Código de identificación: IFF-2624

INFORME FINAL

EVALUACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS
MONITOREO ISOCINÉTICO EN CALDERA 950 BHP
COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S.
PEREIRA, RISARALDA



Registro fotográfico del muestreo isocinético GESTIÓN y MEDIOAMBIENTE S.A.S (estudio actual).

CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCIÓN 6

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO 8

2.1 OBJETIVO GENERAL 8

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 8

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y EL SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES 9

4. ESPECIFICACIONES DE LAS FUENTES EVALUADAS 9

4.1. CONDICIONES DEL MUESTREO 12

5. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE MEDICIÓN 13

5.1 Información General de Gestión y Medioambiente S.A.S 13

5.2 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN 14

5.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS 14

5.2.2 MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS 16

5.2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS: PROCEDIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA 24

6. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD 27

7. Equipos de Calibración Externa y Verificación en el Laboratorio 28

8. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 30

9. VALIDACIÓN DE DATOS Y LISTA DE CHEQUEO 33

10. AUDITORIA DE LA MEDICIÓN 33

11. REPORTE DE ERRORES 33

1. ANÁLISIS DE RESULTADOS 34

2. REPORTE PARA REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL (RUA) 36

3. CONCLUSIONES 37

BIBLIOGRAFÍA 38

ANEXOS

Anexo 01. Formatos de campo (carpeta anexos)
Anexo 02. Certificados de calibración (carpeta anexos)
Anexo 03. Hojas de cálculo (carpeta anexos)
Anexo 04. Reportes de laboratorio (carpeta anexos)
Anexo 05. Registro fotográfico (carpeta anexos)
Anexo 06. Resolución de acreditación (carpeta anexos)

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Resumen ejecutivo de la actividad, monitoreo y resultados 4
Tabla 2. Información general de la empresa 7
Tabla 3. Especificaciones de la fuente evaluada 9
Tabla 4. Condiciones del muestreo 12
Tabla 5.Información general de la empresa responsable de realizar el monitoreo 13
Tabla 6. Descripción del muestreador isocinético y equipos del laboratorio 14
Tabla 7. Verificación de equipos 28
Tabla 8. Calibración externa de equipos de fuentes fijas 28
Tabla 9. Personal encargado de los monitoreos 29
Tabla 10. Procedimiento de mantenimiento y calibración 30
Tabla 11. Procedimiento de verificación de patrones y materiales de referencia 32
Tabla 12. Procedimiento para validación de datos 33
Tabla 13. Resultados de emisión de material particulado en Caldera 950 BHP 34
Tabla 16. Resultados consolidados de parámetros evaluados 35
Tabla 17. Registro Único Ambiental (RUA) – Caldera 950 BHP 36

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Esquema general de la fuente evaluada 11
Figura 2. Muestreador isocinético C-5000* 15
Figura 3. Instrumentos de laboratorio 16
Figura 4. Equipo ORSAT 16
Figura 5. Número mínimo de puntos de muestreo 17
Figura 6. Tubo Pitot tipo S 18
Figura 7. Tren de muestreo del contenido de humedad 21
Figura 8. Tren de muestreo para la medición de NO_2 23
Figura 9. Rotulo para muestra 24

LISTA DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico 1. Concentración MP Vs Estándar admisible en la Caldera 35

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1. Fuente evaluada – Caldera 950 BHP 10

I. RESUMEN EJECUTIVO

La Corporación Autónoma Regional de Risaralda – CARDER, dentro de su programa de control periódico, ha solicitado la ejecución de la evaluación de las emisiones contaminantes del punto de descarga en las Chimenea de la Caldera de 950 BHP de la COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S. A continuación, a manera de resumen se presenta la ficha técnica de los cálculos de emisión con base con la resolución 909 de 2008 y el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas de octubre de 2010 (versión 2.0).

Tabla 1. Resumen ejecutivo de la actividad, monitoreo y resultados

<table>
<tr><th>Sección</th><th>Característica</th><th>Valor o especificación</th></tr>
<tr><td rowspan="10">Generalidades</td><td>Solicitante</td><td>COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S..</td></tr>
<tr><td>NIT</td><td>901.543.173-4</td></tr>
<tr><td>Representante Legal</td><td>Abraham Levy Toledo</td></tr>
<tr><td>Domicilio solicitante</td><td>Km 8 vía cerritos sector La Lotena Lote 9</td></tr>
<tr><td>Georreferenciación</td><td>N: 4°52’14” E: 75°52’10”</td></tr>
<tr><td>Municipio</td><td>Pereira</td></tr>
<tr><td>Departamento</td><td>Risaralda</td></tr>
<tr><td>Número de fuentes</td><td>01</td></tr>
<tr><td>Nombre de las fuentes</td><td>Fuente fija #1: Caldera 950 BHP</td></tr>
<tr><td>Métodos utilizados para la toma y análisis de muestras</td><td>Monitoreo de evaluación de emisiones de fuentes fijas aplicando los métodos 1, 2, 3, 4, y 5 del CFR, T40, P60, Apéndices establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (US-EPA).</td></tr>
<tr><td>Objetivo</td><td>Determinar la concentración de Material Particulado (MP) de la fuente indicada</td></tr>
<tr><td rowspan="15">Especificaciones y Condiciones de operación de la fuente fija</td><td>Fecha de muestreo</td><td>26 de febrero de 2026</td></tr>
<tr><td>Fecha de recepción de muestras.</td><td>2026/03/02</td></tr>
<tr><td>Tipo</td><td>Monitoreo Periódico</td></tr>
<tr><td>Capacidad</td><td>950 BHP</td></tr>
<tr><td>Tipo de combustible (Sólido, líquido, gas)</td><td>Solido – Carbón</td></tr>
<tr><td>Consumo de combustible</td><td>
<table>
<tr><th>AÑO</th><th>MES</th><th>Toneladas</th></tr>
<tr><td rowspan="12">2025</td><td>Enero</td><td>260</td></tr>
<tr><td>Febrero</td><td>270</td></tr>
<tr><td>Marzo</td><td>340</td></tr>
<tr><td>Abril</td><td>430</td></tr>
<tr><td>Mayo</td><td>370</td></tr>
<tr><td>Junio</td><td>263</td></tr>
<tr><td>Julio</td><td>336</td></tr>
<tr><td>Agosto</td><td>377</td></tr>
<tr><td>Septiembre</td><td>336</td></tr>
<tr><td>Octubre</td><td>344</td></tr>
<tr><td>Noviembre</td><td>294</td></tr>
<tr><td>Diciembre</td><td>273</td></tr>
<tr><td>2026</td><td>Enero</td><td>358</td></tr>
<tr><td colspan="2">Promedio</td><td>327</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Tipo de Chimenea</td><td>Circular</td></tr>
<tr><td>Tipo de fuente</td><td>Caldera</td></tr>
<tr><td>Diámetro de chimenea</td><td>0,975 m</td></tr>
<tr><td>Altura total de Chimenea</td><td>37,00 m</td></tr>
<tr><td>Tiene plataforma</td><td>Si</td></tr>
<tr><td>Tiene escaleras</td><td>Si</td></tr>
<tr><td>Distancia A (m)</td><td>18,50</td></tr>
</table>

Sección	Característica	Valor o especificación
	Relación (A/D)	19 diámetros
	Distancia B (m)	16,50
	Relación (B/D)	17 diámetros
	¿Ausencia de flujo ciclónico?	Si, ver anexo 2 Hojas de cálculo
	Longitud promedio niples (m)	0,155
	Diámetro promedio de los niples	4 pulgadas
	Grado de simetría de los niples	90°
	Acceso	Escalera con barandas y plataforma
	Temperatura promedio de la Chimenea	55,76
	Presión de los gases de salida	677,89
	Contenido de Humedad Reportada	1,046%
	Velocidad Promedio del Gas	9,51
	Caudal condiciones de referencia	340,74
Material Particulado (MP)	ESTANDAR DE EMISIÓN ADMISIBLE en mg/m^3	50
	RESULTADO en mg/m^3	49,82 ± 6,77
	Unidad de contaminación ambiental (UCA) – Grado de significancia y frecuencia de monitoreo	Grado de significancia: Medio Frecuencia de monitoreo: cada año

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

Durante el muestreo y el tiempo posterior a la medición, no se reportan errores por perdida o alteración de la muestra.

Gestión y Medioambiente NIT 900.492.960-0

César Augusto Castañeda
Director técnico

Gestión y Medioambiente NIT 900.492.960-0

Diana Lucía Castrillón Monroy
Directora de Calidad

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe técnico contiene los resultados de la evaluación de evaluación de Material Particulado (MP) en una (1) fuente fija "Caldera 950 BHP" de la "COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S." ubicada en el Km 8 vía cerritos sector la Lotena lote 9, jurisdicción de Pereira (Risaralda). Los métodos utilizados en el muestreo isocinético están establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), los cuales son aprobados en el decreto 948 del Ministerio de Ambiente, al igual que en la Resolución 760 de 2010 modificada por la resolución 2153 de 2010 y en la Resolución 909 de junio de 2008.

Los contaminantes se evaluaron durante las mediciones realizada el 26 de febrero de 2026, se mantuvo una operación superior al 90% de promedio de la producción del último año.

Las metodologías aplicadas para el muestreo y cálculo están basadas en el Código Federal de Regulaciones de los Estados Unidos de América, normalizadas por la Agencia de Protección Ambiental – EPA CFR Titulo 40, parte 60 Apéndice A, las cuales son adoptadas por el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, versión 2.0, emitido por el antiguo Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) mediante la Resolución 909 de 2008. Los métodos utilizados en el muestreo isocinético para la determinación de los contaminantes evaluados son:

- Método 1 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-1 Selección del sitio de muestreo, determinación del número de puntos y su localización.
- Método 2 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-1 Determinación de la velocidad de las emisiones y del flujo volumétrico en chimeneas con tubo Pitot.
- Método 3 US EPA CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-2. Análisis de Gas para la Determinación de Peso Molecular Seco. Muestreo Integrado Multipunto.
- Método 4 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3 Determinación del contenido de humedad de los gases.
- Método 5 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3 Determinación de emisiones de partículas.

Durante las mediciones directas no se presentaron errores que alteren los resultados obtenidos. Las muestras fueron analizadas por el laboratorio de Gestión y Medioambiente S.A.S el cual se encuentra acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2017 para la realización de los análisis de las muestras tomadas en los monitoreos del recurso aire. Los métodos empleados para el análisis de laboratorio en el presente estudio fueron:

- Análisis de material particulado MP, US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3: Método 5

Se realizó un estudio de emisiones contaminantes en las fuentes evaluadas, con el fin de realizar un diagnóstico respecto a los estándares de emisión admisibles para el respectivo sector.

Tabla 2. Información general de la empresa

INFORMACIÓN GENERAL DE LA INDUSTRIA	
Razón Social	COPAC - COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S.
NIT.	901.543.173-4
Representante Legal	Abraham Levy Toledo
C.C.	1.088.304.611
Responsable del proceso	Anggie Paola Ramírez Marín
Correo	sgca@corrugadosderisaralda.com
Dirección	Km 8 vía cerritos sector la Lotena Lote 9 Jurisdicción de Pereira (Risaralda)
Coordenadas	N: 4°52’14” E: 75°52’10”

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

De acuerdo con la Tabla N.5 del Artículo 8 de la Resolución 909 del 2008 del MAVDT, los estándares máximos de emisión admisibles para equipos de combustión externa nuevos (operación después de 2008), que corresponde a la chimenea de la caldera evaluada (Caldera de 950 BHP) a condiciones de referencia (25°C, 760 mm Hg) son: MP 50 mg/m3. Para la determinación de las concentraciones se utilizaron los métodos EPA 1, 2, 3, 3B, 4 y 5 del CFR, T40, P60, AA de la US EPA, en el desarrollo del monitoreo no se identificaron errores en las mediciones y los resultados obtenidos.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1 OBJETIVO GENERAL

Verificar el cumplimiento de las emisiones atmosféricas en la chimenea de la caldera de 950 BHP de la empresa COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S. según los estándares permisibles de emisión para fuentes fijas, de acuerdo con lo establecido en la Resolución 909 de 2008 y los requerimientos del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas versión 2.0 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la concentración de material particulado (MP) aplicando los métodos US-EPA 1, 2, 3, 4, y 5 en las emisiones de la fuente mencionada.
- Comparar y evaluar los resultados de las emisiones atmosféricas de las fuentes evaluadas operando a condiciones normales mínimo al 90% de capacidad, frente a los limites admisibles establecidos en la Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT)
- Corroborar la frecuencia de los estudios de evaluación de emisiones atmosféricas mediante el uso de las Unidades de Contaminación Atmosférica (UCA).

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y EL SISTEMA DE CONTROL DE EMISIONES

La COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S. se encuentra localizada en el Km 8 vía cerritos sector la Lotena lote 9 jurisdicción de Pereira - Risaralda, es una empresa del sector papelero que además de producir papel a partir de fibras recicladas, brinda soluciones de empaques en plegadiza, microcorrugado y corrugado para la mejor presentación e imagen de productos con una amplia capacidad de producción. Como parte del proceso se cuenta con una unidad generadora de vapor (Caldera 950 BHP) cuyo combustible es el carbón. La combustión de este combustible provee el calor necesario para la generación de vapor que a su vez se generan emisiones de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, las cuales son expulsadas por un sistema de extracción (chimenea o ducto).

4. ESPECIFICACIONES DE LAS FUENTES EVALUADAS

En la Tabla 3, se detallan las especificaciones de la fuente fija evaluada.

Tabla 3. Especificaciones de la fuente evaluada

Características	Unidad	Chimenea 1
Tipo de fuente	-	Caldera Horizontal
Capacidad	BHP	950
Tipo de combustible (Sólido, liquido o gas)	-	Carbón (sólido)
Año de inicio de actividades o desde el cual opera la fuente	-	Unidad Nueva (operando después de 2008)
Cantidad de consumo de combustible:	Ton	AÑO / MES / Toneladas: 2025 Enero 260; Febrero 270; Marzo 340; Abril 430; Mayo 370; Junio 263; Julio 336; Agosto 377; Septiembre 336; Octubre 344; Noviembre 294; Diciembre 273; 2026 Enero 358; Promedio 327
Altura de Chimenea	m	37
Diámetro de Chimenea (si es circular)	m	0,975
Largo x Ancho (Si es rectangular)	m	NA
Tiene plataforma (Sí/No)	-	Si
Tiene escaleras (Sí/No)	-	Si (en espiral con barandas)

Fuente: COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S.., 2026

En la Fotografía 1 se presenta de manera muy general un registro fotográfico de la fuente evaluada en la COMPAÑÍA PAPELERA DE COLOMBIA S.A.S. y en el Anexo 4 se muestra una evidencia fotográfica mucho más completa de la fuente en evaluación teniendo en cuenta todo el proceso del muestreo isocinético.

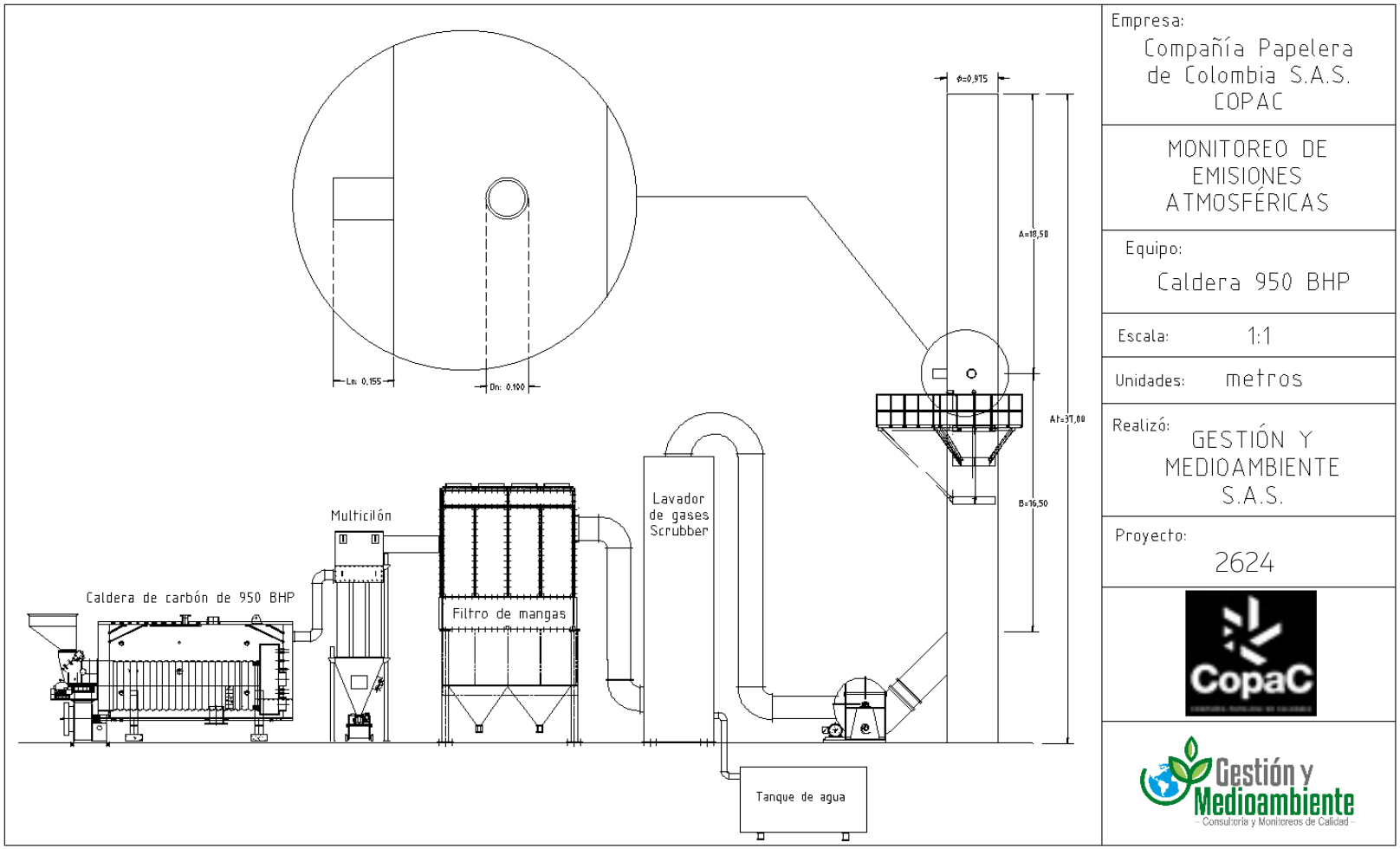
Fotografía 1. Fuente evaluada – Caldera 950 BHP



Diámetro interno (m)	0,975
Distancia A (m)	18,50
Relación (A/D)	19 diámetros
Distancia B (m)	16,50
Relación (B/D)	17 diámetros
¿Ausencia de flujo ciclonico?	Si, ver anexo 2 Hojas de cálculo
Longitud promedio niples (m)	0,155
Diámetro promedio de los niples	3 pulgadas
Grado de simetría de los niples	90°
Acceso	Escalera en espiral con barandas y plataforma

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

Figura 1. Esquema general de la fuente evaluada



Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

4.1. CONDICIONES DEL MUESTREO

Tabla 4. Condiciones del muestreo

Estado de los Gases de Combustión en Chimenea y las Condiciones Ambientales		
Condiciones de chimenea	Caldera 950 BHP	Unidades
Puntos Totales de Muestreo	12	Puntos
Muestras para MP	4	Filtros
Temperatura Ambiente	28,3	°C
Altitud	958	m.s.n.m.
Temperatura Promedio de Gases de Salida	55,76	°C
Presión Atmosférica	677,89	mm Hg
ΔP promedio	6,5	mm H_2O
Pg promedio	3,00	mm H_2O
Velocidad Promedio de los gases de Chimenea	9,51	m/s
Humedad de gases de Chimenea	1,046	%
Composición de los gases de emisión	Porcentaje	Unidades
Dióxido de Carbono Promedio–CO_2-	10,99	%
Oxigeno Promedio –O_2-	10,57	%
Monóxido de Carbono Promedio –CO-	0,0	%
Nitrógeno Promedio –N_2-	78,44	%
Peso molecular Promedio del gas seco-Md-	30,18	g/g-mol

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

5. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE MEDICIÓN

5.1 INFORMACIÓN GENERAL DE GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S

La toma de muestras fueron realizadas por el personal del laboratorio de Gestión y Medioambiente S.A.S NIT: 900.492.960-0 ubicado en la carrera 28D 71 – 12 barrio Palermo en Manizales (Caldas), acreditado bajo Resolución de renovación 1592 del 22 de diciembre de 2021, además, se encuentra trabajando en diferentes sectores industriales, públicos y privados.

El laboratorio Gestión y Medioambiente S.A.S se encuentra acreditado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025:2017 para la realización de los análisis de las muestras tomadas en los monitoreos del recurso aire. Cubre los ensayos y las calibraciones que se realizan utilizando métodos normalizados, mediante resolución de acreditación por parte del IDEAM en toma y análisis en fuentes fijas, por medio de los métodos 1, 2, 3, 3B, 4 y 5; garantizando que los estudios realizados son válidos por las autoridades nacionales y regionales.

Además, se cuenta con un sistema integrado de gestión de calidad, seguridad, higiene y salud ocupacional, garantizando la calidad y dando cumplimiento a cada uno de sus compromisos comerciales. El laboratorio de Gestión y Medioambiente S.A.S, cuenta con una adecuada estructura tecnológica y de calidad con un personal interdisciplinario y multidisciplinario, como garantía para el desarrollo de los servicios ofrecidos y producto entregado.

Tabla 5.Información general de la empresa responsable de realizar el monitoreo

Datos generales del laboratorio	
Nombre	GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S
NIT	900.492.960-0
Dirección	Carrera 28D 71 - 12 Barrio Palermo
Ciudad, Departamento	Manizales, Caldas
Teléfono	(057) (6) 890 37 77 Cel. 318 389 8066
Correo electrónico	*gerencia@gestionymedioambiente.com.co*
Acreditación IDEAM	**GESTIÓN & MEDIOAMBIENTE S.A.S** Nº 0811 de 22 de julio de 2025
Experiencias Previas	• Buencafé Liofilizado de Colombia • Ternium Siderurgica de Caldas • Nestlé de Colombia SA • Harinera de Occidente • Industria de Harinas Tuluá • Proelectrica S.A E.S.P EBR Rubiales y ODL Tauramena

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

La empresa Gestión & Medioambiente S.A.S con base en su política de calidad y con el propósito de establecer claridad en el procesamiento de datos, determina que: en el momento de comparar los resultados con los límites máximos permitidos establecidos por normatividad vigente u otras especificaciones establecidas por el cliente, se hará una declaración binaria para una regla de aceptación simple o riesgo compartido (Guía ILAC G8), teniendo en cuenta como límite de tolerancia w=cero, de acuerdo con las siguientes reglas:

a. Cuando el resultado de la medición más la incertidumbre no sobrepasa el valor límite, se declara “Conforme” o “Cumple”, en el informe técnico.
b. Cuando el resultado de la medición esté justo en el valor límite, se declara “Conforme” o “Cumple”.
c. Cuando el resultado de la medición menos la incertidumbre sobrepasa el valor límite, se declara “No Conforme” o “No Cumple”, en el informe técnico.

d. Cuando el resultado de la medición está por debajo del límite y al sumarle la incertidumbre, sobrepasa el valor límite, se declara "Conforme" o "Cumple", en el informe técnico.
e. Cuando el resultado de la medición está por encima del límite y al restarle la incertidumbre, no sobrepasa el valor límite, se declara "No Conforme" o "No Cumple", en el informe técnico.
f. Cuando el resultado de la medición está por debajo del límite de detección del laboratorio y éste sea menor al límite de la norma, se declara "Conforme" o "Cumple".

5.2 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

5.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

En la presente sección es presentada una breve descripción de los equipos empleados para el muestreo Isocinético y análisis de laboratorio respectivo. El número de serie de cada uno de ellos se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Descripción del muestreador isocinético y equipos del laboratorio

ITEM	EQUIPO	CÓDIGO INTERNO/ SERIAL	FECHA DE CALIBRACIÓN
1	Medidor de gas seco (Dry Gas Medidor - DGM) de Consola Environmental Supply C-5000 (Cod Interno M065)	M065-DGM 18379396	2025/07/30
2	Termocuplas de equipo M065	M065-T	2025/04/01
3	Vacuómetro de consola M065	M065-V	2025/04/15
4	Manómetro inclinado de consola M065	M065-P	2025/04/15
5	Orificios Críticos Environmental Supply CO	M071/ CO1680	2025/11/15
6	Gases de calibración – CO_2 y O_2	M161-M162-M163/ FF35119-FF54958-FF54950	Septiembre de 2024 hasta septiembre de 2027
7	Pesa Patrón de 500 g Marca Trumax	M111/ AQ180190	2024/04/04
8	Pie de rey Uberman 0 mm a 150 mm	M128/No reporta	2025/05/26
9	Balanza analítica Sartorius Modelo: BCE224I-1S	A059/ 0043204462	2026/02/09
10	Balanza de precisión Trumax Mix-A	M143/YS226912	2025/09/13
11	Horno de secado BINDER Modelo FD-S-115-UL	A063/2023000017999	2025/11/04
12	Termómetro digital con termocupla Tipo K Marca Fluke	M068/25810168WS	2025/04/01
14	Manómetro diferencial de presión Digital Marca DWYER	M069/No reporta	2025/04/01
15	Analizador de combustión (verificación)	M151/ 81003400	2025/03/01
16	Bureta Digital	A062/ 24B41263	2025/03/25

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

5.2.1.1 Equipo Isocinético

El equipo utilizado es un muestreador isocinético marca C-5000 ENVIRONMENTAL SUPPLY COMPANY, INC, la Figura 2 muestra un esquema de este con base en lo establecido por el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, el equipo ha sido diseñado cumpliendo con las especificaciones de la US EPA. La corriente de gas es succionada a través de la boquilla (Nozzle), conducida por la sonda (Probe) hacia la caja caliente (hot box), donde las partículas pasan a través de un filtro y son removidas de la corriente gaseosa, luego el gas caliente pasa a una caja fría (cold box) en donde se encuentran los impactadores. El equipo cuenta con un cordón umbilical, el cual conduce el gas que sale de la caja fría hacia la consola, que

contiene en su interior un manómetro para determinar la caída de presión a través de un orificio y otro que marca la diferencia de presión del tubo de Pitot en S, colocado junto con la boquilla en el interior de la chimenea; la succión para que el equipo funcione la realiza una bomba de vacío.

Figura 2. Muestreador isocinético C-5000*



Fuente: Base de datos Gestión y Medioambiente S.A.S
* ENVIRONMENTAL SUPPLY COMPANY, INC

Los módulos de medición de gas constan de un medidor de gas seco en el cual se registra el volumen de aire succionado; cuenta con un caudal nominal de hasta 4,4 m^3/h (2,6 cfm) en 25 mmH_2O. La sonda de toma de muestra es estándar según el método 5, con una longitud de 6 ft elaborada con acero inoxidable el cual resiste temperaturas máximas de 650 °C. El tren que cuenta con un total de cuatro impactadores (para el método 5), los dos primeros contienen cada uno 100 mililitros de agua destilada, el tercero se encuentra vacío y el último contiene 200 gramos de sílice-gel. Estos se encuentran sumergidos en hielo, el cual por diferencia de temperatura causa condensación.

5.2.1.2 Equipos de laboratorio

Para la determinación del material particulado según el método 5: Análisis de material particulado, US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3: se utiliza una balanza digital SARTORIUS (a), mediante gravimetría se calcula la diferencia en peso con el fin de determinar posteriormente la concentración de material particulado, ver

Figura 3.

El Laboratorio Gestión y Medioambiente S.A.S. se encuentra acreditado según la Resolución de renovación Nº 1592 del 22 de diciembre de 2021 de IDEAM para producir información cuantitativa física y química para los estudios o análisis ambientales requeridos por las autoridades ambientales competentes, e información de carácter oficial relacionada con el recurso aire.

Figura 3. Instrumentos de laboratorio

Balanza Analítica



Fuente: Base de datos Gestión y Medioambiente S.A.S.

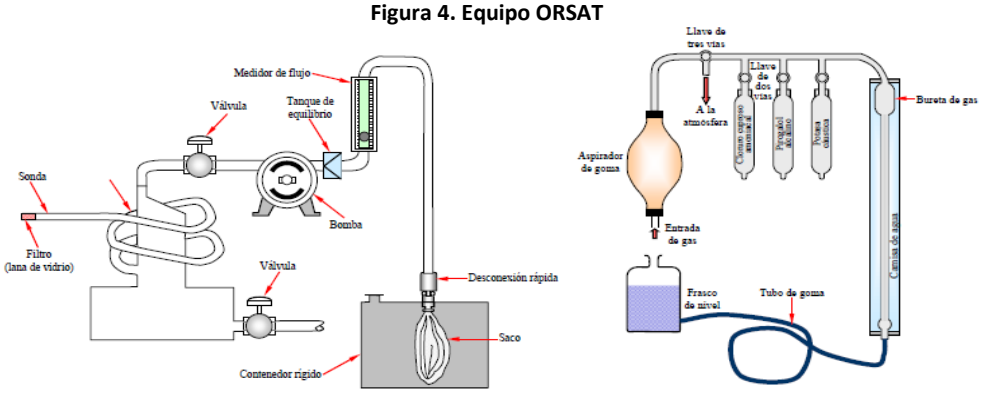
5.2.1.3 Equipo analizador de gases de combustión

5.2.1.3.1 Orsat

El aparato Orsat es un dispositivo que permite realizar análisis volumétrico en base seca de los productos de la combustión. El Orsat más común sirve para determinar el monóxido de carbono, el dióxido de carbono y el oxígeno. La fotografía anterior muestra un Orsat de tres reactivos. A la derecha hay una bureta de medición revestida por una camisa de agua a fin de evitar variaciones de temperatura durante el análisis. Las pipetas A, B y C contienen hidróxido de potasio (absorbe el CO_2), ácido pirogálico (absorbe el O_2) y cloruro cuproso (absorbe el CO_2), respectivamente.

El equipo analizador llamado Orsat, permite individualizar y cuantificar los gases ácidos (anhídrido carbónico, anhídrido sulfuroso y otros gases ácidos eventualmente presentes, en su conjunto), el O_2 y el CO_2 en una muestra gaseosa. Está diseñado para determinaciones del método 3, por análisis integrado o muestras colectadas en bolsas de tedlar para determinar el CO_2 y a veces las concentraciones de CO de la emisión de combustibles fósiles, basado en el cambio de volumen que sufren ciertos compuestos al absorber.

Figura 4. Equipo ORSAT



Fuente: Base de datos Gestión y Medioambiente S.A.S.

5.2.2 MÉTODOS DE TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS

Los métodos empleados para toma de muestras en el presente estudio fueron:

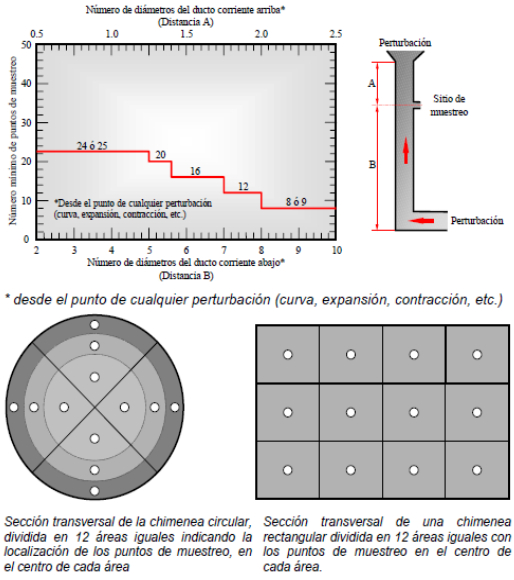
5.2.2.1 Método 1 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1 Selección del sitio de muestreo, determinación del número de puntos y su localización

Para obtener una medición representativa de las emisiones de los contaminantes y/o los caudales de una fuente estacionaria, se selecciona un sitio de medición en la chimenea en donde la corriente fluye en una dirección

conocida. Se divide la sección transversal en un número de áreas iguales y se localiza un punto de travesía dentro de cada una de estas áreas.

Este método es aplicable para corrientes de gas que fluyen en ductos y chimeneas. El método no puede ser usado cuando: (1) El flujo es ciclónico o turbulento, (2) El diámetro de la chimenea es inferior a 0,30 m o tiene un área transversal inferior a 0,071 m^2; o (3) El sitio de medición tiene menos de dos diámetros de chimenea o ducto corriente abajo o menos de medio diámetro corriente arriba después de una perturbación. Se considera que la sección del ducto más adecuada para ubicar el sitio de medición es aquella que tiene una distancia equivalente de ocho (8) diámetros, corriente abajo después de una perturbación y dos (2) diámetros, corriente arriba antes de la siguiente, ya que en esta franja se encuentra un flujo laminar.

Figura 5. Número mínimo de puntos de muestreo



** desde el punto de cualquier perturbación (curva, expansión, contracción, etc.)*

Sección transversal de la chimenea circular, dividida en 12 áreas iguales indicando la localización de los puntos de muestreo, en el centro de cada área

Sección transversal de una chimenea rectangular dividida en 12 áreas iguales con los puntos de muestreo en el centro de cada área.

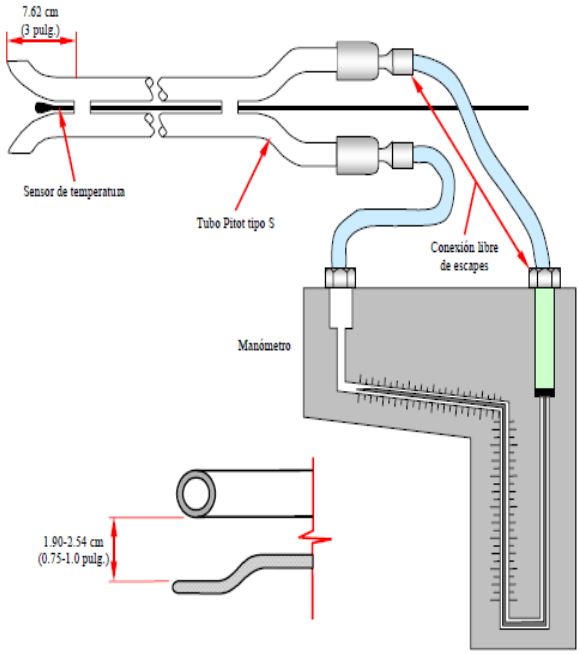
Fuente: Base de datos Gestión y Medioambiente S.A.S.

5.2.2.2 Método 2 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1 Determinación de la velocidad de las emisiones y del flujo volumétrico en chimeneas o ductos con tubo Pitot

Para establecer la velocidad del gas en el ducto de emisión se usan las lecturas de la medida de la presión diferencial con un tubo de Pitot tipo S (Stausscheibe u opuesto). La velocidad del gas está condicionada directamente por la humedad, densidad y temperatura de emisión. El cálculo del caudal total se determina mediante el cálculo de la velocidad y área total del ducto, como lo establece el método, Figura 6.

El tubo Pitot estándar puede usarse en lugar de uno tipo “S”, sin embargo, como los orificios de presión estática y absoluta del tubo estándar son susceptibles a obstruirse por las partículas presentes en la corriente gaseosa; siempre que este se utilice para realizar una travesía, se debe inspeccionar para asegurarse que los orificios no se han tapado durante la medición. Esto se puede lograr comparando la medición de la presión de velocidad (ΔP) registrada en un punto de travesía seleccionado con una segunda medición de ΔP registrada en el mismo punto después hacer pasar aire presurizado en contracorriente por el tubo Pitot para limpiar los orificios de presión absoluta y estática. Si las mediciones de ΔP, antes y después; están dentro de un 5 % de diferencia, entonces los datos de la travesía son aceptables. Los resultados de la determinación de la velocidad y tasa volumétrica de gases en chimenea, se presentan en el Anexo 2 del estudio.

Figura 6. Tubo Pitot tipo S



Fuente: Base de datos Gestión y Medioambiente S.A.S

Muestreo preliminar

En el muestreo preliminar para cada fuente evaluada se calculan los siguientes parámetros:

- Presión absoluta en la chimenea (P_s)
- Presión de medición (P_m)
- Volumen de gases medidos a condiciones estándar (V_{mst})
- Volumen de vapor de agua en impactadores y sílice gel en condiciones estándar (V_{wst})
- Contenido de humedad en gases de chimenea (B_{ws})
- Peso molecular del gas en condiciones de chimenea (M_s)
- Diámetro de la boquilla (ϕn)
- Constante isocinética de trabajo (K)

5.2.2.3 Método 3 US EPA CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-2. Análisis de gas para la determinación de peso molecular seco. Muestreo integrado multipunto

Términos utilizados en los cálculos.

ACE	=	Error de calibración del analizador, porciento del límite superior de calibración
B_{WS}	=	Contenido de humedad en la muestra de gas medido de acuerdo con el método 4 u otro método aprobado, %/100
C_D	=	Concentración promedio sin ajustes indicada por el registrador de datos para una corrida de la prueba, %
C_{Dir}	=	Concentración medida para un gas de calibración (bajo, medio o alto) introducido en el modo de calibración directa, %
C_{Gas}	=	Concentración promedio del efluente gaseoso ajustada por desviación por sistema, %
C_M	=	Respuestas promedio al gas de calibración de valor alto durante la prueba inicial y final de desviación por sistema (o prueba de error de calibración de sistema de 2 niveles), ppm
C_{MA}	=	Concentración actual del gas de calibración de valor alto, ppm
C_{Native}	=	Concentración de NO_X en el gas de la chimenea calculada de acuerdo con la Sección 12.6, ppm

C_O = Respuestas promedio al gas de calibración de nivel-bajo (o cero) durante la prueba inicial y final de desviación por sistema (o prueba de error de calibración de sistema de 2 niveles), ppm
C_{OA} = Concentración actual del gas de calibración de nivel-bajo, ppm
C_S = Concentración medida para un gas de calibración (bajo, medio o alto) introducido en el modo de calibración de sistema, %
C_{SS} = Concentración de NO_X medida en la muestra fortificada, %
C_{Spike} = Concentración de NO_X en el gas de fortificación sin diluir, ppm
C_{Calc} = Concentración calculada de NO_X del gas de fortificación ya diluido en la muestra, %
C_V = Concentración certificada por el fabricante para un gas de calibración (bajo, medio o alto), %
C_W = Concentración de un contaminante medido bajo condiciones de muestra húmeda, base húmeda, ppm
CS = Límite superior de calibración, %
D = Evaluación del desplazamiento, porciento del límite superior de calibración
DF = Factor de dilución del sistema de dilución o factor de dilución del gas de fortificación, adimensional
Eff_{NO2} = Eficiencia del convertidor de NO_2 a NO, porciento
NO_{Xcorr} = Concentración de NO_X corregida por eficiencia de conversión, ppm
NO_{Xfinal} = Concentración final de NO_X observada durante la prueba de eficiencia de conversión de la Sección 16.2.2, ppm
NO_{Xpeak} = Concentración máxima de NO_X observada durante la prueba de eficiencia de conversión de la Sección 16.2.2, ppm
Q_{Spike} = Flujo del gas de fortificación introducido en modo de calibración de sistema, l/min
Q_{Total} = Flujo total de muestra durante la prueba de fortificación, l/min
R = Recuperación de la fortificación, porciento
SB = Desviación por sistema, porciento del límite superior de calibración
SB_i = Desviación por sistema inicial, porciento del límite superior de calibración
SCE = Error de calibración del sistema, porciento del límite superior de calibración
SCE_i = Error de calibración del sistema inicial, porciento del límite superior de calibración
SCE_{Final} = Error de calibración del sistema final, porciento del límite superior de calibración

Error de Calibración del Analizador

Para sistemas sin dilución, utilice la Ecuación 7E-1 para calcular el error de calibración del analizador para los gases de calibración de nivel-bajo, nivel-medio y nivel-alto.

$$ACE = \frac{C_{Dir} - C_V}{CS} \times 100$$ **Ecuación 7E-1**

Desviación por Sistema.

Para sistemas sin dilución, utilice la Ecuación 7E-2 para calcular la desviación por sistema en forma separada para los gases de calibración de nivel-bajo y valor alto.

$$SB = \frac{C_S - C_{Dir}}{CS} \times 100$$ **Ecuación 7E-2**

Evaluación del Desplazamiento.

Utilice la Ecuación 7E-4 para calcular en cada corrida y en forma separada, el desplazamiento para el gas de calibración de nivel-bajo y el de valor alto. Para sistemas por dilución, remplace “SBFinal” y “Sbi” con “SCEFinal” y “SCEi”, respectivamente, para evaluar el desplazamiento.

$$DE = |SB_{Final} - SB_i|$$ **Ecuación 7E-4**

Reportar dos cifras decimales. Utilizar calculadora.

Hojas de cálculo: GAM-FT-241 V02 Información campo muestreo fuentes fijas

Concentración en el Gas del Efluente

Para cada corrida, calcule C_{Avg}, el promedio aritmético de todos los valores válidos de concentración de CO2, O2 (p.e., promedios de 1 minuto). Ajuste el valor de C_{Avg} por la desviación por sistema utilizando la Ecuación 7E-5ª si Usted utilizó un gas de nivel-bajo que no fuera gas cero, o la Ecuación 7E-5b si utilizó un gas cero como gas de calibración de nivel-bajo.

$$C_{Gas} = (C_{Avg} - C_M)\frac{(C_{MA} - C_{OA})}{(C_M - C_O)} + C_{MA} \qquad \textbf{Ecuación 7E-5ª}$$

$$C_{Gas} = (C_{Avg} - C_O)\frac{C_{MA}}{(C_M - C_O)} \qquad \textbf{Ecuación 7E-5b}$$

5.2.2.4 Método 3 US EPA CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-2. Análisis de gas para la determinación de peso molecular seco. Muestreo integrado multipunto

Una muestra es extraída de la chimenea, por medio de uno de los siguientes métodos: (1) Un solo punto, muestreo puntual, (2) Un solo punto, muestreo Integrado o (3) Multipunto, Muestro Integrado. La muestra del gas es analizada para determinar porcentaje de CO_2 y de O_2 y, si fue necesario el porcentaje de CO use un analizador de gases de combustión Orsat.

Este método es aplicable para determinar las concentraciones de (O_2), (CO_2) y (CO) de una muestra en una corriente de gas de un proceso de combustión de combustible de fósiles para exceso de aire o para cálculos del factor de corrección de la variación de la emisión del exceso de aire. En el caso que compuestos como el CO_2, O_2, CO y nitrógeno (N_2) estén presentes en concentraciones suficientes para afectar los resultados, los procedimientos de cálculo se presentados en este método deben ser modificados, sujetos a la aprobación de la Autoridad Ambiental.

Otros métodos, así como modificaciones al procedimiento descrito, son también aplicables para todas las determinaciones anteriores. Ejemplos de métodos específicos y modificaciones incluyen: (1) un método de muestreo multipunto usando un analizador Orsat para analizar las muestras obtenidas en cada punto; (2) Un método que usa CO_2 o O_2 y cálculos estequiométricos para determinar el exceso de aire. Estos métodos modificados pueden usarse, pero están sujetos a la aprobación por parte del administrador

Como alternativa para los aparatos de muestreo y los sistemas descritos en este método, se pueden utilizar otros equipos (por ejemplo., desplazamiento de líquido) siempre y cuando estos garanticen que se mantiene un flujo de muestreo constante y que son capaces de arrojar resultados confiables y aceptables. Estos sistemas estarán sujetos a la aprobación por parte de la autoridad ambiental.

5.2.2.5 Método 4 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-3 Determinación del contenido de humedad de los gases.

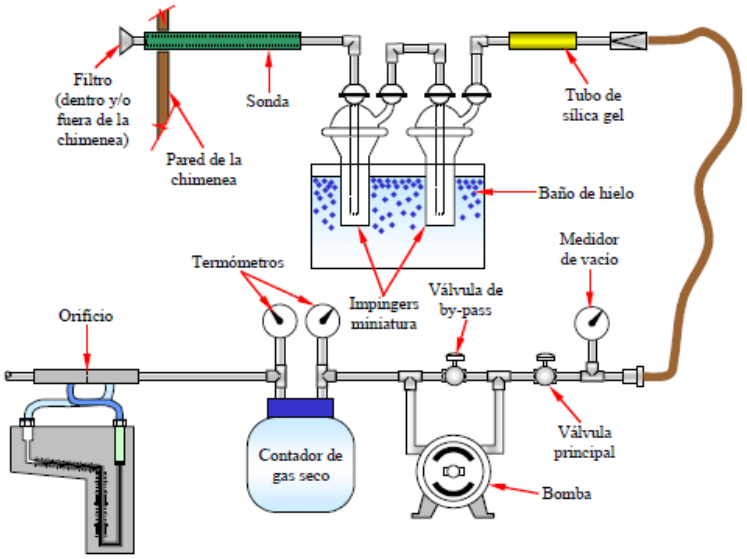
Una muestra de gas es extraída a una tasa constante desde la fuente; la humedad se removida de la corriente de la muestra y se determina gravimétrica o volumétricamente. El método contiene dos posibles procedimientos: un método de referencia y uno de aproximación.

El método de referencia es usado para determinar con exactitud el contenido de humedad (tales como las necesarias para calcular los datos de emisión). El método de aproximación provee estimativos de porcentaje de humedad para ayudar a establecer las tasas de muestreos isocinéticas antes de una corrida de medición de emisiones contaminantes. El método de aproximación descrito aquí es sólo un enfoque sugerido; los medios alternativos para la aproximación del contenido de la humedad, (por ejemplo, tubos desecados, técnicas bulbo

húmedo bulbo seco, técnicas de condensación, cálculos estequiométricos, experiencias previas, etc.) son igualmente aceptables.

El método de referencia a menudo se realiza simultáneamente con un recorrido de medición de emisiones contaminantes. Cuando lo es, el cálculo del porcentaje isocinético, la tasa de emisión de contaminantes, etc., se basará en los resultados del método de referencia o su equivalente. Estos cálculos no se basan en los resultados del método de aproximación, a menos que el método de aproximación demuestre, a satisfacción de la autoridad ambiental, ser capaz de obtener resultados dentro del uno (1%) de humedad del método de referencia.

Figura 7. Tren de muestreo del contenido de humedad



Fuente: Base de datos Gestión y Medioambiente S.A.S.

5.2.2.6 Método 5 US EPA e-CFR Título 40, Parte 60, Apéndice A-3 Determinación de emisiones de partículas

Para la determinación de la emisión de partículas por este método se deben realizar los procedimientos y métodos de referencia 1, 2, 3 y 4, como prerrequisito o parte integral del método 5. La muestra de gas debe tomarse de la chimenea de tal manera que la velocidad de succión del gas sea igual a la velocidad con la que circula el gas en la chimenea (isocinetismo). Se deben conservar los valores de temperatura y humedad en el recorrido de la muestra, desde la boquilla hasta la captura y almacenamiento, con el objeto de evitar la segregación de las partículas o su deposición en el recorrido.

Se realizaron tres (03) corridas para material particulado MP, con tiempos de 60 minutos en la toma de muestra. Los datos de campo se evidencian en el Anexo 1, los procedimientos de cálculo y las hojas descritas en el protocolo se encuentran en los anexos correspondientes que cumplen con la información del protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.

5.2.2.6.1 Muestreo definitivo

Con base en el muestreo preliminar y el cálculo de variables se procede a realizar el muestreo isocinético definitivo. Con base en los datos de campo obtenidos en el muestreo definitivo y los resultados de laboratorio, se procede a calcular los siguientes parámetros:

- Presión absoluta en chimenea (P_s)
- Presión de medición (P_m)
- Volumen de gases medidos a condiciones estándar (V_{mst})
- Volumen de vapor de agua en impactadores y sílice gel a condiciones estándar (V_{wst})
- Contenido de humedad en gases de chimenea (B_{ws})

- Peso molecular del gas en condiciones de chimenea (M_s)
- Velocidad del gas en la chimenea
- Porcentaje de isocinetismo
- Caudal de gases en condiciones de chimenea (Q_s)
- Caudal de gases húmedos en condiciones estándar (Q_{sts})
- Caudal de gases secos en condiciones de referencia (Q_{crd})
- Volumen seco de gases muestreados a condiciones de referencia (V_{mcr})

5.2.2.7. Método 6 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-4 Determinación de las emisiones de dióxido de azufre - SO2.

Una muestra de gas se extrae del punto de muestreo en la chimenea. El SO_2 y el SO_3, incluyendo aquellas fracciones de nieblas ácidas de azufre, son separadas. La fracción de SO_2 es medida por el Método de titulación Bario Torina.

Concentración de SO2 en base seca

Para calcular la concentración de dióxido de azufre (SO_2) se utilizó el procedimiento contenido en el método 6 de la US EPA., la concentración de SO_2 se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{(SO_2)_{crd}} = \frac{1}{1000} \cdot \frac{m_{SO_2}}{V_{mcrd}}$$

Dónde:

$C_{(SO2)crd}$	:	Concentración de SO_2 a condiciones de referencia, en base seca en mg/m^3
m_{SO2}	:	Masa de SO_2 reportada por el laboratorio en µg
V_{mcrd}	:	Volumen de la muestra de gas que pasó a través del medidor de gas seco a condiciones de referencia en m^3

Emisión de SO2 en base seca y condiciones de referencia

La emisión de SO_2 a condiciones de referencia se encuentra aplicando la expresión:

$$E_{(SO_2)_{crd}} = \frac{C_{(SO_2)_{crd}} \times Q_{crd}}{1000000}$$

Q_{crd} : Caudal a condiciones de referencia para el muestreo isocinético definitivo.

5.2.2.8. Método 7 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-4 (US EPA) Determinación de emisiones de dióxido de nitrógeno – NO2.

Se colecta una muestra que es evacuada en un frasco que contenga una solución absorbente de ácido sulfúrico diluido en peróxido de hidrogeno, y los óxidos de nitrógeno, excepto del óxido nitroso, se miden colorimétricamente usando el procedimiento de ácido fenoldisulfonico (PDS).

Concentración de NOx en base seca

Para calcular la concentración de óxidos de nitrógeno (NO_x) se utilizó el procedimiento contenido en el método 7 de la US EPA. Según el método citado, la concentración de NO_x se calcula con la siguiente ecuación:

$$C_{(NO_x)crd} = 10^3 \frac{mg \times ml}{m^3 \times \mu g} \times \frac{m}{V_{crd}}$$

Dónde:

$C_{(NOx)crd}$	:	Concentración de NO_x a condiciones de referencia, en base seca en mg/m^3
N°3	:	Factor de conversión, en mg*ml/m^3*µg
m	:	Peso de la muestra de NO_x analizada, en µg
V_{crd}	:	Volumen muestra de gas a condiciones de referencia y base seca en ml

El volumen de gas a condiciones de referencia y base seca se calcula con la ecuación:

$$V_{crd} = \frac{T_{cr}}{P_{cr}} \times (V_{fr} - V_{ab}) \times \left[\frac{P_f}{T_f} - \frac{P_i}{T_i}\right]$$

T_{cr} es 25 °C ó 537 °R y P_{cr} es 29.92 inHg. Entonces V_{cr} es:

$$V_{crd} = (17{,}95 \frac{°R}{pulg.Hg}) \times (V_{fr} - V_{ab}) \times \left[\frac{P_f}{T_f} - \frac{P_i}{T_i}\right]$$

En el Anexo 2 Formatos de campo se registran los valores de las siguientes variables necesarias para el cálculo de concentración de NOx:

V_{fr}	:	Volumen recipiente de muestreo y válvula en ml = 2345 ml
V_{ab}	:	Volumen de la solución absorbente en ml
P_f	:	Presión absoluta inicial en el recipiente de muestreo en inHg
P_i	:	Presión absoluta final en el recipiente de muestreo en inHg
T_f	:	Temperatura absoluta final en el recipiente de muestreo en °R
T_i	:	Temperatura absoluta inicial en el recipiente de muestreo en °R

Emisión de NOx en base seca y condiciones de referencia

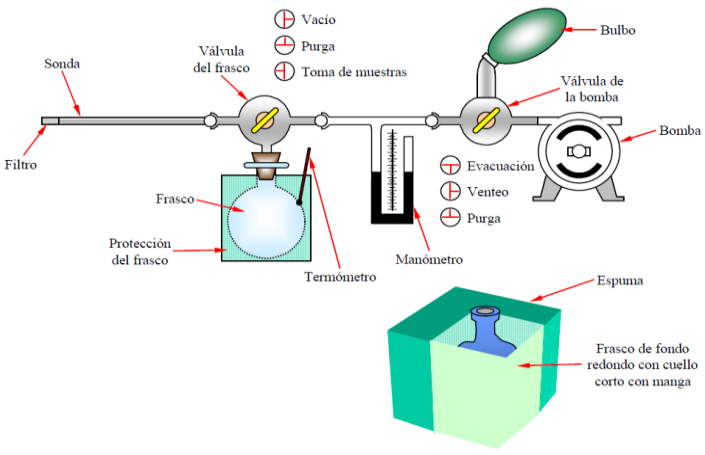
Para determinar la emisión de contaminante se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_{(NOx)_{crd}} = \frac{C_{(NO_x)_{crd}} \times Q_{crd}}{1000000}$$

Dónde:

Q_{crd}: Caudal a condiciones de referencia

Figura 8. Tren de muestreo para la medición de NO_2



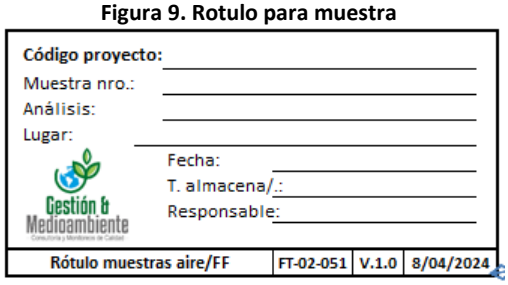
Fuente: Tren de muestreo, válvula de balón y balón. Método 7 – Determinación de las emisiones de óxido de nitrógeno en fuentes estacionarias. Versión 1. IDEAM

5.2.3 MÉTODOS ANALÍTICOS: PROCEDIMIENTO DE RECUPERACIÓN DE LA MUESTRA

Los métodos empleados para análisis de laboratorio en el presente estudio fueron: el análisis de material Los métodos empleados para análisis de laboratorio en el presente estudio fueron: el análisis de material particulado, US EPA, e-CFR, Título 40, Parte 60, Apéndice A: Método 5. Este método se especifica internamente en los procedimientos, PR-02-021 Determinación de material particulado (MP), PR-02-020 Determinación de emisiones de óxidos de azufre (SO_2) y PR-02-019 determinación de óxidos de nitrógeno NOx que han sido revisados por el IDEAM (Se aclara que la determinación de NOX se subcontrata con el laboratorio COMNAMBIENTE SAS). En estos procedimientos se incluyen las actividades específicas para la recuperación, etiquetado, manipulación, control y preservación de las muestras, así como y formatos o registros de campo, listas de chequeo y etiquetado de las muestras.

Todos los frascos con muestra deben ser sellados herméticamente. Todos los frascos se rotulan de forma adecuada (Figura 9) y el rótulo se protege con cinta plástica transparente para evitar que se desprenda durante el transporte y en el cambio de custodia.

Figura 9. Rotulo para muestra



Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S

5.2.3.1 Análisis de material particulado

Para el muestreo y análisis de material particulado se utilizan los siguientes estándares, reactivos y blancos de campo

Filtros. Los filtros de fibra de vidrio, sin aglutinante orgánico, exhiben al menos un 99,95 por ciento de eficacia (<0,05 por ciento de penetración) en partículas de humo de ftalato de dioctilo de 0,3 micrones. La prueba de eficiencia del filtro se debe realizar de acuerdo con el método ASTM D 2986-71, 78 o 95a (incorporado por referencia, ver §60.17). Los datos de prueba del programa de control de calidad del proveedor son suficientes para este propósito. En fuentes que contienen SO_2 o SO_3, el material del filtro debe ser de un tipo que no reaccione al SO_2 o SO_3. Se puede utilizar la referencia 10 en la sección 17.0 para seleccionar el filtro apropiado.

Sílica gel tipo indicador, malla 6 a 16. Si se usó anteriormente, seque a 175 °C (350 °F) durante 2 horas. Se puede usar nueva tal como se recibe. Alternativamente, se pueden usar otros tipos de desecantes (equivalentes o mejores).

Agua. Cuando se requiera el análisis del material atrapado en los impactadores, se utilizará agua destilada desionizada con al menos <0,001 por ciento de residuo o según lo especificado en el método aplicable que requiere análisis del agua. Ejecute blancos de reactivos antes de usarlos en el campo para eliminar un blanco alto en las muestras de prueba.

Recuperación de la muestra. Se requiere acetona, grado reactivo, ≤0,001 por ciento de residuo, en botellas de vidrio. La acetona de los recipientes metálicos generalmente tiene un alto nivel de residuos y no debe usarse. A veces, los proveedores transfieren acetona a botellas de vidrio desde recipientes de metal; por lo tanto, los blancos de acetona deben procesarse antes de su uso en el campo y solo se debe usar acetona con valores de blanco bajos (≤0,001 por ciento). En ningún caso se restará del peso de la muestra un valor en blanco superior al 0,001 por ciento del peso de acetona utilizada.

Las muestras se rotulan de acuerdo con los consecutivos del procedimiento interno de Gestión y Medioambiente S.A.S. (ver Figura 8) Tras una inspección visual previa, cada filtro debe ser sometido a un proceso de acondicionamiento de 24 horas a condiciones ambiente controladas. Los filtros son posteriormente pesados en la balanza analítica y por el método de gravimetría se determina el peso de la muestra recolectada. Cada filtro debe ser debidamente almacenado en una caja de Petri antes y después del análisis.

Para material particulado, se realiza el pesaje de filtro hasta peso constante (gravimetría), la diferencia entre los duplicados de cada pesaje no debe superar el 1% del pesaje inicial.

Para el muestreo y análisis de material particulado se utilizan los siguientes estándares, reactivos y blancos de campo

Análisis de la muestra

Procedimiento alternativo para pesaje

a) Contenedor No. 1 (Filtro) para el pesaje del filtro inicial y final

- Seque en un horno a 104 °C por 2 a 3 h y enfriar en un desecador por 2 horas.
- Pese la muestra hasta peso constante y se reportan los resultados con una precisión de 0,1 mg a Peso constante, que significa una diferencia de no más de 0,5 mg o 1% del peso total menos el peso tarado, el que sea mayor, entre dos pesajes consecutivos, y usar este dato como peso final.

b) Contenedor No. 2 y Blanco de Acetona

- Al blanco de acetona determine su volumen, se mide el líquido ya sea a ±1 ml o se pesa el líquido a ±0,5g.
- Se verifica el nivel de líquido en el contenedor, se determinan las pérdidas (si hay alguna)
- Se transfiere el contenido a una cápsula de porcelana con peso inicial
- Se Evapora a temperaturas mayores que la del ambiente, pero inferiores al punto de ebullición del solvente.
- Para prevenir el burbujeo, se supervisa de cerca el proceso de evaporación; agite el contenido del ocasionalmente para mantener una temperatura uniforme.
- Tenga cuidado extremo ya que la acetona es altamente inflamable y tiene un punto de ignición bajo.

5.2.3.2 Análisis de dióxido de azufre (SO2)

Para el muestreo y análisis de óxidos de azufre se utilizan los siguientes estándares, reactivos y blancos de campo
Peróxido de hidrógeno 3%. Agregue 10 ml de H_2O_2 al 30 % a 90 ml de agua. Prepárelo fresco todos los días.
Agua. Desionizada destilada ara cumplir con la especificación ASTM D 1193–77 o 91 Tipo 3. Para el aforo de las muestras.
Indicador de Thorin. Se requiere agregar unas gotas a las muestras para la titulación con isopropanol, da un cambio de color de amarillo a rosado (tipo salmón).
Isopropanol. Para la titulación y análisis de las muestras, se debe verificar los lotes de isopropanol con Yoduro de potasio, antes de usarlo.
Solución estándar de bario, 0,01 N. Para titulación y determinación del contenido de dióxido de azufre en las muestras.
Solución de ácido sulfúrico, 0,01 N comprado o estandarizado. Para la estandarización del cloruro de bario, cada vez que se realice el análisis
Solución patrón de ácido sulfúrico. Patrones con las siguientes concentraciones: Patrón alto 500 mg SO_2/l, patrón medio 200 mg SO_2/l, patrón bajo 10 mg SO_2/l (aproximadamente 2 veces el límite de cuantificación) y un último patrón correspondiente al límite de cuantificación del método de análisis.
Yoduro de potasio. Para verificar los lotes de isopropanol por impurezas de peróxido: Se agita 10 ml de isopropanol con 10 ml de solución recién preparada de yoduro de potasio al 10%. Prepare un blanco realizando

un tratamiento similar con 10 ml de agua. Después de 1 minuto, lea la absorbancia a 352 nm con un espectrofotómetro, usando celda de 1 cm. Si la absorción es mayor a 0,1, se debe descartar el uso del alcohol.

Recuperación de la muestra. disponer de un contendor por cada corrida y transferir la muestra proveniente de los dos primeros impactadores de la siguiente forma:

- Si se va a determinar humedad, limpiar y pesar los tres primeros impactadores y registrar la información. Pesar el cuarto impactador con sílica gel y registrar el peso.
- Transferir las soluciones del primer, segundo y tercer impactador a una probeta de 1 litro.
- Enjuagar con agua todas las conexiones de cristalería desde el filtro hasta el cuarto impactador incluida la mitad posterior del soporte del filtro con porciones que sumen aproximadamente 750 ml de agua destilada.
- Añadir la solución de enjuague a la probeta.
- Diluir el contenido de la probeta (agua de lavado + solución de impactadores) hasta 950 ml con agua destilada y transferir al contenedor 1.
- Enjuague la probeta con 50 ml de agua y transferir al contenedor nro. 1.
- Sellar y marcar el nivel del líquido en el recipiente e identificar la muestra.

Análisis de la muestra

- Compare el nivel del líquido con la marca del nivel y descarte la muestra si ha perdido una considerable parte. Registre el volumen.
- Mezclar bien el contenido y pipetear una alícuota de 10 ml de muestra en un Erlenmeyer de 250 ml.
- Añadir 40 ml de isopropanol al 100% y 2 a 4 gotas de indicador de Thorin.
- Titular a punto final rosa usando solución estándar de cloruro de bario 0,01 N.
- **Blancos:** preparar blancos adicionando 2 a 4 gotas de indicador de Thorin a una solución de 50 ml de isopropanol al 80%. Titular los blancos de la misma forma que las muestras.
- **Estándar:** tomar una alícuota de 10 ml de estándar de ácido sulfúrico que contiene 500 mg de SO_2, agregar 40 ml de isopropanol al 100% y 2 a 4 gotas de Thorin; titular a punto final rosa usando solución de cloruro de bario 0,01 N. Repetir la titulación con una segunda alícuota y promediar los valores obtenidos. Calcular la cantidad de SO_2.
- **Control De Calidad**: Repetir la titulación con una segunda alícuota y promediar los valores obtenidos. Las réplicas de las titulaciones deben coincidir dentro del 1% o 0,2 ml, registrando el valor mayor.

6. PROCEDIMIENTOS DE CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Para asegurar el control y la calidad de cada una de las muestras recolectadas en campo, se cuenta con diferentes procedimientos para su recuperación, etiquetado, manipulación, control, preservación, análisis y almacenamiento, estos se describen a continuación.

Descripción del proceso de manipulación. La manipulación se realiza dependiendo del tipo de análisis y su procedimiento esta descrito en cada uno de los instructivos. En dichos instructivos además de describirse el procedimiento, se especifican su objetivo, alcance, definición, interferencias posibles, equipos, reactivos utilizados, calibración de equipos, los cálculos a realizar y el tratamiento de la solución residual.

Descripción del proceso de control. Después de que las pruebas preliminares dieron como resultado una precisión satisfactoria, se verifican en forma continua (rutinaria) que siempre se está cumpliendo con las metas trazadas. Con este fin se controla la exactitud, la certeza y la precisión.

Descripción del proceso de preservación de la muestra. Los analistas entregan al personal de campo las soluciones y reactivos que sean necesarios para la preservación de muestras y lo registran en el registran en el control de preparación de reactivos o insumos.

Descripción del proceso de análisis. Los análisis requeridos los realiza el analista de acuerdo al periodo de preservación de la muestra siguiendo las especificaciones del instructivo correspondiente, en caso de no poder realizar los análisis inmediatamente, el analista guarda la muestra a 4ºC teniendo en cuenta su instructivo para la preservación.

Descripción del proceso de almacenamiento: Las muestras se preservan de acuerdo al instructivo de los análisis requeridos y se guarda en la nevera a 4°C. El almacenamiento dentro de la nevera se hace según el tipo de muestra que llegue teniendo en cuenta su clasificación interna. La muestra remanente se guarda en la nevera por el analista durante 15 días después de entregado el informe.

En el **anexo 1. Formatos de Campo** se consignan toda la cadena de registros que permiten mantener la trazabilidad de las mediciones y el cumplimiento de los controles de calidad especificados. Entre ellos se encuentran:

- FT-02-045 Análisis de dióxido de azufre en fuentes fijas
- FT-02-039 Análisis gravimétrico de MP en Fuentes Fijas
- FT-02-040 Determinación de MP en blanco de acetona.
- FT-02-050 Cadena de custodia Fuentes Fijas.

7. EQUIPOS DE CALIBRACIÓN EXTERNA Y VERIFICACIÓN EN EL LABORATORIO

Los certificados de calibración se encuentran reportados en el **Anexo 06,** donde se especifica la información relacionada con el instrumento calibrado. Adicionalmente, se realizan actividades de verificación en las instalaciones de Gestión y Medioambiente S.A.S. y/o en campo, de acuerdo con las características de los equipos y los requerimientos de cada uno de los procesos implementados. Los equipos sometidos a verificación se presentan en la Tabla 7 y Tabla 8.

Tabla 7. Verificación de equipos

Verificación de equipos			
Equipo	Especificaciones de calibración	Frecuencia de calibración	Código equipo
Juego de boquillas acero	Verificación antes de uso	N/A	M065
Tubo Pitot	Verificación antes de uso	N/A	M065
Cordón umbilical	Termopar STACK	Anual	M065
	Termopar PROBE		
	Termopar FILTER		
	Termopar EXIT		
	Termopar AUX		
	Termopar DMG		

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

Tabla 8. Calibración externa de equipos de fuentes fijas

Calibración externa de equipos de fuentes fijas			
Equipo	Especificaciones de calibración	Frecuencia de calibración	Código equipo
Consola c-5000 Environmental Supply Company, INC	Termopar STACK	Anual	M065
	Termopar PROBE		
	Termopar FILTER		
	Termopar EXIT		
	Termopar AUX		
	Termopar DMG		
	Termopar AUX		
Medidor de gas seco		Anual	18379396
Pie de rey	-	Anual	M076
Kit de orificios críticos	Orificio No.11, 16, 18, 24 y 28	Anual	M071
Barómetro digital		Bienal	M069
Balanza Lexus		Anual	M079
Balanza Sartorius		Anual	A059
Gases de calibración O_2 (3%) CO_2 (15%) N_2 (balance)	-	Trienal	M086
Gases de calibración CO_2 (3%) O_2 (15%) N_2 (balance)	-	Trienal	M085

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

Para las determinaciones se siguieron los métodos 1 al 5 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. Environmental Protection Agency, 2008). Antes de las mediciones se realiza la calibración de la consola (medidor de gas seco) por medio de un set de orificios certificados, la calibración se realiza según el procedimiento del método 5 de la USEPA.

La calibración y verificación del sistema para los métodos del 1 al 5 fue realizada el ***26 de febrero de 2026***, se obtuvieron los siguientes resultados:

- Coeficiente del medidor de gas seco "Y Promedio"[1] = 1,047
- Constante del orificio del medidor "ΔH@" = 41,54 mmH_2O

El personal encargado de las mediciones fue:

Tabla 9. Personal encargado de los monitoreos

Nombre	Cargo	Profesión
DANIEL EDUARDO QUIROGA	Profesional de campo	Ingeniero Químico
EDWARD DANIEL VALENCIA	Técnico de campo	Tecnólogo Ambiental

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

Según lo establecido en el método 5 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-3, se determinó factor Yc (factor Y de chequeo) para la verificación de la consola (medidor de gas seco) cada vez que se instaló de nuevo el equipo para mediciones isocinéticas consecutivas y en sitios a condiciones meteorológicas similares. El factor Yc debe estar dentro de un rango de manera que si el resultado es válido pueden emplearse los factores "Y Promedio" y "ΔH@" de la verificación inicial de la consola para las mediciones isocinéticas posteriores. Lo anterior se explica porque la cabeza de presión rige el funcionamiento de la bomba del equipo y esta cabeza de presión es a su vez función de la presión atmosférica la cual no varía de forma significativamente a menos que se presenten grandes variaciones de altura.

Seguido de la calibración se precisó la localización del sitio de muestreo y luego se determinó la distribución y número de puntos a muestrear por diámetro interno de chimenea según el método 1 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1. Posteriormente se realizaron de manera paralela los métodos 2 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1 (que consiste en la determinación de la velocidad de las emisiones y del flujo volumétrico en chimeneas o ductos con tubo Pitot) y método 4 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1 (que consiste en la determinación del contenido de humedad en los gases de la chimenea), para conocer las condiciones de trabajo, estableciendo así los parámetros necesarios y obtener condiciones de isocinetismo.

Precisadas las condiciones de trabajo se procedió a realizar el muestreo definitivo en cada punto en que se dividió hipotéticamente el diámetro del ducto de la chimenea, se hicieron mediciones para tiempos de muestreo de 2,5 minutos, para un tiempo total de sesenta (60) minutos en cada medición para la medición de MP. El porcentaje de isocinetismo determinó la validez de los muestreos (los resultados de isocinetismo se pueden observar en el Anexo 2 de hojas de cálculo). Se aceptan como muestreos isocinéticos válidos aquellos cuyos porcentajes se encuentren entre 90% y 110%.

La humedad de los gases se midió por condensación y recolección en agua destilada y absorción en sílice gel. Al igual que en los muestreos preliminares, en los muestreos definitivos la humedad se determinó aplicando el método 4 US EPA e-CFR Titulo 40, Parte 60, Apéndice A-1.

[1] *La tolerancia para valores individuales del factor de calibración Y es de ± 0.02*

8. PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El proceso de mantenimiento se ejecuta siguiendo el procedimiento interno **PR-07-002** Gestión mantenimiento y calibración de equipos. Cada equipo cuenta con una hoja de vida (**FT-07-002**) en medio físico la cual contiene toda la información relevante de los equipos y patrones de referencia, donde se incluye identificación interna del equipo y su software; nombre del fabricante, modelo, serie; ubicación actual, cuando corresponda; instrucciones del fabricante o la referencia a su ubicación; las fechas, los resultados y las copias de los informes y de los certificados de todas las calibraciones, los ajustes, los criterios de aceptación, y la fecha prevista de la próxima calibración; plan de mantenimiento, cuando corresponda, y el mantenimiento llevado a cabo hasta la fecha; todo daño, mal funcionamiento, modificación o reparación del equipo, con sus soportes y certificados de calibración. La hoja de vida se establece como herramienta básica de consulta y seguimiento del equipo, vigencia de garantías y su desempeño.

De acuerdo con las necesidades del laboratorio se diseña y aplica un plan de calibración y mantenimiento que busca fortalecer al laboratorio en aspectos técnicos y lograr una disminución de los costos a través de una gestión oportuna.

Cada equipo y patrón de referencia cuenta con una hoja de vida donde se describe el nombre y los detalles técnicos y de funcionamiento, además se especifica la cantidad de calibraciones y mantenimientos realizados. También se puede observar un uso recargado no planeado de algún equipo que requiera mantenimiento y/o calibración.

El Plan de calibración y mantenimiento se divide según los equipos o patrones de referencia a calibrar (**FT-07-003**), en éste se establece el listado de equipos, códigos y las fechas de su ejecución para verificar el mantenimiento y/o calibración.

Una vez acordado los equipos a calibrar y los laboratorios que prestarán el servicio, la solicitud de servicio se sustenta con la requisición elaborada por el director técnico o en su ausencia, la directora de calidad. La gerente asigna el presupuesto para este trabajo y envío de equipos. Una vez realizado el mantenimiento o la calibración se verifica el funcionamiento de los equipos a satisfacción para dar el ingreso y permitir el uso nuevamente; se recibe el informe de mantenimiento y/o el certificado de calibración, con todas las especificaciones. Finalmente, se registra en la hoja de vida del equipo.

La calibración de equipos y patrones de referencia es subcontratada con organismos externos acreditados que garanticen la trazabilidad de las medidas al sistema internacional de unidades (SI). Los pasos para asegurar el adecuado mantenimiento de equipos y su oportuna calibración por organismos externos, se describen en la siguiente tabla.

Tabla 10. Procedimiento de mantenimiento y calibración

ID	Actividad	Descripción	Responsable	Registros
1	Actualizar listado de equipos	Realizar el listado de equipos que deben ser calibrados y los patrones utilizados.	Director técnico	FT-07-003 Plan de mantenimiento y calibración
2	Frecuencia de calibración y mantenimiento	Determinar la frecuencia de calibración y mantenimiento, según lo especificado en el programa de mantenimiento y calibración de equipos, patrones de referencia y materiales de referencia PG-07-001.	Director técnico Directora de calidad	FT-07-002 Hojas de vida de los equipos
3	Control y seguimiento de equipos	Controlar el funcionamiento de los equipos, variaciones notables en las mediciones, tendencias; además efectuar una revisión para determinar las fallas o necesidades de ejecutar el mantenimiento y/o calibración.	Director técnico Directora de calidad	FT-07-002 Hojas de vida de los equipos
4	Plan de mantenimiento	Controlar la programación de mantenimiento y calibración	Director técnico	FT-07-003 Plan de mantenimiento y calibración

ID	Actividad	Descripción	Responsable	Registros
5	Equipos con fallas o averías	En caso de que el equipo presente fallas, colocar en un lugar visible del equipo una etiqueta "Equipo fuera de servicio", por mantenimiento, reparación, calibración u otros. Diligenciar la ficha de reporte de fallas.	Director técnico	FT-07-004 Ficha de gestión de fallas de equipos
6	Solicitud de reparación	Gestionar los requerimientos para poner el equipo en funcionamiento, en cuanto a repuestos, ajustes, calibración o mantenimiento especializado	Director técnico	Correo con solicitud de orden de compra al área administrativa
7	Ajuste de equipos	Si es el caso, realizar los ajustes necesarios al equipo para ponerlo en funcionamiento teniendo en cuenta el Manual de manejo y funcionamiento de equipos, y registrar en la hoja de vida del equipo.	Director técnico	FT-07-002 Hojas de vida de los equipos
8	Solicitud de garantía	Si no se puede, poner en funcionamiento el equipo, verificar la garantía, y si está vigente, comunicar con el proveedor para solicitar la revisión y reparación.	Director técnico, Gerente	Correo con solicitud de orden de compra al área administrativa
9	Solicitud cotización	En el caso de que se deba contratar el mantenimiento, por fuera de la garantía, solicitar cotizaciones de mantenimiento preventivo o correctivo del equipo, calibración, al proveedor del equipo o empresa externa, a través de oficio o correo electrónico.	Director técnico, Profesional de apoyo administrativo	Propuesta económica del proveedor del servicio
10	Disponibilidad de recursos	Verificar la disponibilidad presupuestal y la programación del mantenimiento, según corresponda, determinar la viabilidad y gestionar los recursos necesarios. Y autoriza la requisición de servicio	Gerente	Correo con solicitud de orden de compra al área administrativa
11	Contratación del servicio	Realizar la contratación correspondiente del servicio. Establecer con el proveedor si el mantenimiento o calibración se llevará a cabo en las instalaciones del laboratorio o fuera de ella.	Director técnico, Gerente	FT-06-002 Orden de compra o Contrato
12	Mantenimiento fuera del Laboratorio	Si el mantenimiento se realiza fuera del laboratorio, elaborar un *oficio remisorio* (FT-243 Remisión de equipos), para el traslado de los equipos, donde especifique el total de piezas que son enviadas. Diligenciar el formato de salida de equipos.	Director técnico	FT-07-005 Salida de equipos para mantenimiento, reparación o calibración. Oficio remisorio.
13	Realización del servicio en el Laboratorio	Si el mantenimiento o calibración se realiza en las instalaciones del Laboratorio, coordinar con el proveedor la fecha de realización del servicio según periodo de ejecución estipulada y los recursos necesarios para su ejecución.	Director técnico	NA
14	Verificar servicio	Terminada la reparación, mantenimiento o calibración, recibir el equipo (diligenciar el formato FT-07-005), comprobar su buen funcionamiento y solicitar al proveedor del servicio, el respectivo informe de mantenimiento, reparación y el certificado de calibración. Terminar el diligenciamiento de la ficha de gestión de fallas (FT-07-004) y adjuntarla a la hoja de vida del equipo.	Director técnico	FT-07-005 Salida de equipos para mantenimiento Informe de mantenimiento o certificado de calibración Certificado de cumplimiento. FT-07-004 Ficha de gestión de fallas
15	Actualización hoja de vida del equipo	Relacionar los antecedentes de la reparación, mantenimiento y calibración, en la hoja de vida del equipo correspondiente. Archivar los informes de mantenimiento y/o calibración en la hoja de vida del equipo como soporte	Director de calidad	FT-07-002 Hoja de vida actualizada Soportes

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2025

Los patrones y materiales de referencia que utiliza el laboratorio Gestión y Medioambiente S.A.S para el desarrollo de sus actividades de muestreo y análisis se nombran en las siguientes tablas.

Tabla 11. Procedimiento de verificación de patrones y materiales de referencia

Patrón	Uso	Frecuencia de uso	Frecuencia de calibración o verificación externa
Pesas certificadas 0,5 g, 50 g y 200 g	Para verificar pesaje de la balanza analítica	Se hace cada vez que se va a usar por primera vez en un día y antes de hacer pesaje	Anualmente
Termómetro patrón	Para verificar otros termómetros	Cada vez que se va a verificar otro termómetro que no está calibrado	Anualmente
Kit de orificios críticos para equipo isocinético	Para verificar el factor gamma y ΔH@	Cada vez que se va a utilizar la consola	Anualmente
Simulador de termocuplas	Verificar el adecuado funcionamiento de los termopares del equipo isocinético	Cada vez que se va a utilizar la consola	Anualmente
Material de referencia	Uso	Frecuencia de uso	
Mezcla certificada de CO_2-O_2 3%-15% 15%-3%	Verificación equipo Orsat para fuentes fijas	Se hace en campo al inicio del uso del Orsat	

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

Todos los materiales de referencia recibidos por el laboratorio vienen acompañados de su respectivo certificado de análisis o certificado de conformidad, los cuales garantizan que los materiales han sido debidamente preparados y su composición analizada (por comparación directa) con materiales de referencia estándar primarios (SRM) de entidades como el NIST[2] y PTB[3].

Así mismo los patrones tienen su respectivo certificado de calibración vigente que indican su incertidumbre y estado para usarlos en la verificación de los equipos.

La adecuada aplicación del numeral 10, del programa de mantenimiento y calibración de equipos, patrones y materiales de referencia (PG-104) referido al almacenamiento, manipulación y transporte de materiales de referencia, garantiza que los mismos conserven sus propiedades durante el tiempo de uso y hasta su fecha de vencimiento.

Por otra parte, cada vez que los materiales de referencia o los patrones son usados para las verificaciones de los equipos, los resultados alimentan las cartas de control donde se establecen los límites de alerta y acción, contra los cuales se comparan las lecturas y que llevan a identificar desviaciones de los límites aceptados, lo que lleva tomar acciones, ya que los materiales de referencia pueden haber perdido sus propiedades y deben ser reemplazados, o los patrones deben ser recalibrados.

Las verificaciones intermedias de los materiales de referencia por parte de los proveedores, no resultan ser técnica ni económicamente posibles, ya que, por las técnicas aplicables a la determinación de la composición de los materiales, sería más factible adquirir un nuevo material de referencia con su respectivo certificado de análisis o de conformidad.

[2] National institute of standards and technology

[3] Physikalish-Technische bundesanstals

9. VALIDACIÓN DE DATOS Y LISTA DE CHEQUEO

Para validar los datos suministrados tras la medición se sigue como lo indica la Tabla 12.

Tabla 12. Procedimiento para validación de datos

ACTIVIDAD		Sí	No
Comparación de los datos diligenciados en campo y los enviados en digital		X	
Visita preliminar o de inspección		X	
Verificación del % de Isocinetismo		X	
Verificación de variables de calibración (dentro del rango de calibración)		X	
Verificar que no falte información en los formatos de campo y que sea veraz		X	
Personal que ejecuta la validación de datos	Ingeniero consultor y líder de campo		

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

10. AUDITORIA DE LA MEDICIÓN

Los chequeos realizados antes, durante y después de la medición son satisfactorios, los datos de campo fueron verificados y no se obtuvieron hallazgos para las mediciones que se reportan en este informe.

11. REPORTE DE ERRORES

Durante el muestreo y el tiempo posterior a la medición, no se reportan errores por perdida o alteración de la muestra, los filtros se encontraban en buen estado, se realizó el lavado de sonda en cada determinación, los reactivos usados fueron del grado de pureza adecuado y no se presentaron eventos que provocaran pérdida o contaminación de las muestras.

El porcentaje de isocinetismo se mantuvo dentro de los rangos establecidos, todos los equipos y procedimientos usados se encuentran acordes a las exigencias de los métodos citados y las muestras fueron tomadas a un porcentaje de operación acorde con las exigencias de la Resolución 909 de 2008 del MAVDT. El laboratorio no reporta errores durante el análisis.

1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos del estudio realizado en la fuente fija relacionada: chimenea de la caldera 950 BHP corresponden a las condiciones de operación, fecha y hora en las que fueron desarrolladas las actividades relacionadas. Así mismo, los análisis realizados, corresponden a las muestras recolectadas durante los muestreos, en las siguientes tablas (Tabla 13) se muestra un compendio de los parámetros operativos y condiciones de cada fuente evaluada.

Tabla 13. Resultados de emisión de material particulado en Caldera 950 BHP

CALDERA 950 BHP					
Muestreo #	*No*	1	2	3	**PROMEDIO**
Fecha	*dd/mm/aaaa*	26/02/2026	26/02/2026	26/02/2026	
Hora de Inicio	*hh:mm*	12:15	14:15	16:15	
Hora de Terminar	*hh:mm*	13:27	15:27	17:27	
Corridas	*No*	R1-MP	R2-MP	R3-MP	
Código del filtro	*No*	023FF58	023FF99	023FF100	
Cabeza de velocidad	ΔP, mm H2O	6,50	7	7	6,5000
Presión estática	*pg mm H2O*	3,00	3	3	3,0000
Volumen Estándar Total del Medidor	*(V_m) m^3*	0,9431	0,9369	0,9235	0,9345
Tiempo Total del Muestreo	*min*	72	72	72	72
Temperatura Promedio del Medidor	*(t_m)$_{avg}$ °C*	40,17	40,13	40,29	40,20
Temperatura promedio de la Chimenea	*(t_s)$_{avg}$ °C*	52,90	55,32	59,07	55,76
Presión de los gases de salida	*(mmHg)*	677,89	677,89	677,89	677,89
Contenido de Humedad Reportada	*(B_{ws}) %*	1,09%	0,93%	1,12%	1,05%
Velocidad Promedio del Gas	*(v_s) m/s*	9,4697	9,5015	9,5592	9,5101
Área transversal de la Chimenea	*(A_s)*	0,75			
Rata de Flujo Actual en la Chimen.	*(Q_a) acmm*	424,2	425,6	428,2	426,0
Porcentaje de Isocinetismo	*(I) %*	58,4	58,2	57,7	58,1
Masa de Partículas en el Filtro	*(m_f) g*	0,0351	0,0215	0,0299	0,0288
Masa de Partículas en la Acetona	*(m_a') g*	0,0151	0,0316	0,0154	0,0207
Masa de Partículas en el Blanco	*(W_a) g*	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Masa Total de Partículas	*(m_n) g*	0,0499	0,0531	0,0453	0,0494
Caudal Cond Referencia	*(m3/min)*	342,10	341,28	338,84	340,74
Concentración de Partículas en Chimenea (a condiciones de referencia)	*c_s) mg/dscm*	52,02	55,72	48,23	51,99
Oxígeno	*%*	10,6	10,6	10,6	10,6
Concentración de Partículas en Chimenea (a condiciones de referencia y oxígeno de referencia)	*(c_s) mg/dscm*	49,88	53,35	46,26	49,83
		49,83			
Incertidumbre de la medición	*U*	3,92	4,20	3,64	6,78
Flujo de contaminante	*(FC) kg/h*	1,07	1,14	0,98	1,06

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

A continuación, se muestra un resumen de los resultados de las concentraciones obtenidas a condiciones de referencia en las fuentes evaluadas. De acuerdo con la Tabla N.5 del Artículo 8 de la Resolución 909 del 2008 del MAVDT, el estándar máximo de emisión admisible para equipos de combustión externa nuevas, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) y oxígeno 11 % son:

- MP 50 mg/m^3

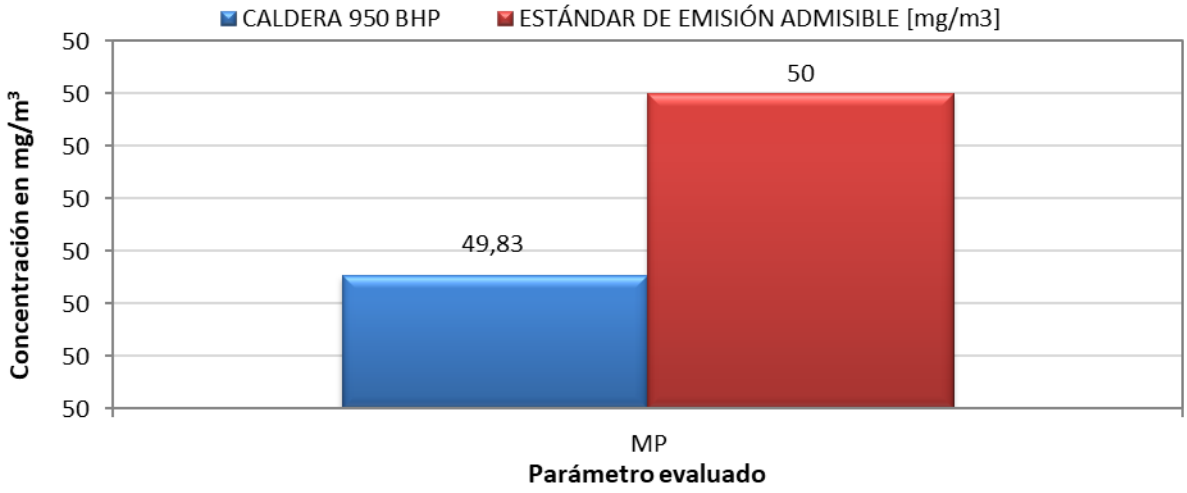
De esta manera, en la Tabla 14 se presentan los resultados de concentración para cada muestreo definitivo para los cuales se realizó medición por triplicado y el valor promedio respectivo, y finalmente las unidades de contaminación ambiental (U.C.A) que definen el grado de significancia del aporte del contaminante y la frecuencia del monitoreo.

Tabla 14. Resultados consolidados de parámetros evaluados

Fuente	Contaminante evaluado	Concentración a condiciones de referencia (e_x) (mg/m^3)	Incertidumbre expandida U (mg/m^3)	Estándar de emisión admisible (N_x) (mg/m^3) Art. 4° R909/2008	Cumplimiento	UCA (Ex/Nx)	Grado de significancia y frecuencia de monitoreo
Caldera 950 BHP	MP	49,83	6,77	50	CUMPLE	1,00	Medio (Cada 1 año)

Fuente: Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

Gráfico 1. Concentración MP Vs Estándar admisible en la Caldera



Fuente Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

2. REPORTE PARA REGISTRO ÚNICO AMBIENTAL (RUA)

En la Tabla 15, se presenta un resumen de variables y resultados requeridos para el diligenciamiento de información en el RUA para el periodo correspondiente.

Tabla 15. Registro Único Ambiental (RUA) – Caldera 950 BHP

REGISTRO UNICO AMBIENTAL - RUA		
Fuente		CALDERA 950 BHP
Latitud (Norte)		4°52'14"
Longitud (Este)		75°52'10"
Altitud (msnm)		958
Tipo de fuente fija		Circular
Altura de la descarga		37
Diámetro del ducto circular (m)		0,975
Longitud del ducto rectangular (m)		NA
MEDICIONES DE PARAMETROS		
Procedimiento de determinación Métodos EPA		US-EPA: Métodos 1,2,3,3B, 4 y 5
Nombre de la empresa y laboratorios que realizan el estudio		GESTIÓN Y MEDIOAMBIENTE S.A.S.
Fecha del muestreo		26/02/2026
Oxígeno en los gases de salida (% de Volumen)		10,566
Humedad en los gases de salida (% Volumen)		1,046%
Flujo volumétrico gases de salida (condiciones de referencia, m3/min)		340,74
Velocidad de los gases de salida (m/s)		9,51
Temperatura de los gases de salida (°C)		55,76
Presión de los gases de salida (mmHg)		677,89
EMISIONES A LA ATMOSFERA CONCENTRACION Y FLUJO MASICO		
Material Particulado (MP)	Concentración (mg /m3std)	49,83
	Flujo de contaminante (Kg/h)	1,06

Fuente Gestión y Medioambiente S.A.S., 2026

3. CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos del monitoreo isocinético de las emisiones atmosféricas de material particulado (MP) realizado por personal calificado y debidamente acreditado ante el IDEAM, y en cumplimiento con lo establecido en el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, se concluye que la fuente evaluada (chimenea de la Caldera de 950 BHP) cumple con los límites de emisión establecidos por la Resolución 909 de 2008 para el contaminante evaluado en este informe.
- De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología descrita en la sección 3.2 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, se calcularon las Unidades de Contaminación Atmosférica (UCA) y la frecuencia de medición para el contaminante material particulado (MP) en la chimenea de Caldera 950 BHP. El análisis determinó un valor UCA de 1 y un grado de significancia "MEDIO" para el contaminante material particulado, lo que establece una frecuencia de monitoreo de cada (1) año.
- Es importante mantener un programa de monitoreo regular para asegurar que las emisiones de la chimenea de la Caldera de 950 BHP continúen cumpliendo con los límites establecidos en la Resolución 909 de 2008. Se recomienda realizar inspecciones periódicas y mantenimiento preventivo tanto a la caldera como a los sistemas de control de emisiones, con el fin de garantizar su eficiencia operativa y el cumplimiento continuo de los estándares ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *http://www.epa.gov* AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 1 External Combustion Source.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS). Resolución 0760 del 20 de abril de 2010, por la cual se adopta el Protocolo Para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Bogotá; 2010

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

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS). Protocolo Para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Versión 2.0. Bogotá; 2010.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS) Resolución 2153 del 02 de Noviembre de 2010, "Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, adoptado a través de la Resolución 760 de 2010 y se adoptan otras disposiciones

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (actual Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS). Resolución 1632 del 21 de septiembre de 2012, por la cual se adiciona el numeral 4.5 al Capítulo 4 del Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica.

---------- **FIN DEL INFORME** ----------

En constancia de lo anterior se firma el presente informe bajo la responsabilidad expresa de quien lo suscribe, a los trece (13) días del mes de marzo del año 2025.

ESTE INFORME ES VÁLIDO PARA LOS MONITOREOS Y/O MEDICIONES REGISTRADOS Y ANALIZADOS SUSCRITOS EN ÉL.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN PREVIA DE LA DIRECCIÓN DEL LABORATORIO DE GESTIÓN y MEDIOAMBIENTE S.A.S.

Gestión y Medioambiente NIT 900.492.960-0

César Augusto Castañeda
Director técnico

Gestión y Medioambiente NIT 900.492.960-0

Diana Lucía Castrillón Monroy
Directora de Calidad