



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 22 de julio de 2020

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Diego Mauricio Hernández Bolívar, con C.C. No. 93.155.273,

Jose Fabián Osso Villanueva, con C.C. No. 7.731.347,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado: Determinación de concentraciones de material particulado (PM10) y monitoreo de ruido ambiental en el área de influencia de la planta de tratamiento de residuos peligrosos de Serviambiental S.A. E.S.P. presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO (PM10) Y MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS DE SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Hernández Bolívar	Diego Mauricio
Osso Villanueva	Jose Fabián

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Castro Camacho	Jennifer Katusca

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

**CIUDAD:** Neiva (Huila)

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2020

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 114

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas \_\_\_ Fotografías X Grabaciones en discos \_\_\_ Ilustraciones en general \_\_\_ Grabados \_\_\_  
Láminas \_\_\_ Litografías \_\_\_ Mapas X Música impresa \_\_\_ Planos \_\_\_ Retratos \_\_\_ Sin ilustraciones \_\_\_ Tablas  
o Cuadros X



**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:** Instrumento de medición (Encuesta)

**PREMIO O DISTINCIÓN** (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Incineración</u>	<u>Incineration</u>	6. <u>Material</u>	<u>Material</u>
2. <u>Regulación</u>	<u>Regulation</u>	7. <u>Particulado</u>	<u>Particulated</u>
3. <u>Nivel sonoro</u>	<u>Sound level</u>	8. <u>Planta</u>	<u>Plant</u>
4. <u>Calidad</u>	<u>Quality</u>	9. <u>Ruido</u>	<u>Noise</u>
5. <u>Impacto</u>	<u>Impact</u>	10. <u>Residuo</u>	<u>Residue</u>

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

Atendiendo a las necesidades de la población en relación con el manejo de residuos de origen biológico e industrial, SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P. cuenta con la infraestructura, capacidad técnica y operativa para prestar los servicios de recolección, transporte, tratamiento final de los residuos hospitalarios y similares e industriales tanto a nivel Departamental y Nacional.

El estudio permite demostrar que el impacto generado por las actividades de la planta se puede regular mediante el cumplimiento de las actividades establecidas en el P.A.M., las cuales permitirán controlar, corregir, mitigar y compensar el impacto generado por dicha actividad. La investigación presentada está enfocada a determinar si la planta de incineración de residuos peligrosos cumple con la resolución 627 del 2006 y la resolución 2254 de 2017.

Por otro lado, se determinaron las concentraciones de material particulado PM10, con la planta funcionando 18 días continuos y 18 días apagada, obteniendo como resultado un cumplimiento promedio de hasta un 40% por debajo de la norma local para 24 horas con el equipo de incineración encendido y un 68% apagado. El ruido ambiental se determinó en 4 jornadas diferentes como lo fueron en el día y noche con jornada laboral y no laboral, obteniendo como resultado un cumplimiento de 18% por debajo de la norma local en el día y 14% en la noche durante jornada laboral y el equipo incinerador encendido; mientras que un 35% en el día y un 36% en la noche, por debajo de la norma, durante jornada no laboral y equipo apagado.



**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

Serving the needs of the population in relation to the management of waste of biological and industrial origin, SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P. it has the infrastructure, technical and operational capacity to provide the services of collection, transportation, final treatment of hospital and similar and industrial waste, both at the Departmental and National levels.

The study demonstrates that the impact generated by the activities of the plant can be regulated by complying with the activities established in the P.A.M., which will allow controlling, correcting, mitigating and compensating for the impact generated by said activity. The investigation presented is focused on determining if the hazardous waste incineration plant complies with resolution 627 of 2006 and resolution 2254 of 2017.

On the other hand, PM10 particulate matter concentrations were determined with the plant running 18 continuous days and 18 days off, obtaining as a result an average compliance of up to 40% below the local standard for 24 hours with the incineration equipment. on and 68% off. The environmental noise was determined in 4 different days as they were in the day and night with working and non-working hours, obtaining as a result a compliance of 18% below the local norm during the day and 14% at night during working hours and the incinerator equipment on; while 35% in the day and 36% at night, below the norm, during non-working hours and equipment turned off.

**APROBACIÓN DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Nestor Enrique Cerquera Peña

Firma:

Nombre Jurado: Alfredo Olaya Amaya

Firma:



UNIVERSIDAD

**SURCOLOMBIANA**

DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>10</sub>)  
Y MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS DE  
SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P.

DIEGO MAURICIO HERNÁNDEZ BOLÍVAR  
JOSÉ FABIÁN OSSO VILLANUEVA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL  
NEIVA  
2020



DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PARTICULADO (PM<sub>10</sub>)  
Y MONITOREO DE RUIDO AMBIENTAL EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS DE  
SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P.

DIEGO MAURICIO HERNÁNDEZ BOLÍVAR  
JOSÉ FABIÁN OSSO VILLANUEVA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de  
Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental

Director  
JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO MSc.  
Ingeniero Agrícola

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL  
NEIVA  
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

MSc. Néstor Enrique Cerquera Peña  
JURADO

---

Dr. Alfredo Olaya Amaya  
JURADO

---

MSc. Jennifer Katusca Castro Camacho  
DIRECTORA

Neiva, Huila, junio 2020

## Dedicatoria

A Dios, que me ha bendecido en cada uno de los momentos de mi vida, con la sabiduría, fortaleza y persistencia requeridas para seguir adelante, alcanzando las metas propuestas.

A mi madre Stella Hernández, por su apoyo incondicional, su orientación constante y su formación ejemplar, que me permiten afrontar el largo camino hacia la superación.

A mi esposa Sandra, y mis hijos Diego y Mauricio, por su amor, compañía, motivación, y comprensión, que logran forjar los valores y principios necesarios para progresar.

A mi hermano Héctor, por su respeto, confianza y apoyo, con los que logro objetivos.

*Diego Mauricio Hernández Bolívar*

Primero a Dios por brindarme la oportunidad de estar en este mundo como parte de su obra.

A mi padre, quien siempre me motivo a ir más allá de los límites intelectuales y físicos.

A mi madre por ser una guía de la vida.

A mi esposa por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas.

A mis hijos por ser el combustible que impulsa cada día mi nave.

A mis hermanos por ser esos amigos que cualquiera desearía tener.

*José Fabián Osso Villanueva*

## Agradecimientos

Se desea expresar los agradecimientos a:

JENNIFER KATIUSCA CASTRO CAMACHO, Ingeniero Agrícola, MSc en Ingeniería y Gestión Ambiental, Profesora tiempo completo del Programa de Agroindustrial, Universidad Surcolombiana y Director del trabajo de grado, por toda su cooperación, orientación y apoyo permanente.

NÉSTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA, Ingeniero Agrícola, MSc en Ingeniería Agrícola, Profesor Titular del área de Agroindustria del Programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana y Jurado del proyecto, por todos sus aportes académicos, atención y colaboración.

ALFREDO OLAYA AMAYA, Licenciado en Biología, Doctor en Recursos Hidráulicos, Profesor Asociado del área de Adecuación de Tierras del Programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana y Jurado del Proyecto, por todos sus aportes académicos, atención y colaboración.

FACULTAD DE INGENIERÍA, por la asesoría y el préstamo de los instrumentos de medición requeridos en esta investigación.

SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P., por abrimos las puertas para poder desarrollar la investigación en sus instalaciones.

CONSTRUCSUELOS, por el préstamo de los instrumentos de medición requeridos en esta investigación.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, mediante su ayuda y colaboración hicieron posible que este proyecto se pudiera realizar.

**Tabla de contenido**

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes .....	2
1.2	Problema de Investigación .....	8
1.3	Objetivos .....	10
1.3.1	Objetivo general .....	10
1.3.2	Objetivos específicos .....	10
<b>2.</b>	<b>Marco Teórico.....</b>	<b>11</b>
2.1	Aire .....	11
2.1.1	Contaminantes del aire .....	11
2.1.2	Índice de calidad del aire .....	12
2.1.3	Material particulado.....	12
2.1.4	Fuentes de emisión .....	13
2.1.5	Muestreador de alto volumen (Hi-Vol) de material particulado menor a 10 $\mu\text{m}$ .	14
2.2	Ruido.....	14
2.2.1	Tipos de ruido .....	15
2.2.2	Fuentes de ruido.....	16
2.2.3	Ruido ambiental.....	17
2.3	Normatividad .....	18
<b>3</b>	<b>Materiales y Métodos.....</b>	<b>22</b>
3.1	Área de Estudio.....	22
3.2	Metodología para la Medición de Material Particulado .....	24

3.2.1	Planificación del monitoreo.....	24
3.2.2	Muestreo de material particulado .....	25
3.2.3	Preparación de los filtros .....	28
3.3	Metodología para el Monitoreo de Ruido Ambiental .....	29
3.3.1	Planificación del monitoreo .....	30
3.3.2	Selección de los puntos de monitoreo .....	30
3.3.3	Registro de niveles equivalentes de ruido ambiental.....	31
3.4	Análisis de la Información .....	34
3.4.1	Datos recolectados para material particulado .....	34
3.4.2	Datos recolectados para ruido ambiental.....	35
3.4.3	Evaluación del impacto ambiental.....	37
3.4.4	Elaboración de mapas de ruido.....	38
3.5	Instrumento de Medición .....	39
3.5.1	Tamaño de la muestra.....	39
3.5.2	Aplicación, validez y consistencia del instrumento.....	39
<b>4</b>	<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>41</b>
4.1	Información Meteorológica .....	41
4.1.1	Temperatura.....	41
4.1.2	Precipitación .....	45
4.1.3	Humedad relativa.....	48

4.1.4	Velocidad y dirección del viento .....	52
4.2	Concentraciones de Material Particulado .....	56
4.2.1	Muestra de cálculo para determinar las concentraciones de PM <sub>10</sub> .....	56
4.2.2	Resultados obtenidos de las concentraciones de material particulado PM <sub>10</sub> .....	58
4.3	Determinación de Ruido Ambiental .....	62
4.3.1	Muestra de cálculo para ruido ambiental.....	62
4.3.2	Resultados obtenidos de los niveles de presión sonora .....	63
4.3.3	Evaluación del impacto ambiental proveniente de la fuente emisora.....	71
4.3.4	Mapas de ruido .....	77
4.4	Evaluación de la percepción y grado de afectación en la población de estudio .....	81
4.4.1	Tamaño de la muestra.....	81
4.4.2	Aplicación y tabulación del instrumento de percepción de ruido ambiental.....	82
4.4.3	Identificación de los encuestados .....	83
4.4.4	Diagnóstico general .....	83
4.4.5	Evaluación de la percepción del ruido y el grado de afectación por ruido ambiental	83
<b>5</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>90</b>

### Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Coordenadas del punto de muestreo para PM <sub>10</sub> .....	25
<b>Tabla 2.</b>	Características técnicas de los filtros.....	29

<b>Tabla 3.</b> Puntos de referencia seleccionados para el monitoreo de ruido ambiental .....	30
<b>Tabla 4.</b> Niveles máximos permisibles de contaminante PM <sub>10</sub> en el aire.....	35
<b>Tabla 5.</b> Estándares máximos permisibles de ruido ambiental.....	37
<b>Tabla 6.</b> Importancia del impacto .....	38
<b>Tabla 7.</b> Combinación de colores para representaciones gráficas .....	38
<b>Tabla 8.</b> Valores de criterio de confiabilidad .....	40
<b>Tabla 9.</b> Datos generales de climatología para el año 2019 en el municipio de Neiva .....	41
<b>Tabla 10.</b> Temperaturas medias año 2019 (°C) para el municipio de Neiva.....	42
<b>Tabla 11.</b> Temperatura medía (°C) para etapa 1 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	43
<b>Tabla 12.</b> Temperatura media (°C) para etapa 2 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	44
<b>Tabla 13.</b> Precipitación mensual (mm) durante el año 2019 en el municipio de Neiva .....	46
<b>Tabla 14.</b> Precipitación (mm) durante la etapa 1 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	47
<b>Tabla 15.</b> Precipitación (mm) durante la etapa 2 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	48
<b>Tabla 16.</b> Humedad relativa (%) durante el año 2019 del municipio de Neiva.....	49
<b>Tabla 17.</b> Humedad relativa (%) durante la etapa 1 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	50
<b>Tabla 18.</b> Humedad relativa (%) durante la etapa 2 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	51
<b>Tabla 19.</b> Velocidad del viento (km*h <sup>-1</sup> ) durante el año 2019 del municipio de Neiva.....	53
<b>Tabla 20.</b> Velocidad del viento (km*h <sup>-1</sup> ) durante la etapa 1 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	54
<b>Tabla 21.</b> Velocidad del Viento (km*h <sup>-1</sup> ) durante la etapa 2 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	55
<b>Tabla 22.</b> Resultados de las concentraciones de PM <sub>10</sub> durante la etapa 1 .....	59
<b>Tabla 23.</b> Resultados de las concentraciones de PM <sub>10</sub> durante la etapa 2 .....	61
<b>Tabla 24.</b> Referencia de los puntos seleccionados en el monitoreo de Ruido.....	64
<b>Tabla 25.</b> Monitoreo de ruido durante jornada laboral en horario diurno .....	66
<b>Tabla 26.</b> Monitoreo de ruido durante jornada laboral en horario nocturno .....	67

<b>Tabla 27.</b> Monitoreo de ruido durante jornada no laboral en horario diurno .....	69
<b>Tabla 28.</b> Monitoreo de ruido durante jornada no laboral en horario nocturno .....	69
<b>Tabla 29.</b> Comparativo de niveles de ruido durante jornada laboral en horario diurno .....	71
<b>Tabla 30.</b> Evaluación del impacto durante jornada laboral en horario diurno .....	72
<b>Tabla 31.</b> Comparativo de niveles de ruido durante jornada laboral en horario nocturno .....	73
<b>Tabla 32.</b> Evaluación del impacto durante jornada laboral en horario nocturno.....	74
<b>Tabla 33.</b> Comparativo de niveles de ruido durante jornada no laboral en horario diurno .....	74
<b>Tabla 34.</b> Evaluación del impacto durante jornada no laboral en horario diurno.....	75
<b>Tabla 35.</b> Comparativo de niveles de ruido durante jornada no laboral en horario nocturno ..	76
<b>Tabla 36.</b> Evaluación del impacto durante jornada no laboral horario nocturno.....	77
<b>Tabla 37.</b> Escala de valoración y equivalencia numérica .....	83

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> Localización general de la planta Serviambiental.....	22
<b>Figura 2.</b> Cámara inferior de combustión.....	23
<b>Figura 3.</b> Cámara superior de combustión.....	23
<b>Figura 4.</b> Ciclón de partículas secas .....	23
<b>Figura 5.</b> Chimenea .....	23
<b>Figura 6.</b> Vista superior planta Serviambiental .....	24
<b>Figura 7.</b> Muestreador de partículas de alto volumen .....	25
<b>Figura 8.</b> Ubicación general del muestreador.....	26
<b>Figura 9.</b> Balanza analítica .....	27
<b>Figura 10.</b> Registrador de tiempo .....	28
<b>Figura 11.</b> Registrador de flujo.....	28

<b>Figura 12.</b> Filtros usados en el muestreo.....	29
<b>Figura 13.</b> Distribución de puntos seleccionados para el monitoreo de ruido ambiental.....	31
<b>Figura 14.</b> Ubicación sonómetro digital.....	32
<b>Figura 15.</b> Medición en horario diurno.....	33
<b>Figura 16.</b> Medición en horario nocturno.....	33
<b>Figura 17.</b> Temperaturas medias (°C) del año 2019 para el municipio de Neiva.....	42
<b>Figura 18.</b> Temperatura media (°C) para la etapa 1 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	44
<b>Figura 19.</b> Temperatura media (°C) para la etapa 2 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	45
<b>Figura 20.</b> Precipitación mensual (mm) durante el año 2019 en el municipio de Neiva.....	46
<b>Figura 21.</b> Precipitación (mm) durante la etapa 1 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	47
<b>Figura 22.</b> Precipitación (mm) durante la etapa 2 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	48
<b>Figura 23.</b> Humedad relativa (%) durante el año 2019 del municipio de Neiva.....	49
<b>Figura 24.</b> Humedad relativa (%) durante la etapa 1 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	51
<b>Figura 25.</b> Humedad relativa (%) durante la etapa 2 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	52
<b>Figura 26.</b> Velocidad del viento (km*h <sup>-1</sup> ) durante el año 2019 del municipio de Neiva.....	53
<b>Figura 27.</b> Velocidad del viento (Km*h <sup>-1</sup> ) durante la etapa 1 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	54
<b>Figura 28.</b> Velocidad del viento (Km*h <sup>-1</sup> ) durante la etapa 2 del muestreo de PM <sub>10</sub> .....	55
<b>Figura 29.</b> Rosa de vientos para el municipio de Neiva.....	56
<b>Figura 30.</b> Carta de registro de caudal.....	58
<b>Figura 31.</b> Procedimiento de pesaje.....	58
<b>Figura 32.</b> Peso inicial de filtro 0701.....	58
<b>Figura 33.</b> Peso final de filtro 0302.....	58
<b>Figura 34.</b> Comportamiento de material particulado durante la etapa 1.....	60
<b>Figura 35.</b> Comportamiento de material particulado durante la etapa 2.....	61

<b>Figura 36.</b> Ubicación de puntos de monitoreo en la zona de influencia.....	63
<b>Figura 37.</b> Medición diurna, jornada laboral.....	64
<b>Figura 38.</b> Medición nocturna, jornada laboral.....	65
<b>Figura 39.</b> Medición diurna, jornada no laboral.....	65
<b>Figura 40.</b> Medición nocturna, jornada no laboral.....	66
<b>Figura 41.</b> Monitoreo de ruido durante jornada laboral en horario diurno.....	68
<b>Figura 42.</b> Monitoreo de ruido durante jornada laboral en horario nocturno.....	68
<b>Figura 43.</b> Monitoreo de ruido durante jornada no laboral en horario diurno.....	70
<b>Figura 44.</b> Monitoreo de ruido durante jornada no laboral en horario nocturno.....	71
<b>Figura 45.</b> Comparativo de niveles de ruido durante jornada laboral en horario diurno.....	72
<b>Figura 46.</b> Comparativo de niveles de ruido durante jornada laboral en horario nocturno.....	73
<b>Figura 47.</b> Comparativo de niveles de ruido durante jornada no laboral en horario diurno.....	75
<b>Figura 48.</b> Comparativo de niveles de ruido durante jornada no laboral en horario nocturno.....	76
<b>Figura 49.</b> Mapa de ruido ambiental, jornada laboral horario diurno.....	78
<b>Figura 50.</b> Mapa de ruido ambiental, jornada laboral horario nocturno.....	79
<b>Figura 51.</b> Mapa de ruido ambiental, jornada no laboral horario diurno.....	80
<b>Figura 52.</b> Mapa de ruido ambiental, jornada no laboral horario nocturno.....	81
<b>Figura 53.</b> Características del ruido percibido.....	84
<b>Figura 54.</b> Molestia, disminución de concentración e interferencia en la comunicación.....	85
<b>Figura 55.</b> Molestia por el ruido según la fuente.....	86
<b>Figura 56.</b> Molestia a causa de ruido durante la semana y el fin de semana en distinto horario.....	87
<b>Figura 57.</b> Molestia de ruido en las actividades diarias.....	88

## Resumen

Atendiendo a las necesidades de la población en relación con el manejo de residuos de origen biológico e industrial, SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P. cuenta con la infraestructura, capacidad técnica y operativa para prestar los servicios de recolección, transporte, tratamiento final de los residuos hospitalarios y similares e industriales a nivel Departamental y Nacional.

El presente estudio permite demostrar que el impacto generado por las actividades de la Planta de Tratamiento de Residuos Peligrosos SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P. se puede controlar mediante el cumplimiento de las actividades establecidas en el Plan de Manejo Ambiental, las cuales permitirán controlar, corregir, mitigar y compensar el impacto generado por dicha actividad. La investigación presentada está enfocada a determinar si la planta de incineración de residuos peligrosos de SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P., cumple con la Resolución 627 del 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental” y la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible “Por la cual se adopta la norma de calidad de aire ambiente y se dictan otras disposiciones”.

Por otro lado, se determinaron las concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub>, con la planta de incineración funcionando por 18 días continuos y 18 días continuos apagada, obteniendo como resultado un cumplimiento promedio de hasta de un 40% por debajo de la norma local para 24 horas con el equipo de incineración encendido y un 68% por debajo de la norma local para 24 horas con el equipo de incineración apagado. El ruido ambiental se determinó en 4 jornadas diferentes como lo fueron en el día y noche con jornada laboral y no laboral, obteniendo como resultado un cumplimiento promedio de 18% por debajo de la norma local en el día con jornada laboral con equipo incinerador encendido, 14% por debajo de la norma local en la noche con jornada laboral

con equipo incinerador encendido, un 35% por debajo de la norma local en el día con jornada no laboral con equipo incinerador apagado y un 36% por debajo de la norma local en la noche con jornada no laboral con equipo incinerador apagado.

Palabras claves: Material particulado, calidad de aire, ruido ambiental, planta de incineración.

## Abstract

Serving the needs of the population in relation to the management of waste of biological and industrial origin, SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P. it has the infrastructure, technical and operational capacity to provide the services of collection, transportation, final treatment of hospital and similar and industrial waste, both at the Departmental and National levels.

This study demonstrates that the impact generated by the activities of the SERVIAMBIENTAL SA ESP Hazardous Waste Treatment Plant can be controlled by complying with the activities established in the Environmental Management Plan, which will allow controlling, correcting, mitigating and compensating the impact generated by said activity. The research presented is focused on determining whether the SERVIAMBIENTAL S.A. Hazardous Waste Incineration Plant. ESP, complies with Resolution 627 of 2006 of the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development “By which the national norm of emission of noise and environmental noise is established” and Resolution 2254 of 2017 of the Ministry of Environment and Sustainable Development “By which the ambient air quality standard is adopted and other provisions are issued”.

On the other hand, PM<sub>10</sub> particulate matter concentrations were determined, with the incineration plant running for 18 continuous days and 18 continuous days off, obtaining as a result an average compliance of up to 40% below the local standard for 24 hours. with the incineration equipment on and 68% below the local standard for 24 hours with the incineration equipment turned off. The environmental noise was determined in 4 different days as they were in the day and night with working and non-working hours, obtaining as a result an average compliance of 18% below the local norm in the day with working hours with incineration equipment on, 14% below the local norm at night with working hours with incineration equipment on, 35% below the local

norm during the day with non-working hours with incineration equipment turned off and 36% below the local norm in the night with a non-working day with the incinerator equipment turned off.

**Key words:** Particulate material, air quality, environmental noise, incineration plant.

## **1 Introducción**

Esta investigación fue realizada con el fin de evaluar la cantidad de material particulado igual o menor a 10  $\mu\text{m}$  concentrado en el aire y monitorear el ruido ambiental en la zona de influencia de la planta de incineración de residuos peligrosos, propiedad de Serviambiental S.A. E.S.P., ubicada en el municipio de Palermo, contiguo a la Batería Santa Clara de Ecopetrol, permitiendo identificar condiciones de funcionamiento y comprobar que las operaciones desarrolladas cumplen con la normatividad establecida para estos dos parámetros.

En Neiva y sus alrededores, específicamente en el municipio de Palermo, el incremento industrial ha marcado una evolución en el desarrollo de la región, sin embargo, este progreso también ha aumentado considerablemente los niveles de contaminación atmosférica. Serviambiental S.A. E.S.P. no ha sido ajena al cambio y al aumento en las actividades que requieren de su participación empresarial, en este caso para el tratamiento y disposición final de residuos, el cual es el objetivo principal de la planta; por este motivo se hace necesario conocer el impacto ambiental de las actividades que aquí se ejecutan y el cumplimiento de la legislación ambiental colombiana.

El desconocimiento de los efectos sobre la salud que pueden acarrear los altos niveles de material particulado y el ruido ambiental, pueden llevar a que la población cercana a la zona de influencia directa de la planta, se vea afectada de forma significativa ya sea a corto o mediano plazo. En el área de estudio existen 3 fincas aledañas y 7 fincas un poco más retiradas en las que habitan familias que podrían estar expuestas a condiciones de contaminación atmosférica, acelerando el deterioro de su salud.

La probabilidad de que la planta de incineración de residuos peligrosos trabaje bajo los parámetros establecidos en la normatividad vigente de calidad de aire y monitoreo de ruido ambiental es alta, puesto que hasta la fecha la empresa no ha recibido ninguna sanción por parte de los entes gubernamentales de control, no obstante, el aumento en sus actividades puede generar modificaciones en los resultados finales de la operación, lo cual se busca establecer por medio de esta indagación.

### **1.1 Antecedentes**

Teniendo en cuenta el carácter y los servicios ambientales que presta Serviambiental S.A. E.S.P. como empresa y las exigencias en la normatividad por parte de las autoridades que regulan el ambiente en la región como la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM), existen dentro de los análisis internos, estudios realizados por compañías privadas de carácter técnico que sólo identifican los parámetros contratados para ser evaluados, verificados y entregados según se considere. Sin embargo, esta investigación académica sobre dos aspectos como el material particulado ( $PM_{10}$ ) y el ruido ambiental que se genera por las actividades de la planta de incineración de residuos peligrosos en la zona de influencia, es la primera que se desarrolla.

En cuanto a estudios para medir la calidad de aire en la región se tienen algunas referencias como las que se muestran a continuación:

Según Serrano (2006) en el departamento del Huila se realizó una investigación para elaborar el Diseño de la Red de Evaluación y Seguimiento de la Calidad del Aire para la ciudad de Neiva, por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM, con el fin de evaluar las condiciones de la calidad del aire, inspeccionando los niveles de emisiones de contaminantes y planteando medidas de reducción y mitigación, en el año 2006.

Este mismo año se elaboró el diagnóstico ambiental industrial de la zona urbana del municipio de Neiva (González, 2006) entre la Universidad de la Salle y la CAM en el que se evaluó el comportamiento y la influencia de veintiséis industrias manufactureras dedicadas a diferentes labores en la ciudad, arrojando como conclusión la no existencia de actividades definidas para lograr una gestión ambiental adecuada por parte de las industrias y el ente gubernamental.

Utilizando un método de investigación distinto en el 2011 se llevó a cabo el proyecto “Monitoreo de la Calidad del Aire en el Parque Nacional Natural Nevado del Huila utilizando líquenes como bioindicadores” elaborado por la Universidad Corhuila (Gaitán, 2011); argumentando que los líquenes son considerados una herramienta ideal para detectar perturbaciones en el ambiente representadas en el aire de manera rápida. Proponiendo medidas para afrontar la problemática, realizando muestreos en las zonas El Roble y Tarpeya se determinó mediante análisis físico el grado de afectación por la contaminación del aire.

En el año 2016 se realizó como proyecto de investigación la comparación entre los protocolos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), para un estudio de calidad del aire, y los protocolos utilizados por MCS consultoría y monitoreo ambiental en el estudio ejecutado en la planta terminal de la vereda El Venado ciudad de Neiva, con el fin de identificar las diferencias entre los métodos y cómo podrían afectar los resultados de la calidad del aire (Ortiz y Gómez 2016).

Como referente más cercano se cuenta con la investigación desarrollada en el año 2017 por la Ingeniera Natalia Puentes en la Universidad Surcolombiana denominada: Determinación de las concentraciones de metales pesados (Pb, Cu, Fe y Cr) en el material particulado menor a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>) e identificación de las fuentes de emisión en el área de influencia de la zona industrial del municipio de Palermo. Según Puentes (2017) el crecimiento industrial y el

incremento del flujo vehicular en la zona ha aumentado últimamente, generando mayores emisiones atmosféricas de diferentes contaminantes, haciendo necesario su estudio.

Para hablar de ruido se debe recordar que Neiva en los últimos años ha presentado un elevado desarrollo económico, comercial y urbanístico que ha traído grandes beneficios para la población en general; no obstante, con el desarrollo también llegan algunos impactos nocivos como el ruido ambiental generado por grandes industrias que se ubican en la periferia de la ciudad, o como en este caso, en el municipio vecino de Palermo. Al no contar con una buena implementación de las medidas de control, enfrentar esta problemática se hace cada vez más difícil para los entes gubernamentales.

Algunos estudios realizados sobre la contaminación por ruido en la región fueron:

Según la normatividad vigente es obligación de las corporaciones autónomas regionales, la elaboración de mapas de ruido para aquellos municipios con poblaciones superior a los cien mil habitantes, por tal razón la CAM realizó en el año 2011 una evaluación de los niveles de ruido ambiental en la zona microcentro de Neiva, construyó el mapa acústico y elaboró la formulación de lineamientos para el plan de descontaminación. En los resultados obtenidos, se pudo establecer que a nivel global en el municipio de Neiva el nivel de ruido promedio en el día es de 71 dB(A) y en la noche de 65 dB(A), demostrando el incumplimiento de la normatividad en gran parte de los puntos monitoreados; además, se identificó que la mayor fuente de ruido la generan los vehículos livianos y las motos. Para la representación de los resultados se realizaron dos tipos de mapas de ruido de acuerdo a las especificaciones del anexo 5 de la Resolución 0627 de 2006 (CAM, 2011).

Para el año 2013 estudiantes del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales realizaron una investigación para identificar los niveles de ruido ambiental de la Universidad Surcolombiana (sede

central), tomando como referencia los estándares permitidos de ruido ambiental en un ente educativo, con el objetivo de proponer recomendaciones al sistema de gestión ambiental y de esta manera fortalecer el componente de control de ruido ambiental (Cuellar, Díaz y Taborda, 2014).

En 2017, la CAM realizó la actualización de los mapas de ruido ambiental del municipio de Neiva, para sus áreas críticas prioritarias y la reformulación del plan de descontaminación por ruido para la ciudad. Se realizó una comparación entre el estudio realizado en el 2011 y el 2017 y se evidenció que en la mayoría de los puntos monitoreados hay una reducción en los niveles de ruido tanto en horario diurno como nocturno (CAM, 2017).

El antecedente más cercano con el que se cuenta en la región sobre investigaciones que evalúan los niveles de presión sonora, son los estudios elaborados por estudiantes de la Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental de la Universidad Surcolombiana en el periodo A del año 2019. Para llevar a cabo una completa exploración, el municipio de Neiva fue analizado desde sus diferentes comunas; los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Para la Comuna Uno se encontró elevados niveles de ruido en tres sectores distintos, además corroborando que el diseño urbanístico no tiene en cuenta las resoluciones vigentes; en su mayoría los niveles de ruido son superados a los permisibles en horario nocturno incumpliendo la normatividad establecida. Cabe resaltar que para esta zona de estudio el flujo vehicular ha aumentado considerablemente debido a las construcciones en las vías principales (Rojas y Zamora, 2019).

En la Comuna Dos se obtuvo que el 53% de los puntos monitoreados en horario diurno cumplen con los límites máximos establecidos en la Resolución 627 de 2006, en el horario nocturno todos los puntos incumplen la normatividad; adicionalmente se logra establecer que la principal fuente

de ruido es el alto flujo vehicular y que algunos usos del suelo no corresponden al plan de ordenamiento territorial de la ciudad en su última versión (Quintero y Soto, 2019).

Según Silva y Perdomo (2019), mediante las mediciones de presión sonora en la Comuna Tres de la ciudad de Neiva, se identificaron niveles por encima de lo establecido, específicamente en 8 puntos estudiados, siendo estas zonas focos de contaminación auditiva que pueden generar problemas de salud a la población; los sectores más vulnerables a las afectaciones, son aquellos que están ubicados en la margen de las vías principales de la ciudad, debido al tráfico vehicular.

Para la determinación de los niveles de presión sonora, se llevó a cabo la recolección de información mediante sonómetro tipo 1 en 40 puntos de monitoreo identificados por estudios realizados por la CAM. Con los resultados se construyó un análisis geoestadístico plasmado en un mapa de ruido. En la Comuna Cuatro se concluye que en la jornada diurna se incumple con la normatividad establecida en 2/3 partes del área total y en la jornada nocturna el panorama de incumplimiento se acerca al 99% del área de la comuna (Cuellar y Pinto, 2019).

Respecto al cumplimiento de los estándares permisibles de los niveles de ruido establecidos en la resolución correspondiente, es de resaltar que la Comuna Cinco de la ciudad de Neiva excede los límites tanto diurnos como nocturnos en un 66% y 83% respectivamente. Donde los mapas generados pueden servir de apoyo para iniciar procesos de control y monitoreo en la zona, por entidades como la Corporación o la Alcaldía Municipal (González y Soto, 2019).

Después de la recolección de datos elaborada por Charry y Hernández (2019), se llegó a la conclusión que, aunque los niveles de ruido se han incrementado debido al aumento en la emisión sonora de fuentes fijas y móviles, las últimas en mayor proporción de emisión; aún se encuentran dentro de los parámetros de permisibilidad de emisión sonora de la normatividad ambiental vigente.

Igualmente, la percepción del ruido ambiental por parte de las personas encuestadas en la Comuna Seis, es que, para la mayoría el ruido si afecta su bienestar y la calidad de vida.

En general la Comuna Siete es una zona tranquila, exceptuando las márgenes de los principales corredores viales. En la mayoría de la comuna el uso de suelo cumple con lo ordenado en la resolución. La principal fuente de contaminación por ruido sigue siendo las fuentes móviles, en especial las motocicletas, tanto en la jornada diurna como nocturna, sin embargo, los valores no son significativos y las alteraciones se encuentran dentro de la normalidad (Suarez y Rojas, 2019).

Los resultados obtenidos en la Comuna Ocho señalan que muchos puntos superan los niveles permitidos por la Resolución 627 de 2006. Se registraron niveles máximos de 77,0 dB(A) en el día y 62,4 dB(A) en la noche. Los mapas de ruido, en general, reflejan mayores niveles en el día que en la noche. Según la percepción de la población, las mayores perturbaciones por ruido se presentan en las horas de la tarde y provienen de automóviles y transporte público. La percepción de que el ruido afecta entre nada y poco es mayor que la percepción de afectación entre aceptable e intolerable (Cabrera y Oyola, 2019).

Según los resultados de la investigación, existen 8 puntos críticos en la Comuna Nueve de la ciudad de Neiva, según las mediciones de presión sonora realizados en los 14 puntos de muestreo, los cuales se localizaron 7 en las vías principales, en la carrera 2 y carrera 7 avenidas doble calzada en buen estado. La mayor fuente emisora de ruido es el tránsito vehicular (automóviles y servicio público). Además, se evidenció que los usos de suelos deben ser ajustados en esta comuna, ya que en la mayoría correspondía a uso residencial y en realidad existen otros usos, como comercial y dotacional (Sandoval y Parra, 2019).

El 100% de las infraestructuras (viviendas, locales comerciales, colegios, oficinas de uso dotacional) localizadas en la zona de influencia establecida para el corredor vial tramo norte terminal del sur, se encuentra en zona de conflicto por emisiones de ruido ambiental tanto para la jornada diurna como para la jornada nocturna. (Medina y Ninco, 2019).

Un estudio de esta envergadura se convierte en una herramienta muy valiosa para la valoración, regulación y control de aspectos que generen impacto en el ambiente en la región, el cual puede ser usado por las instituciones gubernamentales que lo requieran. Se destaca la participación de la comunidad universitaria en este tipo de investigaciones.

## **1.2 Problema de Investigación**

Los estudios sobre la calidad del aire están ligados con la evaluación de la alteración de sus propiedades físicas y químicas, ya sea por mecanismos de incorporación biogénicos y/o antropogénicos, en la masa de aire en estudio. Los compuestos que generan la variación pueden presentarse como partículas sólidas, gotas líquidas, gases o mezclas de estas formas.

Las concentraciones de sustancias en el aire ya sea contaminante o no, en un punto determinado, dependen de la tasa a la cual se emiten a la atmósfera y en ella actúan condiciones específicas que las dispersan o eliminan, de esta forma la velocidad con que los compuestos del aire se dispersan, depende directamente de factores meteorológicos como la velocidad y dirección del viento, turbulencia y estabilidad atmosférica, además de otros factores físicos como la humedad relativa, temperatura y presión; variables que serán identificadas para el presente estudio. (De Nevers y Pérez, 1998)

Además de la contaminación atmosférica, otro de los problemas que generan mayor preocupación en las autoridades ambientales locales es el ruido ambiental, pues se ha convertido en uno de los más molestos para la sociedad, incidiendo directamente sobre el bienestar de la población.

Siendo el ruido ambiental un dilema mundial, la forma de tratarse difiere considerablemente dependiendo del país y de su cultura, economía y política. Incluso en áreas donde se han utilizado numerosos recursos para regular, evaluar y amortiguar fuentes de ruido o para la construcción de barreras de ruido, el asunto persiste. Las personas sometidas a grandes ruidos de forma continua, experimentan serios trastornos fisiológicos, como pérdida de la capacidad auditiva, alteración de la actividad cerebral, cardíaca y respiratoria, trastornos gastrointestinales, entre otros. Además, se producen alteraciones conductuales tales como perturbación del sueño y el descanso, dificultades para la comunicación, irritabilidad, agresividad, problemas para desarrollar la atención y concentración mental (Taboada, 2007).

Serviambiental S.A. E.S.P. es una empresa dedicada a la conservación del ecosistema, dentro de sus servicios oferta diferentes sistemas de tratamientos y disposición final de toda clase de residuos industriales y hospitalarios. La generación de residuos de este tipo viene en continuo aumento y la actividad económica vinculada alcanza cada vez mayor importancia. Una de las estrategias en esta compañía consiste en la incineración de dichos residuos, con lo cual se consigue una reducción del volumen y peso de los mismos; para este procedimiento se utiliza el equipo incinerador, el cual se encuentra ubicado en el km 3 antigua vía Palermo contiguo a la Batería Santa Clara (Ecopetrol) en el Departamento del Huila.

Con el fin de dar cumplimiento a la normatividad se deben realizar una serie de controles que consisten en análisis isocinético de chimenea, análisis de desprendimiento de las cenizas generadas,

monitoreo dioxinas y furanos y monitoreo continuo de material particulado (Castro, 2018). Se hace indispensable verificar que tanto las unidades como los procedimientos desarrollados por la empresa para llevar a cabo la actividad, se elaboren y cumplan con las normas establecidas internacionalmente adoptadas por la legislación colombiana.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar las concentraciones de material particulado (PM<sub>10</sub>) mediante un muestreador de alto volumen y realizar monitoreo de ruido ambiental, en el área de influencia de la planta de tratamiento de residuos peligrosos de Serviambiental S.A. E.S.P.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Identificar el comportamiento del material particulado de 10 µm, presente en el área de estudio mientras se encuentra en continuo funcionamiento la planta de incineración y cuando se apaga.

Verificar la contaminación sonora generada por las actividades desarrolladas en la planta, mediante un estudio de cuantificación de los niveles de ruido en el área de influencia con el equipo incinerador encendido y apagado.

Comparar las evidencias recolectadas en campo y los resultados obtenidos a partir de pruebas de laboratorio, con los límites permisibles establecidos en la normatividad vigente.

## **2. Marco Teórico**

En este capítulo se presentan las definiciones de algunos de los conceptos que permiten exponer y argumentar los procedimientos y procesos que se deben llevar a cabo al realizar las pruebas de la investigación.

### **2.1 Aire**

Es el fluido que forma la atmósfera de la Tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica (Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, 2000).

#### **2.1.1 Contaminantes del aire**

Los contaminantes del aire pueden agruparse en dos categorías: los contaminantes primarios, que se emiten directamente a la atmósfera; y los contaminantes secundarios, que se forman en la atmósfera a partir de precursores primarios debido a reacciones químicas tales como hidrólisis, oxidación y reacciones fotoquímicas (Matus y Lucero, 2002).

Los contaminantes primarios regulados fueron las partículas totales en suspensión (PTS), el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el contaminante secundario ozono (O<sub>3</sub>).

Los contaminantes atmosféricos que no están en forma de gas reciben el nombre de partículas, incluyen compuestos químicos en forma sólida o de gotitas líquidas. En función a su tamaño se clasifican en dos grupos, a) las partículas de mayor tamaño que en condiciones normales se depositan por acción de la gravedad, y constituyen la materia sedimentable o polvo; y b) las

partículas de diámetro menor que no sedimentan fácilmente y forman en el aire suspensiones estables dotadas de movimiento browniano (Fernández, 1997).

### **2.1.2 Índice de calidad del aire**

El índice de calidad del aire (ICA) es un indicador que permite comparar los niveles de contaminación del aire de las estaciones de monitoreo que conforman un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire – SVCA (unidades espaciales de referencia), en un tiempo  $t$ , que corresponde al período de exposición previsto en la norma para cada uno de los contaminantes que se está midiendo.

Teniendo en cuenta los contaminantes que son monitoreados en el país, las características de los combustibles que se distribuyen y los equipos que actualmente se encuentran en las SVCA, el Índice se calcula de manera independiente para cada uno de los seis principales contaminantes, los cuales son  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$  y  $CO$ . Los valores del ICA se ubican en una escala adimensional de 0 a 500, que han sido agrupados en 6 rangos que guardan estrecha relación con la amenaza que, a la salud humana, representan dichos niveles de contaminación del aire. Para facilitar su interpretación cada uno de estos rangos ha sido asociado a un color que sirve de alerta según IDEAM (2012), citado por Hernández (2013).

### **2.1.3 Material particulado**

Término utilizado para designar mezclas de partículas muy pequeñas sólidas y/o líquidas en suspensión en el aire. Las partículas varían considerablemente en tamaño, geometría, composición química y propiedades físicas. El material particulado en suspensión (PM) corresponde a partículas cuyo tamaño varía entre 0.005 y 100  $\mu m$  de diámetro (Godish, 1991).

Diferentes procesos industriales tales como el empleo de combustibles fósiles para el desarrollo de actividades manufactureras o de generación de energía, obras de construcción, uso de sistemas de calefacción, fuegos forestales entre otros, son algunas de las principales fuentes directas generadoras de material particulado. (Pérez y Hernández, 2006).

En el aire se pueden encontrar, las TSP que son partículas suspendidas totales con un tamaño superior a  $10\ \mu\text{m}$ ,  $\text{PM}_{10}$  que son partículas menores o iguales a  $10\ \mu\text{m}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  que son partículas menores o iguales a  $2,5\ \mu\text{m}$ . Entre más pequeño el tamaño del material particulado, más probabilidades hay de que puedan ser inhalados y así llegar con facilidad al sistema respiratorio, causando múltiples afectaciones a la salud. (Pérez y Hernández, 2006).

#### **2.1.4 Fuentes de emisión**

Según Gaitán y Cárdenas (2017), las fuentes de emisión son todas aquellas actividades naturales o artificiales que emiten o descargan contaminantes al aire. Estas fuentes pueden ser fijas o móviles.

Fuentes fijas: Son aquellas fuentes que están ubicadas en un lugar fijo, sin generarse ningún tipo de desplazamiento. Como las chimeneas de las industrias, plantas de tratamientos de aguas residuales, rellenos sanitarios, entre otras. Dentro de la clasificación de fuentes fijas se puede encontrar de tipo estacionaria o puntual, de área y difusa.

Fuentes móviles: Son aquellas fuentes que se desplazan de un lugar a otro, trasladando con su movimiento los contaminantes generados. Ejemplo de estas fuentes son: automóviles, aviones, barcos, entre otros.

### **2.1.5 Muestreador de alto volumen (Hi-Vol) de material particulado menor a 10 µm**

Equipo utilizado para la ejecución de muestreos de material particulado con tamaño menor a 10 µm (PM<sub>10</sub>); sus elementos vienen dentro de una estructura metálica de aluminio ionizado con una cámara superior escualizable en forma de platillo, la cual protege el filtro de posibles lluvias.

La cubierta de dicho muestreador debe cumplir con las siguientes características:

Mantener el filtro en posición horizontal por los menos a 1,5 cm por encima de la superficie de soporte del muestreador, para que la muestra de aire sea aspirada verticalmente hacia abajo, a través del filtro.

Cubrir y proteger el filtro de la lluvia y otros efectos perturbadores del muestreo.

El muestreador consta de un motor succionador (capaz de operar en forma continua durante 24 horas), un portafiltro soportado por una superficie de la caseta de aluminio, un dispositivo para la medición del flujo el cual puede estar o no incorporado al medidor, un dispositivo de control de tiempo y un controlador de flujo. El motor succiona el aire con una tasa de flujo constante, haciéndolo pasar a través del cabezal del equipo, el cual retiene el material en la lámina de impacto ubicada en la cabeza, dejando pasar el PM<sub>10</sub> hacia el filtro que se encuentra ubicado en el portafiltros (Manual de operaciones PM<sub>10</sub> High Volume Air Sampler – Tisch Environmental Inc, 2006).

## **2.2 Ruido**

Cualquier sonido no deseado es la definición más general de ruido, sin embargo, René Chocholle en 1964 amplió el concepto considerando el ruido como un fenómeno acústico producto

de una sensación auditiva desagradable, y en su aspecto físico como un sonido, y son las circunstancias subjetivas de los receptores quienes determinan la clasificación de dicho sonido como ruido.

Según lo anterior, el ruido cuenta con dos atributos; por una parte, es un fenómeno físico y, por otra es una sensación auditiva en el receptor, deduciendo que un sonido puede provocar diferentes reacciones, según factores subjetivos que intervienen en quien lo percibe o lo analiza. Según Bruel y Kjaer (2000) el sonido puede ser definido como cualquier variación de presión que el oído humano puede detectar y cuando estos niveles son muy altos se puede hablar de ruido.

### **2.2.1 Tipos de ruido**

Para obtener una mayor comprensión del estudio que se realizó y de las consideraciones a tener en cuenta metodológicamente es relevante diferenciar entre los tipos de ruido que se pueden encontrar en la zona de influencia. A continuación, se relacionan las definiciones de los tipos de ruido en función de su duración y oscilaciones de nivel de presión sonora:

**Ruido Continuo:** “Se presenta cuando el nivel de presión sonora es prácticamente constante durante el periodo de observación (a lo largo de la jornada de trabajo). La amplitud de la señal, aunque no sea constante siempre mantiene unos valores que no llegan nunca a ser cero o muy cercanos al cero. Por decirlo de alguna forma, la señal no tiene un valor constante, pero si lo es su valor medio” (Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, 2007). Un ejemplo es el ruido que genera una bomba o ventilador, ya que, en condiciones normales, opera de la misma manera y de forma continua.

**Ruido Intermitente:** “En el que se producen caídas bruscas hasta el nivel ambiental de forma intermitente, volviéndose a alcanzar el nivel superior. El nivel superior debe mantenerse durante

más de un segundo antes de producirse una nueva caída. Por ejemplo: el accionar un taladro” (Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, 2007).

Ruido Impulsivo: “Es aquel en el que se presentan variaciones rápidas de un nivel de presión sonora en intervalos de tiempo mínimos, es breve y abrupto, por ejemplo, troqueladoras, pistolas, entre otras” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

Ruido de Baja Frecuencia: “El ruido de baja frecuencia tiene una energía acústica significativa en el margen de frecuencias de 8 a 100 Hz. Este tipo de ruido es típico en grandes motores diésel de trenes, barcos y plantas de energía y, puesto que este ruido es difícil de amortiguar y se extiende fácilmente en todas direcciones, puede ser oído a muchos kilómetros” (Brüel y Kjær, 2000, p. 15).

### **2.2.2 Fuentes de ruido**

Una fuente emisora de ruido es el elemento que ocasiona un sonido indeseable o presión sonora en cualquier condición; habitualmente no existe una sola fuente de ruido, sino que se considera que existen familias generadoras de ruido que pueden tener características físicas diferentes, distribuidas en el tiempo y en el espacio. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT, 2006).

De acuerdo a Brüel y Kjær (2000), existen dos tipos de fuentes de ruido:

Fuente Puntual: Si las dimensiones de una fuente de ruido son pequeñas comparadas con la distancia al oyente, entonces se llama fuente puntual, por ejemplo, ventiladores y chimeneas. La energía sonora se propaga de forma esférica, por lo que el nivel de presión del sonido es el mismo en todos los puntos que se encuentran a la misma distancia de la fuente.

Fuente Lineal: Si una fuente de ruido es estrecha en una dirección y larga en la otra comparada con la distancia al oyente, ésta es llamada fuente lineal. Puede ser una fuente individual tal como una cañería llevando un fluido turbulento o puede estar compuesta de muchas fuentes puntuales operando simultáneamente, tal como una sucesión de vehículos en una carretera concurrida.

### **2.2.3 Ruido ambiental**

Es el ruido envolvente asociado con un ambiente determinado en un momento específico, compuesto habitualmente del sonido de muchas fuentes en muchas direcciones, próximas y lejanas.

El ruido es una sensación sonora molesta. La Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del consejo (2002), define el ruido ambiental como el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, y la legislación asociada a ruido, regula la contaminación acústica (presencia en el ambiente de ruido o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que implique molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, incluso cuando su efecto sea perturbar el disfrute de los sonidos de origen natural, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente) de manera más amplia, para evitar y reducir los daños que pueda provocar en la salud humana, los bienes o el medio ambiente.

El ruido se mide en unidades de presión y a distintas frecuencias, con lo que su cuantificación se realiza en una escala logarítmica, de decibelios (dB) y con una ponderación que mide la intensidad del sonido en un rango de frecuencias audibles por el oído humano. Para su medición se utiliza un aparato denominado sonómetro.

### **2.3 Normatividad**

Colombia ha elaborado una Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, cuyo objeto es impulsar la gestión de la calidad del aire en el corto, mediano y largo plazo, con el fin de alcanzar los niveles de calidad del aire adecuados para proteger la salud y el bienestar humano, en el marco del desarrollo sostenible.

En materia de calidad de aire dentro del contexto legal, el país inicia con la expedición por parte de la Presidencia de la República, del Decreto 2811 de 1974, en el cual en su artículo 75, Parte II, Capítulo II, perteneciente al Título VII, se expresa la necesidad de implementar medidas de prevención, control y mitigación de la calidad del aire.

Específicamente para el recurso aire la evolución de la Normativa parte desde las modificaciones pactadas en la Constitución Política de 1991, la Ley 99 de 1993, el Documento CONPES 3344 con sus lineamientos estructurados en el año 2005 y la Política de Prevención y Control del Aire del 2010. Además de la anterior legislación, se han elaborado una serie de normas que permiten controlar los procesos que interaccionan directamente con el recurso aire, las cuales se presentan así:

Norma de emisiones vehiculares Res 910/2008, por la cual se reglamenta los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, los requisitos y certificaciones a las que están sujetos, ya sean importados o de fabricación nacional. En esta se plantean los controles de las emisiones producidas por los vehículos estipulados en términos de cantidad de contaminantes por distancia recorrida; según el modelo y características se realizan los diagnósticos de evaluación (MAVDT, 2008).

Norma de emisiones industriales 909/2008, por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias. La aplicación de ésta, se instaura para todas las actividades industriales, los equipos de combustión externa, instalaciones de incineración y hornos crematorios; incluyendo su aplicación a todos los establecimientos de comercio y de servicio en relación con el control de emisiones molestas (MAVDT, 2008).

Decreto Único Reglamentario Ambiental. Decreto 1076/2015, expedido por la Presidencia de la República con el objetivo de compilar y racionalizar las normas de carácter reglamentario que rigen el sector ambiente. Uno de los objetivos del documento es reglamentar la protección y control de la calidad del aire; para ello clasifica los tipos de contaminantes, las actividades sobre las cuales las autoridades ambientales ejercen su control y las fuentes de contaminación atmosférica. Por otro lado, se regulan los permisos de emisión y las medidas para la atención de episodios de contaminación y plan de contingencia para emisiones atmosféricas.

Norma de Calidad de aire Res 2254 de 2017, esta resolución establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recuso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera. En la norma se establecen los valores máximos permisibles de concentración de contaminantes, para lo cual incluye márgenes de seguridad, teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y topográficas de cada región entre otros aspectos y su aplicabilidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

La legislación colombiana cuenta con numerosos instrumentos que buscan la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente en beneficio de la calidad de vida, incluyendo el análisis, seguimiento y control de la contaminación auditiva. La Resolución 627 de 2006 del MAVDT, constituye la línea base en cuanto a la trayectoria de este fenómeno, no obstante, en el país se cuenta con una serie de normas que han evolucionado con el fin de mitigar los efectos del exceso de ruido al que se ve expuesta la comunidad en general.

Algunas de las normas se muestran a continuación:

Decreto 2811 de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente; en el título II (Del Ruido) se establecen las condiciones y requisitos necesarios para preservar y mantener la salud y la tranquilidad de los habitantes, mediante control de ruidos originados en actividades industriales, comerciales, domésticas, deportivas, de esparcimiento, de vehículos de transporte, o de otras actividades análogas (Presidencia de la República de Colombia, 1974).

Resolución 8321 de 1983, mediante ésta se dictan normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos. Sumado a esto, a finales de esta década se realizan varios cambios a nivel mundial sobre el proceder para con el ambiente, configurando la creación del Ministerio del Medio Ambiente en 1993, entidad delegada al seguimiento de temas ambientales y territoriales de Colombia.

Ley 99 de 1993 o Ley General Ambiental de Colombia, donde se creó el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental –SINA. Este Ministerio promulgó el Decreto 984 de 1995, por el cual se reglamentaron leyes en relación

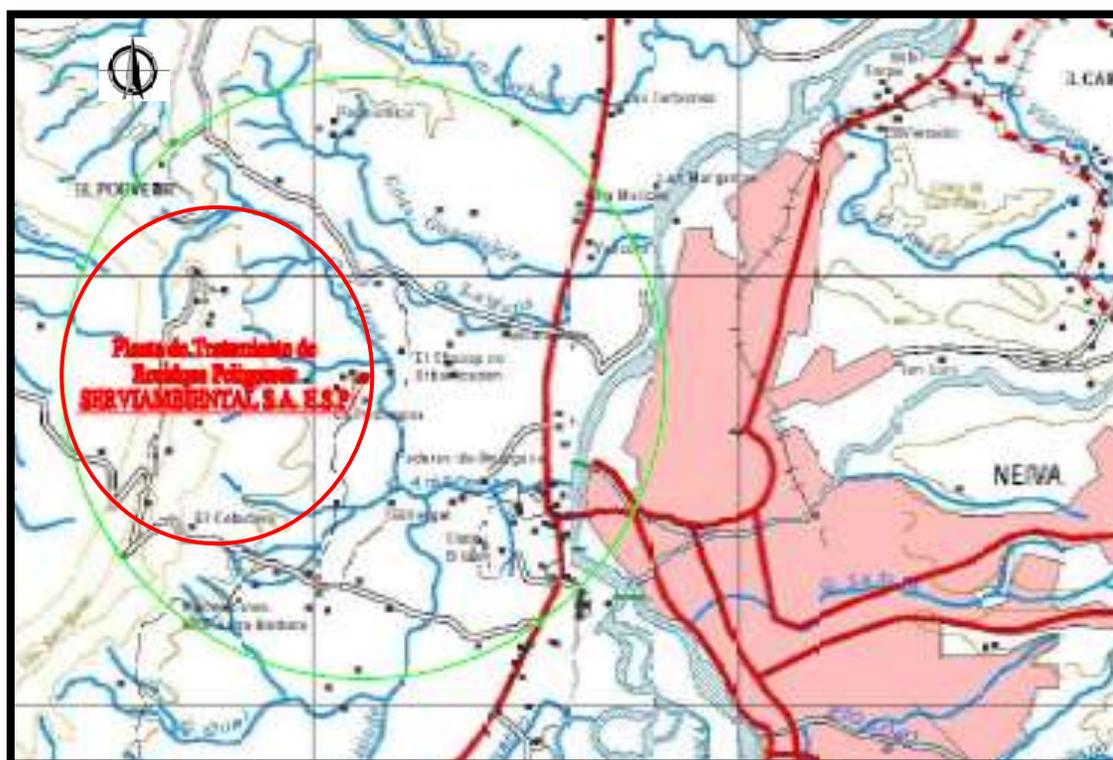
con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Dentro de las normas de calidad del aire establece la norma de ruido y la norma de ruido ambiental, definidas en el artículo 14, la clasificación de sectores de restricción de ruido ambiental en el artículo 15 y las condiciones de generación y emisión de ruido en los artículos 42 al 64 (Presidencia de la República de Colombia, 1995).

Resolución 627 de 2006, por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental; adicionalmente hace referencia a los equipos de medida y las mediciones (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006). Esta resolución establece la metodología para la medición, la clasificación sectorizada de los niveles permisibles de presión sonora según los horarios diurno y nocturno, tiempos, ajustes, parámetros meteorológicos, cálculos, informes técnicos y la realización de los mapas de ruido respectivos.

### 3 Materiales y Métodos

#### 3.1 Área de Estudio

La planta de incineración de residuos peligrosos de la empresa Serviambiental S.A. E.S.P se encuentra ubicada sobre el kilómetro 3, por la antigua vía que comunica los municipios de Neiva y Palermo en el departamento del Huila, contiguo a la Batería Santa Clara (Ecopetrol); el lote se encuentra en el municipio de Palermo, en la vereda Cuisinde, predio denominado La Pedregosa, el cual cuenta con una extensión de 8110 m<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Localización general de la planta Serviambiental  
Fuente: Serviambiental S.A. E.S.P.

Las instalaciones constan de una zona de recepción, una bodega de clasificación en la cual se separan los residuos de origen industrial, el cuarto frío, lugar donde se almacenan para su posterior incineración los residuos patógenos de origen hospitalario y similares, la bodega de incineración

en la cual se realiza el tratamiento final (Incineración de los residuos peligrosos tanto industriales, como patógenos); esta zona cuenta a su vez con un área para el almacenamiento temporal de las cenizas resultantes en el proceso de incineración.

En las figuras 2, 3, 4 y 5 se puede evidenciar las condiciones y las dimensiones de los componentes del equipo incinerador, los cuales son la fuente de emisión tanto del material particulado como del ruido ambiental, objeto de estudio en la investigación.



**Figura 2.** Cámara inferior de combustión



**Figura 3.** Cámara superior de combustión



**Figura 4.** Ciclón de partículas secas



**Figura 5.** Chimenea

En el equipo se cuenta con 4 componentes que generan la mayor concentración de ruido, cada vez que la planta se enciende estos dispositivos alteran las condiciones laborales.

## 3.2 Metodología para la Medición de Material Particulado

A continuación, se indica el proceso metodológico empleado para el desarrollo del monitoreo de material particulado ( $PM_{10}$ ) llevado a cabo en la planta:

### 3.2.1 Planificación del monitoreo

Para la investigación inicialmente se llevó a cabo la caracterización de los procesos desarrollados en la planta, la identificación de los componentes y los mecanismos que generan la emisión de material particulado a la atmósfera. Con la ayuda del personal encargado de la operación fue seleccionado el punto de estudio que se muestra en la figura 6, cuyas coordenadas se registraron en la tabla 1; para realizar la medición de concentraciones, considerando los resultados obtenidos en los análisis previos sobre velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura y precipitaciones.



**Figura 6.** Vista superior planta Serviambiental  
Fuente: Google Earth

**Tabla 1.** Coordenadas del punto de muestreo para PM<sub>10</sub>

<i>Referencia</i>	<i>Coordenadas GPS</i>	
	<i>X</i>	<i>Y</i>
Punto de muestreo	860.612	818.765

### 3.2.2 Muestreo de material particulado

El muestreo se llevó a cabo en dos etapas: durante 18 días (entre el 29 de febrero y el 18 de marzo) con la planta de incineración encendida, los siguientes 18 días (del 19 de marzo al 16 de abril) con la planta apagada para realizar la comparación de resultados; en un tiempo de medición de 24 horas  $\pm 1$  para cada uno de los días de prueba, conforme lo estipula el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010).

Se empleó un equipo muestreador de partículas de alto volumen PM<sub>10</sub> (máscico) marca TISCH REF TE: 6070 de propiedad de la Universidad Surcolombiana (figura 7), el cual fue instalado en el lugar de referencia como se evidencia en la figura 8, cumpliendo con las especificaciones previstas en el Protocolo de Diseño de Redes de Monitoreo de la Calidad del Aire.



**Figura 7.** Muestreador de partículas de alto volumen

El método gravimétrico por muestreador de alto volumen consiste en hacer pasar una muestra de aire succionada por un motor calibrado (que debe tener un caudal ente 1,1 y 1,7  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  estándar para PST y entre 1,02 y 1,24  $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  a condiciones locales para  $\text{PM}_{10}$ ), a través de un filtro secado y pesado previamente hasta peso constante, ubicado en el interior de una caseta o coraza de protección, durante el periodo de tiempo de muestreo de 24 horas. (De Nevers y Pérez, 1998).



**Figura 8.** *Ubicación general del muestreador*

Utilizando una balanza analítica marca Ohaus referencia PA124C de resolución 0,1 mg, expuesta en la figura 9, se determinó el peso del filtro antes y después de usarlo en el equipo de muestreo, además de revisar el comportamiento del flujo de aire que registra las cartas, correspondientes al aire que se desplazó por los filtros en los tiempos de prueba. El filtro se pesa en el laboratorio bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, para determinar la ganancia neta de peso. El volumen total de aire muestreado, corregido a condiciones de referencia, se determina a partir del flujo de aire ambiente medido y el tiempo de muestreo.



**Figura 9.** *Balanza analítica*

La concentración de partículas suspendidas en el aire ambiente se calcula dividiendo la masa de partículas colectadas en el filtro y el volumen de aire muestreado durante las 24 horas y se expresa en microgramos por metro cúbico patrón o estándar ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) las cuales son equivalentes a las condiciones de referencia de la normatividad colombiana.

La geometría del equipo muestreador de alto volumen obliga al aire circundante a cambiar la dirección al menos en  $90^\circ$  antes de alcanzar el filtro horizontal, depositando allí las partículas que no se han sedimentado por la acción de la fuerza de gravedad. El tiempo de muestreo (24 horas) y el caudal del aire que pasa a través del filtro se establecen mediante un programador de tiempo (timer) y la calibración del equipo.

Para el cálculo de la concentración en 24 horas se registra la fecha, la lectura de flujo y tiempo de funcionamiento del motor.

En la figura 10, se muestra el horómetro o registrador de tiempo con el que se verifican los minutos exactos que transcurren durante el monitoreo; en la figura 11, se puede evidenciar un

registrador de flujo con su respectiva carta de medición, con la que se determina el comportamiento del caudal de aire.



**Figura 10.** Registrador de tiempo



**Figura 11.** Registrador de flujo

### 3.2.3 Preparación de los filtros

Antes de ser usados los filtros fueron inspeccionados a contraluz para detectar posibles orificios o imperfecciones (buscando descartar aquellos que se encuentren agujerados). Posteriormente, se mantienen por 24 horas en condiciones ambientales controladas (en el desecador) para ser pesados en la balanza analítica, se anota su peso neto junto con el número del filtro y se tabula esta información. En la figura 12 se presentan las fotografías de los filtros utilizados para el muestreo; las características técnicas se registran en la tabla 2.



**Figura 12.** Filtros usados en el muestreo.

Cada filtro se enumera en dos (2) de sus orillas, opuestas de la cara que no va a ser expuesta dentro del equipo medidor; esta denominación no puede alterar los pesos y por la tanto debe realizarse siguiendo la normatividad de pruebas y estándares de laboratorio.

**Tabla 2.** Características técnicas de los filtros

<i>Característica</i>	<i>Descripción</i>
Material	Fibra de cuarzo u otro material inerte y no higroscópico.
Tamaño	20,3 +- 0,2 x 25,4+- 0,2 cm (nominal 8x10 pulg).
Área nominal expuesta	406 cm <sup>2</sup> (63 Pulg <sup>2</sup> )
Integridad	+ 5 mg/m <sup>3</sup> (asumiendo el volumen nominal de una muestra de aire de 24)
Eficiencia de recolección	Mayor o igual al 99% como medida de la prueba DOP (ASTM-2986) para partículas de 0,3 mg de diámetro, a la velocidad de operación del muestreador.
Alcalinidad	<25 meq/g después de 2 meses mínimos de almacenamiento libre de ambientes de gases ácidos a temperatura y humedad ambiente.
Perforaciones	Ninguna
Fragilidad	Cuando se hace un doblez longitudinal no debe presentarse rajadura o separación del material

*Fuente: Sigma, 2020.*

### 3.3 Metodología para el Monitoreo de Ruido Ambiental

Para la medición del nivel de presión sonora en los diferentes puntos seleccionados dentro de la zona de influencia se estableció la siguiente metodología:

### 3.3.1 Panificación del monitoreo

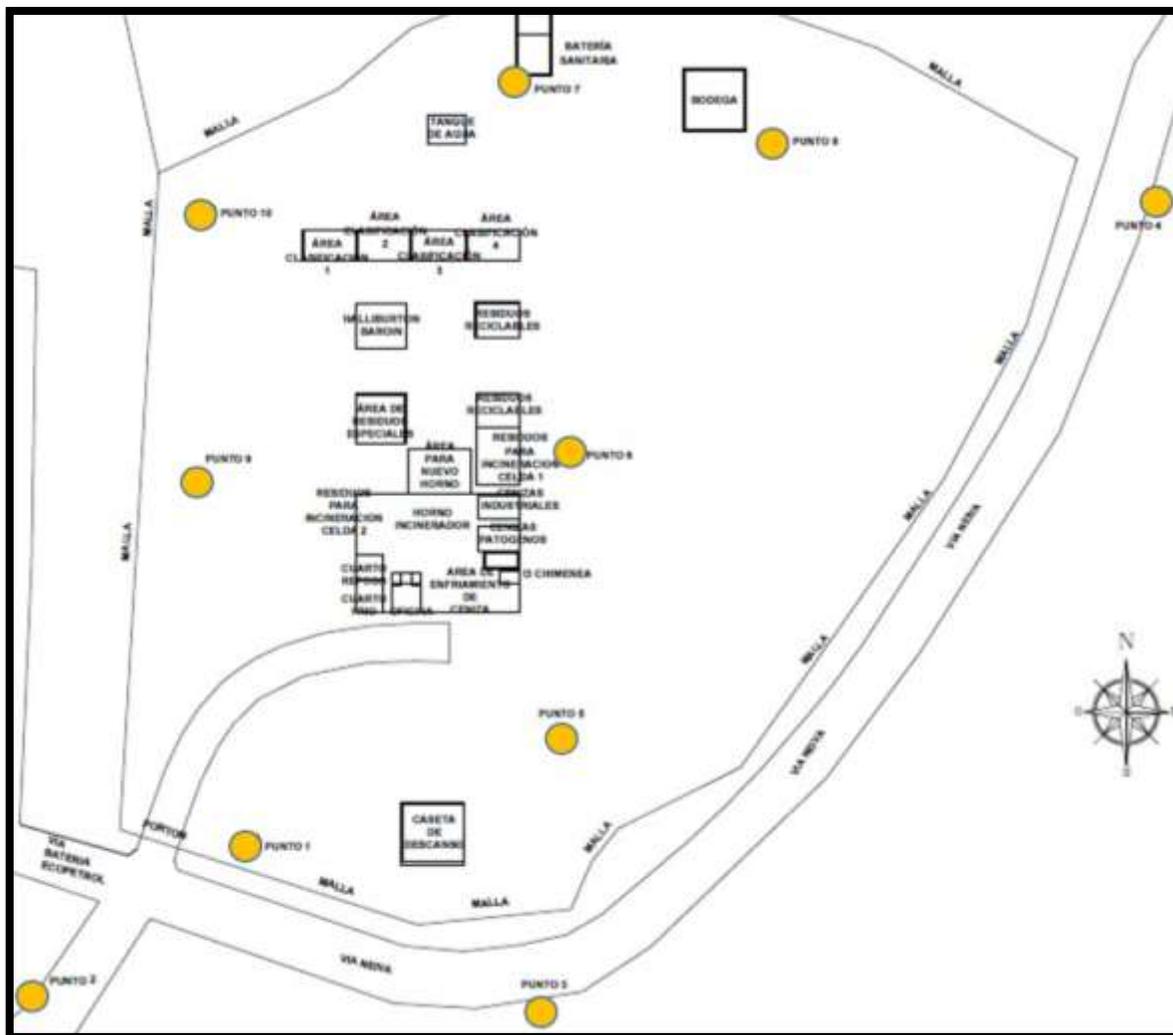
Previamente a la selección de los puntos de interés, se realizó un recorrido por las instalaciones de la planta de incineración de residuos, en la que se apreciaron las posibles zonas en las que la contaminación ambiental por ruido era más significativa. Para la disposición final se tiene en cuenta aspectos como la topografía, la ubicación de las viviendas cercanas a la franja de influencia y el tránsito vehicular.

### 3.3.2 Selección de los puntos de monitoreo

Con la ayuda de herramientas de georreferenciación y planos locales, se delimitó la región de influencia, teniendo en cuenta la normatividad establecida para estos estudios, la cual muestra el procedimiento para seleccionar el número de puntos y los tiempos de medición requeridos para ruido ambiental. En la tabla 3 se identifican las referencias usadas para una mejor interpretación del estudio y en la figura 13, se puede observar la distribución general de los puntos seleccionados para realizar el monitoreo.

**Tabla 3.** Puntos de referencia seleccionados para el monitoreo de ruido ambiental

<b>Punto</b>	<b>Nombre de referencia</b>
<b>1</b>	Zona de portería
<b>2</b>	Parqueadero batería S.C.
<b>3</b>	Casa vecina N° 1
<b>4</b>	Casa vecina N° 2
<b>5</b>	Frente a planta eléctrica
<b>6</b>	Frente a horno
<b>7</b>	Zona de baños
<b>8</b>	Zona de bodegas
<b>9</b>	Frente a área de residuos
<b>10</b>	Zona de clasificación



**Figura 13.** Distribución de puntos seleccionados para el monitoreo de ruido ambiental  
Fuente: Serviambiental S.A. E.S.P

### 3.3.3 Registro de niveles equivalentes de ruido ambiental

Para esta actividad se elaboraron tablas de recolección de datos, en las que se registró la información brindada por el Sonómetro Svantek 971 con resolución de 0.1 dB, de propiedad de la Universidad Surcolombiana.

Luego de ubicar las coordenadas del punto, se realiza la verificación de la distancia requerida para llevar a cabo la medición, se instala el trípode y el micrófono, conectando el cable extensión

entre el sonómetro y el micrófono e izando las extensiones del trípode para cumplir con la altura como se observa en la figura 14.



**Figura 14.** *Ubicación sonómetro digital*

En concordancia con la normatividad vigente se procedió a localizar el sonómetro en cada uno de los puntos, con un tiempo de monitoreo de quince (15) minutos, distribuidos en las mediciones parciales, realizando las lecturas correspondientes a las ubicaciones Norte, Oriente, Sur, Occidente y Vertical hacía arriba según lo estipulado en la Normatividad.

El sonómetro fue ubicado a una altura de 4 metros del nivel del piso, según especificaciones de la Resolución 627 de 2006 del MAVDT, a una distancia con respecto a las fachadas de 1.5 metros y con el micrófono dirigido hacia la fuente de emisión de ruido.

En cada punto de monitoreo se realizaron mediciones tanto en el horario diurno, comprendido entre las 7:01 a.m. y las 9:00 p.m. como en el horario nocturno, el cual va de las 9:01 p.m. hasta las 7:00 de la mañana como queda registrado en las fotografías de las figuras 15 y 16 respectivamente.



**Figura 15.** *Medición en horario diurno*



**Figura 16.** *Medición en horario nocturno*

Toda esta metodología, es la establecida para monitoreos de tipo ambiental. De manera complementaria, durante el día laboral y el día no laboral, se procedió a evaluar las condiciones meteorológicas (velocidad y dirección del viento, precipitación, humedad relativa y temperatura) de los distintos puntos de monitoreo, según reposa en las respectivas hojas de campo.

### **3.4 Análisis de la Información**

#### **3.4.1 Datos recolectados para material particulado**

Los datos obtenidos de cada medición diaria sobre el material particulado recolectado en los filtros, se registra en formatos que permitan la construcción de diagnósticos consecuentes con las exigencias de la normatividad establecida.

Para determinar la concentración diaria de partículas en suspensión se utiliza la ecuación 1:

$$Cps = \frac{(P_f - P_i) * 10^6}{V} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Cps = Concentración de partículas en suspensión ( $\mu\text{g} * \text{m}^{-3}$ )

$P_f$  = Peso final del filtro (g)

$P_i$  = Peso inicial del filtro (g)

V = Volumen del aire ( $\text{m}^3$ )

Con el fin de comparar los datos obtenidos en campo con los límites permisibles descritos en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), los cuales representan condiciones de referencia para temperatura y presión, es decir, 25 °C y 760 mm de

mercurio respectivamente, se procede a utilizar la ley general de gases ideales, de la siguiente manera:

$$\frac{P_{cm} \cdot V_{cm}}{T_{cm}} = \frac{P_{cr} \cdot V_{cr}}{T_{cr}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$P_{cm}$  = Presión a condiciones de medición

$V_{cm}$  = Volumen a condiciones de medición

$T_{cm}$  = Temperatura a condiciones de medición

$P_{cr}$  = Presión a condiciones de referencia

$V_{cr}$  = Volumen a condiciones de referencia

$T_{cr}$  = Temperatura a condiciones de referencia

Luego de determinar el volumen de aire corregido, se procede a calcular la concentración de material particulado presente en el área de influencia en cada uno de los días del monitoreo, para ser comparado con los niveles máximos permisibles estipulados por la resolución.

**Tabla 4.** Niveles máximos permisibles de contaminante  $PM_{10}$  en el aire

Contaminante	Nivel máximo permisible ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Tiempo de exposición
$PM_{10}$	50	Anual
	75	24 Horas

*Fuente: Resolución 2254 de 2017*

### 3.4.2 Datos recolectados para ruido ambiental

La información suministrada por los equipos utilizados durante el monitoreo de ruido en cada uno de los puntos, es tabulada para posteriormente elaborar los análisis estadísticos correspondientes a cada una de las variables, por medio de gráficas se presentan los resultados y las respectivas comparaciones con la norma.

Los datos proporcionados a las cinco (5) medidas parciales distribuidas en igualdad de tiempo para cada punto, son tomados con ayuda del micrófono ubicado en posiciones orientadas hacia el norte, oriente, sur, occidente y de forma vertical hacia arriba.

Según la Resolución 627 de 2006 del MAVDT (Capítulo II), con la siguiente ecuación se calcula el resultado del nivel de presión sonora continuo equivalente:

$$LA_{eq} = 10 * \log \left( \left( \frac{1}{5} \right) * \left( 10^{\frac{LN}{10}} + 10^{\frac{LS}{10}} + 10^{\frac{LO}{10}} + 10^{\frac{LE}{10}} + 10^{\frac{LV}{10}} \right) \right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$LA_{eq}$  = Nivel equivalente resultante de la medición

$LN$  = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte

$LS$  = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur

$LO$  = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste

$LE$  = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este

$LV$  = Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical

Dichos resultados deben ser comparados con los estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, los cuales se encuentran estipulados por la normatividad vigente de la siguiente manera:

**Tabla 5.** Estándares máximos permisibles de ruido ambiental

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
<b>Sector A. Tranquilidad y Silencio</b>	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para el desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.		
<b>Sector B. Tranquilidad y Ruido Moderado</b>	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.	65	50
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
<b>Sector C. Ruido Intermedio Restringido</b>	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	50
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70
<b>Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado</b>	Residencial Suburbana.		
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.	55	45
	Zonas de recreación y descanso, como parques naturales y reservas naturales.		

*Fuente: Resolución 627 de 2006 del MAVDT*

### 3.4.3 Evaluación del impacto ambiental

Luego de registrar los datos obtenidos durante los monitoreos, se procedió a comparar los resultados con los niveles máximos permisibles establecidos en la Resolución 627 de 2006, calculando la diferencia entre estos valores para determinar el impacto ambiental a través de los

rangos de importancia señalados en la metodología propuesta por Muriel y Cortés (2008), relacionada en la tabla 6.

**Tabla 6.** Importancia del impacto

<b>Diferencia del nivel sonoro con la norma</b>	<b>Importancia</b>
Menor de -1	Bajo
Entre -0.9 y 0.9	Medio
Mayor de 1	Alto

Fuente: Muriel y Cortés (2008)

#### 3.4.4 Elaboración de mapas de ruido

Para construir los mapas de ruido se importaron los datos tabulados sobre posicionamiento y niveles de presión registrados en cada uno de los puntos de estudio y se graficaron con ayuda de los softwares Golden Surfer 13 y AutoCAD 2010. Según el anexo 5 de la Resolución 627 del 2006 del MAVDT, los mapas de ruido deben cumplir con unas especificaciones para representar los límites entre las zonas, las escalas de medición, las tonalidades o colores según los niveles máximos y mínimos; que se resumen en la tabla 7:

**Tabla 7.** Combinación de colores para representaciones gráficas

<b>Zona de Ruido dB(A)</b>	<b>Color</b>	<b>Sombreado</b>
<b>Menor de 35</b>	Verde Claro	Puntos pequeños, baja densidad
<b>35 a 40</b>	Verde	Puntos medianos, media densidad
<b>40 a 45</b>	Verde Oscuro	Puntos grandes, alta densidad
<b>45 a 50</b>	Amarillo	Líneas verticales, baja densidad
<b>50 a 55</b>	Ocre	Líneas verticales, media densidad
<b>55 a 60</b>	Naranja	Líneas verticales, alta densidad
<b>60 a 65</b>	Cinabrio	Sombreado cruzado, baja densidad
<b>65 a 70</b>	Carmín	Sombreado cruzado, media densidad
<b>70 a 75</b>	Rojo lila	Sombreado cruzado, alta densidad
<b>75 a 80</b>	Azul	Franjas verticales anchas
<b>80 a 85</b>	Azul oscuro	Completamente negro

Fuente: Resolución 627 de 2006 del MAVDT

### **3.5 Instrumento de Medición**

Para medir la percepción y el grado de afectación que sufren los habitantes de la zona de influencia y los trabajadores de la planta de incineración, respecto a los niveles de ruido, se seleccionó el instrumento de medición realizado por Castro, Olaya y Cerquera (2019).

Castro, Olaya y Cerquera (2019), realizaron una revisión bibliográfica y, a partir de redes de interacción constituyeron una serie de preguntas relacionadas con temáticas de información general de la población, así como del grado de afectación que pueden tener las personas encuestadas con respecto a la presencia de ruido o contaminación sonora en la zona de estudio.

#### **3.5.1 Tamaño de la muestra**

Para el caso de la investigación, se estableció que la muestra para realizar la aplicación del instrumento era equivalente a la población total de la zona, la cual está compuesta por un representante de las 10 familias que se encuentran en el área de influencia y los 15 trabajadores pertenecientes a la empresa; para un total de 25 encuestados.

#### **3.5.2 Aplicación, validez y consistencia del instrumento**

Las preguntas utilizadas en el instrumento inicialmente se sometieron a una prueba, que consistió en aplicar este formato a una muestra pequeña de personas de la universidad Surcolombiana entre docentes y estudiantes, evaluando la pertinencia del instrumento y la aceptación por parte de los encuestados; para este caso se evidenció una buena respuesta ante el instrumento, por lo que no fue necesario realizar ajustes (Castro, Olaya y Cerquera, 2019).

Para validar el instrumento, se utilizó el análisis de consistencia interna calculado por el coeficiente de Alfa de Cronbach, método que ha sido utilizado en otras investigaciones realizadas

por Álvarez et al. (2006), Meliá et al. (1990), Ledesma et al. (2002) y Oviedo et al. (2005), citado por Castro (2015), dándole fiabilidad al instrumento de medición empleado en el estudio.

Para el cálculo del coeficiente de Alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) se utilizó la ecuación 4:

$$\alpha = \left[ \frac{k}{k-1} \right] * \left[ 1 - \frac{\sum s_i^2}{\sum s_t^2} \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$S_i^2$  = la suma de varianzas de cada ítem

$S_t^2$  = la varianza del total de filas o puntaje total de cada uno de los encuestados

k = el número de preguntas o ítems

El valor de confiabilidad del instrumento se compara con lo expuesto por Cristopher (2007), citado por Castro, Cerquera y Escobar (2015) definido en la tabla 8:

**Tabla 8.** Valores de criterio de confiabilidad

<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>
No es confiable	-1 a 0
Baja confiabilidad	0.01 a 0.49
Moderada confiabilidad	0.5 a 0.75
Fuerte confiabilidad	0.76 a 0.89
Alta confiabilidad	0.9 a 1

Fuente: Castro, Cerquera y Escobar (2015)

## 4 Resultados y Discusión

### 4.1 Información Meteorológica

En el sector de la Planta de Serviambiental ubicada en el municipio de Palermo (Huila) no existen estaciones climatológicas que sean representativas, por tal motivo, fue necesario recurrir a la información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), según la estación del Aeropuerto Benito Salas. La información se evaluó para el período comprendido durante el año 2109 con el fin de identificar el comportamiento general de las condiciones del clima en el sector. Las variables evaluadas fueron, temperatura, precipitación, humedad relativa y por último velocidad y dirección del viento.

En la tabla 9, se presenta la información climatológica suministrada por la subdirección de meteorología del IDEAM en la estación del Aeropuerto Benito Salas de la ciudad de Neiva para el año 2019.

**Tabla 9.** Datos generales de climatología para el año 2019 en el municipio de Neiva

Medios	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>T.máx (°C)</b>	32,9	33	32,7	32,3	32,5	33,1	33,7	34,4	34,6	32,7	31,5	31,9
<b>T.mín (°C)</b>	22,2	22,3	22,5	22,4	22,3	22,2	22,4	22,8	23	22,3	22,1	22,1
<b>T.med (°C)</b>	27,7	27,8	27,7	27,4	27,4	27,7	28,1	28,7	28,9	27,6	26,7	27
<b>Prec (mm)</b>	105,8	113,9	142,5	138,5	99,8	35	35,4	24,9	59,6	209,4	220,4	154,9
<b>Hum (%)</b>	69	68	70	71	70	64	58	55	57	68	75	73
<b>Viento (Km*h<sup>-1</sup>)</b>	7,3	7,9	7,9	8,1	8,2	9,1	9,8	10,2	9,5	7,5	6,4	6,8

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2019)

#### 4.1.1 Temperatura

La temperatura es una de las variables del clima que más influye en el desarrollo de actividades y procesos industriales, en este caso se hace indispensable conocer el comportamiento de esta en

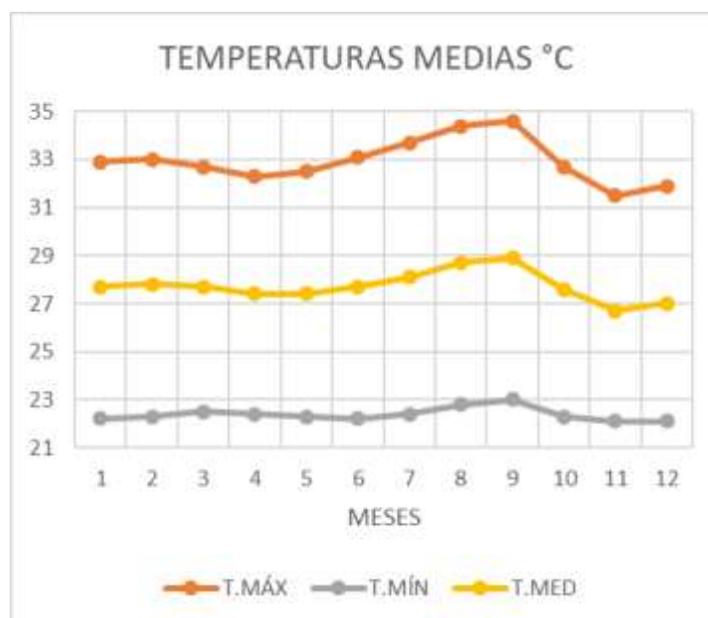
los días que se realizó el monitoreo de material particulado para corregir los valores del volumen que se desplazan por el medidor, las cuales se pueden distinguir en la tabla 10.

**Tabla 10.** Temperaturas medias año 2019 (°C) para el municipio de Neiva

Meses	T.máx (°C)	T.mín (°C)	T.med (°C)
1	32,9	22,2	27,7
2	33	22,3	27,8
3	32,7	22,5	27,7
4	32,3	22,4	27,4
5	32,5	22,3	27,4
6	33,1	22,2	27,7
7	33,7	22,4	28,1
8	34,4	22,8	28,7
9	34,6	23	28,9
10	32,7	22,3	27,6
11	31,5	22,1	26,7
12	31,9	22,1	27

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2019)

La temperatura media durante el año 2019, como se puede observar en la figura 17, varía entre 34,6 °C y 26,7 °C, los meses con mayores temperaturas son los de agosto y septiembre, siendo el 7 de septiembre el día más caluroso del año; los de menor temperatura son noviembre y diciembre, el día más frío del año es el 18 de noviembre, con una temperatura mínima promedio de 23 °C.



**Figura 17.** Temperaturas medias (°C) del año 2019 para el municipio de Neiva

La temperatura media para el periodo en el que se desarrolló la investigación durante las dos etapas se encuentra registrada en la tabla 11 y la tabla 12, el valor máximo en la etapa 1 fue de 36,5 °C y el mínimo registrado es de 22,2 °C, cuyo comportamiento se puede apreciar en la figura 18; durante la etapa 2 la máxima temperatura fue de 34.8 °C y la mínima 21,7 °C, dicha variación queda registrada en la figura 19. Para realizar la corrección de los valores de volumen de aire durante cada día de muestreo se tiene en cuenta el promedio de dichas temperaturas.

**Tabla 11.** Temperatura media (°C) para etapa 1 del muestreo de PM<sub>10</sub>

<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Temp Máx (°C)</b>	<b>Temp Mín (°C)</b>	<b>Temp Media (°C)</b>
<b>1</b>	29-feb	34,5	23,7	29,1
<b>2</b>	1-mar	34,4	24,2	29,3
<b>3</b>	2-mar	35,3	24,0	29,7
<b>4</b>	3-mar	32,9	23,6	28,3
<b>5</b>	4-mar	35,8	23,2	29,5
<b>6</b>	5-mar	34,5	23,5	29,0
<b>7</b>	6-mar	36,4	23,8	30,1
<b>8</b>	7-mar	36,4	23,8	30,1
<b>9</b>	8-mar	34,7	24,4	29,6
<b>10</b>	9-mar	34,7	24,4	29,6
<b>11</b>	10-mar	36,5	23,3	29,9
<b>12</b>	11-mar	36,2	22,3	29,3
<b>13</b>	12-mar	32,5	22,3	27,4
<b>14</b>	13-mar	35,5	22,2	28,9
<b>15</b>	14-mar	32,7	22,4	27,6
<b>16</b>	15-mar	31,0	22,9	27,0
<b>17</b>	16-mar	32,1	22,8	27,5
<b>18</b>	17-mar	34,3	23,6	29,0

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2020)

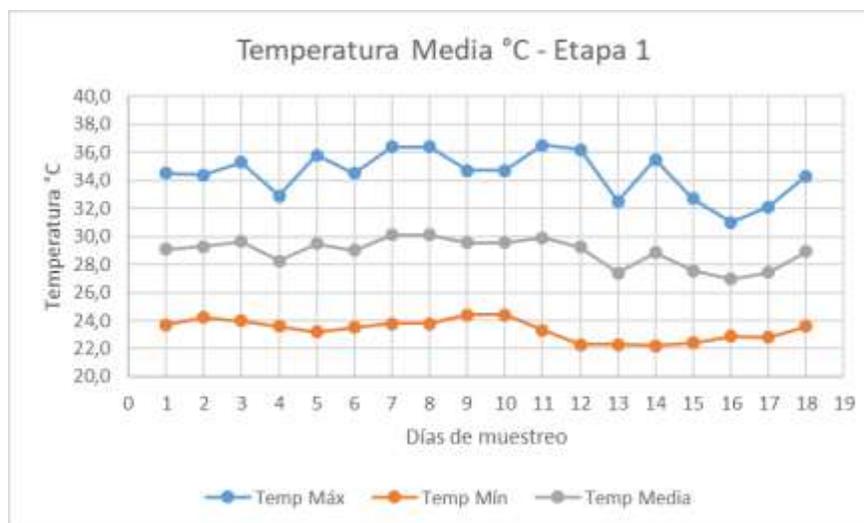


Figura 18. Temperatura media (°C) para la etapa 1 del muestreo de PM<sub>10</sub>

Tabla 12. Temperatura media (°C) para etapa 2 del muestreo de PM<sub>10</sub>

Día	Fecha	Temp Máx (°C)	Temp Mín (°C)	Temp Media (°C)
1	19-mar	34,7	22,1	28,4
2	20-mar	30,0	21,7	25,9
3	21-mar	32,4	21,8	27,1
4	22-mar	34,1	22,7	28,4
5	23-mar	32,2	23,6	27,9
6	24-mar	32,6	22,1	27,4
7	25-mar	33,2	22,2	27,7
8	26-mar	32,4	22,5	27,5
9	27-mar	33,8	23,1	28,5
10	28-mar	34,7	23,5	29,1
11	29-mar	33,2	23,6	28,4
12	30-mar	29,1	23,4	26,3
13	31-mar	29,1	23,4	26,3
14	1-abr	32,3	24,0	28,2
15	2-abr	31,5	23,4	27,5
16	3-abr	34,7	23,8	29,3
17	4-abr	34,8	24,2	29,5
18	5-abr	31,5	22,0	26,8

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2020)

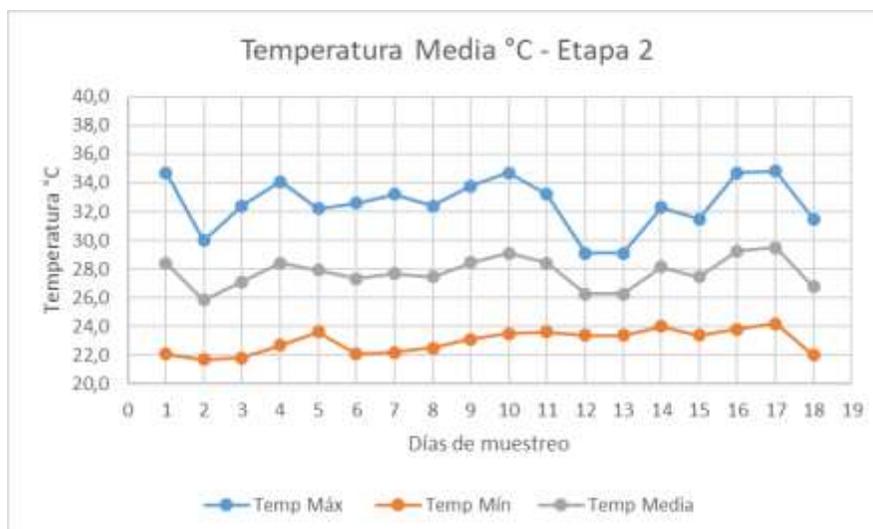


Figura 19. Temperatura media (°C) para la etapa 2 del muestreo de  $PM_{10}$

#### 4.1.2 Precipitación

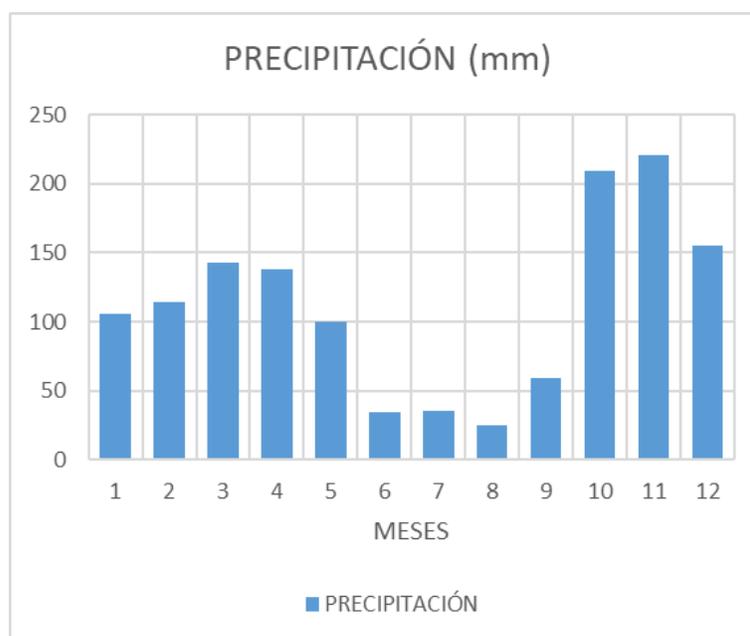
La precipitación es el término que hace referencia a todas las formas de humedad que caen de la atmósfera sobre la superficie de la tierra, incluyendo lluvia, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. Medir esta variable es importante en la investigación por motivos normativos y de control, a tal punto, que para el caso del monitoreo de ruido ambiental se considera un parámetro excluyente, cancelando la medición en el caso de que se presente. En la tabla 13, se aprecia los datos de precipitación mensual durante el año 2019, para la ciudad de Neiva.

Durante el año inmediatamente anterior el comportamiento de las precipitaciones medidas se pueden observar en la figura 20, evidenciando una caracterización bimodal con periodos de lluvias altas entre los meses de octubre a mayo y ciclos de menores cantidades entre los meses de junio a septiembre, comportamiento típico de la zona montañosa Andina.

**Tabla 13.** Precipitación mensual (mm) durante el año 2019 en el municipio de Neiva

Meses	Precipitación (mm)
1	105,8
2	113,9
3	142,5
4	138,5
5	99,8
6	35,0
7	35,4
8	24,9
9	59,6
10	209,4
11	220,4
12	154,9

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2019)

**Figura 20.** Precipitación mensual (mm) durante el año 2019 en el municipio de Neiva

Específicamente para las etapas en las que se realiza la investigación las precipitaciones evidenciadas en el lugar de estudio quedan inscritas en las tablas 14 y 15, mostrando unas lluvias representativas los días 13 y 14 de muestreo de la etapa 1; durante la etapa 2 las precipitaciones aumentaron en los días 1, 6 y 7. El comportamiento de esta variable se graficó en las figuras 21 y

22 para una mayor comprensión. Información imprescindible para identificar alteraciones en la cantidad de material particulado recolectado por los filtros en el equipo.

**Tabla 14.** Precipitación (mm) durante la etapa 1 del muestreo de PM<sub>10</sub>

Día	Fecha	Precipitación (mm)
1	29-feb	0,3
2	1-mar	0,0
3	2-mar	0,0
4	3-mar	0,0
5	4-mar	0,0
6	5-mar	0,0
7	6-mar	0,0
8	7-mar	0,0
9	8-mar	0,0
10	9-mar	0,0
11	10-mar	0,0
12	11-mar	3,9
13	12-mar	10,7
14	13-mar	19,4
15	14-mar	1,5
16	15-mar	0,3
17	16-mar	0,0
18	17-mar	0,0

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2020)

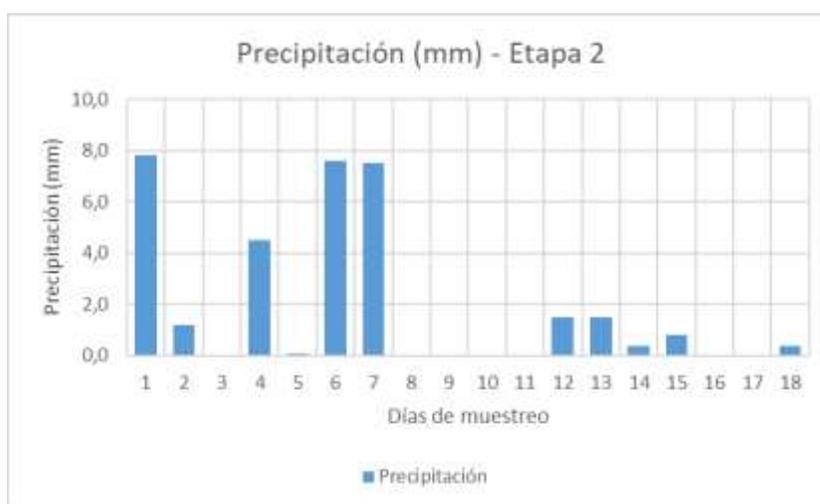


**Figura 21.** Precipitación (mm) durante la etapa 1 del muestreo de PM<sub>10</sub>

**Tabla 15.** Precipitación (mm) durante la etapa 2 del muestreo de PM<sub>10</sub>

Día	Fecha	Precipitación (mm)
1	19-mar	7,8
2	20-mar	1,2
3	21-mar	0,0
4	22-mar	4,5
5	23-mar	0,1
6	24-mar	7,6
7	25-mar	7,5
8	26-mar	0,0
9	27-mar	0,0
10	28-mar	0,0
11	29-mar	0,0
12	30-mar	1,5
13	31-mar	1,5
14	1-abr	0,4
15	2-abr	0,8
16	3-abr	0,0
17	4-abr	0,0
18	5-abr	0,4

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2020)

**Figura 22.** Precipitación (mm) durante la etapa 2 del muestreo de PM<sub>10</sub>

### 4.1.3 Humedad relativa

La humedad relativa mide la cantidad de agua en el aire en forma de vapor, comparándolo con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada. Al obtener un dato de 100% en humedad relativa, indica que el aire se encuentra en su máxima saturación posible.

La humedad relativa media mensual para el año 2019 referenciada en la tabla 16, varía entre 75% y 55%, siendo agosto el mes que presenta el valor más bajo y el mes de noviembre el valor más alto según la estación del Aeropuerto Benito Salas, como se destaca en la figura 23. En Neiva la humedad percibida presenta variaciones significativas, durante el año pueden existir días en el que la humedad llegue al 99% durante las 24 horas.

**Tabla 16.** Humedad relativa (%) durante el año 2019 del municipio de Neiva

Meses	Humedad (%)
1	69
2	68
3	70
4	71
5	70
6	64
7	58
8	55
9	57
10	68
11	75
12	73

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2019)



**Figura 23.** Humedad relativa (%) durante el año 2019 del municipio de Neiva

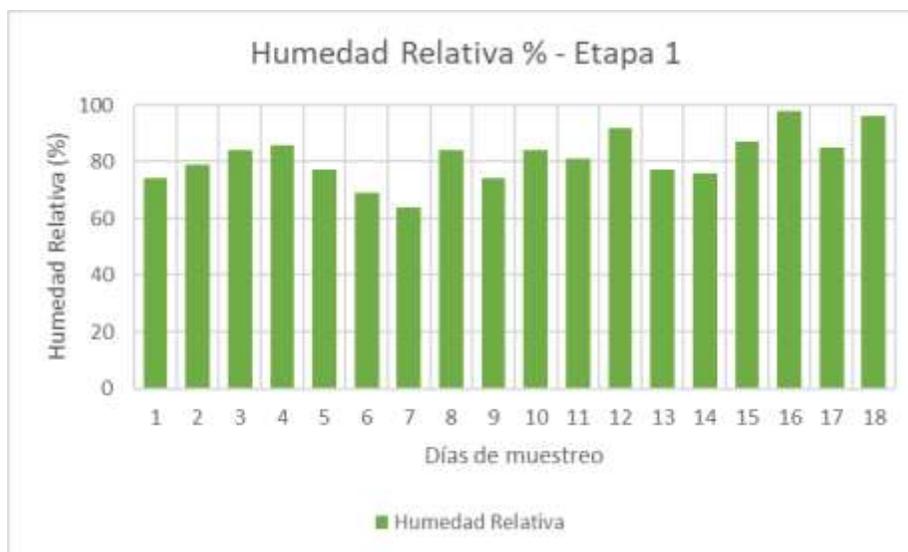
Durante los días de muestreo la variación de humedad muestra un máximo de 98% para el día 15 de marzo y un mínimo de 64% para el día 6 de marzo, durante la etapa inicial; en la segunda etapa el 1 de abril registra una humedad relativa del 100% y el menor valor identificado es de 63% para el 29 de marzo.

Las tablas 17 y 18 y las figuras 24 y 25 representan el comportamiento de la humedad relativa durante los 18 días en los que fue corrida la prueba, tanto para la etapa 1 como para la etapa 2.

**Tabla 17.** Humedad relativa (%) durante la etapa 1 del muestreo de PM<sub>10</sub>

<b>Día</b>	<b>Fecha</b>	<b>Humedad Relativa (%)</b>
<b>1</b>	29-feb	74
<b>2</b>	1-mar	79
<b>3</b>	2-mar	84
<b>4</b>	3-mar	86
<b>5</b>	4-mar	77
<b>6</b>	5-mar	69
<b>7</b>	6-mar	64
<b>8</b>	7-mar	84
<b>9</b>	8-mar	74
<b>10</b>	9-mar	84
<b>11</b>	10-mar	81
<b>12</b>	11-mar	92
<b>13</b>	12-mar	77
<b>14</b>	13-mar	76
<b>15</b>	14-mar	87
<b>16</b>	15-mar	98
<b>17</b>	16-mar	85
<b>18</b>	17-mar	96

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2020)

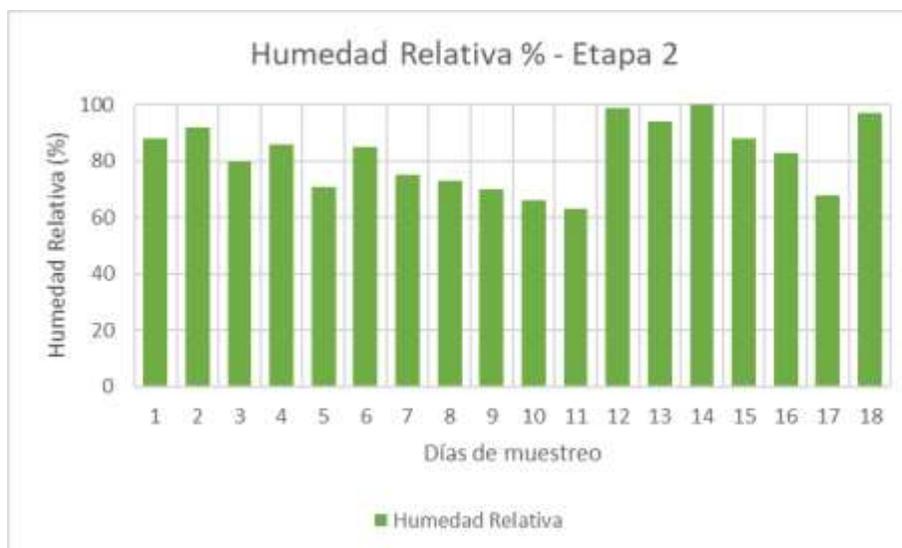


**Figura 24.** Humedad relativa (%) durante la etapa 1 del muestreo de PM<sub>10</sub>

**Tabla 18.** Humedad relativa (%) durante la etapa 2 del muestreo de PM<sub>10</sub>

Día	Fecha	Humedad Relativa (%)
1	19-mar	88
2	20-mar	92
3	21-mar	80
4	22-mar	86
5	23-mar	71
6	24-mar	85
7	25-mar	75
8	26-mar	73
9	27-mar	70
10	28-mar	66
11	29-mar	63
12	30-mar	99
13	31-mar	94
14	1-abr	100
15	2-abr	88
16	3-abr	83
17	4-abr	68
18	5-abr	97

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2020)



**Figura 25.** Humedad relativa (%) durante la etapa 2 del muestreo de  $PM_{10}$

#### 4.1.4 Velocidad y dirección del viento

El viento viene caracterizado por dos magnitudes, la velocidad que mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto e instante determinados y la dirección que mide la misma componente horizontal de dicha velocidad.

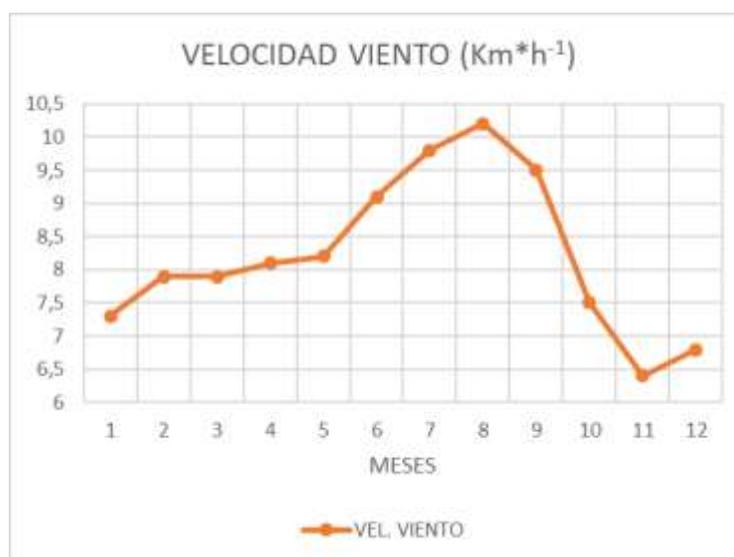
Para la investigación es importante conocer tanto la velocidad como la dirección del viento, ya que con estos parámetros se logró definir el lugar de ubicación del equipo muestreador de material particulado y además los valores determinados influyen en las condiciones de medición de ruido ambiental.

En la tabla 19 se especifican los valores mensuales de velocidad promedio del viento, los cuales fluctúan entre  $10,2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  y  $6,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , en muy pocas ocasiones el viento supera los valores de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , sin embargo, el viento presenta una predominancia según la época del año; la parte con mayores velocidades durante el año es de casi 4,5 meses y el tiempo más calmado dura aproximadamente 7 meses, dicho comportamiento se representa en la figura 26. Durante el 2019, el 7 de agosto fue el día con mayor velocidad promedio de viento alcanzando los  $10,3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

**Tabla 19.** Velocidad del viento ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) durante el año 2019 del municipio de Neiva

Meses	Vel. Viento ( $\text{Km}\cdot\text{h}^{-1}$ )
1	7,3
2	7,9
3	7,9
4	8,1
5	8,2
6	9,1
7	9,8
8	10,2
9	9,5
10	7,5
11	6,4
12	6,8

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2019)

**Figura 26.** Velocidad del viento ( $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) durante el año 2019 del municipio de Neiva

En el proceso de medición del material particulado se registra una variación en la velocidad del viento que va desde los  $0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  para el día con más calma hasta los  $4,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  durante el día con mayor frecuencia. El comportamiento y la magnitud de las variables para los 36 días de prueba

divididos en cada una de las etapas del muestreo anteriormente mencionadas, se evidencian en las tablas 20 y 21 y las figuras 27 y 28.

**Tabla 20.** Velocidad del viento ( $\text{km}^*\text{h}^{-1}$ ) durante la etapa 1 del muestreo de  $\text{PM}_{10}$

Día	Fecha	Velocidad Viento ( $\text{Km}^*\text{h}^{-1}$ )
1	29-feb	0,8
2	1-mar	2,6
3	2-mar	1,4
4	3-mar	2,0
5	4-mar	4,4
6	5-mar	0,9
7	6-mar	3,0
8	7-mar	2,6
9	8-mar	1,0
10	9-mar	1,0
11	10-mar	3,6
12	11-mar	0,4
13	12-mar	1,7
14	13-mar	0,7
15	14-mar	1,2
16	15-mar	0,5
17	16-mar	3,0
18	17-mar	0,7

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2020)



**Figura 27.** Velocidad del viento ( $\text{Km}^*\text{h}^{-1}$ ) durante la etapa 1 del muestreo de  $\text{PM}_{10}$

**Tabla 21.** Velocidad del viento ( $\text{km}^*\text{h}^{-1}$ ) durante la etapa 2 del muestreo de  $\text{PM}_{10}$ 

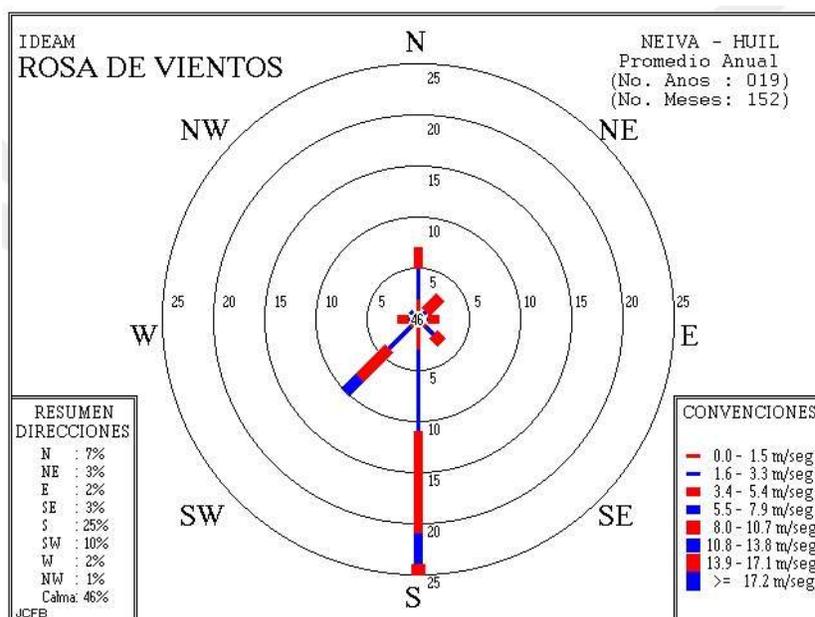
Día	Fecha	Velocidad Viento ( $\text{Km}^*\text{h}^{-1}$ )
1	19-mar	1,2
2	20-mar	1,6
3	21-mar	3,8
4	22-mar	1,6
5	23-mar	0,7
6	24-mar	0,7
7	25-mar	0,6
8	26-mar	0,5
9	27-mar	0,7
10	28-mar	1,1
11	29-mar	1,1
12	30-mar	1,8
13	31-mar	2,0
14	1-abr	1,1
15	2-abr	0,8
16	3-abr	1,7
17	4-abr	2,2
18	5-abr	0,8

Fuente: Estación Meteorológica Aeropuerto Benito Salas (IDEAM, 2020)

**Figura 28.** Velocidad del viento ( $\text{Km}^*\text{h}^{-1}$ ) durante la etapa 2 del muestreo de  $\text{PM}_{10}$ 

La figura 29 es la rosa de los vientos que se obtiene del comportamiento observado durante el último año para el municipio de Neiva según el IDEAM, tomado de los datos de la estación de

referencia. En ella se observa que el mayor porcentaje de distribución del viento está en el rango de 20% a 25% con una dirección predominante hacia el sur para la época del año en la que se realiza el muestreo de material particulado  $PM_{10}$  y el monitoreo de ruido ambiental; corroborando la información técnica con la que dispone la planta y la ubicación de las coordenadas requeridas en la selección de puntos.



**Figura 29.** Rosa de vientos para el municipio de Neiva  
Fuente: IDEAM, 2020.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante el muestreo de material particulado ( $PM_{10}$ ) y el monitoreo de ruido ambiental desarrollado en las instalaciones de la planta de incineración de residuos peligrosos.

## 4.2 Concentraciones de Material Particulado

### 4.2.1 Muestra de cálculo para determinar las concentraciones de $PM_{10}$

Muestreo 1:

Fecha y hora de inicio: 29 de febrero de 2020, 10:10 a.m.

Fecha y hora de finalización: 01 de marzo de 2020, 10:10 a.m.

Caudal Promedio:  $36 \text{ ft}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  ( $1.02 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ )

Tiempo de medición: 1440 min

Temperatura Media:  $29,1 \text{ }^\circ\text{C}$

Presión barométrica: 719 mm Hg

Determinación del volumen a condiciones de medición:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$V = Q * t \quad \text{Ecuación 6}$$

$$V = 36 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} * 1440 \text{ min} = 51.840 \text{ ft}^3 * \frac{1\text{m}^3}{35,315\text{ft}^3} = 1467,93 \text{ m}^3$$

Corrección del Volumen a condiciones de referencia utilizando la ecuación 2. Despejando el volumen a condiciones de referencia se obtiene:

$$V_{cr} = \frac{V_{cm} * P_{cm} * T_{cr}}{P_{cr} * T_{cm}} \quad \text{Ecuación 7}$$

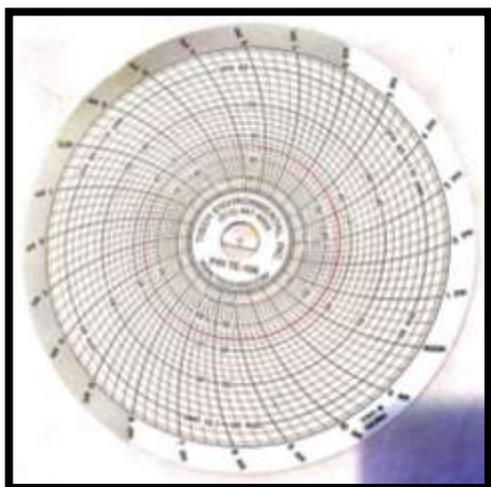
$$V_{cr} = \frac{1467,93 * 719 * 298,15}{760 * 302,25} = 1369,90 \text{ m}^3$$

Para determinar la concentración de material particulado  $\text{PM}_{10}$  se utilizó la ecuación 1 planteada en la metodología, por lo tanto:

$$C_{ps} = \frac{(4,4721 - 4,5211) * 10^6}{1369,90 \text{ m}^3} = 35,77 \mu\text{g} * \text{m}^{-3}$$

#### 4.2.2 Resultados obtenidos de las concentraciones de material particulado PM<sub>10</sub>

Para calcular los resultados de las concentraciones se usó la información obtenida en las mediciones de laboratorio, siguiendo el protocolo establecido por la normatividad; a continuación, se presentan las figuras 30, 31, 32 y 33 con los registros fotográficos de algunos de los elementos utilizados.



**Figura 30.** Carta de registro de caudal



**Figura 31.** Procedimiento de pesaje



**Figura 32.** Peso inicial de filtro 0701



**Figura 33.** Peso final de filtro 0302

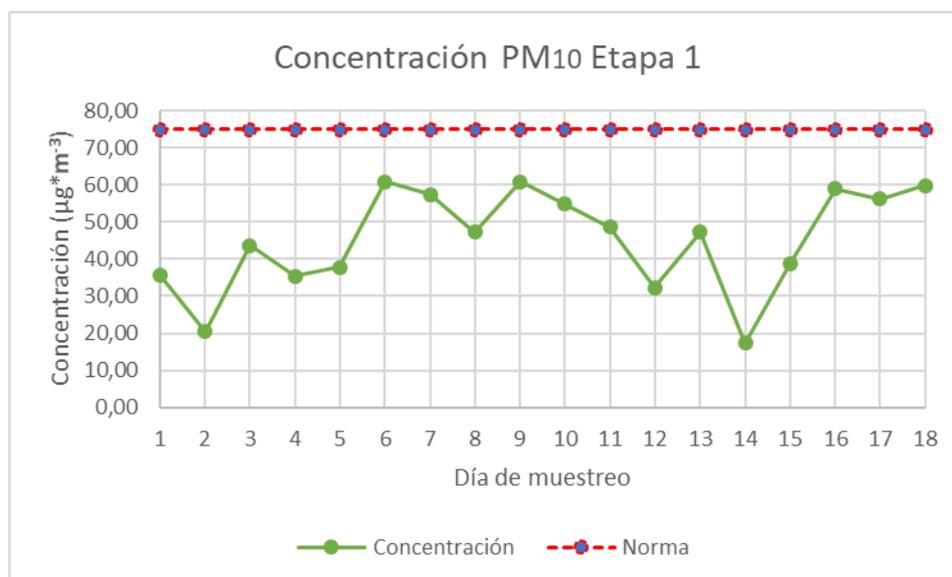
Las tablas 22 y 23 contienen la respectiva información de cada punto de monitoreo (teniendo en cuenta las correcciones por condiciones de referencia), para las dos etapas del estudio y las figuras 34 y 35 corresponden al comportamiento de los resultados que se obtuvieron en la medición en comparación con la norma de calidad de aire adoptada en la resolución 2254 de 2017 del MADS.

**Tabla 22.** Resultados de las concentraciones de PM<sub>10</sub> durante la etapa 1

Muestra N°	Fecha		Tiempo (min)	Peso Filtro (g)		P. Neto (g)	Caudal (m <sup>3</sup> *min <sup>-1</sup> )	Vol. C (m <sup>3</sup> )	Concent. (µg*m <sup>-3</sup> )
	Inicial	Final		Inicial	Final				
1	29/02/2020	1/03/2020	1440	4,4721	4,5211	0,0490	1,02	1369,90	35,77
2	1/03/2020	2/03/2020	1448	4,4912	4,5198	0,0286	1,03	1395,72	20,49
3	2/03/2020	3/03/2020	1445	4,5012	4,5612	0,0600	1,02	1372,16	43,73
4	3/03/2020	4/03/2020	1451	4,5096	4,5548	0,0452	1,03	1276,60	35,41
5	4/03/2020	5/03/2020	1442	4,4973	4,5521	0,0548	1,08	1446,10	37,89
6	5/03/2020	6/03/2020	1450	4,4545	4,5385	0,0840	1,02	1379,87	60,88
7	6/03/2020	7/03/2020	1445	4,4707	4,5537	0,0830	1,08	1446,24	57,39
8	7/03/2020	8/03/2020	1450	4,4249	4,4908	0,0659	1,03	1393,96	47,28
9	8/03/2020	9/03/2020	1442	4,3901	4,4781	0,0880	1,08	1445,86	60,86
10	9/03/2020	10/03/2020	1445	4,4352	4,5126	0,0774	1,05	1410,74	54,86
11	10/03/2020	11/03/2020	1448	4,4461	4,5138	0,0677	1,03	1392,96	48,60
12	11/03/2020	12/03/2020	1442	4,4529	4,4973	0,0444	1,02	1371,12	32,38
13	12/03/2020	13/03/2020	1445	4,4488	4,5141	0,0653	1,02	1382,43	47,24
14	13/03/2020	14/03/2020	1449	4,4216	4,4456	0,0240	1,02	1379,61	17,40
15	14/03/2020	15/03/2020	1440	4,4019	4,4582	0,0563	1,08	1453,46	38,74
16	15/03/2020	16/03/2020	1442	4,3952	4,4767	0,0815	1,02	1381,63	58,99
17	16/03/2020	17/03/2020	1440	4,3751	4,4548	0,0797	1,05	1415,68	56,30
18	17/03/2020	18/03/2020	1450	4,4068	4,4893	0,0825	1,02	1380,10	59,78

Durante la etapa 1 (con la planta de incineración encendida), se observó que la mayor concentración de material particulado PM<sub>10</sub> se recolectó el día 05 de marzo, sexto día de monitoreo, alcanzando un valor de 60,88 µg\*m<sup>-3</sup>; durante el noveno día de estudio la concentración se acercó a su máximo nivel, recolectándose en el filtro 60.86 µg\*m<sup>-3</sup> de material. Se considera que esta situación se puede presentar debido a factores climatológicos como la variación de la velocidad del

viento o la variabilidad continua en la temperatura durante el día, sumado al aumento de circulación vehicular que se registra en la planta durante este periodo en particular.

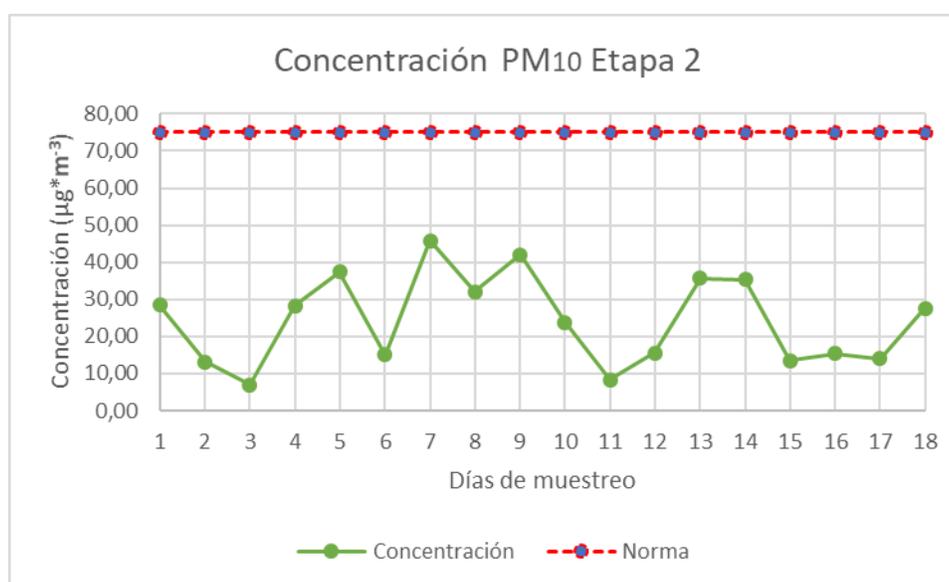


**Figura 34.** Comportamiento de material particulado durante la etapa 1

Las concentraciones de material particulado para la etapa 1 presentan alta variación pasando de  $17,40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  hasta  $60,88 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  en los 18 días de muestreo; es importante reconocer que, aunque el flujo de material es regulado por la planta, existen aspectos naturales que pueden ocasionar estas variaciones. En general la planta no supera en ninguno de los días en los que se efectuó el muestreo los niveles máximos permisibles para el contaminante  $\text{PM}_{10}$  durante esta etapa.

**Tabla 23.** Resultados de las concentraciones de PM<sub>10</sub> durante la etapa 2

Muestra	Fecha	Fecha	Tiempo	Peso Filtro (g)		P. Neto	Caudal	Vol. C	Concent.
N°	Inicial	Final	(min)	Inicial	Final	(g)	(m <sup>3</sup> *min <sup>-1</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(µg*m <sup>-3</sup> )
1	19/03/2020	20/03/2020	1440	4,4832	4,5229	0,0397	0,95	1392,15	28,52
2	20/03/2020	21/03/2020	1442	4,4723	4,4911	0,0188	0,96	1425,24	13,19
3	21/03/2020	22/03/2020	1440	4,5093	4,5189	0,0096	0,99	1379,03	6,96
4	22/03/2020	23/03/2020	1445	4,5098	4,5488	0,0390	0,96	1377,85	28,30
5	23/03/2020	24/03/2020	1450	4,4980	4,5506	0,0526	1,03	1404,15	37,46
6	24/03/2020	25/03/2020	1448	4,3816	4,4025	0,0209	0,96	1385,53	15,08
7	25/03/2020	26/03/2020	1442	4,4427	4,5102	0,0675	1,09	1473,90	45,80
8	26/03/2020	27/03/2020	1450	4,4545	4,5014	0,0469	0,91	1464,04	32,03
9	27/03/2020	28/03/2020	1440	4,4640	4,5218	0,0578	0,96	1372,85	42,10
10	28/03/2020	29/03/2020	1446	4,4482	4,4814	0,0332	0,98	1394,72	23,80
11	29/03/2020	30/03/2020	1450	4,3987	4,4106	0,0119	0,95	1421,02	8,37
12	30/03/2020	31/03/2020	1440	4,4532	4,4752	0,0220	1,02	1421,36	15,48
13	31/03/2020	1/04/2020	1445	4,5112	4,5613	0,0501	1,03	1407,02	35,61
14	1/04/2020	2/04/2020	1450	4,4312	4,4829	0,0517	0,96	1460,64	35,40
15	2/04/2020	3/04/2020	1442	4,4738	4,4923	0,0185	1,02	1379,33	13,41
16	3/04/2020	4/04/2020	1440	4,4805	4,5021	0,0216	0,96	1407,26	15,35
17	4/04/2020	5/04/2020	1450	4,4114	4,4316	0,0202	0,91	1434,99	14,08
18	5/04/2020	6/04/2020	1440	4,4026	4,4407	0,0381	1,02	1380,64	27,60

**Figura 35.** Comportamiento de material particulado durante la etapa 2

En la segunda etapa de medición, en la que se apagó la planta de incineración; los resultados muestran una disminución representativa del material particulado 10 µm recolectado en los filtros. Las concentraciones oscilan entre 6,96 µg\*m<sup>-3</sup> y 45,80 µg\*m<sup>-3</sup> durante este periodo de investigación; lo cual permite reconocer que, aunque los valores nunca sobrepasan los estándares de la norma de calidad de aire, existe un grado de influencia identificable por parte de las actividades de la planta en los resultados finales. Los resultados demostraron que las operaciones de la empresa en la planta de incineración a la fecha cumplen con los requerimientos que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible exige en cuanto a emisión de material particulado PM<sub>10</sub>.

### **4.3 Determinación de Ruido Ambiental**

#### **4.3.1 Muestra de cálculo para ruido ambiental**

Punto 1, monitoreo jornada laboral.

Fecha: 18 de febrero de 2020.

Lectura sentido norte = 60,3 dB

Lectura sentido sur = 60,1 dB

Lectura sentido oeste = 60,5 dB

Lectura sentido este = 60,5 dB

Lectura sentido vertical = 60,6 dB

Determinación del nivel equivalente de medición utilizando la ecuación 3:

$$LAeq = 10 * \log \left( \left( \frac{1}{5} \right) * \left( 10^{\frac{LN}{10}} + 10^{\frac{LS}{10}} + 10^{\frac{LO}{10}} + 10^{\frac{LE}{10}} + 10^{\frac{LV}{10}} \right) \right)$$

$$LAeq = 10 * \log \left( \left( \frac{1}{5} \right) * \left( 10^{\frac{60,3}{10}} + 10^{\frac{60,1}{10}} + 10^{\frac{60,5}{10}} + 10^{\frac{60,5}{10}} + 10^{\frac{60,6}{10}} \right) \right)$$

$$LAeq = 60,40 \text{ dB}$$

### 4.3.2 Resultados obtenidos de los niveles de presión sonora

Mediante la localización de los puntos del monitoreo para la medición de ruido ambiental en el sector de influencia de la planta de incineración de residuos de la empresa Serviambiental S. A E.S.P., se definieron 10 puntos como se observa en la figura 36 y la tabla 24.

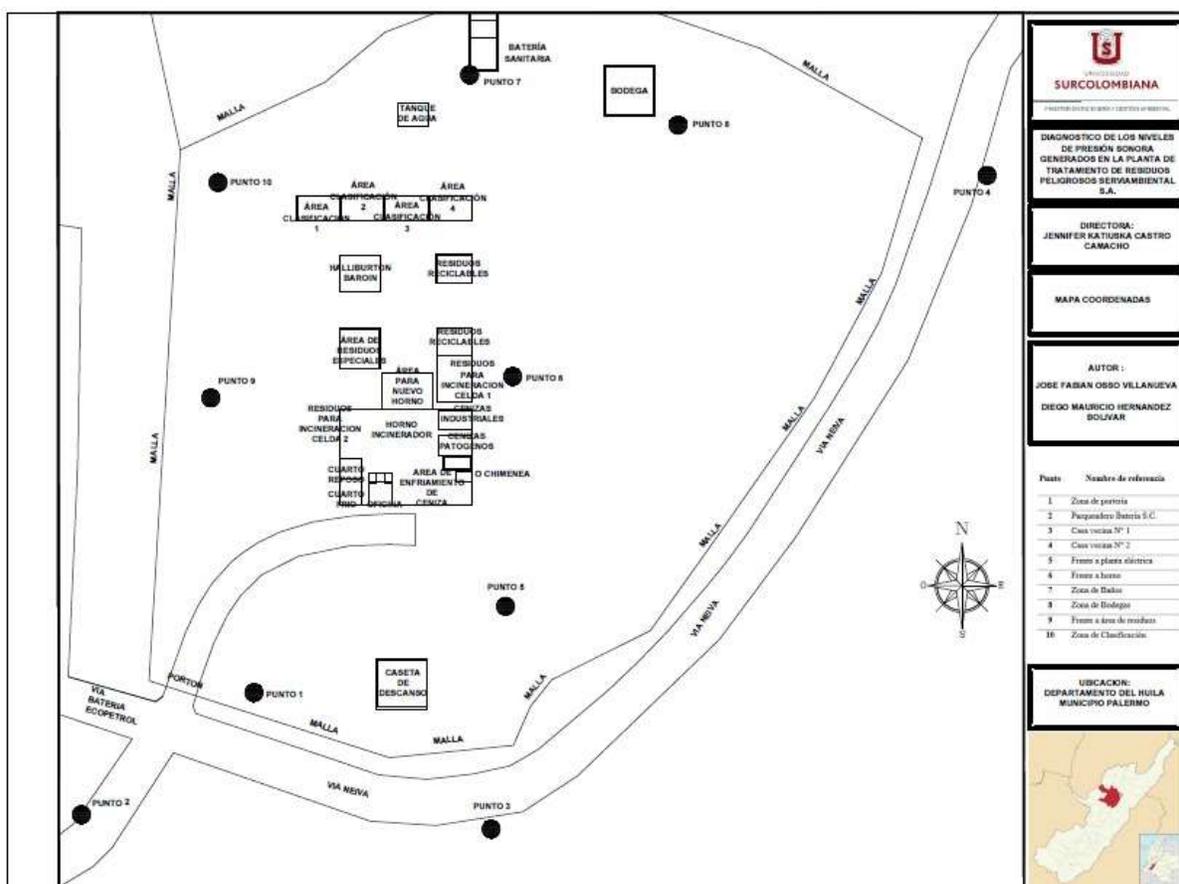


Figura 36. Ubicación de puntos de monitoreo en la zona de influencia

**Tabla 24.** Referencia de los puntos seleccionados en el monitoreo de Ruido

Punto	Nombre de referencia	Coordenadas GPS		Altitud (msnm)
		X	Y	
1	Zona de portería	860.578	818.757	473
2	Parqueadero Batería S.C.	860.554	818.740	466
3	Casa vecina N° 1	860.611	818.738	469
4	Casa vecina N° 2	860.663	818.831	460
5	Frente a planta eléctrica	860.613	818.769	476
6	Frente a horno	860.614	818.801	471
7	Zona de Baños	860.608	818.843	476
8	Zona de Bodegas	860.637	818.836	467
9	Frente a área de residuos	860.572	818.798	472
10	Zona de Clasificación	860.573	818.828	482

Para determinar los niveles equivalentes de ruido ambiental de las concentraciones se siguió la metodología indicada en la norma establecida; a continuación, se presentan registros fotográficos de los procedimientos llevados a cabo tanto para la jornada laboral como la no laboral, en horario diurno y nocturno.

El proceso de medición se dividió en dos etapas:

La primera realizada en horario diurno y nocturno, durante jornada laboral llevada a cabo el día 18 de febrero, como se puede observar en las figuras 37 y 38.

**Figura 37.** Medición diurna, jornada laboral



**Figura 38.** *Medición nocturna, jornada laboral*

La segunda etapa fue realizada en horario diurno y nocturno, durante jornada no laboral el día 23 de febrero de 2020, cuyos registros se pueden evidenciar en las figuras 39 y 40.



**Figura 39.** *Medición diurna, jornada no laboral*



**Figura 40.** Medición nocturna, jornada no laboral

En las tablas 25 y 26 se registran los datos de monitoreo de ruido ambiental realizado durante la jornada laboral de la planta de incineración en horario diurno y nocturno respectivamente, el promedio de la medición y el nivel equivalente:

**Tabla 25.** Monitoreo de ruido durante jornada laboral en horario diurno

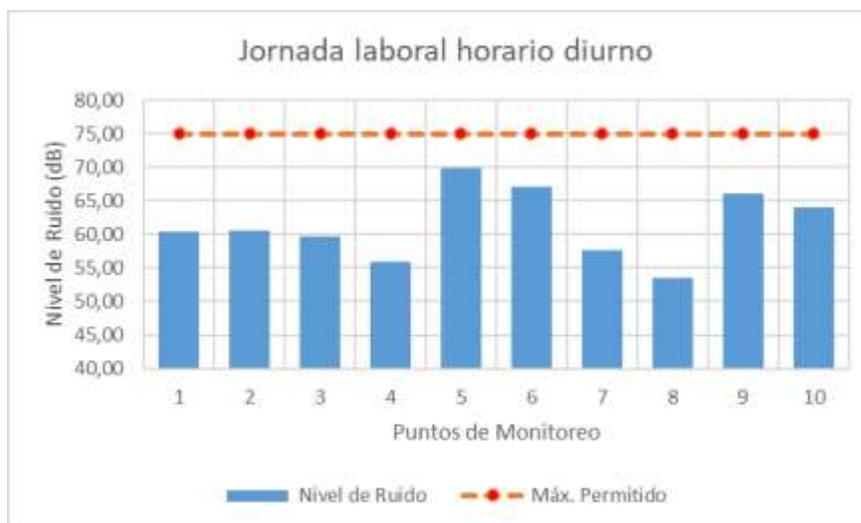
<b>Punto</b>	<b>Nombre de referencia</b>	<b>dB N</b>	<b>dB E</b>	<b>dB S</b>	<b>dB O</b>	<b>dB V</b>	<b>Promedio</b>	<b>Laeq</b>
<b>1</b>	Zona de portería	60.3	60.5	60.1	60.5	60.6	60.40	60.40
<b>2</b>	Parqueadero batería S.C.	58.2	64.4	58.2	59.7	57.8	59.66	60.50
<b>3</b>	Casa vecina N° 1	65.1	53.8	56.5	54.7	56.5	57.32	59.70
<b>4</b>	Casa vecina N° 2	53.3	58.6	57.2	55.2	52.4	55.34	55.95
<b>5</b>	Frente a planta eléctrica	70.2	69.9	69.5	69.8	69.7	69.82	69.83
<b>6</b>	Frente a horno	67.0	66.9	67.6	67.4	66.9	67.16	67.17
<b>7</b>	Zona de baños	57.2	57.5	57.8	57.7	57.6	57.56	57.56
<b>8</b>	Zona de bodegas	55.0	53.1	53.5	52.4	52.9	53.38	53.48
<b>9</b>	Frente a área de residuos	65.7	66.3	66.1	66.0	66.4	66.10	66.11
<b>10</b>	Zona de clasificación	64.2	63.9	64.0	63.6	64.4	64.02	64.03

**Tabla 26.** Monitoreo de ruido durante jornada laboral en horario nocturno

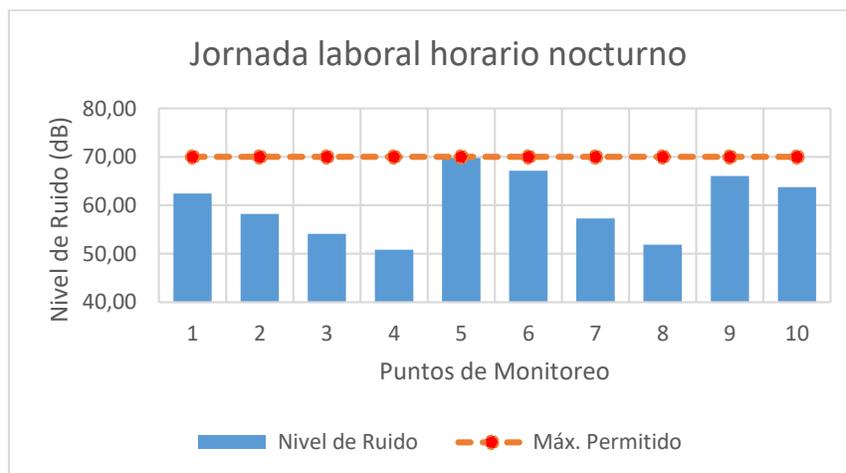
<b>Punto</b>	<b>Nombre de referencia</b>	<b>dB N</b>	<b>dB E</b>	<b>dB S</b>	<b>dB O</b>	<b>dB V</b>	<b>Promedio</b>	<b>Laeq</b>
<b>1</b>	Zona de portería	61.9	63.8	61.6	62.0	62.5	62.36	62.43
<b>2</b>	Parqueadero batería S.C.	58.6	58.4	58.0	58.0	58.0	58.20	58.21
<b>3</b>	Casa vecina N° 1	54.4	53.9	53.7	54.2	54.3	54.10	54.11
<b>4</b>	Casa vecina N° 2	50.6	50.4	50.3	51.1	51.6	50.80	50.38
<b>5</b>	Frente a planta eléctrica	70.0	69.8	69.9	69.8	69.7	69.74	69.74
<b>6</b>	Frente a horno	66.9	66.8	67.2	67.4	67.2	67.10	67.11
<b>7</b>	Zona de baños	56.7	56.8	57.5	57.5	57.7	57.24	57.26
<b>8</b>	Zona de bodegas	51.7	51.8	51.7	51.8	52.3	51.86	51.87
<b>9</b>	Frente a área de residuos	66.0	66.2	66.2	66.1	65.7	66.04	66.04
<b>10</b>	Zona de clasificación	64.0	63.6	63.8	63.2	64.1	63.74	63.75

El proceso de monitoreo en esta primera jornada se realizó el día martes 18 de febrero de 2020, durante horario diurno y nocturno, identificando los puntos con mayor afectación por el ruido generado en la planta de incineración. Es relevante considerar que, durante las 24 horas del día la planta se encuentra en funcionamiento continuo y que la operación es máxima para esta época del año debido a parámetros internos de la empresa.

Como se puede observar en las figuras 41 y 42, tanto para las horas del día como en la noche, el punto de monitoreo 5 (frente a la planta eléctrica de Ecopetrol), es el lugar donde se registró el valor más alto correspondiente a 69,83 dB y 69.74 dB respectivamente. Aquí se debe resaltar que, si bien la distancia de ubicación del sonómetro a la fuente de emisión se establece siguiendo los parámetros de la norma, la ubicación de estos puntos de mayor alteración se encuentra al interior de las instalaciones de la planta.



**Figura 41.** Monitoreo de ruido durante jornada laboral en horario diurno



**Figura 42.** Monitoreo de ruido durante jornada laboral en horario nocturno

Por el contrario, los puntos seleccionados en las inmediaciones de la planta, dentro de la zona de influencia, presentan resultados inferiores de nivel equivalente de ruido ambiental, con diferencias de hasta 21.52 dB comparados con los máximos permisibles del día y de 24.62 dB con lo establecido para horario nocturno.

Es necesario aclarar que durante el proceso de medición diurno y nocturno existieron factores que generaron una emisión de ruido adicional a la que se produjo por parte de la planta, lo cual

pudo influir en los promedios equivalentes que se obtuvieron, un ejemplo de esto puede ser una fuente externa emitida desde una vivienda como es el caso del punto de monitoreo 3.

Las tablas 27 y 28 exponen los valores obtenidos para la jornada no laboral durante el horario diurno y nocturno:

**Tabla 27.** Monitoreo de ruido durante jornada no laboral en horario diurno

<b>Punto</b>	<b>Nombre de referencia</b>	<b>dB N</b>	<b>dB E</b>	<b>dB S</b>	<b>dB O</b>	<b>dB V</b>	<b>Promedio</b>	<b>Laeq</b>
<b>1</b>	Zona de portería	50,8	48,3	48,1	48,4	49,3	48,98	49,10
<b>2</b>	Parqueadero Batería S.C.	53,1	49,8	49,5	49,9	50,1	50,48	50,71
<b>3</b>	Casa vecina N° 1	48,8	48,2	48,3	48,5	48,7	48,50	48,51
<b>4</b>	Casa vecina N° 2	48,6	48,1	47,8	48,3	47,9	48,14	48,15
<b>5</b>	Frente a planta eléctrica	47,9	45,9	45,2	51,6	48,4	47,80	48,42
<b>6</b>	Frente a horno	48,4	48,2	48,9	49,2	48,7	48,68	48,69
<b>7</b>	Zona de baños	46,3	45,9	45,7	47,2	47,0	46,42	46,46
<b>8</b>	Zona de bodegas	45,2	39,3	39,9	39,5	44,7	41,72	42,54
<b>9</b>	Frente a área de residuos	56,3	55,8	55,9	55,8	56,7	56,10	56,11
<b>10</b>	Zona de clasificación	47,2	47	47,6	47,4	47,2	47,28	47,28

**Tabla 28.** Monitoreo de ruido durante jornada no laboral en horario nocturno

<b>Punto</b>	<b>Nombre de referencia</b>	<b>dB N</b>	<b>dB E</b>	<b>dB S</b>	<b>dB O</b>	<b>dB V</b>	<b>Promedio</b>	<b>Laeq</b>
<b>1</b>	Zona de portería	46	44,5	56,4	44,8	44,9	47,32	50,54
<b>2</b>	Parqueadero Batería S.C.	47	53	46,9	47,7	50,1	48,94	49,64
<b>3</b>	Casa vecina N° 1	51,1	48,7	42,4	42,3	43,2	45,54	47,13
<b>4</b>	Casa vecina N° 2	42,4	41,6	41,2	41,6	41,9	41,74	41,76
<b>5</b>	Frente a planta eléctrica	49,9	51,5	49,2	44,8	51,7	49,42	50,00
<b>6</b>	Frente a horno	38,9	39,4	40,3	41,3	38,8	39,74	39,85
<b>7</b>	Zona de baños	43,1	44,6	44,7	46,1	40	43,70	44,13
<b>8</b>	Zona de bodegas	41,6	42,3	41,9	42,9	42,1	42,16	42,18
<b>9</b>	Frente a área de residuos	41,3	42,1	41,1	42,5	42,5	41,90	41,94
<b>10</b>	Zona de clasificación	40,6	41,2	40,9	40,1	40,5	40,66	40,68

Al respecto, se verifica la disminución de los valores obtenidos tanto en el horario diurno, como en el nocturno. Este monitoreo fue realizado el día domingo 23 de febrero, jornada en la que

ninguna actividad se lleva a cabo dentro de las instalaciones de la planta; permitiendo comparar las condiciones de la zona de influencia respecto al parámetro en estudio.

El menor valor de nivel equivalente obtenido durante el día fue de 42,54 dB en la zona de bodegas y de 39,85 dB frente al horno durante la noche; por el contrario, los máximos valores llegan a 56,11 dB durante el día y 50,54 dB durante la noche. Sin embargo, para aclarar los resultados obtenidos durante esta etapa de la investigación, es preciso considerar que, durante la jornada no laboral en el horario diurno, en las instalaciones de la Batería Santa Clara propiedad de Ecopetrol se llevaron a cabo una serie de actividades operativas, mientras se realizaba el monitoreo.

En las figuras 43 y 44 se puede ver que, en cuanto a la comparación con la norma de niveles máximos permisibles estipulados en la resolución 627 de 2006, los niveles de ruido ambiental emitidos por la planta de incineración durante el período evaluado no los superó, cumpliendo con los estándares.



**Figura 43.** Monitoreo de ruido durante jornada no laboral en horario diurno



**Figura 44.** Monitoreo de ruido durante jornada no laboral en horario nocturno

### 4.3.3 Evaluación del impacto ambiental proveniente de la fuente emisora

Para realizar esta estimación se calcula la diferencia entre los niveles máximos permisibles establecidos y los resultados que se obtuvieron durante los monitoreos en cada una de las jornadas y horarios, esta diferencia se compara con los rangos de importancia convenidos en la metodología propuesta por Muriel y Cortés (2008).

En la tabla 29 se puede verificar el rango de variación entre los valores adquiridos durante la jornada laboral en horario diurno y lo establecido como máximo por la normatividad.

**Tabla 29.** Comparativo de niveles de ruido durante jornada laboral en horario diurno

Puntos	$L_{aeq}(dB)=dB \text{ real}$	dB Norma
1	60,40	75
2	60,50	75
3	59,70	75
4	55,95	75
5	69,83	75
6	67,17	75
7	57,56	75
8	53,48	75
9	66,11	75
10	64,03	75

En la figura 45, se ve reflejado el cumplimiento para el periodo monitoreado, de la normatividad en los diferentes puntos, realizados en la jornada laboral durante el horario diurno, el punto de nivel más alto se encuentra 5,17 dB por debajo de los límites máximos y el punto con menor nivel equivalente está a 21,52 dB de lo estipulado.



**Figura 45.** Comparativo de niveles de ruido durante jornada laboral en horario diurno.

La tabla 30, resume las diferencias calculadas y presenta la determinación de nivel bajo para la evaluación del impacto en esta sección del estudio:

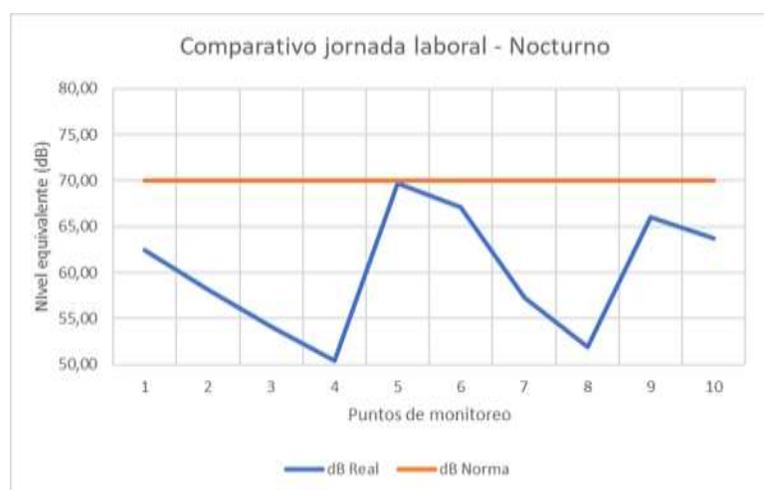
**Tabla 30.** Evaluación del impacto durante jornada laboral en horario diurno

Puntos	$L_{aeq}(dB)=dB\ real$	dB Norma	dB real - dB norma	Eval. de impacto
1	60,4	75	-14,6	Bajo
2	60,5	75	-14,5	Bajo
3	59,7	75	-15,3	Bajo
4	55,95	75	-19,05	Bajo
5	69,83	75	-5,17	Bajo
6	67,17	75	-7,83	Bajo
7	57,56	75	-17,44	Bajo
8	53,48	75	-21,52	Bajo
9	66,11	75	-8,89	Bajo
10	64,03	75	-10,97	Bajo

Durante la jornada laboral nocturna se evidencian comportamientos aleatorios en los valores registrados por el sonómetro en los puntos seleccionados, referenciados en la tabla 31 y figura 46.

**Tabla 31.** Comparativo de niveles de ruido durante jornada laboral en horario nocturno

Puntos	<i>Laeq</i> (dB)=dB real	dB Norma
1	62,43	70
2	58,21	70
3	54,11	70
4	50,38	70
5	69,74	70
6	67,11	70
7	57,26	70
8	51,87	70
9	66,04	70
10	63,75	70



**Figura 46.** Comparativo de niveles de ruido durante jornada laboral en horario nocturno

Considerando que la normatividad establece para el horario nocturno un nivel máximo permisible de 70 dB, se observó que el punto 5 de monitoreo se encuentra muy cercano a dicho rango, ya que el valor registrado es de 69,74 dB, es necesario entonces recordar que el punto se ubicó a menos de 10 metros de distancia de la fuente emisora. Sin embargo, en la tabla 32 se

especificó que, durante esta medición, no se incumplió en ninguno de los puntos con lo señalado en la norma y el impacto ambiental generado sigue siendo bajo.

**Tabla 32.** Evaluación del impacto durante jornada laboral en horario nocturno

<b>Puntos</b>	<b><i>Laeq(dB)=dB real</i></b>	<b>dB Norma</b>	<b>dB real - dB norma</b>	<b>Eval. de impacto</b>
<b>1</b>	62,43	70	-7,57	Bajo
<b>2</b>	58,21	70	-11,79	Bajo
<b>3</b>	54,11	70	-15,89	Bajo
<b>4</b>	50,38	70	-19,62	Bajo
<b>5</b>	69,74	70	-0,26	Bajo
<b>6</b>	67,11	70	-2,89	Bajo
<b>7</b>	57,26	70	-12,74	Bajo
<b>8</b>	51,87	70	-18,13	Bajo
<b>9</b>	66,04	70	-3,96	Bajo
<b>10</b>	63,75	70	-6,25	Bajo

De forma evidente los resultados de nivel equivalente de ruido ambiental medidos durante la jornada no laboral son menores a los que registra el equipo en la jornada anterior, como se puede ver en la tabla 33, el valor más alto es de 56,11 dB y el más bajo es de 42,54 dB. Al comparar con la norma se estableció una diferencia de más de 20 dB en todos los puntos de monitoreo.

**Tabla 33.** Comparativo de niveles de ruido durante jornada no laboral en horario diurno

<b>Puntos</b>	<b><i>Laeq(dB)=dB real</i></b>	<b>dB Norma</b>
<b>1</b>	49,10	75
<b>2</b>	50,71	75
<b>3</b>	48,51	75
<b>4</b>	48,15	75
<b>5</b>	48,42	75
<b>6</b>	48,69	75
<b>7</b>	46,46	75
<b>8</b>	42,54	75
<b>9</b>	56,11	75
<b>10</b>	47,28	75

En la figura 47, se comprueba la distancia que hay entre los datos reales medidos en campo y la norma convenida en la Resolución 627 de 2006 del MAVDT.



**Figura 47.** Comparativo de niveles de ruido durante jornada no laboral en horario diurno

Recordando que para el horario diurno 75 dB es lo máximo permisible y haciendo la comparación con la norma se obtiene un resultado bajo en la evaluación del impacto ambiental, que queda registrado en la tabla 34.

**Tabla 34.** Evaluación del impacto durante jornada no laboral en horario diurno

Puntos	$L_{aeq}(dB)=dB\ real$	dB Norma	dB real - dB norma	Eval. de impacto
1	49,1	75	-25,9	Bajo
2	50,71	75	-24,29	Bajo
3	48,51	75	-26,49	Bajo
4	48,15	75	-26,85	Bajo
5	48,42	75	-26,58	Bajo
6	48,69	75	-26,31	Bajo
7	46,46	75	-28,54	Bajo
8	42,54	75	-32,46	Bajo
9	56,11	75	-18,89	Bajo
10	47,28	75	-27,72	Bajo

En la última etapa de monitoreo de ruido ambiental señalada en la tabla 35, realizada en un día domingo en horario nocturno, sin ninguna actividad dentro de la planta de incineración, los resultados obtenidos fueron los más bajos en promedio.

**Tabla 35.** Comparativo de niveles de ruido durante jornada no laboral en horario nocturno

Puntos	$L_{aeq}(dB)=dB \text{ real}$	dB Norma
1	50,54	70
2	49,64	70
3	47,13	70
4	41,76	70
5	50,00	70
6	39,85	70
7	44,13	70
8	42,18	70
9	41,94	70
10	40,68	70

Los niveles máximos obtenidos se acercan a los 51 dB, obteniéndose una diferencia de aproximadamente 20 dB por debajo de lo permitido, comportamiento que se plasmó en la figura 48. El punto 6 del monitoreo reportó una medición de 39,85 dB para esta etapa y es considerada como la respuesta más baja del estudio. En la tabla 36 se calculó el impacto ambiental generado por el ruido en este periodo de tiempo mostrando que el nivel sigue siendo bajo.

**Figura 48.** Comparativo de niveles de ruido durante jornada no laboral en horario nocturno

**Tabla 36.** Evaluación del impacto durante jornada no laboral horario nocturno

<b>Puntos</b>	<b><i>Laeq</i>(dB)=dB real</b>	<b>dB Norma</b>	<b>dB real - dB norma</b>	<b>Eval. de impacto</b>
<b>1</b>	50,54	70	-19,46	Bajo
<b>2</b>	49,64	70	-20,36	Bajo
<b>3</b>	47,13	70	-22,87	Bajo
<b>4</b>	41,76	70	-28,24	Bajo
<b>5</b>	50,00	70	-20,00	Bajo
<b>6</b>	39,85	70	-30,15	Bajo
<b>7</b>	44,13	70	-25,87	Bajo
<b>8</b>	42,18	70	-27,82	Bajo
<b>9</b>	41,94	70	-28,06	Bajo
<b>10</b>	40,68	70	-29,32	Bajo

#### 4.3.4 Mapas de ruido

En busca de representar de forma gráfica el comportamiento del ruido ambiental en la zona de influencia de la planta de incineración de residuos peligrosos de Serviambiental S.A. E.S.P. se elaboran los mapas de ruido con curvas isófonas para cada uno de las jornadas del estudio y en los diferentes horarios, utilizando el software Golden Surfer 13 y AutoCAD 2010, correlacionando la información de las carteras de campo con los planos locales e importando toda la información para poder escalar los resultados.

Los colores, la combinación de los mismos, el nivel de contornos y los rangos de los límites entre zonas están especificados en la Resolución 627 de 2006 del MAVDT.

En la figura 49, se puede observar que los rangos de variación se encuentran entre 55 dB y 70 dB durante el día, por lo cual el mapa toma una coloración naranja, cinabrio en los puntos 3 y 4 que son los más distanciados de la fuente y carmín en los puntos 5 y 6 debido a que no hay más de 20 metros de distancia entre la fuente emisora y los mismos.

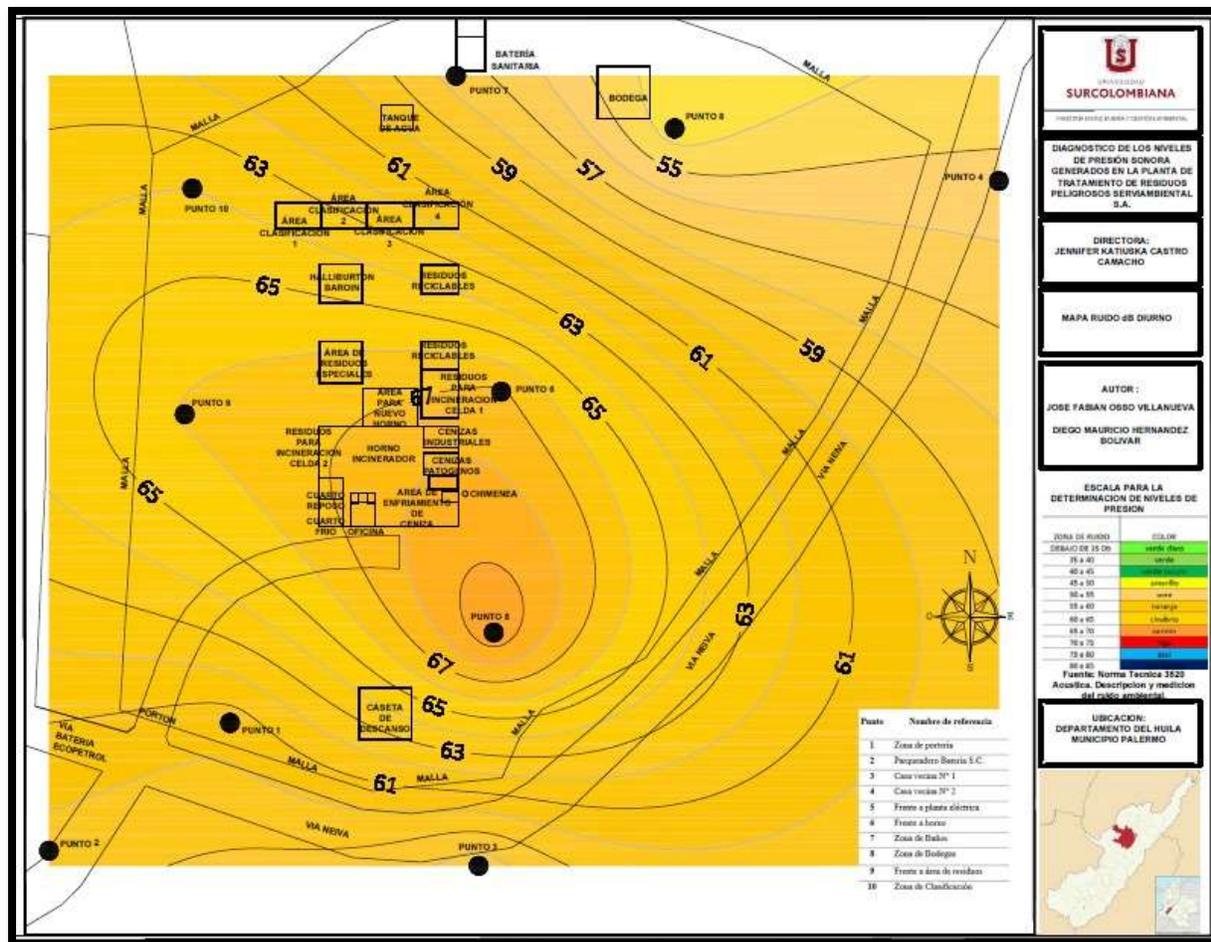


Figura 49. Mapa de ruido ambiental, jornada laboral horario diurno

Mientras tanto, las tonalidades ocre son identificables en los puntos 4 y 8 ya que los niveles están entre 50 dB y 55 dB ubicándose cercanos a las casas vecinas de la planta; tonalidades cinabrio y carmín para los niveles equivalentes más altos cercanos a los 70 dB, registrados en los puntos contiguos a la fuente de emisión específicamente puntos 5, 6, 9 y 10, durante la noche como se puede ver en la figura 50, lo cual confirma el cumplimiento de los niveles anteriormente mencionados por parte de la empresa en sus actividades operativas.

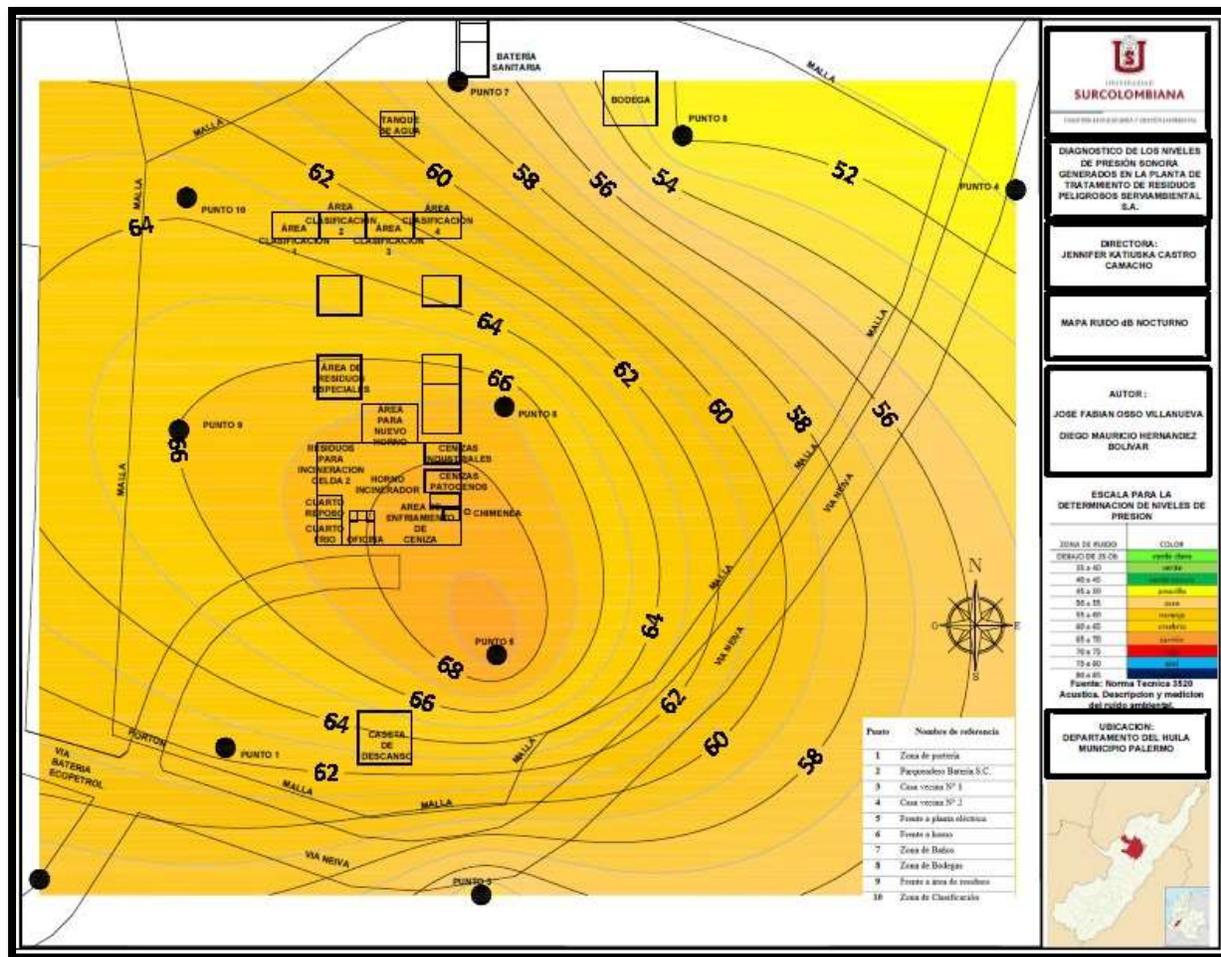


Figura 50. Mapa de ruido ambiental, jornada laboral horario nocturno

Con el propósito de realizar una comparación de los niveles de ruido ambiental que se presentan en la zona de influencia de la planta durante una jornada laboral y una jornada no laboral, se presentan las siguientes figuras 51 y 52, los cuales representan los mapas de los niveles equivalentes obtenidos el día domingo 23 de febrero de 2020. Para esta etapa del monitoreo no se realiza ninguna actividad por parte de la empresa y las condiciones climatológicas fueron estables.

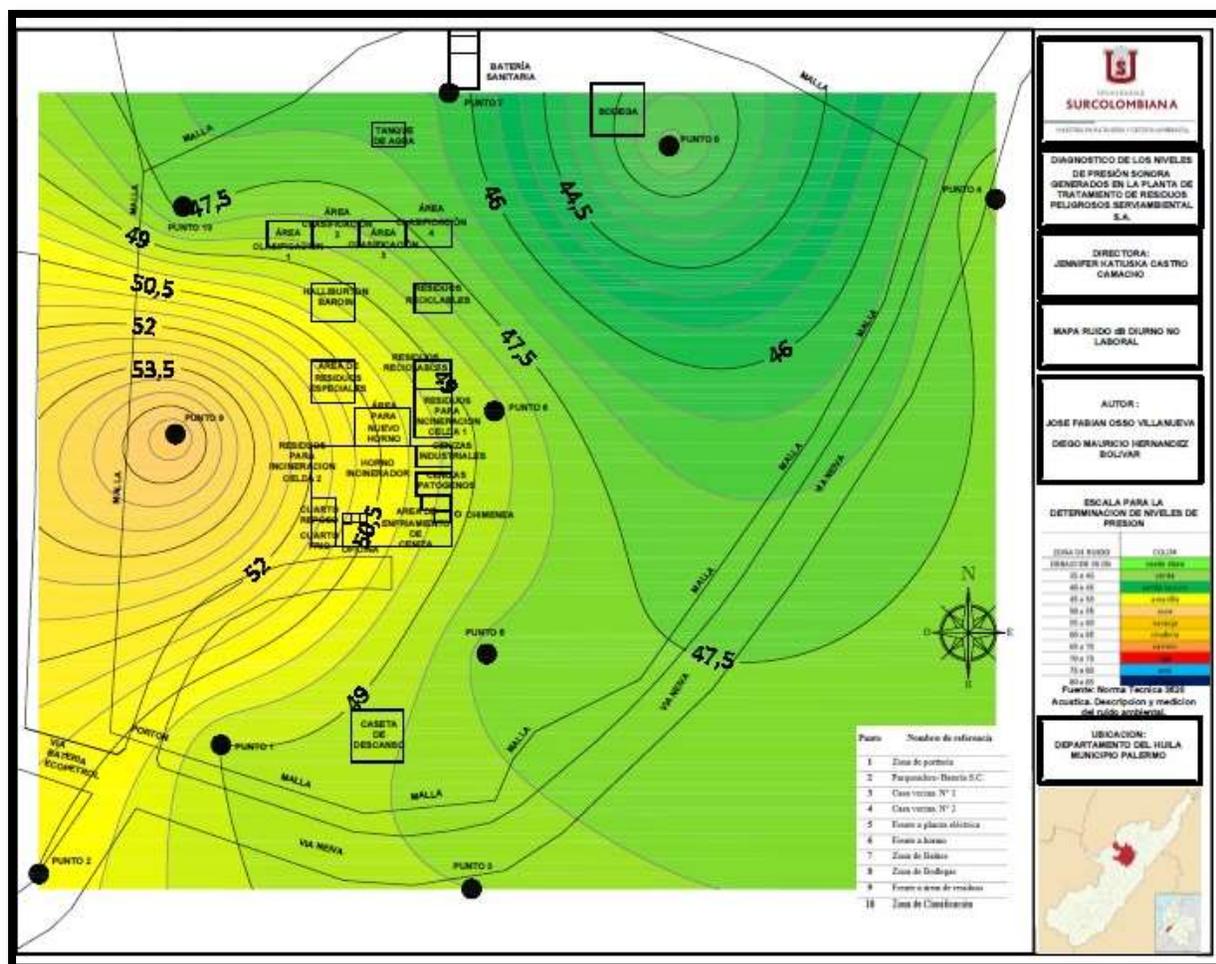


Figura 51. Mapa de ruido ambiental, jornada no laboral horario diurno

Durante esta etapa, se logró observar cómo los valores máximos obtenidos durante el proceso van aumentando al acercarse al punto 9 (56,11 dB), lugar denominado frente a área de residuos como referencia; es aquí donde corresponde recordar que las operaciones de la Batería Santa Clara de Ecopetrol alteran los valores que registra el sonómetro. Esta alteración se muestra en el comportamiento de los colores para los puntos 1 y 2 que también son afectados, obtenido registro de niveles equivalentes cercanos a los 50 dB.

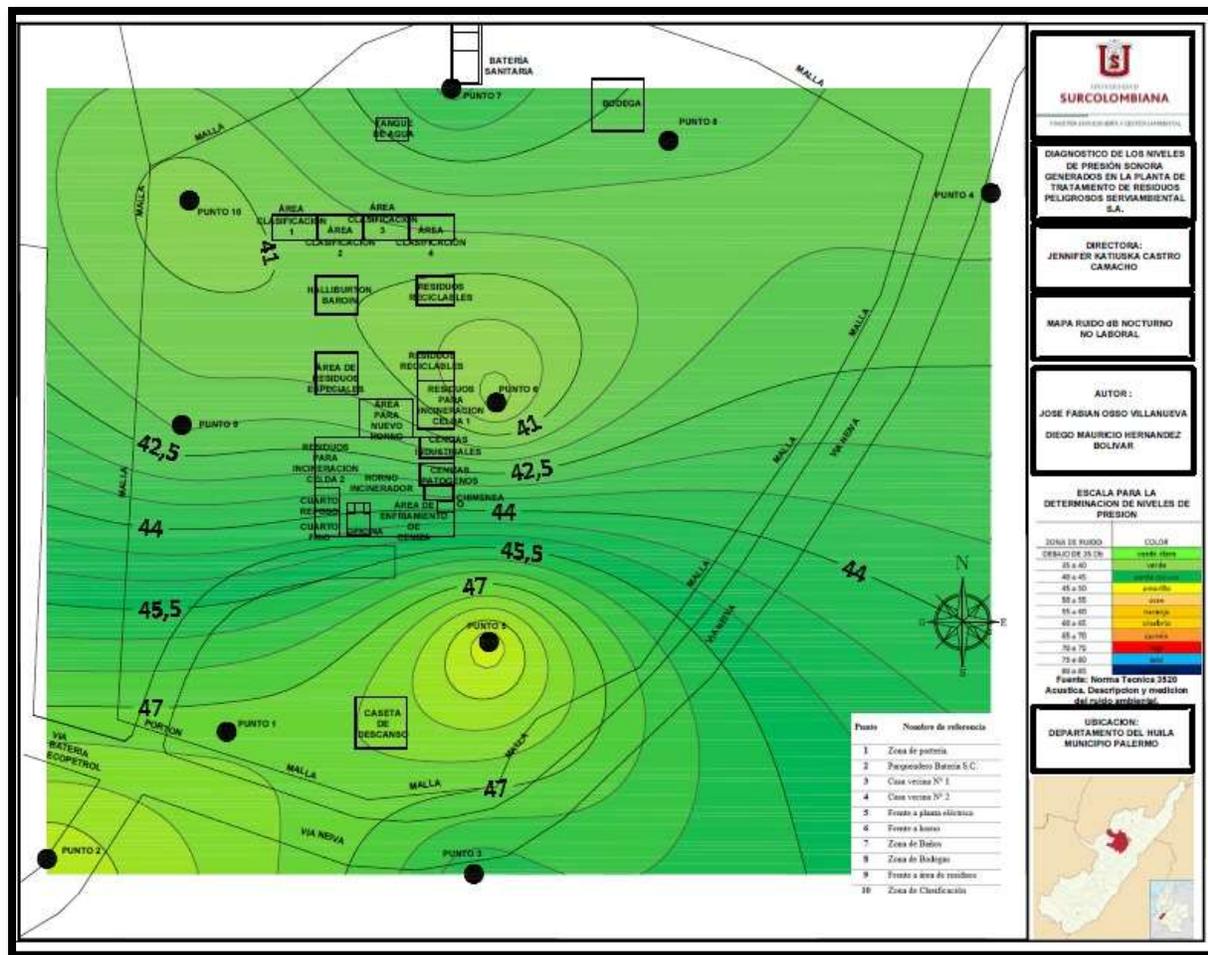


Figura 52. Mapa de ruido ambiental, jornada no laboral horario nocturno

En este caso último caso, la figura permite ver como los niveles de ruido han disminuido de forma notoria, las escalas registradas son para valores entre los 40 dB y 55 dB máximos, por lo tanto, las tonalidades usadas son verdes oscuros y un mínimo de amarillo al acercarse a la fuente.

#### 4.4 Evaluación de la percepción y grado de afectación en la población de estudio

##### 4.4.1 Tamaño de la muestra

Para la investigación, se definió un tamaño de muestra igual a la población relacionada en la zona de influencia de la planta de incineración; Serviambiental cuenta con 15 trabajadores que

laboran en las distintas jornadas, los cuales participaron del proceso; el número de familias que habitan en el sector son 10 y se seleccionó una persona por cada grupo familiar que los represente, para un total de 25 encuestados.

#### 4.4.2 Aplicación y tabulación del instrumento de percepción de ruido ambiental

Para determinar los niveles de percepción sonora de los residentes del área de influencia directa, se utilizó un instrumento de medición compuesto por 50 preguntas, elaboradas bajo los estándares de confiabilidad y validez. En el anexo A podemos encontrar la encuesta diseñada por Castro, Olaya y Cerquera (2019), aplicada para el objeto del estudio.

Luego de verificar la pertinencia y aceptación del instrumento se aplicó a las personas directamente afectadas. Asimismo, por seguridad de las personas encuestadas, no se registraron datos personales, tales como: nombres, identificación, dirección de residencia o de trabajo, sumado a la firma del consentimiento informado sobre los fines académicos con los que se elabora este estudio.

La tabulación se llevó a cabo con el software Microsoft Excel y se validó con la ayuda del coeficiente de Alfa de Cronbach, calculado usando los valores obtenidos de las varianzas y el número de preguntas así:

$$\sum S_i^2 = 40,81 \qquad \sum S_i^2 = 402,55 \qquad k = 50$$

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación 4 se obtiene:

$$\alpha = \left[ \frac{50}{50 - 1} \right] * \left[ 1 - \frac{40.81}{402.55} \right] = 0.9169$$

El valor obtenido como coeficiente denota una **alta confiabilidad** según los criterios expuestos por Cristopher (2007) citado por Castro, Cerquera y Escobar (2015).

#### 4.4.3 Identificación de los encuestados

La mayor parte de la población encuestada es mayor a 51 años de edad, solo el 4% se encuentra en un rango de edad entre 16 y 21 años; la participación masculina en la encuesta fue de 68% del total de los encuestados, además de evidenciar que el grado de escolaridad más recurrente es secundaria, 52%; los sitios de aplicación del instrumento fueron proporcionales las características poblacionales del encuestado, utilizando comúnmente un rango de tiempo de 16 a 20 minutos para la respectiva lectura y diligenciamiento de la encuesta.

#### 4.4.4 Diagnóstico general

El 72% de la población encuestada expresó la afectación por el ruido generado en la planta, considerando que el lunes es el día de mayor emisión de ruido con un 40%, el horario diurno el de mayor incidencia con un 80%; además, como resultado se halló que la población seleccionó las fábricas como la mayor fuente de ruido, considerando que la empresa y en específico la planta realiza actividades de este tipo. Hasta la fecha son pocas las personas (28%) las que manifiestan presentar problemas de salud a causa del ruido y aquellos que lo han sufrido, piensan que el dolor de cabeza y el aumento del estrés están representadas como las patologías más comunes.

#### 4.4.5 Evaluación de la percepción del ruido y el grado de afectación por ruido ambiental

Siguiendo la metodología planteada por el instrumento, las preguntas usadas cuentan con una escala de valoración, que permitió su interpretación y su equivalencia numérica requerida en los análisis estadísticos, la cual se referenció en la tabla 37 de la siguiente manera:

**Tabla 37.** Escala de valoración y equivalencia numérica

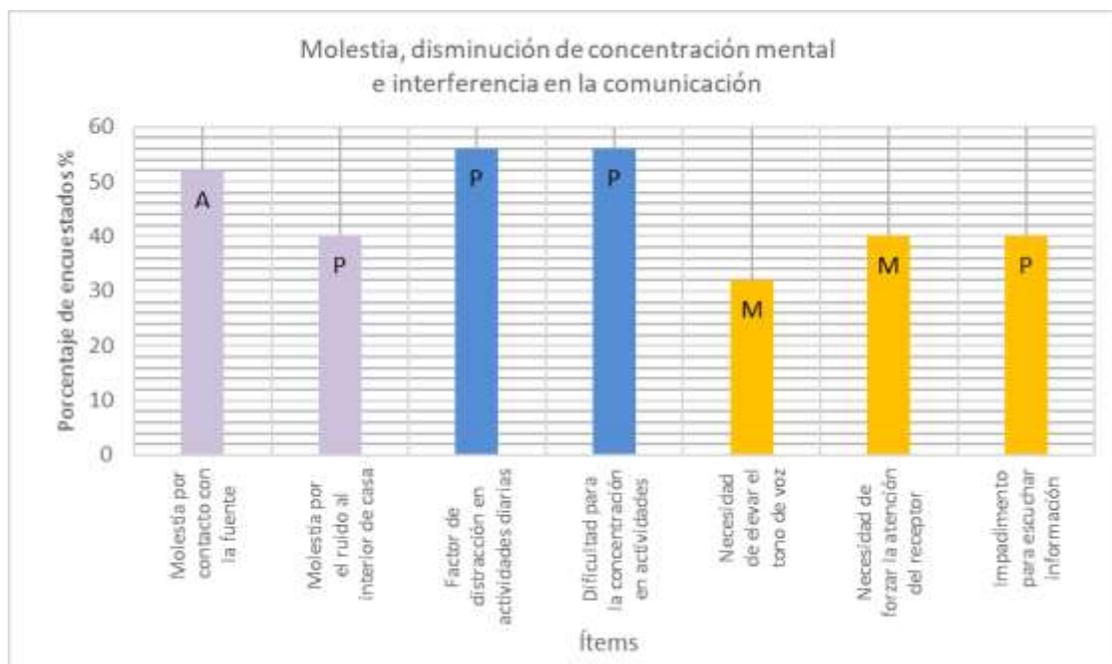
<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Equivalencia</b>
<b>N</b>	Nada	1
<b>P</b>	Poco	2
<b>A</b>	Aceptable	3
<b>M</b>	Mucho	4
<b>I</b>	Intolerable	5

En la figura 53 se pudo identificar las características del ruido percibido por la comunidad encuestada, en la que se consideró por un 44% como aceptable el nivel de las variaciones de ruido durante el día y en la noche 40% pensó que este no varía nada, el 48% de las personas percibieron pocos ruidos de impacto y el 36% creyeron que son pocos los ruidos combinados en la zona. En cuanto al nivel de intensidad de ruido el 56% de la comunidad opinó que es aceptable, además, la constancia y continuidad del ruido durante las operaciones de la fuente se percibió como aceptable por el 52% de ellos.



**Figura 53.** Características del ruido percibido

Al realizar la evaluación de la molestia apreciada por el contacto con la fuente emisora, la disminución de la concentración mental y la interferencia en la comunicación los resultados fueron los expuestos en la figura 54.



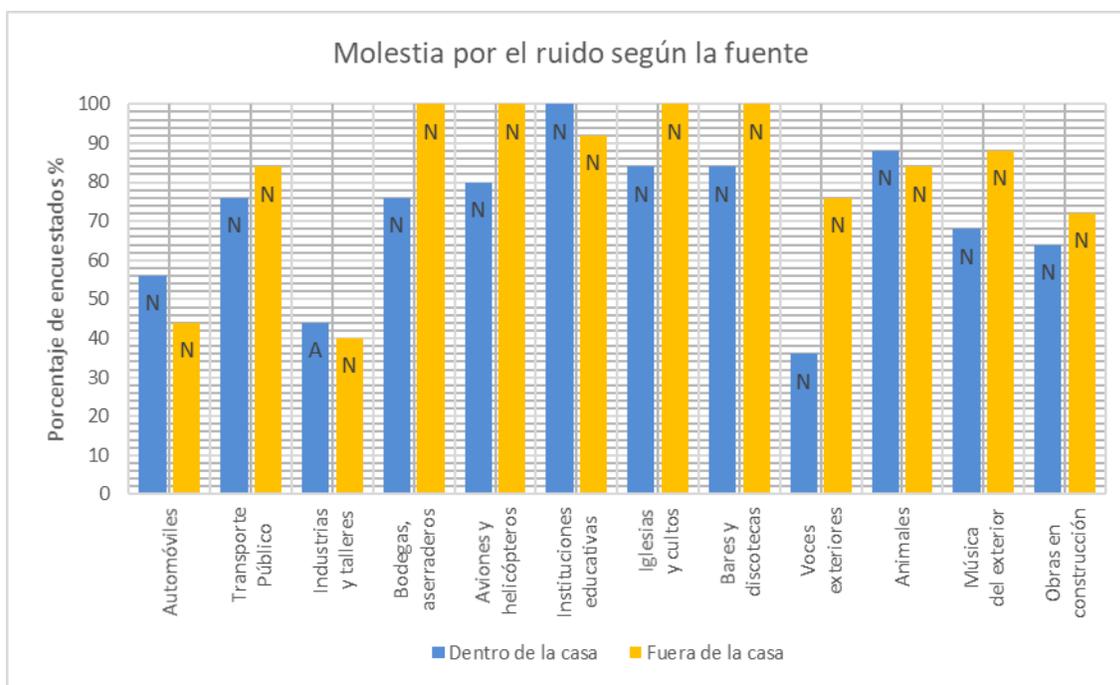
**Figura 54.** Molestia, disminución de concentración e interferencia en la comunicación

Según los parámetros evaluados, el grado de molestia por estar en contacto con la fuente por parte del 52% de la población es aceptable y para el 40% de los habitantes en el momento en que se encuentran al interior de la casa, la molestia apreciada es poca.

El 56% señaló que el ruido genera poca distracción importante y además que la concentración mental requerida para sus actividades se afectó poco por el ruido emitido. Al medir la interferencia en la comunicación verbal, el 32% de los encuestados consideraron que deben alzar mucho la voz para darse a entender, el 40% pensó que el ruido conlleva a hacer mucho esfuerzo para entender una conversación y otro 40% que se requiere poco esfuerzo para escuchar alguna información acústica relevante o los mensajes por megafonía.

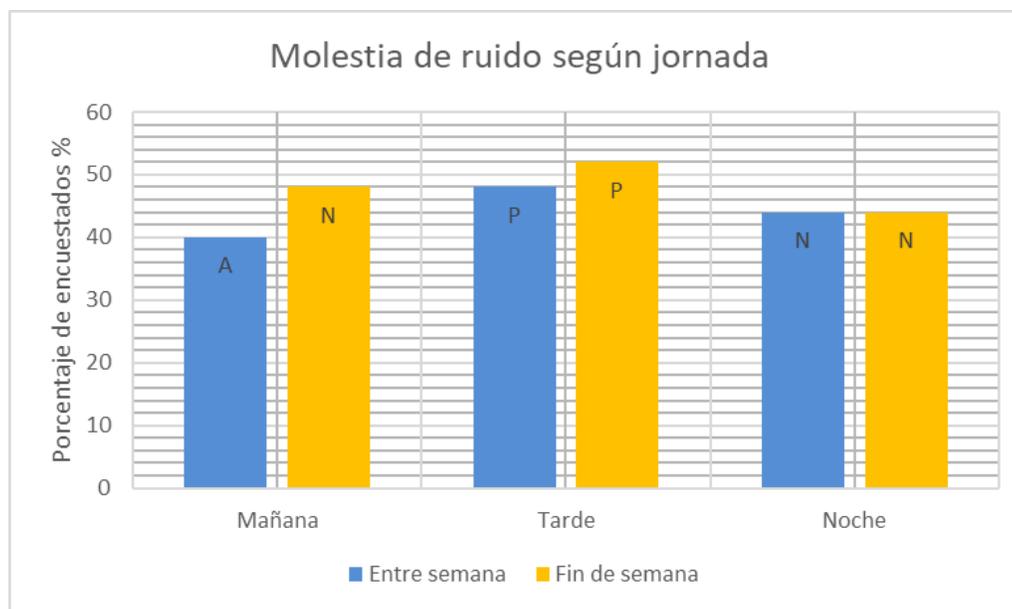
Se hace imprescindible para poder analizar la figura 55 recordar las condiciones de la población encuestada y sus características principales. Como se observa es muy alto el porcentaje de la población que considera que las fuentes como automóviles, bares, iglesias, instituciones educativas

y demás no ocasionan ningún tipo de molestia estando dentro o fuera de la casa y de la planta. En esta vereda, el contacto con este tipo de fuentes es nulo y sólo se puede observar una obra en construcción, la planta de incineración y la batería Santa Clara cercanas a la zona de influencia; por estos motivos el único resultado que difiere de la percepción general es el que señala que el 44% de la población cree que las industrias y talleres generan una molestia aceptable.



**Figura 55. Molestia por el ruido según la fuente**

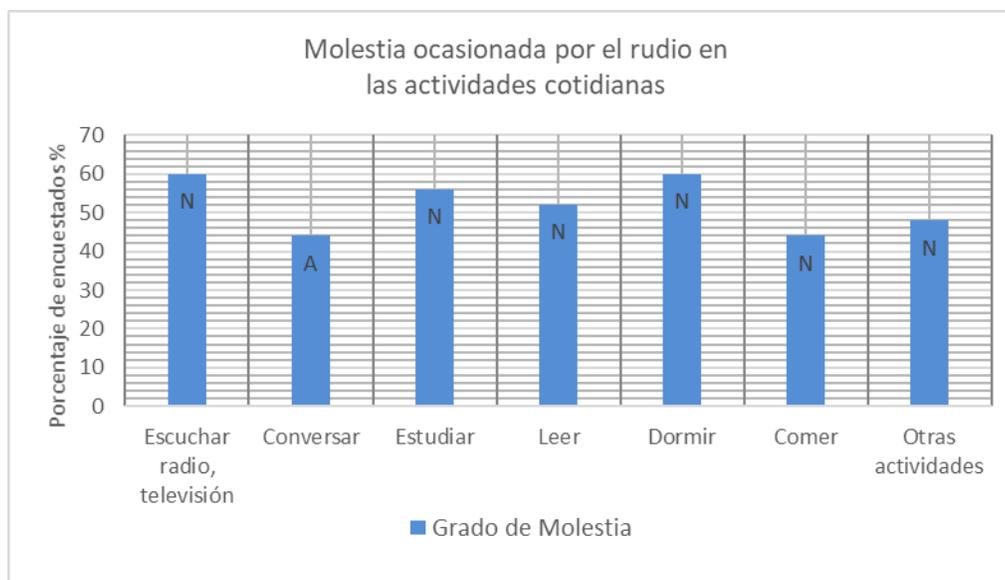
La figura 56 plantea los porcentajes de la población que sienten molestia por el ruido emitido por la fuente durante la semana y los fines de semana por separado, en tres horarios distintos:



**Figura 56.** Molestia a causa de ruido durante la semana y el fin de semana en distinto horario

Al analizar los resultados se encontró que el 40% de la población valoró como aceptable el ruido emitido en la mañana durante la semana y para un 48% fue nulo en este mismo horario el fin de semana; en horas de la tarde, ya sea entre semana o fines de semana, la molestia por el ruido fue poca según el 48% y 52% de los encuestados respectivamente; ahora bien, en la noche el 44% siente que la molestia durante las jornadas fue nula sin importar el día.

Así mismo, en la figura 57 se muestra el comportamiento de la molestia ocasionada por el ruido producido en la fuente, en los habitantes y trabajadores de la planta, al realizar algunas actividades cotidianas.



**Figura 57.** Molestia de ruido en las actividades diarias

De forma general la población no siente molestia por el ruido emitido por la planta de incineración de residuos cuando realizan actividades cotidianas como las consultadas. En su gran mayoría responden que sus actividades no se ven afectadas por los niveles registrados durante la operación. Sin embargo, cuando se desea conversar consideraron la molestia aceptable.

## 5 Conclusiones

Las concentraciones de material particulado  $PM_{10}$  emitido por parte de la fuente en estudio, en la totalidad de los muestreos fue menor que los niveles máximos permisibles del contaminante estipulados en la Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, evidenciándose que las actividades desarrolladas en la planta de incineración, por la empresa SERVIAMBIENTAL S.A. E.S.P. cumplen con los estándares requeridos.

Se comprobó que los niveles de ruido emitidos por la planta de incineración se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles para ruido ambiental en zona industrial (Categoría C), acordados en la Resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, demostrándose su adecuada operación.

Aunque las concentraciones de material particulado menor o igual a  $10 \mu m$  determinados fueron menores a los establecidos en la norma de calidad de aire ambiente, existe una diferencia en los niveles emitidos durante la etapa de muestreo en la cual la planta de incineración se encontraba encendida, que pueden ser considerados por la planta para futuras estrategias de control.

El impacto ambiental ocasionado por el ruido emitido cuando la planta de incineración de residuos peligrosos se encuentra activa se catalogó como bajo, considerando que los niveles no superaron los estipulados por la normatividad en ninguna de las etapas del monitoreo y las diferencias de nivel equivalente calculadas fueron negativas.

## 6 Referencias Bibliográficas

Brüel y Kjær Sound & Vibration Measurement A/S. (2000). Ruido Ambiental. Consultado el 20 de Abril de 2019, disponible en: <https://www.bksv.com/media/doc/br1630.pdf>

Cabrera, J., Oyola, F., (2019). Evaluación de los niveles de presión sonora en la Comuna 8 de la ciudad de Neiva, Huila.

Castro Y. (2018) Informe de tratamiento de incineración de residuos peligrosos. Serviambiental S.A. E.S.P.

Castro, J.K, Cerquera, N.E y Escobar, F.H. 2015. Model of economic value for the desertification process of the “Tatacoa Dessert”. Journal Of Engineering And Applied Sciences ISSN: 1819-6608 ed: v.10 fasc.8, Pakistán, p. 6

Castro, Olaya y Cerquera. (2019). Guía metodológica fase experimental del seminario. Universidad Surcolombiana. Neiva

Charry, G., Hernández, F., (2019) Evaluación del cumplimiento Normativo de los niveles de presión sonora en la Comuna Seis de la ciudad de Neiva, Huila.

Conpes, D. (2005). 3344. Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire.

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM]. (2011). Niveles de ruido ambiental en la zona microcentro del municipio de Neiva-Huila. Consultado el 20 de abril de 2019, disponible en <https://www.cam.gov.co/aire/category/126-emisi%C3%B3n-de-ruido.html?download=534:informe-niveles-de-ruido-ambiental-en-el-microcentro-de-neiva>

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena [CAM]. (2017). Mapas de ruido ambiental para sus áreas críticas prioritarias y el plan de descontaminación por ruido del municipio de Neiva, de conformidad con lo establecido en la resolución N° 627 del 2006.

Cuellar, A., Pinto, W., (2019). Monitoreo de los niveles de presión sonora en la Comuna Cuatro de la ciudad de Neiva, departamento del Huila.

Cuellar, Z., Díaz, K., y Taborda, Y. (2014). Niveles de ruido ambiental en la Universidad Surcolombiana (Sede Central). Entornos, (27), 26-35.

De Ambiente, V. (2010). Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire. Viceministerio de Ambiente, Bogotá.

De Colombia, Ley General Ambiental. "Ley 99 de 1993." Diario Oficial 41 (1993).

De Nevers, N., Pérez Castellanos, J. H. (1998). Ingeniería de control de la contaminación del aire (No. Sirsi) i9789701016824 TD883.

DE EUROPA, C. O. N. S. E. J. O. (2002). DIRECTIVA 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". (2007). Niveles de ruido protocolo. Laboratorio de condiciones de trabajo. Facultad ingeniería industrial. Edición 2007-1, p. 9.

Fernández-Patier R. Taller: Plomo y otros metales pesados, la atmósfera, Santiago de Chile de 28 Agosto 1997. Centro de documentación CONAMA.

Gaitán Lizcano, C. (2011). Monitoreo de la calidad del aire en el Parque Nacional Natural Nevado del Huila utilizando líquenes como bioindicadores en los sectores El Roble y Tarpeya. Corporación Universitaria del Huila, Corhuila. Facultad de Ingeniería Ambiental.

Gaitán, M., Cárdenas, P. (2017). Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.[Internet].

Godish T (1991). Air Quality. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan, second edition, 421 pp.

González, L., Soto, M., (2019). Determinación de los niveles de presión sonora en la Comuna Cinco "zona oriental" de la ciudad de Neiva, Huila.

González Moreno, C. (2006) Diagnóstico ambiental industrial de la zona urbana del municipio de Neiva.

Hernández A. M. (2013). Hoja metodológica del indicador Índice de Calidad del Aire - ICA (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 13p

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010 Bogotá, D. C., 2012. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. Diciembre de 2012, Bogotá D. C., Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM–. (2005). Protocolo para la vigilancia y seguimiento del módulo aire del sistema de información ambiental. Bogotá.

Matus, P., Lucero Ch, R. (2002). Norma primaria de calidad del aire. Revista chilena de enfermedades respiratorias, 18(2), 112-122.

Medina, F., Ninco, M., (2019). Evaluación de los niveles del sonido en el área de influencia del corredor vial del tramo norte terminal del sur en la ciudad de Neiva.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (7 de abril de 2006). Resolución 627 de 2006. Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Bogotá D.C. DO: 46239

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (05 de junio de 2008). Resolución 909 de 2008. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (24 de junio de 2008). Resolución 910 de 2008. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones. Bogotá D.C. DO: 47030

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial –MAVDT–. (2010). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire (2010). Resolución 610.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (01 de noviembre de 2017). Resolución 2254 de 2017. Por el cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.

Ministerio de Desarrollo Económico. Resolución 1096 de 17 de noviembre de 2000. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS.

Ministerio de Salud. (04 de agosto de 1983). Resolución 8321 de 1983. Por la cual se dictan normas sobre Protección y conservación de la Audición de la Salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos.

Muriel, C.M y Cortés Y. (2008). Diagnóstico de los niveles de presión sonora en la localidad La Candelaria de la ciudad de Bogotá D.C., mediante la aplicación de la metodología establecida en la resolución 0627 de 2006, trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero ambiental y sanitario. Universidad de La Salle, Bogotá D.C., p. 182

Ortiz Montealegre, C. L., y Gómez Ramírez, R. A. (2016). Diagnóstico del Monitoreo de calidad del aire, realizado en la planta terminal, ubicada en la vereda el venado (Neiva-Huila)

Pérez, L; Hernández, L. (2006). Determinación de metales pesados en partículas respirables e identificación de fuentes de emisión, a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá D.C., Universidad de La Salle.

Presidencia de la República de Colombia. (26 de mayo de 2015). Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá D.C. DO: 49523

Presidencia de la República de Colombia. (18 de diciembre de 1974). Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Bogotá D.C. DO: 34243

Puentes, Natalia. (2017). Determinación de las concentraciones de metales pesados (Pb, Cu, Fe y Cr) e identificación de las fuentes de emisión en el área de influencia de la zona industrial del municipio de Palermo. (Neiva).

Quintero, C., Soto, F., (2019). Diagnóstico de los niveles de presión sonora generados en la Comuna Dos “zona nororiental” en la ciudad de Neiva, Huila.

Rojas, E., Zamora, J., (2019). Determinación de los niveles de presión sonora generados en la Comuna Uno “zona noroccidental” en la ciudad de Neiva Huila.

Sandoval, I., Parra, N., (2019). Niveles de presión sonora en la Comuna Nueve de la ciudad de Neiva

Serrano Rojas, M. L. (2006). Diseño de la red de evaluación y seguimiento de la calidad del aire para la ciudad de Neiva-Huila.

Silva, L., Perdomo, A., (2019). Medición de los niveles de presión sonora previstos para la Comuna Tres “zona entre ríos” en la ciudad de Neiva, Huila.

Suarez, K., Rojas, F., (2019). Caracterización de los niveles de presión sonora de las fuentes en la Comuna Siete de la ciudad de Neiva, Huila.

Taboada, D. B. (2007). Efectos del Ruido sobre la Salud. Documento: [http://www.juristasruidos.org/Documentacion/Ruido\\_y\\_Salud.pdf](http://www.juristasruidos.org/Documentacion/Ruido_y_Salud.pdf).

Tisch Environmental, Inc. (2006). Operations Manual, Particulate Matter 10 Microns and less High Volume Air Sampler, based on U.S. EPA Federal Reference Number RFPS-0202-141. 2006.

## ANEXO A

### INSTRUMENTO DE MEDICIÓN NIVELES DE PERCEPCIÓN SONORA

#### 1. Identificación del entrevistado

- 1.1 Edad \_\_\_\_\_
- 1.2 Género Femenino ( ) Masculino ( )
- 1.3 Último grado cursado: Sin escolaridad ( ) Primaria ( ) Secundaria ( )  
Profesional ( ) Postgrado ( )
- 1.4 Jefe del hogar Si ( ) No ( )

#### 2. Diagnóstico general

- 2.1 ¿Se considera afectado por el ruido que se genera en el sector? Si ( ) No ( )
- 2.2 ¿Qué día de la semana considera que se emite mayor ruido en este sector?  
\_\_\_\_\_
- 2.3 ¿En qué horario se presenta mayor ruido? Diurno ( ) Nocturno ( )
- 2.4 ¿Existe alguna fuente emisora de ruido en el sector? Si ( ) No ( )
- 2.5 Si su respuesta en 2.4 es “Si”, Seleccione de las siguientes la principal fuente emisora de ruido
- Bar o discoteca \_\_\_ Obra en construcción \_\_\_ Fábricas \_\_\_
- Institución educativa \_\_\_ Alto tráfico vehicular \_\_\_ Actividades comercio \_\_\_
- Otro \_\_, ¿Cuál? \_\_\_\_\_
- 2.6 ¿Se le han presentado problemas de salud por causa del ruido? Si ( ) No ( )
- 2.7 Si su respuesta en 2.6 es “Si”, ¿Qué tipo de problema ha sufrido?
- Dolor de cabeza \_\_\_ Estrés \_\_\_ Falta de concentración \_\_\_ Pérdida auditiva \_\_\_
- Alteración en patrones del sueño \_\_\_ Otro \_\_, ¿Cuál? \_\_\_\_\_

### 3. Evaluación de la percepción y el grado de afectación de los niveles de presión sonora

A continuación, se presentan cada uno de los sets de preguntas, por favor responder sinceramente, teniendo en cuenta la escala de valoración que se muestra en el cuadro 1:

**Cuadro 1.** Escala de valoración

Valor	Descripción
1	Nada
2	Poco
3	Aceptable
4	Mucho
5	Intolerable

<b>1. Características del ruido percibido</b>	
1.1 Nivel de variaciones del ruido a lo largo del día	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
1.2 Nivel de variaciones del ruido a lo largo de la noche	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
1.3 Grado de existencia de ruidos de impactos (golpes) que puedan sobresaltar a las personas	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
1.4 Existencia de varios tipos de ruidos combinados	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
1.5 Nivel de intensidad del ruido predominante	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
1.6 Constancia y continuidad del nivel de ruido en la cotidianidad	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

<b>2. Molestia apreciada por contacto con fuente emisora</b>	
2.1 Grado de molestia de la persona entrevistada por contacto con la fuente emisora del ruido.	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
2.2 Cuando se encuentra en el interior de su oficina o salón, ¿Cuánto le molesta el ruido de su institución?	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

<b>3. Disminución de concentración mental</b>	
3.1 El ruido existente constituye un factor de distracción importante en el desarrollo de las actividades diarias.	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
3.2 El ruido le dificulta la concentración mental requerida en las actividades diarias.	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

<b>4. Interferencia en la comunicación verbal</b>	
4.1 ¿Es necesario elevar el tono de voz para hacerse entender en el desarrollo de sus actividades diarias?	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
4.2 ¿Es necesario forzar la atención del receptor a la distancia habitual de trabajo para que resulte entendible una conversación mantenida con un tono de voz cómodo para el emisor?	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
4.3 ¿Los niveles de ruido impiden escuchar información acústica relevante o entender mensajes por megafonía?	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

#### **4. Fuentes de ruido y su afectación sobre actividades cotidianas**

<b>1. Cuando está dentro de lugar de trabajo, ¿Cuánto le molesta el ruido proveniente de las siguientes fuentes?</b>	
1. Automóviles	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
2. Transporte público	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
3. Industria y talleres	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
4. Bodegas, aserraderos	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
5. Aviones y helicópteros	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
6. Instituciones educativas: Universidad, Colegios y Jardines infantiles	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
7. Iglesias y lugares de culto	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
8. Bares y discotecas	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
9. Voces exteriores	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
10. Animales	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
11. Música provenientes del exterior	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
12. Obras en construcción	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

<b>2. Cuando está fuera de su lugar de trabajo, por ejemplo en el patio, jardín, otros ¿Cuánto le molesta el ruido proveniente de las siguientes fuentes?</b>	
1. Automóviles	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
2. Transporte público	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
3. Industria y talleres	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
4. Bodegas, aserraderos	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
5. Aviones y helicópteros	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
6. Instituciones educativas: Universidad, Colegios y Jardines infantiles	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
7. Iglesias y lugares de culto	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
8. Bares y discotecas	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
9. Voces exteriores	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
10. Animales	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
11. Música provenientes del exterior	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
12. Obras en construcción	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

**3. Cuando se encuentra dentro o fuera de su lugar de trabajo, durante la semana ¿Cuánto le molesta el ruido de su institución, en la siguiente jornada?**

1. Mañana	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
2. Tarde	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
3. Noche	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

**4. Cuando se encuentra dentro o fuera de su lugar de trabajo, durante el fin de semana ¿Cuánto le molesta el ruido de su institución, en la siguiente jornada?**

1. Mañana	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
2. Tarde	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
3. Noche	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

**5. Cuando se encuentra dentro o fuera de su lugar de trabajo y considerando las siguientes actividades ¿Cuánto le molesta el ruido de su institución para realizarlas?**

1. Escuchar radio, televisión	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
2. Conversar	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
3. Estudiar	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
4. Leer	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
5. Dormir	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
6. Comer	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>
7. Otras actividades	1 <input type="radio"/> 2 <input type="radio"/> 3 <input type="radio"/> 4 <input type="radio"/> 5 <input type="radio"/>

**Observaciones**

--

**NOTA:** Esta información suministrada será utilizada sólo con fines académicos, sin ninguna otra intención.

**Gracias por su colaboración**