

Propuesta de medida de mitigación para emisiones  $PM_{2.5}$   
de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA en Cogua- Cundinamarca.



**PROPUESTA DE MEDIDA DE MITIGACIÓN PARA EMISIONES DE  
 $PM_{2.5}$ . DE LA LADRILLERA CERANOVA CONSTRUCTORA  
LOMALINDA LTDA EN COGUA- CUNDINAMARCA.**

Carlos David Álvarez Sánchez  
Carolina Benítez Rodríguez

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia  
2020

**PROPUESTA DE MEDIDA DE MITIGACIÓN PARA EMISIONES DE  
PM<sub>2,5</sub>. DE LA LADRILLERA CERANOVA CONSTRUCTORA  
LOMALINDA LTDA. EN COGUA - CUNDINAMARCA.**

Carlos David Álvarez Sánchez  
Carolina Benitez Rodriguez

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

Director (a):  
Michäel Jacquesalbert Canu Canu

Líneas de Investigación:  
Responsabilidad social, gestión integral sustentable

Universidad El Bosque  
Facultad de Ingeniería  
Programa Ingeniería Ambiental  
Bogotá, Colombia  
2020

## Tabla de contenido

Resumen.....	10
Abstract .....	10
1 Introducción.....	11
2 Planteamiento del Problema .....	13
3 Justificación.....	15
4 Objetivos.....	16
4.1 Objetivo General.....	16
4.2 Objetivos Específicos.....	16
5 Marco de Referencia.....	17
5.1 Estado del Arte.....	17
5.2 Marco Conceptual.....	23
5.2.1 Contaminación atmosférica.....	23
5.2.2 Tipos de hornos utilizados en las industrias ladrilleras.....	25
5.2.3 Horno de fuego dormido.....	25
5.2.4 Horno árabe.....	26
5.2.5 Horno tipo baúl.....	26
5.2.6 Horno de llama invertida.....	26
5.2.7 Horno tipo colmena.....	26
5.2.8 Horno Hoffman.....	26
5.2.9 Horno Túnel.....	27
5.2.10 Horno de Rodillo.....	27
5.2.11 Tipos de industrias ladrilleras.....	27
5.2.12 Chircales artesanales.....	27
5.2.13 Chircales mecanizados.....	27
5.2.14 Pequeña industria.....	27
5.2.15 Mediana industria.....	28
5.2.16 Gran industria.....	28
5.2.17 Partículas finas.....	28
5.3 Marco Teórico.....	28
5.3.1 Producción más limpia en sector ladrillero.....	28
5.3.2 Gestión Ambiental.....	29
5.3.3 Calidad del aire.....	29
5.3.4 Contaminantes emitidos por la industria ladrillera.....	29
5.3.5 Material Particulado.....	29
5.4 Marco Normativo.....	30
5.5 Marco Geográfico.....	32
5.5.1 Información general de la empresa objeto de estudio.....	33
5.5.2 Descripción de los procesos de la empresa objeto de estudio.....	35
5.6 Marco institucional.....	36
6 Metodología.....	38
6.1 Matriz Metodológica.....	40
6.2 Metodología para los objetivos específicos.....	44

6.2.1 Metodología segundo objetivo.....	45
6.2.2 Metodología tercer objetivo.....	47
7 Resultados y Análisis.....	49
7.1 Objetivo 1.....	49
7.1.1 Dimensión Social.....	49
7.1.2 Dimensión económica.....	54
7.1.3 Dimensión Tecnológica.....	58
7.2 Objetivo 2.....	61
7.3 Objetivo 3.....	68
7.3.1 Filtro tipo ciclón.....	70
7.3.2 Lavador de gases tipo Venturi.....	71
7.3.3 Precipitador electrostático o Precipitador de Partículas (PES).....	72
7.3.5 Sustitución de combustible de carbón mineral a gas natural.....	72
7.3.4 Sustitución de combustible de carbón mineral a cáscara de café.....	73
8 Conclusiones.....	76
9 Recomendaciones.....	77
10 Referencias Bibliográficas.....	79
11 Anexos.....	82

### Listado de Tablas

<i>Tabla 1. Normatividad específica para calidad del aire</i> .....	30
<i>Tabla 2. Especificaciones del horno en la empresa objeto de estudio</i> .....	34
<i>Tabla 3. Aporte del CAEM a la investigación</i> .....	37
<i>Tabla 4. Aporte del SISAIRE a la investigación</i> .....	37
<i>Tabla 5. Matriz metodológica</i> .....	40
<i>Tabla 6. Variable y características para el objetivo 1</i> .....	45
<i>Tabla 7. Variable y características para el objetivo 2</i> .....	47
<i>Tabla 8. Variable y características para el objetivo 3</i> .....	48
<i>Tabla 9. Información sobre la especificación del precio del ladrillo</i> .....	55
<i>Tabla 10. Matriz de suma pondera para la evaluación de alternativas</i> .....	74

### Listado de Figuras

<i>Figura 1. Clasificación de la industria ladrillera en Colombia</i> .....	20
<i>Figura 2. Distribución por tamaños del sector ladrillero</i> .....	21
<i>Figura 3. Uso de combustible</i> .....	21
<i>Figura 4. Consumo de combustible por tamaño</i> .....	22
<i>Figura 5. Tamaños de los hornos</i> .....	22
<i>Figura 6. Ubicación de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA respecto a Cogua y escuela El Olivo, Cundinamarca</i> .....	32
<i>Figura 7. Ubicación de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA</i> .....	33
<i>Figura 8. Mapa estructural de CERANOVA</i> .....	34
<i>Figura 9. Esquema de los procesos de CERANOVA LTDA</i> .....	35
<i>Figura 10. Organigrama del CAEM</i> .....	36
<i>Figura 11. Climograma Cogua 2019</i> .....	47
<i>Figura 12. Pregunta uno de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	49
<i>Figura 13. Pregunta dos de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	50
<i>Figura 14. Pregunta tres de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	50
<i>Figura 15. Pregunta cuatro de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	51
<i>Figura 16. Pregunta quinta de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	51
<i>Figura 17. Pregunta sexta de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	52
<i>Figura 18. Pregunta siete de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	52
<i>Figura 19. Pregunta ocho de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	52
<i>Figura 20. Pregunta nueve de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	53
<i>Figura 21. Pregunta diez de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	53

<i>Figura 22. Pregunta once de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa</i> .....	53
<i>Figura 23. Ladrillo bloque tipo 4</i> .....	55
<i>Figura 24. Ladrillo bloque tipo 5</i> .....	56
<i>Figura 25. Ladrillo para placa</i> .....	57
<i>Figura 26. Evidencias de hollín en compuertas principales del horno Hoffman</i> .....	59
<i>Figura 27. Evidencias de hollín en área de secado</i> .....	60
<i>Figura 28. Histograma de Emisiones de PM<sub>2,5</sub>. De CERANOVA</i> .....	62
<i>Figura 29. Gráfico de caja de bigotes de emisiones de PM<sub>2,5</sub>. de CERANOVA</i> .....	63
<i>Figura 30. Gráfico de dispersión de concentración de emisiones de PM<sub>2.5</sub> VS temperatura registrada en el horno de la ladrillera CERANOVA</i> .....	64
<i>Figura 31. Gráfico de dispersión de emisiones de PM<sub>2,5</sub> del mes de febrero de 2019, comparado con la normativa nacional e internacional</i> .....	65
<i>Figura 32. Gráfico de dispersión de emisiones de PM<sub>2,5</sub> del mes de octubre de 2019, comparado con la normativa nacional e internacional</i> .....	66
<i>Figura 33. Dirección del viento en la zona de estudio</i> .....	68
<i>Figura 34. Evidencia de las condiciones en las que se tiene el carbón</i> .....	75

### **Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional**

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

*Dedicatoria*

*Nuestro trabajo de grado se lo dedico principalmente a mis padres, quienes a pesar de todas las dificultades que hemos tenido en la vida, siempre han estado para mí, acompañándome en todo momento y lugar, en cada una de mis decisiones, me han enseñado el valor del trabajo duro y a hacer las cosas de manera horrada, toda mi vida estaré agradecido con ellos. A mis mejores amigos de toda la vida, quienes siempre me apoyaron desde el principio y no me dejaron desfallecer. A mi familia que estuvo ahí para mí cuando necesitaba un consejo. Finamente a Dios, por siempre guiarme por el camino correcto y abrirme paso entre de los obstáculos que me ha puesto la vida, por hacerme infinitamente bendecido en todo sentido. A todos mi mas sincero agradecimiento por toda la vida, se merecen todo lo mejor de mi siempre.*

*Carlos David Álvarez Sánchez*

*Este proyecto se lo dedico a mi familia, principalmente a mi madre, quien me apoyó dándome las herramientas necesarias para convertirme en la mujer que soy hoy, para mejorar y crecer como persona, para afrontar las situaciones de la vida, siendo un modelo de lucha y perseverancia. A mi pareja, quien estuvo en los momentos más difíciles para darme ánimos y fuerzas con todo el amor del mundo y no permitiendo que me rindiera. Se merecen todo el esfuerzo que puse en esta investigación y muchas cosas más.*

*Carolina Benítez Rodríguez*

## **Agradecimientos**

A la Universidad El Bosque por formarme como ingeniero ambiental durante los últimos 5 años, a todos y cada uno de los profesores que hicieron parte de este hermoso proceso. A los directores que hicieron parte de este proyecto, David Beltrán y Michäel Canu, sin sus conocimientos y amplia trayectoria y experiencia desarrollar este proyecto hubiera sido imposible. Al profesor Rafael Arrazola, por su compromiso con nosotros como docente y amigo, sin él no hubiera sido posible el desarrollo de este proyecto en la parte logística.

A mi compañera Carolina Benítez, desde el inicio de esta carrera siempre fue mi apoyo incondicional, en todo momento, por todas las experiencias que nos trajeron hasta aquí y todas las que vendrán.

Carlos David Álvarez Sánchez

Principalmente quiero agradecer a la Universidad El Bosque, porque fue la institución que me abrió sus puertas, poniendo a su disposición a los mejores maestros que me darían las bases para la realización de esta investigación. A nuestro director inicial, David Beltrán, quien fue el maestro que nos orientó, dándonos parte de su tiempo y conocimiento. A nuestro director actual, el maestro Michäel Canu, ya que sin importar que fuera de otra carrera se puso a nuestra disposición para aportarnos de toda su sabiduría.

A mi compañero de Carlos David Álvarez, que además de ser uno de mis mejores amigos, formé el mejor equipo durante toda mi carrera y gracias al esfuerzo de ambos, pudimos materializar este proyecto.

Por último pero no menos importante, a Fabio Salgado y Boris Galvis, que nos aportaron muchas herramientas para darle el enfoque indicado a este proyecto.

Carolina Benítez Rodríguez.

El material particulado afecta la salud del ser humano, generando así efectos negativos en los entornos tanto productivos como sociales y de esparcimiento. Sin embargo, en la economía colombiana en su mayoría sobresale la minería y en algunos municipios predomina la fundición de minerales como el ladrillo, causantes de una cantidad considerable de emisiones de  $PM_{2,5}$ . En este sentido, el presente artículo pretende analizar el caso de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA; ubicada en el municipio de Cogua, en la Sabana norte de Bogotá, departamento de Cundinamarca. Como objetivo primordial está analizar las emisiones de  $PM_{2,5}$  de esta ladrillera y poder mitigar los efectos negativos de las mismas –la metodología escogida en primera instancia es un método inductivo- por medio de entrevistas, encuestas y revisión de referencias primarias y secundarias.

En segundo lugar, se toma como fuente la base de datos del SISAIRE del IDEAM, además de las respectivas mediciones realizadas por el equipo trabajo. A continuación, se realizó un análisis de las normas tanto del ordenamiento jurídico colombiano y las internacionales para validar su aplicación en el proceso de producción de esta ladrillera y de esta manera encontrar las posibles falencias, para finalmente encontrar medidas de mitigación para reducir las emisiones de  $PM_{2,5}$  y por medio de una evaluación elegir la mejor para la empresa.

**Palabras clave:** emisiones  $PM_{2,5}$ , ladrilleras, cambio climático, medidas de mitigación.

### Abstract

Particulate matter affects human health, thus generating negative effects in both productive, social and recreational environments. However, in the Colombian economy, mining mostly stands out and in some municipalities the smelting of minerals such as brick, which causes a considerable amount of  $PM_{2.5}$  emissions predominates. In this sense, this article is intended to analyze the case of CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA, located in the municipality of Cogua, in the northern savannah of Bogotá, department of Cundinamarca. The main objective is to analyze the emissions of from this brick kiln and to be able to mitigate the negative effects of these emissions. of  $PM_{2,5}$  of this brickwork and to be able to mitigate the negative effects of these the methodology chosen in the first instance is an inductive method - by means of interviews surveys and review of primary and secondary references. Secondly, the IDEAM SISAIRE database is used as a source, in addition to the respective modifications made by the work team. Next, an analysis of the regulations of both the Colombian legal system and the international ones was carried out to validate their application in the production process of this factory and in this way find possible shortcomings, to finally find mitigation measures to reduce emissions of  $PM_{2.5}$ . And through an evaluation choose the best for the company.

**Keywords:**  $PM_{2.5}$  emissions, brick kilns, climate change, mitigation measures.

## 1. INTRODUCCIÓN

La fabricación artesanal de ladrillo es una actividad económica que genera 8.000 empleos directos y 2000 indirectos en el municipio de Cogua-Cundinamarca, no obstante, el municipio también recibe importantes ingresos del sector de manufactura de diferentes empresas de productos lácteos y la empresa PELDAR. Asimismo, allí se localiza un parque minero industrial, dedicado a la fabricación de productos a base de arcilla, los cuales corresponden al 30,4% de las exportaciones de materiales de construcción, lo que convierte al municipio en un rubro importante para las exportaciones del país. Sin embargo, el sector de la minería y construcción es uno de los menos sostenibles ambientalmente, debido a sus altas generaciones de emisiones de PM<sub>2,5</sub> contaminantes de que van causando impactos negativos a la calidad del aire. (Kim, 2012)

Estas industrias ladrilleras, en su proceso de producción, hacen uso de combustibles de baja calidad, tienen un proceso de combustión ineficiente, generando una gran cantidad de gases contaminantes que se van acumulando progresivamente en la atmósfera. Dentro de este grupo de contaminantes se destacan el material particulado, compuestos orgánicos, monóxido de carbono y nitrógeno. Asimismo, los hornos que se utilizan, generalmente son rudimentarios o “artesanales”, debido al bajo presupuesto con el que cuentan las industrias a la hora de construirlos, o simplemente no poseen los recursos suficientes para realizarles el debido mantenimiento periódicamente. (Corral, Bruce, Jimenez, Lara, & Márquez, 2007)

El material particulado PM son las partículas sedimentables el PM<sub>2.5</sub> (diámetro de partícula menor a 2.5µm). Existen dos factores importantes en la formación de PM secundario: la radiación solar y la presencia de radicales OH. El PM<sub>2.5</sub> puede ser sólido o estar conformado por aerosoles de dos tipos: inorgánicos y/o secundarios orgánicos. Los aerosoles son una mezcla de PM y su medio de suspensión gaseosa. (NASTRO, 2004)

La contaminación atmosférica causa alrededor de 2 millones de muertes prematuras al año en todo el mundo, específicamente; la contaminación urbana causa un total de 1.2 millones de muertes al año (OMS, 2009). Por lo tanto, la emisión de PM<sub>2,5</sub> es una amenaza latente para la salud, tanto de las personas que trabajan en los hornos de las ladrilleras como los habitantes del municipio donde se encuentran ubicadas. Por tal razón, es menester en este trabajo abordar las consecuencias de este material particulado. Desde una aproximación conceptual, este material particulado es el conjunto de partículas sólidas que se encuentran presentes en suspensión en la atmósfera, por lo cual, la exposición continua a altas concentraciones de PM<sub>2,5</sub> causa irritación de garganta, problemas respiratorios y cardiovasculares. Esta contaminación proviene de fuentes antropogénicas generalmente de procesos de combustión; en su gran mayoría de la sabana centro de Bogotá.

De acuerdo a los planteamientos adscritos, surge la necesidad de realizar un estudio que permita mitigar las emisiones de material particulado (PM<sub>2,5</sub>) de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA, en este sentido, el estudio tendrá tres alcances: en primer lugar, se obtendrá un diagnóstico de tres ramas: económica, social y tecnológica sobre la producción de esta ladrillera. Posteriormente, se organizará la información obtenida para lograr así cuantificar las emisiones de PM<sub>2,5</sub>; por medio de mediciones que fueron comparadas respecto a la Resolución 2254 del 2017 y la OMS 2005, normas nacionales e

internacionales respectivamente; y por último, luego de obtener los resultados de la cuantificación, iniciar una matriz, en la cual, se pueda determinar las causas de las principales de contaminación y así realizar la respectiva evaluación de alternativas para reducir estos impactos negativos.

Ahora bien, es importante que el resultado de este trabajo genere conciencia en el gremio de las ladrilleras del municipio de Cogua, por otro lado, se tendrá en cuenta los adelantos que ha venido introduciendo la Corporación Ambiental Empresarial (CAEM); la cual, ha venido trabajando con el sector ladrillero para encontrar modelos tecnológicos que mitiguen las emisiones de estos hornos al aire del sector. Aunque existen malas prácticas de producción en el sector ladrillero, el fin último de este escrito es encontrar esas posibles soluciones tanto para los trabajadores de las ladrilleras, como para las personas que residen en estos territorios, y a la vez mitigar las causas del calentamiento global.

Este documento se subdividió en tres fases: la primera fue la etapa de caracterización en donde se realizó un diagnóstico del sector económico, tecnológico y social de la empresa, resaltando los puntos más importantes; Para la segunda fase se llevó a cabo las mediciones de las emisiones de PM<sub>2,5</sub> en la ladrillera para así poder obtener datos que contribuirían el análisis comparativo con la norma nacional e internacional de calidad del aire. Finalmente, y a partir de la información recolectada en la segunda fase se podría determinar la medida adecuada para mitigar las emisiones de PM<sub>2,5</sub>, mediante la evaluación de alternativas, utilizando la matriz de suma ponderada evaluación multicriterio, con la cual se obtuvo que la mejor alternativa era la implementación de un Lavador de Gases Venturi ya que cumplía con todas las características ambientales, económicas (presupuesto) y tecnológicas para ser implementada.

## **2 Planteamiento del Problema**

El material particulado es un componente perjudicial para la salud, y sus efectos no solo inciden en el balance radiativo de la atmósfera, sino que afecta la salud de todos los seres humanos que intervienen en el proceso de producción de ladrillo y los que habitan en estos territorios. Cogua es un municipio de 23.654 Habitantes según bases de datos del Departamento Nacional de Planeación (DNP); es un número considerable para ser un municipio que no supera los 132km<sup>2</sup> de superficie.

La principal causa de estas emisiones son los combustibles no autorizados (leña, llantas, madera, plásticos o textiles, entre otros) que usan las ladrilleras en su proceso de cocción; por ende, se genera una gran cantidad de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre, carbono negro y partículas sólidas. En respuesta a la necesidad se debe identificar las fuentes primarias de emisión y por medio de un análisis cuantitativo hallar el número de emisiones promedio de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.

Cundinamarca es un departamento con crecimiento industrial y demográfico; siendo proporcional con las emisiones negativas a la atmósfera. Dentro de ese crecimiento económico se encuentra ubicado el sector ladrillero, el cual, se ha mantenido por la demanda que ha tenido el sector constructor en los últimos veinte años. En el caso del municipio de Cogua, es una actividad económica que genera 8.000 empleos directos y 2000 indirectos en el municipio; por lo cual el número de familias que dependen del gremio es considerable; no obstante, esta industria ha sido asociada a los sectores más pobres de las comunidades, puesto que, predomina la economía informal y la demanda el producto depende de la necesidad de los centros de población cerca al área de influencia. (Alcaldía Municipal de Cogua, 2018)

Para analizar esta problemática de manera técnica es importante resaltar la investigación realizada por el Instituto Nacional de Salud (INS) en su informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia; el cual, plantea que por exposición a aire y agua de mala calidad ocurren cada año en Colombia 17,549 muertes, es decir el 8% del total de la mortalidad anual en Colombia. En el desarrollo de esta investigación el INS encontró que hay ciertas enfermedades que afectan de manera tangencial a los colombianos; dentro de ellas están: la enfermedad isquémica del corazón, el accidente cerebro-vascular, la enfermedad pulmonar obstructiva (EPOC), las infecciones respiratorias agudas, el cáncer de pulmón, la enfermedad diarreica aguda (EDA) y la enfermedad renal crónica, 17,549 muertes están asociadas a la mala calidad del agua y del aire y a la contaminación por combustibles sólidos y metales. Cifra que representa un 8% del total de muertes en Colombia que anualmente es de 200 mil. (Instituto Nacional de Salud, 2019)

Es así, que las medidas de mitigación deben implementarse en un corto y mediano plazo, teniendo en cuenta las cifras adscritas, los altos impactos ambientales como la contaminación del aire, el consumo energético y la extracción de materiales, están generando tasas de mortalidad altas no solo en la región sino en el país. Uno de los principales contaminantes alarmantes sigue siendo el PM<sub>2,5</sub>.

De acuerdo a los planteamientos adscritos vale la pena plasmar la siguiente inquietud: *¿Cuáles son las medidas con mayor grado de implementación para mitigar las emisiones de PM<sub>2,5</sub>, las cuales, deterioran la calidad del aire en el sector que se encuentra ubicada la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA, en Cogua-Cundinamarca?*

### **3 justificación**

Realizar un estudio de la contaminación del aire, el cual, se genera principalmente por factores naturales, dentro de ellos la participación humana. El caso a estudiar se lleva a cabo en la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA. El interés de mejorar las condiciones de calidad del aire tanto en la ladrillera como en las zonas aledañas al sector, surge de la necesidad de una mejor calidad de vida para las personas que viven

cerca de estas industrias, disminuyendo así los índices de morbilidad y de mortalidad. En un corto plazo se desea hacer un análisis cuantitativo riguroso de las emisiones para no tener sesgos en la investigación.

En un mediano plazo se pretende encontrar soluciones viables para prevenir o mitigar los altos costos sociales: vidas pérdidas prematuramente, ausentismo laboral, atención hospitalaria y pérdida de la productividad; sabiendo que actualmente en Colombia el sector ladrillero es uno de los que más aporta a la contaminación del aire. Sin embargo, no existe un control ambiental efectivo que permita la contención de emisiones de PM<sub>2,5</sub>; un segundo factor es la informalidad de estas empresas; ya que, no se encuentran registradas ante la cámara de comercio y como tercer factor, no poseen optimización de materias primas en sus procesos.

De acuerdo a las medidas de mitigación planteadas, a largo plazo se prevé que toda la población de Cogua se vea beneficiada: los trabajadores, los dueños de las ladrilleras y los habitantes del municipio; mejorando el proceso de producción del ladrillo tanto en los insumos que se utilizan como en la maquinaria tecnificada para producirlo. De esta manera, se podrá optimizar al máximo los procesos en cuanto a materiales y tecnologías, para así mejorar notablemente la calidad del aire en este municipio; reduciendo la carga de emisiones de PM<sub>2,5</sub> que surgen de estas ladrilleras.

## **4 Objetivos**

### *4.1 General*

Proponer una medida de mitigación de emisiones de PM<sub>2,5</sub>, en la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA. en el municipio de Cogua, Cundinamarca.

### *4.2 Específicos*

- Realizar una caracterización de los componentes componente social, tecnológico y económico de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.
- Desarrollar un análisis comparativo de las condiciones de calidad del aire de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA respecto a la normatividad vigente nacional e internacional
- Evaluar alternativas de mitigación para las emisiones de PM<sub>2,5</sub>; que logren reducir los impactos ambientales negativos sin afectar la economía de la ladrillera.

## 5 Marco de referencia

### 5.1 Estado del arte

Para esta revisión de literatura, se hará una clasificación de la literatura existente sobre emisiones de PM<sub>2,5</sub> por parte de ladrilleras y los tipos de hornos que en estas se encuentran. De esta manera se pretende evidenciar qué interrogantes se han resuelto, cuántos han quedado inconclusos y que tipo de inquietudes nunca se han planteado o resuelto. A continuación, se plantean los estudios de caso encontrados sobre material particulado emitido por ladrilleras y una clasificación del tipo de hornos que se encuentran en esta industria.

(Romo, Córdova, & Cervera, 2004) realizaron un estudio en el año 2004 y se plantearon varias preguntas sobre el control de hornos ladrilleros en la ciudad de Juárez, México donde predominan las ladrilleras del sector informal, es decir, no se encuentran reguladas por el gobierno central y no generan aportes tributarios al mismo; pero su impacto ambiental es negativo y aumenta considerablemente con el pasar del tiempo. Estos hornos, como se menciona en el estudio, presentan métodos rudimentarios generando material particulado en altas cantidades sin control alguno. De este estudio se obtuvieron los siguientes resultados: en primer lugar, se encontró una metodología para levantamiento de datos en esta industria ladrillera. En segundo lugar, se encontró la causa de la contaminación del aire, describen posibles soluciones; mediante la implementación de hornos ecológicos, describiendo las implicaciones que tendría el sector productivo de las pequeñas empresas.

En el año 2006 (Gallegos, Lang, Fernández, & Luján, 2006) en su trabajo de investigación analizaron los posibles efectos sobre la salud de los niños, a causa de la contaminación en las zonas aledañas a las fábricas de ladrillos en Cochabamba, Bolivia. El estudio relata que en América Latina 4 millones de niños mueren al año por lo que son las IRAS que se encuentran directamente relacionados con la contaminación atmosférica: producida en lugares cerrados por cocinar con leña, o en espacios abiertos por causa de las emisiones de las industrias. Ahora bien, los resultados de esta investigación permiten relacionar las enfermedades de los niños con las emisiones de partículas PM<sub>10</sub>, en ese estudio la más alta fue de 199 µg/m<sup>3</sup> y la más baja fue de 83 µg/m<sup>3</sup>.

La estructura de este estudio se basó en tres ejes principales; primero se evaluó la calidad del aire en un punto de monitoreo predeterminado aledaño a la zona de producción de ladrillo. Posteriormente, se procedió a recolectar las historias clínicas de dos centros de salud que se encontraban en las zonas aledañas a los dos puntos de muestreo anteriormente establecidos. De esta manera se procedió a hacer la comparación de las historias clínicas respecto de los datos obtenidos en los puntos de muestreo. De la metodología adscrita se obtuvo el siguiente resultado: las historias clínicas del centro médico ubicado en la zona de influencia de las emisiones de las ladrilleras reflejaron que la cantidad de pacientes que presentaron IRAS es abrumadora, reflejándose en un 90% de los casos (que se atribuyen a la contaminación por partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), seguido de la bronquitis aguda con un 7% y por último el EPOC con un 1%. Por otra parte, se obtuvo estadísticamente que la mayoría de las enfermedades se presentan en el primer rango de edad anteriormente mencionado presentando 151 casos de 208 estudiados.

Finalmente, la investigación adscrita contribuyó de forma significativa en la estructuración de nuestro proyecto; puesto que, posee una gran similitud con las metodologías que se van a utilizar, brindó a la vez una ruta para el levantamiento de datos (entrevistas y encuestas) en diferentes ladrilleras y el muestreo de la calidad del aire; para determinar el grado de emisiones que desafortunadamente afectan a las personas que laboran y residen cerca a la zona de producción de ladrillo.

Posteriormente en el año 2016; en Durango-México, se hizo un estudio denominado “Estudios ambientales de las emisiones vehiculares, producción de ladrillo, exposición personal a contaminantes, monitoreo de la calidad del aire, hidrocarburos y partículas”; donde se realizaron pruebas para cuantificar la tasa de emisión de los hornos tradicionales de producción de ladrillo artesanal. De igual forma, se hizo una comparación con las emisiones que generan los hornos ecológicos. Estas pruebas fueron realizadas en un tiempo determinado y consistieron en obtener el perfil temporal de emisión de partículas, carbono negro y carbono orgánico, durante las 18 horas que, aproximadamente, dura un proceso de producción de ladrillo. De manera simultánea, se desarrolló una prueba de exposición de los trabajadores de esta industria a las emisiones generadas en cada tipo de horno. Y los resultados arrojaron lo siguiente: la reducción estimada del 48% y 42% de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> y carbono negro respectivamente. El 51% de consumo energético fue menor con el horno ecológico con respecto al horno tradicional. (INECC, 2016)

En colaboración con la Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente; se centraron en la cuantificación de emisiones de contaminantes de un horno fijo tradicional respecto a un horno ecológico-DGO en la ciudad de Victoria de Durango, México. Principalmente, se desarrolló una campaña para la evaluación del desempeño de estos dos tipos de hornos. El principal objetivo de este estudio era evaluar el perfil de emisión de partículas y gases por la correcta implementación del horno ecológico-DGO. (INECC, 2016)

La metodología realizada para esta investigación fue desarrollada a través de la evaluación y cuantificación de emisiones, mediante el muestreo de los dos tipos de hornos, durante tiempos similares (dos días completos), condiciones reales de operación y de locación (es

decir que se presentaban las mismas condiciones atmosféricas) y para la fabricación del mismo tipo de ladrillo. Por otra parte, las materias primas que fueron utilizadas como combustible para el horno tradicional fueron 2203.34 kg divididos en Leña de Pino (76,40%), Triplay de Pino (19,45%), Troncos de Pino (4,36%) y Ocote (0,09%). A diferencia del horno ecológico-DGO fueron utilizados únicamente 1198.70 kg de solo leña de pino. (INECC, 2016)

Los hornos de operación permitieron evidenciar la siguiente información: el horno fijo tradicional se compone de cámaras de combustión construidas como paredes de ladrillos que tienen la función de aumentar la eficiencia energética, pero que a diferencia del horno ecológico-DGO este posee la particularidad de liberar directamente las emisiones generadas por la combustión a la atmósfera.

*Por otro lado, el horno ecológico-DGO, se compone por dos hornos que se encuentran unidos en la parte inferior por túneles y compuertas. El proceso básicamente comienza en la cocción de los ladrillos en el horno 1 mediante la combustión, en donde los gases que se generan en este, son dirigidos por los túneles y compuertas de la parte inferior hacia el horno 2, en donde se comienza a secar una carga previamente introducida y de la misma manera el proceso sirve como filtro de gases y partículas generados en la primera etapa, lo que hace que esta configuración aumente considerablemente la eficiencia energética al mismo tiempo que reduce las emisiones y disminuye la utilización de combustible en el proceso de cocción de los ladrillos. (INECC, 2016)*

Por último, se obtuvo como resultado que el horno fijo tradicional genera altos niveles de emisión de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero:

*Lo que significa 3% más de emisiones de PM<sub>2,5</sub>, 27% más de CO<sub>2</sub> y un 62 % más de CH<sub>4</sub> para finalmente estimarse en una reducción de emisiones total del 49%. Por otra parte, en cuanto al consumo energético, el horno ecológico-DGO presentó una reducción del 51% respecto del horno fijo tradicional, por lo que consecuentemente el consumo de combustible es mucho menor y por tanto también las emisiones de gases contaminantes. Finalmente, los beneficios se verán reflejados en una drástica mejora en la calidad del aire de la ciudad de Durango que conlleva a mejores condiciones para los operarios de los hornos, para la gente que vive en zonas aledañas y por último en el incremento de beneficios económicos.*

De la investigación adscrita; se obtuvo información relevante para el desarrollo del presente escrito; gracias a la demostración mediante datos reales por medio de la comparación entre los dos hornos, de tal manera se demostró la alta eficiencia y la baja generación de emisiones del horno-DGO; el cual, utiliza un sistema bastante tecnificado y acorde con las necesidades de producción y de reducción de emisiones de PM<sub>2,5</sub>, esto nos permitió conocer una alternativa real y funcional para aplicar al presente proyecto de investigación.

Haciendo el análisis a nivel local; en el año 2006: se centró en la realización de un inventario de emisiones atmosféricas principalmente de fuentes fijas en la industria ladrillera de gran escala en el área metropolitana de Bucaramanga, en donde esté llevo a cabo la cuantificación

de las emisiones de los contaminantes atmosféricos, mediante muestreos isocinéticos en las chimeneas de descarga de los hornos de cocción de ladrillos, con la finalidad de evaluar el impacto ambiental que se está generando sobre la calidad del aire. Determinando así si las industrias cumplen con lo establecido en los niveles máximos permitidos respecto a la normatividad vigente. (Serrano M. , 2006)

En el artículo Contaminación atmosférica por la fabricación de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de zonas aledañas a la fuente, muestran cómo por medio de una investigación se logran identificar los diferentes tipos de contaminaciones, las cuales han causado millones de muertes de personas en especial niños. Según datos de la UNICEF y la OMS en el año 1993, el 28% (3.6 millones) de defunciones infantiles que ocurren en el mundo están siendo causados por IRAS (Infecciones Respiratorias Agudas). Y el 23% (3 millones) de niños, murieron por EDAS (Enfermedades Diarreicas Agudas), causada por la deshidratación, en las que tuvieron como resultado que los picos más altos que se observan en la curva de sus resultados de las ladrilleras, se debían principalmente al funcionamiento de los hornos en los alrededores del punto de muestreo. (Gallegos & Lujan, 2006)

Luego de hacer un análisis de casos de estudio similares al objeto de este trabajo; es menester resaltar las acepciones encontradas en la revisión literaria del material particulado, como se expone a continuación:

Según Saralegui, el material particulado es “Una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas. Esta mezcla puede variar considerablemente de tamaño, composición, y concentración. Esto depende de las fuentes naturales como, por ejemplo: el polvo, el rocío de mar y volcanes. Pero también depende de actividades antropogénicas como son la combustión de petróleo y sus derivados. (Saralegui, 2003)

Para la red Mónica: son partículas livianas que son fácilmente suspendidas en el aire. Su origen puede ser natural o antropogénico. Debido sus características permanecen en suspensión por mucho tiempo y son una amenaza para los habitantes, pues al ser inhaladas provocan daños al sistema respiratorio. (MoniCA, 2019)

En esta parte del escrito es importante plasmar los tipos de hornos que se utilizan en las ladrilleras y cómo influyen en la emisión de PM<sub>2,5</sub>. Asimismo, se relaciona la clasificación de la industria ladrillera de acuerdo a su tamaño:

***Figura 1. Clasificación de la industria ladrillera en Colombia***

Tipo	Horno	Producción	Tipo de producto
------	-------	------------	------------------

Unidades productivas artesanales	Fuego dormido	400- 1000	Toletes y tejas
Unidades productivas mecanizadas	Árabe- Colmena.	1000- 2500	Toletes y tejas
Pequeña industria	Baúl, Colmena, Vagón.	2500- 5000	Adoquín, tableta, tejas, bloque.
Mediana industria	Baúl, Colmena, Cámaras, Zigzag, Semicontínuos.	5000- 10000	Bloques, rejillas, adoquín y productos de gran formato
Gran industria	Túnel, rodillos	10000- 12000	Bloques, ladrillos de fachada, divisorios prensados y productos de gran formato.

Fuente: CAEM, 2015.

Las ladrilleras se dividen de la siguiente manera de acuerdo a su tamaño:

*Figura 2. Distribución por tamaños del sector ladrillero*

Tamaño	Información 2013		Información 2015	
	Número de hornos	Ton/mes	Número de hornos	Ton/mes
Grandes	53	197897	77	626552
Medianas	90	91937	348	254660
Pequeñas	160	41841	348	171277
Ladrilleras mecanizadas	245	23145	1233	281900
Ladrilleras artesanales	1387	22127	620	44425

Fuente: CAEM, 2015

Según la tabla anterior se puede observar que el 45% de la producción nacional se desarrolla en las ladrilleras, grandes seguidas de las mecanizadas con el 21% que también son las más representativas en el número de hornos. Las ladrilleras consideradas medianas participan con el 18%. La pequeña industria aporta el 12% mientras que las ladrilleras artesanales solo el 3%. (CAEM, 2015) A pesar que la gran industria sólo cuenta con 76 hornos, en estos se desarrolla la mayor producción de ladrillos y cerámicos del país. Además, se puede notar que en los últimos años el país no solo ha incrementado su producción de cerámicos, sino que también ha demostrado una tendencia hacia el cambio tecnológico, resaltando que a la fecha hay menos ladrilleras artesanales que han migrado hacia las ladrilleras mecanizadas y pequeñas. (CAEM, 2015)

Finalmente, para finalizar la revisión literaria se plasma a continuación el uso de combustible (biomasa) por parte del sector ladrillero en Colombia, gracias a información suministrada por la Corporación Ambiental Empresarial:

*Figura 3. Uso de Combustible*

Energético	Consumo (Tcal/año)	Porcentaje del consumo
Carbón mineral	5003,47	70%
Biomasa (Leña y otros)	1403,70	20%
Mezcla biomasa y carbón	479,29	7%
Gas natural	177,04	3%
Total	7063,49	100%

Fuente: CAEM, 2015

También es menester mostrar el uso de combustible según el tamaño de cada ladrillera:

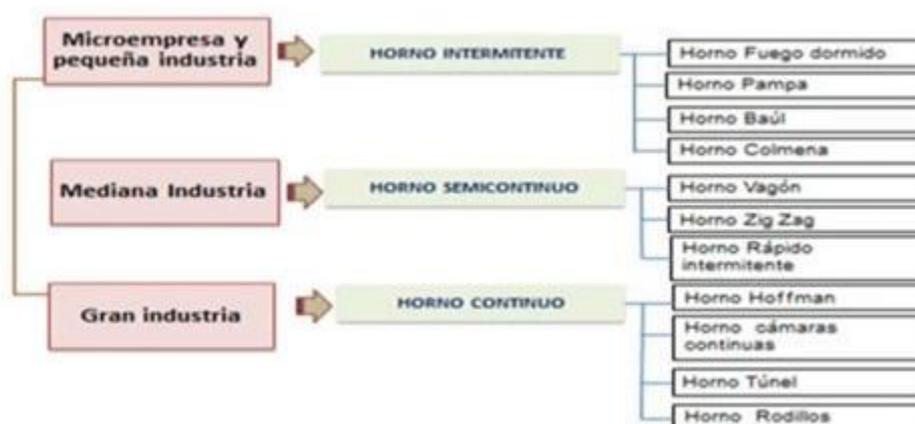
*Figura 4. Consumo de combustible por tamaño*



Fuente: (Buitrago & Torres, 2017)

Se puede notar que las ladrilleras mecanizadas son las que presentan mayor consumo de biomasa (representada por leña) para la cocción de los cerámicos. Dichos consumos se dan principalmente en hornos Pampa. En este grupo empresarial, también se realizan mezclas de carbón y biomasa que principalmente está dada por cisco de café, residuos de madera, aserrín, residuos de caña, guadua, entre otros, según la disponibilidad de la región y la temporada de producción agrícola. (CAEM, 2015)

*Figura 5. Tamaños de los hornos*



Fuente: (Buitrago & Torres, 2017)

Las ladrilleras artesanales, representadas por los hornos Fuego Dormido, solamente emplean carbón. Estos hornos se encuentran en las regiones de Cundinamarca y Boyacá. Las ladrilleras grandes utilizan carbón en sus hornos Túnel y Rodillos, a excepción de dos hornos, uno tipo Rodillos ubicados en Cundinamarca y otro tipo Túnel ubicado en Atlántico que emplea Gas Natural. (CAEM, 2015)

Las ladrilleras pequeñas y medianas principalmente emplean carbón, utilizando mezclas con biomasa para el precalentamiento del horno. Según se observa en la tabla y la figura 4, el carbón sigue siendo el combustible más empleado por el sector ladrillero, principalmente en la etapa de combustión. El elevado costo del gas natural (relación 2,4 a 1 con respecto al carbón mineral) limita su uso y esto se evidencia en los resultados. (CAEM, 2015). La energía eléctrica no se encuentra como un energético representativo. La energía eléctrica es utilizada en la industria ladrillera tecnificada (para procesos de molienda, homogenización y moldeo) mientras que, para las ladrilleras artesanales, estos procesos en su mayoría emplean la fuerza humana o combustibles fósiles (ACPM, Gasolina, etc.) que raramente son registrados en sus consumos mensuales. (CAEM, 2015)

## 5.2 Marco conceptual

La contaminación del aire está considerada como la concentración de sustancias que en estado sólido, líquido o gaseoso son causantes de efectos adversos en el ambiente y la salud. Los contaminantes en el aire se presentan en forma de partículas y gases, y son emitidos como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible acción de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire., 2015). Las condiciones meteorológicas y topográficas de determinadas zonas inciden en la mezcla y el transporte de los contaminantes en el aire.

### 5.2.1 Contaminación atmosférica

La contaminación de la atmósfera es definida como la presencia de elementos contaminantes en el aire que afectan su normal composición y estructura y que posteriormente puede llegar a afectar otro tipo de esferas de los ecosistemas y esta se puede llegar a clasificar en diferentes tipos según su:

- **Origen:** Pueden ser antropogénicos, los cuales son provenientes exclusivamente de actividades industriales de los humanos, o por otra parte pueden ser naturales que se originan de procesos de la naturaleza tales como erupciones volcánicas o polen en suspensión. (Ovarzún, 2010)
- **Estado físico:** Pueden ser gases tales como los óxidos nitrógeno (No), de azufre (SOx), monóxidos de carbono (CO), el ozono (O<sub>3</sub>), los hidrocarburos o aerosoles y partículas de polvo. La diferencia radica cuando estos gases se consideran primarios que es cuando se encuentran presentes en el aire tal como fueron emitidos, y secundarios que se determinan debido al proceso que empiezan a sufrir los primarios. (Ovarzún, 2010)
- **Tamaño:** Dependiendo del tamaño que presenten las partículas éstas pueden permanecer más tiempo en el aire y transportarse a una mayor distancia de la fuente de emisión. Las partículas que se denominan "respirables" por su capacidad de introducirse en las vías respiratorias y que claramente tienen la capacidad de suspenderse en el aire, poseen un diámetro menor o igual a 10 µm y son las denominadas PM10. Por otra parte, las partículas más finas, que son las que se encuentran en un diámetro ≤ 2,5 µm, son las que pueden llegar a causar un poco más de afectaciones en la salud de las personas debido a que estas tienen mayor capacidad de penetración en las vías respiratorias y pueden ser transportadas a través del torrente sanguíneo hacia otros órganos. (Ovarzún, 2010)

Ahora bien, a nivel industrial se puede decir que esta aporta el 60% del material particulado y fuentes móviles el 40%, y teniendo en cuenta el impacto de la exposición de las personas a los contaminantes. (Ovarzún, 2010)

Específicamente se pueden encontrar varios sectores industriales puntuales que son los que poseen mayor impacto social por la contaminación del aire de acuerdo con el alto riesgo que poseen en sus emisiones dentro de los que se encuentra como principal implicado a las ladrilleras, seguido de las tintorerías, fundiciones, empresas que utilizan carbón como combustible y empresas de incineración. (Rojas, 2007)

Los impactos causados por las emisiones de estas industrias generalmente se ven agravados por múltiples factores tales como lo pueden ser:

- Fallas en el Plan de Ordenamiento Territorial, mediante la instalación de industrias en zonas residenciales y por el otro lado la construcción de viviendas en zonas que están dedicadas netamente a la parte industrial.
- La utilización del carbón como combustible, controles de emisión y la falta de tecnologías de combustión que particularmente deben ser buenas para lograr bajas emisiones de material particulado y monóxido de carbono. Así mismo el carbón es el combustible preferido por la pequeña y la mediana empresa debido a los bajos costos en los que se consigue en el mercado. (Rojas, 2007)

**Aire:** Es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición es, cuando menos, de veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica (Decreto 948, 1995).

**Ambiente:** Entorno biofísico, físico y social en el que se insertan las actividades industriales.

**Atmósfera:** Capa gaseosa que rodea la tierra (Decreto 948, 1995). La atmósfera seca está formada casi en su integridad por nitrógeno (78,1 por ciento de la proporción de mezcla de volumen) y por oxígeno (20,9 por ciento de la proporción de mezcla de volumen), junto con una serie de pequeñas cantidades de otros gases como argón (0,93 por ciento de la mezcla de volumen), el helio, y gases radiactivos de efecto invernadero como el dióxido de carbono (0,035 por ciento de la mezcla de volumen) y el ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua, con una cantidad variable pero que es normalmente de un 1 por ciento del volumen de mezcla. La atmósfera también contiene nubes y aerosoles (IPCC, 2007).

**Cambio Climático:** Se trata de un cambio de clima que viene directa o indirectamente producto de la actividad humana que afecta la composición de la atmósfera y causando la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo determinados. (Naciones Unidas, 1992)

**Chimenea:** Se trata del conducto, de una fuente fija, que facilita el transporte de sus productos, compuestos o elementos que se encuentren haciendo combustión. (Espoz, 2008)

**Combustibles fósiles:** Combustibles basados en carbono de depósitos de carbono fósil, incluidos el petróleo, el gas natural y el carbón (IPCC, 2007).

**Contaminante:** Es un fenómeno físico, el cual puede presentarse como sustancia o elemento en estado sólido, líquido o gaseoso, causante de afectaciones al medio ambiente, a los recursos naturales renovables y la salud humana, además de que se pueden presentar solos, en combinación, o como productos de reacción. Éstos se pueden emitir al aire por causa de actividades humanas, causas naturales, o de una combinación de éstas. (CARDER, 2012)

**Emisión:** Es la descarga a la atmósfera de manera continua o discontinua de materias, sustancias o formas de energía procedentes, las cuales pueden ser directa o indirectamente, de cualquier fuente susceptible para la producción de contaminación atmosférica, en un periodo de tiempo determinado. (Riscos, 2010).

**Fuentes fijas:** Se trata de la fuente de emisión que se encuentra en un lugar determinado, a pesar de que la expulsión de contaminantes se disperse. (CARDER, 2012)

**Fuentes Móviles:** Se trata de toda máquina no fija que contenga motores de combustión y similares, que generan emisiones contaminantes a la atmósfera. Este concepto incluye prácticamente a todos los vehículos automotores. Los motores de los vehículos son los responsables de las emisiones de CO, de compuestos orgánicos volátiles, SO<sub>2</sub>, y No, producidos durante la combustión. (INECC, 2007)

**Gases de efecto invernadero:** Se trata de componentes gaseosos de la atmósfera, que pueden ser naturales como antropógenos, y que absorben y reemiten radiación infrarroja. (Naciones Unidas, 1992).

**Hollín:** El Hollín o Carbono negro es un aerosol o material particulado, componente del PM<sub>2,5</sub> que se produce en la combustión incompleta e ineficiente de combustibles fósiles, biocombustibles y biomasa. Es capaz de retener la luz y de transformar esa luz en calor. (AIDA, 2011)

**Medida de mitigación ambiental:** Son el conjunto de acciones de prevención, control, atenuación, restauración y compensación de impactos ambientales negativos que deben acompañar el desarrollo de un Proyecto, a fin de asegurar el uso sostenible de los recursos naturales involucrados y la protección del medio ambiente. (IEA, S.)

**Responsabilidad social y ambiental:** Actitud de reconocimiento de la responsabilidad y de los deberes que tenemos como personas (ciudadanos) y como Industria en el desarrollo del país y en la construcción de una sociedad justa y equitativa. (ANAFALCO, 2017)

**RM CAB:** Es una herramienta muy efectiva para hacer el seguimiento de la calidad del aire de la ciudad de Bogotá y sin duda es una herramienta que debe mantenerse y mejorarse para continuar conociendo la calidad del aire de la ciudad y los efectos de políticas o medidas de alta cobertura. (Rojas, 2007)

**Sostenibilidad ambiental:** Es el desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades (Ley 99, 1993).<sup>1</sup>

### *5.2.2 Tipos de hornos utilizados en las industrias ladrilleras*

#### *5.2.3 Horno de fuego dormido*

Estos tipos de horno son de carácter artesanal, son construidos en forma circular de tal manera que quedan en forma de bóveda. Para su funcionamiento, la materia prima se carga por una puerta lateral, la cocción de la materia es de 30 días. Al finalizar el proceso el producto no es de la mejor calidad, ya que no es constante al quedar algunos ladrillos quemados y otros crudos. El impacto ambiental que generan estos procesos en este tipo de horno es muy alto ya que la producción del ladrillo por horneado es de 15000 a 20000. (Herrera & López, 2011)

#### *5.2.4 Horno árabe*

Este tipo de horno se construye en forma rectangular, no poseen techo, ni chimenea y está constituido por 8 hornillas laterales e inferiores para el suministro de carbón, en este tipo de hornos la cocción es más rápida, ya que es de 7 días. La producción y el impacto ambiental que genera es alto ya que el consumo de carbón es de 8 a 10 Ton. por horneado y 15 Ton. de arcilla. (Herrera & López, 2011)

---

<sup>1</sup> Ley General Ambiental de Colombia. Recuperado el día 10 de diciembre de 2019 en: [https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia\\_99-93.pdf](https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf)

#### 5.2.5 Horno tipo baúl

Es similar al árabe, pero la diferencia radica en que evacua los gases por tiro natural. Consume de 9 a 12 Ton. de carbón en cada proceso de horneado y de 18 a 20 Ton de arcilla, por lo cual su impacto ambiental es alto. (Herrera & López, 2011)

#### 5.2.6 Horno de llama invertida

Es un horno cerrado, intermitente. El tiro puede ser natural o forzado, la alimentación se realiza por una puerta lateral, mientras que el combustible es suministrado en unas parrillas colocadas en la pared del horno o mediante Stoner. Los humos se evacuan por la chimenea, el consumo de combustible varía entre 15 y 30 toneladas de carbón por hornada, el impacto ocasionado es alto. (Herrera & López, 2011)

#### 5.2.7 Horno tipo colmena

Son hornos semiesféricos que evacuan los gases de combustión mediante tiro natural, tienen baja capacidad de producción y el combustible consumido varía entre cinco y diez toneladas de carbón por hornada. El impacto ambiental es medio. (Herrera & López, 2011)

#### 5.2.8 Horno Hoffman

Se trata de dos galerías paralelas formando compartimientos contiguos cuyos extremos se unen por un pasa fuegos. Estos hornos tienen una alta producción y una alta eficiencia térmica, el proceso de cocción dura siete días. la alimentación del combustible se realiza en la parte superior del horno y puede ser de forma manual o con la ayuda de carbón. Los Hoffman consumen cerca de 25 a 30 toneladas de carbón por ciclo de quema. El impacto ambiental es de medio a bajo. (Herrera & López, 2011)

No obstante, estos hornos cuentan con desventajas como la exposición de trabajadores a altas concentraciones de contaminantes, el aumento en el control de la temperatura y alimentación de combustible para no desestabilizar el sistema de quema y el aumento en los costos de mantenimiento y consumo eléctrico. (CAEM, 2015)

#### 5.2.9 Horno Túnel

Son hornos continuos con bajo nivel de contaminación. La longitud del horno fluctúa entre 80 y 120 metros, consume cerca de 500 toneladas de carbón al mes, y el combustible se suministra mediante un sistema de transporte neumático y su uso es altamente industrial, con alto niveles de tecnología y de producción. (Herrera & López, 2011)

#### 5.2.10 Horno de Rodillo

Estos hornos tienen una serie sucesiva de rodillos cerámicos, con dos o tres líneas de flujo por donde circula el material a coser. El combustible es gas introducido por la parte lateral por lo tanto el impacto ambiental es bajo. (Herrera & López, 2011)

#### *5.2.11 Tipos de industrias ladrilleras*

La clasificación de la industria ladrillera depende del nivel tecnológico (que tienen que ver con el tipo de horno que utilizan) y su capacidad de producción. Ésta se divide en: chircales artesanales o mecanizados, ladrilleras pequeñas, medianas y grandes. (Herrera & López, 2011)

#### *5.2.12 Chircales artesanales*

Estas fábricas trabajan principalmente con hornos fuego dormido, ocasionando una fuerte contaminación atmosférica por emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, Azufre, Nitrosos, calentamiento por altas temperaturas y material particulado. También desarrollan procesos de extracción de arcillas de manera manual haciendo que se generen taludes inestables, presencia de áreas extensas sujetas a erosión. Aquí el control de calidad y selección de los materiales de producción es nulo. Y el tipo de ladrillo que se produce es de tipo tolete. (Herrera & López, 2011)

#### *5.2.13 Chircales mecanizados*

Este tipo de industria lleva a cabo procesos de fabricación de productos de arcilla sin un alto grado tecnológico, ya que aquí continúa siendo manual la extracción de arcilla, es por eso que tiene las mismas afectaciones a la atmósfera que el de tipo artesanal. La forma de vinculación del trabajador es de tipo destajo, ya que no es de forma permanente en la que el trabajador está en contacto con las actividades productivas del ladrillo. En la producción se utilizan hornos tipo árabe. (Herrera & López, 2011)

#### *5.2.14 Pequeña industria*

Esta industria es más tecnificada ya que se utilizan tecnología de mayor proporción. Se utilizan maquinaria pesada para la extracción de la arcilla, como bulldozers o retroexcavadoras y la materia prima pasa por procesos de selección para garantizar la calidad del producto. En cuanto a las afectaciones ambientales, al contar con una tecnología más eficiente, producen menos emisiones de contaminantes, pero a pesar de esto no cuentan con una mano de obra calificada para su uso, haciendo que al final se proporcionen producto de mala calidad y con afectaciones negativas al medio ambiente. (Herrera & López, 2011)

#### *5.2.15 Mediana industria*

Ésta generalmente tiene una amplia variedad de productos, como tabletas, pisos, ladrillos, tejas, pero su principal producto son los bloques. Las etapas de extracción, molienda y homogeneización son semejantes a la pequeña industria, pero a mayor escala lo que implica en muchos casos que se automaticen procesos como en la introducción de secadores artificiales tipo túnel. Estas empresas hacen un uso eficiente de los recursos y la energía. El

uso de filtros, el tipo de horno y los quemadores de carbón, hacen que exista una mejor combustión, menos residuos y emisiones. (Herrera & López, 2011)

#### *5.2.16 Gran industria*

Esta es la industria con mayor grado de tecnología ya que el manejo de los productos terminados es más técnico y cuidadoso a diferencia de las otras industrias; La movilización y empaque se realizan de forma mecanizada. Los tipos de productos que se realizan son variados, como pisos, adoquines, tabletas, bloques y productos estructurales. El horno utilizado en este tipo de industria es de tipo túnel, lo que aporta a la minimización de emisiones y afectaciones a la atmósfera. Los recursos y la tecnología son clave que minimiza, previene, compensa y corrige los impactos que esta genere al medio ambiente. (Herrera & López, 2011)

#### *5.2.17 Partículas finas*

Son aquellas que son que tienen un tamaño inferior a 2,5 micras, las cuales están compuestas principalmente por partículas producidas en procesos de combustión y aquellas producidas a partir de vapores que se condensan en la atmósfera. Las partículas finas no sólo son inhalables, sino que además se depositan eficientemente en las vías respiratorias inferiores y en los alvéolos pulmonares, produciendo irritación e inflamación en las células alveolares. (Rojas, 2007)

### *5.3 Marco Teórico*

#### *5.3.1 Producción más limpia en sector Ladrillero*

La producción más limpia tiene como fin primordial mejorar los procesos por medio del cambio de la materia prima, tecnología y buenas prácticas. Para prevenir las causas negativas en la salud de las personas y del medio ambiente. Logrando beneficios tanto productivos, como económicos para las empresas. Las ladrilleras son industrias que demandan un alto consumo de combustible como carbón y madera; por lo cual, se ven en la necesidad de implementar acciones y mecanismos eficientes que ayuden a optimizar los recursos minerales y vegetales. Asimismo, deben reducir las emisiones de gases a la atmósfera. Las ladrilleras que cuentan con hornos tipo Hoffman o Túnel son más eficientes ya que cuentan con un tiempo de quema corto y niveles de contaminación aceptables. Asimismo, su calor residual es aprovechado y se conduce hacia hornos de secado lo que reduce la emisión y el tiempo de deshidratación del material de dos semanas a tres días. (NASTRO, 2004)

Para reducir la contaminación en el aire existen otros métodos de reducción como filtros, sedimentadores gravitacionales para recolectar partículas, sistemas de flujo ciclónico y lavadores de gases y vapores. (Silva, 2013)

#### *5.3.2 Gestión Ambiental*

La gestión ambiental es el conjunto de acciones y estrategias mediante las cuales se organizan las actividades antrópicas que influyen sobre el ambiente con el fin de lograr una adecuada calidad de vida previniendo o mitigando los problemas ambientales, tratando de conseguir el equilibrio adecuado para el desarrollo económico, crecimiento de la población, uso racional de los recursos y protección y conservación del medio ambiente. (Massolo, 2014)

Entre las herramientas e instrumentos para la gestión ambiental, se encuentran las medidas:

- Preventivas
- Correctivas
- Conservación y mejoramiento

La gestión ambiental cuenta diferentes herramientas e instrumentos que pueden hacer que sea más eficiente en términos sociales, ambientales y económicos. Algunos ejemplos de éstas son:

- Legislación Ambiental
- Educación Ambiental
- Aplicación de modelos de dispersión de contaminantes
- Sistemas de diagnóstico e información ambiental
- Sistemas de Gestión Ambiental

### *5.3.3 Calidad del aire*

La calidad del aire es una indicación de cuánto el aire está exento de contaminantes atmosféricos; y, por lo tanto, apto para ser respirado. No gozar de un ambiente con aire de calidad es un problema que implica riesgo o daño para la seguridad y la salud de las personas, el medio ambiente y bienes de cualquier naturaleza. (INEI, 2014)

### *5.3.4 Contaminantes emitidos por la industria ladrillera*

En Colombia la industria de la fabricación de ladrillos se encuentra en el tope de las que más generan emisiones de contaminantes al ambiente, y esto se debe al elemento y las sustancias químicas que emite, todo debido a la ausencia de infraestructura técnica necesaria, la falta de control de los procesos de combustión en los diferentes tipos de hornos, lo que desemboca en la producción de diferentes tipos de partículas y gases que afectan directamente a la población. (Barcaya, 2001)

### *5.3.5 Material particulado*

Este se encuentra compuesto por ceniza, hollín, polvo entre otros y puede contener metales tales como arsénico, cadmio, cobre mercurio y plomo. En cuanto a la salud, este puede causar graves complicaciones respiratorias y agravamiento de enfermedades coronarias y, muerte prematura en individuos que anteriormente sufrían de enfermedades respiratorias y cardíacas. (Buitrago & Torres, 2017)

Este material, según diversas fuentes, tiene una relación distinta dependiendo de los niveles de concentración de la zona donde se esté haciendo el monitoreo, como lo indica el artículo de la revista de Ingenierías de la Universidad de Medellín, titulado RELACIÓN ENTRE LAS

PARTÍCULAS FINAS (PM<sub>2,5</sub>) Y RESPIRABLES (PM10) EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN, aquí se menciona que la relación PM<sub>2,5</sub>/PM10 ha sido determinada en numerosos estudios llevados a cabo en diferentes ciudades, donde se demostró que existe diversidad en los valores encontrados, debido a las diferencias geológicas, climatológicas, atmosféricas, y en las fuentes de emisión de contaminantes, que influyen en la distribución de tamaños de las partículas en cada sitio de monitoreo, aquí se muestra que para la ciudad de Bogotá, que es la región más cercana al punto de muestreo, es de 0.6. (Londoño, 2008)

#### 5.4 Marco Normativo

Para el desarrollo del proyecto se analizó la Guía de la Calidad del Aire de la OMS, relativa al material particulado, del año 2005. Teniendo en cuenta que la Organización Mundial de la Salud fue una de las principales pioneras en establecer estándares para la regulación de concentraciones de contaminantes en la atmósfera. A su vez, la empresa objeto de estudio se encuentra en el país, por lo cual, es inherente contar con todos los lineamientos normativos nacionales como se muestra a continuación:

*Tabla 1. Normatividad específica para calidad del aire.*

Normatividad	Aporte a la investigación
<p><b>Constitución Política de Colombia de 1991</b></p>	<p>La Constitución Política de Colombia es muy importante ya que es considerada la cabeza de las normas; ya que, a partir de ésta rigen el resto de normas del país. En el artículo 79, donde se señala que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano y es ese directamente el propósito de la investigación.</p>
<p><b>Resolución 2254 de 2017</b></p>	<p>La resolución tiene una relación directa con el proyecto, puesto que, en el artículo 2, se exponen los límites máximos permisibles de contaminantes: entre los que se encuentra el material particulado (PM<sub>2,5</sub>).</p>
<p><b>Decreto 02 de 1982, reglamenta el Título I de la Ley 09-79 y el Decreto 2811-74: Disposiciones sanitarias sobre emisiones atmosféricas</b></p> <p>Art. 7 a 9: Definiciones y normas generales. Art. 73: Obligación del estado de mantener la calidad atmosférica para no causar molestias o daños que interfieran en el desarrollo normal de especies y afecten los</p>	<p>Este decreto es concordante con la investigación ya que aportó definiciones necesarias para el desarrollo de la misma. Del artículo 7 al 9 se evidencia los principios generales, posteriormente; en el artículo 73 remite la obligación del estado para cuidar la calidad de la atmósfera. Asimismo, el artículo 74 manifiesta las prohibiciones de descarga de material particulado y el 75 la prevención del mismo.</p>

<p>recursos naturales. Art. 74.: Prohibiciones y restricciones a la descarga de material particulado, gases y vapores a la atmósfera. Art. 75: Prevención de la contaminación atmosférica.</p>	
<p><b>Ley 99 de 1993: Se dictan disposiciones en materia ambiental.</b> Art. 5. Funciones del Ministerio del Medio Ambiente para establecer normas de prevención y control del deterioro ambiental.</p>	<p>Esta ley es imperativa para el presente escrito, ya que, en la sección 3 del artículo 1, hace mención al derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza; buscando el mejoramiento de la calidad de vida de las personas.</p>
<p><b>Resolución 909 de 2008</b> <b>Establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas.</b></p>	<p>Es importante tener en cuenta la normas y estándares para las emisiones de fuentes fijas, teniendo en cuenta que, la empresa caso estudio es considerada una fuente fija, y estas son consideradas unas de las que más aportan al incremento de contaminantes en la atmósfera.</p>

### 5.5 Marco geográfico

La ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA. se encuentra ubicada en la vereda el Olivo en Cogua - Cundinamarca, a 42 km de la ciudad de Bogotá. Su extensión territorial comprende los 113 km<sup>2</sup>, una extensión del área urbana y rural de 4 y 99 km<sup>2</sup> respectivamente, y limita al norte con Tausa, al sur limita con Zipaquirá, al oriente limita con Nemocón y al occidente limita con Zipaquirá y Pacho. Administrativamente, el municipio se divide en 15 veredas las cuales son Barro Blanco, Cardonal, Casablanca, El Altico, El Mortiño, El Olivo, La Chapa, La Plazuela, Ojo de Agua, Paramo alto, Patasca, Quebrad

ahonda, Rincón Santo, Roda Montal y Sus aguas. Su clima presenta una temperatura media de 14°C, con una mínima de 9°C y una máxima de 19°C y en cuanto a la altitud, este se encuentra a 2600 msnm. (Alcaldía Municipal de Cogua, 2018)

*Figura 6. Ubicación de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA. respecto a Cogua y escuela El Olivo, Cundinamarca.*



Fuente: Google Barth, 2019

*Figura 7. Ubicación de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA*



Fuente: Google Earth, 2019

### 5.5.1 Información general de la empresa objeto de estudio

CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA. empezó sus procesos productivos desde 1998, año en el cual adquirió la planta para la elaboración de productos de arcilla. La ladrillera está dedicada netamente a la producción de ladrillos estándar de tipo 3, 4, 5 y placa. Actualmente, para la cocción de los ladrillos cuentan con un horno tipo Hoffman, el cual tiene una producción continua, pues el horno está las 24 horas del día encendido, la carga permaneciendo estática y el fuego es movable rotando los carbojets, los cuales se alimentan del carbón mineral pulverizado. En su equipo laboral hacen parte 42 trabajadores, de los cuales 5 son administrativos, y 37 son parte de los obreros, en los que se encuentran los oficios de quemadores, operarios de máquinas, etc. (CERANOVA,LTDA, 2019)

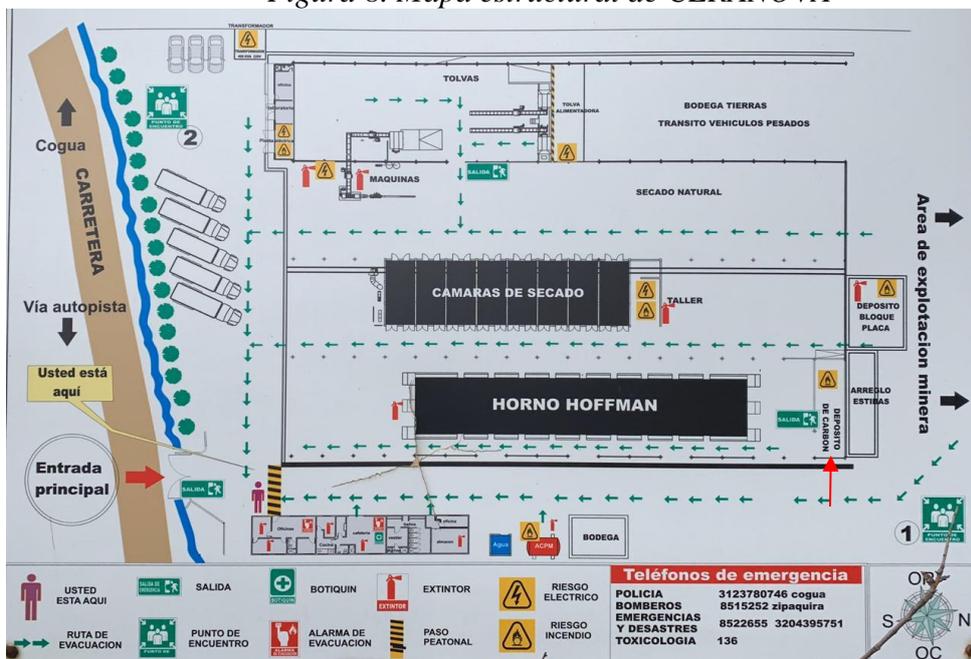
Tabla 2. Especificaciones del horno en la empresa objeto de estudio.

<b>Tipo de fuente fija</b>	Horno Hoffman
----------------------------	---------------

<b>Año de entrada en operación a las condiciones actuales</b>	1999
<b>Uso</b>	Cocción de ladrillo
<b>Producción promedio de los últimos 12 meses</b>	300000 ladrillos/mes
<b>Tiempo de operación</b>	24 horas/día
<b>Frecuencia del mantenimiento</b>	Permanente
<b>Tipo de combustible</b>	Carbón mineral
<b>Consumo de combustible</b>	74000 kg/mes aproximadamente
<b>Configuración de la chimenea</b>	Circular

Fuente: (CERANOVA,LTDA, 2019)

Figura 8. Mapa estructural de CERANOVA

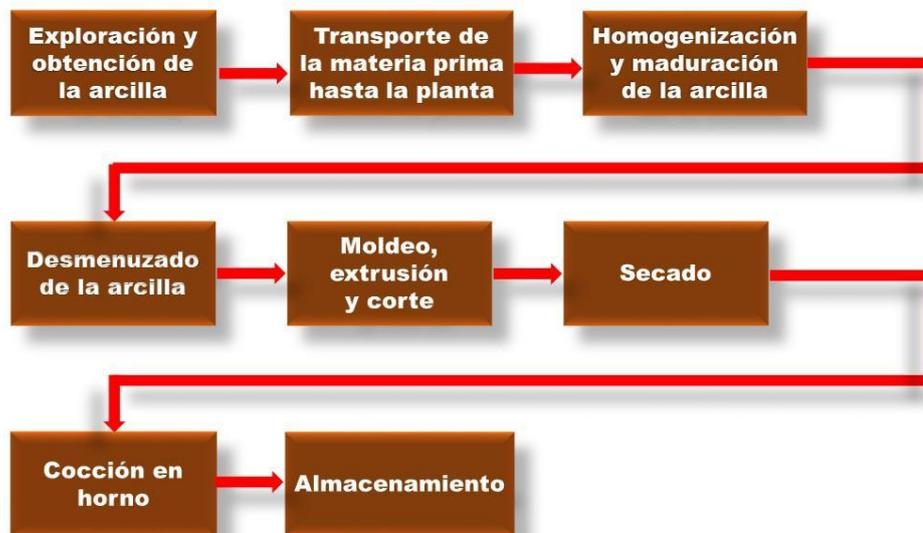


Fuente: (CERANOVA,LTDA, 2019)

### 5.5.2 Descripción de los procesos de la empresa objeto de estudio

A continuación, se presenta un esquema de los procesos que se llevan a cabo para la elaboración del ladrillo.

Figura 9. Esquema de los procesos de CERANOVA LTDA.



Fuente: (CERANOVA,LTDA, 2019)

Estos procesos realizados en CERANOVA LTDA, se llevan a cabo mediante la extracción y transporte del material arcilloso desde la mina hasta la planta donde se opera. A continuación, se realiza la homogenización de los distintos materiales arcillosos, donde se aplican los procesos de maduración, tratamiento mecánico previo donde se hace un eliminado de piedras y refinado; esto con el fin de proveer a la planta la materia prima adecuada en tanto consistencia como en uniformidad en sus características físicas y químicas. De esta manera, luego se hace la humidificación, moldeado y corte donde se cumple con las dimensiones y diseños que maneja la empresa, el secado del material extruido para reducir su contenido de agua, este puede ser natural o en los cuartos de secado y luego la cocción en el horno Hoffman. Finalmente, se realiza el embalaje, el cual consiste en la formación de paquetes de ladrillos sobre pallets envueltos en cinta de plástico y llevado a las bodegas de almacenamiento. (CERANOVA,LTDA, 2019)

### 5.6 Marco institucional

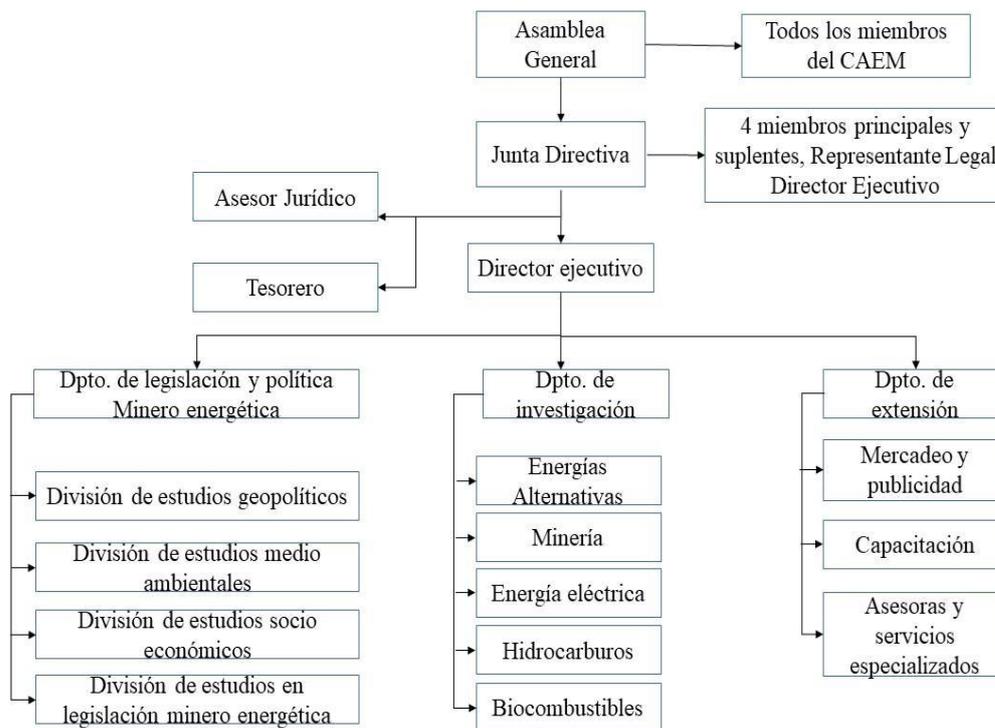
Para el marco institucional se tuvieron en cuenta las principales instituciones que tuvieron aporte en nuestro proyecto de forma directa, por medio de información suministrada por medio de sus plataformas o contacto directo con un representante. Estas instituciones son:

Tabla 3. Aporte del CAEM a la investigación.

Entidad	¿Qué es?	Aporte a la investigación
CAEM	“La Corporación Ambiental Empresarial CAEM, es una entidad Ambiental comprometida a construir un mejor entorno y promover la gestión ambiental empresarial en el territorio, convirtiendo en realidad el sueño de hacerlo sostenible, con un portafolio de servicios de calidad, para la satisfacción de las necesidades de nuestros principales aliados y partes interesadas.” (CAEM, 2019)	Esta entidad por medio de sus profesionales nos aportó un portafolio de medidas de mitigación implementadas en ladrilleras con la misma tecnología de nuestro lugar de estudio.

Fuente: Autores.

Figura 10. Organigrama del CAEM.



Fuente: CAEM, 2019.

*Tabla 4. Aporte del SISAIRE a la investigación.*

Entidad	¿Qué es?	Aporte a la investigación
SISAIRE	“El Sistema de Información sobre Calidad del Aire es un sistema para la captura, almacenamiento, transferencia, procesamiento y consulta de información. También permite la generación de información unificada de las redes de calidad del aire del país.” (SISAIRE, 2014)	El SISAIRE nos proporcionó la información necesaria sobre las mediciones de la calidad del aire de la estación PTAR I, en el municipio de Cogua.

Fuente: Autores

## 6. Metodología

La metodología a tratar en el presente escrito de investigación fue estructurada a partir del enfoque, el alcance, el método y finalmente las actividades que requirieron de técnicas e instrumentos para el normal y correcto desarrollo de las mismas.

La propuesta metodológica de este trabajo, principalmente se estructuró con base en la combinación: el enfoque cualitativo con el enfoque cuantitativo, dando como resultado un enfoque mixto para el correcto desarrollo del trabajo y de esta manera utilizar estrategias teórico-prácticas. Respecto al enfoque cualitativo, este se utilizó mediante la recolección y la investigación de los datos, de esta manera, dar cumplimiento a los objetivos 1 y 3 y parte del 2 para ir respondiendo las preguntas que fueron surgiendo durante la investigación. (Hernández, Collado, & Lucio, 2006). Por lo tanto, fueron empleadas diferentes técnicas para la recolección de datos, dentro de las que se pueden encontrar las entrevistas abiertas al personal administrativo y encuestas a los trabajadores, quienes son la población directamente afectada por las emisiones de y por otra parte, mediante revisiones bibliográficas que sirvan para el establecimiento de la línea base del estudio en cuanto a estudios previos, artículos científicos y normatividad vigente, donde de esta manera se cumpla el objetivo de realizar el diagnóstico social, económico y tecnológico de la ladrillera.

En cuanto al método cuantitativo, este utiliza la recolección de datos teniendo como base la medición numérica y el análisis estadístico para poder determinar la hipótesis y poder probar teorías. (Hernández, Collado, & Lucio, 2006) en donde este método fue principalmente empleado en el cumplimiento del objetivo 2. Para la ejecución de este trabajo fueron tomados las respectivas mediciones de parámetros de calidad del aire para evaluar el grado de

deterioro que existe actualmente en esta zona y mediante un análisis comparativo de los datos obtenidos en contraste con la normatividad vigente, se pueda determinar el sobrepaso de los límites máximos permitidos de emisiones de PM<sub>2.5</sub>.

Para la realización de este estudio, se propusieron dos alcances los cuales son el descriptivo y el explicativo que conjuntamente apoyan el ejercicio investigativo. En primera instancia, el alcance descriptivo permite detallar situaciones, fenómenos y contextos detallando cómo son y la manera en la que se manifiestan afectando la calidad del aire, midiendo y recogiendo información de manera independiente o conjunta a través de lo que son las mediciones de PM<sub>2.5</sub> y la recolección de datos de este contaminante en la base de datos del SISAIRE en Cogua, Cundinamarca. (Hernández, Collado, & Lucio, 2006)

Por otra parte, el alcance explicativo permite determinar las causas del fenómeno que está alterando negativamente los parámetros de la calidad del aire, a través de la explicación del por qué y en qué condiciones se está presentando este fenómeno, para que de alguna manera se puedan establecer las medidas necesarias para darle una solución a éste. (Hernández, Collado, & Lucio, 2006) El método para el desarrollo de la investigación es el inductivo, el cual, se basa en iniciar la investigación a partir de un fenómeno en particular como lo es el deterioro en la calidad del aire; esto con el propósito de llegar a una conclusión y también a premisas generales que pueden ser aplicadas a situaciones similares en el futuro para el estudio de estos fenómenos.

Para este estudio, se determinan los factores que pueden propiciar el aumento en las emisiones de PM<sub>2.5</sub> para posteriormente ser analizados y de esta forma poder observar los niveles de contaminación que se presentan en el lugar.

Las técnicas cualitativas utilizadas para la recolección de datos de la investigación son la observación estructurada; ya que, aquí se establecen los aspectos que se van a evaluar, la observación participante debido a que existirá una relación con los administrativos y trabajadores, la observación colectiva y de campo, el análisis de contenido y comparativo, los resúmenes analíticos de investigación, y por último entrevistas y encuestas (Hernández, Collado, & Lucio, 2006).

Ahora bien, las técnicas cuantitativas se establecieron por mediciones y muestreos de la calidad del aire en campo. Las entrevistas fueron diseñadas bajo las indicaciones del director inicial del proyecto, David Felipe Beltrán, y se aplicaron al administrador de CERANOVA LOMALINDA LTDA, debido a la necesidad de conocer datos específicos de producción y precio de venta de ladrillos, consumo, tipo y precio de combustibles y tipo de horno. Posteriormente se logró un sustento y una base para la aplicación de las respectivas medidas de mitigación, y por otra parte las encuestas fueron realizadas a los operarios. El objetivo primordial era reconocer en qué condiciones se encontraban trabajando y si habían llegado a presentar algún tipo de percances con su salud.

Para las encuestas se tuvo como referente bibliográfico la '*Encuesta sobre calidad del aire Monterrey, Nuevo León*' de DINAMIA, la cual es una empresa experta en investigación social estratégica de México. Por otra parte, se realizaron mediciones de emisiones de PM<sub>2.5</sub> con un sensor PMS5003, y así lograr estimar la calidad del aire. Asimismo, se complementó

con el software Arduino para después obtener los datos, así se hizo la debida retroalimentación de éstos en formato CVS, para finalmente ser graficados en el programa RStudio. (Gallegos & Lujan, 2006)

Por último, la unidad de análisis del proyecto fue determinada mediante la hipótesis planteada como: presentar una medida de mitigación para emisiones de PM<sub>2.5</sub> de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA; con el fin de mejorar las condiciones del aire de la zona afectada, mediante la mejora de los procesos de producción de la ladrillera.

De esta forma; la unidad de análisis se define de la siguiente manera:

- Mejores medidas de mitigación para la ladrillera para la reducción de emisiones de PM<sub>2.5</sub>.
- El diagnóstico de las condiciones sociales, tecnológicas y económicas de la ladrillera.

## 6.1 Matriz metodológica

*Tabla 5. Matriz metodológica*

<b>Matriz metodológica</b>					
<b>Objetivo general</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Actividades</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Resultados esperados</b>

Propuesta de medida de mitigación para emisiones PM<sub>2.5</sub>  
de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA en Cogua- Cundinamarca.

<p>Proponer una medida de mitigación de emisiones de PM<sub>2.5</sub> en la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA. en Cogua, Cundinamarca.</p>	<p>Realizar caracterizaciones para entender el componente social, tecnológico y económico de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.</p>	<p>Recopilación de informes de la empresa, trabajos de investigación y artículos científicos</p>	<p>Análisis de contenido y resúmenes analíticos de bases de datos de investigación.</p>	<p>Obtener un diagnóstico inicial que sirva como línea base de las condiciones sociales, tecnológicas, económicas y de la calidad del aire de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA</p>	
		<p>Realización de entrevistas a los administrativos y encuestas a los operarios de la ladrillera; para el levantamiento de información indirecta.</p>	<p>Entrevista semiestructurada, encuestas.</p>	<p>Entrevistas y Encuestas.</p>	<p>RA LOMALINDA LTDA. para la realización del estudio y así poder proponer las medidas de mitigación correspondientes.</p>
		<p>Toma de registros fotográficos, con observación para el levantamiento de información indirecta.</p>	<p>Observación estructurada, la observación participante, la observación colectiva y de campo.</p>	<p>Fotografías y grabaciones de audio.</p>	

<p>Desarrollar un análisis comparativo de las condiciones de calidad del aire de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA respecto a la normatividad vigente nacional e internacional</p>	<p>Realización de mediciones de PM<sub>2.5</sub> en el lugar para la determinación del estado actual de la contaminación del aire.</p>	<p>Mediciones, muestreos, análisis comparativo.</p>	<p>Sensor PMS5003 para la medición de emisiones de PM<sub>2.5</sub>, computador con software Arduino para recolección de datos.</p>	<p>Determinar mediante análisis los datos obtenidos en las mediciones y la revisión de la normatividad en qué medida se están sobrepasando los límites de las emisiones de PM<sub>2.5</sub>.</p>
	<p>Elaboración de mapas de dispersión y gráfico de bigotes a través del software Rstudio.</p>	<p>Sinterización, tratamiento y análisis de datos.</p>	<p>Software Rstudio.</p>	

	Revisión de datos de emisiones de PM <sub>2.5</sub> del SISAIRE en Cogua, Cundinamarca para ser comparados con los obtenidos mediante mediciones y comprobar la veracidad de los obtenidos.	Análisis de contenido y análisis comparativo.	Base de datos del SISAIRE de Cogua, Cundinamarca.
	Revisión de la bibliografía respecto a la normatividad nacional e internacional vigente (Resolución 2254 de 2017 y Guía de Calidad del Aire de la OMS 2005) teniendo en cuenta los límites permisibles de	Análisis de contenido y resúmenes analíticos de investigación.	Decretos, leyes, resoluciones y normas de calidad del aire.

Propuesta de medida de mitigación para emisiones PM<sub>2.5</sub>  
de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA en Cogua- Cundinamarca.

	emisiones de PM <sub>2.5</sub> .			
Evaluar alternativas de mitigación para las emisiones de PM <sub>2.5</sub> ; que logren reducir los impactos ambientales negativos sin afectar la economía de la ladrillera.	Revisión bibliográfica de trabajos de investigación y artículos científicos de medidas de mitigación de emisiones.	Análisis comparativos y resúmenes analíticos de investigación.	Estudios previos y artículos científicos.	Evaluación de diferentes medidas de mitigación que permitan finalmente establecer la adecuada para ser propuesta a la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTO

	Revisión de análisis de viabilidad, para determinar dependiendo de la caracterización económica y tecnológica si es coherente la aplicación de la medida de mitigación constatada.	Análisis de viabilidad.	Matriz de suma ponderada.	RA LOMALINDA LTDA.
	Análisis de datos obtenidos y tratados respecto a la normatividad vigente, para proponer las medidas de mitigación correspondientes al grado de sobrepaso de los límites máximos permisibles.	Análisis comparativo.	Estudios previos y artículos científicos.	

Fuente: Autores.

A continuación, se describe el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos a lo largo del proyecto teniendo en cuenta el procedimiento detallado; donde se encuentran las técnicas y los instrumentos utilizados en relación directa con el método mixto en el que se enmarca la investigación:

## *6.2 Metodología para los objetivos específicos*

**Objetivo específico 1:** *Realizar una caracterización de los componentes componente social, tecnológico y económico de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.*

La fase inicial de este proyecto comenzó con el desarrollo del primer objetivo específico, en donde fue realizada una revisión documental rigurosa consultando una serie de artículos científicos, trabajos de investigación e información de la empresa, con el propósito de estructurar el trabajo. De tal manera que se pudieran identificar las diferentes problemáticas provenientes de los contaminantes emitidos por las industrias ladrilleras como las afectaciones a la salud de las personas, además de conocer los procesos mediante los cuales se realiza la producción de ladrillos, en cuanto a los tipos de hornos y combustibles que son utilizados. Por último, poder conocer los procesos que se manejan al interior de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.

Posteriormente, se realizó la entrevista semiestructurada a un administrativo de la empresa, de tal forma que tuviera como objetivo el tener un alto grado de flexibilidad, las preguntas estaban planeadas con anterioridad y fueron ajustadas en el transcurso de la misma. En ese orden de ideas, la entrevista se pudo adaptar al entrevistado y de la misma manera a los intereses del cumplimiento del objetivo, aclarando los términos y reduciendo ambigüedades, por lo cual, se obtuvo información vital para la caracterización tanto de la dimensión económica como tecnológica. (Barcaya, 2001).

Por otra parte, la encuesta fue realizada únicamente a los operarios de máquinas de diferentes áreas de la empresa, pues ellos son quienes se encuentran directamente involucrados y en contacto con las emisiones de PM<sub>2.5</sub> por parte del horno y en la manipulación del carbón que se utiliza como combustible. De esta manera, se pudo realizar la caracterización social de la empresa, determinando el grado de afectación a la salud de los trabajadores por causa del PM<sub>2.5</sub> que se emite constantemente. Finalmente, a través de la observación directa y de la toma de registros fotográficos ejecutados durante la primera visita, se pudieron tomar

evidencias, en donde en efecto, estas sirvieron como insumo para la realización de posteriores análisis de los resultados obtenidos de este objetivo.

Igualmente, con el levantamiento en conjunto de la observación directa, los registros fotográficos, la información primaria de la empresa, los artículos científicos, los trabajos de investigación y de la entrevista semiestructurada con el administrativo; se pudo realizar la caracterización tanto social, económica y tecnológica de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.

Respecto a este primer objetivo se determinaron las siguientes variables con las respectivas características que las componen:

*Tabla 6. Variable y características para el objetivo 1.*

<b>Variab</b> les	<b>Características</b>
Empleados de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.	Cargo desempeñado en la empresa.
Tecnologías utilizadas en los hornos.	Tipo de horno, método de inyección de carbón, método de introducción de ladrillos al horno.
Tipo de combustible utilizado en los hornos.	Tipo de carbón, características del carbón
Economía de la empresa.	Precio de venta de cada tipo de ladrillo, precio de compra del carbón
Producción.	Producción mensual de ladrillos, proceso de producción del ladrillo desde el inicio hasta el final.

Fuente: Autores

### 6.2.1 Metodología Segundo objetivo

**Objetivo específico 2:** Desarrollar un análisis comparativo de las condiciones de calidad del aire de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA respecto a la normatividad vigente nacional e internacional

Más adelante, luego de obtener los resultados del objetivo específico 1, se procedió a hacer los muestreos respectivos de PM<sub>2,5</sub>; los cuales fueron tomados durante un periodo de 24 horas continuas con el sensor PMS5003 el cual midió también temperatura, dato que fue fundamental para el análisis de este objetivo. Es pertinente mencionar que una parte del tiempo (8 horas) se tomó presencialmente debido a temas logísticos y de permisos brindados por la ladrillera para nosotros. Respecto a las mediciones, estas fueron realizadas en unos puntos de muestreo que fueron concretados a la hora de realizar la visita técnica, por medio de la observación directa y los registros fotográficos que fueron tomados, se pudieron determinar 4 puntos en donde probablemente podrían existir ciertas fugas de emisiones de

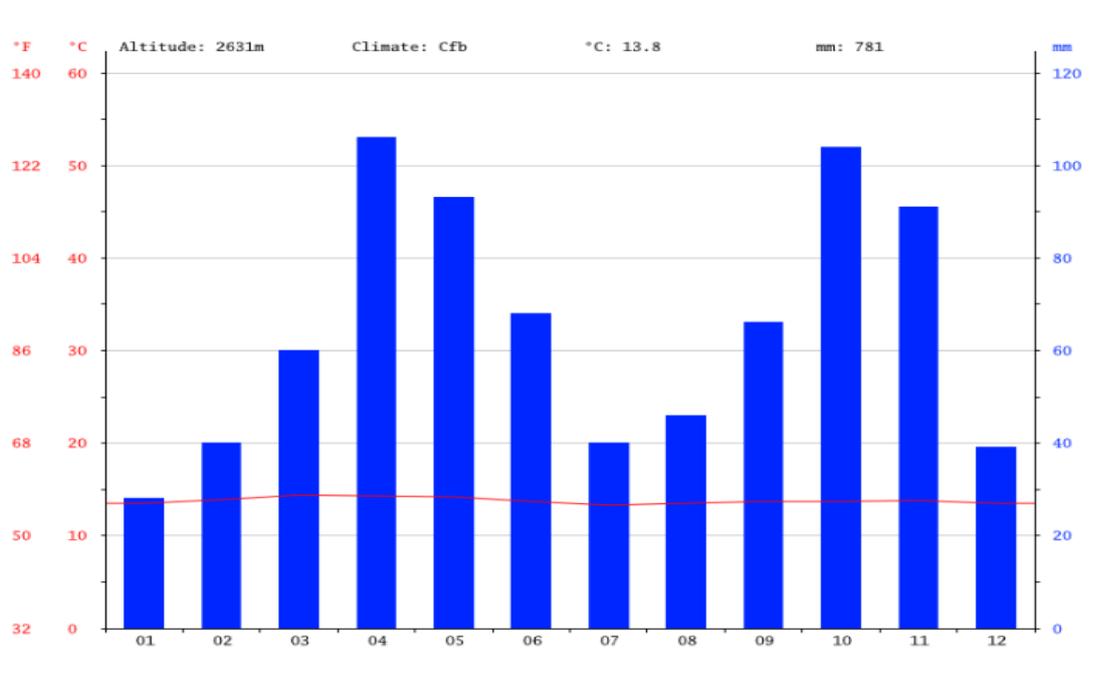
$PM_{2.5}$  , donde estaban siendo liberadas del horno (en donde genera que la combustión del carbón no sea eficiente y se libere  $PM_{2.5}$  en exceso por el aumento en el consumo de combustible), puntos identificados a partir de la contemplación de ciertas manchas de hollín en las paredes, y aparte también fueron identificados 4 puntos en la parte superior del mismo, por donde se ingresa el carbón al horno para iniciar el proceso de combustión.

Ahora bien, es importante aclarar que en estas primeras 8 horas que se realizó el muestreo explicado anteriormente, el sensor presentó fallas técnicas que en un principio no permitieron que pudiéramos obtener estos datos, para la determinación de posibles fugas, pero que más adelante se pudieron recuperar para la realización adecuada del análisis. Por otra parte, en las 14 horas restantes el sensor se dejó en un punto fijo y se cambió la fuente de poder para que continuara con el monitoreo registrando los datos de las emisiones continuamente cada 1 minuto 40 segundos. Posteriormente, los muestreos obtenidos fueron comparados (mediante un histograma y un grafico de caja de bigotes realizado en Rstudio) respecto a la Resolución 2254 de 2017 y a la Guía de calidad del aire de la OMS de 2005 para la estimación del grado en que se encuentran los niveles de  $PM_{2.5}$  , y en caso de exceder los límites establecer las medidas de mitigación adecuadas al presupuesto de CERANOVA para el control de emisiones y mejorar así la calidad del aire para la salud de las personas (trabajadores y habitantes de zonas aledañas).

De manera complementaria, a través de la plataforma SISAIRES publicada por el IDEAM; se consultaron los datos de la estación de calidad del aire del municipio de Cogua, para evaluar en qué condiciones se encuentra este recurso en cuanto a las emisiones de  $PM_{2.5}$ . De esta manera definir si se están viendo afectadas de alguna manera las poblaciones aledañas y por medio de la aplicación de las alternativas de mitigación contribuir al mejoramiento de estas condiciones. Sirviendo como hoja de ruta para la aplicación de estas medidas en las ladrilleras de la zona que tomarían como ejemplo a CERANOVA, una de las empresas más grandes del sector. Ahora, los registros fueron tomados siguiendo los lineamientos que dicta el MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL a través del PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE, el cual, se desarrolla con el fin de establecer los niveles de contaminantes criterio de la zona, que se están evaluando y que tiene una duración de mínimo dos meses. (MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, 2008). De esta manera, como se puede ver en la **Figura. 11**, teniendo en cuenta los registros tomados del climograma de Cogua para el año 2019 de CLIMATE-DATA se observó que los meses de febrero y octubre se presentaron periodos secos y húmedos respectivamente.

Por otra parte, igualmente mediante el software Rstudio, fueron realizados los gráficos de caja de bigotes para ambos meses, en los que se puede observar la mediana de las concentraciones de  $PM_{2.5}$ , el rango en donde se agrupa la mayor cantidad de datos y los valores atípicos tanto máximos como mínimos.

Figura 11. Climograma Cogua 2019



Fuente: Cimate Data, 2020

Tabla 7. Variable y características para el objetivo 2.

Variable	Característica
Estado de la calidad del aire	Condiciones atmosféricas en las que se encuentra la empresa y la zona según la estimación por medio de emisiones.
Cumplimiento con la normatividad	Comparación la normatividad vigente con respecto a las concentraciones de PM <sub>2.5</sub>

Fuente: Autores.

### 6.2.3 Metodología tercer objetivo

**Objetivo específico 3:** *Evaluar alternativas de mitigación para las emisiones de PM<sub>2.5</sub>; que logren reducir los impactos ambientales negativos sin afectar la economía de la ladrillera.*

Finalmente, luego de haber cumplido satisfactoriamente con los resultados de los objetivos 1 y 2, se procede al cumplimiento de este tercer objetivo, contando con la información y los insumos suficientes que se obtuvieron con anterioridad. En primera instancia se procedió a realizar la búsqueda de una matriz que sirviera para hacer la comparación y jerarquización de las alternativas que se encontraran y que claramente fueran acordes con las necesidades y con la caracterización económica, ecológica y tecnológica. Analizando, si es posible y coherente la aplicación de la medida de mitigación constatada. De esta manera, en el documento METODOLOGÍA GENERAL PARA LA ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES expedido y elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, se encontraron diversos tipos de evaluaciones multicriterio (EMC), las cuales

se fundamentan en la ponderación de criterios y tienen como principal objetivo la comparación de alternativas para el establecimiento de una jerarquización que permite saber cual es la mejor medida que se puede tomar. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible acción de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, 2015). Logrando así, las diferentes metodologías que se encuentran en este documento, se decidieron trabajar con la EMC de suma ponderada (que hace parte de los métodos discretos), para la cual, se deben establecer unos criterios que evaluarán unas alternativas mediante la elaboración de unos rangos y una escala de evaluación para cada uno de estos. Más adelante, luego de haber evaluado cada uno de estos criterios se procede como tal a hacer la jerarquización de cada una de las alternativas seleccionadas, para esto, los criterios que se seleccionaron con anterioridad, se priorizar, lo que hará que en la ponderación final se tenga en cuenta las necesidades y condiciones en las que trabaja la ladrillera.

Posteriormente, teniendo en cuenta el establecimiento de la metodología adecuada para hacer la evaluación de alternativas, se procedió hacer la revisión bibliográfica de trabajos de investigación y artículos científicos. Donde se exponen medidas de mitigación en las que, por medio de *instalaciones de filtros o realizando cambios al tipo de combustible se mejora la eficiencia energética en el proceso de combustión generando menos emisiones*. En definitiva, luego de analizar el resultado del segundo objetivo específico, y analizando la normativa nacional e internacional vigente, se puntualizó sobre el estado en el que se encuentra la calidad del aire respecto de los límites permisibles de emisiones de PM<sub>2,5</sub>, y por consiguiente se consideró imprescindible proponer las medidas de mitigación correspondientes a la gravedad de la situación.

*Tabla 8. Variable y características para el objetivo 3.*

<b>Variable</b>	<b>Característica</b>
Actualización de la información	Revisión de la actualización para las diferentes alternativas sujetas.
Comparación de los requerimientos	Análisis de las alternativas en el cumplimiento de la satisfacción de las necesidades.

Fuente: Autores.

## **7. Resultados y Análisis**

### *7.1 Objetivo 1*

Realizar una caracterización de las dimensiones social, económica y tecnológica de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.

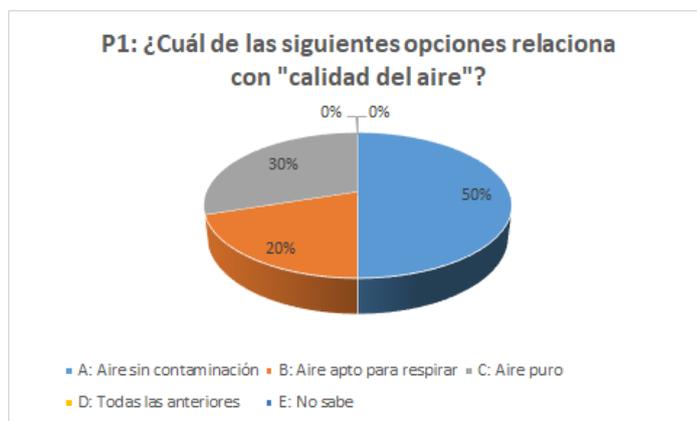
### 7.1.1 DIMENSIÓN: Social

#### Variable: Salud

Encuesta a trabajadores de la ladrillera.

Para la realización de un diagnóstico preliminar de la variable social en la ladrillera fue necesario aplicar una encuesta (Ver Anexo 1) a los trabajadores obreros y así poder conocer las condiciones actuales en las que están laborando y las respectivas afectaciones a las que se están viendo expuestos. En donde se obtuvo la siguiente información:

Figura 12. Pregunta uno de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.



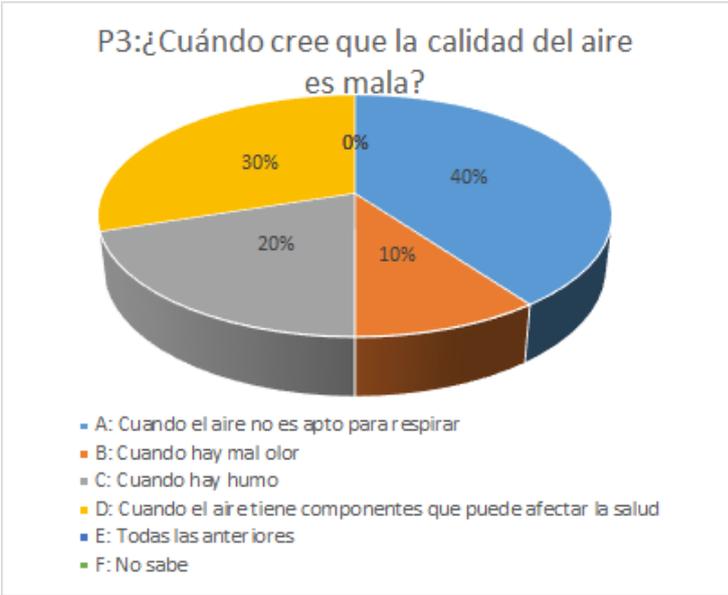
Fuente: Autores

Figura 13. Pregunta dos de la encuesta dirigida a trabajadores



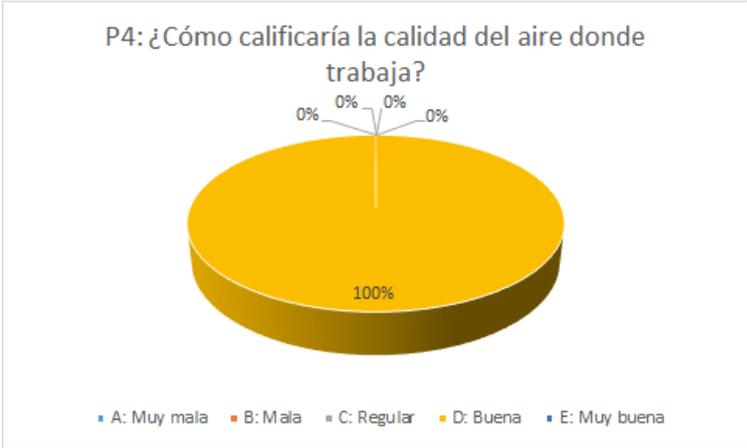
Fuente: Autores

Figura 14. Pregunta tres de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.



Fuente: Autores

Figura 15. Pregunta cuatro de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.

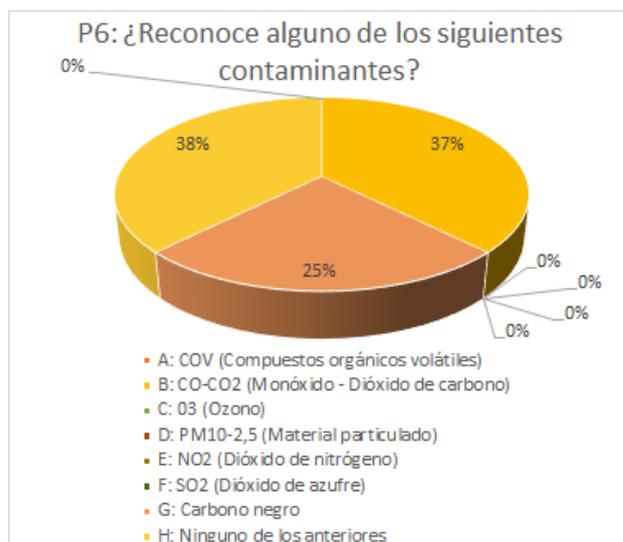


Fuente: Autores

Figura 16. Pregunta quinta de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.

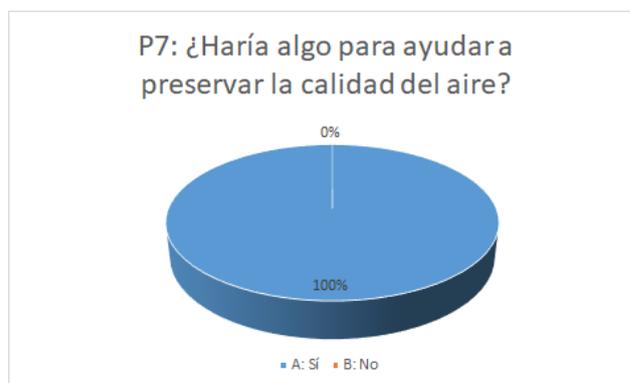


Figura 17. Pregunta sexta de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.



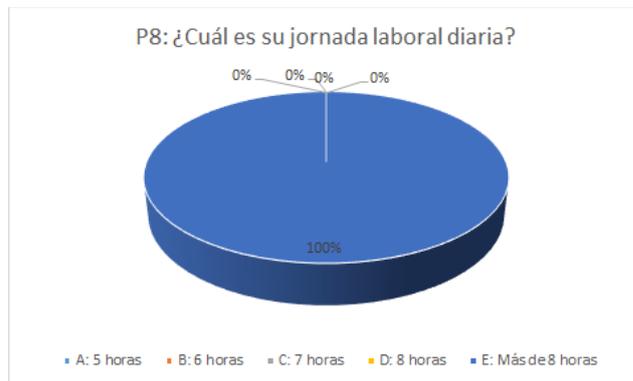
Fuente: Autores

Figura 18. Pregunta siete de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.



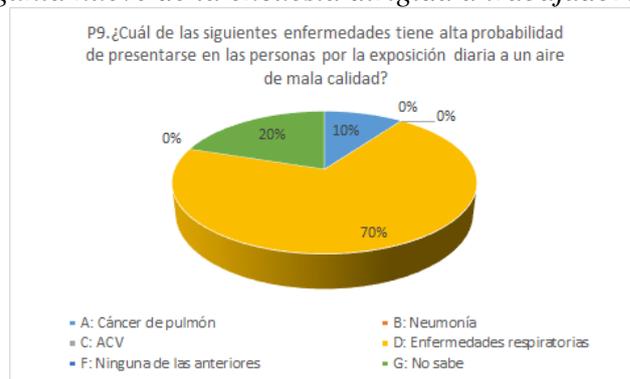
Fuente: Autores

Figura 19. Pregunta ocho de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.



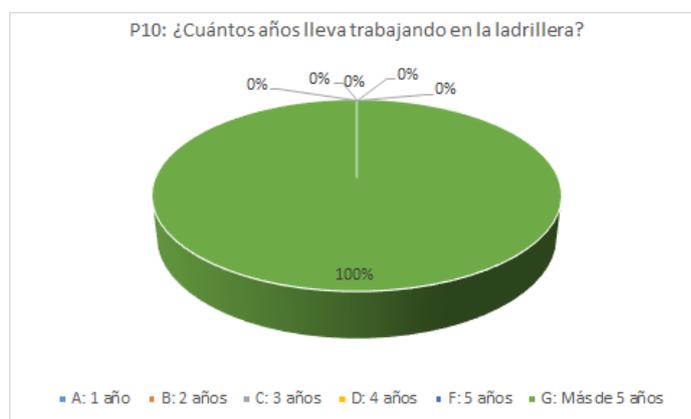
Fuente: Autores

Figura 20. Pregunta nueve de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.



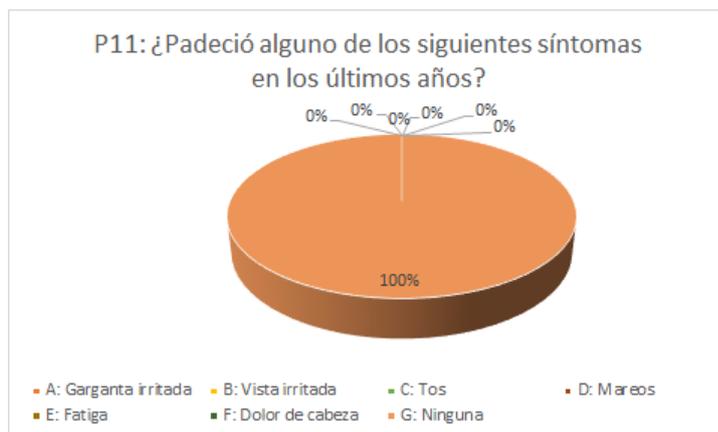
Fuente: Autores

Figura 21. Pregunta diez de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.



Fuente: Autores

Figura 22. Pregunta once de la encuesta dirigida a trabajadores de la empresa.



Fuente: Autores

Es importante tener en cuenta que los resultados que van a ser analizados a continuación, las respuestas emitidas por los trabajadores estaban supeditadas a su jefe y dependiendo de su consentimiento ellos respondían, lo que eventualmente puede generar un sesgo en la presente investigación. Por ello, para la pregunta 4 y 11, respecto a la consideración de la calidad del aire del área de la empresa y si habían presentado alguna sintomatología durante su periodo laboral allí, la respuesta para ambas fue a consideración de un tercero. Al no responder de forma fiable, esto se convierte en un elemento limitante en cuanto al desarrollo de la gestión de mejores prácticas para la producción más limpia de los hornos, ya que, al no aceptar el problema, no se puede contribuir a la búsqueda de soluciones. A pesar de ello, se tuvo en cuenta que según el PTS de Cundinamarca 2016-2020 (Plan Territorial de la Salud), los municipios con mayor contaminación atmosférica en Cundinamarca son *Cajicá, Cogua, Cucunubá, Tocancipá y Zipaquirá*, entre otros. Por industrias como el procesamiento de carbón con sus hornos de coquización, centros de acopio de carbón, industria de producción de ladrillos, industria de elementos cerámicos a base de arcilla, presencia de canteras en la mayoría de municipios, la contaminación por material particulado proveniente del tránsito de automotores por vías destapadas en el departamento, y la contaminación con fuentes fijas por la localización de los ejes industriales. (Gobernación de Cundinamarca, 2016)

También se presenta en el reporte de la morbilidad en Cundinamarca, en el cual, se ha incrementado con el pasar de los años, siendo para el año 2014 se registró un total de 1.758.514 casos, siendo una de las causas de infecciones respiratorias con mayor proporción en adultez y personas mayores, y más en hombres que en mujeres. (Gobernación de Cundinamarca, 2016)

Durante el tiempo que se estuvo en la empresa realizando la actividad, se pudo observar que varios integrantes de la cuadrilla que estaba realizando el turno en ese momento no hacían uso de los elementos de protección personal que son exigidos en la entrada de la empresa. No obstante, el médico brigadista que nos acompañaba en ese momento no hizo el respectivo llamado de atención ante estos hechos. Esto genera una gran preocupación; ya que, según los reportes el 100% de los encuestados tienen turnos de más de 8 horas en la ladrillera, además de estar trabajando más de 5 años en la empresa, tiempo suficiente para que a largo plazo se presenten problemas en su salud.

Según indica un artículo de la NIOSH (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional), la inhalación de carbón en partículas finas puede bloquear la entrada y salida

de aire de los pulmones y causar enfermedades relacionadas con las vías respiratorias, tales como enfermedad pulmonar obstructiva crónica (época), bronquitis crónica, enfisema y enfermedad de las vías respiratorias relacionadas con el polvo mineral.

### 7.1.2 Dimensión económica

#### **Variable:** Costos

En cuanto al aspecto económico se debe tener en cuenta que la ladrillera trabaja con un horno Hoffman, el cual, es uno de los hornos con mayores costos de mantenimiento y consumo eléctrico. No obstante, la ladrillera cuenta con un sistema de secado forzado (un ducto que canaliza la energía calórica y ésta es desplazada hasta el cuarto de secado el cual es el proceso previo a la cocción) haciendo que exista un gran ahorro debido a que minimiza el impacto de consumo de energía eléctrica para uno de los procesos más importante de la producción del ladrillo, puesto que, al reducir los niveles de humedad del molde, el proceso de cocción tiene menos duración y el uso de combustible es menor, haciéndolo más eficaz.

Actualmente la actividad económica de la empresa está generando aproximadamente una producción de 300.000 ladrillos al mes, distribuidos en los siguientes productos:

*Tabla 9. Información sobre la especificación del precio del ladrillo.*

<b>Producto</b>	<b>Precios unitario</b>
Ladrillo tipo 4 y 5	\$530
Ladrillo tipo 3	\$550
Ladrillo para placa	\$2500

**Fuente:** (CERANOVA,LTDA, 2019)

*Figura 23: Ladrillo bloque tipo 4*



**Fuente:** (CERANOVA,LTDA, 2019)

*Figura 24: Ladrillo bloque tipo 5*



*Figura 25: Ladrillo para placa*



**Fuente:** (CERANOVA,LTDA, 2019)

Según la información anterior y los datos obtenidos en la entrevista realizada al administrativo de la ladrillera (Ver Anexo 2), los ingresos estimados al mes por parte de los

productos son de 340 millones de pesos y los gastos generados en este mismo periodo de tiempo son el uso de 74000 kilogramos de carbón al mes, además del pago de salario a los 42 trabajadores en los que están incluidos el personal administrativo, que en total se hizo una estimación de 290 millones de pesos mensuales aproximadamente. Dando como resultado unas utilidades mensuales de 50 millones de pesos aproximadamente. (CERANOVA,LTDA, 2019)

Teniendo en cuenta estos valores y que es un combustible con muy bajo costo, que existe para que se siga consumiendo durante 220 años más, al grado de que muchos sectores como el ladrillero estén tratando de obtener más energía con el carbón desde que aumentaron los precios del gas natural, no es un combustible sostenible con el ambiente, dado que libera más dióxido de carbono que otros combustibles fósiles, así como niveles relativamente altos de otros contaminantes como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y ceniza, siendo causantes de que haya más enfermedades respiratorias y otras consecuencias para la salud. (León, 2006)

### 7.1.3 Dimensión Tecnológica

**Variable:** Maquinaria o equipos

Finalmente, en el aspecto tecnológico, la ladrillera opera con un horno tipo Hoffman para la cocción de ladrillo, éste se encuentra semi tecnificado, ya que la alimentación de combustible es de manera manual, al igual que el ingreso de cargas de ladrillos para su cocción. El horno se encuentra en funcionamiento desde el año 1999 y opera constantemente durante las 24 horas del día, con un mantenimiento diario para la revisión de potenciales fallos en el funcionamiento que puedan disminuir la eficiencia del mismo. El combustible con el que opera el horno es carbón mineral pulverizado, del que mensualmente se utiliza un rango entre 110000 a 170000 kilogramos, dependiendo de la época del año, ya que, en temporada húmeda se consume mayor cantidad de combustible debido a que el horno debe realizar un proceso de compensación acorde a la temperatura ambiente y lo contrario para la temporada seca ya que la variación de la temperatura no es tan brusca. El Carbón se inyecta a través de los agujeros que posee en la parte superior, llamados escotillas, alimentados por medio de carbojets (alimentación neumática) que se definen como una turbina de alta velocidad que posee dos motores y que genera en consecuencia emisiones de gases de efecto invernadero (WILCHES & SUÁREZ, 2016). Además de haber evidenciado que, al momento de hacer el ingreso de combustible, no se hacía de la manera adecuada, tomando las medidas de control para evitar al máximo la entrada de oxígeno al horno. Teniendo en cuenta que entre más oxígeno entre al horno, tendrá mayor escape de gases contaminantes y un proceso de descompensación de calor. Sumado a esto, en el momento en el que el operario alimentaba el carbón de manera manual, éste disponía de un balde, generando un alto grado de dispersión de las partículas de carbón.

En segundo lugar, el horno posee un sistema de secado forzado, que consiste en un ducto que toma el aire caliente que sale de la cocción de los ladrillos y lo recircula hacia la zona donde se realiza el secado de los moldes (paso previo al ingreso de moldes al horno), permitiendo inferir el alto grado de tecnificación que se tiene en los procesos de la ladrillera debido a que se intenta reducir al máximo las ineficiencias y los gastos, y maximizar los beneficios por medio del aprovechamiento de materias y energías que en cualquier otro caso podrían ser consideradas como residuos. Se debe hacer la claridad en lo siguiente a la hora de la realización de la visita técnica, fueron evidenciados ciertos puntos en los costados del horno y en el área de secado que estaba aproximadamente 4 metros del mismo, impregnados con manchas de hollín (como se muestra a continuación en las figuras 26 y 27 lo que puede ser consecuencia de fugas en las paredes del mismo y que generan que el proceso se descompense generando ineficiencias, que más adelante fueron estudiadas y que serán expuestas en el objetivo específico 2.

*Figura 26. Evidencias de hollín en compuertas principales del horno Hoffman.*

Propuesta de medida de mitigación para emisiones  $PM_{2.5}$   
de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA en Cogua- Cundinamarca.



*Fuente: Autores, 2019*

*Figura 27. Evidencias de hollín en área de secado.*



*Fuente: Autores, 2019*

De tal manera, el horno Hoffman se caracteriza por ser uno de los más tecnificados en cuanto a lo que producción de ladrillo se refiere, debido a la gran capacidad que posee, conformándose por 2 galerías principales que contienen varias cámaras con sus respectivas puertas de cargue y descargue de los coches con moldes de ladrillos y con un colector principal que conduce las emisiones a la chimenea. Además, en el caso de la ladrillera CERANOVA, el horno Hoffman opera continuamente durante las 24 horas del día como fue mencionado anteriormente, lo que aumenta considerablemente la producción. Otro factor que permite dar cuenta de la gran efectividad de este horno es que el sistema que posee este horno brinda una alta eficiencia térmica, ya que al momento de que la cámara de combustión es utilizada, el calor que se está generando está siendo utilizado simultáneamente en las cámaras precedentes, aunque cabe resaltar que al momento del encendido del mismo puede existir una pérdida no muy considerable.

Finalmente, se puede decir que en cuanto a la dimensión tecnológica de la ladrillera CERANOVA, se considera en términos generales que los procesos que se dan al interior de esta se encuentran semi-tecnificados. Por las razones anteriormente expuestas, la eficiencia en la recirculación de materias y energías en otros procesos que lo requiere de igual forma, aunque se tenga la posibilidad de presentar algunas fugas en las paredes del horno, son inconvenientes que se pueden manejar de forma controlada sin necesidad de hacer una gran inversión en recursos.

## 7.2 Objetivo 2

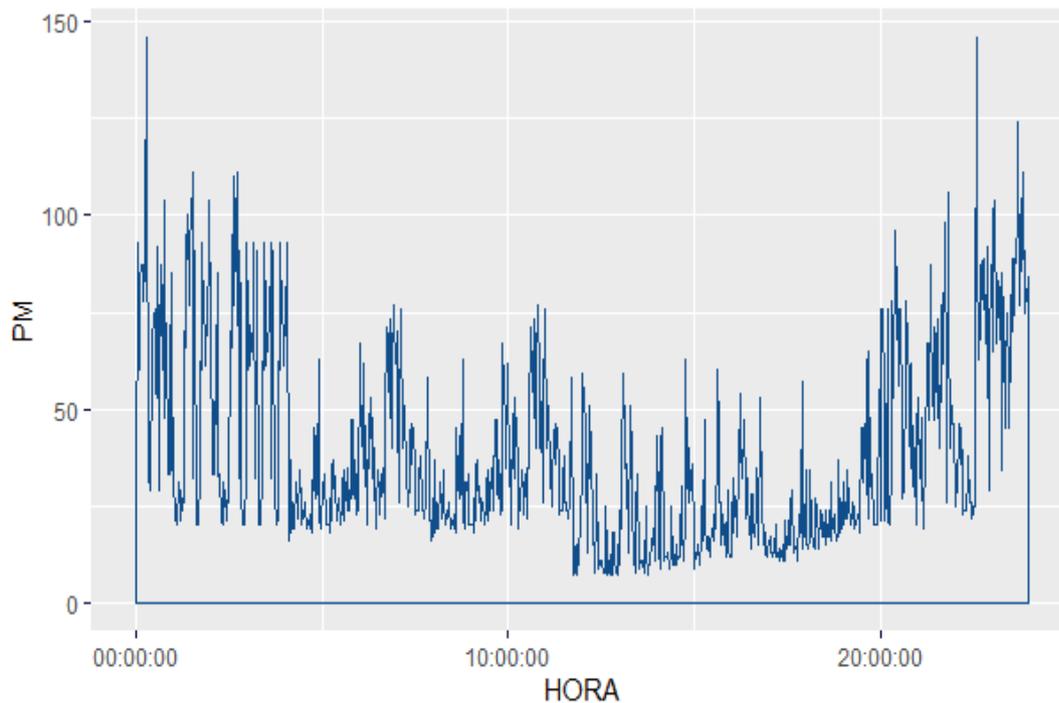
Desarrollar un análisis comparativo de las condiciones de calidad del aire de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA respecto a la normatividad vigente nacional e internacional

Para la realización del análisis comparativo en el objetivo 2, fue indispensable obtener los niveles de PM<sub>2.5</sub> que se están generando por la producción de ladrillos en CERANOVA y en la zona en donde se encuentran estos tipos de industrias, y de ésta manera poder determinar el cumplimiento regulatorio en la normativa Colombiana (Resolución 2254 del 2017, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) e internacional (Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre, OMS 2005). Teniendo en cuenta lo que se estipula en la Resolución 2254 de 2017, para poder realizar estos tipos de muestreos y análisis de las concentraciones, se debe tener en cuenta que se debe tomar mínimo como una serie de tiempo de 24 horas, pero, se debe hacer la claridad que inicialmente se habla que para este intervalo de 24 horas de estimación el límite máximo permisible es de 50µg/m<sup>3</sup>, pero a continuación en el parágrafo 1, se menciona que a partir del 01 de Julio del año 2018 este es de 37µg/m<sup>3</sup>. También se tuvo en cuenta la Guía de Calidad del Aire de la OMS (2005), para la cual se tiene 25 µg/m<sup>3</sup> como máximo permisible en una media de 24 horas y 10 µg/m<sup>3</sup> en una media anual.

Para la realización de este análisis comparativo respecto a la norma, como se mencionó en la metodología, en primera instancia se siguió el PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE para lo que se tomaron los muestreos realizados por la estación de calidad del aire PTAR I (la cual se encontraba en cercanías a la zona de industrias ladrilleras) de los meses de febrero (mes de baja precipitaciones y seco) y octubre (mes de altas precipitaciones y húmedo) de 2019 de la base de datos del SISAIRE.

De esta manera, ya como tal para proceder a la determinación del grado de cumplimiento con el límite permisible de 24 h de CERANOVA se desarrollaron las gráficas 27 y 28 de dispersión y de caja de bigotes, en donde primero se puede observar referenciado el límite máximo permisible de la Resolución 2254 de 2017 y por otra parte el límite máximo permisible establecido por la OMS en el 2005 en las Guías de calidad del aire relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Por otra parte, también se puede ver en las figuras 31 y 32 de dispersión correspondientes a los meses de febrero y octubre de 2019 comparados con las resoluciones. A continuación, se muestran las gráficas mencionadas:

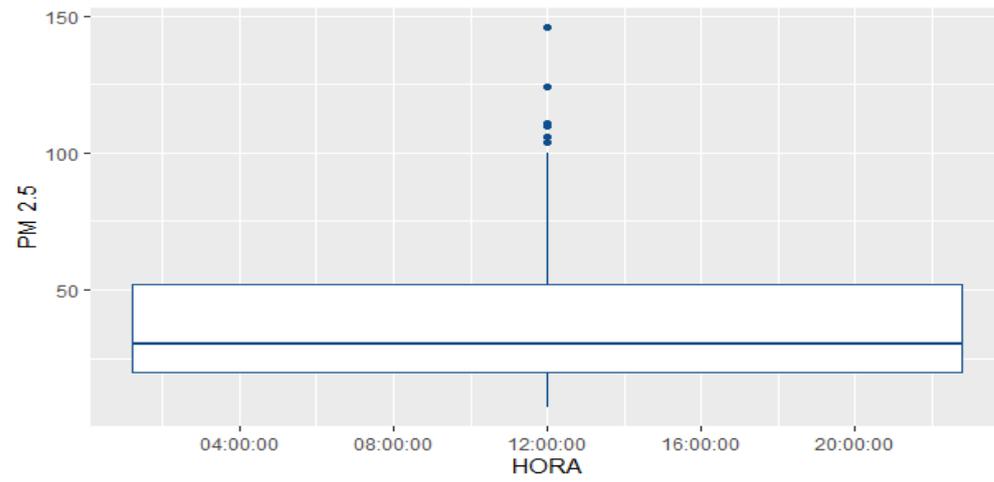
*Figura 28. Histograma de Emisiones de PM<sub>2.5</sub> De CERANOVA*



*Fuente: Autores*

En el gráfico de caja de bigotes que se muestra a continuación, se puede observar el rango de valores en el cual se concentra más la información de los muestreos obtenidos de la ladrillera, la mediana, que permite determinar hacia que cuartil se concentra la información, lo que para este caso permitiría determinar en la proporción de muestreos de concentración que están sobrepasando la normatividad nacional e internacional y por último los valores atípicos.

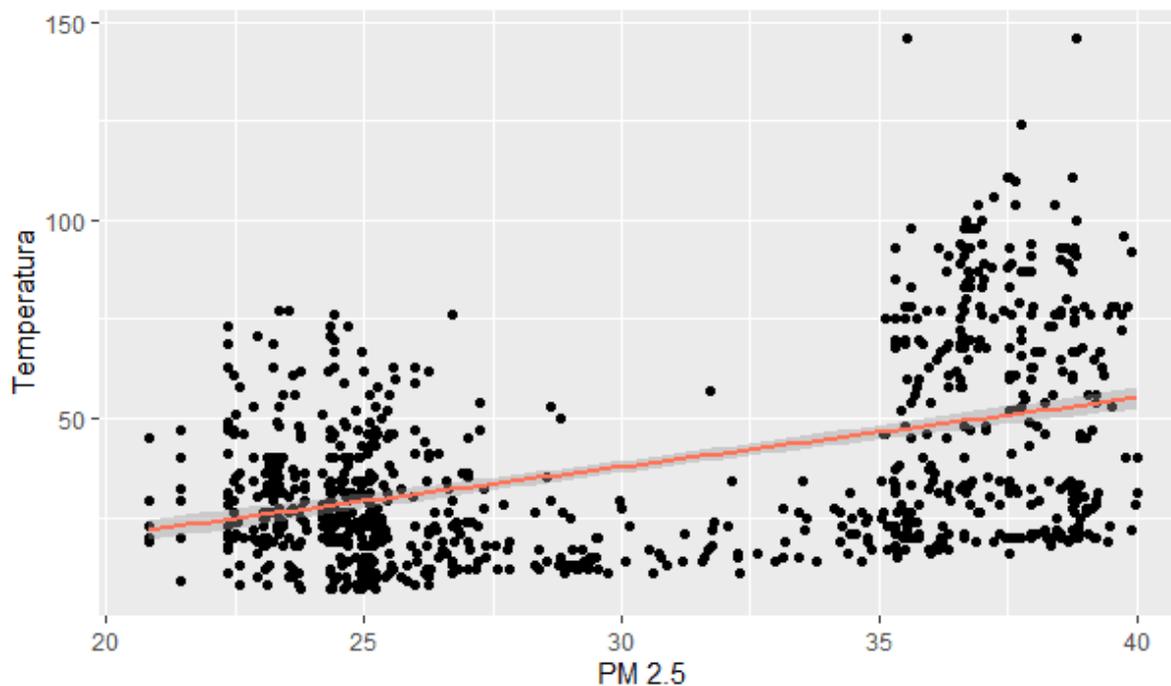
*Figura 29. Gráfico de caja de bigotes de emisiones de  $PM_{2.5}$  de CERANOVA.*



*Fuente: Autores*

Como se puede observar en la figura 29, la mayor cantidad de datos de muestreos de las concentraciones de  $PM_{2.5}$  se encuentran en el rango entre  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , presentando la mediana en  $31,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aproximadamente, la cual se ubica evidentemente más cercana al primer cuartil, lo que significa que el gráfico presenta una distribución de datos de asimetría positiva en donde la media es mayor que la mediana, y por último, en cuanto a los valores atípicos, estos se encuentran desde  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Así pues, teniendo en cuenta el valor obtenido de la mediana y de la media se puede establecer que la mayor cantidad de los datos se encuentra por encima del valor de los límites máximos permisibles de la OMS ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y de la resolución 2254 de 2017 ( $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

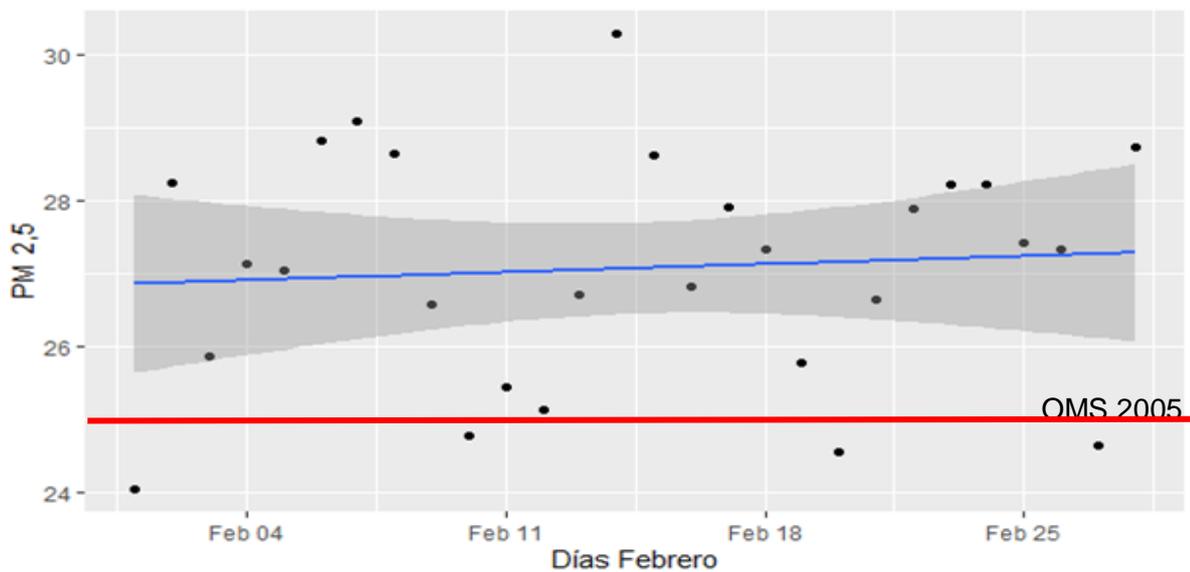
*Figura 30. Gráfico de dispersión de concentración de emisiones de  $PM_{2.5}$  VS temperatura registrada en el horno de la ladrillera CERANOVA*



*Fuente: Autores, 2020*

De acuerdo a los resultados del gráfico adscrito, de dispersión de la temperatura, se puede inferir que con el transcurrir de las horas, esta comienza a aumentar de manera considerable, lo que en un principio se pensó que fue un error en las mediciones del sensor (debido a que claramente la radiación solar disminuye totalmente al caer la noche y en ese sentido la temperatura), resultó que al cruzar estos datos con los obtenidos de la concentración de  $PM_{2.5}$  en función del tiempo; se pudo validar que existe un aumento considerable en las emisiones y por ende se concluye que de igual forma en la operación del horno y producción de ladrillos en horas de la noche, siendo que las emisiones de material particulado y demás contaminantes a la atmósfera sean casi imperceptibles al ojo humano por la poca luz, así que en ese sentido, se puede decir que se está utilizando el horario nocturno para aumentar la producción y satisfacer la amplia demanda de ladrillos solicitada por grandes empresas nacionales con las que trabaja la ladrillera; generando así, una gran cantidad de gases contaminantes que afectan de la calidad del aire y por supuesto la salud de los operarios y de las personas que habitan en las comunidades cercanas como lo son el Olivo y otros sectores descritos a continuación. Ahora, las implicaciones que tiene el gran aumento de las emisiones de  $PM_{2.5}$  en el horario nocturno, recaen en que la capa de mezcla es uno de los parámetros más importantes para determinar las concentraciones de contaminantes disponibles en la atmósfera, teniendo en cuenta que las emisiones impactan la calidad del aire cuando la altura de esta capa es considerablemente más baja al resto del día, ya que, el espesor de este estrato es mayor aumentando el nivel de contaminación que se encuentra retenido.

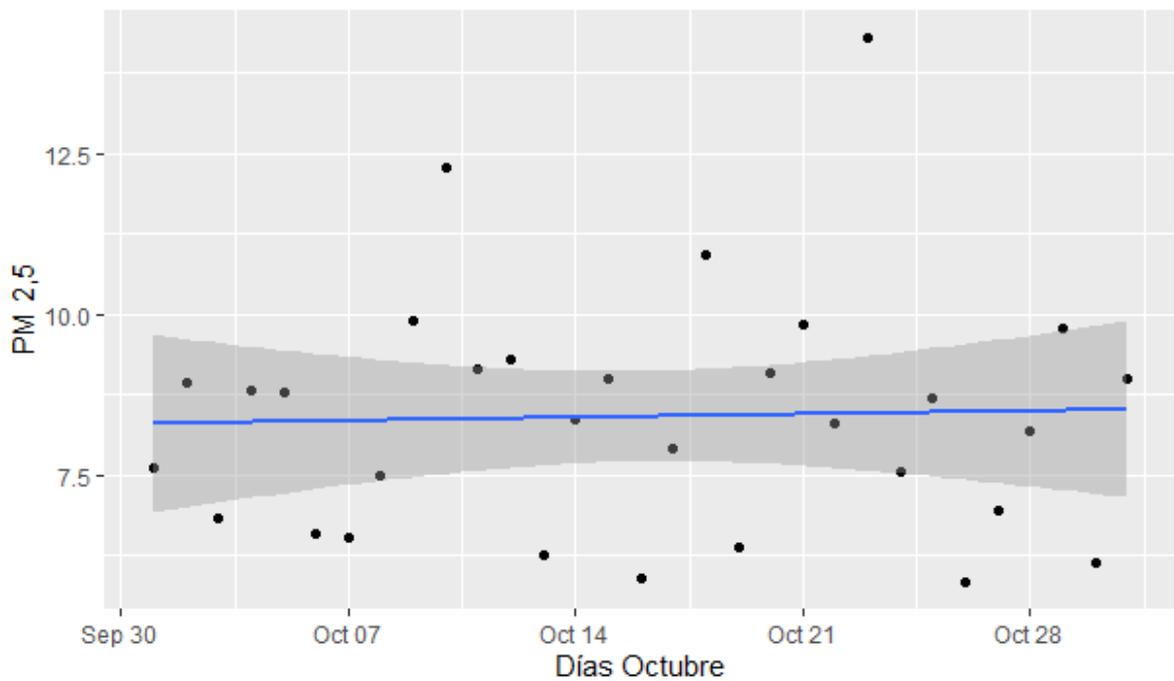
*Figura 31. Gráfico de dispersión de emisiones de  $PM_{2.5}$  del mes de febrero de 2019, comparado con la normativa nacional e internacional.*



*Fuente: Autores*

Con respecto a la gráfica 31 de dispersión del mes de febrero de 2019, se puede observar claramente cómo se están sobrepasando los límites máximos permisibles, propuestos por la Guía de calidad del aire de la OMS, notando claramente como la línea de tendencia asciende desde  $26,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  hasta  $27,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; incurriendo así en los riesgos anteriormente mencionados respecto al riesgo de mortalidad prematura del 6% (OMS, 2005).

*Figura 32. Gráfico de dispersión de emisiones de  $PM_{2.5}$  del mes de octubre de 2019, comparado con la normativa nacional e internacional*

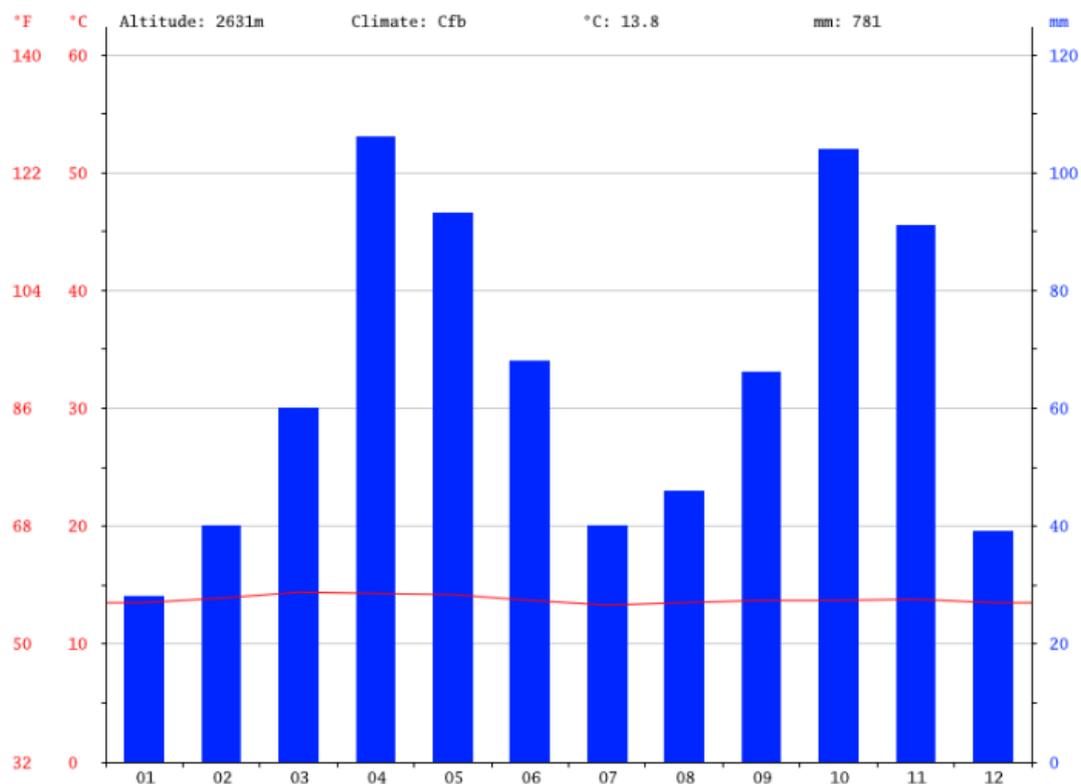


*Fuente: Autores*

En la gráfica anterior se observa que no se sobrepasan los límites máximos permisibles de las dos normatividades, por lo que, se puede inferir que las afectaciones a la salud de las personas son mínimas y por otra parte la contaminación de la calidad del aire no es para nada considerable.

Para el análisis del comportamiento de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> de ambos meses, de acuerdo con el PROTOCOLO PARA EL MONITOREO Y SEGUIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE, como se mencionó con anterioridad, se tomaron dos meses de comportamiento meteorológico totalmente diferentes, uno seco (febrero) y otro húmedo (octubre), esto con el objetivo de analizar cómo es el comportamiento en estas condiciones distintas del contaminante, tal y como se pudo observar en las gráficas en donde evidentemente las concentraciones de PM<sub>2.5</sub> para el mes de octubre fueron considerablemente más bajas que las del mes de febrero, teniendo en cuenta de las altas precipitaciones que se observan para este mes a continuación en el climograma del año 2019 de Cogua.

*Figura 10. Climograma Cogua 2019*

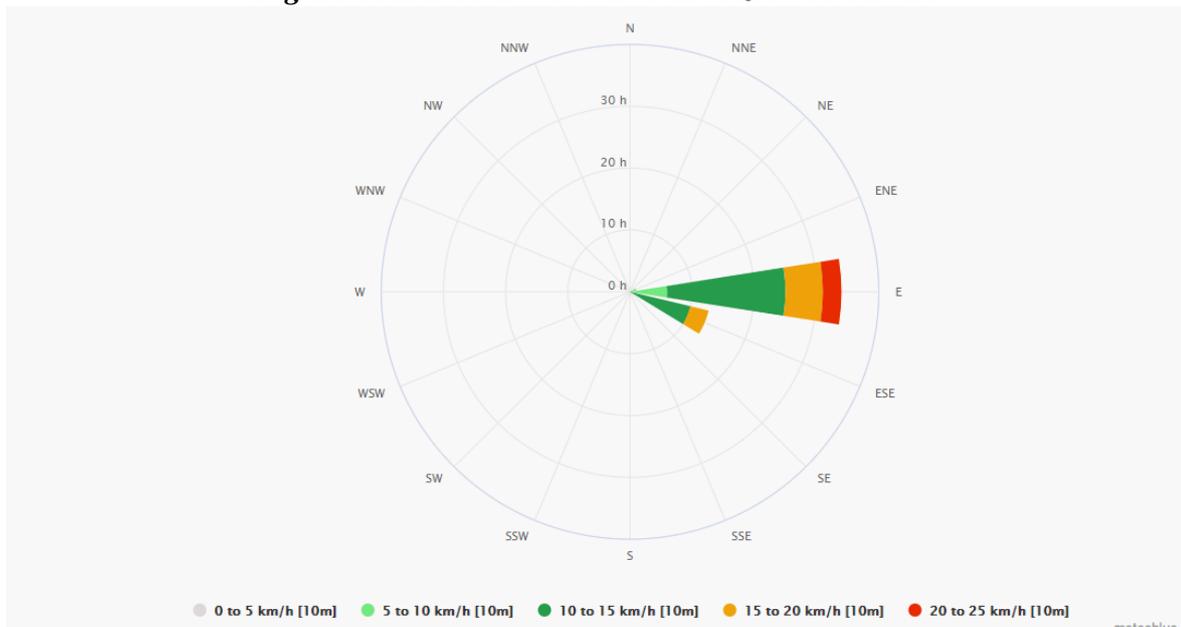


*Fuente: Cimate Data, 2020*

Teniendo en cuenta que Cogua es una zona industrial y sector minero, la calidad del aire en esta zona se ve bastante afectada por todas las ladrilleras ubicadas allí. Como se ve en los muestreos realizados en CERANOVA. Los impactos ambientales generados por las industrias ladrilleras, están relacionados con las sustancias contaminantes que emiten, durante los procesos de combustión en los diferentes tipos de hornos. Así como la adopción o no de buenas prácticas ambientales en pequeñas y medianas ladrilleras, también contribuyen a la generación de diferentes tipos de contaminantes, afectando directamente a los trabajadores y personas que viven a los alrededores de la industria. (Buitrago & Torres, 2017)

Una de las principales razones por la que los altos índices de Material Particulado se ven reflejados en las mediciones realizadas por el sensor, tiene parte por las afectaciones de las condiciones climáticas, como precipitación, temperatura, velocidad del viento, en lo que se puede referenciar la Rosa de Los Vientos para el día de la medición, obtenida de Meteosle, una plataforma en la que se puede observar en tiempo real las condiciones meteorológicas del municipio.

**Figura 33.** Dirección del viento en la zona de estudio



**Fuente:** METEOBLUE

El análisis de la dirección del viento en la zona de estudio durante el 18 de febrero del 2020, nos indica claramente que las concentraciones de contaminantes se dirigían hacia el oeste y con gran intensidad, ya que se alcanzaron a registrar vientos hasta de 20-25 Km/h, llegando de manera directa al centro poblado de El Olivo en donde se encuentra ubicada la estación y afectando de manera directa a los habitantes de este municipio y trabajadores de la ladrillera propiciando la presencia de enfermedades de tipo respiratorio

### 7.3 Objetivo 3

Evaluar alternativas de mitigación para las emisiones de PM<sub>2.5</sub>; que logren reducir los impactos ambientales negativos sin afectar la economía de la ladrillera.

Finalmente, para la realización tercer objetivo específico, tal como se mencionó en la metodología, se realizó fundamentalmente en torno a la EMC de la suma ponderada para la jerarquización de alternativas de mitigación, para la cual, se establecieron los criterios de evaluación de costo de inversión (en donde se incluye inversión y mantenimiento en caso de ser un tipo de filtro o en caso de ser un combustible el consumo mensual), porcentaje producción de ladrillos (en caso de que la alternativa de mitigación mejore la eficiencia del proceso y se aumente la productividad) y por último el porcentaje de reducción de emisiones. Ahora bien, a cada uno de estos criterios se le dio una escala de evaluación la cual se determinó teniendo como referencia la caracterización, la cual, se realizó en el primer objetivo y se muestra a continuación para cada uno:

- **Costo de inversión y gastos de mantenimiento:** Se tomaron como referencia las utilidades libres que se tienen para invertir en medidas de manejo para la optimización del proceso de producción en el horno, las cuales son de \$50'000.000 mensuales aprox y que proyectadas a un año (que es el tiempo que se determinó con los administrativos de CERANOVA que sería el óptimo para el plan piloto de la implementación de la medida de mitigación) serían de \$600'000.000, determinando de esa forma que entre más se acercara la inversión y los gastos al tope que se tiene de presupuesto se le brindaría menos calificación en la escala de evaluación y lo mismo en el caso de que los costos no fueran tan elevados se le daría la máxima calificación. Es necesario hacer la claridad de que debido a la contingencia generada por el COVID 19 los precios que inicialmente se dan en USD se ven sobredimensionados por los valores actuales de esta moneda, los cuales están en \$3.827 aproximadamente. Finalmente, el factor de importancia otorgado para este criterio fue de 30%, debido a que claramente el dinero puede ser una limitante a la hora de pensar en la aplicación de alguna medida de mitigación, pero que teniendo en cuenta el gran compromiso que la empresa CERANOVA tiene hacia la implementación de medidas de mitigación y el presupuesto con el que cuenta la ladrillera no se le dio más más importancia en la ponderación que al porcentaje de reducción de emisiones.
- **Porcentaje de producción de ladrillos:** Para este criterio se tomó como referencia la producción que actualmente se da en CERANOVA la cual es de 300.000 ladrillos mensuales, partiendo de esto, se establece a partir de las condiciones en las que se opere dependiendo de la alternativa si está producción se mantiene igual o aumenta en cierta medida, lo que se traduce en beneficios económicos para la empresa. De esta manera se establece que a medida que aumente la producción ladrillera así también lo hará la escala de evaluación. Finalmente, el factor de importancia otorgado para este criterio fue de 20%, debido a que este fue tomado como un valor agregado para las alternativas de mitigación propuestas, más no como una prioridad para la ladrillera, debido a que el horno Hoffman posee una alta efectividad en la producción de ladrillos y hasta el momento se satisface con normalidad la demanda que tienen con las empresas para las cuales trabajan.
- **Porcentaje de reducción de emisiones:** Por último, para el caso del porcentaje de reducción de emisiones, se evaluó dependiendo de la que mitigara de mejor manera las emisiones para de esta manera contribuir a la preservación de las condiciones de calidad del aire y en ese sentido para no afectar la salud de las personas que trabajan en la misma y que viven en las zonas aledañas. Finalmente el factor de importancia otorgado para este criterio fue de 50% debido a que en las entrevistas realizadas con los operarios y los administrativos de CERANOVA se pudo evidenciar el gran compromiso que tienen con la implementación

de medidas de mitigación y mejores prácticas que permitan contribuir al mejoramiento de la calidad del aire para preservar la salud de sus trabajadores y no afectar la de las personas que viven en zonas aledañas, de forma que se establece como una prioridad para la evaluación de las posibles alternativas que podrían aplicarse al proceso de cocción de los ladrillos en el horno.

Finalmente se analiza la alternativa de medida de mitigación que mejor se acople a las necesidades que tiene en este momento CERANOVA en cuanto al mejoramiento de las condiciones de calidad del aire. En ese sentido, según la escala de ponderación, la medida de mitigación que cumpla de mejor manera los requerimientos de la ladrillera tendrá un puntaje de 2000 o cercano. (Corral, Bruce, Jimenez, Lara, & Márquez, 2007)

A continuación, se procederá a hacer una breve descripción de cada una de las alternativas de medidas de mitigación que se consideró que fueran viables para las condiciones económicas, tecnológicas y ecológicas en las que opera CERANOVA, en donde se irán estableciendo en cada una de estas los valores de los criterios que posteriormente serán clasificados y evaluados mediante la matriz de criterios dependiendo del rango en el que se encuentren.

### *7.3.1 Filtro tipo ciclón*

El filtro tipo ciclón funciona de manera que esta toma los gases provenientes del proceso de cocción de los ladrillos, los cuales entran con una determinada velocidad y tamaño de partícula que puede perjudicar o no la eficiencia de recolección de material particulado. Una vez entra el gas en el filtro, este se hace girar sometiénndose a una fuerza centrífuga, que hace que las partículas de polvo choquen con las paredes del dispositivo perdiendo progresivamente su aceleración, lo que por consiguiente genera que la partícula caiga hacia la parte inferior por acción de la fuerza de gravedad y finalmente los resultantes sean recogidos en una tolva.

El filtro tipo ciclón constituye uno de los dispositivos con menor costo para lo que es la recolección de material particulado proveniente de las emisiones del horno Hoffman para este caso, teniendo en cuenta los aspectos de costo de inversión, operación y mantenimiento, sabiendo que estos están diseñados para soportar altas presiones y temperaturas a partir de los materiales con los que se construyen. Es importante aclarar respecto al filtro ciclón que este se encuentra diseñado principalmente para separar partículas con diámetros mayores a 5µm, aunque de igual manera puede hacerlo con partículas de menor diámetro, pero con menor efectividad a la hora de realizar el proceso, lo que supone una desventaja en la evaluación de este elemento como alternativa. Por otra parte, respecto a la falta de efectividad en la limpieza del aire se debe aclarar que igualmente si se hace de alguna manera la reducción en la cantidad de material particulado que sale del proceso de combustión para la cocción de de ladrillos, lo que hace que este elemento alivie un poco la carga sobre el sistema de depuración final. Además de que este filtro depende en gran medida del tamaño de la partícula, este también lo hace con la velocidad de entrada de gas al mismo que se debe situar en el rango entre 15.2 a 27.4 m/s, esto a razón de que velocidades de entrada que se encuentren por debajo de este rango generan una alta sedimentación de partículas neutralizando el efecto de la fuerza centrífuga, y por otra parte, en cuanto a los valores que sobrepasan este rango generan la Re suspensión de las partículas que previamente ya se

habían recolectado. Ahora bien, el costo operativo anual de este filtro, en el que se incluye el gasto eléctrico y mantenimiento por limpiezas ronda entre un rango de 7.000 a 9.000 USD, que traducido a COP serían \$34'443.000 (que mensualmente serían 2'870.000 COP) (Olortegui & Barbosa, 2013). Por otra parte, respecto al costo de inversión inicial correspondiente a la instalación del dispositivo, según Fierro (2004), a \$46'233.000. Ahora, proyectando estos gastos de inversión a un año tendríamos que se necesitaría disponer de \$80'676.000 de los \$600'000.000 con los que contaría CERANOVA en ese periodo de tiempo.

Finalmente, en cuanto al porcentaje de disminución de PM<sub>2.5</sub>, según Echeverri (2006), este puede llegar hasta un 40% presentando variaciones en su efectividad dependiendo de los factores que se mencionaron con anterioridad.

### 7.3.2 Lavador de gases tipo Venturi

Los lavadores de gases o hidro lavadores de tipo Venturi, son aparatos que se componen de fases mezcladas de líquido y gas, con una cámara en forma de venturi. Los depuradores tipo venturi son usados principalmente para el control de materia particulada (PM), incluyendo PM menor o igual a 10 micras ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro aerodinámico (PM<sub>10</sub>) y materia particulada menor o igual a 2.5  $\mu\text{m}$  de diámetro aerodinámico (PM<sub>2.5</sub>). (Suárez, 2012)

La función de éstos, es transferir la materia suspendida en los gases que son producidos (éstos siendo generalmente de altas temperaturas y humedad), a un líquido absorbedor, generalmente agua, el cual se puede separar fácilmente del aparato. El agua se inyecta de forma automatizada a baja presión en la garganta del Venturi a través del cual la corriente de gas pasa a altas velocidades. La energía del gas atomiza el líquido, permitiendo que partículas y contaminantes sean arrastrados en gotas pequeñas. El lavador puede alcanzar desde un 70% hasta un 99% de eficiencia en la remoción de partículas pequeñas, dependiendo de la aplicación. Ayudando a mantener a los trabajadores, las instalaciones y el entorno aledaño libre de contaminantes. (Fuentes, 2018) Sus desventajas principales son la generación de lodos o aguas residuales industriales, problemas de corrosión debido al uso de agua como solución de lavado. (Verle, 2019)

Según Riaño (2012), en su tesis, menciona que los costos de un lavador de gases tipo venturi tienen costos de inversión y mantenimiento iniciales bajos en comparación con los costos de los filtros de mangas o precipitadores electrostáticos, pero sus costos de operación son relativamente altos. Esto se puede evidenciar en un artículo de tecnología para contaminantes del aire, por la EPA, donde muestran evidencia de los costos expresados en dólares del año 2002. Debido al cambio del precio del dólar en la actualidad se realizó la conversión para lo que se obtuvo:

- a. Costo de Capital: \$5,300, en la actualidad 20'670.000 COP
- b. Costo de Operación y Mantenimiento: \$9,300 por m<sup>3</sup>/s, en la actualidad 36'270.000 anualmente.
- c. Costo Anualizado: \$12,000 por m<sup>3</sup> /s, 46'800.000 COP

Hay que tener en cuenta que estos costos no incluyen los costos de postratamiento o desecho del solvente usado o residuos. Los costos reales pueden ser relativamente más altos que expuestos, para aplicaciones que requieren materiales costosos, solventes, o métodos de tratamiento.

### 7.3.3 Precipitador electrostático o Precipitador de partículas (PES)

El precipitador de partículas es un dispositivo que usa la fuerza eléctrica cargando el material particulado negativamente y luego el gas fluye a través de placas cargadas positivamente y éste es atraído y depositado en éstas. Es utilizado en casos en los que se requiere alta eficiencia y en especial grandes volúmenes de gas. El sistema de recolección puede ser manual o automatizado. “Estos aparatos cuentan con una eficiencia de remoción de partículas de un 99%, el cual depende de la velocidad de entrada del gas, la superficie de las áreas de recolección, la viscosidad del gas, la temperatura del gas y el campo eléctrico.” (Rivera, 2016). Además de que las partículas deben contar con una resistividad moderada, ya que, de no ser así, y la resistividad es muy alta, éstas pueden tardar más, formando una capa de carga negativa que impide que otras partículas sean atraídas. Si es el caso contrario, y la resistividad es muy baja, éstas pierden su carga mientras llegan a la placa y tomando su carga lo que causa que sean repelidas de nuevo hacia el flujo de gases. El algún tipo de precipitadores, en vez de placas colectoras, poseen tubos verticales por los que el gas fluye en su interior y el material es acumulado en sus paredes interiores. (Rivera, 2016)

En cuanto a los costos, estos manejan costos más elevados en su inversión que en su operación, a diferencia de un lavador de gases o un ciclón. Esto se puede evidenciar en un artículo de tecnología para contaminantes del aire, por la EPA, donde muestran evidencia de los costos expresados en dólares del año 2002. Debido al cambio del precio del dólar en la actualidad se realizó la conversión para lo que se obtuvo:

- a. Costo de Capital: \$21,000 a \$70,000 por sm<sup>3</sup> /s, en la actualidad de 81'900.000 COP a 273'000.000 COP
- b. Costo de Operación y Mantenimiento: \$6,400 a \$74,000 por sm<sup>3</sup> /s anualmente, en la actualidad 24'960.000 COP a 288'600.000 COP
- c. Costo Anualizado: \$45.050 por sm<sup>3</sup> /s. En la actualidad de 175'000.000 COP aproximadamente.

Hay que tener en cuenta que estas cifras son relativas, ya que pueden ser relativamente más altos que los rangos expuestos para los contaminantes que requieran un nivel extremadamente alto de control, como es el PM<sub>2.5</sub>, o que requieran que los PES sean construidos con materiales especiales tales como el acero inoxidable o el titanio. <sup>2</sup>(EPA-452/F-03-028)

---

<sup>2</sup> Recuperado de EPA-452/F-03-028( <https://www3.epa.gov/ttnecat1/cica/files/fdesppls.pdf>)-12-de diciembre de 2019.

#### *7.3.4 Sustitución de combustible de carbón mineral a gas natural*

La utilización de gas como combustible en la producción de ladrillos supone un proceso considerablemente más limpio, eficiente y económico a comparación de los combustibles convencionales como el carbón mineral para el caso de CERANOVA. El problema de esta alternativa recae en la dificultad de contar con un suministro constante y disponible que se encuentre cerca de la zona de producción, además, las eficiencias de combustión para el gas natural y propano son del 81.30% y 83.45% respectivamente, que son bajas comparadas con la del carbón que es de 87.42% (Ministerio de la Producción, 2020). Por otra parte, este combustible al ser limpio reduce de gran manera la generación de cenizas, lo que impacta al ambiente de manera que mejora la calidad del aire. Para el tema de la instalación, se debe construir la red de conducción de gas y se debe diseñar la estación reguladora del suministro, en donde para el caso del gas propano, se debe instalar el tanque de reserva, en caso de que sea gas natural se debe solicitar la acometida con el distribuidor del combustible de la zona. La instalación de la acometida y la red tiene un costo de entre \$86'000.000 y 140'000.000 y tarda cuatro meses, por otra parte, en cuanto a el cambio del sistema de combustión del horno tarda un mes, periodo en el cual la producción de ladrillos se verá realmente comprometida (CAR,2003). Finalmente, en cuanto al porcentaje de reducción de emisiones que se tendría al hacer el cambio de la fuente de combustible actual (carbón mineral) a gas, según Paredes (2013), este sería de un 50%.

#### *7.3.5 Sustitución de combustible de carbón mineral a cáscara de café*

El café es uno de los principales rubros en la agricultura del país, pero en el procesamiento de éste resulta la generación de residuos en forma de cascarilla, lo que es considerado un residuo contaminante causante de problemas ambientales. Hay que tener en cuenta que este tipo de Biomasa es apto para su implementación en hornos tipo Hoffman, túnel, entre otros. En la actualidad del país, se está evidenciando en varias industrias ladrilleras la implementación de este biomaterial como el combustible que alimenta sus hornos, ya que es un material eficiente, con bajos niveles de emisión de contaminantes y bajo costo. Haciendo que de esta forma se reduzcan las partículas insalubres en el aire, y se dé la capacidad de productividad mediante la reducción del carbón con procesos más eficientes. En cuanto a la productividad que tiene, según estudios en un ladrillero en Supía, Caldas. Una empresa dedicada a la producción de ladrillos pudo comprobar que, haciendo el cambio de combustible, de carbón a cisco o cascarilla de café, lograría una producción de 2200 toneladas de ladrillos al mes (260.000 ladrillos aproximadamente) con una cantidad de 100 toneladas de cascarilla de café, también hace referencia a que tiene un precio tres veces más económico que el Carbón. Además de aumentar la producción casi en un 60%. y su porcentaje de reducción de emisiones es de 75% (El Tiempo, 2015)

Un trasfondo positivo que tiene esta medida, es a su vez el apoyo económico para los agricultores del departamento, Cundinamarca. Ya que el departamento cuenta con El cultivo del café es uno de los más importantes en extensión para Cundinamarca, ocupando el 20% del área destinada a la agricultura, y el 49% del área destinada a cultivos permanentes. (Quintero, 2017)

## MATRIZ DE SUMA PONDERADA - EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Por último, por medio de la evaluación de estas alternativas mediante la matriz de suma ponderada, que se muestra en la tabla x, se pudo obtener que la medida óptima que responde a los requisitos presupuestales de la ladrillera y a los óptimos porcentajes de reducción de contaminante es la implementación de un Lavador de gases tipo venturi. A pesar de no aumentar el porcentaje de producción de ladrillo, si logra de una manera eficiente reducir las concentraciones de contaminantes alrededor de un 80% aproximadamente, permitiendo que se cumpla con el objetivo de la propuesta de una medida de mitigación viable para la empresa y la calidad del aire de la zona.

Tabla 10. Matriz de suma ponderada para la evaluación de alternativas.

Tipos de medidas de mitigación	Costo de inversión y mantenimiento proyectado a un año (pesos)	Porcentaje de aumento de producción de ladrillos (%)	Porcentaje de reducción de emisiones (%)	Suma ponderada	Jerarquización
<b>Factor de importancia</b>	30%	20%	50%	100%	
Filtro tipo ciclón	80'676.000	0	40	840	4
<i>Evaluación según la escala</i>	20	2	4		
Lavador de gases venturi	46'800.000	0	80	1390	1
<i>Evaluación según la escala</i>	20	2	15	760	5
Cáscara de café	249'500.000	75	60		
<i>Evaluación según la escala</i>	10	15	10		
Carbón a Gas Natural	86'000.000-140'000.000	0	50	1100	3
<i>Evaluación según la escala</i>	15	2	8		
Precipitador de partículas (PE)	175'000.000	0	99	1.340	2
<i>Evaluación según la escala</i>	10	2	20		

Fuente: Autores.

En ese sentido, la opción principal y mejor alternativa es la implementación del Lavador de gases ventura, pero, es importante reconocer la excelente eficiencia de la cascarilla de café como combustible, obteniendo un segundo lugar en la evaluación, ya que además de reducir de manera significativa la concentración de contaminantes, tiene la capacidad de aumentar la producción de ladrillo, trayendo consigo un beneficio económico a la empresa.

Es importante reconocer que las condiciones ambientales y de salud para las personas que día a día operan en este lugar, depende de las buenas prácticas ambientales que tome la empresa, y la manera en que velen por el bienestar de las personas, que como se puede evidenciar en la imagen x. no se tienen como prioridad.

*Figura 34. Evidencia de las condiciones en las que se tiene el carbón.*



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta el análisis del comportamiento del viento en este sector, se puede propiciar que no sólo se está afectando el área de influencia de la empresa, sino también las comunidades que viven alrededor a ésta.

Es así como se propone la implementación del dispositivo ventura, pero además de la inversión en nueva tecnología, el aporte a la investigación de nuevos tipos de combustible y las formas de nuevo uso que pueden tomar algunos residuos contaminantes, pero que hoy tienen un gran valor para la obtención de energía, y así reducir la brecha de incertidumbre industrial por parte de las empresas, obteniendo los resultados necesarios que satisfagan con la necesidad de cambio del entorno. (CAEM, 2019)

## 8 Conclusiones

- Con base en la dimensión tecnológica de la ladrillera, se puede concluir que, en términos generales a pesar de presentar algunas ineficiencias por causa de fugas en las paredes del horno; los procesos mediante los cuales se realiza la producción de ladrillos se encuentran muy tecnificados. Gracias a la recirculación de aire caliente hacia la zona de secado de los moldes, se genera un gran ahorro de energía eléctrica para esta función. Y por otra parte en cuanto a la alta eficiencia térmica que posee el horno Hoffman a razón del calentamiento de la cámara de combustión y en simultáneo de las cámaras de precalentamiento por las radiaciones de calor, lo que hace que el proceso sea eficiente en ese sentido.
- En cuanto al resultado del segundo objetivo específico, teniendo en cuenta las gráficas realizadas para los meses de febrero y octubre de 2019, se puede deducir que a pesar de que las emisiones de material particulado en la zona no fueron considerablemente altas a niveles riesgosos, si se debe tener un especial cuidado con estas emisiones para los meses de temporada seca (en el cual se vio que se sobrepasaron los límites máximos permisibles de la OMS). Estas emisiones se pueden mitigar de alguna manera mediante la aplicación de las buenas prácticas mencionadas en el resultado de dicho objetivo y en el apartado de recomendaciones. Por otra parte, en cuanto a los resultados que se observaron de las mediciones tomadas en CERANOVA, se puede concluir que los niveles que se están dando en la ladrillera son categorizados como de especial cuidado, pues la salud de los trabajadores se puede ver afectada considerablemente, sumado a grupos vulnerables que habitan allí como niños, ancianos y mujeres embarazadas. Aumentando así el riesgo de enfermedades y mortalidad como se explicó, ejemplo de esto es la escuela que se encuentra en la zona

- aledaña a la ladrillera que se encuentra en riesgo; debido a que como fue analizado con respecto a la rosa de vientos, las emisiones se dirigen directamente hacia este. Por este motivo se le da tal importancia a la aplicación de una medida de mitigación adecuada a las condiciones en que opera la ladrillera, que se ajusten al presupuesto y en ese sentido que permitan la reducción considerable de las emisiones de PM<sub>2,5</sub>.
- Asimismo, en adición el segundo objetivo específico, a partir del análisis del aumento de las concentraciones de material particulado y temperatura del horno en horas de la noche, se puede concluir que la implementación de una medida de mitigación es de suma importancia para el caso de una ladrillera que trabaja 24 horas (como es el caso de CERANOVA), esto por los motivos mencionados en cuanto a la altura de la capa de mezcla, la cual, en horas de la noche alcanza su nivel más bajo, lo que genera que la concentración de contaminantes se vea potencializada afectando ampliamente las condiciones de calidad del aire y salud de las personas que habitan en zonas aledañas.
  - Finalmente, en cuanto al resultado del tercer objetivo específico, se pudo determinar las mejores alternativas para la reducción de contaminantes en fuentes fijas, y a partir de esto, mediante la jerarquización realizada por la EMC de suma ponderada; se logró proponer la mejor alternativa para la mitigación o reducción de PM<sub>2,5</sub> de la fuente fija CERANOVA, cumpliendo con sus criterios económicos y ambientales, trayendo así la mejora en sus prácticas.

## **9. Recomendaciones**

- La realización de este tipo de estudios es compleja; puesto que, el país no cuenta con bases de datos establecidas para recopilar la información sobre la salud de los habitantes de cada municipio, ya que, ésta se encuentra de forma generalizada y el acceso a este tipo de información es difícil, debido a que no hay un organismo o departamento del Ministerio de Salud y Protección Social que tenga la información debidamente sintetizada.
- Los esfuerzos realizados por el Ministerio del Medio Ambiente para la caracterización de las emisiones de PM<sub>2,5</sub> en Colombia no son suficientes; por ende, la cantidad de producción de este contaminante pertenece a diferentes fuentes;

es así que a modo de recomendación se debe realizar la caracterización por tipo de fuente y/o actividad para el mismo.

- Se recomienda que el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible invierta en proyectos que involucren realizar muestreos de este tipo de contaminantes. De esta manera, los costos de los dispositivos encargados de recolectar la información de manera eficiente y certera, tienen costos muy elevados.
  
- Se invita a la Corporación Autónoma Regional (CAR), realizar la implementación de controles nocturnos; ya que, muchas ladrilleras aprovechan este periodo de tiempo para aumentar sus procesos de producción debido a la falta de vigilancia. Haciendo que las concentraciones de contaminantes atmosféricos aumenten, también se debe tener en cuenta que en las horas nocturnas la altura de la capa de mezcla es baja y esto ocasiona que se concentren aún más.

## 10. Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Cogua. (Abril de 2018). Obtenido de <http://www.cogua-cundinamarca.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- ANAFALCO. (Mayo de 2017). *Asociación Nacional de Fabricantes de Ladrillo y Productos de Arcilla*. Obtenido de <https://www.anafalco.com.co/anafalco-web/node/37>
- Barcaya, L. (2001). Procesos organizativos y dinámicas de cambio en los productores de Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón Carrera.
- Buitrago, G., & Torres, G. (2017). Estimación de factores de emisión de una ladrillera en la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá DC.
- CAEM. (2015). *Validate inventory of the brick sector in Colombia*. Bogotá D.C: Corporación Ambiental Empresarial.
- CAEM. (2019). REALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE CARBONO NEGRO [Ebook]. Bogotá D.C.
- CERANOVA, LTDA. (2019). *Esquemas de los procesos de la empresa*.
- Corral, A., Bruce, C., Jiménez, R., Lara, A., & Márquez, R. (2007). Implementación de una nueva tecnología para minimizar la contaminación del aire derivada de hornos ladrilleros. *Ciencia en la frontera*, VII, 90.
- DINAMIA. (12 de 2013). Encuesta sobre calidad del aire Monterrey. Obtenido de [https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2014/08/Encuesta\\_CA\\_Mty.pdf](https://elpoderdelconsumidor.org/wp-content/uploads/2014/08/Encuesta_CA_Mty.pdf)
- Gallegos, A., & Lujan, M. (2006). *Contaminación atmosférica por la fabricación de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de zonas aledañas*. Cochabamba.

- Gallegos, A., Lang, B., Fernández, M., & Luján, M. (2006). Contaminación atmosférica por la fabricación de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de zonas aledañas. *Acta Nova*, 19.
- Gobernación de Cundinamarca. (2016). *Plan Territorial de la Salud*. Bogotá D.C.
- Hernández, R., Collado, C., & Lucio, B. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Herrera, P., & López, E. (2011). *Caracterización de los hornos usados en la industria ladrillera*. (Corporación ambiental empresarial)
- INECC. (2016). *Estudios ambientales de las emisiones vehiculares, producción de ladrillo, exposición personal a contaminantes, monitoreo de la calidad del aire, hidrocarburos y partículas, en la ciudad Victoria de Durango*. México D.F.
- INEI. (20 de 12 de 2014). *Calidad del aire*. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1)
- Instituto Nacional de Salud. (2019). *Informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia*. Bogotá: Presidencia de la República.
- Kim, a. (2012). A semi-continuous measurement of gaseous ammonia and particulate. *Journal of*.
- León, E. (2006). La importancia del carbón mineral en el desarrollo. . *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 91-97.
- Londoño, C. (2008). Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín. *Ingenierías Universidad Medellín*, 23-42.
- Massolo, L. (2014). *Introducción a las herramientas de gestión ambiental*. Series y Libros.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible acción de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. (2015). *Informe de seguimiento al plan de*. Bogotá D.C.
- MoniCA, R. (20 de 12 de 2019). *Red de Monitoreo de la Calidad del Aire*. Obtenido de Red de Monitoreo de la Calidad del Aire: [www.ucbcba.edu.bo/redmonica/](http://www.ucbcba.edu.bo/redmonica/).
- NASTRO. (2004). *Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- OMS. (2009). *Health and Environment Linkages Initiative*. . Genova: United Nations Environment Programme.
- Ovarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Revista chilena de enfermedades respiratorias* . 16-25.
- Rojas, N. (2007). Aire y problemas ambientales de Bogotá. Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia. .
- Romo, M. d., Córdova, G., & Cervera, L. (2004). Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez. *Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez*, 34. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/estfro/v5n9/v5n9a1.pdf>

- Saralegui, A. (2003). *Modelo de Simulación de los Efectos en Salud Producidos*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Serrano, M. (2006). *Método de sumas ponderadas para selección de sistemas energéticos no convencionales*. Bucaramanga.
- Serrano, M. (2006). *Método de sumas ponderadas para selección de sistemas energéticos no convencionales*. Bucaramanga.
- Silva, M. (2013). Impacto ambiental y gestión del riesgo de ladrilleras en la vereda Los Gómez de Itagüí. *Cuaderno Activa*, 109-123.
- Barcaya, L. (2001). Procesos organizativos y dinámicas de cambio en los productores de Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón Carrera.
- Buitrago, G., & Torres, G. (2017). Estimación de factores de emisión de una ladrillera en la localidad de Ciudad Bolívar en Bogotá DC.
- CAEM. (2015). *Validate inventory of the brick sector in Colombia*. Bogotá D.C: Corporación Ambiental Empresarial.
- Corral, A., Bruce, C., Jimenez, R., Lara, A., & Márquez, R. (2007). Implementación de una nueva tecnología para minimizar la contaminación del aire derivada de hornos ladrilleros. *Ciencia en la frontera, VII*, 90.
- Gallegos, A., & Lujan, M. (2006). *Contaminación atmosférica por la fabricación de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de zonas aledañas*. Cochabamba.
- Gallegos, A., Lang, B., Fernández, M., & Luján, M. (2006). Contaminación atmosférica por la fabricación de ladrillos y sus posibles efectos sobre la salud de los niños de zonas aledañas. *Acta Nova*, 19.
- INECC. (2016). *Estudios ambientales de las emisiones vehiculares, producción de ladrillo, exposición personal a contaminantes, monitoreo de la calidad del aire, hidrocarburos y partículas, en la ciudad Victoria de Durango*. México D.F.
- INEI. (20 de 12 de 2014). *Calidad del aire*. Obtenido de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1)
- Instituto Nacional de Salud. (2019). *Informe Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia*. Bogotá: Presidencia de la República.
- Kim, a. (2012). A semi-continuous measurement of gaseous ammonia and particulate. *Journal of*.
- Londoño, C. (2008). Relación entre las partículas finas (PM 2.5) y respirables PM 10) en la ciudad de Medellín. *Ingenierías Universidad Medellín*, 23-42.
- Massolo, L. (2014). Introducción a las herramientas de gestión ambiental. Series y Libros. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible acción de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. (2015). *Informe de seguimiento al plan de*. Bogotá D.C.
- MoniCA, R. (20 de 12 de 2019). *Red de Monitoreo de la Calidad del Aire*. Obtenido de Red de Monitoreo de la Calidad del Aire: [www.ucbcba.edu.bo/redmonica/](http://www.ucbcba.edu.bo/redmonica/).
- NASTRO. (2004). *Particulate Matter Science for Policy Makers: A NARSTO Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- OMS. (2009). *Health and Environment Linkages Initiative*. . Genova: United Nations Environment Programme.

- Ovarzún, M. (2010). Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Revista chilena de enfermedades respiratorias . 16-25.
- Rojas, N. (2007). Aire y problemas ambientales de Bogotá. Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia. .
- Romo, M. d., Córdova, G., & Cervera, L. (2004). Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez. *Estudio urbano-ambiental de las ladrilleras en el municipio de Juárez*, 34. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/estfro/v5n9/v5n9a1.pdf>
- Saralegui, A. (2003). *Modelo de Simulación de los Efectos en Salud Producidos*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Serrano, M. (2006). *Método de sumas ponderadas para selección de sistemas energéticos no convencionales* . Bucaramanga.
- Serrano, M. (2006). *Método de sumas ponderadas para selección de sistemas energéticos no convencionales* . Bucaramanga.
- Silva, M. (2013). Impacto ambiental y gestión del riesgo de ladrilleras en la vereda Los Gómez de Itagüí. *Cuaderno Activa*, 109-123.

## 11. Anexos

### **Anexo 1. Encuesta a trabajadores obreros de CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.**



**Universidad El Bosque  
Facultad de ingeniería**

**Programa de ingeniería ambiental**

**Encuestadores/Entrevistadores: Carlos David Álvarez Sánchez y Carolina Benítez Rodríguez**

El siguiente documento es una encuesta y entrevista dirigida a los trabajadores y administradores respectivamente de la ladrillera CERANOVA para la construcción de la monografía Propuesta de Medida de Mitigación para emisiones Carbono Negro de la ladrillera CERANOVA Cogua, Cundinamarca.

### **ENCUESTA A TRABAJADORES (OPERARIOS)**

**Nombre:**

**Edad:**

**Sexo:**

**Ocupación dentro de la empresa:**

**1. ¿Cuál de las siguientes opciones relaciona con "calidad del aire"? (Marque una o varias)**

- a) Aire sin contaminación
- b) Aire apto para respirar
- c) Aire puro
- d) Todas las anteriores
- e) No sabe

**2. ¿Qué nivel de importancia tiene el tema para usted?**

- a) No tiene
- b) Leve
- c) Moderada
- d) Importante
- e) Muy importante

**3. ¿Cuándo cree que la calidad del aire es mala? (Marque una o varias)**

- a) Cuando el aire no es apto para respirar
- b) Cuando hay mal olor
- c) Cuando hay humo
- d) Cuando el aire tiene componentes que puede afectar la salud
- e) Todas las anteriores
- f) No sabe

**4. ¿Cómo calificaría la calidad del aire donde trabaja?**

- a) Muy mala
- b) Mala
- c) Regular
- d) Buena
- e) Muy buena

**5. ¿Cree que la mala calidad del aire puede afectar su salud?**

- a) Si
- b) No

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

- a) COV (Compuestos orgánicos volátiles)
- b) CO-CO<sub>2</sub> (Monóxido - Dióxido de carbono)
- c> O<sub>3</sub> (Ozono)
- d) PM<sub>10-2,5</sub> (Material particulado)
- e) NO<sub>2</sub> (Dióxido de nitrógeno)

- f) SO<sub>2</sub> (Dióxido de azufre)
- g) Carbono negro
- h) Ninguno de los anteriores

**7.A nivel personal, ¿Haría algo para ayudar a preservar la calidad del aire?**

- a) Si
- b) No

**8. ¿Cuál es su jornada laboral diaria?**

- a) 5 horas
- b) 6 horas
- c) 7 horas
- d) 8 horas
- e) Más de 8 horas

**9. ¿Cuál de las siguientes enfermedades tiene alta probabilidad de presentarse en las personas por la exposición diaria a un aire de mala calidad?**

- a) Cáncer de pulmón
- b) Neumonía
- c) ACV
- d) Enfermedades respiratorias
- e) Ninguna de las anteriores
- f) No sabe

**10. ¿Cuántos años lleva trabajando en la ladrillera?**

- a) 1 año
- b) 2 años
- c) 3 años
- d) 4 años
- e) 5 años
- f) Más de 5 años

**11. ¿Padeció alguno de los siguientes síntomas en los últimos años?**

- a) Garganta irritada
- b) Vista irritada
- c) Tos
- d) Mareos
- e) Fatiga
- f) Dolor de cabeza
- g) Ninguna

***Anexo 2. Entrevista al administrativo de la ladrillera CERANOVA CONSTRUCTORA LOMALINDA LTDA.***

**ENTREVISTA A ADMINISTRATIVOS (preguntas cuantificables por rangos)**

**Nombre:**

**Edad:**

**1. ¿Cuánta es la producción de ladrillos de la ladrillera en un mes?**

**RTA:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**2. ¿Que producen ustedes? ¿Cuánto producen en el mes?**

**RTA:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**3. ¿Qué combustible utilizan para la fabricación de ladrillos?**

**RTA:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**4. De utilizar carbón ¿de qué tipo es este? Buscar ficha técnica del carbón en cuál es el productor del carbón**

**RTA:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**5. ¿Cuál es el tipo de horno si es continuo (túnel) o por lotes (colmena, zigzag, Hoffman)?**

**RTA:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**6. ¿Cuánto combustible (carbón) consumen por mes? ¿A qué precio compran el combustible (carbón)?**

**RTA:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**7. ¿Qué tipo de hornos son utilizados para la fabricación de los ladrillos en la empresa?**

**RTA:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**8. ¿Cómo es el sistema de producción desde el inicio hasta que sale un ladrillo como producto final?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**9. ¿Cuántos trabajadores hay operando en la ladrillera? Esquema de estandarización de procesos**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**10. ¿Los trabajadores son los encargados de meter los combustibles en los hornos o tienen algún tipo de proceso mecánico automatizado? En caso de que sean los mismos trabajadores ¿de qué manera ingresan estos el combustible en los hornos?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**11. ¿Con cuánto espacio cuentan los trabajadores para realizar sus actividades laborales o cuáles son las condiciones ambientales y espaciales con las que cuentan los trabajadores para realizar sus actividades laborales?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**12. ¿Tienen ustedes algún control de las emisiones generadas en la fabricación de los ladrillos? Sistemas de control o medidas de manejo ciclón precipitado o control de temperaturas**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**13. De no tenerlo ¿Han pensado ustedes en implementar medidas de mitigación para estas emisiones? Cuánto invierten en investigación y desarrollo o investigar nuevas medidas para procesos productivos**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**13. ¿Han recibido quejas por parte de comunidad o trabajadores dentro de la empresa, por presentación de molestias en su salud, debido a las actividades laborales?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**15. ¿Hace cuánto está en uso los hornos/maquinaria que se está utilizando hasta la fecha? ¿Cada cuánto le hacen mantenimiento?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**16. ¿Han pensado en invertir para hacer un cambio en la tecnología de la ladrillera a futuro?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**17. ¿Han pensado en invertir en hornos más eficientes que generen menos gases contaminantes a la atmósfera?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**18. ¿Cuál creen que es el mejor horno que les puede ayudar a reducir la contaminación?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**19. ¿Tienen algún tipo de planificación ambiental dentro de la ladrillera? ¿Cómo aplican el sistema de gestión ambiental en su proceso productivo?**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**20. MUESTREOS PRELIMINARES (cuánto carbón se está consumiendo y cuanto ladrillo se está produciendo)**

**RTA:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Firma del entrevistado**

\_\_\_\_\_

**Firma del entrevistador**

\_\_\_\_\_