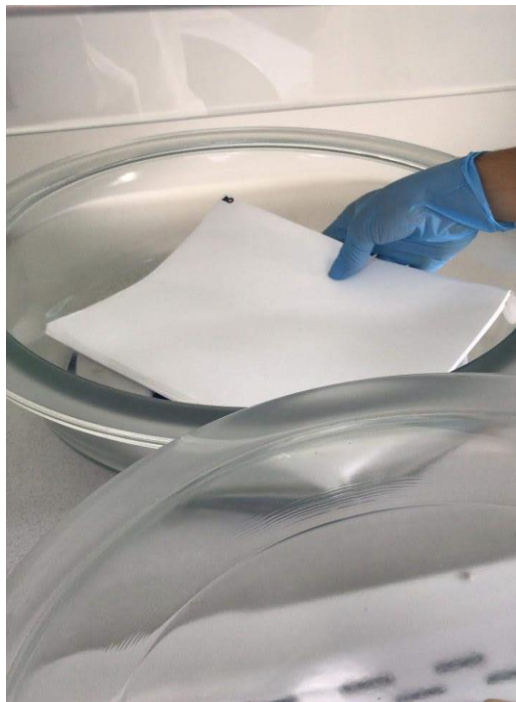


Figura 14. Desecado inicial. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 15. Pesaje inicial. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 16. Calibración del HI-VOL. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 17. Calibración del HI-VOL. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 18. Recolección de muestra. Por Añanador & Peña, 2019



Figura 19. Cambio de filtro. Por Añanador & Peña, 2019

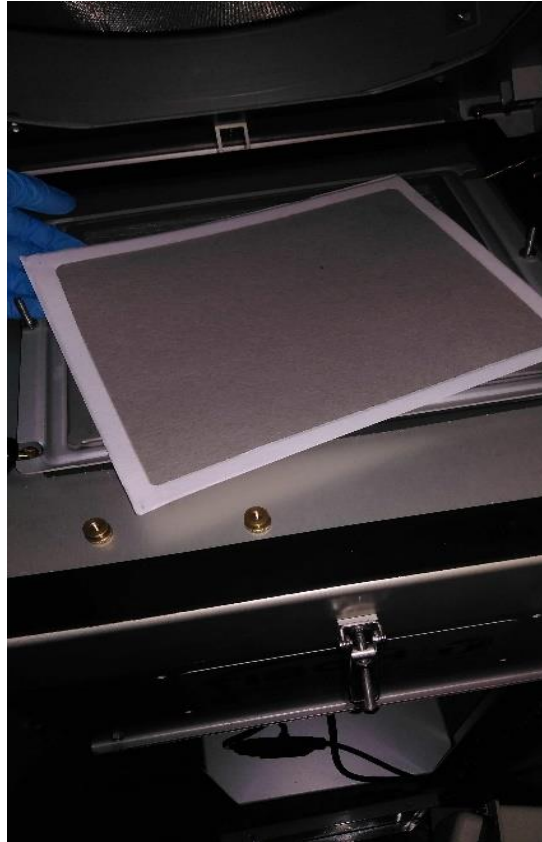


Figura 20. Muestra. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 21. Manipulación del equipo. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 22. Montaje del Muestreador de Alto Volumen. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 23. Montaje del Muestreador de Alto Volumen. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 24. Desecado final. Por Afanador & Peña, 2019



Figura 25. Pesaje final. Por Afanador & Peña, 2019