

Monitoreo integral de la calidad del aire y de emisiones en múltiples puntos de Colombia para la elaboración de informes técnicos en la empresa “Especialistas en Ingeniería, Medio Ambiente y Servicios S.A.S.”

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental

**Oliver Upegui Graciano
Estudiante**

**Asesor
Luz Bibiana Moscoso Marín
Ingeniera forestal**

**Unilasallista Corporación Universitaria
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Ambiental
Caldas, Antioquia
2025**

Contenido

Resumen	7
Introducción	9
Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	11
Justificación	12
Marco Teórico	13
Revisión de Literatura	13
Marco Contextual	16
Marco Legal	18
Normatividad para la Calidad del Aire	18
Normatividad para Ruido	21
Marco Conceptual	25
Actividades a Desarrollar	31
Metodología	32
Métodos	32
Monitoreo de la Calidad del Aire	32
Medición de Ruido Ambiental	39
Medición de Emisión de Ruido	44
Medición de Partículas Viables	48
Proyecto GEI-ROE	51
Materiales y Equipos	54
Software	54
Equipos	55
Formatos	56
Cronograma	57
Actividades Desarrolladas	58
Monitoreos de la Calidad del Aire	58
Informes de Calidad del Aire	61
Informes de Ruido Ambiental	67
Informes de Emisión de Ruido	69
Informes de Medición de Partículas Viables	71
Proyecto GEI-ROE	74
Otras Actividades Realizadas	81
Conclusiones	82
Referencias	84

Lista de Tablas

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio Res. 610 de 2010...	19
Tabla 2. Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio Res. 2254 de 2017.	20
Tabla 3. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, expresados en decibeles dB(A). Res 0627 de 2006.....	23
Tabla 4. Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles dB(A). Res 0627 de 2006.....	24
Tabla 5. Cronograma de actividades.....	57

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Punto de monitoreo de la calidad del aire.....	59
Ilustración 2. Formato para equipos de bajo volumen.....	60
Ilustración 3. Formato para equipos de alto volumen.....	60
Ilustración 4. Bitácora de campo	61
Ilustración 5. Ejemplo de rosa de los vientos.	62
Ilustración 6. Pestaña de datos de formato de informes de calidad del aire.	63
Ilustración 7. Pestaña de resultados de formato de informes de calidad del aire.....	64
Ilustración 8. Gráfica de resultados de formato de informes de calidad del aire.	64
Ilustración 9. Ejemplo de tabla para determinación de superación de norma.	66
Ilustración 10. Ejemplo de gráfico comparativo de un contaminante en los puntos monitoreados.	66
Ilustración 11. Ejemplo de tabla para la promediación y corrección de mediciones.....	68
Ilustración 12. Ejemplo de tabla comparativa de medición con norma colombiana.	69
Ilustración 13. Ejemplo de tabla de mediciones con correcciones para emisión de ruido.	70
Ilustración 14. Ejemplo de tabla de resultados para emisión de ruido.	71
Ilustración 15. Ejemplo de tabla de condiciones meteorológicas y horarios de medición de las muestras.....	72
Ilustración 16. Ejemplo de tabla de resultados de concentraciones de partículas viables.	73
Ilustración 17. Ejemplo de gráfico de concentraciones de partículas viables.....	73

Ilustración 18. Ejemplo de tabla comparativa de concentraciones de partículas viables.	74
Ilustración 19. Guías para el cálculo de la huella de carbono del IPCC.	76
Ilustración 20. Ejemplo de tabla de factores de emisión del IPCC.	78
Ilustración 21. Ejemplo de tabla para el cálculo de las emisiones de GEI.....	79
Ilustración 22. Ejemplo de tabla de resultados de emisiones de GEI.....	79

Lista de Anexos

- Matriz general para cálculo de GEI
- Guía de uso

Resumen

Parte de las responsabilidades legales que tienen las empresas es monitorear determinados tipos de contaminación que puedan generar, sea esta atmosférica o auditiva. En este proyecto, se evidenció cuáles fueron los métodos, las herramientas, las normativas y otros aspectos comprendidos durante el desarrollo de la práctica empresarial para determinar el desempeño en el cumplimiento de la norma de calidad de aire, la de emisión de ruido y la de ruido ambiental, por parte de las entidades contratantes, a la par que también se analizó la presencia de partículas viables al crecimiento microbiano dentro de ciertos estudios y la emisión de gases de efecto invernadero.

Para medir la calidad del aire, se deben realizar monitoreos de ciertos contaminantes como material particulado y gases potencialmente nocivos. Además de ello, para medir el ruido presente en el ambiente, se utilizan mediciones de ruido ambiental, mientras que si se quiere identificar cuanto ruido produce una fuente en específico, se usan mediciones de emisión de ruido. Ahora, cuando se requiere identificar la presencia de organismos microbiológicos en el aire, se utilizan muestreos de partículas viables, que permiten estimar la presencia de organismos como bacterias y hongos en el aire.

Otra de las actividades comprendidas dentro de este proyecto, es el desarrollo de una serie de herramientas para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero, usadas para facilitar el proceso de cálculo de estas, como también dar cumplimiento a una nueva responsabilidad normativa que comprometerá a ciertas entidades a reportar sus emisiones (Congreso de la República de Colombia, 2022).

Palabras Clave: Calidad del aire, contaminación atmosférica, gases de efecto invernadero (GEI), material particulado (PM10, PM2.5), ruido ambiental, emisión de ruido, huella de carbono, monitoreo ambiental, partículas viables, calentamiento global, contaminantes perjudiciales para la salud, ozono (O3), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO2), dióxido de nitrógeno (NO2), índice de calidad del aire (ICA).

Introducción

A lo largo de la historia, la humanidad ha buscado la mejora constante de su calidad de vida y a pesar de ello, era poca la prioridad que le daba a aspectos como la calidad del aire, ya que no se veían como relevantes en nuestro día a día. Sin embargo, fue con los recientes avances científicos que se pudo evidenciar que el aire que respiramos se podía deteriorar, que hay otras clases de daños que el ser humano puede experimentar y que nuestra atmósfera tiene una capacidad limitada para soportar los cambios que hacemos en ella.

Tras analizar esto, han surgido una gran cantidad de empresas que buscan contribuir con la identificación, cuantificación y la mitigación de las problemáticas que causan estos efectos climáticos y otros daños que se puedan dar sobre la población general. En este caso en particular, se analizarán los métodos de análisis normativamente certificados para medir el ruido, los gases y partículas perjudiciales para la salud humana y los gases perjudiciales para la atmosfera, ya que aumentan el efecto invernadero.

El proyecto desarrollado consiste de componentes no solo de trabajo en campo, sino también de verificación y estructuración de informes, además, de la investigación y creación de herramientas necesarias para el cálculo de gases de efecto invernadero, participando así en todos los procesos investigativos, tanto de recolección de datos, como del análisis y presentación de resultados de los mismos.

Este proyecto se desarrolló de una forma integral y está diseñado para abordar múltiples aspectos ambientales de manera exhaustiva, con el fin de evaluar los impactos

de las actividades antrópicas en el entorno. La evaluación abarca el monitoreo de la calidad del aire, la medición de ruido, la identificación de partículas viables en el aire, y el cálculo de la huella de carbono, cada uno con metodologías específicas para garantizar resultados precisos y cumplir con las normativas ambientales vigentes.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar y ejecutar monitoreos e informes ambientales para la empresa “Especialistas en Ingeniería, Medio Ambiente y Servicios S.A.S.” en múltiples ubicaciones dentro del territorio colombiano que permitan evaluar la calidad del aire y el nivel de ruido ambiental, así como desarrollar un programa para el control de emisiones de gases de efecto invernadero, para mejorar la gestión ambiental de las empresas y cumplir con los requerimientos normativos.

Objetivos Específicos

-Llevar a cabo monitoreos de calidad del aire y ruido en puntos específicos dentro del territorio colombiano, utilizando equipos especializados para medir PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, CO, y O₃, asegurando la obtención de datos precisos.

-Participar activamente en la elaboración de informes técnicos basados en los datos recolectados, que incluyan análisis detallados sobre la calidad del aire y las emisiones de ruido.

-Crear una herramienta para facilitar el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel empresarial.

Justificación

La creciente preocupación por el impacto ambiental de las actividades industriales y urbanas ha llevado a una mayor conciencia pública y regulatoria sobre la necesidad de prácticas sostenibles y responsables. Este enfoque ha generado una demanda significativa de servicios de monitoreo ambiental, ya que las empresas, organismos gubernamentales y la sociedad en general buscan herramientas precisas y confiables para evaluar y mitigar los efectos negativos de las actividades humanas sobre el entorno.

El monitoreo de la calidad del aire, el nivel de ruido y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se ha convertido en una necesidad imperiosa para garantizar que las operaciones industriales y urbanas no solo cumplan con las normativas ambientales vigentes, sino que también contribuyan a la preservación del medio ambiente y a la salud pública. La calidad del aire es un factor crítico que afecta la salud de las personas y el ecosistema, mientras que el control del ruido es esencial para prevenir problemas relacionados con el bienestar humano y la calidad de vida. Por otro lado, la reducción de las emisiones de GEI es fundamental para combatir el cambio climático y sus consecuencias globales.

Implementar un servicio de monitoreo ambiental preciso y confiable no solo ayuda a las empresas a cumplir con las regulaciones y estándares ambientales, sino que también les proporciona datos valiosos para la toma de decisiones estratégicas y la optimización de sus procesos. Este tipo de información permite a las empresas identificar áreas de mejora, implementar medidas correctivas y adoptar prácticas más sostenibles que minimicen su impacto ambiental.

Marco Teórico

Revisión de Literatura

Contaminación Atmosférica.

Actualmente se ha identificado una amplia variedad de contaminantes provenientes de químicos y sustancias, tanto de origen antrópico como de origen natural. Los contaminantes pueden ser gases, como el dióxido de nitrógeno, vapores dañinos o partículas diminutas de material sólido o líquido que se han suspendido en el aire (Farrow, 2021).

Contaminantes Perjudiciales para la Salud

Aunque existen muchos contaminantes potencialmente dañinos, la normativa colombiana prioriza ciertos contaminantes en específico que demuestran fuerte incidencia en la calidad del aire para la salud humana, los cuales serían, material particulado, CO, O₃, SO₂ y NO₂ (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017).

Partículas Viables.

Estas, tienen la capacidad de transportar organismos potencialmente perjudiciales por su microbiología (Vélez-Pereira, 2010).

- **Mesófilos.** Microorganismos que crecen mejor a temperaturas moderadas, típicamente entre 20°C y 45°C. Son relevantes en estudios de calidad del aire y en la evaluación de ambientes contaminados (Lira Gómez, 2023).

- **Mohos.** Tipo de hongo que crece en ambientes húmedos y que puede estar presente en el aire. Los mohos pueden afectar la salud respiratoria y la calidad del aire interior (U.S. Environmental Protection Agency, 2015).

- **Levaduras.** Conjunto diverso de hongos, por lo general microscópicos y unicelulares, capaces de iniciar los procesos de descomposición (fermentación) de distintas sustancias orgánicas, particularmente los azúcares y los carbohidratos (Ondarse Álvarez, 2024).

Material Particulado.

Este tipo de contaminación se surge de pequeñas partículas sólidas suspendidas en la atmósfera, se describen de acuerdo con el tamaño de las partículas y son independientes de la sustancia química de la que se conforman (Farrow, 2021).

- **PM_{2.5}.** Partículas que tienen menos de 2.5 micrómetros de diámetro. (Farrow, 2021)

- **PM₁₀.** Partículas que tienen menos de 10 micrómetros de diámetro. (Farrow, 2021)

Ozono.

Se argumenta que, “El ozono a nivel del suelo es un contaminante gaseoso que se forma en la atmósfera cuando reaccionan otros contaminantes como el NO₂ y los COV” (Farrow, 2021).

Monóxido de Carbono.

Gas originado durante procesos de combustión que, a su vez, puede provocar grandes afectaciones a la salud humana en caso de exposiciones a altas concentraciones (Rebaza, 2021).

Dióxido de Azufre.

Farrow define, “Contaminante del aire gaseoso producido por la quema de combustible que contiene azufre” (Farrow, 2021).

Dióxido de Nitrógeno.

Farrow la define como “Un contaminante atmosférico gaseoso producido por todos los procesos de combustión, incluido el uso de combustibles fósiles en vehículos y centrales eléctricas” (Farrow, 2021).

Gases de Efecto Invernadero.

Son gases que, por sus características químicas, son capaces de atrapar el calor que llega a la atmósfera (U.S. Environmental Protection Agency, s.f.).

Calentamiento Global. Es el aumento generalizado de la temperatura global (U.S. Environmental Protection Agency, s.f.).

Contaminación Acústica.

Se define como el nivel de ruido que puede generar molestias o afecciones a la salud en una población o en el medio ambiente (Limaylla Cruz, 2021).

Problemáticas por Ruido en Colombia.

Escobar nos explica que “En Colombia, según estimaciones realizadas en 2016, el 17% de la población presentaba problemas de audición, con una marcada tendencia al incremento en los grupos etarios de 19-26 años y de 6-9 años. Entre el grupo de 25-50 años, la prevalencia de pérdida de la audición fue del 14%, y solo 3 de cada 10 personas recurrían a la ayuda de un especialista en el tema” (Escobar Castro, 2021).

Ruido Ambiental

Son los niveles de ruido naturales que se encuentran en un ambiente determinado (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

Emisión de Ruido.

Es la generación de presión sonora por parte de una fuente en un área definida (Limaylla Cruz, 2021).

Marco Contextual

Especialistas en Ingeniería y Servicios S.A.S. es una empresa fundada por un ingeniero ambiental, especialista en salud ocupacional y un administrador ambiental especialista en ingeniería ambiental y en salud ocupacional, el 13 de enero de 2011. La empresa, desde sus inicios, ha tenido el propósito de dar respuestas a las diversas necesidades ambientales de la sociedad actual, teniendo como pilares, la ética profesional y la garantía para sus clientes de tener los máximos estándares de calidad en sus servicios.

Actualmente, se encuentra ubicada en el barrio Belén de Medellín, Antioquia, y está acreditada por el IDEAM para producir información cuantitativa, física y química para los estudios o análisis requeridos por las autoridades ambientales competentes, relacionada con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

Entre los servicios que ofrece actualmente la empresa, están: evaluación de la calidad del aire, evaluación de emisión de contaminantes, evaluación de emisión de ruido, evaluación de ruido ambiental, evaluación de olores ofensivos, gestión y asesorías

ambientales, modelación de contaminantes atmosféricos, modelación y mapas de ruido, y análisis gravimétricos (Especialistas en Ingeniería, Medio Ambiente y Servicios S.A.S, 2022).

Nombre de la empresa: Especialistas en Ingeniería, Medio Ambiente y Servicios S.A.S.

Teléfono: (57) (604) 589 66 15.

NIT de la empresa: 900407026 – 4.

Dirección: Carrera 66 D N° 32 B - 24 Medellín – Antioquia.

Correo electrónico: info@especialistas.net.co

Acreditación IDEAM: Resolución 1601 del 23 de diciembre de 2021.

Misión: Somos una empresa confiable y eficiente que brinda servicios de ingeniería ambiental; y realiza ensayos con calidad y tecnología, integrando una gestión técnica eficiente con un equipo humano comprometido y calificado para la satisfacción de nuestros clientes.

Visión: Ser en el año 2024 una empresa líder a nivel nacional en servicios de monitoreos atmosféricos, satisfaciendo las necesidades de nuestros clientes, de la sociedad y la protección y conservación del ambiente (Especialistas en Ingeniería, Medio Ambiente y Servicios S.A.S, 2022).

Marco Legal

Normatividad para la Calidad del Aire

Ley 23 de 1973: Por medio de esta ley se establece el control de la contaminación del medio ambiente y se establecen alternativas y estrategias para la conservación y recuperación de los recursos naturales, para la salud y el bienestar de la población (Colombia, Congreso de la República, 1973).

Decreto Ley 2811 de 1974: Código nacional de los recursos naturales y de protección al medio ambiente (Colombia, Congreso de la República, 1974).

Ley 99 de 1993: Mediante esta ley se logra concretar en un solo documento las normas y principios que antes de esta ley carecían de coherencia en el control y formulación de políticas ambientales a nivel Nacional. En ella se destacan los siguientes aspectos:

- Define y establece los fundamentos de la política ambiental colombiana.
- Define la obligatoriedad de obtener licencia ambiental para ejecutar proyectos, obras o actividades que puedan causar daño al medio ambiente.
- Crea el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MMA, y los institutos de investigación, organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y redefine funciones para las corporaciones de desarrollo existentes y crea las corporaciones autónomas regionales.
- Permite la participación ciudadana en el proceso de otorgamiento de la Licencia Ambiental (Colombia, Congreso de la República, 1993).

Decreto 948 de 1995: Protección y control de la calidad del aire. Reglamenta la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente, 1995).

Resolución 601 de 2006: Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

Resolución 610 de 2010: Por la cual se modifica la resolución 601 del 4 de abril de 2006 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Artículo 4. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio. En la Tabla 1 se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio, los cuales se calculan con el promedio geométrico para PST y promedio aritmético para los demás contaminantes. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Tabla 1.

Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio Res. 610 de 2010.

Contaminante	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{M}^3$)	Tiempo De Exposición
PM₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM_{2,5}	25	Anual
	50	24 horas
SO₂	80	Anual
	250	24 horas
	750	3 horas
NO₂	100	Anual
	150	24 horas
	200	1 hora
O₃	80	8 horas
	120	1 hora

Contaminante	Nivel Máximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{M}^3$)	Tiempo De Exposición
CO	10.000	8 horas
	40.000	1 hora

Fuente: Res. 610 de 2010.

Resolución 2254 de 2017: Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.

“Artículo 2 Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio. Se establecen los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio que regirán a partir del primero de enero de 2018” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017).

Tabla 2.

Niveles máximos permisibles de contaminantes criterio Res. 2254 de 2017.

Contaminante	Nivel Maximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{M}^3$)	Tiempo De Exposición
PM ₁₀	50	Anual
	100	24 horas
PM _{2,5}	25	Anual
	50	24 horas
SO ₂	50	24 horas
	100	1 hora
NO ₂	60	Anual
	200	1 hora
O ₃	100	8 horas
CO	5000	8 horas

Contaminante	Nivel Maximo Permissible ($\mu\text{g}/\text{M}^3$)	Tiempo De Exposición
	35000	1 hora

Fuente: Res. 2254 de 2017.

Parágrafo 1 A partir del 1 de julio de 2018, los niveles máximos permisibles de PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$ para un tiempo de exposición de 24 horas, serán de $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente.

Artículo 26 Vigencia y derogatoria. La presente resolución rige a partir del 1 de enero de 2018, fecha en la cual se derogan la Resolución 601 de 2006 y la Resolución 610 de 2010, el anexo 2 “Procedimiento de cálculo para determinación de área-fuente” del manual de diseño de sistemas de vigilancia del aire y los números 7.6.7 “Índice de calidad de aire”, 7.3.1.1. “Manejo y presentación de las variables de calidad del aire” y 7.3.2.8. “Comparación de los valores de concentración con la norma” del manual de operación de sistemas de vigilancia de calidad del aire del protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire adoptado por la Resolución 650 de 2010 y ajustado por la Resolución 2154 de 2010. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017)

Normatividad para Ruido

Resolución 0627 de 2006: Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.

“Artículo 17. Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental: En la **Tabla 3** de la presente resolución, se establecen los estándares

máximos permisibles de niveles de ruido ambiental expresados en decibeles ponderados A (dB(A))." (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006)

Tabla 3.

Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental, expresados en decibeles dB(A). Res 0627 de 2006.

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre		
Sector C. Ruido intermedio restringido	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
	Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado	Residencial suburbana.	55
Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.			
Zonas de recreación y descanso, como parques y reservas naturales.			

Fuente: Res 0627 de 2006.

“Artículo 9. Estándares máximos permisibles de emisión de ruido: En la **Tabla 4** de la presente resolución se establecen los estándares máximos permisibles de

niveles de emisión de ruido expresados en decibeles ponderados A (dB(A)).” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006)

Tabla 4.

Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido expresados en decibeles dB(A). Res 0627 de 2006

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	50
Sector B. Tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	55
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. ruido intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	75
	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	60
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre.	80	75
Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado	Residencial suburbana.	55	50
	Rural habitada destinada a explotación agropecuaria.		
	Zonas de recreación y descanso, como parques y reservas naturales.		

Fuente: Res 0627 de 2006.

Marco Conceptual

- Agar: sustancia gelatinosa obtenida de ciertas algas rojas, utilizada comúnmente como un agente solidificante en medios de cultivo microbiológicos. Se utiliza para proporcionar una superficie sólida en la que los microorganismos puedan crecer, permitiendo la observación de sus colonias y facilitando la separación y aislamiento de diferentes tipos de organismos (Madigan, Martinko, Bender, Buckley, & Stahl, 2018).
- Alcances: Forma de categorización de las emisiones de gases de efecto invernadero (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2014).
- Calibración: Proceso de ajustar y verificar la precisión de un instrumento de medición comparándolo con un estándar conocido. Es crucial para asegurar que las mediciones sean precisas y consistentes (National Institute of Standards and Technology (NIST), 2018).
- Ciclón: Dispositivo utilizado para separar partículas del aire por fuerza centrífuga. Es común en el muestreo de material particulado (U.S. Environmental Protection Agency, 2004).
- CO₂ equivalente (CO₂ eq): Unidad universal de medida que indica el potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de los 6 gases efecto invernadero, expresado en términos del PCG de una unidad de dióxido de carbono. Se utiliza

para evaluar la liberación de diferentes GEI contra un común denominador (Superintendencia de Sociedades, 2021).

- Condiciones estándar/referencia: Condiciones establecidas bajo las cuales se realizan mediciones y pruebas para garantizar la consistencia y la comparación entre resultados. Para este informe, se refiere a condiciones de presión y temperatura de 760 mmHg y 25 °C respectivamente (International Union of Pure and Applied Chemistry, 2014).
- Emisor: Fuente o dispositivo que libera contaminantes al medio ambiente (U.S. Environmental Protection Agency, s.f.).
- Equipos de alto volumen: Dispositivos diseñados para muestrear grandes volúmenes de aire en relativamente poco tiempo (caudal entre 1,02 m³/min a 1,24 m³/min), utilizados principalmente en estudios de contaminación del aire para recolectar material particulado en grandes cantidades (Tisch Environmental, s.f.).
- Equipos de bajo volumen: Dispositivos diseñados para muestrear menores volúmenes de aire en un tiempo determinado (caudal de 16,7 L/min), adecuados para estudios de alta resolución espacial o para análisis en situaciones donde el flujo de aire es limitado (Tisch Environmental, s.f.).
- Factor de emisión: Valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión del contaminante (Unidad de Planeación Minero Energética, 2023).

- Frecuencia: En una función periódica en el tiempo, es el número de ciclos realizados en la unidad de tiempo ($f = c/s$). La frecuencia es la inversa del período. La unidad es el Hertzio (Hz) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).
- Gases de efecto invernadero (GEI): Son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación infrarroja (Unidad de Planeación Minero Energética, s.f.).
- Horario diurno: Tiempo comprendido entre las 7:01 a las 21:00 horas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).
- Horario nocturno: Tiempo comprendida entre las 21:01 a las 7:00 horas (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).
- Impulsividad: Característica de un ruido que tiene un aumento brusco de intensidad en un corto período de tiempo (Olate, 2002).
- Incertidumbre: La duda o variabilidad en la medida de una cantidad que resulta de la precisión del proceso de medición. Se expresa comúnmente como un intervalo dentro del cual se espera que se encuentre el valor verdadero (International Organization for Standardization (ISO), 2020).
- Incertidumbre expandida: Intervalo de incertidumbre que se obtiene al multiplicar la incertidumbre combinada por un factor de cobertura, proporcionando un intervalo dentro del cual se espera que se encuentre el valor verdadero con un

alto nivel de confianza (International Organization for Standardization (ISO), 2020).

- Índice de calidad del aire (ICA): Valor numérico que representa la calidad del aire en un área específica, basado en la concentración de contaminantes. Se utiliza para informar al público sobre la salud del aire (AirNow, 2023).
- Intensidad: Potencia con la que se emite un sonido. Se expresa en decibeles (dB) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).
- IPCC: Órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change, s.f.).
- Lectura directa: Método de medición en el que el valor de una magnitud se obtiene directamente del instrumento de medición sin necesidad de cálculos adicionales (American National Standards Institute (ANSI), (2014)).
- Levaduras: Conjunto diverso de hongos, por lo general microscópicos y unicelulares, capaces de iniciar los procesos de descomposición (fermentación) de distintas sustancias orgánicas, particularmente los azúcares y los carbohidratos (Ondarse Álvarez, 2024).
- Límite de exposición: Nivel máximo de concentración de un contaminante al que una persona puede estar expuesta durante un período específico sin sufrir efectos adversos para la salud (Occupational Safety and Health Administration, 2023).

- Material particulado (PM₁₀ PM_{2.5} y demás): Partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire con un diámetro aerodinámico determinado. En este informe en específico, los diámetros principales trabajados son de 10 micrómetros (PM₁₀), 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) (U.S. Environmental Protection Agency, 2021).
- Medio de cultivo: mezcla de nutrientes y condiciones adecuadas que se utiliza en microbiología y biotecnología para el crecimiento y mantenimiento de microorganismos, células o tejidos en un entorno controlado (Madigan, Martinko, Bender, Buckley, & Stahl, 2018).
- Mesófilos: Microorganismos que crecen mejor a temperaturas moderadas, típicamente entre 20°C y 45°C. Son relevantes en estudios de calidad del aire y en la evaluación de ambientes contaminados (Lira Gómez, 2023).
- Meteorología: Ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos y sus efectos en el clima y el tiempo. Incluye el análisis de variables como temperatura, presión, humedad, precipitación, dirección y velocidad del viento (National Weather Service, s.f.).
- Mohos: Tipo de hongo que crece en ambientes húmedos y que puede estar presente en el aire. Los mohos pueden afectar la salud respiratoria y la calidad del aire interior (U.S. Environmental Protection Agency, 2015).
- International Organization for Standardization (ISO): Organización responsable de crear los estándares internacionales para la gestión de procesos y la creación de productos (International Organization for Standardization, s.f.).

- Partículas viables: Partículas que se mueven en el aire y que pueden contener uno o más microorganismos (Differkinome, s.f.).
- Receptor: Entidad que recibe y puede verse afectado por los contaminantes emitidos al medio ambiente (U.S. Environmental Protection Agency, s.f.).
- Ruido ambiental: Nivel de presión sonora dado en un sector en específico (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).
- Ruido: Sonido no deseado que puede causar molestias o daños a la salud humana y al medio ambiente (World Health Organization, 2021).
- Tonalidad: Cualidad de los sonidos, dependiente de su frecuencia, que permite ordenarlos de graves a agudos (Real Academia Española, s.f.).
- Unidades formadoras de colonias (UFC): Medida utilizada para contar el número de colonias de microorganismos en una muestra. Se emplea para evaluar la contaminación biológica en el aire y otros ambientes (Erika Sánchez Femat, 2017).

Actividades a Desarrollar

- Monitoreos de la calidad del aire.
- Apoyo en la elaboración de informes de calidad del aire.
- Monitoreos de emisión de ruido y ruido ambiental.
- Apoyo en la elaboración de informes de emisión de ruido e informes de ruido ambiental.
- Creación de herramienta para el cálculo de la generación de gases de efecto invernadero a nivel empresarial.
- Otras funciones adicionales relacionadas a los servicios prestados por la empresa.

Metodología

Métodos

Monitoreo de la Calidad del Aire

Para realizar un sistema de monitoreo de la calidad del aire ambiental, hay que considerar primeramente las condiciones y los contaminantes que se deben tener en cuenta para el monitoreo, para ello a su vez, se debe tener en cuenta 2 documentos principales, el primero es la resolución 2254 de 2017, la cual nos indica los contaminantes a monitorear y los niveles máximos permisibles de estos, y manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, el cual nos indica las condiciones con las que se debe dar el monitoreo con el fin de cumplir con los mayores criterios de calidad y precisión para los datos resultantes.

Teniendo en cuenta esto, el monitoreo debe registrar un mínimo de 18 muestras, de las cuales, cada una, debe tener una duración de 24 ± 1 horas, por lo cual el monitoreo dura generalmente un total de 18 días. Durante estos días se puede monitorear un total de 6 contaminantes, $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO, O₃, SO₂ y NO₂, todos en $\mu g/m^3$, sin embargo, los contaminantes a registrar se definirán según el proceso industrial. Cabe recalcar que, según las condiciones de la empresa o entidad contratante y según los requerimientos específicos que haya estipulado la autoridad ambiental, otros contaminantes podrían ser considerados dentro del monitoreo (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017).

En cada proyecto, la cantidad de puntos de monitoreo y su ubicación puede ser determinada según modelos de dispersión, inventarios de emisiones o una campaña de

monitoreo preliminar que ayude a identificar la dirección de los vientos aparente y los puntos críticos donde se presenta más contaminación o donde hay poblaciones afectadas en particular. Adicionalmente, para las distancias específicas de los equipos con su entorno y para otros parámetros importantes, se deberá tener en cuenta lo estipulado por el manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire, entre las características que nos estipula este manual, están la distancia a la que deben estar los equipos a los obstáculos cercanos y la altura a la que deben estar los equipos de material particulado sobre el suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Trabajo de Campo

Una vez teniendo los puntos y los contaminantes a medir, se procede con la instalación de los equipos de medición. Para el caso del material particulado, existen 4 equipos principales con los que se trabaja en la empresa, los cuales son, el Partisol (Partisol™ 2025i Sequential Air Sampler) el cual monitorea PM₁₀ o PM_{2.5}, el Hi-vol (Tisch Environmental's high volume air samplers) que monitorea PM₁₀, el PQ200 (BGI PQ200 Sampler) que monitorea PM₁₀ o PM_{2.5} y el PQ 100 (BGI PQ100 Sampler) que monitorea PM₁₀. Sin embargo, con el fin de garantizar la mayor eficiencia posible en el uso de los equipos, cuando en un punto se requiere monitorear PM₁₀ y PM_{2.5} se suelen instalar 2 equipos, ya sea un PQ 100 para PM₁₀ y un PQ200 para PM_{2.5} o ya sea un Hi-vol para PM₁₀ y un Partisol para PM_{2.5}.

Para la medición de los demás contaminantes, se utilizan equipos de lectura directa, más específicamente, para la medición de monóxido de carbono, se usa el

“Analyseur CO Thermo Scientific Model 48C”, para la medición de ozono, se usa el “Analyseur O3 Thermo Scientific Model 49C”, para la medición de dióxido de azufre, se usa el “Analyseur SO2 Thermo Scientific Model 43C” y para la medición de dióxido de nitrógeno, se usa el “Analyseur NO2 Thermo Scientific Model 42C”.

Cada proyecto debe contar con al menos una estación meteorológica que registre durante el tiempo de monitoreo datos como la temperatura, la precipitación, la dirección y velocidad del viento, entre otras variables, por lo que, generalmente se suele usar la estación meteorológica Davis modelo Vantage Pro 2 6162.

Una vez instalados los equipos, se procede con la calibración de los mismos, de modo que actúen lo más adecuadamente posible para las condiciones meteorológicas a las que se encuentra el ambiente en el que están ubicados los equipos y se inicia el monitoreo.

Durante el monitoreo, los equipos de lectura directa pueden funcionar de forma independiente, de modo que solo hay que bajar los datos recolectados una vez finalizado el muestreo, pero en ocasiones, hay que bajar los datos con cierta frecuencia dentro del tiempo de monitoreo. Para los equipos de material particulado, se deben reemplazar los filtros diariamente para completar las 18 muestras, y también, se debe llevar un formato de campo en el que se consignen datos como las horas a la que se retiran y ponen los filtros, el caudal de aire recolectado, la temperatura ambiental y la presión ambiental, junto con una bitácora por cada punto, en la que se caractericen los alrededores y se registren las novedades diarias.

Gravimetría

Los filtros recolectados deben ser almacenados cuidadosamente hasta el momento del pesaje, el cual se debe hacer un vez finalizado el muestreo, en unas condiciones ambientales controladas, específicamente a una humedad de entre 30 % y 40 % y a una temperatura de entre 20 °C y 23 °C. Los filtros, deben ser pesados antes y después del muestreo, y no deben tener una diferencia en temperatura al momento del pesaje de 2 °C. La diferencia resultante de los pesos junto con la incertidumbre de la medición, serán reportados para la consolidación del informe (U.S. Environmental Protection Agency, 2024).

Consolidación del Informe

Para la consolidación del informe, se efectuarán una serie de cálculos que permitirán hallar las concentraciones de los contaminantes monitoreados y la incertidumbre de estas, con ayuda de una hoja de cálculo habilitada para macros de Microsoft Excel.

Para el caso del material particulado, los cálculos dependerán de si el equipo trabaja con alto o bajo volumen y se realizarán de la siguiente manera:

Cálculos Material Particulado por Alto Volumen

- **Cálculo del caudal o rata de flujo a condiciones reales.** El caudal real promedio para el período de muestreo es determinado mediante la siguiente expresión (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008):

Para PM₁₀:

$$Q_a(\text{media}) = \left[IC_m * \left(\frac{T_a}{P_a} \right)^{0.5} - b \right] / m$$

Dónde:

Q_a (media): Tasa de flujo real promedio del muestreador a condiciones normales, m³/min.

Q_{ref} (media): Tasa de flujo real promedio del muestreador a condiciones de referencia, m³/min.

IC_m : Promedio de la lectura de la carta del registrador de flujo, CFM.

T_a : Temperatura ambiente promedio durante el período de muestreo, K.

P_a : Presión ambiente promedio durante el período de muestreo, mm Hg.

m : Pendiente de la relación de calibración del muestreador.

b : Intercepto de la relación de calibración del muestreador.

- **Cálculo del caudal o rata de flujo a condiciones de referencia.** Para calcular el caudal de aire a condiciones estándar para el periodo de muestreo utilice la siguiente ecuación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008):

$$Q_{ref} = Q_m * \left(\frac{P_a}{P_{ref}} \right) * \left(\frac{T_{ref}}{T_a} \right)$$

Dónde:

Q_{ref} : Caudal de aire muestreado a condiciones de referencia, m³/min.

Q_m : Caudal de aire muestreado a condiciones reales, m³/min.

P_a : Presión barométrica promedio durante el periodo de muestreo, mmHg.

T_a : Temperatura ambiente promedio durante el periodo de muestreo, K.

P_{ref} : Presión referencia, 760 mmHg.

T_{ref} : Temperatura referencia, 298.15 K.

- **Cálculo del volumen de aire muestreado a condiciones estándar.** El volumen de aire muestreado se calcula mediante el producto del caudal de aire muestreado

con el tiempo total de muestreo así (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008):

$$V_{ref} = Q_{ref} * t$$

Dónde:

- V_{ref} : Volumen total de aire muestreado a condiciones de referencia en m^3 .
 Q_{ref} : Caudal de aire muestreado a condiciones de referencia, m^3/min .
 t : Tiempo total de muestreo, min.

- **Cálculo de la concentración.** La concentración de PM_{10} es calculada a partir de la siguiente ecuación (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2008):

$$C_{PM_{10}} = \frac{(W_f - W_i) \pm (B_f - B_i)}{V_{ref}}$$

Dónde:

- $C_{PM_{10}}$: Concentración de PM_{10} , $\mu g/m^3$.
 W_f, W_i : Masa final e inicial del filtro de muestra, g.
 B_f, B_i : Masa final e inicial del filtro utilizado como blanco, g.
 V_{ref} : Volumen total de aire muestreado a condiciones de referencia en m^3 .

Cálculos Material Particulado por Bajo Volumen

- **Cálculo de la concentración PM_{10} .** La concentración de PM_{10} es calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$C_{PM10} = \frac{(W_f - W_i) \pm (B_f - B_i)}{V_{ref}}$$

Dónde:

C_{PM10} : Concentración de PM_{10} , $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

W_f, W_i : Masa final e inicial del filtro de muestra, g.

B_f, B_i : Masa final e inicial del filtro utilizado como blanco, g.

V_{ref} : Volumen total de aire muestreado a condiciones de referencia en m^3 .

- **Cálculo de la concentración $PM_{2.5}$.** La concentración de $PM_{2.5}$ es calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$C_{PM2.5} = \frac{(W_f - W_i) \pm (B_f - B_i)}{V_{ref}}$$

Dónde:

$C_{PM2.5}$: Concentración de $PM_{2.5}$, $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

W_f, W_i : Masa final e inicial del filtro de muestra, g.

B_f, B_i : Masa final e inicial del filtro utilizado como blanco, g.

V_{ref} : Volumen total de aire muestreado a condiciones de referencia en m^3 .

Respecto a los equipos de lectura directa, estos no necesitan cálculos, ya que arrojan directamente los valores de concentración que se necesitan para los informes por medio del software de descarga Thermo IPort (1.4.2.43), sin embargo, si requieren una correcta calibración previa a el monitoreo, de modo que los datos sean lo más confiables y precisos posible.

Una vez con todos los datos necesarios, estos son consignados dentro de un formato de informe, el cual, contiene la normatividad aplicable, datos de la empresa

contratante, datos de la empresa contratada, datos de otras empresas subcontratadas, las metodologías y equipos utilizados tanto para el monitoreo como para los cálculos, las características de la ubicación, la meteorología, la presentación de los resultados de los cálculos con sus respectivas tablas, gráficas y descripciones, y las conclusiones de los resultados analizando la superación o no de la norma. Finalmente, se adicionan todos los anexos necesarios al informe y se revisa, para después ser entregado a la empresa cliente.

Medición de Ruido Ambiental

Para la medición de ruido ambiental, se trabaja con decibeles corregidos por frecuencia conforme a la curva de ponderación normalizada tipo A (dB(A)), ya que esta medida del nivel de ruido refleja la sensibilidad del oído humano a diferentes las frecuencias. Adicionalmente, las mediciones de cada punto se deben realizar en los 4 horarios estipulados por la resolución 0627 de 2006, específicamente se deben realizar en horarios diurno ordinario, nocturno ordinario, diurno y nocturno dominicales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

Para elegir la ubicación de los puntos de monitoreo de ruido ambiental se debe determinar los puntos más representativos alrededor de la zona de estudio, teniendo en cuenta la ubicación de las fuentes de ruido, la ubicación de poblaciones afectadas, la distancia a posibles obstáculos, el tamaño del área de influencia de la misma y las potenciales áreas de mayor intensidad sonora.

Se debe preparar una bitácora en la que se deben consignar datos como la ubicación, el tiempo, las condiciones meteorológicas, los datos del equipo, las lecturas en decibeles registradas para cada dirección, un croquis del lugar y las observaciones de la zona, ya que esta información será fundamental para el momento del desarrollo del informe.

Trabajo de Campo

Una vez definidos los puntos, se procede con la calibración de los equipos, de modo que estos cuenten con la mayor precisión y confiabilidad posible para las mediciones. El sonómetro es calibrado antes y después de la medición de ruido con un pistófono o patrón a 114,0 dB en la frecuencia de 1000 Hz.

Posteriormente, se procede con la instalación. Según la Resolución 0627 de 2006 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006), el sonómetro debe ubicarse a 4 metros sobre el nivel del suelo y equidistante a las fachadas u obstáculos cercanos, deberán realizarse 5 mediciones distribuidas equitativamente en un tiempo de 60 minutos y cada medición, deberá registrar una dirección, siendo en total 5 direcciones por punto (norte, sur, este, oeste y vertical). Durante el tiempo de monitoreo debe procurarse evitarse la ocurrencia de eventos no naturales del área, como conversaciones, sonidos de celulares, caídas de objetos, etc. Pero de ocurrir, se deberá registrar dicho evento en la bitácora junto con la hora a la que ocurrió. Dicho proceso se hará también cuando ocurran eventos naturales del área, pero que tienen una intensidad relativamente alta, tal como el paso de un vehículo en una vía cercana o como el sonido de aves cantando.

Consolidación del Informe

Para hallar los resultados de las mediciones se deben tener en cuenta, además del nivel equivalente, los ajustes a las mediciones y las incertidumbres.

Nivel equivalente. Para el cálculo del nivel equivalente, éste, debe hacerse por medio de un promedio logarítmico a través de la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left[\left(\frac{1}{5} \right) \left(10^{\frac{L_N}{10}} + 10^{\frac{L_O}{10}} + 10^{\frac{L_S}{10}} + 10^{\frac{L_E}{10}} + 10^{\frac{L_V}{10}} \right) \right]$$

Dónde:

- L_{Aeq} Nivel equivalente resultante de la medición.
- L_N Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido norte.
- L_O Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido oeste.
- L_S Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido sur.
- L_E Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido este.
- L_V Nivel equivalente medido en la posición del micrófono orientada en sentido vertical.

Ajustes. Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A, $L_{Aeq,T}$, se corrigen por Impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos de

fuentes y receptores, para obtener niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderados A, $L_{RAeq,T}$. Las correcciones, en decibeles, se efectúan de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I + K_T + K_R + K_S)$$

Dónde:

- $L_{RA(X),T}$ = Nivel equivalente total corregido.
- $L_{A(X),T}$ = Nivel equivalente total sin corregir.
- K_I = Es un ajuste por impulsos (dB(A)).
- K_T = Es un ajuste por tono y contenido de información (dB(A)).
- K_R = Es un ajuste por la hora del día (dB(A)).
- K_S = Es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo, bajas frecuencias (dB(A)).
- (X) = Corresponde a cualquiera de los parámetros de medida de que trata el Artículo 4 de la Resolución 0627 de 2006 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

Incertidumbre de la Medición. Para estimar la incertidumbre de fuentes no correlacionadas se emplea la siguiente ecuación (Gobierno de España. Ministerio de Industria, 2008):

$$\mu(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 * \mu(X_i)^2}$$

Dónde:

- $\mu(y)$ = Incertidumbre estándar para el mensurando y.
- $\mu(x_i)$ = Incertidumbre estándar para la fuente i.
- c_i = Coeficiente de sensibilidad, este es igual a la derivada parcial de xi con respecto a y, a continuación, se muestra cómo se representa matemáticamente.

$$c_i = \frac{\partial x_i}{\partial y}$$

Nivel de Confianza. Para el cálculo del nivel de confianza, se utiliza una incertidumbre expandida U.

$$U = k * \mu_c(y)$$

Para descargar los datos, se pueden usar los softwares de Casella Drive y Casella Insight o el de SvanPC++ según el sonómetro utilizado, para posteriormente procesar los datos con ayuda del programa EasySound.

Una vez con todos los datos necesarios, estos son consignados dentro del formato de informe, el cual, contiene la normatividad aplicable, datos de la empresa contratante, datos de la empresa contratada, las metodologías y equipos utilizados tanto para el monitoreo como para los cálculos, las características de la ubicación, la presentación de

los resultados y las conclusiones de los resultados analizando la superación o no de la norma. Finalmente se adicionan todos los anexos necesarios al informe y se revisa, para después ser entregado a la empresa cliente.

Medición de Emisión de Ruido

Para el estudio de un establecimiento, se deben realizar 2 mediciones, una con la empresa sin ningún tipo de operación, a la que se le denominará como “Ruido residual” y otra con la empresa en operación con exactamente las mismas condiciones con que trabaja normalmente, la cual se denominará “Ruido total”. Las mediciones se deben realizar en la posición, hora y condiciones de mayor incidencia sonora.

Se debe preparar una bitácora en la que se deben consignar datos como la ubicación, el tiempo, el horario, las condiciones meteorológicas, los datos del equipo y de la calibración, las lecturas en decibeles registradas, un croquis del lugar y las observaciones de la zona, ya que esta información será fundamental para el momento del desarrollo del informe.

La determinación del nivel de presión sonora se realizó y se expresa en este documento en decibeles corregidos por frecuencia conforme a la curva de ponderación normalizada tipo A dB(A).

Trabajo de Campo

Una vez en el sitio, el sonómetro es calibrado antes y después de la medición de ruido con un pistófono o patrón a 114,0 dB en la frecuencia de 1000 Hz. se toman las

condiciones atmosféricas de velocidad del viento, dirección del viento, humedad, temperatura y presión atmosférica con una estación meteorológica, y se protegió el micrófono del sonómetro con una pantalla antiviento.

Para realizar la medición de ruido en una instalación, primeramente, se debe identificar el punto de mayor generación de ruido, por lo que previo a la medición, se debe realizar un barrido rápido a 1,5 metros de distancia de la fachada o fuente generadora, el punto que se identifique como de mayor generación de ruido, será el punto en que se realicen las mediciones.

Una vez con el punto identificado se procede con la instalación del sonómetro sobre el trípode, de modo que el equipo quede a 1,2 metros del nivel del suelo y a 1,5 metros de distancia de la fachada o fuente generadora. En el caso de que el punto de mayor generación de ruido esté en una azotea o en algún punto elevado, el sonómetro también deberá ubicarse 1,2 metros sobre la superficie en la que se encuentra la fuente.

Se efectúan los dos procesos de evaluación, con todas las fuentes encendidas y con las fuentes apagadas; realizando evaluaciones de cinco minutos hasta completar 15 minutos de medición en el punto de muestreo mencionado, distribuidos equitativamente en una hora para ruido total y en otra hora para ruido residual, obteniendo así el nivel equivalente con filtro de ponderación A dB(A) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006).

Consolidación del Informe

Para calcular la emisión de ruido junto con su incertidumbre, se realizan las siguientes ecuaciones:

Evaluación de Emisión de Ruido. Se determinó mediante la resta logarítmica del nivel de presión sonora total, con la fuente en pleno funcionamiento, menos el nivel de presión sonora residual, con la fuente apagada. De acuerdo con la siguiente ecuación.

$$Leq_{emision} = 10 \log \left(10^{\frac{LRA_{eq,1h}}{10}} - 10^{\frac{LRA_{eq,1h,residual}}{10}} \right)$$

Dónde:

$Leq_{emision}$: Nivel equivalente de emisión de ruido

$LRA_{eq,1h}$: Nivel equivalente de ruido total evaluado en una hora (dB(A))

$LRA_{eq,1h, residual}$: Nivel equivalente de ruido residual evaluado en una hora (dB(A))

Ajustes. Los niveles de presión sonora continuo equivalente ponderados A, $L_{Aeq,T}$, se corrigen por Impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas, horarios, tipos de fuentes y receptores, para obtener niveles corregidos de presión sonora continuo equivalente ponderados A, $L_{RAeq,T}$.

Las correcciones, en decibeles, se efectúan de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$L_{RA(X),T} = L_{A(X),T} + (K_I + K_T + K_R + K_S)$$

Dónde:

K_I Es un ajuste por impulsos (dB(A))

- K_T Es un ajuste por tono y contenido de información (dB(A))
- K_R Es un ajuste por la hora del día (dB(A))
- K_S Es un ajuste (positivo o negativo) para ciertas fuentes y situaciones, por ejemplo, bajas frecuencias (dB(A))
- (X) Corresponde a cualquiera de los parámetros de medida de que trata el Artículo 4 de la Resolución 0627 de 2006.

Incertidumbre de la Medición. Para estimar la incertidumbre de fuentes no correlacionadas se emplea la siguiente ecuación:

$$\mu(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 * \mu(X_i)^2}$$

Dónde:

$\mu(y)$: Incertidumbre estándar para el mensurando y.

$\mu(x_i)$: Incertidumbre estándar para la fuente i.

c_i : Coeficiente de sensibilidad, este es igual a la derivada parcial de xi con respecto a y, a continuación, se muestra cómo se representa matemáticamente.

$$c_i = \frac{\partial x_i}{\partial y}$$

Factor de Cobertura y Nivel de Confianza. La incertidumbre estándar $\mu(y)$ representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el

valor verdadero con una probabilidad p de 68% aproximadamente bajo la suposición de que los posibles valores del mensurando siguen una distribución normal.

Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor k , llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida U .

$$U = k * \mu_c(y)$$

Para descargar los datos, se pueden usar los softwares de Casella Drive y Casella Insight o el de SvanPC++ según el sonómetro utilizado, para posteriormente procesar los datos con ayuda del programa EasySound.

Una vez con todos los datos necesarios, estos son consignados dentro del formato de informe, el cual, contiene la normatividad aplicable, datos de la empresa contratante, datos de la empresa contratada, las metodologías y equipos utilizados tanto para el monitoreo como para los cálculos, las características de la ubicación, la presentación de los resultados y las conclusiones de los resultados analizando la superación o no de la norma. Finalmente se adicionan todos los anexos necesarios al informe y se revisa, para después ser entregado a la empresa cliente.

Medición de Partículas Viables

Las mediciones de partículas viables buscan identificar la presencia de partículas cargadas de organismos que tienen el potencial de afectar la salud humana. En particular, se analiza la presencia de mesófilos, mohos y levaduras en puntos que se

identifican como críticos, sea por la presencia de poblaciones vulnerables o por la alta concentración de materia orgánica en puntos específicos.

Trabajo de Campo. El método consiste en que con un equipo de succión de aire y por medio de unas rendijas de 0,152 mm se aspira una muestra de aire ambiente a un caudal de 28,3 L/min, impactando sobre un agar de 2-3 mm por debajo de las rendijas (American Laboratory Trening ALT, 2021). Los agares a utilizar, son A.TSA y A.SAB, medios en los que se desarrollan aerobacterias y hongos respectivamente, y los cuales se encuentran en una placa de cultivo desechable de 90 mm*15 mm, que por medio de un impactador de etapas múltiples succiona un caudal de aire ambiente por un intervalo de tiempo específico (5, 15, 30 o 60 minutos); generalmente, se realiza la recolección de muestras por un periodo de 10 minutos, distribuidos en 2 etapas, la primera etapa consto de 5 minutos para el agar de mesófilos aerobios y la segunda etapa fue para los 5 minutos restantes con el agar de mohos y levaduras. Una vez se termine el muestreo, se transportan las muestras hasta llegar al laboratorio acreditado para el cultivo y conteo de estos organismos. Una vez allí, se incuban las placas de la siguiente manera; de 30 a 35°C para el agar de los mesófilos por un periodo de 72 horas, y de 22 a 25°C para el agar de mohos y levaduras por un tiempo de 5 a 7 días; finalmente se efectúa el conteo de colonias, reflejando de esta manera la cantidad de partículas en el aire que transportan organismos viables (Martinez).

Consolidación del Informe. Para el desarrollo del informe, se debe primeramente calcular la concentración de unidades formadores de colonias (UFC) en el

aire, para lo que, primeramente, se debe calcular el volumen muestreado por medio de la siguiente ecuación:

$$V = t * Q$$

Donde:

V: Volumen muestreado (L)

t: Tiempo de muestreo (minutos)

Q: Caudal de succión (L/minuto)

Una vez con el volumen, este debe ser corregido a condiciones de referencia, para lo cual utilizamos la siguiente ecuación:

$$V_{ref} = V * \left(\frac{P_{ref}}{P}\right) * \left(\frac{T_{ref}}{T}\right)$$

Donde:

V: Volumen muestreado (m³)

V_{ref}: Volumen muestreado en condiciones de referencia (m³)

P: Presión (mmHg)

P_{ref}: Presión en condiciones de referencia (mmHg)

T: Temperatura (K)

T_{ref}: Temperatura en condiciones de referencia (K)

Finalmente, para el cálculo de la concentración, se usa la ecuación:

$$C = UFC / V_{ref}$$

Donde:

C: Concentración de unidades formadoras de colonias en el aire (UFC/m³)

V_{ref}: Volumen muestreado en condiciones de referencia (m³)

UFC: Unidades formadoras de colonias reportadas

Una vez con los datos necesarios, estos son consignados dentro del formato de informe, el cual, contiene, datos de la empresa contratante, datos de la empresa contratada, datos de otras empresas subcontratadas, las metodologías y equipos utilizados tanto para el monitoreo como para los cálculos, las características de la ubicación, la presentación de los resultados y las conclusiones de los resultados. Finalmente se adicionan todos los anexos necesarios al informe y se revisa, para después ser entregado a la empresa cliente.

Proyecto GEI-ROE

El proyecto tiene el propósito de facilitar el cálculo de la huella de carbono empresarial, de modo que una persona con conocimientos básicos acerca de los inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), pueda calcular de forma precisa este indicador para elaborar un informe detallado y adecuado que deberá ser presentado ante la autoridad ambiental competente, de modo que se pueda dar un cumplimiento al artículo 16 de la Ley 2169 del 2021, norma que fue el incentivo principal para el desarrollo de este proyecto (Congreso de la República de Colombia, 2022).

Entregables. La entrega del proyecto se logrará por medio de la creación de varias herramientas que trabajaran en conjunto.

- Matriz de Excel: La primera y más importante herramienta, será una matriz de Excel que estará automatizada en un alto grado, con los parámetros y factores de emisión previamente establecidos, de modo que el usuario solo tenga que indicar la variable que desea reportar y la cantidad producida/usada de esta.
- Guía de uso: Esta permitirá al usuario familiarizarse con la matriz de cálculo de modo que este entienda más fácilmente la forma como debe usar la herramienta, tanto para facilitar el autoaprendizaje del usuario, como para incrementar la garantía de obtener resultados confiables.
- Formato de informe para reporte: En este documento se consignará toda la información obtenida de la matriz de cálculo para una empresa en específico, dando como resultado el informe de emisiones de gases de efecto invernadero, documento que posteriormente deberá ser entregado a la autoridad ambiental una vez esta lo requiera.
- Informe definitivo del proyecto: En este, se verán documentados todos los procesos, metodologías y resultados del proyecto en su totalidad, con el fin de que el lector tenga una perspectiva clara y concisa de lo que se buscaba y qué se logró.

Metodología. Para el cálculo de la huella de carbono, se usó la metodología recomendada por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, por sus siglas en inglés “IPCC”, esta, clasifica las emisiones en 3 tipos de alcances:

- Alcance 1: Emisiones directas

Son originadas en propiedad de la empresa o en propiedad que está bajo la administración de esta, tal como el combustible consumido o las emisiones generadas durante el proceso de producción.

- Alcance 2: Emisiones indirectas

Proviene del consumo de electricidad, vapor, calor (energía térmica) o frío (refrigerantes) que son comprados por la empresa para su uso.

- Alcance 3: Otras emisiones indirectas

Otras emisiones relacionadas a la empresa, pero que ocurren en fuentes no controladas por esta, como lo son los viajes corporativos o el transporte y la distribución de productos (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006).

Adicionalmente, para el cálculo de la energía eléctrica, al estar el origen de la electricidad comercial en Colombia consignado dentro del sistema interconectado nacional, las emisiones generadas por su consumo pueden estimarse según un único factor de emisión, el cual es entregado por el Ministerio de Minas y energía en colaboración con el administrador del mercado de energía mayorista (XM) (Unidad de Planeación Minero Energética, 2023).

Una vez con todas las metodologías de cálculo definidas, estas serán adaptadas a la matriz de Excel, de una forma que garantice resultados confiables y a la vez fáciles de entender. Dicha matriz, una vez diligenciada, entregará tanto los resultados de las emisiones desglosados por alcance, como los resultados de emisiones totales, a la par de otros datos relevantes para el formato de informe para el reporte.

La guía de uso debe ser clara y facilitar lo más posible el manejo de la herramienta de Excel, por lo que el nivel de detalle en sus especificaciones debe ser lo suficientemente alto para que una persona con el conocimiento básico del funcionamiento de los inventarios de gases de efecto invernadero pueda entenderlo, sin que se vuelva tedioso leerlo.

El formato de informe para el reporte se diseñará en función de los requerimientos que estipule la autoridad competente como necesarios, de modo que se pueda dar respuesta de forma clara y concisa los datos solicitados por la Plataforma de Reporte Obligatorio de Emisiones de GEI. El formato, una vez diligenciado, será entregado a la empresa contratante, para que esta posteriormente haga la entrega a la autoridad ambiental una vez esta lo requiera (Consejo de Estado, 2014).

Materiales y Equipos

Software

- WRPLOT View (8.0.2)
- Google Earth Pro (7.3.6.9796)
- Casella Drive (131109-04-00)
- Casella Insight (199.005.17.00)
- SvanPC++ (3.4.25)
- EasySound (2.7.1.0)

- Microsoft Excel (versión 2408 compilación 16.0.17928.20114) (Hoja de cálculo habilitada para macros de Microsoft Excel (.xlsm))
- WheaterLink (6.0.3)
- Thermo IPort (1.4.2.43)
- PuTTY (0.81)
- BGI PQ200 (V.2.3)

Equipos

- Thermo Scientific – Viable Andersen Cascade Impactor
- Tisch Environmental's high volume air samplers (TE-6070)
- Partisol™ 2025i Sequential Air Sampler (ThermoFiScher Scientific)
- BGI PQ100 Sampler
- BGI PQ200 Sampler
- Analyseur CO Thermo Scientific Model 48C
- Analyseur O₃ Thermo Scientific Model 49C
- Analyseur SO₂ Thermo Scientific Model 43C
- Analyseur NO₂ Thermo Scientific Model 42C
- Sonómetro Casella Cell 63X
- Sonómetro Svantek Svan 971

- Estación meteorológica Davis modelo Vantage Pro 2 6162.
- Indumentaria personal
- Herramientas de campo

Formatos

- Formato de monitoreo de ruido ambiental
- Formato de monitoreo de emisión de ruido
- Formato de informe de ruido ambiental
- Formato de informe de emisión de ruido
- Formato de informe de calidad del aire
- Formato de cálculos de PM₁₀
- Formato de cálculos de PM_{2.5}
- Formato de cálculos de CO
- Formato de cálculos de O₃
- Formato de cálculos de SO₂
- Formato de cálculos de NO₂

Cronograma

Tabla 5.

Cronograma de actividades

Actividad	Agosto				Septiembre			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Presentación del plan de trabajo								
Revisión por parte de asesora								
Presentación de informe de avances								
Revisión por parte de asesora								
Presentación del informe final								
Sustentación								
Elaboración de informes para la empresa								
Salidas a campo para medición y monitoreo								

Actividad	Octubre				Noviembre				Diciembre
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 1
Presentación del plan de trabajo									
Revisión por parte de asesora									
Presentación de informe de avances									
Revisión por parte de asesora									
Presentación del informe final									
Sustentación									
Elaboración de informes para la empresa									
Salidas a campo para medición y monitoreo									

Fuente: Propia.

Actividades Desarrolladas

Monitoreos de la Calidad del Aire

En total, se realizaron 3 monitoreos de la calidad del aire, los cuales contenían dentro de su haber, mediciones de material particulado menor a 10 micras y menor a 2.5 micras, además de mediciones por lectura directa de CO, SO₂, NO₂ y O₃.

Una vez identificados los puntos se procedió con la instalación, procurando mantener una distancia adecuada entre los equipos, con el suelo y con obstáculos cercanos, según lo estipula el Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). En nuestro caso particular, se decidió mantener una distancia de aproximadamente 2 metros entre los equipos, de 2 metros sobre el suelo para el punto de succión de la muestra y se eligió un lugar lo más alejado posible de obstáculos que pudiesen interferir con el muestreo, tal y como se puede observar en la Ilustración 1.

Ilustración 1.

Punto de monitoreo de la calidad del aire.



Fuente: Propia.

Luego de ello, los equipos fueron calibrados de modo que trabajaran en las condiciones más ideales posibles teniendo en cuenta las condiciones atmosféricas del lugar en que se encuentran. Estas buscan rangos adecuados de caudal, para los equipos de alto volumen, el rango es de 1,02 m³/min a 1,24 m³/min y para los equipos de bajo volumen, el rango es de 15,03 l/min a 18,37 l/min (U.S. Environmental Protection Agency, 2024).

Finalmente, y una vez con los equipos calibrados, se procedió a hacer el monitoreo, durante el cual, diariamente se hizo el cambio de filtros, verificando que se

hubiese monitoreado el tiempo adecuado, es decir 24 ± 1 horas y que los equipos trabajaran en los rangos de caudales correspondientes.

Adicional al cambio de filtros, se debió llenar una serie de formatos que contenían información del muestreo, fundamental para el momento de desarrollo del informe, tal como el caudal promedio diario, el tiempo de monitoreo, la presión, la temperatura, entre otros datos, junto con una bitácora en la que se describía la ubicación y se registraban las novedades diarias, tal y como se puede observar en la Ilustración 2, e Ilustración 4.

Ilustración 2.

Formato para equipos de bajo volumen

$T_{amb.prom}$ (°C)	P_{amb} (mmHg)	Q_m (l/min)	CV (%)	Hora Inicial hh:mm	Hora final hh:mm	$t_{muestreo}$ (min)	V (m ³)	Validez muestra
28.4	680.0	16.2000	0.80	17:21	16:41	1400.0	22.6800	SI
29.4	680.0	16.6000	0.70	8:04	7:53	1429.0	23.7214	SI
30.5	679.0	16.7000	0.20	7:57	7:30	1413.0	23.5971	SI
31.0	678.0	16.6000	0.30	7:34	7:14	1420.0	23.5720	SI
31.1	678.0	16.6000	0.70	7:42	7:28	1426.0	23.6716	SI
24.5	682.0	16.5000	0.60	7:34	7:34	1440.0	23.7600	SI
28.5	679.0	16.6000	0.50	11:45	11:45	1440.0	23.9040	SI
29.0	679.0	16.5000	1.10	12:20	11:25	1385.0	22.8525	SI
28.6	680.0	16.6000	0.70	11:38	10:40	1382.0	22.9412	SI
27.9	679.0	16.6000	0.50	11:04	10:12	1388.0	23.0408	SI

Fuente: Propia.

Ilustración 3.

Formato para equipos de alto volumen

Temperatura (°C)		IC (CFM)		Hora Inicial hh:mm	Hora final hh:mm	Timer			P_s (mmHg)	Caudal (Q)				
Inicial	Final	Inicial	Final			Inicial	Final	Total (min)		Q_{s1} (m ³ /min)	Q_{s2} (m ³ /min)	Diferencia (%)	Q_s (m ³ /min)	Cumple
28.4	28.4	45	45	9:00	9:00	0	24	14.5	680.0					
27	27	41	45	17:27	7:35	24	55	18.5	680.0					
28.2	28.2	41	42	8:17	7:36	55	78	13.9	680.0					
29.4	29.4	43	41	8:13	7:17	78	101	13.8	680.0					
30.5	30.5	40	32	7:50	7:12	101	124	13.9	679.0					
31	31	40	45	7:37	7:14	124	148	14.2	678.0					
31.1	31.1	45	43	7:43	7:02	148	171	13.9	678.0					
24.5	24.5	43	40	7:38	7:38	171	195	14.5	682.0					
28.5	28.5	40	31	11:45	11:45	195	219	14.4	679.0					

Fuente: Propia.

Ilustración 4.

Bitácora de campo

DESCRIPCIÓN EVENTOS POR DÍA
DÍA 1: Se evidencia una leve actividad y un leve flujo vehicular. Se dio una interrupción del <u>Hivol</u> de 9 am a 3 pm y el <u>partisol</u> presentó problemas para el encendido.
DÍA 2: No se evidencia flujo vehicular ni actividad en las instalaciones cercanas, pero sí se evidencia un suelo húmedo.
DÍA 3: Se evidencia un flujo vehicular leve, una leve actividad y un suelo seco.
DÍA 4: Se evidencia una leve actividad, un leve flujo vehicular y un suelo seco.
DÍA 5: Se evidencia un flujo vehicular medio, una intensidad media de actividad en las instalaciones y un suelo seco.
DÍA 6: Se evidencia una leve actividad, un flujo medio y un suelo seco.
DÍA 7: Se evidencia una leve actividad, un leve flujo vehicular y un suelo seco.

Fuente: Propia.

Informes de Calidad del Aire

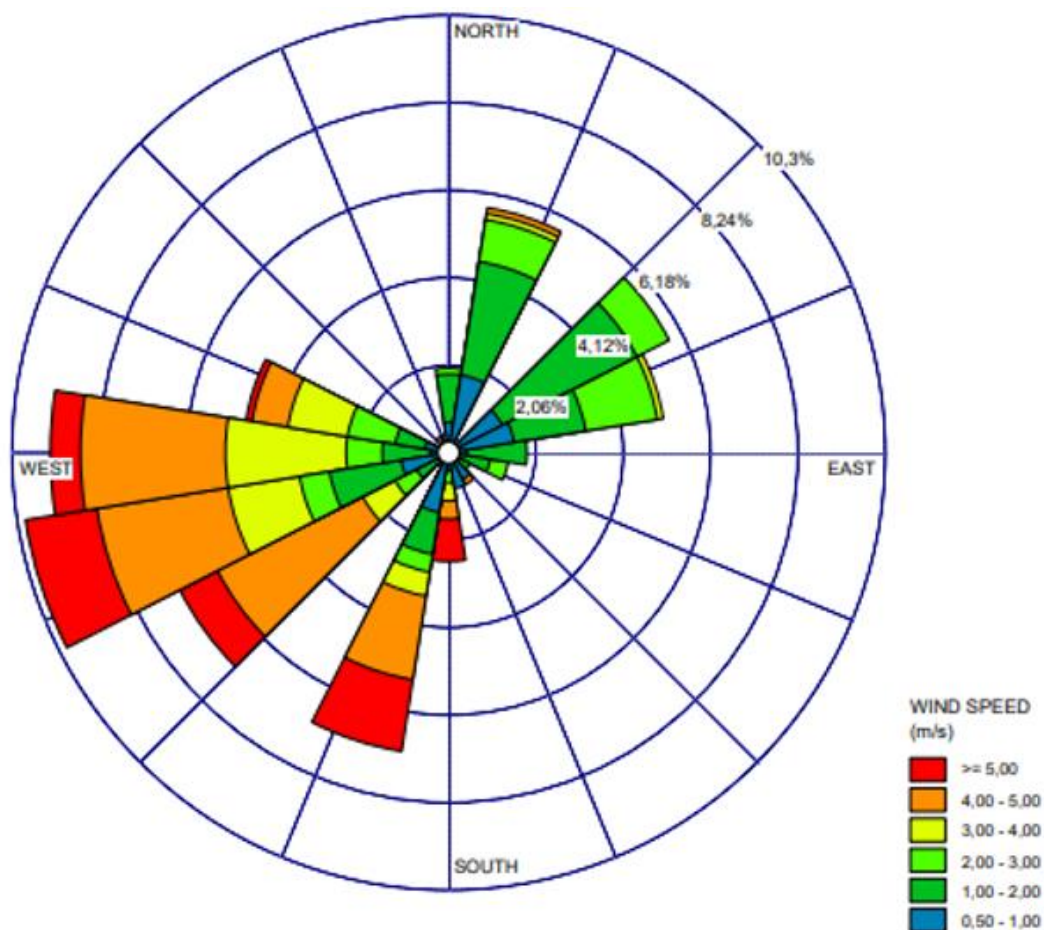
Durante las prácticas universitarias se desarrollaron múltiples informes de calidad del aire. Para estos, primero se debían obtener los resultados de los monitoreos de calidad del aire realizados en la zona objeto de estudio, junto con los pesos de los filtros que se usaron en dichos proyectos.

Previo al procesamiento de la información del muestreo, se debió analizar e incluir en el informe, la información geográfica y meteorológica del punto de muestreo, ya que esta información puede ser clave para el momento en el que se analice el comportamiento de los contaminantes en el área. Dicho análisis se hizo mediante una

rosa de los vientos, que permite observar las direcciones predominantes de los vientos junto con sus trayectorias, mismas que pueden influir en la forma de dispersión de los contaminantes. Obsérvese la Ilustración 5.

Ilustración 5.

Ejemplo de rosa de los vientos.



Fuente: Propia.

Para procesar la información se debió utilizar un formato estandarizado por la empresa, en el cual, primeramente, se deben consignar los datos tomados en campo, luego de ello y de obtener los resultados de los pesajes de los filtros, dichos valores deben incluirse también dentro del formato. Este, a partir de los datos atmosféricos

tomados, convierte el volumen muestreado a condiciones de referencia y considerando el tiempo monitoreado, calcula la concentración registrada del contaminante en campo, tal y como se ejemplifica en la Ilustración 6.

Ilustración 6.

Pestaña de datos de formato de informes de calidad del aire.

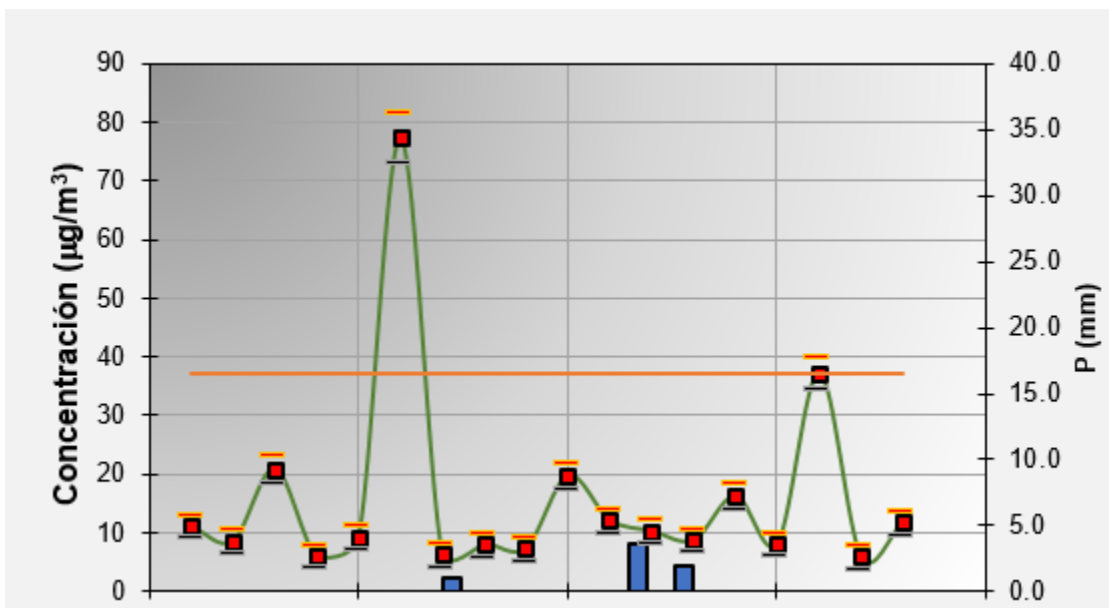
T _a (°C)	T _a (K)	P _a (mmHg)	P (mm/día)	F _c	Q _a (l/min)	CV _{Flujo} (%)	Flujo dentro de rango ?	t (min)	V _{ref} (m ³)	0 = Estimar ΔW _T 1 = Ingresar ΔW _T	ΔW _T (g)	μ _{ajust} (g)
12.0	285.15	571.0	0.00	0.785568	16.7000	0.00	SI	1478.0	19.3899	1	0.000216	0.000018
12.2	285.35	571.0	0.00	0.785018	16.7000	0.00	SI	1410.0	18.4848	1	0.000159	0.000018
10.5	283.65	571.0	0.00	0.789723	16.7000	0.00	SI	1390.0	18.3318	1	0.000384	0.000018
11.1	284.25	571.0	0.00	0.788056	16.7000	0.00	SI	1493.0	19.6487	1	0.000118	0.000018
11.0	284.15	571.0	0.00	0.788333	16.7000	0.00	SI	1380.0	18.1679	1	0.000168	0.000018
10.0	283.15	571.0	0.00	0.791117	16.7000	0.00	SI	1455.0	19.2230	1	0.001489	0.000018
13.3	286.45	571.0	1.02	0.782003	16.7000	0.00	SI	1380.0	18.0220	1	0.000115	0.000018
12.6	285.75	571.0	0.00	0.783919	16.7000	0.00	SI	1390.0	18.1971	1	0.000147	0.000018
12.0	285.15	571.0	0.00	0.785568	16.7000	0.00	SI	1418.0	18.6027	1	0.000138	0.000018
10.6	283.75	571.0	0.00	0.789444	16.7000	0.00	SI	1380.0	18.1935	1	0.000360	0.000018
10.0	283.15	571.0	3.67	0.791117	16.7000	0.00	SI	1380.0	18.2321	1	0.000222	0.000018
11.4	284.55	571.0	1.92	0.787225	16.7000	0.00	SI	1399.0	18.3922	1	0.000190	0.000018
12.1	285.25	571.0	0.00	0.785293	16.7000	0.00	SI	1440.0	18.8847	1	0.000165	0.000018
11.0	284.15	571.0	0.00	0.788333	16.7000	0.00	SI	1440.0	18.9578	1	0.000310	0.000018
12.2	285.35	571.0	0.00	0.785018	16.7000	0.00	SI	1440.0	18.8781	1	0.000155	0.000018
9.2	282.35	571.0	0.00	0.793359	16.7000	0.00	SI	1380.0	18.2837	1	0.000682	0.000018
11.8	284.95	571.0	0.00	0.786120	16.7000	0.00	SI	1380.0	18.1169	1	0.000068	0.000018
11.0	284.15	571.0	0.00	0.788333	16.7000	0.00	SI	1460.0	19.2211	1	0.000227	0.000018

Fuente: Propia.

Una vez teniendo la concentración, se pudo observar si los valores registrados superaban la norma, además, a partir de las gráficas se pudo analizar más a detalle el comportamiento de los contaminantes a lo largo del monitoreo y las posibles causas de

este. Obsérvese la Ilustración 8.

Gráfica de resultados de formato de informes de calidad del aire.



¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y la Ilustración 8.

Ilustración 7.

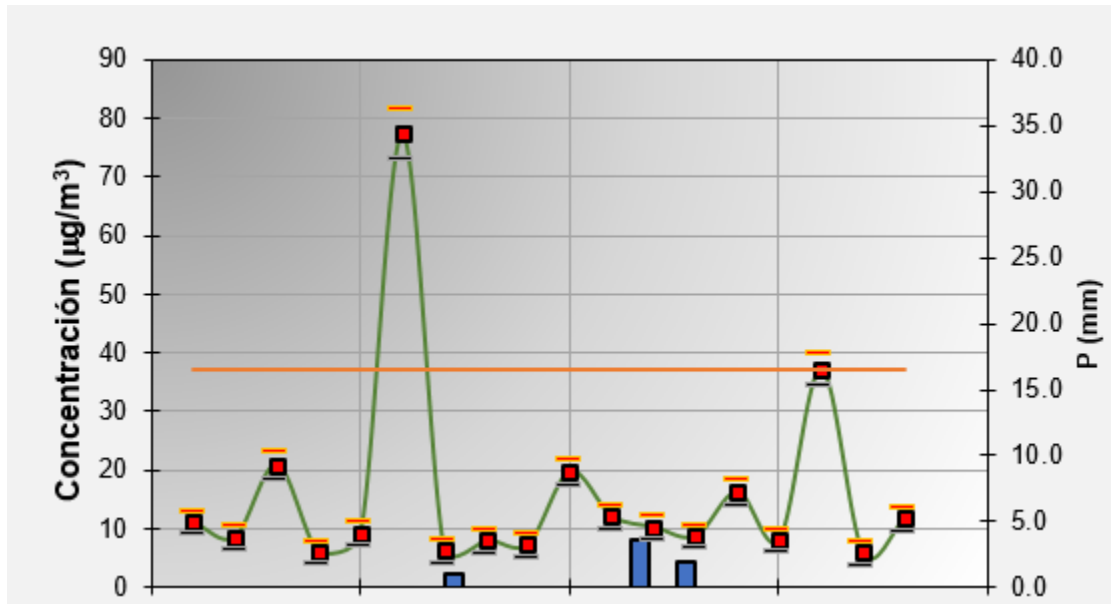
Pestaña de resultados de formato de informes de calidad del aire.

t	Q _{ref}	V _{ref}	W	C	U	N	C - U - e	C + U + e	Regla de decisión	P(C>N) (%)	ICA	COLOR	CATEGORIA
min	(l/min)	(m³)	(µg)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)	(µg/m³)					
1478.0	13.12	19.39	216.00	11.14	+/- 1.94	37.00	9.20	13.08	CUMPLE	100.0%	46	Verde	Buena
1410.0	13.11	18.48	159.00	8.60	+/- 2.00	37.00	6.61	10.60	CUMPLE	100.0%	36	Verde	Buena
1389.0	13.19	18.33	184.00	20.95	+/- 2.24	37.00	18.71	23.18	CUMPLE	100.0%	17	Amarillo	Aceptable
1493.0	13.18	19.45	118.50	6.03	+/- 1.86	37.00	4.17	7.89	CUMPLE	100.0%	25	Verde	Buena
1380.0	13.17	18.17	168.50	9.27	+/- 2.04	37.00	7.24	11.31	CUMPLE	100.0%	39	Verde	Buena
1455.0	13.21	19.22	1,488.50	77.43	+/- 4.37	37.00	73.07	81.80	INCUMPLE	0.0%	162	Roja	Dañina para la salud
1380.0	13.06	18.02	115.50	6.41	+/- 2.02	37.00	4.38	8.43	CUMPLE	100.0%	27	Verde	Buena
1390.0	13.09	18.20	147.50	8.11	+/- 2.02	37.00	6.08	10.13	CUMPLE	100.0%	34	Verde	Buena
1418.0	13.12	18.60	137.50	7.39	+/- 1.97	37.00	5.42	9.36	CUMPLE	100.0%	31	Verde	Buena
1380.0	13.18	18.19	360.00	19.79	+/- 2.22	37.00	17.57	22.01	CUMPLE	100.0%	65	Amarillo	Aceptable
1380.0	13.21	18.23	222.00	12.18	+/- 2.07	37.00	10.11	14.25	CUMPLE	100.0%	49	Verde	Buena
1399.0	13.15	18.39	190.00	10.33	+/- 2.03	37.00	8.30	12.36	CUMPLE	100.0%	43	Verde	Buena
1440.0	13.11	18.88	165.50	8.76	+/- 1.96	37.00	6.81	10.72	CUMPLE	100.0%	37	Verde	Buena
1440.0	13.17	18.96	310.00	16.35	+/- 2.07	37.00	14.28	18.43	CUMPLE	100.0%	58	Amarillo	Aceptable
1440.0	13.11	18.88	155.00	8.21	+/- 1.95	37.00	6.26	10.16	CUMPLE	100.0%	34	Verde	Buena
1380.0	13.25	18.28	682.00	37.30	+/- 2.74	37.00	34.56	40.04	INDECISION	41.3%	99	Amarillo	Aceptable
1380.0	13.13	18.12	< 108.00	< 5.96	+/- < 2.01	37.00	3.95	7.97	CUMPLE	100.0%	25	Verde	Buena
1460.0	13.17	19.22	227.00	11.81	+/- 1.97	37.00	9.84	13.78	CUMPLE	100.0%	49	Verde	Buena

Fuente: Propia.

Ilustración 8.

Gráfica de resultados de formato de informes de calidad del aire.



Fuente: Propia.

Finalmente, se creó un apartado de conclusiones en el cual, se le expresa a la empresa de forma clara, por medio de argumentos, tablas y gráficos que contaminantes, en que puntos y que días, se superó o no el límite establecido por la norma, junto con la magnitud de la concentración del contaminante en cuestión, para facilitar la gestión ambiental que le corresponda realizar a la empresa posterior a la entrega del informe. Obsérvese la

Fuente: Propia.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y la Ilustración 10.

Ilustración 9.

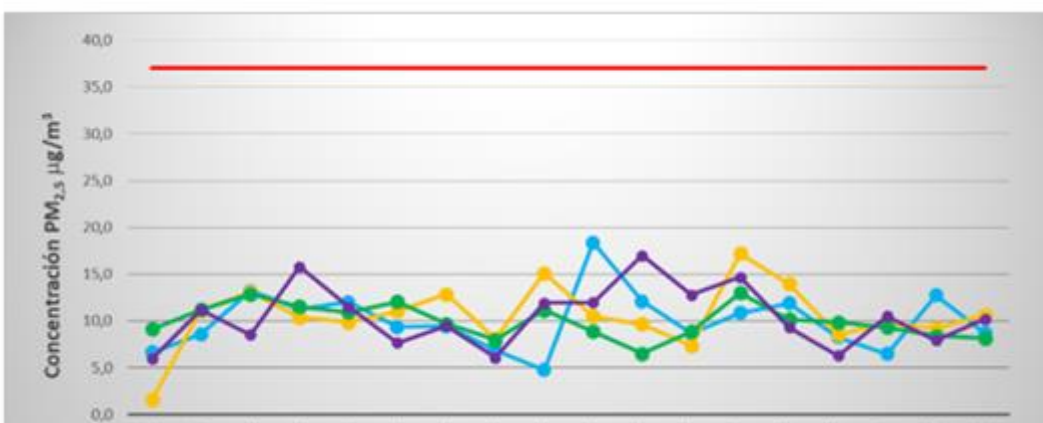
Ejemplo de tabla para determinación de superación de norma.

C		U	N	C-U-e	C+U+e	Regla de decisión	P(C≤N)
($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		(%)
9,16	+/-	1,04	37,00	8,11	10,20	No supera	100,0%
11,19	+/-	1,09	37,00	10,10	12,28	No supera	100,0%
12,86	+/-	1,13	37,00	11,73	13,99	No supera	100,0%
11,54	+/-	1,09	37,00	10,45	12,63	No supera	100,0%
10,95	+/-	1,11	37,00	9,84	12,06	No supera	100,0%
12,08	+/-	1,11	37,00	10,97	13,19	No supera	100,0%
9,72	+/-	1,05	37,00	8,67	10,76	No supera	100,0%
7,97	+/-	1,01	37,00	6,96	8,97	No supera	100,0%
11,16	+/-	1,11	37,00	10,05	12,28	No supera	100,0%
8,89	+/-	1,05	37,00	7,84	9,94	No supera	100,0%
6,51	+/-	1,01	37,00	5,50	7,52	No supera	100,0%
8,87	+/-	1,03	37,00	7,84	9,89	No supera	100,0%
13,01	+/-	1,17	37,00	11,85	14,18	No supera	100,0%
10,18	+/-	1,09	37,00	9,09	11,26	No supera	100,0%
9,86	+/-	1,08	37,00	8,78	10,94	No supera	100,0%
9,32	+/-	1,07	37,00	8,25	10,39	No supera	100,0%
8,40	+/-	1,04	37,00	7,36	9,44	No supera	100,0%
8,15	+/-	1,04	37,00	7,11	9,19	No supera	100,0%

Fuente: Propia.

Ilustración 10.

Ejemplo de gráfico comparativo de un contaminante en los puntos monitoreados.



Fuente: Propia.

Informes de Ruido Ambiental

Posterior al monitoreo de ruido ambiental y la consecuente obtención de datos de generación de ruido en las 5 direcciones (norte, sur, este, oeste y superior) y en los 4 periodos estandarizados (diurno ordinario, nocturno ordinario, diurno dominical y nocturno dominical), se procedió con la consolidación del informe. Este, contiene dentro de su haber, información geográfica y meteorológica fundamental para los cálculos y en particular para las correcciones que se deben hacer en la medición.

Para la promediación logarítmica de las mediciones se utilizó un software profesional denominado como “EasySound”, el cual, adicional a el resultado promediado que se expresa como “LAeq”, arroja también las correcciones correspondientes que se deban realizar según la impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas y otras variables evidenciadas durante el monitoreo, mismas que fueron expresadas por la letra “K”, para que, finalmente, y considerando dichos ajustes, se pueda obtener el valor promediado corregido, expresado como “LRAeq”, tal y como se puede observar en la Ilustración 11.

Ilustración 11.

Ejemplo de tabla para la promediación y corrección de mediciones.

Tabla 6. Resumen de la Medición Realizada para Estimar el L_{eq} Total Diurno Semanal Punto 1.								
Medición	T_i min	L_{Aeq,T_i} dB(A)	K_{T_i} dB(A)	K_{L_i} dB(A)	K_{S_i} dB(A)	K_{Max_i} dB(A)	L_{RAeq,T_i} dB(A)	
1	10,00	49,70	0	3	0	3	52,70	
2	10,00	50,00	6	0	0	6	56,00	
3	10,00	51,00	0	0	0	0	51,00	
4	10,00	50,70	0	0	0	0	50,70	
5	10,00	50,50	3	0	0	3	53,50	
T --->	50,00							53,23
$L_{Aeq,T}$ --->		50,41	$L_{RAeq,T}$ --->		53,23			

Fuente: Propia.

Finalmente, y una vez con los promedios corregidos de cada dirección en cada punto, se procedió a la creación de una tabla final, en la cual, además resumir los datos resultantes de cada tabla, se hace la comparación con el límite establecido por la norma según la zona de medición y el horario, determinando si la medición supera o no supera dicho límite, tal y como se puede observar en la Ilustración 12.

Ilustración 12.

Ejemplo de tabla comparativa de medición con norma colombiana.

Tabla 22. Regla de decisión para las evaluaciones realizadas en los puntos de monitoreo.

Punto	Mediciones	LRAeq,T (dB (A))	U	Norma (dB)	Regla de decisión	P(LRAeq,T (dB)≤N) (%)
1	Diurno ordinario	53,23	± 0,81	55,00	NO SUPERA	100,00
	Nocturno ordinario	46,16	± 0,59	45,00	SUPERA	0,00
	Diurno dominical	50,25	± 2,98	55,00	NO SUPERA	99,93
	nocturno dominical	55,25	± 4,12	45,00	SUPERA	0,00
2	Diurno ordinario	49,48	± 2,79	55,00	NO SUPERA	100,00
	Nocturno ordinario	59,36	± 0,18	45,00	SUPERA	0,00
	Diurno dominical	57,22	± 1,00	55,00	SUPERA	0,00
	nocturno dominical	59,11	± 0,81	45,00	SUPERA	0,00
3	Diurno ordinario	53,21	± 3,05	55,00	NO SUPERA	87,94
	Nocturno ordinario	57,21	± 5,05	45,00	SUPERA	0,00
	Diurno dominical	50,41	± 0,92	55,00	NO SUPERA	100,00
	nocturno dominical	50,91	± 1,46	45,00	SUPERA	0,00

Fuente: Propia.

Informes de Emisión de Ruido

Teniendo ya los resultados del trabajo de campo, es decir las mediciones y la bitácora de eventos, se procedió con el desarrollo del informe. En este, al igual que en los informes de ruido ambiental, se deben promediar los resultados de las mediciones, para lo cual se usó el software “EasySound”, en el cual, adicionalmente, se le añadieron sus respectivas correcciones por impulsividad, tonalidad, condiciones meteorológicas y

otras variables evidenciadas durante el monitoreo que pudiesen perjudicar las mediciones, tal como se puede observar en la Ilustración 13.

Ilustración 13.

Ejemplo de tabla de mediciones con correcciones para emisión de ruido.

Medición	T _i min	L _{Aeq,Ti} dB(A)	K _{Ti} dB(A)	K _{li} dB(A)	K _{Si} dB(A)	K _{Max,i} dB(A)	L _{Aeq,Ti} dB(A)
1	5	49,7	0	3	0	3	55,7
2	5	51	0	0	0	0	51
3	5	50,5	3	0	0	3	56,5
T	15	50,4	L _{RAeqT}				55,0
L _{Aeq T}							

Fuente: Propia.

Una vez aplicadas las correcciones, tanto en los resultados obtenidos en la evaluación realizada con las fuentes encendidas (expresado como L_{RAeq,1h}), como en los resultados de la evaluación realizada con las fuentes apagadas (expresado como L_{RAeq,1h,residual}), se procedió a realizar la diferencia logarítmica de las mismas, para obtener el resultado equivalente (expresado como Leq_{emision}) que especifica cuánto del ruido medido es responsabilidad de la entidad contratante, justo como se ejemplifica en la Ilustración 14.

Ilustración 14.

Ejemplo de tabla de resultados para emisión de ruido.

Resultados			
LRAeq	LRAeq Residual	Diferencia	LRAeq Emision
55,0	45,1	9,9	54,5

Fuente: Propia.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron comparados con la normatividad colombiana, que, para el caso, puede ser observada en la **Tabla 4** de este informe.

Los resultados de esta comparación fueron entregados de forma clara y específica al cliente, de modo que este pueda hacer la posterior entrega a la autoridad ambiental, de así requerirlo.

Informes de Medición de Partículas Viables

Una vez ejecutado el monitoreo de partículas viables y una vez se han recibido los resultados del conteo de colonias ejecutado, se puede proceder con la realización del informe. En este, se tomaron en cuenta la ubicación, las condiciones meteorológicas, el caudal y el tiempo monitoreado con el fin de tener los resultados más precisos posibles y facilitar el análisis del comportamiento de los datos registrados.

Para los resultados, primeramente, se registraron en el informe, la temperatura, la presión y las horas en que fueron tomadas las respectivas muestras, con el fin de verificar las condiciones en las que se tomaron y si se hicieron en los tiempos previamente determinados, tal y como se puede observar en la Ilustración 15.

Ilustración 15.

Ejemplo de tabla de condiciones meteorológicas y horarios de medición de las muestras.

PUNTO	ID DE LA MUESTRA	Temperatura (°C)	Presión (mmHg)	Hora Inicio	Hora Final
1	P1	29	750	08:45	08:50
				08:50	08:55
2	P2	30	751	09:10	09:15
				09:15	09:20
3	P3	30,5	750	09:50	09:55
				09:55	10:00

Fuente: Propia.

Posterior a ello, se tomaron los resultados del conteo de colonias registrado para cada muestra, el caudal y el tiempo monitoreado, con el fin de determinar la concentración a condiciones reales, y luego, teniendo en cuenta la temperatura y la presión, el caudal se determinó en condiciones de referencia, para facilitar la comparación con otros muestreos y estándares, ya que no hay una normativa en Colombia para hacer la comparación, y dicha concentración se digitó en una tabla y se ilustró en una gráfica, como las que se ejemplifican en la Ilustración 16 y la Ilustración 17.

Ilustración 16.

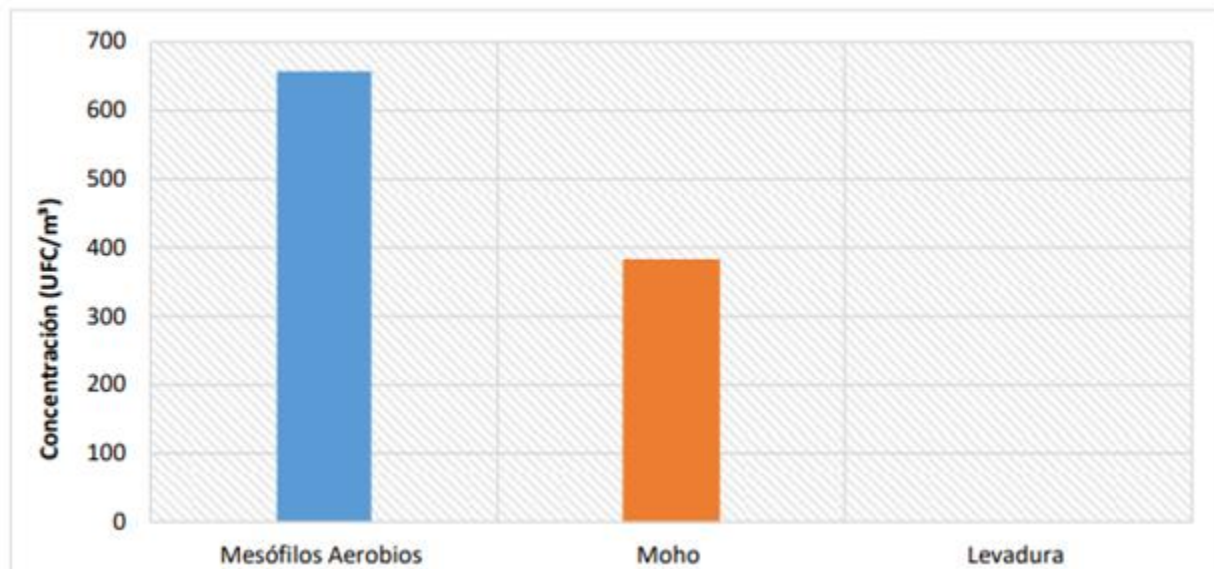
Ejemplo de tabla de resultados de concentraciones de partículas viables.

Fecha	N° Muestra	Descripción	Concentración
			(UFC/m ³)
02/03/2024	P1	Mesófilos Aerobios	657
		Moho	382
		Levadura	0

Fuente: Propia.

Ilustración 17.

Ejemplo de gráfico de concentraciones de partículas viables.

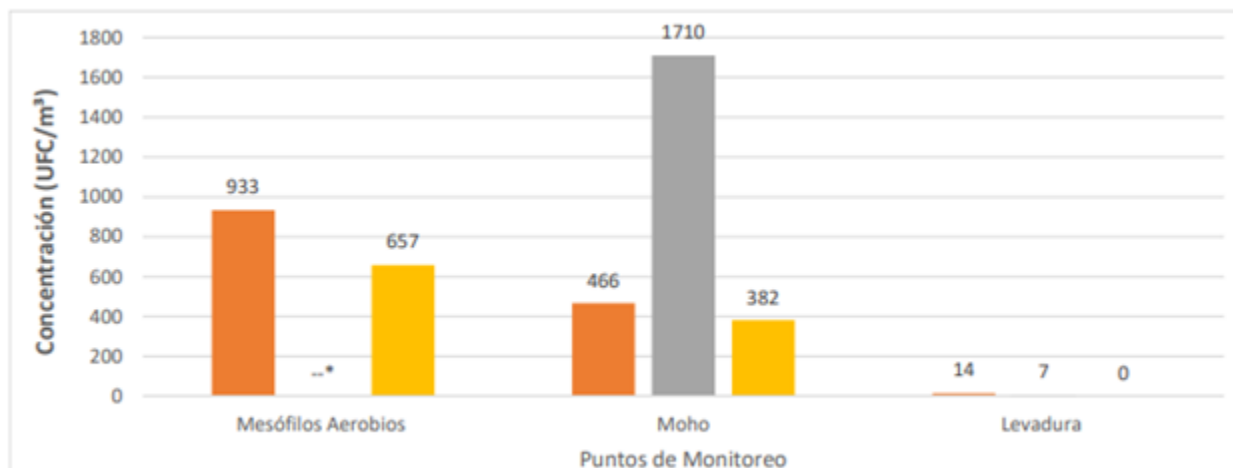


Fuente: Propia.

Finalmente, y una vez con todas las concentraciones, se procedió a realizar las conclusiones, en las cuales, se detalló qué clase de microorganismos fueron identificados, la concentración de estos en el ambiente, las posibles consecuencias para la salud que pueden provocar y se añadió una tabla final que recopila los datos de los puntos muestreados y los valores registrados, con el fin de que el cliente tenga una visión más clara de las condiciones en las que se encuentra la zona bajo objeto de estudio. Dicha tabla se ejemplifica en la Ilustración 18.

Ilustración 18.

Ejemplo de tabla comparativa de concentraciones de partículas viables.



Fuente: Propia.

Proyecto GEI-ROE

A lo largo de las prácticas, se aprovechó el tiempo en el que no había proyectos pendientes a entregar, para desarrollar el proyecto GEI-ROE. Hasta el momento de entrega de este informe, se ha logrado consolidar la totalidad de la información teórica

necesaria para el desarrollo de la herramienta, además de adelantar la creación de la matriz y el documento de uso de esta.

La base principal para el cálculo de las emisiones fueron los datos y las metodologías brindadas por el “Panel intergubernamental del cambio climático”, o por sus siglas en inglés “IPCC”, esta entidad proporciona una serie de guías sectorizadas para el cálculo de las emisiones de GEI, de las cuales se tomaron la mayor parte de los factores de emisión usadas durante este proyecto, sin embargo, al estar el proyecto enfocado a la estimación de la huella de carbono empresarial, no se incluyeron los factores comprendidos dentro del Volumen 4 “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”, ya que esta, es mucho más enfocada al aspecto rural y agrícola. Las guías pueden ser observadas en la Ilustración 19.

Ilustración 19.

Guías para el cálculo de la huella de carbono del IPCC.



Fuente: Propia.

Para el caso particular del uso de la energía eléctrica, en el susodicho caso de que la entidad evaluada use la energía eléctrica del sistema interconectado nacional, las emisiones generadas por su consumo, se estiman según un único factor de emisión, el

cual es entregado por el Ministerio de Minas y energía en colaboración con el administrador del mercado de energía mayorista (XM). Para el año 2024, dicho factor de emisión será de 0,112 toneladas de CO₂ equivalente por mega watt-hora consumido (0,112 ton CO₂eq/MWh) (Unidad de Planeación Minero Energética, 2023).

En el caso de que la fuente de energía tenga un origen diferente, el factor de emisión es calculado a partir de las características del combustible utilizado, priorizando los datos específicos como el poder calorífico y la composición molecular o usando los factores de emisión estandarizados en Colombia (Unidad de planeación minero-energética, s.f.).

Para los procesos industriales, se incluyen las emisiones generadas por la fabricación de productos o la prestación de servicios, razón por la cual, cada actividad específica tendrá sus emisiones particulares y únicas, de modo que la herramienta para el cálculo de la huella de carbono, ofrece una serie factores de emisión para cada actividad particular, al igual que un apartado en el que el usuario podría poner sus propios factores, de modo que el cálculo pueda ser lo más preciso y flexible posible.

Finalmente, para la generación de residuos, los factores de emisión dependerán no solo del tipo de residuo generado, sino también del tipo de tratamiento que recibe. A partir de dichos datos, el usuario podrá determinar qué factores debe usar para estimar sus emisiones o en caso de ser necesario, poder adicionar dentro de la herramienta, factores de emisión nuevos.

Todos los factores de emisión utilizados en la creación de la herramienta fueron extraídos de fuentes nacionales y del IPCC, de modo que el resultado de los cálculos sea lo más preciso y confiable posible, justo como se ejemplifica en la Ilustración 20.

Ilustración 20.

Ejemplo de tabla de factores de emisión del IPCC.

CUADRO 2.3										
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA COMBUSTIÓN ESTACIONARIA EN LAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS Y DE LA CONSTRUCCIÓN (kg de gas de efecto invernadero por TJ sobre una base calórica neta)										
Combustible	CO ₂			CH ₄			N ₂ O			
	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	Factor de emisión por defecto	Inferior	Superior	
Petróleo crudo	73 300	71 100	75 500	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Orimulsión	r77 000	69 300	85 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas natural licuado	r64 200	58 300	70 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gasolina	Gasolina para motores	r69 300	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la aviación	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para motor a reacción	r70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Queroseno para motor a reacción	r71 500	69 700	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro queroseno	71 900	70 800	73 700	r 3	1	10	0,6	0,2	2	

Fuente: Propia.

Respecto a la matriz, esta, logró avanzarse hasta permitir un cálculo básico de los gases de efecto invernadero, tanto usando factores proporcionados por el IPCC, como por entidades colombianas confiables, aunque también permite al usuario incluir sus propios factores de emisión de así deseárselo.

Esta herramienta, se compone de múltiples pestañas que sectorizan las potenciales fuentes de emisión, para luego hacer la sumatoria total de las emisiones en la tabla de resumen, tal como se ejemplifica en la Ilustración 21 y en la Ilustración 22.

Ilustración 21.

Ejemplo de tabla para el cálculo de las emisiones de GEI.

Combustibles gaseosos						
Biogas Genérico	84364.42	8.887	0.2	16872.884	1.7774	
Coke Gas Genérico	40784.04	18.915	4	163136.16	75.66	
Gas Natural Cusiana	56647.7	0.115	3.5	198266.95	0.4025	
Gas Natural Guajira	54911.33	0.116	3	164733.99	0.348	
Gas Natural Guepaje	54869.58	7.108	0.96	52674.7968	6.82368	
Gas Natural Neiva - Huila	54618.09	6.363	0.4	21847.236	2.5452	
Gas Opon Payoa	55801.05	3.713	2	111602.1	7.426	
Gas Cupiagua	56980	0.303	3	170940	0.909	
Gas La Creciente	54667.78	7.072	2	109335.56	14.144	
Gas natural Genérico	55539.11	6.589	5	277695.55	32.945	
Gas de Pozo cupiagua	56225.46	0.285	0.5	28112.73	0.1425	
SEBASTOPOL	54641.78	10.071	3	163925.34	30.213	
USME	56385.19	6.646	4	225540.76	26.584	
MARIQUITA	56642.07	0.479	4	226568.28	1.916	
Total				2812612.3	204.47628	

Fuente: Propia.

Ilustración 22.

Ejemplo de tabla de resultados de emisiones de GEI.

Resultados		
Concepto	Emision (Kg CO2eq)	Incertidumbre
Consumo de energía	2812612.337	204.47628
Porcesos	6.7423	70.6
Residuos	795.6	70.2
Transporte	130.8	32.7
Emisiones Totales	2813545.479	377.97628

Fuente: Propia.

Para facilitar el trabajo, se incluyó también, una guía de uso, que explicará de forma simple pero clara, como se debe manejar la herramienta para permitir un uso más

sencillo de esta y por ende, hacer el cálculo final de las emisiones más preciso y fácil de realizar para una persona con los conocimientos suficientes en el cálculo de la huella de carbono.

Otras Actividades Realizadas

- Descarga y procesamiento de datos de equipos de lectura directa de contaminantes (CO, SO₂, NO₂, O₃).
- Descarga y procesamiento de datos de equipos de medición de emisión de ruido y ruido ambiental.
- Descarga y procesamiento de datos de estaciones meteorológicas.
- Apoyo en la creación de una presentación para una capacitación en métodos de monitoreo de la calidad del aire de la EPA.
- Mantenimiento de equipos de medición de la calidad del aire.

Conclusiones

Como parte del trabajo de campo, se lograron realizar múltiples monitoreos de calidad del aire, en los cuales se priorizó siempre el cumplimiento de los estándares metodológicos solicitados por la EPA y la entrega de unos resultados precisos y confiables.

Durante las prácticas universitarias, se apoyó la realización de múltiples informes de calidad del aire, ruido ambiental y emisión de ruido, mismos que fueron revisados y entregados de forma efectiva a las entidades contratantes.

Se adelantó el proyecto para la creación de la herramienta para facilitar el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero empresarial.

Se realizaron más actividades de las originalmente planeadas, entre las que se encuentra el apoyo en la realización de informes de medición de partículas viables, descarga y procesamiento de datos de diversos equipos, mantenimiento de equipos y apoyo en la realización de capacitaciones.

A lo largo de todas estas actividades, se ha logrado explorar de una forma muy amplia el gran margen de aspectos que cubre la calidad del aire para los seres humanos, tanto el trabajo de campo, como el estudio y presentación de resultados, enriqueciendo el conocimiento adquirido en todas las etapas de la recolección y análisis de la información, haciendo de los aprendizajes, algo no solo teórico, sino también práctico.

Una de las mayores dificultades, fue el manejo de equipos en campo, ya que ante el fallo de estos es responsabilidad del encargado del monitoreo, hallar una solución por los medios que sean necesarios, por lo que, aunque muchas veces el hallar una solución

representó un reto, también fue una fuente de aprendizaje para los problemas que se suelen presentar en campo.

Referencias

- AirNow. (2023). *Air Quality Index (AQI)*. Obtenido de <https://www.airnow.gov/aqi/>
- American Laboratory Trading ALT. (2021). *Muestreador de Aire Mattson - Garvin 220*. Obtenido de https://americanlaboratorytrading.com/lab-equipment-products/mattson-garvin-220-air-sampler_5823
- American National Standards Institute (ANSI). ((2014)). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Obtenido de https://www.techstreet.com/standards/ansi-ashrae-standard-62-1-2013?product_id=1866573
- Colombia, Congreso de la República. (19 de Diciembre de 1973). *Ley 23*. Bogota D.C., Cundinamarca, Colombia: Gaceta del Congreso.
- Colombia, Congreso de la República. (18 de Diciembre de 1974). *Decreto 2811*. Bogota D.C., Cundinamarca, Colombia: Gaceta del Congreso.
- Colombia, Congreso de la República. (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99*. Bogota D.C., Cundinamarca, Colombia: Gaceta del Congreso.
- Congreso de la República de Colombia. (2022). *LEY 2169 DE 2021*. Obtenido de <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30043747>
- Consejo de Estado. (2014). *Sentencia de la Sección Primera del Consejo de Estado (Exp. 52.549)*. Obtenido de <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30043747>

Differkinome. (s.f.). *Difference between viable and nonviable particles*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2024, de <https://es.differkinome.com/articles/science/difference-between-viable-and-nonviable-particles.html>

Erika Sánchez Femat, D. N. (2017). *Simulación y Conteo de Unidades Formadoras de Colonias*. Zacatecas: ReCIBE.

Escobar Castro, D. I. (2021). *Síntomas de hipoacusia y exposición al ruido recreativo en jóvenes universitarios, Barranquilla, Colombia*. São Paulo: CoDAS.

Especialistas en Ingeniería, Medio Ambiente y Servicios S.A.S. (28 de Octubre de 2022). *Especialistas en Ingeniería*. Obtenido de <https://especialistas.net.co/>

Farrow, A. (2021). *Evaluación del monitoreo de la contaminación atmosférica en Bogotá, Colombia*. Exeter: Universidad de Exeter.

Gobierno de España. Ministerio de Industria, T. y. (2008). *Evaluación de Datos de Medición, Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida*.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Obtenido de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (s.f.). *IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2024, de <https://www.ipcc.ch/>

International Organization for Standardization (ISO). (2020). *ISO/IEC Guide 98-3:2008: Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/50461.html>

- International Organization for Standardization. (2020). *ISO/IEC Guide 98-3:2008: Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/50461.html>
- International Organization for Standardization. (s.f.). *About ISO*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2024, de <https://www.iso.org/about>
- International Union of Pure and Applied Chemistry. (2014). *IUPAC Compendium of Chemical Terminology: Standard Conditions*. Obtenido de <https://doi.org/10.1351/goldbook.S06170>
- Limaylla Cruz, J. J. (2021). *Evaluación de la contaminación acústica en el centro urbano de la ciudad de Huánuco que influye en la calidad de vida de la población–2019*. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Lira Gómez, C. F. (2023). *Mesófilos: Definición, características y ejemplos*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/mesofilos/>
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2018). *Brock biology of microorganisms*. Upper Saddle River: Pearson.
- Martinez, K. F. (s.f.). *The Design and Evaluation of a Cyclone*. Under the direction of Dr. Parker C. Reist.
- Ministerio de Ambiente. (5 de Junio de 1995). *Decreto 948*. Bogota D.C., Cundinamarca, Colombia: Diario Oficial.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Manual de diseño de sistemas de vigilancia de la calidad del aire*. Obtenido de

- https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Disenio.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Protocolo_Calidad_del_Aire_-_Manual_Operacion.pdf
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (4 de Abril de 2006). *Resolucion 601*. Bogota D.C., Cundinamarca, Colombia: Diario Oficial.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2006). Resolucion 0627. Bogota D.C.: Diario Oficial.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2008). *Protocolo para el Monitoreo de la Calidad del Aire*. Bogota D.C.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (24 de Marzo de 2010). Resolución 610. “*Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006*”. Bogota D.C., Cundinamarca, Colombia: Diario Oficial.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1 de Noviembre de 2017). *Resolucion 2254*. Bogota D.C., Cundinamarca, Colombia: Diario Oficial.
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2018). *NIST Technical Note 1297: Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results*. Obtenido de <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1297>
- National Weather Service. (s.f.). *Meteorology*. Obtenido de <https://www.weather.gov/jetstream/meteorology>

Occupational Safety and Health Administration. (2023). *Occupational Exposure Limits*.

Obtenido de <https://www.osha.gov/chemical-hazards/limits>

Olate, N. M. (2002). *Ruido impulsivo contextualizado en el ámbito laboral*. Valdivia:

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.

Ondarse Álvarez, D. (2024). *Levadura*. *Enciclopedia Concepto*. Obtenido de

<https://concepto.de/levadura/>

Real Academia Española. (s.f.). *Real Academia Española*. Recuperado el 9 de

Septiembre de 2024, de <https://www.rae.es/>

Rebaza, L. U. (2021). Análisis y evaluación de los niveles de CO y CO₂ en la ciudad de

Tacna en relación con el parque automotor y los estándares de calidad ambiental del aire. *Arquitek*, 21-33.

Superintendencia de Sociedades. (2021). *Informe cálculo huella de carbono*. Obtenido

de

<https://www.supersociedades.gov.co/documents/107391/862101/INFORME+CALCULO+HUELLA+DE+CARBONO.pdf>

Tisch Environmental. (s.f.). *High Volume Air Samplers*. Obtenido de [https://tisch-](https://tisch-env.com/high-volume-air-samplers/)

[env.com/high-volume-air-samplers/](https://tisch-env.com/high-volume-air-samplers/)

Tisch Environmental. (s.f.). *Low Volume Air Sampler*. Obtenido de [https://tisch-](https://tisch-env.com/low-volume-air-sampler/)

[env.com/low-volume-air-sampler/](https://tisch-env.com/low-volume-air-sampler/)

U.S. Environmental Protection Agency. (2004). *Cyclone Sampling for Particulate Matter*.

Obtenido de <https://www3.epa.gov/ttnca1/dir1/fcyclons.pdf>

- U.S. Environmental Protection Agency. (2015). *Una breve guía para el moho, la humedad y su hogar*. Obtenido de https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/moldguide_sp_1.pdf
- U.S. Environmental Protection Agency. (2021). *Particulate Matter (PM) Basics*. Obtenido de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- U.S. Environmental Protection Agency. (13 de Septiembre de 2024). *Code of Federal Regulations, Title 40, Chapter I, Subchapter C. Electronic Code of Federal Regulations*. Obtenido de <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-C>
- U.S. Environmental Protection Agency. (s.f.). *Descripción general de los gases de efecto invernadero*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2024, de <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/descripcion-general-de-los-gases-de-efecto-invernadero>
- U.S. Environmental Protection Agency. (s.f.). *Glosario ambiental bilingüe*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2024, de <https://espanol.epa.gov/espanol/glosario-ambiental-bilingue>
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2023). *Resolución 762 de 2023*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Normatividad/762_2023.pdf
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2023). *Resolución 762 de 2023*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Normatividad/762_2023.pdf
- Unidad de Planeación Minero Energética. (s.f.). *Documento soporte de cálculo de la fórmula de estabilización*. Recuperado el 9 de Septiembre de 2024, de

https://www1.upme.gov.co/ServicioCiudadano/Documents/Proyectos_normativos/Documento_soporte_de_calculo_FE.pdf

Unidad de planeación minero-energética. (s.f.). *Calculadora de emisiones según combustible*. Recuperado el 18 de 11 de 2024, de https://app.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones1/new/calculadora.html

Vélez-Pereira, A. C. (2010). Distribución espacio-temporal de aerobacterias en el relleno sanitario Palangana, Santa Marta (Colombia). *Intropica*, 7-18.

World Health Organization. (6 de Septiembre de 2021). *Noise*. Obtenido de <https://www.who.int/europe/news-room/fact-sheets/item/noise>

World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. (2014). *Protocolo de gases de efecto invernadero: Contabilidad y reporte de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte*. Obtenido de https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/GHGP_GPC%20%28Spanish%29.pdf