

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS
DERIVADAS DE LA CREMACIÓN EN EL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DE LA
ASUNCIÓN SOBRE LAS ZONAS ALEDAÑAS EN TUNJA, BOYACÁ



AUTOR:

JORGE ANDRÉS MARCHENA RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2026

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EMISIONES
ATMOSFÉRICAS DERIVADAS DE LA CREMACIÓN EN EL PARQUE
CEMENTERIO JARDINES DE LA ASUNCIÓN SOBRE LAS ZONAS ALEDAÑAS EN
TUNJA, BOYACÁ.**

AUTOR:

JORGE ANDRÉS MARCHENA RODRÍGUEZ

DIRECTOR

ALVARO RAFAEL MEJÍA ACOSTA

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

CO-DIRECTOR

LUIS ANGEL REALES MENDOZA

ESPECIALISTAS EN ENERGÍAS RENOVABLES

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR – CESAR

2026

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, fuente de fortaleza y sabiduría en cada paso de mi vida académica y personal.

A mis padres, Abrahan Marchena Zapata y Marineidy Rodríguez Flórez, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo permanente, pilares fundamentales que me han inspirado a alcanzar cada una de mis metas.

A ellos dedico este logro, con profunda gratitud y respeto, por enseñarme que la perseverancia y la fe son el camino hacia el éxito.



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la salud, la sabiduría y la constancia necesarias para culminar esta etapa profesional.

A mis padres, Abrahan Marchena Zapata y Marineidy Rodríguez Flórez, por su apoyo moral, emocional y espiritual, que fueron la base para superar cada desafío.

A la empresa Parque Cementerio Jardines de la Asunción, por abrirme las puertas y permitirme desarrollar mis prácticas académicas, brindándome la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos y fortalecer mi formación profesional.

A mi director de proyecto, por su orientación, compromiso y acompañamiento en el desarrollo del trabajo, aportando su experiencia y conocimientos al perfeccionamiento de este informe.

A mis amigos y compañeros de carrera, por su apoyo, colaboración y por compartir conmigo este proceso de aprendizaje.

Y, finalmente, a los miembros de mi familia que estuvieron conmigo en este proceso, quienes con sus palabras de aliento y su constante presencia me motivaron a seguir adelante y a culminar con éxito esta importante etapa de mi vida.



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
TÍTULO DE LA PRÁCTICA ACADÉMICA	13
INTRODUCCIÓN	14
1 SITUACIÓN PROBLEMA	16
2 JUSTIFICACIÓN.....	18
3 OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4 MARCO REFERENCIAL.....	21
4.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA	21
4.1.1 Información básica	21
4.1.2 Reseña Histórica	22
4.1.3 Planeación estratégica	22
4.1.4 Políticas de la Empresa	23
4.1.5 Estructura Organizacional	24
4.1.6 Mapa de Procesos o Portafolio de Productos y Servicios.	24
4.2 MARCO CONTEXTUAL	25
4.2.1 Georreferenciación.....	26
4.3 MARCO CONCEPTUAL.....	27
4.4 MARCO LEGAL.....	28
5 MARCO METODOLÓGICO.....	31
5.1 CAMPO DE APLICACIÓN	31

5.2	FUNCIONES ESPECÍFICAS A DESARROLLAR	31
5.3	PERFIL DEL SUPERVISOR ASIGNADO.	32
5.4	DESARROLLO METODOLÓGICO	33
6	PRODUCTOS Y RESULTADOS	39
6.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR EL PROCESO DE CREMACIÓN EN EL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DE LA ASUNCIÓN, IDENTIFICANDO LOS CONTAMINANTES, MONÓXIDO DE CARBONO (CO), COMPUESTOS ORGÁNICOS TOTALES (HCT), BENZO(A)PIRENO + DIBENZO(A)ANTRACENO, Y MATERIAL PARTICULADO TOTAL (MP), CONFORME A LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN LA RESOLUCIÓN 909 DE 2008 Y LOS MÉTODOS ANALÍTICOS DEL PROTOCOLO DE LA RESOLUCIÓN 760 DE 2010.....	39
6.1.1	Identificación de las zonas aledañas al Parque Cementerio Jardines de la Asunción mediante georreferenciación.	41
6.1.2	Identificación del punto de emisión del horno crematorio.....	47
6.1.3	Localización de los puntos de muestreo y muestreo preliminar	49
6.1.4	Realización el muestreo isocinético para medir material particulado total (MP). 60	
6.1.5	Medir los gases presentes en la emisión.....	69
6.2	ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS GENERADOS POR LA CREMACIÓN EN LA CALIDAD DEL AIRE Y LOS ECOSISTEMAS CERCANOS AL PARQUE CEMENTERIO CON BASE EN LOS LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN LA RESOLUCIÓN 909 DE 2008. 79	
6.2.1	Recolección y organización de los datos obtenidos en la caracterización de emisiones.	79
6.2.2	Comparación de las concentraciones obtenidas con los límites establecidos en la Resolución 909 de 2008.....	80

6.2.3	Evaluación de la relación entre los niveles de contaminantes y la posible afectación a la calidad del aire.	83
6.2.4	Identificación posibles implicaciones ambientales sobre los ecosistemas cercanos.	85
6.3	PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL PARA REDUCIR LOS EFECTOS NEGATIVOS DE LAS EMISIONES POR CREMACIÓN EN LAS ZONAS ALEDAÑAS AL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DE LA ASUNCIÓN CON BASE EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES, EL CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN 909 DE 2008, Y LAS BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES APLICADAS AL SECTOR FUNERARIO.	88
6.3.1	Identificación de buenas prácticas ambientales aplicadas en hornos crematorios a nivel nacional e internacional.	88
6.3.2	Determinar las áreas críticas o procesos con mayor generación de emisiones.	91
6.3.3	Formulación de estrategias de mitigación orientadas a la reducción de emisiones.	93
6.3.4	Diseño de programas de manejo ambiental adaptados al contexto del Parque Cementerio.	95
6.3.5	Socialización de las estrategias con la administración del cementerio.	100
7	CONCLUSIÓN	101
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
9	ANEXOS	107

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Información básica de la empresa	21
Tabla 2. Normatividad de la temática principal del informe	29
Tabla 3. Funciones Específicas A Desarrollar	31
Tabla 4. Perfil del supervisor asignado	32
Tabla 5. Desarrollo metodológico	33
Tabla 6. Lineamientos normativos nacionales e internacionales aplicables a la caracterización de emisiones atmosféricas por procesos de cremación	40
Tabla 7. Distancias estimadas a zonas aledañas	48
Tabla 8. Localización de los puntos de muestreo	50
Tabla 9. Análisis de gases – Horno crematorio	51
Tabla 10. Muestreo preliminar y contenido de humedad	51
Tabla 11. Peso molecular del gas.....	53
Tabla 12. Cálculo de factores F	53
Tabla 13. Condiciones del sitio	54
Tabla 14. Concentraciones y flujos para un exceso de aire de combustión	54
Tabla 15. Resumen cálculos muestreo preliminar	60
Tabla 16. Calibración del equipo isocinético.....	60
Tabla 17. Resultados del cálculo del Drift de O ₂ y CO ₂	62
Tabla 18. Muestreo isocinético definitivo N.º 1 – Fuente horno crematorio	64
Tabla 19. Resultados – Monóxido de Carbono (CO).....	70
Tabla 20. Concentración de CO a Condiciones de Referencia en mg/m ³ y Corregido por Oxígeno	73
Tabla 21. Resultados de Compuestos Orgánicos Totales (HCT).....	75
Tabla 22. Calibración de flujo bomba de muestreo Benzo(A)Pireno Y Dibenzo(A)Antraceno	77
Tabla 23. Concentraciones promedio de los contaminantes atmosféricos evaluados en el horno crematorio	80

Tabla 24. Comparación de concentraciones corregidas frente a los límites establecidos por la Resolución 909 de 2008	81
Tabla 25. Relación entre los contaminantes medidos, su comportamiento y posibles efectos sobre la calidad del aire	83
Tabla 26. Buenas prácticas ambientales en hornos crematorios.....	89
Tabla 27. Identificación de áreas y procesos críticos del horno crematorio.....	91
Tabla 28. Estrategias de mitigación de emisiones en el horno crematorio	93
Tabla 29. Programa 1: Control de combustión y eficiencia térmica.....	96
Tabla 30. Programa 2. Monitoreo y verificación de emisiones (CEMS + campañas).....	96
Tabla 31. Programa 3. Mantenimiento preventivo y control operativo	97
Tabla 32. Programa 4. Gestión de cenizas y emisiones fugitivas	97
Tabla 33. Programa 5: Dispersión y entorno (chimenea y barreras verdes).....	98
Tabla 34. Programa 6. Capacitación, comunicación y quejas	98
Tabla 35. Programa 7. Seguimiento, auditoría y mejora continua.....	99

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura Organizacional	24
Figura 2. Mapa de procesos.....	25
Figura 3. Localización de Tunja, Boyacá - Colombia	26
Figura 4. Localización de Cementerio Jardines de la Asunción, Tunja-Boyacá, Colombia.	27
Figura 5. Vista satelital del Cementerio Jardines de la Asunción	41
Figura 6. Zonas aledañas (Margen derecho)	42
Figura 7. Zonas aledañas (Margen Izquierdo).....	43
Figura 8. Zonas aledañas (Margen Inferior).....	44
Figura 9. Zonas aledañas (Margen Superior)	46
Figura 10. Punto de emisión del sistema de cremación	48
Figura 11. Calibración equipo ndir - horno crematorio	50

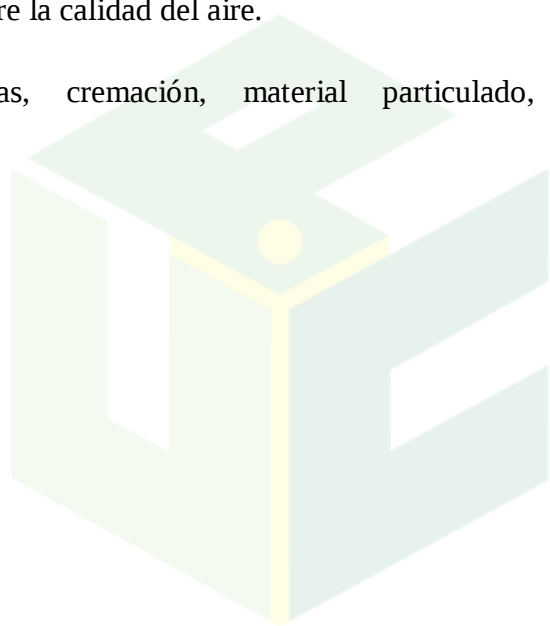
Figura 12. Caracterización cartográfica de las condiciones ambientales, ecosistemas y servicios ecosistémicos en el área de influencia del horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción.....	85
Figura 13. Socialización de las estrategias con la administración del cementerio	100



RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto ambiental de las emisiones atmosféricas generadas por el proceso de cremación en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción, en Tunja (Boyacá), con base en los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 909 de 2008 y los métodos de medición definidos en la Resolución 760 de 2010. La investigación se desarrolló en tres fases: (i) caracterización de emisiones mediante georreferenciación del área de influencia y aplicación de métodos estandarizados (EPA 5 para material particulado, EPA 10 para CO y EPA 25B para compuestos orgánicos totales); (ii) análisis comparativo de las concentraciones corregidas al 11 % de O₂ frente a los límites normativos; y (iii) formulación de estrategias de mitigación bajo el enfoque de Producción Más Limpia. Los resultados evidenciaron que el monóxido de carbono registró 55,86 mg/m³ frente al límite de 150 mg/m³; el material particulado total 21,4 mg/m³ frente a 50 mg/m³; y los compuestos orgánicos totales 30,54 mg/m³ frente a 30 mg/m³, mostrando una ligera superación marginal. La sumatoria de hidrocarburos aromáticos policíclicos presentó 0,0000925 mg/m³ frente a 0,1 mg/m³ establecidos por la norma. Aunque la mayoría de los parámetros cumplen la regulación vigente, se identificaron etapas críticas durante el arranque y la postcombustión que pueden incrementar temporalmente las emisiones. Se proponen medidas orientadas al control térmico, monitoreo continuo y mantenimiento preventivo para optimizar la eficiencia del proceso y minimizar impactos acumulativos sobre la calidad del aire.

Palabras clave. Emisiones atmosféricas, cremación, material particulado, contaminación del aire, mitigación ambiental.



ABSTRACT

This study aimed to evaluate the environmental impact of atmospheric emissions generated by the cremation process at the Jardines de la Asunción Cemetery Park in Tunja (Boyacá), based on the maximum permissible limits established in Resolution 909 of 2008 and the measurement methods defined in Resolution 760 of 2010. The research was conducted in three phases: (i) characterization of emissions through georeferencing of the area of influence and application of standardized methods (EPA 5 for particulate matter, EPA 10 for CO, and EPA 25B for total organic compounds); (ii) comparative analysis of O₂ concentrations corrected to 11% compared to regulatory limits; and (iii) formulation of mitigation strategies under the Cleaner Production approach. The results showed that carbon monoxide registered 55.86 mg/m³ compared to the limit of 150 mg/m³; Total particulate matter was 21.4 mg/m³ compared to 50 mg/m³; and total organic compounds were 30.54 mg/m³ compared to 30 mg/m³, showing a slight marginal exceedance. The sum of polycyclic aromatic hydrocarbons was 0.0000925 mg/m³ compared to the 0.1 mg/m³ established by the standard. Although most parameters comply with current regulations, critical stages were identified during startup and afterburner that can temporarily increase emissions. Measures focused on thermal control, continuous monitoring, and preventive maintenance are proposed to optimize process efficiency and minimize cumulative impacts on air quality.

Keywords. Atmospheric emissions, cremation, particulate matter, air pollution, environmental mitigation.



TÍTULO DE LA PRÁCTICA ACADÉMICA

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS
DERIVADAS DE LA CREMACIÓN EN EL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DE LA
ASUNCIÓN SOBRE LAS ZONAS ALEDAÑAS EN TUNJA, BOYACÁ



INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Prácticas Académicas tuvo como propósito evaluar el impacto ambiental de las emisiones atmosféricas generadas por el proceso de cremación en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción, ubicado en el municipio de Tunja, Boyacá. El estudio se fundamentó en los parámetros establecidos por la Resolución 909 de 2008, que regula los límites máximos permisibles de emisión, y la Resolución 760 de 2010, que adopta los métodos de medición y control de contaminantes atmosféricos en Colombia. La selección de este tema respondió a la necesidad de analizar los efectos de la cremación sobre la calidad del aire y los ecosistemas aledaños, debido al incremento de esta práctica y su potencial contribución a la contaminación atmosférica local.

La metodología implementada se estructuró en tres fases. En la primera, se efectuó la caracterización de las emisiones mediante la identificación de las zonas aledañas al punto de emisión utilizando herramientas de georreferenciación (QGIS y Google Earth), y la aplicación de métodos normalizados para la medición de contaminantes: Método 10 EPA para monóxido de carbono (CO), Método 25B EPA para compuestos orgánicos totales (HCT), Método NIOSH 5506 para benzo(a)pireno + dibenzo(a)antraceno, y Método 5 EPA para material particulado total (MP). En la segunda fase se realizó el análisis comparativo de las concentraciones obtenidas frente a los límites establecidos por la normativa ambiental, y en la tercera se formularon estrategias de mitigación y control bajo el enfoque de Producción Más Limpia (PML).

Durante la práctica se abordaron problemáticas ambientales asociadas a la dispersión de contaminantes, el control insuficiente de emisiones y la falta de medidas de mitigación sistemáticas. A través del análisis de resultados y la implementación de estrategias de gestión, se contribuyó a reducir los impactos negativos sobre el aire, el suelo y la vegetación circundante, generando mejoras significativas en la eficiencia del proceso crematorio y en la gestión ambiental del cementerio.

El documento se estructuró en capítulos que desarrollan cada componente del estudio. El Capítulo I expone el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos; el Capítulo

II presenta el marco referencial; el Capítulo III describe la metodología; el Capítulo IV desarrolla los resultados obtenidos en las diferentes fases de práctica; y el Capítulo V expone las conclusiones generales y las recomendaciones, integrando los aportes técnicos y académicos derivados de la experiencia práctica. Entre los resultados más significativos se evidenció que las concentraciones de monóxido de carbono ($55,86 \text{ mg/m}^3$), material particulado total ($21,4 \text{ mg/m}^3$) y la sumatoria de hidrocarburos aromáticos policíclicos ($0,0925 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) se encontraron dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 909 de 2008, mientras que los compuestos orgánicos totales ($30,54 \text{ mg/m}^3$) presentaron una proximidad al valor límite normativo, indicando la necesidad de optimizar el control del proceso de combustión. Asimismo, se identificaron etapas críticas de operación, especialmente durante el arranque en frío y la postcombustión, y se determinaron posibles implicaciones ambientales sobre ecosistemas cercanos, particularmente en áreas agrícolas y cuerpos de agua superficiales, lo que permitió formular estrategias de mitigación orientadas a mejorar la eficiencia térmica, fortalecer el monitoreo continuo y reducir el riesgo de impactos acumulativos en la calidad del aire y el entorno natural.



1 SITUACIÓN PROBLEMA

El Parque Cementerio Jardines de la Asunción en Tunja enfrenta un problema relacionado con las emisiones de gases generadas durante el proceso de cremación. Este fenómeno ocurre constantemente debido a la actividad funeraria en el lugar, donde los gases resultantes de la cremación son liberados al ambiente. Según Ortiz (2019) esas emisiones pueden alterar la calidad del aire del parque y sus alrededores, lo que genera preocupaciones sobre los efectos ambientales a largo plazo. Actualmente, no se ha realizado un estudio detallado ni una evaluación integral que permita conocer el verdadero impacto de estas emisiones en las zonas aledañas, ni se ha determinado si estas tienen repercusiones directas en estas zonas o en la salud ambiental del área.

Además, hay que tener en cuenta que estas emisiones en Colombia son reguladas por la resolución 909 de 2008, la cual fue emitida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo Territorial. Esta resolución establece las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones (MinAmbiente, 2008). En este sentido, los estudios serán de tipo isocinéticos, en cumplimiento también con la resolución 760 de 2010 quien adopta el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, estos estudios permiten analizar los contaminantes como monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos totales (HCT), benzo(a)pireno + dibenzo(a)antraceno, y material particulado total (MP).

El síntoma inmediato de este problema es la continua emisión de gases contaminantes que provienen de la cremación. Según Bernal y Castillo (2019) estos gases, entre los que se incluyen dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas contaminantes, se liberan al ambiente sin ningún tipo de control exhaustivo sobre las cantidades o los efectos que podrían generar en la calidad del aire. Según Fajardo et al. (2021) la liberación constante de estos compuestos a la atmósfera podría generar alteraciones en la salud del aire local, lo que a su vez afectaría los establecimientos aledaños.

La causa principal de este problema radica en la propia actividad de cremación y en este proceso se genera la liberación de emisiones de gases que no han sido reguladas

adecuadamente en términos de su manejo o control. Las emisiones generadas por la cremación, aunque necesarias en términos del servicio ofrecido por el parque, son liberadas de manera constante y afectan el aire que rodea a la zona sin que se hayan identificado claramente los niveles de impacto que estas emisiones pueden estar provocando. Según Espinal et al. (2024) la falta de una evaluación precisa de los efectos de estas emisiones sobre el ecosistema y la biodiversidad local agrava la situación, ya que se desconoce con certeza la magnitud de su daño en la salud de las zonas aledañas.

El diagnóstico de la situación muestra que el Parque Cementerio Jardines de la Asunción está expuesto a una liberación continua de gases que pueden tener un impacto en la calidad ambiental de las zonas aledañas. Si no se realiza una adecuada evaluación es posible que a la hora de medir el nivel de afectación de los gases emitidos por la cremación sobre el aire y los locales cernos sea difícil. De acuerdo con Schiavo et al. (2024) las consecuencias de este tipo de problemáticas pueden aumentar significativamente si no se toman las estrategias adecuadas para la evaluación y control. En cuanto al futuro, si se siguen acumulando los gases emitidos por la cremación se va a deteriorar significativamente el ambiente circundante y el aire, lo que podrá afectar la salud en las personas cercanas.

Por tanto, se deben realizar evaluaciones completas y en profundidad sobre las emisiones de gasees por la cremación. Por esta razón esta investigación permite obtener información precisa sobre los tipos y cantidades de gases liberados por lo que ayudará a identificar estrategias adecuadas para mitigar el impacto ambiental y la implementación de medidas de control o mitigación será esencial para reducir los efectos negativos y garantizar que el Parque Cementerio Jardines de la Asunción siga siendo un espacio ambientalmente sostenible y saludable para las generaciones futuras.

2 JUSTIFICACIÓN

Este informe de prácticas académicas es importante porque a través de él se conocerá el impacto ambiental que producen las emisiones de gases por la cremación en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción en las zonas aledañas. En este cementerio no se evidencia información adecuada sobre la afectación que tienen las emisiones sobre la calidad del aire y la comunidad cercana por lo que se realizará una evaluación tomando como base la resolución 909 de 2008 quien establece los criterios sobre los límites máximos permisibles de emisión por fuentes fijas, en este caso los hornos crematorios. De igual manera se aplicará la resolución 760 de 2010 quien establece los protocolos de control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada en fuentes fijas, por medio de ella se establecen los métodos de medición de contaminantes (MinAmbiente, 2008).

Al llevar a cabo este informe aportará información nueva e importante para comprender el dimensionamiento del impacto de esta problemática en cuanto al aire y a la comunidad cercana. A partir de los hallazgos obtenidos se podrá tomar las medidas necesarias para mitigar los efectos negativos que puede producir esta actividad.

El propósito de la investigación es determinar el impacto generado a causa de las emisiones producidas (monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos totales (HCT), benzo(a)pireno + dibenzo(a)antraceno, y material particulado total (MP)) por la cremación en el cementerio y medir su impacto ambiental y por medio de esta evaluación se diseñarán estrategias para mejorar, mitigar o controlar este impacto y así contribuir a la gestión ambiental de cementerio. Este informe de practica establece lineamientos que permiten ser desarrollados para reducir los efectos que producen las emisiones de gases por la cremación al entorno, de esta manera se garantiza la sostenibilidad ambiental dentro de la empresa.

Esta investigación se va a realizar porque no se cuenta con información necesaria sobre el dimensionamiento del impacto producido por la emisión de gases por lo que su pertinencia nace de la necesidad de generar nuevos conocimientos sobre una problemática ambiental que no se ha abordado en profundidad en la empresa. La cremación es uno de los servicios más importantes que brinda el cementerio, pero este puede producir efectos negativos al ambiente,

los cuales no han sido evaluados, es por esto que el estudio va a permitir cerrar la brecha de desinformación y aportar soluciones ante estas problemáticas soportadas por evidencias científicas.

La realización de esta investigación aporta al cumplimiento de la normativa ambiental vigente, especialmente la Resolución 909 de 2008 y el Protocolo de la Resolución 760 de 2010, que regulan las emisiones atmosféricas de fuentes fijas como los hornos crematorios. Además, se convierte en una herramienta de gestión ambiental que permitirá al Parque Cementerio Jardines de la Asunción identificar, evaluar y tomar decisiones informadas frente a los impactos generados por sus actividades.

Realizar esta investigación trae varios beneficiarios. En primer lugar, se aportará al cumplimiento de la normativa ambiental vigente como la Resolución 909 de 2008 y el Protocolo de la Resolución 760 de 2010 quien se encarga de regular las emisiones atmosféricas de fuentes fijas, convirtiéndose así en una herramienta de gestión ambiental en la empresa para evaluar y tomar decisiones frente a los impactos de las emisiones. Además, otro beneficiario será la administración del parque cementerio jardines de la Asunción quienes contarán con toda la información encontrada en el desarrollo de esta investigación y así implementar las medidas necesarias para contribuir a la gestión ambiental. En tercer lugar, las localidades aledañas serán beneficiarias porque si están teniendo algún tipo de impacto por a las emisiones generada por la cremación sin ser evidenciadas, se podrán tomar las medidas necesarias para mitigar o controlar esto, además el estudio servirá como antecedente para investigaciones con esta temática u otras empresas de esta actividad económica. Esta investigación aportará nueva información sobre la relación que hay entre las actividades funerarias, el medio ambiente, el aire y la comunidad cercana.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto ambiental de las emisiones atmosféricas derivadas de la cremación en el Parque Cementerio Jardines de La Asunción sobre las zonas aledañas en Tunja, Boyacá con base a los límites permisibles establecidos en la resolución 909 de 2008 y los métodos de medición de los contaminantes adoptados mediante la resolución 760 de 2010

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las emisiones atmosféricas generadas por el proceso de cremación en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción, identificando los contaminantes, monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos totales (HCT), benzo(a)pireno + dibenzo(a)antraceno, y material particulado total (MP), conforme a los requerimientos establecidos en la Resolución 909 de 2008 y los métodos analíticos del Protocolo de la Resolución 760 de 2010.
- Analizar las concentraciones de los contaminantes atmosféricos generados por la cremación en la calidad del aire y los ecosistemas cercanos al parque cementerio con base en los límites permisibles establecidos en la Resolución 909 de 2008.
- Proponer estrategias de mitigación y manejo ambiental para reducir los efectos negativos de las emisiones por cremación en las zonas aledañas al Parque Cementerio Jardines de la Asunción con base en los resultados obtenidos en la caracterización de contaminantes, el cumplimiento de la Resolución 909 de 2008, y las buenas prácticas ambientales aplicadas al sector funerario.

4 MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se presentan los aspectos esenciales que conforman el desarrollo del informe de prácticas académicas que respaldan la ejecución del proyecto y orientan el análisis de los resultados obtenidos durante el proceso formativo.

4.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA

4.1.1 Información básica

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la información general correspondiente a la empresa donde se desarrollaron las prácticas académicas, incluyendo los datos institucionales y de contacto necesarios para su identificación.

Tabla 1.

Información básica de la empresa

FICHA DE IDENTIFICACIÓN		
PRACTICANTE	Nombre del practicante	JORGE ANDRÉS MARCHENA RODRÍGUEZ
	Número de identificación	1065844029
	Teléfono/celular	3046813128
	Correo electrónico	jamarcehna@unicesar.edu.co
EMPRESA	Razón social	Parque y Funerarias S.A.S
	NIT	860.015.300-0
	Dirección	Kilómetro 2 vía Tunja – Paipa
	Municipio	Tunja
	Departamento	Boyacá
	Nombre del representante legal	Carlos Julio Montero Muñoz
	Nombre del jefe inmediato	Johan Sebastian Molina Gómez

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

Teléfono/celular	3108724572
Correo electrónico	Jmolina@gruporecordar.com.co

Nota. Elaboración propia, 2026

4.1.2 Reseña Histórica

Parque Cementerio Jardines de La Asunción nació hace más de sesenta años, consolidándose como una de las compañías líderes en el sector funerario colombiano gracias a su compromiso con la honestidad, la calidez, la confianza y la solidez empresarial. A lo largo de su trayectoria, ha desarrollado productos y servicios funerarios integrales dirigidos a brindar acompañamiento y asesoría a las familias en momentos significativos de la vida y en sus procesos de duelo.

La organización estructura su operación en dos grandes unidades de negocio: Previsión y Parques y Funerarias, las cuales garantizan una atención integral y personalizada. Actualmente, cuenta con cerca de 1.900 colaboradores y más de tres millones de clientes mensuales, entre titulares, beneficiarios y usuarios de sus servicios, con presencia en las principales ciudades del país como Bogotá, Cali, Medellín, Cartagena, Tunja, San Andrés, Pasto, Bucaramanga, Valledupar y Barranquilla, donde dispone de infraestructura propia y centros administrativos de atención comercial.

Durante su evolución, el Parque Cementerio Jardines de La Asunción ha mantenido su compromiso con la excelencia en la prestación de servicios, apoyado en altos estándares de calidad y un gobierno corporativo sólido que fortalece sus principios éticos y su cultura organizacional. Su misión se centra en dignificar la vida y ayudar a cumplir sueños, orientando sus acciones bajo valores fundamentales como la empatía hacia el cliente, la integridad, el trabajo en equipo y el liderazgo transformador que impulsa la innovación y la sostenibilidad.

4.1.3 Planeación estratégica

4.1.3.1 Misión

Ofrecer un servicio funerario humano y digno, facilitando un espacio de paz para el recuerdo. Su visión es ser un parque cementerio líder que brinde tranquilidad, opciones de

destino final (inhumación, cremación) y un ambiente que honre la memoria de los seres queridos a través de un cuidado integral de las instalaciones.

4.1.3.2 Visión

Ser un parque cementerio de referencia a nivel nacional, distinguido por su liderazgo y compromiso con la excelencia en el sector funerario. Brindar un espacio de paz, serenidad y respeto que promueva el recuerdo digno de los seres queridos, ofreciendo servicios integrales, humanizados y de alta calidad. Nos orientamos a superar las expectativas de nuestros clientes mediante la atención personalizada, el cuidado permanente de nuestras instalaciones y la preservación de un entorno armónico que honre la memoria y la trascendencia de cada vida.

4.1.3.3 Valores

El Parque Cementerio Jardines de La Asunción fundamenta su cultura organizacional en valores y principios que orientan todas sus acciones hacia la excelencia, la ética y el bienestar de las familias colombianas. Estos valores constituyen la base de su compromiso con la sociedad y guían su desempeño en el sector funerario, promoviendo relaciones de confianza, respeto y empatía.

4.1.3.4 Principios

- ❖ Honestidad y confianza, como ejes del vínculo con las familias y aliados estratégicos.
- ❖ Calidez y respeto humano, presentes en cada interacción y servicio prestado.
- ❖ Responsabilidad social y ambiental, reflejada en la búsqueda de prácticas sostenibles y éticas en todas las operaciones.
- ❖ Compromiso con la excelencia, que orienta el cumplimiento de los más altos estándares de calidad y servicio.

4.1.4 Políticas de la Empresa

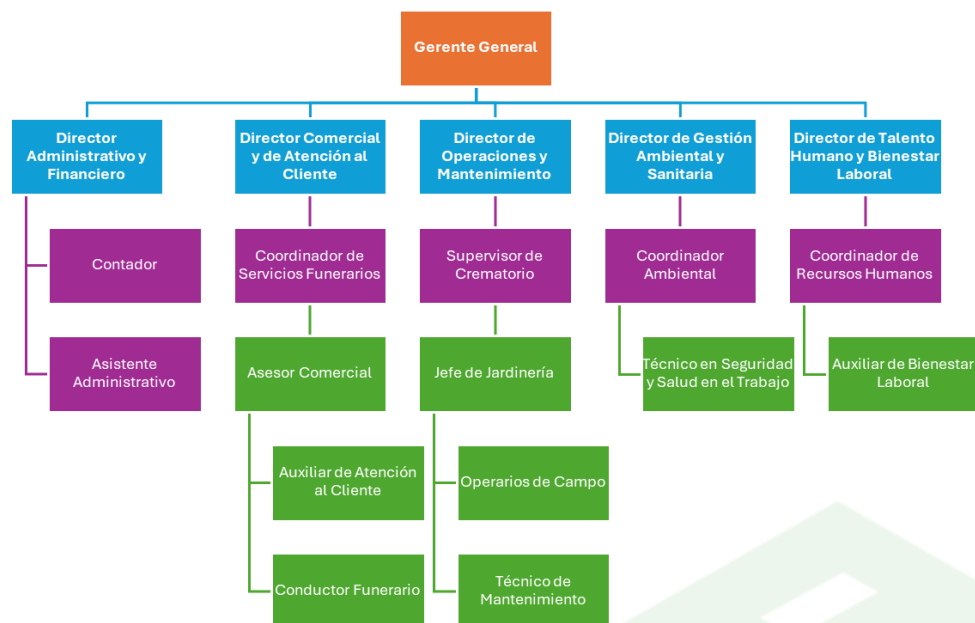
El **Parque Cementerio Jardines de La Asunción** orienta su gestión bajo principios de responsabilidad, ética y sostenibilidad, mediante políticas corporativas que garantizan el cumplimiento normativo, la satisfacción de los clientes y el mejoramiento continuo de sus procesos. Estas políticas reflejan su compromiso con la calidad del servicio, la protección ambiental y el bienestar de todos sus grupos de interés.

4.1.5 Estructura Organizacional

La estructura organizacional del *Parque Cementerio Jardines de la Asunción S.A.S.* está diseñada bajo un modelo jerárquico funcional que permite garantizar la eficiencia operativa, la transparencia en los procesos y el cumplimiento de las políticas integrales de gestión y calidad. Esta estructura facilita la coordinación entre las áreas administrativas, operativas y de atención al cliente, asegurando la prestación de servicios exequiales con sensibilidad humana, sostenibilidad ambiental y responsabilidad social. A continuación, se presenta esta estructura.

Figura 1.

Estructura Organizacional



Nota. Proporcionado por la empresa, 2026

4.1.6 Mapa de Procesos o Portafolio de Productos y Servicios.

El Parque Cementerio Jardines de la Asunción S.A.S. estructura su gestión organizacional a través de un mapa de procesos que integra de manera coherente las actividades estratégicas, misionales, de apoyo y de evaluación, garantizando la eficiencia operativa y la satisfacción del usuario. Este mapa permite visualizar la interrelación entre los procesos administrativos, comerciales, operativos, ambientales y de bienestar, asegurando la trazabilidad desde la planeación hasta la prestación final del servicio exequial.

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

Asimismo, el portafolio de productos y servicios se orienta a brindar soluciones integrales en el ámbito funerario, incluyendo la venta de planes exequiales, servicios de cremación, inhumación, exhumación, mantenimiento de bóvedas y zonas verdes, acompañamiento espiritual y asesoría personalizada a las familias. En este sentido, se presenta a continuación.

Figura 2.

Mapa de procesos



Nota. Proporcionado por la empresa, 2026

4.2 MARCO CONTEXTUAL

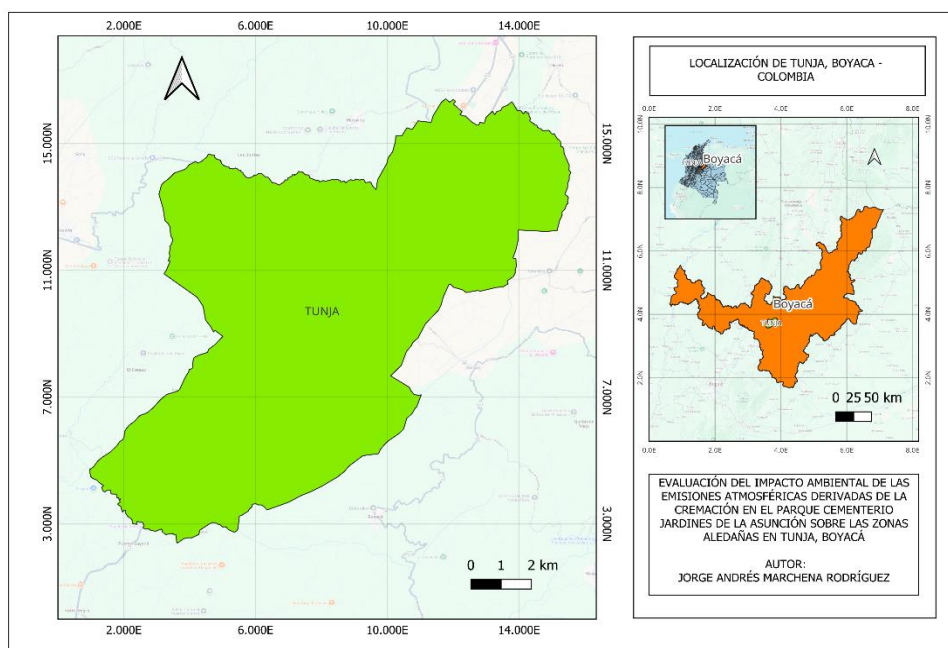
En este apartado se presenta el marco contextual del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, con el fin de evidenciar la ubicación y las condiciones en las que se desarrolla el proyecto “Evaluación del impacto ambiental de las emisiones atmosféricas derivadas de la cremación sobre las zonas aledañas en Tunja, Boyacá”, correspondiente al informe de prácticas profesionales.

4.2.1 Georreferenciación

El Parque Cementerio Jardines de la Asunción se localiza en el departamento de Boyacá, en una zona de influencia que comprende los municipios de Tunja, Paipa y Cóbbita, reconocidos por su importancia geográfica y ambiental dentro del altiplano cundiboyacense. La ciudad de Tunja, capital del departamento, se encuentra situada a una altitud promedio de 2.820 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas aproximadas 5°32' de latitud norte y 73°22' de longitud oeste, en el centro-orientado de Colombia (IGAC, 2022). Su localización estratégica y el constante crecimiento urbano han consolidado a Tunja como un eje administrativo y de servicios en la región andina, donde se desarrollan diversas actividades económicas, entre ellas los servicios funerarios y de cremación (DANE, 2023). Los municipios de Paipa y Cóbbita integran el área de influencia ambiental del proyecto, dada su proximidad y la conectividad vial con la capital boyacense, lo que favorece la dispersión de contaminantes atmosféricos en caso de emisiones. A continuación, se presenta la ubicación geográfica específica del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, con el propósito de contextualizar espacialmente el área de estudio.

Figura 3.

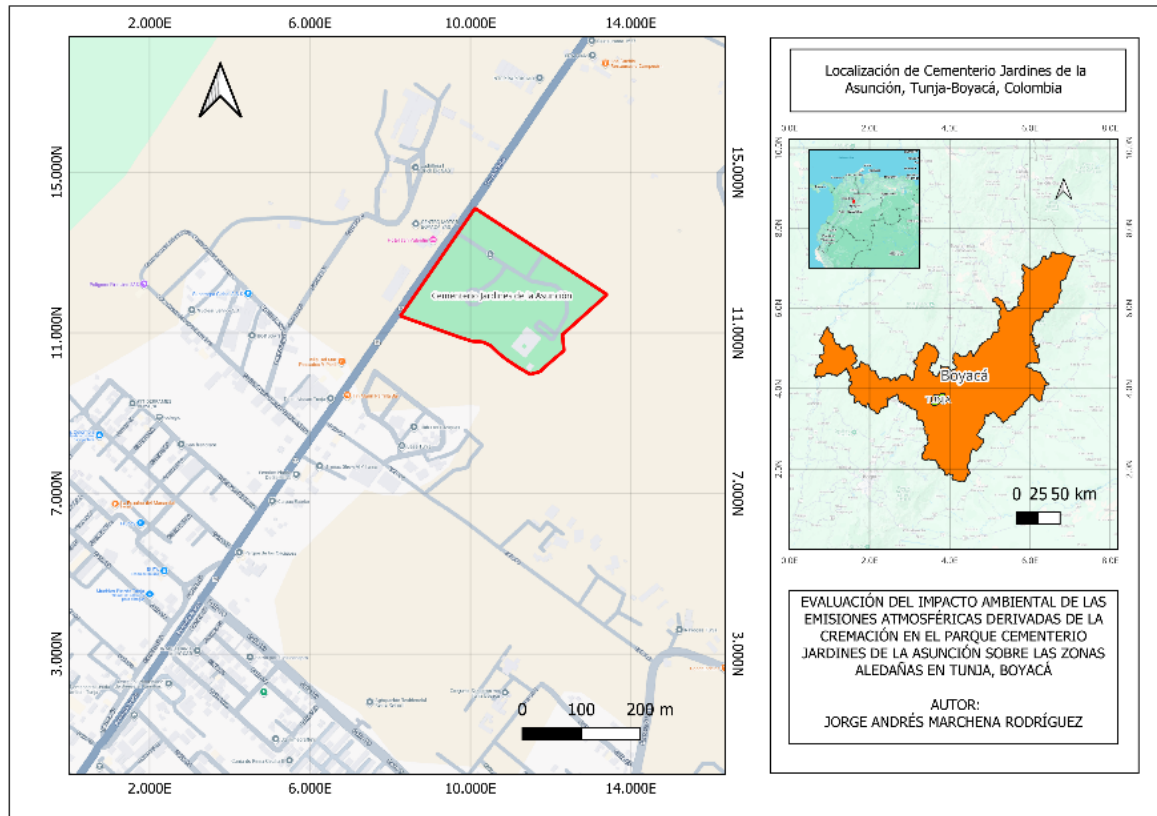
Localización de Tunja, Boyacá - Colombia



Nota. Elaboración propia, 2026

Figura 4.

Localización de Cementerio Jardines de la Asunción, Tunja-Boyacá, Colombia



Nota. realizado por autor, 2026

4.3 MARCO CONCEPTUAL.

Calidad del aire: Condición del aire determinada por la concentración de contaminantes respecto a los límites establecidos en la normativa ambiental, utilizada para evaluar riesgos sobre la salud y el ambiente (Gobierno de Colombia, 2022).

Contaminación del aire: Presencia de sustancias o mezclas en el aire en concentraciones que pueden alterar su composición natural, causando daños a los ecosistemas, a los bienes materiales o a la salud humana (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2018).

Cremação: Proceso de incineración controlada de restos humanos mediante altas temperaturas, en el que se generan gases y compuestos contaminantes como dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (Bueno y Caballero, 2022).

Dispersión atmosférica: Proceso mediante el cual los contaminantes liberados a la atmósfera se transportan, diluyen y depositan según las condiciones meteorológicas y topográficas del entorno (Echeverri, Valencia y Acosta, 2012).

Emisiones atmosféricas: Son las descargas de contaminantes gaseosos o particulados que se liberan a la atmósfera desde fuentes fijas o móviles, generando posibles afectaciones a la calidad del aire y a la salud pública (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Evaluación de impacto ambiental (EIA): Instrumento técnico, jurídico y administrativo que permite identificar, predecir y valorar los efectos ambientales que una actividad o proyecto puede generar, proponiendo medidas de prevención, corrección o compensación (Fernández, 2013).

Fuentes fijas de emisión: Instalaciones o equipos estacionarios que generan contaminantes atmosféricos a través de procesos de combustión, transformación o tratamiento de materiales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Gestión ambiental: Conjunto de acciones y estrategias orientadas a la prevención, mitigación, compensación y control de los impactos ambientales generados por las actividades humanas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Material particulado (PM): Mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, entre ellas polvo, hollín, cenizas y metales, cuyas fracciones finas ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) pueden penetrar en el sistema respiratorio y causar efectos adversos (Ministerio de Salud y Protección Social, 2020).

Zona de influencia: Espacio geográfico donde los impactos ambientales de una actividad o proyecto pueden manifestarse directa o indirectamente, dependiendo de la naturaleza y magnitud de las emisiones o vertimientos (Rojas y González, 2019).

4.4 MARCO LEGAL.

En la siguiente tabla se presenta la normatividad que se aplica a este informe de prácticas académicas

Tabla 2.
Normatividad de la temática principal del informe

Normativa	Descripción	Aplicación
Resolución 909 de 2008 – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Regula los niveles permisibles de emisión de contaminantes atmosféricos generados por fuentes fijas, tales como óxidos de nitrógeno (NO _x), dióxido de azufre (SO ₂), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM). Además, define los procedimientos de medición, evaluación y control de emisiones.	En el proyecto, esta resolución sirve como base para determinar si las emisiones generadas por los hornos crematorios del Parque Cementerio se encuentran dentro de los límites permitidos, garantizando que la cremación no afecte la calidad del aire en Tunja y sus alrededores.
Resolución 760 de 2010 – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Modifica y complementa la Resolución 909 de 2008, ajustando los valores límite para contaminantes y precisando los métodos de referencia para el muestreo, análisis y reporte de emisiones atmosféricas.	Aplica directamente al estudio, ya que orienta la metodología utilizada para la medición de contaminantes emitidos por el crematorio, asegurando que los resultados obtenidos sean válidos y comparables con los parámetros nacionales.
Decreto 1076 de 2015 – Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible	Compila la normativa ambiental vigente, incluyendo la regulación sobre emisiones atmosféricas, permisos ambientales y control de fuentes contaminantes.	Sustenta jurídicamente la necesidad de obtener o actualizar los permisos de emisión del crematorio y de cumplir con los estándares técnicos exigidos por las autoridades ambientales del departamento de Boyacá.
Resolución 2254 de 2017 – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Establece el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, determinando los procedimientos técnicos para medir y evaluar contaminantes atmosféricos.	En el proyecto, orienta el diseño del plan de monitoreo ambiental que permitirá evaluar los niveles de contaminación del aire en las zonas aledañas al Parque Cementerio, generando evidencia para el análisis del impacto.
Ley 99 de 1993 – Congreso de la República de Colombia	Crea el Ministerio del Medio Ambiente y organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), estableciendo principios de desarrollo sostenible y control de la contaminación.	Fundamenta la responsabilidad ambiental del Parque Cementerio como entidad sujeta al control del SINA, obligada a prevenir y mitigar impactos ambientales por emisiones atmosféricas.

Normativa	Descripción	Aplicación
Resolución 6982 de 2011 – Ministerio de la Protección Social	Regula los requisitos sanitarios y ambientales para el funcionamiento de cementerios y hornos crematorios, incluyendo el manejo de residuos, emisiones y condiciones locativas.	Aplica de manera directa al estudio, ya que establece las condiciones técnicas y sanitarias que deben cumplir las instalaciones del crematorio para garantizar un funcionamiento ambientalmente seguro.
Resolución 631 de 2015 – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Fija los parámetros y valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado.	Aunque no se centra en emisiones atmosféricas, es relevante para el control de los efluentes líquidos generados por el lavado y mantenimiento del horno crematorio y áreas del parque.
Ley 1333 de 2009 – Congreso de la República de Colombia	Establece el procedimiento sancionatorio ambiental y las medidas preventivas ante infracciones a la normatividad ambiental.	Su aplicación en el proyecto radica en la identificación de las consecuencias legales que podría enfrentar el Parque Cementerio si se evidencian emisiones superiores a los límites normativos.
Decreto 948 de 1995 – Ministerio del Medio Ambiente	Regula la prevención y control de la contaminación atmosférica y establece las competencias para el otorgamiento de licencias y permisos de emisión.	Apoya el componente legal del estudio al definir las responsabilidades del operador del crematorio frente a la emisión de contaminantes y el control de la calidad del aire.
Resolución 1541 de 2013 – Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Determina los niveles máximos de ruido ambiental y los procedimientos de medición.	Aunque el proyecto se centra en emisiones atmosféricas, esta norma complementa el análisis de impacto al evaluar posibles molestias acústicas derivadas del funcionamiento de los equipos del crematorio.

Nota. Elaboración propia, 2026.

5 MARCO METODOLÓGICO

5.1 CAMPO DE APLICACIÓN

De acuerdo con el Acuerdo N.º 003 del 8 de julio de 2021, expedido por la Facultad de Ingenierías y Tecnológicas de la Universidad Popular del Cesar, el presente informe se fundamenta en la línea de investigación en Sostenibilidad y Gestión Ambiental, dentro de la sublínea de Gestión Integral de la Calidad del Aire. Asimismo, se enmarca en las áreas temáticas de Emisiones y control de la contaminación atmosférica y Métodos de evaluación, monitoreo y seguimiento a la calidad del aire, en concordancia con los propósitos institucionales de fortalecer la investigación aplicada, la sostenibilidad ambiental y el desarrollo de estrategias para la prevención y mitigación de impactos atmosféricos (Universidad Popular del Cesar, 2021).

5.2 FUNCIONES ESPECÍFICAS A DESARROLLAR

A continuación, se presenta una tabla que describe las funciones desarrolladas en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción, ubicado en el municipio de Tunja, Boyacá

Tabla 3.

Funciones Específicas A Desarrollar

TÍTULO DE LA PROPUESTA:		
DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS EN EL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DE LA ASUNCIÓN, TUNJA, BOYACÁ		
FUNCIONES ESPECÍFICAS A DESARROLLAR POR EL PRACTICANTE		
Nº	FUNCIÓN	PRODUCTO
1	Apoyar en la revisión y aseguramiento del cumplimiento de leyes y regulaciones ambientales distritales y nacionales por medio del Cronograma ambiental.	Cronograma ambiental que asegura el cumplimiento de leyes y regulaciones ambientales distritales y nacionales.
2	Actualizar y mantener la documentación técnica y administrativa relacionada con los proyectos y prácticas ambientales, archivando los documentos en medio digital SharePoint	Documentación técnica y administrativa actualizada y archivada digitalmente en SharePoint.
3	Ayudar en la recolección y análisis de datos ambientales, incluyendo calidad del aire, agua y suelos	Datos ambientales recolectados y analizados sobre calidad del aire, agua y suelos
4	Colaborar en la planificación, ejecución y seguimiento de proyectos ambientales.	Planes, informes y seguimiento de proyectos ambientales ejecutados.

TÍTULO DE LA PROPUESTA:		DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANEJO INTEGRAL DE RESIDUOS PELIGROSOS EN EL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DE LA ASUNCIÓN, TUNJA, BOYACÁ
FUNCIONES ESPECÍFICAS A DESARROLLAR POR EL PRACTICANTE		
N°	FUNCIÓN	PRODUCTO
5	Realizar investigaciones sobre normativas ambientales, tendencias y tecnologías emergentes	Informe de investigación sobre normativas ambientales, tendencias y tecnologías emergentes.
6	Asistir en la preparación de informes técnicos y presentaciones para comunicar hallazgos y recomendaciones, por ejemplo, informes de gestión e informes de CO.	Informes técnicos y presentaciones con hallazgos y recomendaciones (informes de gestión, informes de CO).
7	Participar en auditorías ambientales y evaluaciones de impacto ambiental.	Resultados y documentos de auditorías ambientales y evaluaciones de impacto ambiental.

Nota. Elaboración propia, 2026

5.3 PERFIL DEL SUPERVISOR ASIGNADO.

A continuación, encontramos el perfil del supervisor asignado en el desarrollo de las practicas académicas

Tabla 4.

Perfil del supervisor asignado

PERFIL DEL SUPERVISOR ASIGNADO	
Nombre Supervisor	Johan Sebastian Molina Gómez
Perfil profesional	Ingeniero Ambiental Y Sanitario
Estudios Realizados	Ingeniería ambiental y sanitario Universidad de La Salle
Experiencia Profesional	○ 2023 – actualmente: Coordinador de Sostenibilidad-Grupo Recordar ○ 2019 – 2023: Analista de sostenibilidad - Talento Nutresa ○ 2018 – 2019: Analista medioambiental . RSIC SAS
Tipo de contratación	Directa - término indefinido
N° Matricula Profesional	091024-0523490 CND

Nota. Elaboración propia, 2026

5.4 DESARROLLO METODOLÓGICO

En la tabla siguiente se presentan las fases desarrolladas durante las prácticas académicas, acompañadas de las actividades correspondientes a cada una. Estas fases se articulan con los objetivos planteados en esta investigación, organizadas de manera cronológica conforme a los lineamientos establecidos por el Comité de Investigación del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria (IAS, 2022)

Tabla 5.

Desarrollo metodológico

Fase	Actividades	Descripción de métodos / instrumentos / técnicas
Fase 1. Caracterización de las emisiones atmosféricas generadas por el proceso de cremación en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción, identificando los contaminantes, monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos totales (HCT), benzo(a)pireno + dibenzo(a)antraceno, y material particulado total (MP), conforme a los requerimientos establecidos en la Resolución 909 de 2008 y los métodos analíticos del Protocolo de la Resolución 760 de 2010	Identificación de las zonas aledañas al Parque Cementerio Jardines de la Asunción mediante georreferenciación.	Se ejecutó levantamiento geoespacial mediante captura de coordenadas en sistema WGS84 con receptor GNSS/GPS de precisión métrica. Posteriormente, los puntos fueron integrados en un Sistema de Información Geográfica (QGIS y ArcGIS) para delimitar el área de influencia directa e indirecta del horno crematorio. Se incorporaron capas cartográficas oficiales y ortoimágenes satelitales para identificar usos del suelo, coberturas vegetales, cuerpos de agua, infraestructura vial y posibles receptores sensibles (zonas residenciales y agrícolas). Se aplicó análisis espacial para establecer proximidad y relaciones fuente–receptor.
	Identificación del punto de emisión del horno crematorio.	Se realizó inspección técnica in situ bajo protocolo de caracterización de fuentes fijas. Se registraron variables físicas de la chimenea (altura efectiva,

	diámetro interno, sección transversal), así como condiciones operativas del horno. La localización fue validada mediante georreferenciación y verificación cartográfica en SIG. Se documentó la trazabilidad mediante registro fotográfico y ficha técnica del punto de emisión.
Localización de puntos de muestreo y muestreo preliminar.	La selección de los puntos de muestreo en el ducto se realizó conforme al Método 1 de la EPA, estableciendo líneas de muestreo transversales y número de puntos según el diámetro del conducto. Se verificó la distancia a perturbaciones (aguas arriba y abajo) para asegurar flujo estable y representativo. En el muestreo preliminar se midieron variables necesarias para el cálculo isocinético: temperatura del gas, presión estática, presión diferencial (tubo Pitot), presión barométrica y humedad. Estos parámetros alimentaron los cálculos de velocidad y caudal del flujo.
Muestreo isocinético para material particulado total (MP).	Se aplicó el Método 5 de la EPA para la determinación gravimétrica del material particulado total, asegurando condición de isocineticidad (velocidad de succión equivalente a la velocidad del gas). Se empleó tren de muestreo compuesto por sonda calentada, porta-filtro con filtro de fibra de vidrio, sistema de condensación, medidor de

Fase 2. Análisis de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos generados por la cremación en		volumen seco y bomba de vacío calibrada. Se controlaron variables de temperatura, presión diferencial, caudal y tiempo de muestreo. Se verificó ausencia de fugas y se evaluó el porcentaje de isocineticidad dentro del rango aceptable. El material particulado retenido fue cuantificado por diferencia de masa antes y después del muestreo, determinando la concentración en mg/m^3 a condiciones estándar.
	Medición de gases presentes en la emisión.	El monóxido de carbono (CO) fue medido mediante analizador NDIR conforme al Método 10 de la EPA, con verificación de deriva (drift) y sesgo (bias). Los hidrocarburos totales (HCT) fueron determinados mediante detector de ionización de llama (FID) según el Método 25B de la EPA, reportando concentraciones como equivalentes de metano. Para hidrocarburos aromáticos policíclicos como benzo(a)pireno y dibenzo(a)antraceno se empleó el método NIOSH 5506, mediante muestreo en filtro y resina adsorbente, calibración de flujo ($\sim 2 \text{ L/min}$), extracción y análisis posterior. Los resultados fueron normalizados al 11 % de O_2 conforme al Protocolo adoptado por la Resolución 760 de 2010.
	Recolección y organización de datos.	Se consolidaron los resultados en matrices digitales (Excel), aplicando control de calidad de datos, verificación de

**la calidad del aire y los
ecosistemas cercanos al parque
cementerio con base en los
límites permisibles establecidos
en la Resolución 909 de 2008**

coherencia de unidades y detección de valores atípicos. Se calcularon estadísticos descriptivos (promedio, desviación estándar y concentración máxima). Se garantizó trazabilidad mediante registro de fecha, equipo, calibración y condiciones operativas del muestreo.

Comparación de las concentraciones obtenidas con los límites establecidos en la Resolución 909 de 2008.

Se efectuó análisis comparativo entre las concentraciones corregidas al 11 % de O₂ y los límites máximos permisibles establecidos para fuentes fijas de combustión. Se aplicó criterio de decisión “cumple / no cumple”, documentando casos cercanos al umbral normativo y estableciendo margen porcentual respecto al límite permitido.

Evaluación de la relación entre los niveles de contaminantes y la posible afectación a la calidad del aire.

Se realizó análisis cualitativo del riesgo ambiental considerando toxicidad, persistencia, reactividad atmosférica y potencial de formación secundaria (ozono troposférico y material particulado secundario). Se evaluó la plausibilidad de exposición en función de la proximidad a receptores identificados y las condiciones meteorológicas locales.

Identificación de posibles implicaciones ambientales sobre los ecosistemas cercanos.

Se integraron concentraciones obtenidas con análisis espacial en SIG para estimar posibles zonas de deposición y dispersión. Se evaluó la sensibilidad de coberturas vegetales, suelos agrícolas y cuerpos de agua artificiales dentro del área de influencia,

		considerando topografía, dirección predominante de vientos y uso del suelo.
Fase 3. Propuesta de estrategias de mitigación y manejo ambiental para reducir los efectos negativos de las emisiones por cremación en las zonas aledañas al Parque Cementerio Jardines de la Asunción con base en los resultados obtenidos en la caracterización de contaminantes, el cumplimiento de la Resolución 909 de 2008, y las buenas prácticas ambientales aplicadas al sector funerario	Identificación buenas prácticas ambientales aplicadas en hornos crematorios a nivel nacional e internacional.	Se desarrolló revisión técnica normativa y documental sobre control de emisiones en hornos crematorios, incluyendo requisitos de temperatura mínima (≥ 850 °C), tiempo de residencia (≥ 2 s), control de oxígeno, monitoreo continuo y mantenimiento preventivo. Se compararon lineamientos nacionales con guías internacionales para identificar medidas replicables.
	Determinación de las áreas críticas o procesos con mayor generación de emisiones.	Se realizó análisis técnico por etapas operativas (arranque, ignición, combustión primaria, postcombustión, apertura de puertas y retiro de cenizas), identificando picos de CO, HCT y MP asociados a transiciones térmicas y desbalances aire-combustible. Se clasificó el nivel de criticidad (alta, media) según impacto potencial y frecuencia de ocurrencia.
	Formulación de estrategias de mitigación orientadas a la reducción de emisiones.	Se aplicó el enfoque de Producción Más Limpia priorizando prevención en la fuente. Se formularon medidas tecnológicas (control automático de temperatura y O ₂), operativas (protocolos de arranque progresivo, sellado hermético) y de gestión (monitoreo continuo, mantenimiento preventivo). Se definieron indicadores verificables y metas de desempeño ambiental.

	Diseño de programas de manejo ambiental adaptados al contexto del Parque Cementerio.	Se estructuró matriz de manejo ambiental con definición de objetivos, acciones específicas, responsables, indicadores de seguimiento y cronograma de implementación. Se incorporaron criterios de control operacional, aseguramiento de calidad y mejora continua.
	Socialización las estrategias con la administración del cementerio.	Se realizó reunión técnica formal para presentar resultados, estado de cumplimiento normativo, áreas críticas identificadas y programas de mitigación propuestos. Se levantó acta y registro fotográfico como evidencia de apropiación institucional y compromiso de implementación.

Nota. Elaboración propia, 2026



6 PRODUCTOS Y RESULTADOS

A continuación, se presentan los productos y resultados obtenidos como consecuencia de la ejecución de las actividades desarrolladas en cada una de las fases metodológicas del proyecto. Estos resultados reflejan el cumplimiento de los objetivos planteados y evidencian el alcance técnico y analítico logrado durante el desarrollo del presente informe.

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR EL PROCESO DE CREMACIÓN EN EL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DE LA ASUNCIÓN, IDENTIFICANDO LOS CONTAMINANTES, MONÓXIDO DE CARBONO (CO), COMPUESTOS ORGÁNICOS TOTALES (HCT), BENZO(A)PIRENO + DIBENZO(A)ANTRACENO, Y MATERIAL PARTICULADO TOTAL (MP), CONFORME A LOS REQUERIMIENTOS ESTABLECIDOS EN LA RESOLUCIÓN 909 DE 2008 Y LOS MÉTODOS ANALÍTICOS DEL PROTOCOLO DE LA RESOLUCIÓN 760 DE 2010.

En esta fase se desarrolló la caracterización de las emisiones atmosféricas generadas por el proceso de cremación en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción, con el propósito de identificar y cuantificar los principales contaminantes emitidos al ambiente durante la operación del horno crematorio. El procedimiento se realizó conforme a los lineamientos técnicos y normativos establecidos en la Resolución 909 de 2008, que define los niveles máximos permisibles de emisión para fuentes fijas, y la Resolución 760 de 2010, la cual establece los métodos analíticos de referencia y los procedimientos de muestreo aplicables.

La caracterización contempló la medición de monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos totales (HCT), benzo(a)pireno + dibenzo(a)antraceno, y material particulado total (MP). utilizando equipos de muestreo isocinético y analizadores multigás portátiles calibrados bajo las normas de la Environmental Protection Agency (EPA). Estos parámetros permitieron determinar el comportamiento de las emisiones gaseosas y particuladas, así como evaluar la eficiencia del proceso de combustión del horno.

Con el fin de garantizar la trazabilidad normativa de la caracterización de las emisiones atmosféricas, en el Cuadro X se presentan los principales lineamientos y normas nacionales e

internacionales considerados para la evaluación de los contaminantes asociados al proceso de cremación. Estos referentes permitieron establecer criterios técnicos comparables, asegurar la aplicación de métodos de medición reconocidos y contextualizar los resultados obtenidos frente a estándares ampliamente aceptados en el control de emisiones de fuentes fijas.

Tabla 6.

Lineamientos normativos nacionales e internacionales aplicables a la caracterización de emisiones atmosféricas por procesos de cremación

Componente evaluado	Contaminante	Normativa nacional (Colombia)	Normativa internacional de referencia	Criterio normativo / Lineamiento	Aplicación en la caracterización
Emisiones gaseosas de fuentes fijas	Monóxido de carbono (CO)	Resolución 909 de 2008	US EPA – 40 CFR Part 60; Directiva 2010/75/UE	Establece límites máximos permisibles de emisión de CO para fuentes fijas de combustión	Comparación de las concentraciones medidas en gases de chimenea con los valores de referencia normativos
Emisiones de compuestos orgánicos	Hidrocarburos totales (HCT)	Resolución 909 de 2008	US EPA – Method 25A; Directiva 2010/75/UE	Regula las emisiones de hidrocarburos como indicador de combustión incompleta	Evaluación de la eficiencia del proceso de cremación y control de emisiones orgánicas
Emisiones de contaminantes orgánicos peligrosos	Benzo(a)pireno + Dibenzo(a)antraceno	Resolución 909 de 2008	US EPA – AP-42; WHO (2000)	Considera compuestos orgánicos persistentes con potencial carcinogénico derivados de procesos térmicos	Identificación y análisis de compuestos orgánicos de interés sanitario y ambiental
Emisiones particuladas	Material particulado total (MP)	Resolución 909 de 2008	US EPA – Method 5; Directiva 2010/75/UE	Define los valores máximos permisibles de emisión de material particulado para fuentes fijas	Determinación del nivel de emisiones particuladas generadas por el horno crematorio
Métodos de muestreo y análisis	Todos los contaminantes evaluados	Resolución 760 de 2010	US EPA – CFR Title 40; ISO 9096	Establece los métodos de referencia para muestreo isocinético, análisis y control de calidad	Aplicación de procedimientos estandarizados para garantizar la validez de los resultados
Condiciones de referencia	Correcciones de O ₂ , temperatura y presión	Resolución 760 de 2010	US EPA – Method 3A; ISO 12039	Define las condiciones estándar para la normalización de resultados	Ajuste de concentraciones para su correcta comparación normativa

A continuación, se presentan los resultados de las actividades desarrolladas para llevar a cabo esta fase.

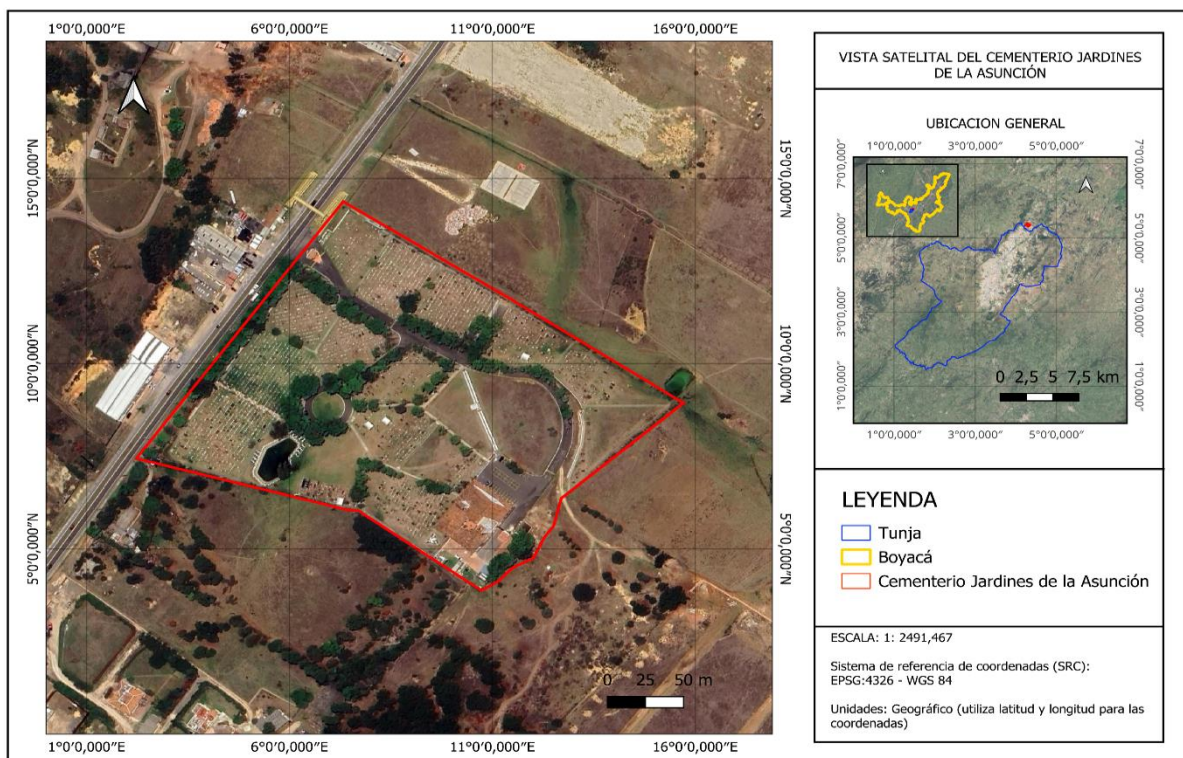
6.1.1 Identificación de las zonas aledañas al Parque Cementerio Jardines de la Asunción mediante georreferenciación.

En esta actividad se desarrolló un proceso de delimitación espacial del área de influencia del crematorio con el objetivo de reconocer las zonas potencialmente afectadas por las emisiones atmosféricas generadas durante el proceso de cremación.

Para ello, se emplearon las herramientas QGIS y Google Earth, que permitieron integrar información cartográfica y de coordenadas geográficas con imágenes satelitales actualizadas. Mediante estas plataformas se ubicó con precisión el punto de emisión del horno crematorio, así como las zonas aledañas de interés ambiental y poblacional. Por tanto, se presentan los resultados a continuación

Figura 5.

Vista satelital del Cementerio Jardines de la Asunción

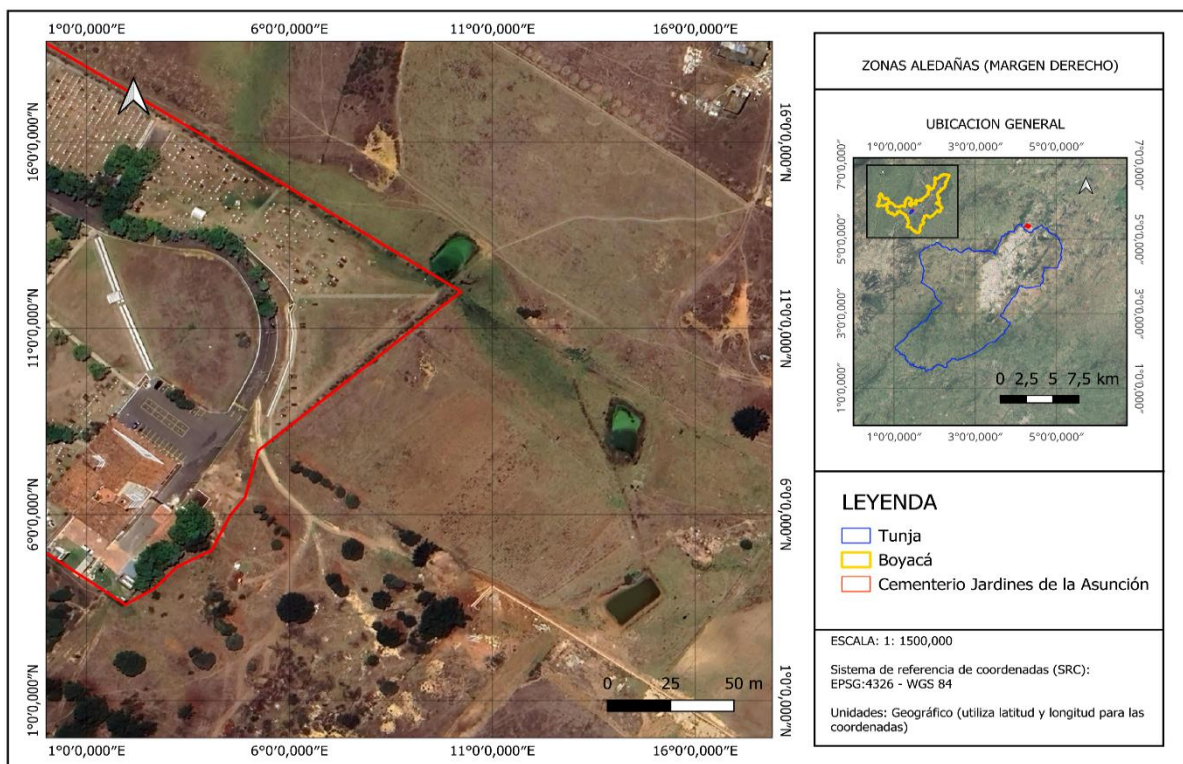


Nota. Elaboración propia, 2026

En la **Figura 5** se presenta la vista satelital del Parque Cementerio Jardines de la Asunción y sus alrededores, obtenida mediante las herramientas QGIS y Google Earth. En la imagen se delimita el perímetro del cementerio con una línea roja, destacando las áreas internas de uso funerario, las zonas verdes, los cuerpos de agua y las vías de acceso principales. Asimismo, se evidencia la ubicación del horno crematorio y su proximidad a sectores aledaños del municipio de Tunja (Boyacá), información esencial para la identificación del área de influencia directa e indirecta dentro del proceso de evaluación del impacto ambiental por emisiones atmosféricas.

Figura 6.

Zonas aledañas (Margen derecho)



Nota. Elaboración propia, 2026

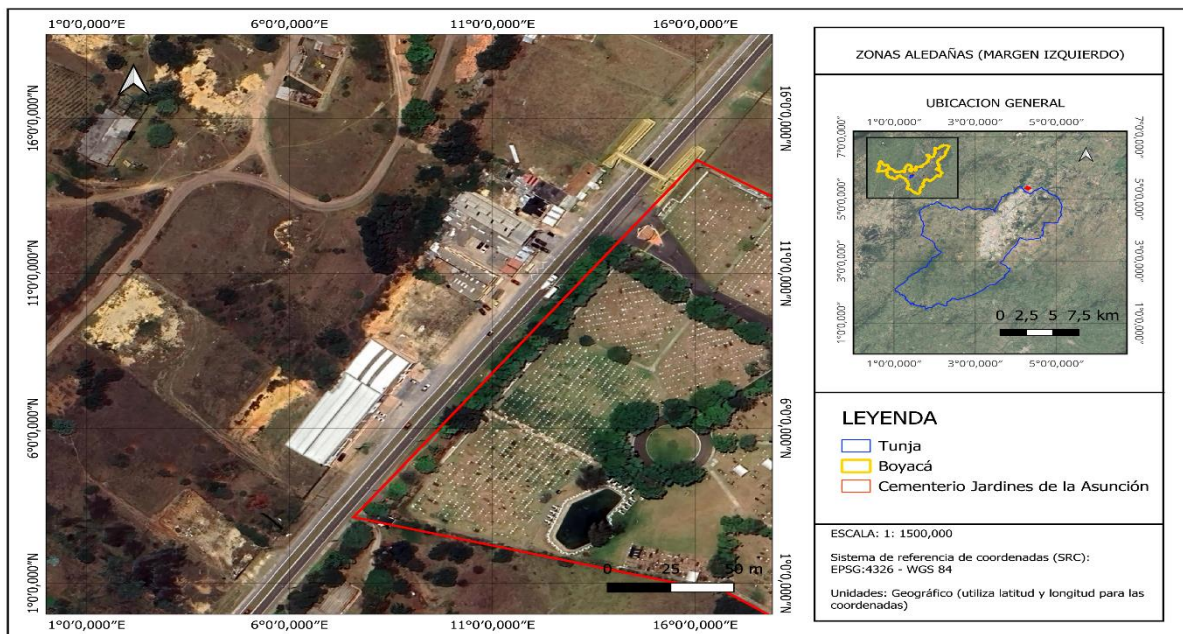
En la **Figura 6** se observa el margen derecho del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, delimitado en color rojo, correspondiente al límite oriental del área de estudio. Esta zona se caracteriza principalmente por predios rurales con cobertura de pastos naturales y suelos descubiertos, destinados en su mayoría a actividades agropecuarias de baja intensidad. La topografía es ligeramente ondulada, con presencia de pequeños cuerpos de agua artificiales

o estanques de almacenamiento, visibles en la imagen satelital, los cuales podrían actuar como sumideros naturales de partículas sedimentables o depósitos secundarios de contaminantes atmosféricos. Asimismo, se identifican senderos y caminos veredales que comunican con predios colindantes, lo que evidencia cierta accesibilidad y uso humano del entorno. La vegetación arbórea es dispersa, con predominio de especies aisladas y baja densidad de cobertura, lo que sugiere una menor capacidad de retención de contaminantes por deposición foliar.

Desde la perspectiva ambiental, esta zona constituye un sector de influencia indirecta de las emisiones del horno crematorio, ya que los vientos predominantes del suroccidente podrían transportar material particulado y gases hacia este margen. Por su configuración abierta y la presencia de pequeños cuerpos hídricos, se considera un área sensible para el monitoreo de calidad del aire y suelos, especialmente en cuanto a la posible acumulación de contaminantes secundarios derivados del proceso de cremación.

Figura 7.

Zonas aledañas (Margen Izquierdo)



Nota. Elaboración propia, 2026

En la **Figura 7** se muestra el margen izquierdo del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, delimitado en color rojo, correspondiente al límite occidental del área de estudio.

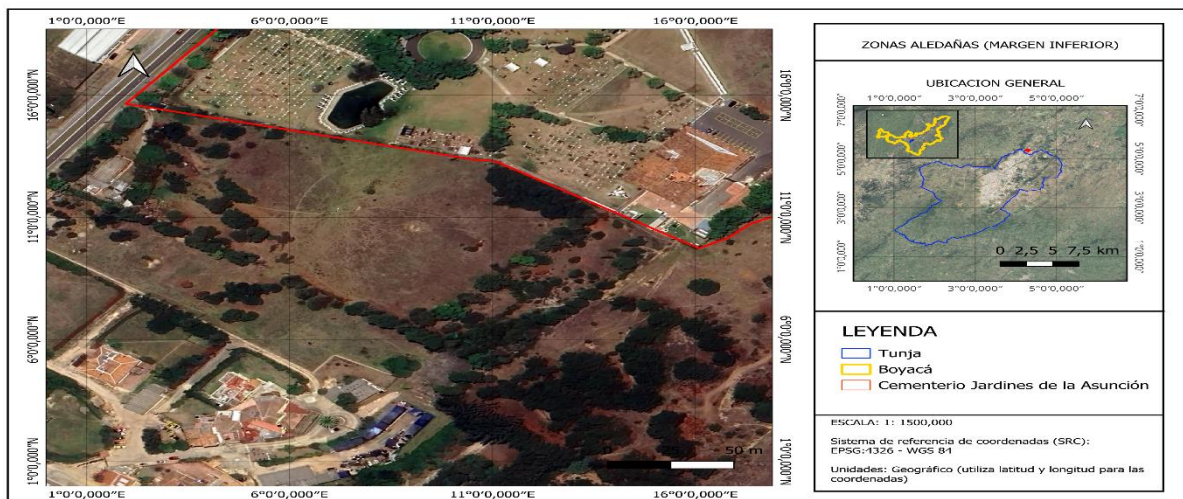
Esta zona colinda directamente con la vía nacional Tunja–Paipa (Ruta 55), un corredor de tránsito constante que constituye una fuente adicional de emisiones atmosféricas móviles derivados de la combustión vehicular, principalmente dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO) y material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$).

A lo largo de este margen se observa la presencia de infraestructura industrial y comercial, incluyendo talleres, bodegas y establecimientos de servicios funerarios, que conforman un entorno de uso mixto con predominio de actividades antrópicas. El área evidencia también movimiento de suelos y pequeñas zonas de excavación o relleno, lo que indica alteración del terreno y posibles procesos de remoción de cobertura vegetal.

La cobertura arbórea es reducida, y la vegetación se encuentra principalmente concentrada dentro del perímetro del cementerio, lo cual limita la capacidad natural de retención y dispersión de contaminantes. Debido a su cercanía con la vía principal y con otras fuentes de emisión, este margen representa una zona de influencia directa, tanto por la dispersión de contaminantes del horno crematorio como por la interacción con las emisiones vehiculares.

Figura 8.

Zonas aledañas (Margen Inferior)



Nota. Elaboración propia, 2026

En **Figura 8** se muestra el margen inferior del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, correspondiente al límite sur del área de estudio. Esta zona presenta una combinación de predios rurales con uso residencial disperso, pequeñas parcelas agrícolas y áreas abiertas con cobertura de pastos naturales, configurando un entorno semiurbano con transición hacia el área rural del municipio de Tunja, Boyacá.

Desde el punto de vista ambiental, este sector reviste especial interés debido a su posición dentro del área de influencia directa de las emisiones del horno crematorio, principal fuente fija generadora de contaminantes atmosféricos en el lugar. La ausencia de barreras naturales densas y la presencia de zonas despejadas favorecen la dispersión del material particulado (MP) y de gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y hidrocarburos totales (HCT) hacia los espacios abiertos y las viviendas cercanas.

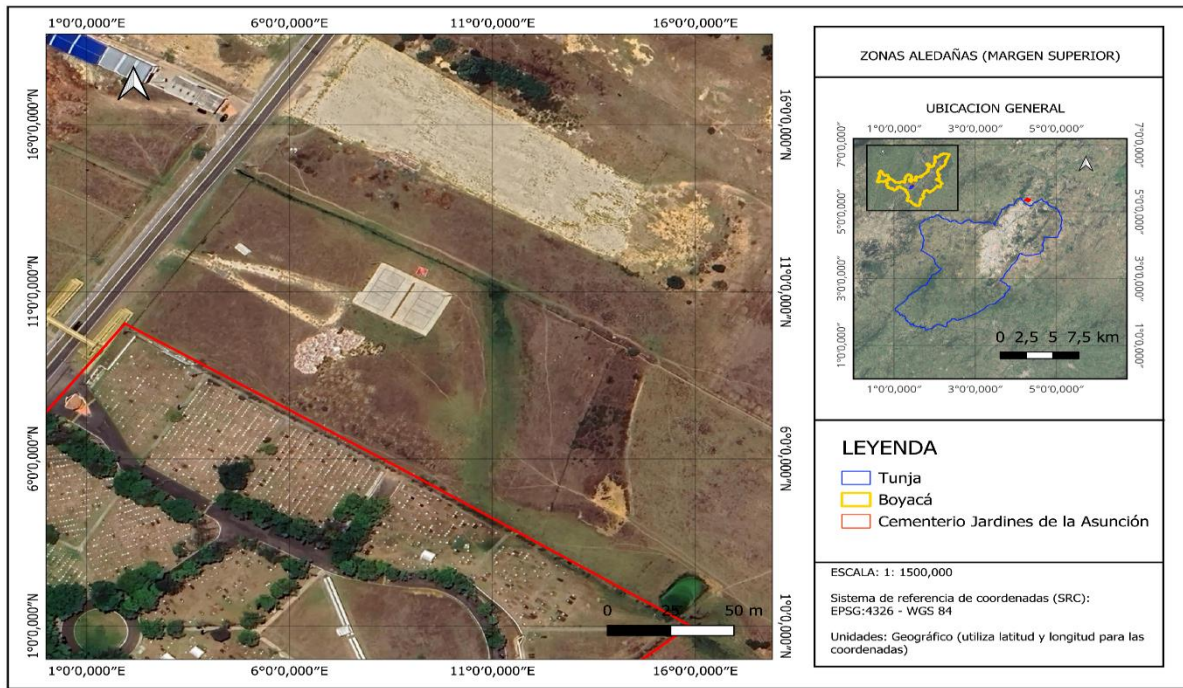
La topografía suavemente ondulada y la orientación del terreno con respecto a los vientos dominantes pueden facilitar el transporte horizontal de contaminantes, especialmente en condiciones de baja ventilación atmosférica. En contraste, las áreas con vegetación arbórea más densa actúan como barreras naturales de atenuación, reduciendo parcialmente la carga contaminante que alcanza las zonas habitadas.

Por tanto, este margen inferior constituye una zona prioritaria de monitoreo ambiental, al combinar usos residenciales y agrícolas con una exposición potencial a las emisiones directas del horno crematorio. Su análisis resulta esencial para comprender la dinámica de dispersión y el posible impacto de los contaminantes sobre la calidad del aire en el entorno inmediato del Parque Cementerio Jardines de la Asunción.



Figura 9.

Zonas aledañas (Margen Superior)



Nota. Elaboración propia, 2026

En la **Figura 9** se observa el margen superior del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, correspondiente al límite norte del área de estudio. Esta zona se compone principalmente de terrenos abiertos con baja cobertura vegetal, en los que predominan superficies de suelo descubierto y sectores con actividad antrópica reciente, posiblemente asociados a movimientos de tierra o disposición de materiales de construcción.

Desde el punto de vista ambiental, este sector se encuentra dentro del área de influencia directa del horno crematorio, dado que los patrones de dispersión de contaminantes pueden extenderse hacia el norte en función de las condiciones meteorológicas locales. La ausencia de barreras naturales como franjas de vegetación densa o masas arbóreas amplifica la propagación del material particulado (MP) y de gases como CO, CO₂ y HCT, lo que incrementa la posibilidad de transporte de contaminantes hacia los predios rurales adyacentes.

Se identifican además estructuras artificiales, entre ellas una plataforma pavimentada y un área con recubrimiento granular claro que podrían modificar las condiciones

microclimáticas del terreno, generando reflexión térmica y turbulencias locales que inciden en el comportamiento de la dispersión atmosférica. Asimismo, la cercanía a la vía Tunja–Paipa refuerza la interacción de las emisiones fijas (horno crematorio) con las emisiones móviles (vehiculares), lo que incrementa la carga combinada de contaminantes en el aire circundante.

Por su configuración abierta, carente de cobertura vegetal protectora y su proximidad a la fuente emisora, el margen superior representa una zona crítica para la evaluación del impacto atmosférico, ya que permite identificar la dirección preferencial de dispersión de los contaminantes y su posible acumulación en áreas rurales próximas al Parque Cementerio Jardines de la Asunción.

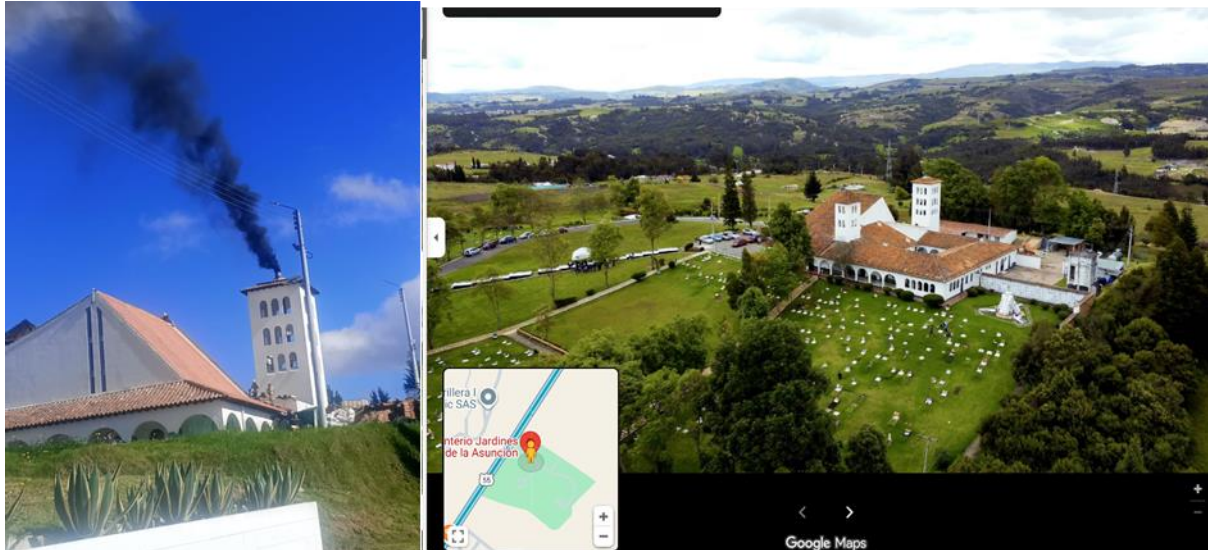
6.1.2 Identificación del punto de emisión del horno crematorio.

Durante esta actividad se realizó la identificación del punto de emisión del horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, mediante una inspección técnica in situ, complementada con revisión documental y registro georreferenciado de coordenadas. El objetivo fue establecer la localización precisa de la fuente fija de emisiones atmosféricas, esencial para la caracterización posterior de contaminantes y la aplicación de los métodos analíticos establecidos en la Resolución 909 de 2008 y la Resolución 760 de 2010.

El punto de emisión del sistema de cremación se localizó en la chimenea del horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción (ver **Figura 10**). La ubicación se obtuvo mediante georreferenciación en QGIS y verificación en Google Earth, registrando las coordenadas geográficas (WGS84): 5.582874° N, -73.333773° W (equivalentes a 5°34'58.35" N, 73°20'01.58" O). Este geocodificado precisa la fuente fija que canaliza los gases de combustión (MP, CO, CO₂, O₂, HCT) y sirve como referencia espacial oficial para el diseño de transectos, la ubicación de puntos de monitoreo y la posterior modelación de dispersión de contaminantes en el entorno inmediato.

Figura 10.

Punto de emisión del sistema de cremación



Nota. Tomada por el autor, 2026

El registro fotográfico evidencia claramente la salida del penacho de gases a través de la chimenea, mientras que su ubicación georreferenciada permite vincularla con las zonas aledañas de influencia directa, facilitando la posterior modelación de dispersión de contaminantes. En consecuencia, este punto constituyó el foco principal de estudio dentro del análisis de impacto ambiental de las emisiones atmosféricas generadas por el proceso de cremación. En este sentido, se presenta en la siguiente tabla la distancia entre la emisión del horno crematorio y las zonas aledañas.

Tabla 7.

Distancias estimadas a zonas aledañas

Zona o receptor identificado	Tipo de uso del suelo	Distancia aproximada (m)	Dirección cardinal respecto a la fuente
Vía principal occidental	Infraestructura vial	130	Occidente (O)
Infraestructura comercial/industrial al otro lado de la vía	Comercial / industrial	140	Occidente (O)
Cuerpo de agua externo (margen derecho)	Recurso hídrico superficial	150	Suroriente (SE)

Zona o receptor identificado	Tipo de uso del suelo	Distancia aproximada (m)	Dirección cardinal respecto a la fuente
Área abierta de pastizal (sector oriental)	Rural	120	Oriente (E)
Viviendas dispersas sector sur	Residencial rural	180	Sur (S)
Viviendas sector suroccidental	Residencial rural	220	Suroccidente (SO)
Vivienda sector noroccidental	Residencial rural	160	Noroccidente (NO)
Área agrícola marginal	Uso agropecuario	130	Oriente (E)

Nota. La ubicación del cuerpo de agua en dirección Suroriente (SE) se determinó a partir de la interpretación de la cartografía generada en QGIS, considerando la orientación del norte geográfico indicada en el mapa (flecha de orientación). Debido a que el mapa presenta una rotación, el eje suroriente corresponde a la zona inferior derecha respecto al punto de emisión (chimenea), lo cual se verificó mediante medición de ángulos y distancias en el sistema de información geográfica. Elaboración propia, 2026

6.1.3 Localización de los puntos de muestreo y muestreo preliminar

En la etapa de localización de los puntos de muestreo, se definió el sitio exacto donde se llevaría a cabo la recolección de muestras para la determinación de material particulado total (MP), conforme a los lineamientos establecidos en el Método 5 de la EPA y las disposiciones de la Resolución 909 de 2008. El muestreo se realizó en el horno crematorio IMAD, localizado dentro del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, en Tunja (Boyacá). La chimenea de emisión presenta una altura de 17,5 metros referenciada al nivel del piso, con un diámetro equivalente de 47,0 cm y una sección circular, lo cual permitió determinar la distribución geométrica de los puntos de muestreo para garantizar la representatividad de los datos.

Se establecieron 12 puntos de muestreo a lo largo del eje transversal del ducto, ubicados 9,15 diámetros por encima del último disturbio (B) y 12,77 diámetros por debajo del siguiente disturbio (A), cumpliendo con los criterios de uniformidad de flujo requeridos para los estudios isocinéticos. Esta configuración permitió seleccionar las zonas más estables del flujo gaseoso dentro de la chimenea, reduciendo los errores asociados a turbulencias o gradientes de concentración, y asegurando que las muestras obtenidas fueran representativas de la corriente total de gases emitidos por el horno crematorio. En la Tabla No. 7 se presentan los parámetros técnicos correspondientes a la localización de los puntos de muestreo:

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

Tabla 8.

Localización de los puntos de muestreo

SITIO DE MUESTREO	HORNO CREMATORIO IMAD
ALTURA DE LA CHIMENEA	17,5 m referenciada al piso
DIÁMETRO EQUIVALENTE	47,0 cm – Sección circular
NÚMERO DE PUNTOS A MUESTREAR	12
LOCALIZACIÓN DE LA TOMA DE MUESTRAS	9,15 diámetros por encima del último disturbio (B) 12,77 diámetros por debajo del siguiente disturbio (A)

Nota. Elaboración propia, 2026

Esta información sirvió como base para la instalación del equipo isocinético y la planificación de las siguientes fases de caracterización de las emisiones atmosféricas del proceso de cremación.

Previo a la ejecución del muestreo definitivo, se efectuó un muestreo preliminar para determinar el contenido de humedad (Método 4 EPA). Esta fase permitió establecer las condiciones de referencia del flujo gaseoso, necesarias para el ajuste de la tasa de muestreo y la calibración del equipo isocinético.

Figura 11.

Calibración equipo ndir - horno crematorio



Nota. Tomada por autores

Durante el procedimiento, se midieron variables como la presión de velocidad en el ducto (ΔP), la presión estática (P_g), la temperatura de los gases en chimenea (T_s) y el peso molecular promedio del gas en condiciones de operación (PM_{Hum}). Estos datos son fundamentales para calcular la velocidad del gas, el flujo volumétrico real y la concentración gravimétrica del material particulado.

Tabla 9.

Análisis de gases – Horno crematorio

Ensayo (Test)	CO (ppm)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)
1	40	7,6	8,2
2	40	7,6	8,2
3	40	7,6	8,2
4	40	7,6	8,2
5	40	7,6	8,2
6	40	7,6	8,2
7	40	7,6	8,2
8	40	7,6	8,2
9	40	7,6	8,2
Promedio	40 ppm	7,60 %	8,20 %

Nota. Registro técnico de muestreo preliminar. Elaboración propia, 2025

La composición promedio de gases determinada (CO = 40 ppm, O₂ = 7,6 % y CO₂ = 8,2 %) se utilizó como base para calcular el peso molecular promedio de la corriente gaseosa, parámetro fundamental en la determinación de la velocidad del gas y el balance de masa de contaminantes. A continuación, se presenta el muestreo preliminar y contenido de húmedas

Tabla 10.

Muestreo preliminar y contenido de humedad

Planta:	Parques y Funerarias S.A.S.	Altura sobre el nivel del mar:	2770 m
Dirección:	Km 2 vía Tunja–Paipa	Presión barométrica (Pb):	542 mm Hg

Sitio:	Horno crematorio IMAD	Diferencia manométrica (mm H ₂ O) ($\Delta H@$):			49,9	
Fecha:	27 de mayo de 2025	Factor de calibración del medidor:			1,007	
No.	Tiempo (min)	ΔP (mm H ₂ O)	Pg (mm H ₂ O)	Ts (°C)	Tm inicial (°C)	Tm final (°C)
1	2,5	0,8	-2,0	192	20	20
2	2,5	0,6	-2,0	193	20	20
3	2,5	0,4	-2,0	190	20	20
4	2,5	0,6	-2,0	200	20	20
5	2,5	0,5	-2,0	194	20	20
6	2,5	0,8	-2,0	199	20	20
7	2,5	0,4	-2,0	200	20	20
8	2,5	0,7	-2,0	206	20	20
9	2,5	0,8	-2,0	203	20	20
10	2,5	0,8	-2,0	203	20	20
11	2,5	0,9	-2,0	204	20	20
12	2,5	0,6	-2,0	204	20	20
TOTAL	30					
PROMEDIO		0,6	-2,0	200	20	20
Temperatura en Kelvin (°K)				473	293	

Nota. Elaboración propia, 2026

❖ Cálculos de presión en chimenea

$$\text{Presión absoluta (Ps)} = P_b + \frac{P_g}{13,6} = 542 + \frac{-2,0}{13,6}$$

$$\text{Presión absoluta (Ps)} = 541,9 \text{ mm Hg}$$

$$\text{Presión de medición (Pm)} = P_b + \frac{\Delta H_{@}}{13,6} = 542 + \frac{49,9}{13,6}$$

$$\text{Presión de medición (Pm)} = 545,7 \text{ mm Hg}$$

Los resultados obtenidos indican que la presión absoluta promedio en la chimenea fue de 541,9 mm Hg, mientras que la presión de medición alcanzó los 545,7 mm Hg, condiciones dentro del rango esperado para el proceso de combustión a la altitud de Tunja (2770 m s. n. m.). Asimismo, la temperatura media de los gases fue de 200 °C (473 K), lo que confirma un proceso de incineración activa. Estos valores sirvieron como base para el muestreo definitivo

del material particulado total (MP), asegurando la isocineticidad del flujo y la validez representativa de las muestras recolectadas en la caracterización de las emisiones del horno crematorio.

Una vez obtenido el análisis de gases y las condiciones de operación del horno crematorio, se procedió a calcular el peso molecular promedio del gas seco emitido durante el proceso de combustión, con base en la composición porcentual en volumen de los gases y los pesos moleculares individuales de cada componente. Este cálculo se desarrolló conforme al Método 3A de la EPA, el cual permite determinar el peso molecular (P.M.) de la corriente gaseosa, necesario para ajustar la densidad del gas y realizar los cálculos isocinéticos posteriores del flujo volumétrico real. El gas de combustión analizado presenta una composición típica de hornos crematorios alimentados con gas propano (C_3H_8), principal fuente energética del sistema de cremación. La **Tabla 11** muestra la proporción de los gases medidos, su respectivo peso molecular y la contribución total de cada componente.

Tabla 11.

Peso molecular del gas

Componente	% Análisis de gases	P.M.	Total
CO ₂	8,20 %	44	3,61
O ₂	7,60 %	32	2,43
CO	0,00 %	28	0,00
NO ₂	0,01 %	46	0,00
SO ₂	0,00 %	64	0,00
N ₂	84,18 %	28	23,57
P.M. Gas seco =			29,62

Nota. Elaboración propia, 2026

A continuación, se presenta el cálculo de factores F

Tabla 12.

Cálculo de factores F

Composición	% Peso	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	H ₂ O (%)	Ash (%)	Suma (%)	GCV (kJ/kg)	Fd	Fw	Fc
Gas propano	100	81,7	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	22.026,0	8.699,0	10.287,9	1.189,7
Mezcla	100	81,7	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	22.026,0	8.699,0	10.287,9	1.189,7

Nota. Elaboración propia, 2026

Tabla 13.

Condiciones del sitio

Variable	Valor
Temperatura ambiente (°C)	59
Altura sobre el nivel del mar (m)	2770
Humedad relativa ambiente (%)	66
Humedad de saturación (% v/v)	25,8
Humedad del aire, Bwa (% v/v)	17,0
Presión de vapor (mm Hg)	136,3
Presión barométrica del sitio (mm Hg)	542

Nota. Elaboración propia, 2026

A continuación, se presentan las concentraciones y flujos para un exceso de aire de combustión

Tabla 14.

Concentraciones y flujos para un exceso de aire de combustión

% O₂ preliminar	Exceso de aire de combustión (%)
7,60 %	57 %

Nota. Elaboración propia, 2026

El peso molecular del gas seco resultó en 29,62 g/mol, valor representativo de una mezcla típica de gases de combustión compuesta principalmente por nitrógeno (N₂), dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) residual.

Las condiciones del sitio (altitud de 2770 m s. n. m. y presión barométrica de 542 mm Hg) influyeron directamente en la densidad y en el comportamiento de la corriente gaseosa

dentro de la chimenea. El exceso de aire de combustión del 57 % indica una operación con aire adicional al estequiométrico, lo que favorece una combustión más completa, aunque puede incrementar el volumen total de gases emitidos. Este resultado fue utilizado como parámetro de entrada en los cálculos isocinéticos del muestreo de material particulado total (MP), garantizando la precisión del flujo volumétrico y la representatividad de las muestras recolectadas.

Una vez determinadas las condiciones del gas de combustión y la composición de la mezcla, se procedió a calcular las variables necesarias para garantizar que el muestreo isocinético cumpliera con los requerimientos establecidos por el Método 5 de la EPA. Este método exige que la velocidad del gas en la chimenea sea igual a la velocidad de succión del equipo de muestreo, lo que permite que la muestra recolectada sea representativa del flujo real de partículas presentes en la corriente gaseosa. A continuación, se describen y explican las ecuaciones aplicadas en esta etapa.

Durante el muestreo preliminar, fue necesario determinar la humedad total de la corriente gaseosa, ya que este parámetro afecta directamente la densidad del gas, el flujo volumétrico y el comportamiento del material particulado en la corriente. El cálculo se realizó aplicando las ecuaciones del Método 4 de la EPA, considerando tanto la humedad proveniente del combustible como la aportada por el aire de combustión.

1) Cálculo de humedad aportada por el combustible (B_w Combustible)

La ecuación aplicada es:

$$B_{w_{combustible}} = \frac{(F_w - F_d)}{(F_w - F_d) * \left(\frac{O_{2seco}}{0,209 - O_{2seco}} \right)} \quad (1)$$

Donde:

- **B_w** : fracción de humedad generada por la combustión del gas.
- F_w : factor de emisión húmedo del combustible (kcal/kg o BTU/lb), que considera el agua producida por la oxidación del hidrógeno.
- F_d : factor de emisión seco, correspondiente al gas sin vapor de agua.

- **O₂seco** porcentaje de oxígeno medido en los gases secos.
- **0,209**: fracción volumétrica de oxígeno en el aire seco.

Reemplazando valores:

$$Bw_{combustible} = \frac{(10.287,9 - 8.699,0)}{(10.287,9 - 8.699,0) * \left(\frac{7,60}{10.287,9 - 8.699,0}\right)} = 10,4\%$$

El resultado de 10,4 % indica que el gas propano, al oxidarse, libera una fracción importante de vapor de agua producto de la combustión del hidrógeno contenido en su molécula (C₃H₈). Este valor representa la aportación directa de humedad del combustible al flujo gaseoso en la chimenea.

2) Humedad proveniente del aire de combustión

Para determinar la cantidad de vapor de agua introducida junto con el aire ambiente que alimenta el proceso, se usaron las siguientes ecuaciones:

$$Bw_{airesat} = \frac{P_v}{P_b}$$

$$Bw_{airesat} = \frac{136,3}{542} = 25,8\%$$

Donde:

- **Bw** fracción de humedad de saturación del aire (aire 100 % saturado).
- **P_v**: presión parcial de vapor de agua a la temperatura ambiente (mm Hg).
- **P_b**: presión barométrica local (mm Hg).

El aire de combustión no se encuentra totalmente saturado, por lo que se corrige según la humedad relativa ambiental:

$$Bw_{aire} = Bw_{airesat} * \%Humrelat.$$

$$Bw_{aire} = 25,8\% * 0,66 = 17,0\%$$

Donde:

- ***Bwairesat***: fracción de humedad efectiva del aire seco.
- **%*Humrelat***: humedad relativa del aire ambiente (66 % para Tunja).

El valor de 17,0 % refleja la cantidad de vapor de agua presente en el aire aspirado por el horno antes del proceso de combustión. Esta humedad ambiental depende de las condiciones meteorológicas locales y de la altitud del sitio (2770 m s. n. m.).

3) Cálculo del contenido total de humedad del gas

El contenido total de humedad se obtiene sumando los aportes del combustible y del aire:

$$\%Hum = Bw_{combustible} + Bw_{aire}$$

$$\%Hum = 10,4 + 17,0 = 27,4\%$$

El valor de 27,4 % representa la fracción total de vapor de agua en el gas emitido por el horno crematorio. Este dato se utiliza en los cálculos posteriores para corregir el peso molecular del gas húmedo (PMHum), el diámetro de la boquilla (Dn) y la constante isocinética (K), garantizando la representatividad de la muestra y la confiabilidad del muestreo. Hay que tener en cuenta que el Método 4 de la EPA recomienda considerar la humedad de saturación cuando los gases contienen gotas líquidas visibles, ya que estas no son cuantificables por los dispositivos de medición, afectando el cálculo de la velocidad y caudal volumétrico.

4) Peso molecular del gas en condiciones de chimenea (PMHum)

$$PMHum = Pmgas * (1 - Hum) + 18 * Hum$$

Donde:

- Pmgas: peso molecular del gas seco = 29,62 g/mol.
- Hum: fracción de humedad del gas (0,274).

El resultado obtenido fue:

$$PM_{Hum} = 26,43g/mol$$

Hay que tener en cuenta que esta ecuación corrige el peso molecular promedio del gas seco considerando la humedad relativa de la corriente gaseosa, obteniendo el peso molecular real del gas húmedo que fluye por la chimenea. Este valor es esencial para calcular la densidad del gas y, por ende, el flujo volumétrico de emisión.

5) Diámetro de la boquilla (D_n)

$$D_n = \sqrt{\frac{0,6071 * Q_m * P_m * (1 - B_{wm})}{T_m * C_p * (1 - Hum)} * \frac{T_s * PM_{Hum}}{P_s * \Delta P}} \quad (2)$$

Donde:

- **Qm:** calibración del medidor de orificio = 21,07 L/min.
- **Cp:** coeficiente del tubo Pitot = 0,84.
- **Bwm:** porcentaje de humedad en el medidor de gas = 0,0.
- **Tm:** temperatura del gas medida en Kelvin (293 K).
- **Ts:** temperatura del gas en chimenea (473 K).
- **Pm:** presión de medición = 545,7 mm Hg.
- **Ps:** presión absoluta en la chimenea = 541,9 mm Hg.
- **ΔP:** presión diferencial = 0,6 mm H₂O

Resultado:

$$D_n = 15,35 \text{ mm}$$

Para el muestreo definitivo se seleccionó una boquilla comercial de $D_n = 15,10$ mm, con un área de succión de $A_n = 1,7908 \text{ cm}^2$, ajustada al valor teórico calculado. Esta ecuación permite determinar el diámetro óptimo de la boquilla que debe utilizarse en la sonda de muestreo para lograr el equilibrio de velocidades entre la corriente gaseosa y la aspiración del

equipo. Si este equilibrio (isocineticidad) no se alcanza, las partículas finas o gruesas se muestrearían de forma no representativa.

6) Ecuación isocinética de muestreo (constante K)

$$K = 0,0000804 * Dn^4 * \Delta H@ * Cp^2 * (1 - Hum)^2 * \frac{Pmgas * Tm * Ps}{PMHum * Ts * Pm}$$

Donde:

- **$\Delta H@$:** diferencia manométrica (49,9 mm H₂O).
- **Dn:** diámetro de la boquilla (15,10 mm).
- **Cp:** coeficiente del Pitot (0,84).
- **Hum:** fracción de humedad (0,274).
- **T y P:** temperaturas y presiones en la chimenea y sistema de muestreo.

$$K = 53,50$$

La constante K es el factor de proporcionalidad isocinético, que relaciona las condiciones reales de operación (presión, temperatura, humedad, velocidad del gas y características del sistema de muestreo). Su valor es utilizado para calibrar el flujo de succión del equipo durante el muestreo definitivo, asegurando que el gas entre en la boquilla a la misma velocidad con la que sale de la chimenea. Un valor de K = 53,50 indica condiciones estables y adecuadas para desarrollar un muestreo isocinético representativo, cumpliendo los criterios de control de calidad establecidos en la EPA 5 y la Resolución 760 de 2010 (Protocolo para el Monitoreo y Control de Emisiones de Fuentes Fijas en Colombia).

Con base en los valores experimentales obtenidos durante el muestreo preliminar, se consolidaron los principales parámetros empleados para ajustar el muestreo isocinético definitivo, como se muestra a continuación:

Tabla 15.

Resumen cálculos muestreo preliminar

Parámetro	Unidades	Horno Crematorio IMAD
Presión absoluta (Ps)	mm Hg	541,9
Presión de medición (Pm)	mm Hg	545,7
Contenido de humedad total	%	27,41
Diámetro de boquilla calculado	mm	15,35
Diámetro de boquilla utilizado	mm	15,10
Constante isocinética (K)	–	53,50

Nota. Elaboración propia, 2026

El análisis preliminar permitió establecer las condiciones fisicoquímicas de la corriente gaseosa emitida por el horno crematorio IMAD. El valor de humedad del 27,4 %, junto con una constante isocinética (K) de 53,50, confirman que el equipo de muestreo se ajustó adecuadamente para cumplir los criterios del Método 5 de la EPA, garantizando la representatividad y precisión en la cuantificación del material particulado total (MP). Estas condiciones aseguran que los resultados obtenidos reflejen fielmente el comportamiento real de las emisiones, cumpliendo los estándares de la Resolución 760 de 2010 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

6.1.4 Realización el muestreo isocinético para medir material particulado total (MP).

Con base en los resultados del muestreo preliminar y en el cálculo de las variables operacionales, se procedió a la realización del muestreo isocinético definitivo para la determinación del material particulado total (MP), aplicando el Método 5 de la EPA cabe destacar que inicialmente se realizó una calibración, presentada en la siguiente tabla.

Tabla 16.

Calibración del equipo isocinético

Parámetro	Equipo	Método de calibración	Resultado	Cumple
Orificio (ΔP)	Medidor de flujo	Comparación con patrón	± 2 %	Sí
Termopar	Sensor temperatura	Baño térmico	± 1 °C	Sí
Manómetro	Presión diferencial	Columna de agua	± 2 %	Sí
Bomba de vacío	Caudal	Rotámetro patrón	Estable	Sí

Nota. Elaboración propia, 2026

Previo a la ejecución del muestreo isocinético, se realizó la calibración del tren de muestreo con el fin de garantizar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos. Este

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

proceso incluyó la verificación de los sistemas de medición de flujo, presión y temperatura, evidenciando desviaciones dentro de los rangos aceptables establecidos por el Método 5 de la EPA. Los resultados de calibración, presentados en el anteriormente, confirman la estabilidad operativa del equipo y aseguran la representatividad de las mediciones de material particulado, minimizando posibles errores asociados al muestreo.

Por otro lado, el objetivo principal de este muestreo fue garantizar que la velocidad de succión del equipo fuera igual a la velocidad del gas en el ducto, logrando así condiciones de isocineticidad. Esto permite que las partículas ingresen de forma representativa a la sonda sin pérdidas por sobre o submuestreo.

Durante la campaña, se controlaron los parámetros de presión, temperatura, flujo y humedad, para mantener la estabilidad operacional del sistema de medición. El muestreo se efectuó en dos periodos consecutivos de 60 minutos cada uno, obteniendo los datos que se resumen en las tablas 12-A y 12-B. inicialmente se tiene la siguiente ecuación de control isocinético, en donde el equilibrio de velocidades se verificó mediante la siguiente relación:

$$\Delta H = K * \Delta P$$

Donde:

- **ΔH :** lectura diferencial del manómetro de orificio (mm H₂O).
- **K :** constante isocinética calculada previamente (53,50).
- **ΔP :** presión diferencial del tubo Pitot (mm H₂O).

Esta ecuación permite ajustar el flujo de succión del equipo de muestreo para mantener el equilibrio entre la velocidad del gas en la chimenea y la del aire aspirado por la boquilla.

Luego se procedieron a realizar los siguientes cálculos para darle cumplimiento a esta actividad:

a) Cálculo del Drift de O₂ y CO₂

El *drift* representa la variación instrumental del analizador de gases entre la calibración inicial y final, y se determina con la ecuación:

$$D = | SB_f - SB_i |$$

Donde:

- **D:** desviación o “drift” del sistema (%).
- **SB_i:** System Bias inicial (desviación en calibración inicial).
- **SB_f:** System Bias final (desviación en calibración final).

Los resultados fueron:

Tabla 17.

Resultados del cálculo del Drift de O₂ y CO₂

Gas	SBi (%)	SBf (%)	D (%)	Límite EPA 7E (%)
O ₂	-0,1	-0,1	0	≤ 3
CO ₂	-0,1	0	0,1	≤ 3

Nota. Elaboración propia, 2026

El *drift* de ambos gases se encuentra dentro del límite permitido (≤3 %), lo que confirma la estabilidad del equipo analizador NDIR durante todo el proceso de medición.

b) Cálculo de la concentración ajustada por Bias

Para compensar las pequeñas desviaciones del analizador, se aplicó la ecuación de corrección:

$$C_{gas} = (C_{avg} - C_0) \frac{C_{MA}}{C_M - C_0}$$

Donde:

- **C_{gas}:** concentración corregida por Bias (%).
- **C_{avg}:** promedio de concentración del gas (CO₂ u O₂).
- **C_{MA}:** concentración de calibración a gas alta.

- **CM:** promedio de calibraciones alta-baja.
- **C₀:** calibración con gas cero.

Los resultados fueron:

$$C_{gas\ O_2} = (9,42 - 0) * \frac{21}{20,9 - 0} = 9,47\%$$

$$C_{gas\ CO_2} = (7,81 - 0) * \frac{7,55}{7,55 - 0} = 7,76\%$$

Los valores ajustados de O₂ y CO₂ se utilizaron para determinar el exceso de aire de combustión y el rendimiento del proceso. El O₂ corregido (9,47 %) indica una buena ventilación del horno, mientras que el CO₂ (7,76 %) evidencia una combustión eficiente y controlada del gas propano.

Con el propósito de cuantificar las emisiones de material particulado total (MP) y verificar la estabilidad operacional del horno crematorio IMAD, se efectuaron tres corridas consecutivas de muestreo isocinético bajo las condiciones establecidas por el Método 5 de la EPA y la Resolución 760 de 2010 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Cada ensayo tuvo una duración de 60 minutos y se desarrolló en el mismo punto de la chimenea, garantizando representatividad en las mediciones. Durante el proceso se controlaron variables como la presión diferencial (ΔP), la presión de vacío, las temperaturas en el ducto, el filtro y los impingers, así como las velocidades del gas y de muestreo, asegurando el cumplimiento de la condición isocinética ($100 \pm 5\%$).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el muestreo definitivo realizado.

Tabla 18.

Muestreo isocinético definitivo N.º 1 – Fuente horno crematorio

MUESTREO #:	1	FACTOR DE CALIBRACION:	1,007
PLANTA:	PARQUES Y FUNERARIAS S.A.S.	ALTURA SOBRE EL MAR:	2770 m
DIRECCION:	Km2-VIA TUNJA- PAIPA	PRESION BAROMETRICA:	542 mm Hg
SITIO DE MUESTREO:	HORNO CREMATORIO IMAD	AREA DE LA BOQUILLA:	1,7908 cm ²
FECHA DE MUESTREO:	27 de mayo de 2025	LONGITUD DE LA SONDA:	1,20 m
LECTURA INIC. MEDIDO:	0,8270 m ³	PRESION ESTATICA (Pg):	-2,0 mm H ₂ O

No.	t (min)	ΔP (mm H ₂ O)	ΔH Calculado (mm H ₂ O)	ΔH Utilizado (mm H ₂ O)	Pres. Vacio (kPa)	tm (°C)		ts (°C)	T. Filtro (°C)	T. Implinger (°C)	Vm (m ³)	Velocidad vs (m/s)	Vmstd (m ³)	l punto a punto
						Inicial	Final							
1	5,0	0,7	37,4	38,0	12	20	20	216	122	14	0,9322	4,54	0,0760	100,37
2	5,0	0,6	32,1	32,0	12	20	20	215	121	13	1,0292	4,20	0,1460	99,78
3	5,0	0,5	26,7	30,0	14	20	20	203	121	9	1,1206	3,79	0,2120	101,69
4	5,0	0,6	32,1	32,0	14	21	21	205	122	10	1,2194	4,16	0,2830	100,24
5	5,0	0,7	37,4	38,0	16	22	21	207	120	10	1,3252	4,50	0,3591	99,50
6	5,0	0,8	42,8	42,0	18	22	21	212	123	14	1,4364	4,83	0,4391	98,39
7	5,0	0,5	26,7	26,0	16	23	23	200	121	13	1,5282	3,77	0,5045	100,73
8	5,0	0,7	37,4	38,0	18	23	23	208	122	11	1,6360	4,50	0,5816	100,97
9	5,0	0,8	42,8	42,0	20	23	23	203	121	12	1,7512	4,79	0,6641	100,46
10	5,0	0,7	37,4	38,0	18	24	24	202	122	14	1,8594	4,48	0,7412	100,37
11	5,0	0,6	32,1	32,0	18	24	24	211	123	15	1,9588	4,18	0,8120	100,46
12	5,0	0,7	37,4	38,0	20	24	24	208	121	14	2,0664	4,50	0,8887	100,45
TOTAL	60			42,0							1,2394		0,8887	
PROM.		0,7	35,2	35,5	16	22		208	122	12		4,35		100,28
TEMPERATURA (°K):						295		481	395	285	---	Corregido por fuma	---	Corregido por fuma

Nota. Elaboración propia, 2026

Muestra de Cálculos del Muestreo Isocinético – Material Particulado (Método 5)

❖ Presión absoluta en chimenea (Ps):

$$Ps = Pb + \frac{Pg}{13,6}$$

$$Ps = 542 + \frac{-2,0}{13,6}$$

$$Ps = 541,9 \text{ mmHg}$$

Donde:

- Ps: Presión absoluta en la chimenea (mmHg).
- Pb: Presión barométrica del sitio (mmHg).
- Pg: Presión estática del gas (mm H₂O).
- 13,6: Factor de conversión entre mm H₂O y mmHg.

❖ **Presión de medición (Pm):**

$$Pm = Pb + \frac{\Delta H}{13,6}$$
$$Pm = 542 + \frac{35,5}{13,6} = 544,6 \text{ mmHg}$$

Donde:

- Pm: Presión absoluta de medición (mmHg).
- ΔH: Diferencia de presión medida en el manómetro del orificio (mm H₂O).

❖ **Porcentaje de humedad en el muestreo definitivo:**

Volumen de gas medido a condiciones estándar (Vmce):

$$Vmce = Vm \times Y \times \frac{Pm}{760} \times \frac{293}{Tm}$$
$$Vmce = 1,2394 \times 1,007 \times \frac{544,6}{760} \times \frac{293}{295}$$

$$Vmce = 0,8883m^3$$

Donde:

- Vmce: Volumen de gas corregido a condiciones estándar (20 °C y 760 mmHg).
- Vm: Volumen medido en condiciones reales (m³).
- Y: Factor de calibración del medidor de orificio.
- Tm: Temperatura promedio del gas (°K).

Volumen de agua recogida en impactadores y sílica (Vace):

$$Vace = 0,001333(Vf - Vi) + 0,001335(Pfs - Pis)$$
$$Vace = 0,001333(269,0) + 0,001335(15,7)$$
$$Vace = 0,3795m^3$$

Donde:



- Vace: Volumen de vapor de agua equivalente a condiciones estándar.
- Vf - Vi: Diferencia de masa de agua en los impingers (g).
- Pfs - Pis: Diferencia de masa en el gel de sílica (g).

Contenido de humedad en los gases de chimenea:

$$\%Hum = \frac{Vace}{Vace + Vmce} \times 100$$
$$\%Hum = \frac{0,3795}{0,3795 + 0,8883} \times 100 = 29,93\%$$

❖ Peso molecular del gas en condiciones de chimenea (PMHum):

$$PMHum = PMgas(1 - Hum) + 18 \times Hum$$
$$PMHum = 29,62(1 - 0,299) + 18 \times 0,299 = 26,14 \text{ g/mol}$$

Donde:

- PMHum: Peso molecular húmedo del gas.
- PMgas: Peso molecular del gas seco (g/mol).
- Hum: Fracción de humedad en volumen (decimal).

❖ Velocidad del gas en la chimenea (Vs):

$$Vs = Kp \times Cp \times \sqrt{\frac{\Delta P \times Ts}{Ps \times PMHum}}$$
$$Vs = 34,97 \times 0,84 \times \sqrt{\frac{0,7 \times 481}{541,9 \times 26,14}} = 4,53 \text{ m/s}$$

Donde:

- Vs: Velocidad promedio del gas (m/s).
- Kp: Constante de calibración del tubo Pitot.

- C_p : Coeficiente del Pitot.
- ΔP : Diferencia de presión medida (mm H₂O).
- T_s : Temperatura del gas (°K).
- P_s : Presión absoluta del gas (mmHg).

❖ **Caudal de gases en condiciones de chimenea (Q_s):**

$$A_s = \frac{\pi D^2}{4} = 0,1735 m^2$$

$$Q_s = V_s \times A_s \times 60 = 4,53 \times 0,1735 \times 60 = 47,16 m^3/min$$

Donde:

- Q_s : Caudal volumétrico del gas a condiciones reales.
- A_s : Área transversal de la chimenea.
- D : Diámetro interno (m).

❖ **Caudal de gases en condiciones estándar (Q_{ce}):**

$$Q_{ce} = Q_s \times \frac{293}{T_s} \times \frac{P_s}{760}$$

$$Q_{ce} = 47,16 \times \frac{293}{481} \times \frac{541,9}{760} = 20,48 m^3/min$$

❖ **Porcentaje de isocinetismo (I):**

$$\%I = \frac{100 \times T_s \times [V_{lc} \times K_4 + (V_m \times Y \times P_m/T_m)]}{60 \times t \times V_s \times P_s \times A_n}$$

$$\%I = \frac{100 \times 481 [284,7 \times 0,00354 + (1,2394 \times 1,007 \times 544,6/295)]}{60 \times 60 \times 4,53 \times 541,9 \times 0,00017908}$$

$$\%I = 99,92\%$$

Donde:

- I : Porcentaje de isocineticidad.
- V_{lc} : Volumen total de agua recolectada (ml).

- K_4 : Constante de conversión (m^3/ml).
- A_n : Área de la boquilla (m^2).
- t : Tiempo total de muestreo (min).

❖ **Concentración de partículas en condiciones estándar (C_s):**

$$C_s = \frac{PTP}{V_{mce}}$$

$$C_s = \frac{0,0534}{0,8883} = 0,0601 \text{ g/m}^3 = 60,11 \text{ mg/m}^3$$

Corregido al 11 % O_2 : $52,14 \text{ mg/m}^3$

❖ **Concentración de partículas a condiciones de referencia (C_r):**

$$Factor = \frac{25 + 273}{20 + 273} = 1,017$$

$$V_{mcr} = V_{mce} \times Factor = 0,8883 \times 1,017 = 0,9035 \text{ m}^3$$

$$C_{cr} = \frac{PTP}{V_{mcr}} = \frac{0,0534}{0,9035} = 0,0591 \text{ g/m}^3 = 59,10 \text{ mg/m}^3$$

Corregido al 11 % O_2 : $51,26 \text{ mg/m}^3$

❖ **Emisión total de partículas (ETP):**

$$Q_{cr} = Q_{ce} \times Factor = 20,48 \times 1,017 = 20,83 \text{ m}^3/\text{min} = 1249,80 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$ETP = \frac{Q_{cr} \times C_{cr} \times 60}{1000} = \frac{20,83 \times 0,0591 \times 60}{1000} = 0,0739 \text{ kg/h}$$

Los cálculos realizados evidencian que el porcentaje de isocineticidad (99,92 %) se encuentra dentro del rango óptimo (90–110 %), garantizando la representatividad del muestreo. El contenido de humedad (29,93 %) en los gases muestra un flujo moderadamente húmedo,

característico de la combustión con gas propano y enfriamiento parcial del efluente antes de su salida al ambiente.

La concentración de material particulado total ($C_s = 60,11 \text{ mg/m}^3$) y su valor corregido al 11 % O_2 ($\approx 52 \text{ mg/m}^3$) se mantienen muy por debajo del límite máximo permitido de 100 mg/m^3 establecido por la Resolución 909 de 2008, Anexo I, para hornos crematorios que operan con gas combustible. Finalmente, la emisión másica total ($ETP = 0,0739 \text{ kg/h}$) indica un control adecuado del proceso de combustión, confirmando que el sistema mantiene una eficiencia ambiental alta, sin evidencias de sobreemisión de partículas ni fallas de operación.

6.1.5 Medir los gases presentes en la emisión.

6.1.5.1 Cálculo de la Concentración de CO Medido con un Muestreador NDIR – Método 10

Para la cuantificación de monóxido de carbono (CO) se empleó un **analizador infrarrojo no dispersivo (NDIR)**, conforme al *Método 10 de la EPA (Determination of Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources)*. El objetivo fue determinar la concentración de CO expresada en partes por millón (ppm) en base seca, así como calcular la concentración corregida al ambiente (CCO_{stack}), considerando la fracción volumétrica de dióxido de carbono (CO_2) presente en los gases de chimenea.

La ecuación utilizada para la corrección fue la siguiente:

$$CCO_{stack} = CCO_{NDIR}(1 - F_{CO_2})$$

Donde:

- **CCO_stack:** Concentración de CO corregida en la chimenea (ppm, base seca).
- **CCO_NDIR:** Concentración de CO medida por el analizador NDIR (ppm).
- **FCO₂:** Fracción volumétrica de CO_2 en los gases de la chimenea.

Los valores se registraron durante una hora continua de muestreo, tomando mediciones cada minuto. Las concentraciones fueron posteriormente expresadas también en mg/m^3 , para su comparación con los límites establecidos por la *Resolución 909 de 2008*.

Tabla 19.

Resultados – Monóxido de Carbono (CO)

Hora	O ₂ [%]	CO ₂ air [%]	CO IR [ppm]	(1 - FCO ₂)	CCO stack [ppm]	CCO [ppm] Ajust. Bias	CO [mg/m ³]
10:05	7,7	9,1	57	0,91	51,81	51,45	58,88
10:06	7,3	9,3	77	0,91	69,81	69,33	79,33
10:07	7,3	9,3	43	0,91	39,03	38,57	44,2
10:08	7,3	9,3	75	0,91	68,03	67,35	77,3
10:09	7,3	9,3	44	0,91	39,92	39,44	45,38
10:10	7,4	9,3	80	0,91	72,56	72	82,65
10:11	7,4	9,3	89	0,91	80,63	80,07	91,95
10:12	7,4	9,3	40	0,91	36,36	35,93	41,09
10:13	7,1	9,1	70	0,91	63,63	63,18	72,31
10:14	7,1	9,1	68	0,91	61,81	61,38	70,24
10:15	7,4	9,3	57	0,91	51,53	51,22	58,62
10:16	7,4	9,4	73	0,91	66,49	66,13	75,63
10:17	7,1	9,1	58	0,91	52,41	52,04	59,58
10:18	7,9	9,1	85	0,91	76,83	76,26	87,13
10:19	11,4	7,5	43	0,93	39,99	39,54	45,22
10:20	12,2	6,8	53	0,93	47,77	47,25	54,52
10:21	11,4	7,5	43	0,93	39,99	39,54	45,22
10:22	9,7	8,1	35	0,93	31,57	31,14	35,68
10:23	12,2	6,8	85	0,93	77,23	76,72	87,8
10:24	13,1	6	61	0,94	54,56	54,06	61,86
10:25	10,8	7	45	0,92	40,78	40,34	46,18
10:26	8	7,7	52	0,92	47,9	47,44	54,54
10:27	8	7,7	42	0,92	38,69	38,3	43,94
10:28	8,4	8,5	56	0,92	51,73	51,3	58,84
10:29	8,1	8,3	70	0,93	63,55	63,09	72,3
10:30	10	7,9	78	0,92	71,76	71,34	81,79
10:31	9,1	7,9	47	0,93	43,03	42,61	48,89
10:32	9,1	7,9	47	0,93	43,03	42,61	48,89
10:33	10,6	7,6	45	0,93	41,63	41,18	47,48
10:34	9,9	6,5	45	0,94	42,82	42,31	47,15
10:38	9,2	6,9	55	0,93	51,21	50,85	58,19
10:39	8,9	7,3	44	0,93	40,79	40,5	46,38
10:40	9,1	7,5	78	0,93	71,61	71,14	81,99
10:41	9,7	7,4	63	0,93	56,59	56,13	64,63
10:42	9,9	7,4	66	0,93	59,13	58,74	67,68
10:43	9,9	7,4	93	0,93	83,84	83,34	96
10:44	9,9	7,2	54	0,93	48,64	48,24	55,63

Hora	O ₂ [%]	CO ₂ ir [%]	CO IR [ppm]	(1 - FCO ₂)	CCO stack [ppm]	CCO [ppm] Ajust. Bias	CO [mg/m ³]
10:45	9,9	7,2	51	0,93	45,93	45,51	52,54
10:46	10	7,1	68	0,93	61,24	60,81	70,06
10:47	10	7,1	66	0,93	59,35	58,91	67,82
10:48	9,8	7,4	48	0,93	43,84	43,42	50,52
10:49	9,8	7,4	86	0,93	78,64	78,04	89,27
10:50	9,8	7,2	51	0,93	44,46	44,03	50,34
10:51	13,1	8,1	41	0,95	38,94	38,52	44,09
10:52	14,8	10	25	0,9	22,7	22,47	25,7
10:53	9,8	8	47	0,93	42,25	41,84	48,02
10:54	9,8	8,1	40	0,93	36,02	35,6	40,82
10:55	9,7	7,2	45	0,93	41,76	41,42	47,46
10:56	9,7	7,2	45	0,93	41,76	41,42	47,46
10:57	10	7,2	52	0,93	45,5	45,12	51,66
10:58	10,7	7,3	48	0,93	44,46	44,14	50,51
10:59	10,7	7,3	50	0,93	46,47	46,11	52,8
11:00	11	7,3	85	0,93	77,46	76,84	88
11:01	11,4	6,8	44	0,94	41,18	40,89	46,84
11:02	11,5	8	84	0,93	77,13	76,59	87,61
11:03	11,6	8	64	0,93	58,81	58,3	66,7
11:04	8,7	8	69	0,93	63,05	62,58	71,47
11:05	8,4	8	42	0,93	38,94	38,54	44,09
11:06	7,9	8,8	53	0,91	48,34	48	54,93
Promedio	9,42	7,81	62	0,92	57,16	56,76	64,41

Nota. Elaboración propia, 2026

Los resultados obtenidos durante la medición continua de CO mediante el analizador NDIR evidencian una concentración promedio de 64,41 mg/m³, correspondiente a 57 ppm en base seca. El valor promedio de O₂ = 9,42 % y CO₂ = 7,81 % indica que el proceso de combustión se realizó bajo exceso de aire controlado, evitando zonas de combustión incompleta.

La estabilidad de los registros minuto a minuto demuestra la homogeneidad del flujo gaseoso, mientras que los valores de CO permanecen muy por debajo del límite máximo permitido de 100 mg/m³ establecido por la *Resolución 909 de 2008, Anexo I* para fuentes fijas tipo horno crematorio con combustible gaseoso. A continuación, se presenta el calculo donde se obtuvo la concentración de CO

DRIFT (Eq. 7E-4): $\leq 3 \%$

$$D = | SB_f - SB_i |$$

Donde:

- **SB:** System Bias (diferencia entre la calibración inicial y final).
- **SB_i:** System Bias inicial = 0,8 %.
- **SB_f:** System Bias final = 0,3 %.

$$D = | 0,3 - 0,8 | = 0,5$$

Nota: El cálculo del *Drift* se realiza considerando el valor máximo entre el sesgo del punto cero y el de alta escala. El resultado obtenido (**0,5 %**) se encuentra dentro del rango aceptable ($< 3 \%$), garantizando la estabilidad del equipo de medición y la confiabilidad de los resultados.

Concentración Ajustada por Bias (Eq. 7E-5b):

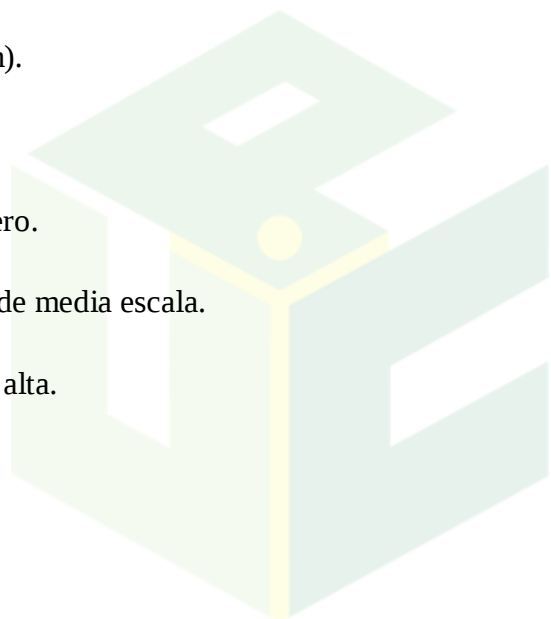
$$C_{gas} = (C_{avg} - C_0) \times \frac{C_{MA}}{C_M - C_0}$$

Donde:

- **C_{gas}:** Concentración ajustada por Bias (ppm).
- **C_{avg}:** Promedio de las lecturas del gas.
- **C₀:** Promedio de Bias inicial-final del gas cero.
- **C_M:** Promedio de Bias inicial-final del gas de media escala.
- **C_{MA}:** Concentración del gas de calibración alta.

Aplicando los datos:

$$C_{gas} = (57,16 - 0) \times \frac{700,1295}{705,0855 - 0}$$



$$C_{gas} = 56,76 \text{ ppm}$$

Conversión de Contaminantes Expresados como Miligramos por Metro Cúbico (mg/m^3) Para convertir concentraciones de partes por millón (**ppm**) a miligramos por metro cúbico (**mg/m^3**) se utiliza la siguiente ecuación:

$$C(\text{mg}/\text{m}^3) = C(\text{ppm}) \times \frac{PM}{24,466}$$

Donde:

- **$C(\text{mg}/\text{m}^3)$:** Concentración másica del contaminante.
- **$C(\text{ppm})$:** Concentración volumétrica del gas.
- **PM (Kg/Kmol):** Peso molecular del gas contaminante (para CO, PM = 28).
- **24,466:** Volumen molar de una Kmol de gas en m^3 , a 298,15 K y 1,01325 kPa.

Tabla 20.

Concentración de CO a Condiciones de Referencia en mg/m^3 y Corregido por Oxígeno

Valor Medio CCO [ppm]	$C(\text{mg}/\text{m}^3) = C(\text{ppm}) \times \frac{PM}{24,466}$	$C(\text{mg}/\text{m}^3)$ corregida al 11 % O_2
56,76 ppm	64,41 mg/m^3	55,86 mg/m^3

Nota. Elaboración propia, 2026

Concentración de Contaminantes Expresados en Kilogramos por Hora (Kg/h)

Para calcular la emisión total de CO, se aplica la ecuación:

$$C_{CO}(\text{Kg}/\text{h}) = C_{CO}(\text{mg}/\text{m}^3) \times Q_{cr}(\text{m}^3/\text{min}) \times \frac{60}{1000}$$

Donde:

- **$C_{CO}(\text{mg}/\text{m}^3)$:** Concentración másica del monóxido de carbono.
- **$Q_{cr}(\text{m}^3/\text{min})$:** Caudal de gases de referencia.
- **60:** Conversión de minutos a horas.
- **1000:** Conversión de miligramos a gramos y luego a kilogramos.

Sustituyendo valores:

$$C_{co} \left(\frac{Kg}{h} \right) = \frac{64,41 \times 20,83 \times 60}{1000000}$$
$$C_{co} = 0,0805 \text{ Kg/h}$$

El cálculo de concentración ajustada de CO (56,76 ppm) demuestra una medición precisa y confiable, ya que el drift del equipo (0,5 %) está por debajo del límite permitido (<3 %), indicando una calibración estable durante la prueba. El valor convertido de 64,41 mg/m³ y 55,86 mg/m³ corregido al 11 % O₂ evidencia bajas emisiones de monóxido de carbono, lo que refleja una combustión completa del material orgánico y una eficiencia térmica adecuada del horno crematorio.

6.1.5.2 Cálculo de la Concentración de HCT Medido con un Muestreador NDIR – Método 25 B

Las concentraciones medidas en el gas de chimenea se expresan como ppm de Metano (CH₄). Para convertir las concentraciones de contaminantes medidos como hidrocarburos a metano, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_c = K \times C_{medida} \text{ (Ecu. 25A-1)}$$

Donde:

- **Cc:** Corresponde a la concentración total de compuestos orgánicos de carbono (COC) expresados en ppm.
- **Cmedida:** Concentración medida del compuesto orgánico (ppm).
- **K:** Factor de corrección de carbono equivalente, siendo 1 para metano, 2 para etano y 3 para propano. En este caso se emplea el factor apropiado para el gas de calibración.

Los siguientes son los valores de concentración de los contaminantes medidos en la fuente evaluada. Las concentraciones se expresan en **ppm de metano (CH₄)**. Antes de realizar las mediciones se efectuó la calibración con un gas patrón y se desarrolló un muestreo continuo de una hora.

Tabla 21.

Resultados de Compuestos Orgánicos Totales (HCT)

Hora	O ₂ [%]	CO ₂ ir [%]	CH ₄ IR [ppm]	CH ₄ IR [mg/m ³]	CH ₄ IR [11 %]
10:05	7,7	9,1	19,2	12,56	9,44
10:06	7,3	9,3	70,2	45,91	33,51
10:07	7,3	9,3	85,5	55,91	40,81
10:08	7,3	9,3	54,3	35,51	29,92
10:09	7,3	9,3	68,4	44,62	32,97
10:10	7,4	9,4	52,2	34,19	28,47
10:11	7,4	9,4	30,4	19,91	16,59
10:12	7,5	9,1	30,3	19,82	14,64
10:13	7,5	9,1	33	21,57	14,66
10:14	7,1	9,1	6,6	4,32	3,08
10:15	7,1	9,1	6,6	4,32	3,08
10:16	7,7	9	49,8	32,57	24,49
10:17	7,7	9	49,8	32,57	24,49
10:18	7,4	9,1	55,2	36,1	26,54
10:19	11,4	7,5	89,4	58,46	60,9
10:20	12,2	6,8	77,1	50,42	57,3
10:21	13,1	6,1	1,5	0,98	1,24
10:22	8,8	6,9	48,9	31,89	33,55
10:23	8,7	7,7	99,9	65,33	53,35
10:24	10,1	7,7	60	39,24	33,05
10:25	10,1	7,7	60	39,24	33,05
10:26	10	7,9	87,3	57,09	51,3
10:27	10,6	7,6	40,5	26,49	25,47
10:28	9,2	6,9	95,4	62,39	52,87
10:39	8,9	7,3	88,2	57,68	47,67
10:40	9,1	7,5	21,9	14,32	12,04
10:41	9,1	7,6	23,7	15,5	13,36
10:42	9,7	7,4	99,9	65,33	55,38
10:43	9,9	7,4	94,5	61,85	53,38
10:44	9,9	7,4	98,3	64,35	57,97
10:45	9,9	7,2	54,3	35,51	31,08
10:46	10	7,1	64,3	42,05	37,28
10:47	10	7,1	66,3	43,31	38,28
10:48	9,8	7,4	70,2	45,91	40,69
10:49	9,8	7,4	77,7	50,72	46,09
10:50	9,9	7,2	86,6	56,49	49,83
10:51	13	5,2	12,3	8,04	15,47

Hora	O ₂ [%]	CO ₂ ir [%]	CH ₄ IR [ppm]	CH ₄ IR [mg/m ³]	CH ₄ IR [11 %]
10:52	15,8	1,1	24,9	16,31	15,41
10:53	9,2	8,1	77,4	50,52	42,9
10:54	9,8	7,8	44,4	29,04	25,98
10:55	10	7,2	33,6	21,97	19,98
10:56	10	7,2	33,6	21,97	19,98
10:57	10	7,3	38	25,31	23,02
10:58	10,7	7,3	38,7	25,77	23,44
10:59	10,7	7,3	80,1	53,27	48,44
11:00	11	7,3	62,4	41,5	37,75
11:01	11,5	6,8	34,6	22,98	21,47
11:02	11,5	8	29,7	19,74	18,44
11:03	11,1	6,9	44,2	29,37	27,44
11:04	8,4	8	29,7	19,74	18,44
11:05	7,7	8	60,7	40,28	44,61
11:06	7,9	8	33,3	21,78	16,62
Promedio	9,42	7,81	54,1	35,38	30,54

Nota. Elaboración propia, 2026

Conversión a Concentración en mg/m³

La conversión de unidades de partes por millón (ppm) a miligramos por metro cúbico (mg/m³) se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$C(mg/m^3) = \frac{C(ppm) \times PM}{24,466}$$

Donde:

- **C(mg/m³):** Concentración en masa por unidad de volumen.
- **C(ppm):** Concentración volumétrica del gas.
- **PM (Kg/Kmol):** Peso molecular del agente contaminante.
- **24,466:** Volumen molar de una Kmol a condiciones normales (298,15 K y 1,01325 kPa).

El resultado promedio de la medición fue:

$$C_{HCT} = 35,38 \text{ mg/m}^3$$

Emisión Total de Hidrocarburos (Kg/h)

Para determinar la emisión total de hidrocarburos a la atmósfera se aplicó la ecuación:

$$C_{HCT}(\text{Kg/h}) = C_{HCT}(\text{mg/m}^3) \times Q_{cr}(\text{m}^3/\text{min}) \times \frac{60}{1000}$$

$$C_{HCT}(\text{Kg/h}) = 35,38 \times 20,83 \times \frac{60}{1000 \times 1000} = 0,0442 \text{ kg/h}$$

6.1.5.3 Cálculo de la concentración de BENZO(A)PIRENO y DIBENZO(A)ANTRACENO – MÉTODO 5506

Este método es aplicable a las muestras que pueden ser extraídas con acetonitrilo. Antes de realizar el muestreo se debe realizar una calibración del flujo con toda la línea de muestreo conectada, de tal forma que este sea alrededor de **2 litros por minuto**. Los valores obtenidos en dicha calibración son los siguientes:

Tabla 22.

Calibración de flujo bomba de muestreo Benzo(A)Pireno Y Dibenzo(A)Antraceno

NÚMERO DE MEDICIÓN	FLUJO (ml/min)
1	2046
2	2036
3	2050
4	2035
5	2047
6	2039
7	2036
8	2039
9	2032
10	2049
PROMEDIO	2031

Nota. Elaboración propia, 2026

El cálculo de la concentración (C, en mg/m³) es la suma de lo colectado en el filtro y en la resina de captación de cada uno de los contaminantes (Benzo(a)Pireno y Dibenzo(a)Antraceno) en el volumen total muestreado, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{(W + Wf + Wb - B - Bf - Bb)}{V}, mg/m^3$$

donde;

- **C:** Concentración total del contaminante expresada en miligramos por metro cúbico (mg/m^3).
- **W:** Masa del contaminante medida en la muestra del filtro (μg o mg).
- **Wf:** Masa del contaminante en la parte frontal del captador XAD-2 (μg o mg).
- **Wb:** Masa del contaminante en la parte posterior del captador XAD-2 (μg o mg).
- **B:** Masa del contaminante encontrada en el filtro blanco (μg o mg).
- **Bf:** Masa del contaminante en la parte frontal del captador blanco (μg o mg).
- **Bb:** Masa del contaminante en la parte posterior del captador blanco (μg o mg).
- **V:** Volumen total de aire muestreado (L o m^3), obtenido del flujo promedio multiplicado por el tiempo de muestreo.

Las masas en los filtros blancos y en los captadores blancos se restan para eliminar posibles interferencias o contaminación previa del sistema, garantizando la representatividad de la muestra real.

$$(W + Wf + Wb - B - Bf - Bb) \text{ Benzo(a)Pireno} = 0,013 \mu g/m^3$$

$$(W + Wf + Wb - B - Bf - Bb) \text{ Dibenzo(a)Antraceno} = 0,013 \mu g/m^3$$

Tiempo de muestreo (min): 120 minutos

$$V: 2031 \times 120 = 243720 \text{ ml}$$

$$C = \frac{(0,013 + 0,013)}{243720}$$

$$C = 0,00010668 mg/m^3 = 0,1067 \mu g/m^3$$

Muestra: M-19327/19328

Corrección al 11 % de O₂:

$$C_{(11\%O_2)} = 0,0925 \text{ } 0,1067 \text{ } \mu g/m^3$$

Conversión a Kilogramos por Hora (Kg/h):

$$C(Kg/h) = \frac{C(mg/m^3) \times Q_{cr}(m^3/min) \times 60 (min/h)}{1000 (mg/g) \times 1000 (g/Kg)}$$

Sustituyendo los valores:

$$C(Kg/h) = \frac{0,00010668 \times 20,83 \times 60}{1000000}$$

$$C\left(\frac{Kg}{h}\right) = 0,0000013kg/h$$

6.2 ANÁLISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS GENERADOS POR LA CREMACIÓN EN LA CALIDAD DEL AIRE Y LOS ECOSISTEMAS CERCANOS AL PARQUE CEMENTERIO CON BASE EN LOS LÍMITES PERMISIBLES ESTABLECIDOS EN LA RESOLUCIÓN 909 DE 2008.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a las actividades que se llevaron a cabo para cumplir con el desarrollo de la Fase 2, enfocada en el análisis de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos generados por el proceso de cremación y su posible incidencia en la calidad del aire y en los ecosistemas cercanos al parque cementerio.

6.2.1 *Recolección y organización de los datos obtenidos en la caracterización de emisiones.*

En esta actividad se consolidaron los resultados obtenidos durante la fase de caracterización de las emisiones atmosféricas generadas por el horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, mediante la recopilación y organización de los valores de concentración promedio de los contaminantes medidos. Los datos fueron obtenidos a partir de

www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

los métodos analíticos de referencia establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) y la normativa nacional vigente, conforme a lo dispuesto en la Resolución 909 de 2008 y la Resolución 760 de 2010, que regulan los procedimientos de medición y los límites máximos permisibles de emisión para fuentes fijas de combustión.

Tabla 23.

Concentraciones promedio de los contaminantes atmosféricos evaluados en el horno crematorio

Contaminante	Método de análisis aplicado	Concentración promedio medida	Unidad	Concentración corregida al 11 % O ₂	Unidad
Monóxido de Carbono (CO)	Método 10 EPA	64,41	mg/m ³	55,86	mg/m ³
Compuestos Orgánicos Totales - HCT	Método 25B EPA	35,38	mg/m ³	30,54	mg/m ³
Benzo(a)Pireno	Método NIOSH 5506	0,1067	µg/m ³	0,0925	µg/m ³
Dibenzo(a)Antraceno	Método NIOSH 5506	0,1067	µg/m ³	0,0925	µg/m ³
Material Particulado Total (MP)	Método 5 EPA	21,4	mg/m ³	—	—

Nota. Elaboración propia, 2026

Estos datos representan las concentraciones medias obtenidas en las condiciones de operación típicas del horno crematorio y constituyen la base para el análisis interpretativo posterior, en el que se evalúa el cumplimiento normativo y la posible afectación ambiental derivada de las emisiones.

6.2.2 Comparación de las concentraciones obtenidas con los límites establecidos en la Resolución 909 de 2008.

En esta sección se presenta la comparación entre las concentraciones corregidas de los contaminantes atmosféricos emitidos por el horno crematorio y los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de evaluar el grado de cumplimiento ambiental de la fuente y la eficiencia del proceso de combustión. Los valores analizados corresponden a las concentraciones corregidas al 11 % de oxígeno, según las condiciones de referencia definidas en la normativa.

Tabla 24.

Comparación de concentraciones corregidas frente a los límites establecidos por la Resolución 909 de 2008

Contaminante	Concentración corregida al 11 % O ₂	Unidad	Límite máximo permisible (Resolución 909 de 2008)	Cumplimiento
Monóxido de Carbono (CO)	Método 10 EPA	55,86	mg/m ³	150 mg/m ³
Compuestos Orgánicos Totales – HCT	Método 25B EPA	30,54	mg/m ³	30 mg/m ³
Σ Benzo(a)Pireno + Dibenzo(a)Antraceno	Método NIOSH 5506	0,0925	µg/m ³	100 µg/m ³
Material Particulado Total (MP)	Método 5 EPA	21,4	mg/m ³	50 mg/m ³
Dibenzo(a)Antraceno	0,0925	µg/m ³	100 µg/m ³	Cumple

Nota: Resultados de muestreo isocinético y análisis instrumental. Fuente: Resolución 909 de 2008 (MinAmbiente, 2008), adaptada por el autor, 2026

Las concentraciones obtenidas para los contaminantes medidos muestran, en general, un adecuado desempeño ambiental del sistema de cremación, evidenciando cumplimiento en la mayoría de los parámetros de control exigidos por la normativa colombiana. En el caso del monóxido de carbono (CO), el valor promedio fue de 55,86 mg/m³, lo cual representa un 37 % del límite máximo permitido (150 mg/m³). Este resultado demuestra una combustión eficiente y controlada, con una baja generación de gases tóxicos asociados a procesos de oxidación incompleta. De acuerdo con Libreros, Valencia-Hernández y Acosta (2016), concentraciones inferiores a 100 mg/m³ en hornos crematorios son indicativas de una relación óptima aire-combustible y una temperatura de operación superior a 850 °C, condiciones que favorecen la completa degradación del carbono orgánico.

En cuanto a los compuestos orgánicos totales (HCT), expresados como metano, se obtuvo una concentración de 30,54 mg/m³, valor muy cercano al límite de 30 mg/m³ establecido en la resolución. Este resultado evidencia un control adecuado del proceso térmico, aunque su proximidad al umbral de cumplimiento sugiere la necesidad de fortalecer la calibración del sistema de inyección de aire secundario y el mantenimiento del quemador. Estudios realizados por Carvajal, González y Martínez (2021) demostraron que desviaciones menores en la mezcla

aire-combustible pueden incrementar de forma significativa la liberación de hidrocarburos no oxidados, afectando la eficiencia energética y el cumplimiento normativo.

Respecto al material particulado total (MP), el promedio de 21,4 mg/m³ se encuentra muy por debajo del valor límite de 50 mg/m³, lo cual refleja un desempeño adecuado del sistema de control de partículas. Este resultado coincide con lo reportado por López, Gómez y Torres (2019), quienes señalan que la incorporación de cámaras secundarias de postcombustión y sistemas de ventilación controlada reduce las concentraciones de MP en más del 60 %, evitando impactos directos sobre la calidad del aire y la salud respiratoria.

Por otro lado, la suma de Benzo(a)Pireno y Dibenzo(a)Antraceno, determinados mediante el método NIOSH 5506, arrojó una concentración de 0,0925 µg/m³, valor ampliamente inferior al límite máximo de 100 µg/m³ estipulado en la Resolución 909 de 2008. La presencia de estos hidrocarburos aromáticos policíclicos en cantidades mínimas demuestra una combustión completa y temperaturas de operación adecuadas para la descomposición de compuestos orgánicos persistentes. Tal como explica Gil Salazar (2010), la normativa establece que los hornos crematorios deben mantener una temperatura de al menos 750 °C y un tiempo de residencia no menor a 2 segundos, condiciones que limitan la formación de HAPs y su potencial toxicidad ambiental.

En términos generales, los resultados confirman que el horno crematorio evaluado cumple con los parámetros exigidos por la Resolución 909 de 2008, salvo una leve superación marginal en los compuestos orgánicos totales, la cual no representa un riesgo significativo, pero sí justifica la adopción de medidas preventivas y un seguimiento más frecuente. La estabilidad observada en las concentraciones sugiere un proceso térmico controlado y eficiente, con un bajo impacto en la calidad del aire y, por ende, en los ecosistemas circundantes al parque cementerio. La aplicación de buenas prácticas de mantenimiento y control de combustión garantizará la continuidad del cumplimiento normativo y la sostenibilidad ambiental del sistema de cremación.

6.2.3 Evaluación de la relación entre los niveles de contaminantes y la posible afectación a la calidad del aire.

El análisis de las concentraciones de contaminantes atmosféricos emitidos por el horno crematorio permite establecer que los valores registrados, aunque se encuentran dentro de los límites permitidos por la normativa colombiana, pueden contribuir de manera acumulativa a procesos locales de degradación de la calidad del aire, especialmente si se considera la frecuencia de operación y las condiciones meteorológicas de dispersión en el área de influencia. En la siguiente tabla se resume la relación entre los contaminantes caracterizados, su comportamiento atmosférico y los posibles efectos ambientales y sanitarios asociados.

Tabla 25.

Relación entre los contaminantes medidos, su comportamiento y posibles efectos sobre la calidad del aire

Contaminante	Comportamiento atmosférico	Posibles afectaciones ambientales y sanitarias
Monóxido de Carbono (CO)	Gas incoloro de vida media corta (1 a 2 meses); se dispersa fácilmente, pero puede acumularse en microclimas de baja ventilación.	Reduce la capacidad de transporte de oxígeno en organismos vivos y contribuye a la formación de ozono troposférico cuando reacciona con NO _x (OMS, 2021).
Compuestos Orgánicos Totales (HCT)	Volátiles y parcialmente reactivos; precursores de oxidantes fotoquímicos.	Contribuyen a la generación de ozono troposférico y material particulado secundario; su acumulación prolongada afecta la vegetación sensible (Molina & Rowland, 2020).
Material Particulado Total (MP)	Mezcla heterogénea de partículas sólidas y líquidas; puede adsorber metales y compuestos orgánicos.	Penetra en las vías respiratorias, afectando la salud cardiovascular y pulmonar; reduce la visibilidad y deposita contaminantes sobre suelos y cuerpos de agua (Morales et al., 2018).
Benzo(a)Pireno y Dibenzo(a)Antraceno (ΣHAPs)	Compuestos semivolátiles de alta estabilidad química y persistencia ambiental.	Son carcinógenos y mutagénicos; su deposición en suelos y vegetación genera acumulación bioquímica y riesgo ecotoxicológico (Martínez & Rico, 2019).

Nota. Adaptado de OMS (2021), Molina y Rowland (2020), Morales et al. (2018) y Martínez & Rico (2019).

Desde una perspectiva ambiental, las concentraciones registradas reflejan un bajo potencial de impacto inmediato sobre la calidad del aire, dado que los valores se mantienen en rangos controlados y no superan los umbrales normativos. Sin embargo, la presencia

simultánea de CO y HCT, aunque en niveles bajos, puede favorecer procesos fotoquímicos que incrementen la formación de ozono troposférico (O₃), especialmente en condiciones de alta radiación solar y escasa ventilación, como ocurre comúnmente en zonas urbanas con estabilidad atmosférica. Este fenómeno, descrito por Molina y Rowland (2020), se asocia con el deterioro de la calidad del aire y con irritaciones respiratorias en poblaciones sensibles, aun cuando las concentraciones individuales de precursores no excedan los límites reglamentarios.

El material particulado total (MP), aunque se encuentra dentro de los valores permisibles, representa un riesgo indirecto por su capacidad de actuar como vehículo para otros contaminantes persistentes, como metales pesados y HAPs, que pueden depositarse en ecosistemas aledaños. Morales et al. (2018) señalan que partículas finas (PM_{2.5} y PM₁₀) con compuestos orgánicos adsorbidos pueden inducir efectos de acidificación en suelos y afectar la microfauna edáfica, alterando procesos biogeoquímicos locales.

En cuanto a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), las bajas concentraciones medidas indican una combustión eficiente; no obstante, debido a su carácter bioacumulativo y carcinogénico, incluso valores bajos pueden tener implicaciones a largo plazo. Estudios como el de Martínez y Rico (2019) demostraron que el Benzo(a)Pireno, en concentraciones inferiores a 1 µg/m³, puede acumularse en hojas de plantas urbanas y transferirse a niveles tróficos superiores, representando un riesgo potencial para la salud pública y la biodiversidad local.

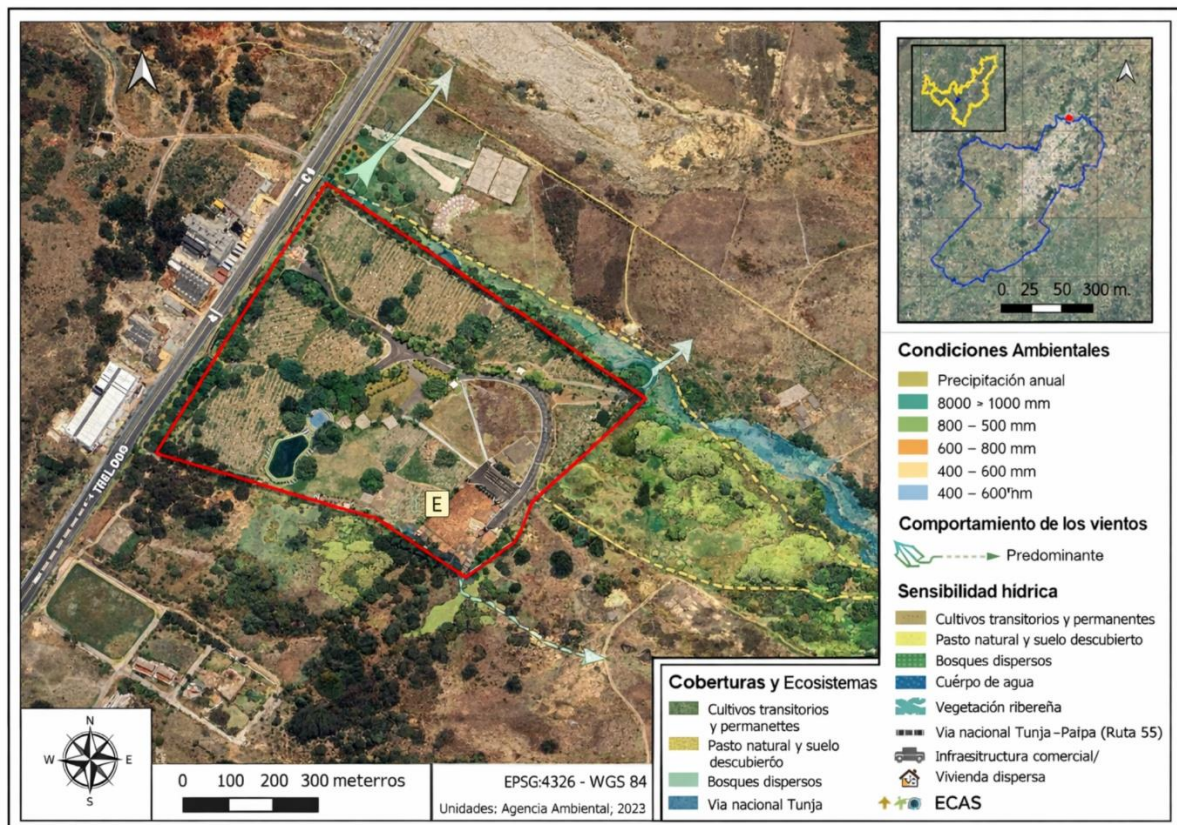
En síntesis, aunque los niveles de los contaminantes analizados cumplen con los estándares nacionales, su comportamiento químico y persistencia sugieren que el impacto ambiental no debe evaluarse únicamente desde el cumplimiento normativo, sino también desde la perspectiva de exposición crónica y acumulación ambiental. Por tanto, se recomienda implementar programas de monitoreo continuo, incorporar variables meteorológicas en los modelos de dispersión, y fomentar prácticas de mantenimiento preventivo y optimización del proceso de combustión, con el fin de garantizar una gestión ambiental sostenible del horno crematorio y minimizar la afectación progresiva sobre la calidad del aire y los ecosistemas adyacentes.

6.2.4 Identificación posibles implicaciones ambientales sobre los ecosistemas cercanos.

El análisis espacial desarrollado mediante herramientas SIG (QGIS y Google Earth) permitió delimitar el área de influencia directa e indirecta del horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, integrando variables biofísicas como cobertura del suelo, dirección de vientos predominantes, presencia de cuerpos de agua y características topográficas. A partir de esta base, se generó una salida cartográfica que sintetiza las condiciones ambientales, los ecosistemas presentes y los principales servicios ecosistémicos del área, facilitando la interpretación espacial de las posibles implicaciones derivadas de las emisiones atmosféricas sobre el entorno.

Figura 12.

Caracterización cartográfica de las condiciones ambientales, ecosistemas y servicios ecosistémicos en el área de influencia del horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción



Nota. Elaboración propia, 2026

La representación cartográfica evidencia que el área de influencia del horno crematorio está dominada por ecosistemas rurales intervenidos, donde predominan coberturas como pastos naturales, suelos descubiertos, cultivos transitorios y vegetación arbórea dispersa. Estos elementos cumplen funciones ecosistémicas relevantes, como la regulación microclimática, la retención de contaminantes atmosféricos y la protección del suelo; sin embargo, la fragmentación de la cobertura vegetal, claramente observable en la figura, limita su capacidad de actuar como barrera efectiva frente a la dispersión de contaminantes (Morales et al., 2018; Gómez et al., 2021).

Desde la perspectiva espacial, el mapa permite identificar una mayor vulnerabilidad en el margen oriental, donde se localizan cuerpos de agua superficiales asociados a zonas de vegetación ribereña. Estas áreas, representadas cartográficamente como zonas de sensibilidad hídrica, funcionan como receptores de deposición atmosférica, lo que implica que el material particulado y los compuestos orgánicos pueden incorporarse al sistema acuático, generando procesos de acumulación, deterioro de la calidad del agua y posibles efectos sobre la biota acuática (Martínez & Rico, 2019). La conectividad entre estos cuerpos de agua y áreas agrícolas incrementa el riesgo de transferencia de contaminantes por escorrentía.

En el margen occidental, la cartografía muestra la proximidad directa con la vía nacional Tunja–Paipa (Ruta 55), lo cual configura un escenario de interacción entre fuentes fijas y móviles de emisión. Esta superposición de presiones ambientales favorece la formación de contaminantes secundarios, como el ozono troposférico, resultado de reacciones fotoquímicas entre CO, HCT y óxidos de nitrógeno provenientes del tráfico vehicular. Este fenómeno puede generar efectos acumulativos sobre la calidad del aire y provocar estrés fisiológico en la vegetación circundante (Molina & Rowland, 2020).

Por su parte, el margen inferior del área de estudio, identificado en la figura como zona de uso agropecuario y presencia de viviendas dispersas, constituye un sector de alta sensibilidad ambiental y social. La baja densidad de cobertura vegetal y la topografía suavemente ondulada favorecen la dispersión horizontal de contaminantes, facilitando su deposición sobre suelos agrícolas. En este contexto, el material particulado y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) pueden alterar las propiedades fisicoquímicas del suelo, afectar

la microbiota edáfica y, en consecuencia, incidir en la calidad de los cultivos y en la salud de las comunidades cercanas (García & Buitrago, 2020).

En el margen superior, caracterizado por suelos desnudos y áreas con intervención antrópica reciente, la cartografía evidencia condiciones propicias para la dispersión atmosférica, debido a la ausencia de cobertura vegetal densa. Estas superficies favorecen la generación de microturbulencias y la recirculación de aire, aumentando la permanencia de contaminantes en la atmósfera local y su transporte hacia zonas rurales adyacentes (Kumar et al., 2020). Este comportamiento se ve reforzado por la dirección predominante de los vientos representada en la figura, lo que permite inferir trayectorias potenciales de dispersión.

Adicionalmente, el análisis integrado de la cartografía permite comprender que, aunque las concentraciones de contaminantes se encuentran dentro de los límites normativos, su impacto no debe evaluarse únicamente desde el cumplimiento legal. El material particulado puede depositarse progresivamente sobre suelos, vegetación y cuerpos de agua, afectando procesos como la fotosíntesis, la fertilidad del suelo y los ciclos biogeoquímicos. De igual manera, los HAPs, aun en bajas concentraciones, presentan carácter persistente y bioacumulativo, pudiendo incorporarse a las cadenas tróficas y generar efectos a largo plazo sobre la biodiversidad (World Health Organization, 2021).

Finalmente, la cartografía permite evidenciar la interacción entre los servicios ecosistémicos de regulación (calidad del aire, regulación hídrica y protección del suelo) y las presiones antrópicas presentes en el territorio. En este sentido, la salida cartográfica no solo constituye una herramienta de diagnóstico ambiental, sino también un insumo fundamental para la planificación de medidas de mitigación, orientadas a fortalecer la cobertura vegetal, controlar la dispersión de contaminantes y garantizar la sostenibilidad ambiental del área de influencia del horno crematorio.

6.3 PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL PARA REDUCIR LOS EFECTOS NEGATIVOS DE LAS EMISIONES POR CREMACIÓN EN LAS ZONAS ALEDAÑAS AL PARQUE CEMENTERIO JARDINES DE LA ASUNCIÓN CON BASE EN LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE CONTAMINANTES, EL CUMPLIMIENTO DE LA RESOLUCIÓN 909 DE 2008, Y LAS BUENAS PRÁCTICAS AMBIENTALES APLICADAS AL SECTOR FUNERARIO.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la Fase 3, orientada al diseño de la propuesta de estrategias de mitigación y manejo ambiental enfocadas en la reducción de los efectos negativos asociados a las emisiones atmosféricas generadas por el proceso de cremación en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción. Esta fase se fundamenta en los resultados obtenidos durante la caracterización de contaminantes atmosféricos, el análisis de cumplimiento frente a los límites permisibles establecidos en la Resolución 909 de 2008, y la evaluación de las implicaciones ambientales sobre los ecosistemas aledaños. Con base en ello, se formularon acciones preventivas, correctivas y de mejora continua que integran buenas prácticas ambientales aplicadas al sector funerario, con el propósito de fortalecer la gestión ambiental, optimizar los procesos de combustión y minimizar los impactos sobre la calidad del aire y los componentes bióticos y abióticos del entorno.

6.3.1 *Identificación de buenas prácticas ambientales aplicadas en hornos crematorios a nivel nacional e internacional.*

Con base en una revisión bibliográfica y normativa realizada a partir de documentos técnicos emitidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido (DEFRA), se identificaron buenas prácticas ambientales implementadas en hornos crematorios que buscan optimizar los procesos de combustión, reducir la generación de contaminantes atmosféricos y mejorar la eficiencia energética. Dichas estrategias constituyen referentes técnicos replicables en el contexto colombiano, particularmente en el Parque Cementerio Jardines de la Asunción, para fortalecer la gestión ambiental y asegurar el cumplimiento de la Resolución 909 de 2008.

Tabla 26.

Buenas prácticas ambientales en hornos crematorios

Práctica	Descripción técnica	Objetivo ambiental	Evidencia / Referencia
Cámara secundaria ≥ 850 °C y tiempo de residencia ≥ 2 s	Mantener la cámara secundaria a una temperatura mínima de 850 °C y un tiempo de residencia superior a 2 segundos bajo condiciones normales.	Garantizar la completa oxidación de gases y compuestos orgánicos volátiles, reduciendo CO y HAPs.	MinAmbiente – Resolución 909/2008, art. 64; DEFRA PG5/2(12).
Control del exceso de aire (O₂)	Ajuste continuo de la relación aire-combustible para mantener una referencia del 11 % de oxígeno en los gases.	Prevenir combustiones incompletas, reducir emisiones de CO y mejorar la eficiencia térmica.	EPA, 40 CFR 60, App. A, Método 3A; Resolución 909/2008.
Monitoreo continuo de CO y O₂	Uso de analizadores NDIR o paramagnéticos para registrar concentraciones minuto a minuto.	Evaluar la eficiencia del proceso y detectar desviaciones operativas.	EPA, 40 CFR 60, Métodos 10 y 3A.
Medición periódica de HCT	Determinación de hidrocarburos totales con detectores de ionización de flama (FID).	Controlar la emisión de compuestos orgánicos precursores de ozono.	EPA, Métodos 25A/25B.
Muestreo isocinético de MP	Aplicación del Método 5 EPA para determinar material particulado total en ductos.	Evaluar y reducir la carga de partículas emitidas a la atmósfera.	EPA, Método 5; Resolución 760/2010.
Mantenimiento preventivo del quemador	Limpieza de toberas, calibración de presión y revisión de caudal de combustible cada seis meses.	Evitar combustiones deficientes y optimizar el consumo energético.	DEFRA PG5/2(12); Resolución 909/2008.
Uso de combustible limpio	Sustitución de diésel o ACPM por gas natural o GLP.	Minimizar la generación de MP, SO ₂ y compuestos orgánicos pesados.	DEFRA PG5/2(12); OMS, 2021.
Secuencia de arranque y	Pre calentamiento de cámara secundaria y purga de aire al apagar.	Evitar picos de emisión de CO,	DEFRA PG5/2(12).

Práctica	Descripción técnica	Objetivo ambiental	Evidencia / Referencia
parada controlada		HCT y hollín en transiciones.	
Gestión de cenizas y sellado de cámaras	Retiro en frío y sellado hermético de puertas y visores.	Evitar emisiones fugitivas de MP y dispersión de residuos finos.	Resolución 909/2008; EPA, Buenas prácticas operativas.
Altura y ubicación adecuada de chimenea	Determinar la altura según dispersión de gases y presencia de obstáculos.	Garantizar dilución y dispersión efectiva de emisiones.	DEFRA PG5/2(12); OMS, 2021.
Barreras verdes perimetrales	Implementar franjas vegetales nativas de ≥ 10 m de ancho.	Filtrar partículas y mitigar impactos acústicos y visuales.	OMS, 2021; IDEAM, 2022.
Registro y trazabilidad operacional	Bitácoras de operación, calibración y reportes anuales.	Asegurar transparencia, control y mejora continua.	Resolución 760/2010; DEFRA PG5/2(12).

Nota. Elaboración propia, 2026

La revisión evidenció que las buenas prácticas ambientales en hornos crematorios convergen en tres ejes fundamentales: eficiencia térmica, control de emisiones y gestión integral ambiental. En primer lugar, el mantenimiento de temperaturas superiores a 850 °C y un tiempo de residencia de gases de al menos dos segundos se consolida como la medida más efectiva para reducir la generación de monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos totales (HCT), asegurando una combustión completa (DEFRA, 2012; EPA, 2023).

En segundo lugar, la implementación de monitoreos continuos de O₂, CO y HCT permite identificar desviaciones operativas que comprometen la calidad de la combustión. Estas acciones, complementadas con el uso de combustibles limpios y sistemas de arranque/parada controlados, reducen significativamente la formación de material particulado fino (PM_{2.5} y PM₁₀), responsable de impactos respiratorios y opacidad atmosférica (OMS, 2021; MinAmbiente, 2010).

Finalmente, la incorporación de barreras verdes, reforestación perimetral y gestión adecuada de cenizas fortalece el componente ecosistémico y reduce la dispersión de partículas sedimentables hacia las zonas agrícolas y residenciales aledañas al cementerio. Estas medidas integradas, cuando se aplican bajo esquemas de monitoreo y trazabilidad continua, garantizan

no solo el cumplimiento normativo, sino también la consolidación de una gestión ambiental sostenible en el sector funerario, en consonancia con los principios de producción más limpia y control de fuentes fijas promovidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

6.3.2 *Determinar las áreas críticas o procesos con mayor generación de emisiones.*

Con base en los resultados obtenidos durante la caracterización de contaminantes atmosféricos y la revisión técnica del proceso operativo del horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción, se realizó un análisis integral orientado a identificar las áreas críticas y las etapas con mayor potencial de generación de emisiones. Este diagnóstico permitió establecer puntos de control prioritarios dentro de la operación del sistema de cremación, contribuyendo a optimizar la eficiencia térmica y a reducir la carga contaminante emitida hacia la atmósfera. La determinación de las áreas críticas se fundamentó en criterios técnicos derivados de los métodos EPA 3A, 5, 10 y 25B, y en las disposiciones de las Resoluciones 909 de 2008 y 760 de 2010 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Tabla 27.

Identificación de áreas y procesos críticos del horno crematorio

Fase / Proceso	Indicadores técnicos de riesgo	Contaminantes dominantes	Causas probables	Nivel de criticidad	Medidas inmediatas de control
Arranque en frío	Fluctuaciones térmicas <850 °C; inestabilidad del O ₂ y picos de CO	CO, HCT	Combustión incompleta por baja temperatura inicial	Alta	Precalentamiento controlado hasta ≥850 °C y estabilización del flujo de aire antes de la carga (DEFRA, 2012).
Carga e ignición	Incrementos momentáneos de CO y MP; disminución temporal de O ₂	CO, MP, HCT	Entrada de aire frío y sobrecarga en cámara primaria	Alta	Regular la masa de carga y realizar cierre hermético inmediato.
Combustión primaria (cámara 1)	CO y MP con variaciones moderadas; humedad del material	CO, MP, HCT	Distribución irregular del aire primario	Media-Alta	Balance de aire primario y mantenimiento de toberas de combustión.
Postcombustión (cámara 2)	T° < 850 °C; tr < 2 s; aumento de HCT y HAPs	HCT, HAPs	Aire secundario insuficiente; pérdida de transferencia térmica	Alta	Control automático de aire secundario y alarma por desviación de temperatura.

Fase / Proceso	Indicadores técnicos de riesgo	Contaminantes dominantes	Causas probables	Nivel de criticidad	Medidas inmediatas de control
Transiciones y apertura de puertas	Pulsos de CO y MP; corrientes de aire no controladas	CO, MP	Fugas térmicas por aperturas prolongadas	Media	Sellado perimetral y reducción del tiempo de apertura.
Retiro de cenizas	Resuspensión de partículas y polvo fino	MP	Manipulación en caliente o sin contención	Media	Retiro en frío y contención cerrada con filtros de alta eficiencia.
Sistema de combustión (quemador y combustible)	Oscilaciones de presión; variabilidad en O ₂ y CO	CO, HCT	Tobera obstruida o combustible de baja calidad	Media-Alta	Mantenimiento semestral, calibración y uso de combustible limpio.
Chimenea y dispersión	Baja velocidad de salida y altura limitada	MP, HCT	Obstáculos y turbulencia local	Media	Verificación de altura efectiva y modelación de dispersión.

Nota. Elaboración propia, 2026

El análisis técnico permitió identificar que las etapas de arranque, ignición y postcombustión son las más críticas en términos de generación de contaminantes. Durante el arranque en frío, la cámara secundaria no alcanza de inmediato las temperaturas óptimas de operación (≥ 850 °C), lo que favorece la emisión de CO y HCT por combustión incompleta (Ministerio de Ambiente, 2008). Este fenómeno transitorio puede representar hasta el 60 % de las emisiones totales si no se controla adecuadamente (DEFRA, 2012).

En la etapa de ignición, la apertura de puertas y la introducción del férretro generan descensos instantáneos de temperatura y presión, aumentando la generación de material particulado (MP) y compuestos orgánicos volátiles. Un adecuado sello térmico y la regulación de la relación aire-combustible mitigan esta inestabilidad (EPA, 2023).

La postcombustión, al ser la fase determinante para la eliminación de gases residuales, presenta alta criticidad cuando el tiempo de residencia (t_r) es inferior a 2 segundos o la temperatura cae por debajo del estándar normativo, lo que ocasiona la liberación de HAPs como el Benzo(a)Pireno y el Dibenzo(a)Antraceno (OMS, 2021). Mantener un sistema de control automatizado de temperatura y flujo de aire secundario es esencial para evitar emisiones no oxidadas.

Las etapas posteriores, como la remoción de cenizas y el manejo del ducto de salida, aunque de criticidad media, también requieren atención para evitar emisiones fugitivas y resuspensión de polvo sedimentable. La aplicación de buenas prácticas como el retiro en frío, pisos lavables y aspiración cerrada, junto con la verificación de la altura efectiva de chimenea, fortalecen el control de dispersión y reducen la exposición ambiental de los sectores cercanos.

6.3.3 *Formulación de estrategias de mitigación orientadas a la reducción de emisiones.*

Con base en la identificación de las áreas críticas del proceso de cremación y considerando los lineamientos del enfoque de Producción Más Limpia (PML) y los principios de gestión ambiental sostenible, se formularon estrategias orientadas a minimizar la generación de contaminantes atmosféricos y optimizar la eficiencia energética del horno crematorio. Estas estrategias se estructuran en torno a tres ejes: mejoras tecnológicas, operativas y de control ambiental, promoviendo la prevención en la fuente antes que el tratamiento posterior. Las acciones propuestas se alinean con la Resolución 909 de 2008, la Resolución 760 de 2010 y los estándares internacionales de la OMS (2021) y la EPA (2023).

Tabla 28.

Estrategias de mitigación de emisiones en el horno crematorio

Estrategia	Tipo de acción (PML)	Descripción técnica	Objetivo ambiental
1. Optimización térmica del proceso de combustión	Mejora tecnológica	Implementar un sistema de control automático de temperatura y tiempo de residencia (≥ 850 °C, $tr \geq 2$ s). Incorporar sensores termopares redundantes para retroalimentación continua.	Asegurar la completa oxidación de gases, reduciendo CO, HCT y HAPs.
2. Control de la relación aire-combustible (O_2)	Mejora operativa	Ajustar el flujo de aire primario y secundario mediante válvulas modulantes para mantener $O_2 \approx 11$ %. Monitorear mediante analizador continuo (Mét. 3A EPA).	Prevenir combustiones incompletas y estabilizar la llama.
3. Precalentamiento progresivo antes de la carga	Prevención en la fuente	Establecer un protocolo de arranque gradual con precalentamiento previo de la cámara secundaria antes de la introducción del féretro.	Evitar picos de CO y MP en arranques en frío.
4. Uso de combustibles limpios (gas natural o GLP)	Sustitución de insumos	Sustituir combustibles líquidos (ACPM o diésel) por combustibles gaseosos de alta eficiencia.	Reducir MP, SO_2 y compuestos orgánicos pesados.
5. Sistema de monitoreo continuo de emisiones (CEMS)	Mejora tecnológica	Instalar analizadores en línea para CO, O_2 y HCT, con registro	Permitir control operativo inmediato y

Estrategia	Tipo de acción (PML)	Descripción técnica	Objetivo ambiental
		automatizado y alarmas de desviación.	trazabilidad de emisiones.
6. Mantenimiento preventivo programado	Gestión operativa	Ejecutar limpieza y calibración trimestral del quemador, revisión de presión de combustible y verificación de sellos.	Garantizar estabilidad del proceso y eficiencia energética.
7. Control de emisiones fugitivas y manejo de cenizas	Prevención en la fuente	Implementar sistemas cerrados de recolección de cenizas en frío y limpieza con aspiración filtrada.	Minimizar dispersión secundaria de MP.
8. Aumento de la altura efectiva de chimenea y revisión de dispersión	Mejora tecnológica	Verificar la altura real de descarga respecto a obstáculos; realizar modelación de dispersión (AERMOD o equivalente).	Aumentar dilución y dispersión de contaminantes.
9. Reforestación y barreras verdes perimetrales	Compensación ambiental	Establecer franjas de vegetación nativa de al menos 10 m de ancho en el perímetro norte y sur del cementerio.	Filtrar partículas sedimentables y mejorar microclima local.
10. Capacitación ambiental del personal operativo	Fortalecimiento institucional	Desarrollar programas de formación en gestión ambiental, seguridad y eficiencia energética.	Promover cultura de prevención y cumplimiento ambiental.

Nota. Elaboración propia, 2026

La aplicación del enfoque de Producción Más Limpia (PML) permite integrar la eficiencia técnica con la sostenibilidad ambiental del proceso de cremación. Las estrategias formuladas priorizan la prevención de emisiones en la fuente, optimizando las condiciones térmicas, la combustión y la dispersión de contaminantes. El control automatizado de temperatura y tiempo de residencia (estrategia 1) constituye la medida más efectiva para reducir los picos de CO y HCT detectados en las etapas críticas de operación, garantizando la oxidación completa de gases orgánicos.

Asimismo, la regulación del flujo de aire y el uso de combustibles limpios representan una oportunidad directa de mejora de la eficiencia energética, disminuyendo la generación de partículas finas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y compuestos secundarios, conforme a los lineamientos de la OMS (2021) y la EPA (2023). El mantenimiento preventivo y la implementación de sistemas de monitoreo continuo (CEMS) fortalecen la gestión ambiental interna, permitiendo el seguimiento de indicadores en tiempo real y la adopción inmediata de acciones correctivas.

De igual manera, las medidas complementarias —como la reforestación perimetral, el manejo cerrado de cenizas y la capacitación del personal— consolidan un enfoque integral de

mitigación que no solo reduce las emisiones directas, sino que mejora las condiciones del entorno y promueve la responsabilidad ambiental institucional. En conjunto, las estrategias propuestas establecen un marco técnico-operativo para avanzar hacia un sistema funerario ambientalmente responsable, alineado con los principios de sostenibilidad, eficiencia y cumplimiento normativo vigentes en Colombia.

6.3.4 *Diseño de programas de manejo ambiental adaptados al contexto del Parque Cementerio.*

A continuación, se presenta la matriz de manejo ambiental para el horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción. La propuesta se estructura bajo criterios de prevención en la fuente y mejora continua, alineados con la Resolución 909 de 2008 y el Protocolo de la Resolución 760 de 2010, e incorpora estándares técnicos internacionales (EPA, DEFRA, OMS, IDEAM) en materia de combustión, monitoreo y control operacional (Ministerio de Ambiente, 2008; Ministerio de Ambiente, 2010; EPA, 2023; DEFRA, 2012; OMS, 2021; IDEAM, 2022).



Tabla 29.

Programa 1: Control de combustión y eficiencia térmica

Componente	Objetivo	Acciones específicas	Criterios técnicos y normativos	Responsable(s)	Indicadores/Metas	Cronograma
Combustión (cámaras 1 y 2)	Garantizar oxidación completa y minimizar CO/HCT/HAPs	(i) Control automático de T° en cámara secundaria ≥ 850 °C; (ii) tiempo de residencia de gases ≥ 2 s; (iii) ajuste aire primario/secundario para $O_2 \approx 11$ %	Res. 909/2008 (art. 64); Res. 760/2010 (operación y QA/QC); EPA Mét. 3A/10/25B; DEFRA PG5/2(12)	Jefe de Operación; Operador de horno; Mantenimiento	T° ≥ 850 °C y tr ≥ 2 s ≥ 98 % del tiempo; CO < 200 mg/m ³ en transitorios	Inmediato (0–1 mes) y continuo

Nota. Elaboración propia, 2026

Tabla 30.

Programa 2. Monitoreo y verificación de emisiones (CEMS + campañas)

Componente	Objetivo	Acciones específicas	Criterios técnicos y normativos	Responsable(s)	Indicadores/Metas	Cronograma
CEMS y campañas isocinéticas	Asegurar trazabilidad y cumplimiento	(i) CEMS para O ₂ , CO, HCT con alarmas; (ii) campañas isocinéticas de MP (Mét. 5) y verificación de HAPs (NIOSH 5506)	Res. 760/2010 (frecuencias y QA/QC); EPA Mét. 5/10/25B/3A; OMS (2021)	Ambiental; Laboratorio externo acreditado; Operación	≥ 95 % datos válidos/mes; 0 no conformidades en auditorías	Corto plazo (1–3 meses) y mensual/trimestral

Nota. Elaboración propia, 2026

Tabla 31.
Programa 3. Mantenimiento preventivo y control operativo

Componente	Objetivo	Acciones específicas	Criterios técnicos y normativos	Responsable(s)	Indicadores/Metas	Cronograma
Quemador, toberas, sellos	Mantener estabilidad térmica y de O ₂	(i) Limpieza y calibración del quemador; (ii) verificación de presión/caudal; (iii) prueba de estanqueidad de puertas/visores	Res. 760/2010 (mantenimiento); DEFRA PG5/2(12)	Mantenimiento; Operación	Deriva CO/HCT <3 %; 0 fugas en pruebas mensuales	Trimestral y continuo
Procedimientos (SOP)	Reducir picos en arranque/ignición	(i) SOP de arranque con precalentamiento; (ii) límite de masa/volumen por carga; (iii) tiempos máximos de apertura	DEFRA PG5/2(12); Res. 909/2008	Operación; HSE	Cumplimiento SOP ≥95 %; picos CO <400 mg/m ³	Inmediato y continuo

Nota. Elaboración propia, 2026

Tabla 32.
Programa 4. Gestión de cenizas y emisiones fugitivas

Componente	Objetivo	Acciones específicas	Criterios técnicos y normativos	Responsable(s)	Indicadores/Metas	Cronograma
Cenizas y limpieza	Evitar resuspensión de MP	(i) Retiro en frío y en contenedor cerrado; (ii) aspiración con filtro HEPA; (iii) pisos lavables y humectación	Res. 909/2008 (emisiones fugitivas); Res. 760/2010	Aseo industrial; Operación	Opacidad interior ~0; 0 eventos de polvo visible	Corto (1–2 meses) y continuo

Nota. Elaboración propia, 2026

Tabla 33.

Programa 5: Dispersión y entorno (chimenea y barreras verdes)

Componente	Objetivo	Acciones específicas	Criterios técnicos y normativos	Responsable(s)	Indicadores/Metas	Cronograma
Descarga/Chimenea	Optimizar dilución y evitar inmisiones	(i) Verificar altura efectiva frente a obstáculos; (ii) modelación de pluma (AERMOD o equivalente) y ajustes	DEFRA PG5/2(12); IDEAM (2022)	Ambiental; Consultor dispersión	Cumplimiento de isoinmisiones objetivo; SIN superaciones en receptores	Medio (4–6 meses)
Barreras verdes	Atenuar MP y mejorar microclima	(i) Franjas de vegetación nativa ≥ 10 m (norte/sur); (ii) plan de siembra y mantenimiento	OMS (2021); IDEAM (2022)	Ambiental; Jardinería	Cobertura efectiva ≥ 80 % al año 1	Medio–largo (6–18 meses)

Nota. Elaboración propia, 2026

Tabla 34.

Programa 6. Capacitación, comunicación y quejas

Componente	Objetivo	Acciones específicas	Criterios técnicos y normativos	Responsable(s)	Indicadores/Metas	Cronograma
Formación y PQRS	Fortalecer cultura preventiva y gestión social	(i) Capacitación semestral en operación limpia y seguridad; (ii) protocolo de atención a quejas y reporte público	Res. 760/2010 (gestión y registros); OMS (2021)	Talento Humano; Ambiental	≥ 2 jornadas/año; ≤ 10 días hábiles por PQRS	Semestral y continuo

Nota. Elaboración propia, 2026

Tabla 35.

Programa 7. Seguimiento, auditoría y mejora continua

Componente	Objetivo	Acciones específicas	Criterios técnicos y normativos	Responsable(s)	Indicadores/Metas	Cronograma
Auditoría y KPIs	Asegurar cumplimiento y mejora	(i) Auditorías internas trimestrales; (ii) revisión de KPIs (T°, tr, O ₂ , CO, HCT, MP); (iii) acciones correctivas	Res. 760/2010 (QA/QC); EPA (QA de métodos)	Dirección; Ambiental	100 % planes de acción cerrados en ≤30 días	Trimestral

Nota. Elaboración propia, 2026



6.3.5 Socialización de las estrategias con la administración del cementerio.

Con el propósito de fortalecer la gestión ambiental del Parque Cementerio Jardines de la Asunción y garantizar la apropiación institucional de las medidas propuestas, se llevó a cabo la socialización formal de las estrategias de mitigación y manejo ambiental ante la administración del cementerio.

Durante la jornada se presentaron los resultados obtenidos en las fases de caracterización, análisis y formulación de estrategias, destacando los avances logrados en el diagnóstico de emisiones, el cumplimiento de los estándares de la Resolución 909 de 2008 y las recomendaciones técnicas derivadas de la aplicación del enfoque de Producción Más Limpia (PML). La actividad tuvo como objetivo principal exponer las acciones priorizadas para reducir los impactos atmosféricos generados por el proceso de cremación y promover el compromiso del personal administrativo y operativo con la implementación de los programas de manejo ambiental diseñados.

La reunión permitió aclarar aspectos técnicos relacionados con el control térmico del horno, el mantenimiento preventivo, la gestión de cenizas y la implementación de barreras vegetales perimetrales. Asimismo, se acordó la integración de un sistema de seguimiento interno que asegure el cumplimiento de las medidas propuestas, en concordancia con la normativa ambiental vigente y las políticas institucionales de sostenibilidad.

A continuación, se presentan las evidencias de la socialización realizada con la administración del Parque Cementerio Jardines de la Asunción.

Figura 13.

Socialización de las estrategias con la administración del cementerio



Nota. Tomada por el autor, 2026

7 CONCLUSIÓN

La caracterización de las emisiones atmosféricas del horno crematorio permitió identificar de manera precisa los principales contaminantes generados durante el proceso de cremación, evidenciando concentraciones promedio de monóxido de carbono ($55,86 \text{ mg/m}^3$), compuestos orgánicos totales ($30,54 \text{ mg/m}^3$), material particulado ($21,4 \text{ mg/m}^3$) y compuestos como benzo(a)pireno + dibenzo(a)antraceno en niveles significativamente bajos. La aplicación rigurosa de métodos analíticos normalizados, tales como los Métodos 5, 10 y 25B de la EPA y el Método NIOSH 5506, aseguró la validez técnica de los resultados, permitiendo confirmar que el sistema de combustión opera bajo condiciones controladas y con una eficiencia térmica adecuada. No obstante, la cercanía de los compuestos orgánicos totales al límite permisible establecido por la normativa evidencia que el proceso presenta una sensibilidad operativa, donde pequeñas variaciones en la relación aire-combustible, en la temperatura de la cámara secundaria o en el tiempo de residencia de los gases pueden generar incrementos en las emisiones. Esto resalta la importancia de mantener condiciones operativas estables, especialmente temperaturas superiores a 850°C y un adecuado control del oxígeno, para garantizar la oxidación completa de los compuestos orgánicos y evitar emisiones asociadas a combustión incompleta.

El análisis de las concentraciones obtenidas, en relación con la calidad del aire y los ecosistemas circundantes, permitió establecer que, aunque los niveles de emisión se encuentran dentro de los límites establecidos por la Resolución 909 de 2008, existe un potencial de impacto ambiental que no debe ser subestimado, particularmente desde una perspectiva acumulativa y de exposición prolongada. La presencia simultánea de contaminantes como CO, HCT y material particulado, aun en bajas concentraciones, puede favorecer procesos fotoquímicos que contribuyen a la formación de ozono troposférico, así como la deposición progresiva de partículas sobre suelos, vegetación y cuerpos de agua. Este fenómeno resulta especialmente relevante en el área de influencia del cementerio, donde predominan coberturas rurales, suelos agrícolas y ecosistemas con baja densidad vegetal, lo que reduce la capacidad de amortiguación natural frente a la dispersión de contaminantes. Asimismo, la interacción con fuentes móviles cercanas, como la vía Tunja–Paipa, incrementa la complejidad del sistema ambiental y potencia

efectos sinérgicos que pueden incidir en la calidad del aire local y en la salud de los ecosistemas. En este sentido, los resultados evidencian que el cumplimiento normativo debe complementarse con un enfoque preventivo que considere la dinámica ambiental del territorio y los efectos a mediano y largo plazo.

La formulación de estrategias de mitigación y manejo ambiental permitió estructurar un conjunto integral de acciones orientadas a reducir la generación de emisiones y mejorar la eficiencia operativa del horno crematorio, bajo el enfoque de Producción Más Limpia. Las medidas propuestas, tales como la implementación de sistemas automáticos de control de temperatura y tiempo de residencia, el ajuste continuo de la relación aire–combustible, el uso de combustibles más limpios como gas natural o GLP, y la instalación de sistemas de monitoreo continuo de emisiones (CEMS), constituyen herramientas clave para prevenir la formación de contaminantes desde la fuente. De igual manera, el fortalecimiento de prácticas operativas como el mantenimiento preventivo, el manejo adecuado de cenizas y la capacitación del personal contribuye a garantizar la estabilidad del proceso y la reducción de emisiones fugitivas. Complementariamente, la incorporación de barreras vegetales y acciones de compensación ambiental favorece la mitigación de impactos sobre los ecosistemas aledaños. En conjunto, estas estrategias no solo aseguran el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, sino que permiten avanzar hacia un modelo de gestión ambiental sostenible, basado en la prevención, el control continuo y la mejora progresiva del desempeño ambiental del sistema de cremación.



8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (1996). *Method 5: Determination of Particulate Matter Emissions From Stationary Sources*. U.S. Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 60, Appendix A-3.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (1997). *Method 10: Determination of Carbon Monoxide Emissions From Stationary Sources*. U.S. Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 60, Appendix A-4.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). (2000). *Method 25B: Determination of Total Gaseous Organic Concentration Using a Portable Flame Ionization Analyzer*. U.S. Environmental Protection Agency, 40 CFR Part 60, Appendix A-7.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). (2021). *NIOSH Method 5506: Polynuclear Aromatic Hydrocarbons by HPLC*. In *NIOSH Manual of Analytical Methods* (5th ed.). U.S. Department of Health and Human Services.
- Bernal Roncancio, J. C., & Castillo Riaño, A. L. (2019). *Formulación del plan estratégico de sostenibilidad para el Grupo Recordar* [Tesis de grado, Universidad Libre]. Universidad Libre. <https://core.ac.uk/download/pdf/389450460.pdf>
- Comité de Investigación del Programa IAS. (2022). *Lineamientos y guía orientadora para la estructuración de informes de prácticas académicas en el programa de ingeniería ambiental y sanitaria de la universidad popular del cesar*. En Unicesar

Congreso de la República de Colombia. (1979). *Ley 9 de 1979*. Por la cual se dictan medidas sanitarias. Diario Oficial No. 35.308.

Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993*. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente y se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente. Diario Oficial No. 41.146.

Echeverri, J., Valencia-Hernández, J., & Acosta, L. (2012). *Modelación de la dispersión de contaminantes atmosféricos: aplicación y análisis comparativo de modelos gaussianos y eulerianos*. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (63), 93–103.

Espinal, J. A. V., Rangel, A. V. M., Flores, M. P. R., Osorio, C. M. E., Alcantara, G. C., & Chimal, G. A. (2024). Contaminación ambiental y riesgos de salud asociados con el desecho inadecuado de medicamentos en Mexico 2024: Environmental pollution and health risks associated with improper disposal of medications in Mexico 2024. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(5), 579-599. <http://latam.redilat.org/index.php/lt/article/view/2627>

Fajardo, S. A. B., Cabrera, N. M. S., Cerón, L. U., Islas, S. H., & Montesino, F. M. (2021). Estimación del incremento de las emisiones de contaminantes a la atmosfera producto del proceso de cremación de cadáveres por covid-19 en la ciudad de México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 11676-11700. <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/1194>

González, C., & Martínez, L. (2019). *Evaluación de emisiones atmosféricas en hornos crematorios: un enfoque de sostenibilidad ambiental*. *Revista Ambiental CENA*, 21(2), 55–66.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2015). *Guía técnica para el monitoreo y control de emisiones atmosféricas en fuentes fijas*. Bogotá: MADS.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2017). *Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sostenible 2017–2030*. Bogotá: MADS.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2008). *Resolución 909 de 2008*. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial No. 47.013.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2010). *Resolución 760 de 2010*. Por la cual se adopta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas. Diario Oficial No. 47.694.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Ambient (outdoor) air pollution*. World Health Organization.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- Ortiz Libreros, J. M. (2019). *Evaluación del impacto en la calidad del aire de las actividades de un horno de cremación de un camposanto en la zona urbana del municipio de Santiago de Cali* [Pasantía institucional, Universidad Autónoma de Occidente]. Universidad Autónoma de Occidente.
<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/86613434/T08598-libre.pdf>.

Resolución 0760 de 2010 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial]. (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.*

Resolución 909 de 2008 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. 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. 5 de junio de 2008.

Ruiz, D., & Cárdenas, P. (2020). *Gestión ambiental y control de emisiones en hornos crematorios urbanos de Colombia. Revista de Ingeniería y Ciencia Ambiental*, 12(3), 88–97.

Schiavo, B., Morton-Bermea, O., Meza-Figueroa, D., & Arredondo-Palacios, T. E. (2024). El mercurio como contaminante: fuentes, vías de exposición y efectos en la salud. *EPISTEMUS*, 18(36), e3604306-e3604306.
<https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/view/306>

Suárez, A., & Pérez, F. (2021). *Aplicación del enfoque de Producción Más Limpia en procesos de combustión controlada. Revista Ingeniería y Desarrollo Sustentable*, 19(1), 45–59.



9 ANEXOS

Anexo 1. Carta de solicitud inicio o Inscripción de la práctica



Universidad | Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
Popular del Cesar

Anexo A. Formato solicitud inicio o Inscripción de la práctica

Valledupar, 11 de septiembre de 2024

Señores
Comité de Investigación - Programa de Ingeniería de Ambiental y Sanitaria
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
Valledupar

Asunto: **SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR PRÁCTICA ACADÉMICA**

Yo, **JORGE ANDRES MARCHENA RODRIGUEZ**, identificado como aparece al pie de mi firma, estudiante de esta universidad, solicito a ustedes me sea aprobada la realización de una PRÁCTICA ACADÉMICA como requisito para optar al título de INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO, en la empresa (**PARQUES Y FUNERARIA SAS**), para lo cual anexo a esta solicitud los siguientes documentos:

Fotocopia ampliada al 150% de mi documento de identidad

Anexo A. Formato solicitud inicio o Inscripción de la práctica.

Anexo B. Carta del Representante de la Empresa o Gerente TI enviada al comité de Investigación del Programa.

Anexo C. Formato identificación de empresas.

Anexo D. Formato ARL Diligenciado si la entidad asume o no la ARL.

Cordialmente,

Jorge Marchena

Nombre del estudiante

C.C. **1065844029**, expedida en Valledupar

Correo: **jamarchena@unicesar.edu.co**

Celular: 3046813128

www.unicesar.edu.co
Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)
Balneario Hurtado, Vía a Patillal
Valledupar – Cesar, Colombia

Anexo 2. Carta de Presentación y/o aval del estudiante - Prácticas académicas

**Universidad**
Popular del Cesar**Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.**

Valledupar, 04 de septiembre de 2024

Señores:

PARQUES Y FUNERARIA SAS.
PAULA ALEJANDRA RAMIREZ JIMENEZ
Analista de Atracción del Talento**Asunto:** Presentación y/o aval de estudiante - Prácticas académicas 2024-2.

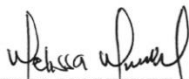
Cordial saludo,

Por medio del presente, el Departamento de Ingeniería Ambiental y Sanitaria previo cumplimiento de los requisitos reglamentarios, presenta al estudiante **JORGE ANDRES MARCHENA RODRIGUEZ**, identificado con **CC: 1065844029** en el marco del **convenio 160 del 02 septiembre del 2024** suscrito entre la UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR y la empresa PARQUES Y FUNERARIA SAS, para que participe en el proceso de selección de practicantes **Periodo 2024-2** en su empresa y/o institución en el área **Ambiental y Sanitaria**, conforme a la solicitud allegada al Departamento y/o Comité de Investigación del Programa. En ese sentido, si el estudiante es seleccionado, deberá allegar la carta (*Con funciones u actividades a desarrollar según perfil académico, fecha de inicio y terminación, nombre supervisor y si la entidad asume o no la ARL*). El estudiante podrá desempeñarse en distintos roles relacionados con las áreas del diseño técnico, gestión y evaluación ambiental, tales como:

"Investigador de la problemática Ambiental y Sanitaria; Director, evaluador y ejecutor de estudios de impacto ambiental; Evaluador de los factores que inciden en la contaminación Ambiental; Diseñador, constructor y evaluador de obras de Saneamiento Básico; Coordinador de acciones tendientes al manejo y preservación de los recursos naturales; Coordinador, director, evaluador, y participante en la formulación de Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas - POMCAS; Gestor para el manejo de los residuos líquidos y sólidos; Director, evaluador, ejecutor y administrador de obras que prevengan, mitiguen y corrijan los impactos ambientales; Liderar y gestionar proyectos de creación, organización y administración de empresas de consultoría ambiental; Elaborar y desarrollar planes de capacitación en las áreas que competen al profesional en ingeniería ambiental y sanitaria; entre otros roles de acuerdo con su perfil y programa académico".

Durante el desarrollo de la práctica académica y permanencia en la empresa y/o institución **Mínimo 640 horas**, el estudiante debe presentar ante el comité de investigación del programa, los respectivos planes e informes **FASE 1 y FASE 2** de conformidad con lo dispuesto en el **cronograma semestral de prácticas académicas 2024-2, lineamientos del comité de investigación y reglamento de modalidades de grado para los programas de pregrado de ingeniería y tecnológicas**. El estudiante y/o empresa debe enviar a los correos: ambiental@unicesar.edu.co y proyectosambiental@unicesar.edu.co la afiliación a la ARL antes de iniciar actividades.

Con gratitud,

**Ing. MELISSA MARTINEZ MAESTRE**
Directora

Documento con firma digital. La adulteración de su contenido constituye fraude y/o delito conforme a la ley.

Con copia a: Comité de Investigación del programa.www.unicesar.edu.co

Teléfono conmutador PBX: (+57 605 588 5592)

Balneario Hurtado, Vía a Patillal

Valledupar – Cesar, Colombia

Anexo 3. Carta de solicitud afiliación a la ARL



CERTIFICADO DE AFILIACIÓN

Para la atención de servicios de salud POS, el suscrito afiliado se encuentra registrado en la EPS con los siguientes datos.

Información del Cotizante y/o Cabeza de Familia										
Tipo Ident.	Número de Ident.	Nombres	Apellidos	Fecha de Afiliación	Departamento	Ciudad	Dirección	Teléfono	Regimen	Estado
CC	1065844029	JORGE ANDRES	MARCHENA RODRIGUEZ	8/05/2024 12:00:00 a. m.	CESAR	VALLEDUPAR			Contributivo	Activo

Información del Aportante				
NIT/CC	Razon Social	Estado	Rango Cotizante	Fecha Vinculacion
860015300	PARQUES Y FUNERARIAS S.A.S	A	A	16/09/2024

La anterior certificación se expide y firma, a los 19 días del mes de Noviembre de 2024, a solicitud del interesado y es válida hasta los 19 días del mes de Diciembre de 2024

Cordialmente,



CARLOS TORRES SALAZAR
SUBDIRECTOR DE ASEGURAMIENTO NACIONAL



Anexo 4. Carta de identificación de empresas



Bogotá D.C., 05 de septiembre de 2024

Señores

Universidad Popular del Cesar
Facultad de Ingeniería y Tecnológicas

A través de esta carta nos presentamos ante ustedes. Somos Grupo Recordar, una empresa que nace hace más de 50 años y se ha posicionado como una compañía líder en el mercado. Durante este tiempo, hemos desarrollado productos y servicios funerarios integrales para las familias colombianas con honestidad, calidez, confianza y solidez, características que nos posicionan hoy dentro de los líderes del mercado. Contamos con dos unidades de negocio: Previsión Exequial y Parques y Funerarias y como parte de nuestro equipo, tenemos más de 1900 colaboradores, además de contar con sedes a nivel nacional con atención bajo los más altos estándares y el permanente compromiso de mejora.

Como parte de nuestro proceso de atracción, fue seleccionado el estudiante JORGE ANDRES MARCHENA RODRIGUEZ identificado con C.C.: 1065844029 del programa **INGENIERÍA AMBIENTAL**, quien no tiene actualmente ningún vínculo laboral con nuestra compañía y nos interesa vincularlo como practicante, por medio de **contrato de aprendizaje**, por un periodo de 6 meses a 1 año (de acuerdo a los requisitos del programa curricular)

- El practicante de Ingeniería Ambiental apoya al equipo de ingeniería en la implementación y monitoreo de proyectos y programas ambientales. La posición ofrece una oportunidad de aprender y desarrollar habilidades prácticas en el campo de la ingeniería ambiental, trabajando en un entorno profesional y colaborativo.

Responsabilidades

- Cumplimiento Normativo: Apoyar en la revisión y aseguramiento del cumplimiento de leyes y regulaciones ambientales distritales y nacionales por medio del Cronograma ambiental.
- Documentación: Actualizar y mantener la documentación técnica y administrativa relacionada con los proyectos y prácticas ambientales, archivando los documentos en medio digital Sharepoint.
- Monitoreo: Ayudar en la recolección y análisis de datos ambientales, incluyendo calidad del aire, agua y suelos.

Calle 127a # 53a -45 Centro Empresarial Colpatria Torre II - oficina 303 | Bogotá, D.C | Colombia

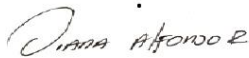


- Apoyo en Proyectos: Colaborar en la planificación, ejecución y seguimiento de proyectos ambientales.
- Investigación y Análisis: Realizar investigaciones sobre normativas ambientales, tendencias y tecnologías emergentes.
- Informes: Asistir en la preparación de informes técnicos y presentaciones para comunicar hallazgos y recomendaciones, por ejemplo, informes de gestión e informes de CO.
- Auditorías y Evaluaciones: Participar en auditorías ambientales y evaluaciones de impacto ambiental.

Durante la práctica estará supervisado por:

- Angie Stefany Torres Mejia identificado con cédula 1024556021 quien se desempeña como Coordinador de Gestión Ambiental; puede ser contactado al email angie.torres@gruporecordar.com.co

De acuerdo a lo anterior, deseo solicitar la carta del aval de la practicante por este medio, como mencioné al inicio en Grupo Recordar manejamos dos razones sociales diferentes, la razón social a la cual debe ir dirigida la carta es **Parques y Funerarias S.A.S** identificada con el NIT **860015300-0**
Cordialmente,



DIANA MARIA ALFONSO RODRIGUEZ
Coordinador Nal. De Atracción De Talento
Contacto: diana.alfonso@gruporecordar.com.co

Calle 127a # 53a -45 Centro Empresarial Colpatria Torre II - oficina 303 | Bogotá, D.C | Colombia

Anexo 5. Certificado de calibración de medidor de gas seco


PINECOM S.A.S
Líderes en medición

LABORATORIO PINE COM ASIA PCA COLOMBIA S.A.S. MPLG-F-CC R1/23

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN: MG-250200001

FECHA DE RECEPCIÓN: 2025-02-03 FECHA DE PRUEBAS: 2025-02-04 SOLICITUD DE SERVICIO: 0-451 / 1
 FECHA DE EMISIÓN: 2025-02-05

DATOS DEL SOLICITANTE Información suministrada por el cliente

CLIENTE: COAMB COLOMBIA LTDA TELÉFONO: 3102306160
 DIRECCIÓN: Calle 45A No 27-53 Of 201 / Bogotá

CARACTERÍSTICAS DEL INSTRUMENTO MEDIDOR DE GAS USADO NÚMERO DE SERIE: 8002406 AÑO: 2016

Fabricante / Marca	Tipo	Modelo	Caudal Máximo (Q _{max}) (m³/h)	Caudal Mínimo (Q _{min}) (m³/h)	Presión Máxima (P _{max}) (mbar)	Dirección del Flujo	Vol Cíclico (dm³)
KIMMON	DIAPHRAGMA	G1.6	0.016	2.5	100	IZQUIERDA	1

TRABAJO REALIZADO

ESPECIFICACIÓN DE LA NORMA	Regla de Decisión	INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN
ERRORES MÁXIMOS NTC 2728 2005 Medidores de Gas Tipo Diafragma Numeral: 5.1 MÉTODO Este medidor fue calibrado con el método indirecto que tiene como patrón boquillas sónicas, en el cual se calcula un flujo másico a partir de las condiciones de flujo de las boquillas, de este flujo másico se calcula un flujo volumétrico teniendo en cuenta la densidad del gas de la sala de ensayo y por último se calcula un volumen midiendo el tiempo de la prueba, que es comparado con el volumen registrado por el medidor a calibrar determinando el error en cada uno de los ensayos realizados, el fluido utilizado fue aire. Se siguieron instrucciones de prueba del anexo B1 y B3 de la NTC 2728 2005.	Este medidor es conforme al caso uno de los ensayos (ver: $\pm 1.5 \text{ EMP} \pm 1.54 \text{ UIA}$) Nivel de riesgo de 5%	La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por un factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada a 95% y no menor a este valor.

TRAZABILIDAD
 Los patrones utilizados en esta calibración fueron calibrados por laboratorios acreditados lo cual brinda trazabilidad al sistema internacional de unidades (SI). Estos se encuentran en el banco de prueba medidores de gas y se relacionan a continuación:
 - Boquillas sónicas MPE-15-03/19 de 15-03/19-04/19-05/19-10 Certificado CERT-20-VOC-050-3881 de 2020-09/25
 - Sensores de temperatura MTE-TT-01 Certificado CMK-TEMP-23115 de 2023-03-30 / MTE-TT-02 Certificado CMK-TEMP-23114 de 2023-03-29 / MTE-TT-03 Certificado CMK-TEMP-22583 de 2023-11-29
 - Sensores de presión MTE-TPA-02 Certificado 1653-P-04 5 de 2023-05-16 / MTE-TPA-03 Certificado 1653-P-21 5 de 2023-05-16 / MTE-TPA-04 Certificado 1653-P-21 5 de 2023-05-16

LA CALIBRACIÓN SE LLEVÓ A CABO EN EL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN MEDIDORES DE GAS PINE COM S.A.S

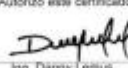
Condiciones ambientales durante la calibración: Temperatura: 20.1 °C ± 0.1 °C Humedad Relativa: 53.8 % HR ± 0.9 %HR

ENSAYO	Volumen Nominal [L]	Error [e] [%]	Factor k	Incertidumbre +/- [U] [%]	Errores Máximos Permisibles (EMP) [%]	Resultado
Q _{max} 2476.5	250	0.28	2.00	0.21	+/- 3	Conforme
0.2Q _{max} 509.8	100	1.26	2.00	0.29	+/- 3	Conforme
Q _{min} 16.1	10	0.68	2.00	0.48	+/- 3	Conforme

RESULTADO CONFORME **SELLO INSTALADO** N/A **ESTAMPILLA INSTALADA** 250200001

OBSERVACIONES

Revisó y Autorizó este certificado:


 Ing. Danny Lantius
 Jefe de Laboratorio

En PINE COM ASIA PCA COLOMBIA S.A.S. contamos con acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 10-LAC-056, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017.
 Este certificado expresa fielmente el resultado de los ensayos y/o calibración, solamente para el instrumento descrito en este documento.
 Los resultados reportados se refieren al momento y condiciones en las cuales fueron realizados los ensayos y/o calibración.
 Este certificado no debe ser reproducido parcialmente, excepto en su totalidad y con aprobación escrita de PINE COM ASIA PCA COLOMBIA S.A.S.
 PINE COM ASIA PCA COLOMBIA S.A.S. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de este instrumento.

FIN DE ESTE DOCUMENTO Página 1 de 1

Dirección: Cra. 25 No 22C - 80 Bogotá D.C. - COLOMBIA
 Teléfono: (505) 4572633
 email: pinecoms.a@gmail.com

Anexo 6. Certificado de calibración de Flow Vision 2.0 - Alicat

LAB&SERVICE
• • • • Electrónica Especializada LTDA



ONAC
ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
11-LAC-027

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificado No.: CCF-450341395184440000-240645

Datos del Instrumento

Razón social: COAMB COLOMBIA LTDA

Dirección y Ciudad: Calle 27 A N° 27 - 53 Oficina 201, Bogotá D.C.

Datos del Instrumento

Instrumento: CALIBRADOR DE FLUJO

Fabricante: ALICAT SCIENTIFIC

Modelo: M-205LPM-D-089M

Número de serie: 450341-395184-440000

Datos del proceso de calibración

Registro único entrada: 240645

Fecha de recepción: 2024-05-24

Fecha de calibración: 2024-05-28

Fecha de emisión: 2024-05-29

El laboratorio es responsable de toda la información suministrada en este certificado, excepto cuando la información ha sido suministrada por el cliente durante cualquier etapa de la prestación del servicio, así mismo, de los puntos de calibración solicitados si es aplicable.

El usuario es responsable de la calibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

Los valores e incertidumbres asignadas corresponden al momento de la calibración, no considerándose la estabilidad a largo plazo del instrumento, y únicamente son válidos para el instrumento cuyos datos aparecen en esta página. El Laboratorio Lab & Service Electrónica Especializada Ltda., no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

A petición del usuario se expide el presente certificado con una vigencia de un (1) año a partir de la fecha de calibración del instrumento.

Revisó: KEC

Aprobó:



Firmado digitalmente por
Diana Lorena
Higuera Morantes

Directora Técnica Laboratorio de Calibración

CA-FT-019 WS / 2023-11-21 Página 1 de 2

Carrera 67 No. 167 - 61 Oficina 209 - Centro Empresarial Colina Office Park - Bogotá, Colombia
NIT 830.102.766-2 - Teléfonos: 601 768 7452 • 316 5211225
www.labserviceltlda.com - info@labserviceltlda.com

Anexo 7. Certificado de calibración de las termocuplas





CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE

SONIC 17025:2017
OF-LAC-036

LABORATORIO Laboratory	LABORATORIO DE METROLOGÍA TÉRMICA	NÚMERO: MET-CT-CC 48460
INSTRUMENTO Instrument	TERMOMETRO DIGITAL CON SENSOR TERMOPAR TIPO K	Number:
FABRICANTE Manufacturer	APEX INSTRUMENTS	
MODELO Model	872	
NÚMERO DE SERIE Serial number	RLTR	
CÓDIGO INTERIO Internal code	NO IDENTIFICADO / CAMPO*	
INTERVALO DE MEDICIÓN Measurement range	-20 °C A 300 °C	
INTERVALO DE CALIBRACIÓN Calibration range	100 °C A 250 °C	
RESOLUCIÓN Resolution	1 °C	
SOLICITANTE Customer	COASB COLOMBIA LTDA.	
DIRECCIÓN Address	CALLE 45 A No. 27 - 83 ORCINA 261 - BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA	
LUGAR DE CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO Calibration location	LABORATORIO DE TEMPERATURA DE METROLABOR LTDA.	
FECHA DE RECEPCIÓN DEL INSTRUMENTO Date of receipt	2025-02-03	
FECHA DE CALIBRACIÓN Date of Calibration	2025-02-04	
FECHA DE EMISIÓN DEL CERTIFICADO Certificate issuance date	2025-02-10	
NÚMERO DE PÁGINAS INCLUYENDO ANEXOS Number of pages and documents attached	DOS (2)	

1. CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA CALIBRACIÓN / ENVIRONMENTAL CONDITIONS DURING CALIBRATION

Temperatura del aire (T _a) / Air temperature (T _a)	22.2 ± 0.5
Humedad relativa (RH) / Relative humidity (RH)	40.3 ± 0.7
Presión atmosférica (P _{atm}) / Air pressure (P _{atm})	760 mmHg

Los datos suministrados de las condiciones ambientales, se refieren al momento y lugar en el que se realizaron las mediciones.
The data provided on the environmental conditions refer to the time and place where the measurements were made.

2. TRAZABILIDAD / TRACEABILITY

Los laboratorios de calibración de METROLABOR LTDA. garantizan que los resultados de medida de sus servicios de calibración son trazables metrologicamente, por medio de las calibraciones de los patrones a través de laboratorios acreditados en la norma ISO/IEC 17025:2017 a Institutos Nacionales de Metrología (NM), con una secuencia ininterumpida de calibraciones que permiten relacionar el resultado de medida al Sistema Internacional de Unidades (SI). Dichos servicios de calibración deben estar reconocidos por las Acciones LAC.

METROLABOR LTDA. calibration laboratories guarantee that the measurement results of their calibration services are metrologically traceable, through standard calibrations through laboratories accredited in the ISO / IEC 17025: 2017 standard or National Metrology Institutes (NMI), with an uninterrupted sequence of calibrations that allow the measurement result to be related to the International System of Units (SI). Such calibration services must be recognized by LAC agreements.

3. IDENTIFICACIÓN DEL PATRÓN DE REFERENCIA Y TRAZABILIDAD / REFERENCE IDENTIFICATION AND TRACEABILITY

Instrumento / Instrument	Temperatura de precisión digital con sensor tipo PT100 / Digital precision temperature with PT100 sensor	Temperatura / Temperature	Modelo / Model	Modelo / Model
Referente / Referent	Accurapac	80136434	1421146	AM170C-12
Certificado de Calibración / Calibration certificate No.	APX/CTCC 44636	Código interno / Internal code	LT 547	2025-04-02
Instrumento / Instrument	Temperatura de precisión digital con sensor tipo PT100 / Digital precision temperature with PT100 sensor	Temperatura / Temperature	80136434	1421147
Referente / Referent	Accurapac	Código interno / Internal code	LT 547	2025-04-02
Certificado de Calibración / Calibration certificate No.	APX/CTCC 44636	Código interno / Internal code	LT 547	2025-04-02
Instrumento / Instrument	Bloque metrologico digital / Digital metrology block	Temperatura / Temperature	814474	Modelo / Model
Referente / Referent	NIST	Código interno / Internal code	LT 513	2025-02-03
Certificado de Calibración / Calibration certificate No.	APX/CTCC 44636	Código interno / Internal code	LT 513	2025-02-03
Instrumento / Instrument	Termopar digital / Digital thermocouple	Temperatura / Temperature	80136434	1421148
Referente / Referent	LUT	Código interno / Internal code	LT 507	2025-02-15
Certificado de Calibración / Calibration certificate No.	Referente a la referencia / Referent to the reference	Código interno / Internal code	LT 507	2025-02-15

Firmas Autorizadas / Authorized Signatures



Firmado digitalmente por
GALINDO HOLGUIN
MARIO ANDRES

Director Técnico Mario A. Galindo H.
Revisado y Aprobado por / Reviewed and Approved by

Página 1 de 2

K0027-08-1
Versión: 05

Carrera 20A No. 33A - 45, piso 2 / Bogotá. ☎ 310 4770425 - 3105773130 - 3105303110 ✉ metrolabor@metrolabor.com.co www.metrolabor.com.co

Anexo 8. Certificado de calibración de las balanzas



METROLABOR



ONAC
ACREDITADO



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CALIBRATION CERTIFICATE

ISO/IEC 17025:2017
09-LAC-036

LABORATORIO: LABORATORIO DE MASA

INSTRUMENTO: BALANZA ANALÍTICA DIGITAL

FABRICANTE: SARTORIUS

MODELO: BP221 S

NÚMERO DE SERIE: 11903869

CÓDIGO INTERNO: L4002

RANGO DE MEDICIÓN: 0 g A 200 g

RANGO DE CALIBRACIÓN: 0 g A 200 g

RESOLUCIÓN: 0,0001 g

LUGAR DE CALIBRACIÓN: LABORATORIO

SOLICITANTE: COAMBI COLOMBIA LTDA

DIRECCIÓN: CALLE 45 A No. 27 - 50 OFICINA 201 - BOGOTÁ D.C. - COLOMBIA

FECHA DE RECEPCIÓN: 2025-04-22

FECHA DE CALIBRACIÓN: 2025-04-22

FECHA DE EMISIÓN: 2025-04-23

NÚMERO DE PÁGINAS INCLUYENDO ANEXOS: TRES (3)

NÚMERO: MET-LM-CC 21927

Resumen:

Este certificado expresa fehacientemente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido total o parcialmente excepto cuando haya obtenido permiso por escrito del laboratorio que lo emite. Los resultados expresados en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los posibles usos posteriores distintos del uso autorizado de los instrumentos calibrados. El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en las puntas o intervalos apropiados, o no está en grado de hacerlo como tal instrumento o los resultados emitidos en el presente documento.

The certificate truthfully expresses the result of the measurements. The certificate may not be partially or fully reproduced, except when you have obtained written permission from the issuing laboratory. The results contained in the certificate refer to the method and conditions under which measurements were made. The issuing laboratory assumes no responsibility for the misuse of the calibrated instrument. The user is responsible for the calibration of the instrument at the appropriate points and intervals, or for the use of the instrument for the intended use.

1. CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA CALIBRACIÓN / ENVIRONMENTAL CONDITIONS DURING CALIBRATION

Temperatura del aire (°C) / Air temperature	20.8	±	0.2	Los datos ambientales de las condiciones ambientales, se refieren al momento y lugar en el que se realizaron las mediciones. These provided environmental conditions, concern the time and place where the measurements were made.
Humedad Relativa (URH) / Humidity	40.5	±	0.4	
Presión atmosférica (kPa) / Atmospheric pressure	101.3	±	0.1	

2. TRAZABILIDAD METROLÓGICA / METROLOGICAL TRACEABILITY

Los laboratorios de calibración de METROLABOR LTDA garantizan que los resultados de medición de su servicio de calibración son trazables metrológicamente, por medio de las calibraciones de los patrones a través de laboratorios acreditados en la norma ISO/IEC 17025:2017 al Instituto Nacional de Metrología (INM), con una secuencia ininterrumpida de calibraciones que permitiera relacionar el resultado de medida al Sistema Internacional de Unidades (SI). Dichos servicios de calibración deben estar reconocidos por los acuerdos ILAC.

METROLABOR (LTD) calibration laboratories guarantee that the measurement results of their calibration services are metrologically traceable, through standard calibrations through laboratories accredited in the ISO / IEC 17025:2017 standard or national standards institute (INM), with an uninterrupted sequence of calibrations that allow the measurement result to be related to the international system of units (SI). Such calibration services must be recognized by ILAC agreement.

3.1. Identificación del patrón de referencia y trazabilidad / Reference weight identification and traceability

Clase de Pesa / Class	0.1 mg - 200 g	Código interno / inner code	LMB 655	Los datos ambientales de las condiciones ambientales, se refieren al momento y lugar en el que se realizaron las mediciones. These provided environmental conditions, concern the time and place where the measurements were made.
Certificado de Calibración / Calibration certificate no.	040 141524	Certificado vigente hasta / Certificate valid until	2025-04-20	
Instrumento / Instrument	Balanceo digital portátil	Código interno / inner code	LMB 646	

Certificado de Calibración / Calibration certificate no.	MET-LM-CC 23201	Código interno / inner code	LMB 646	Los datos ambientales de las condiciones ambientales, se refieren al momento y lugar en el que se realizaron las mediciones. These provided environmental conditions, concern the time and place where the measurements were made.
	MET-LM-CC 44612			
	MET-LM-CC 12153			

Firmas autorizadas
Authorized signatures



Metrología / Kevin Danilo Soto Nino
Calibrado por / Calibrated by

Firmado digitalmente por
GALINDO HOLGUIN MARIO ANDRES



Director Técnico Mario A. Galindo R.
Aprobado por / Approved by

Página 1 de 3

W020102.1
Versión 05

Camera 28A No. 38A - 45, piso 2 / Bogotá

310 4770425 - 3106773130 - 3106303110

metrologia@metrolabor.com.co

www.metrolabor.com.co

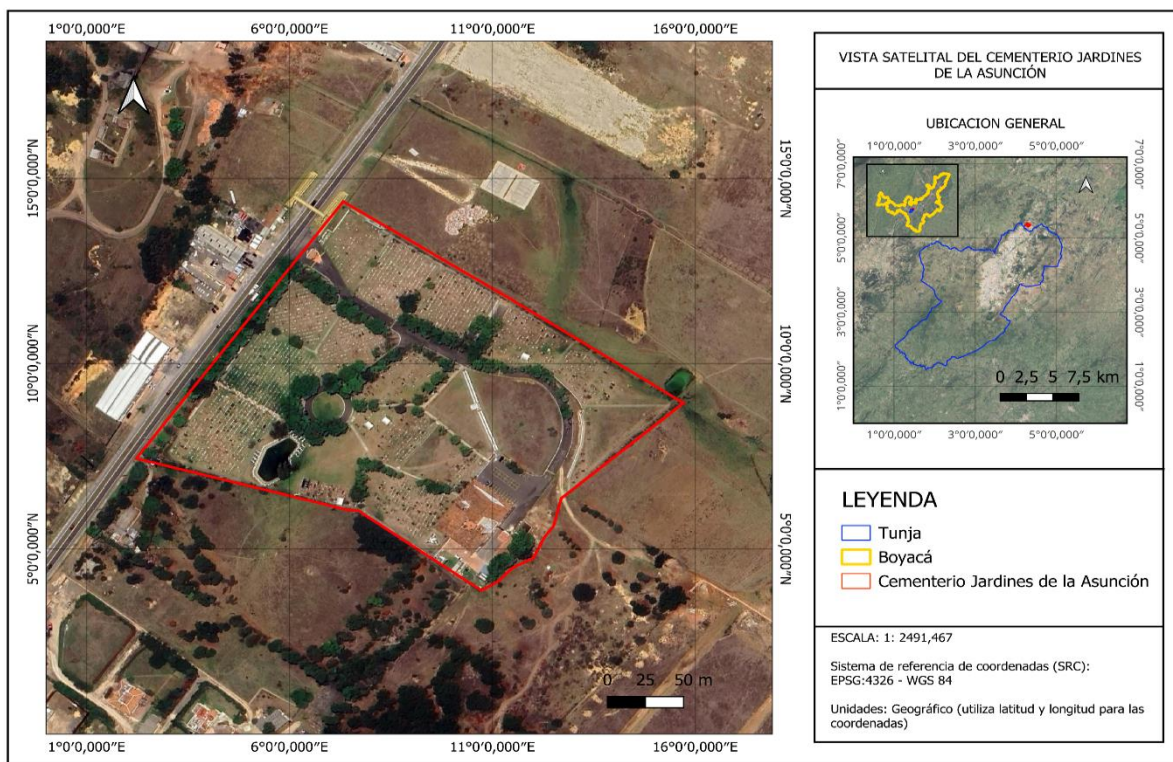
Anexo 9. Calibración del equipo isocinético

Parámetro	Equipo	Método de calibración	Resultado	Cumple
Orificio (ΔP)	Medidor de flujo	Comparación con patrón	$\pm 2 \%$	Sí
Termopar	Sensor temperatura	Baño térmico	$\pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Sí
Manómetro	Presión diferencial	Columna de agua	$\pm 2 \%$	Sí
Bomba de vacío	Caudal	Rotámetro patrón	Estable	Sí

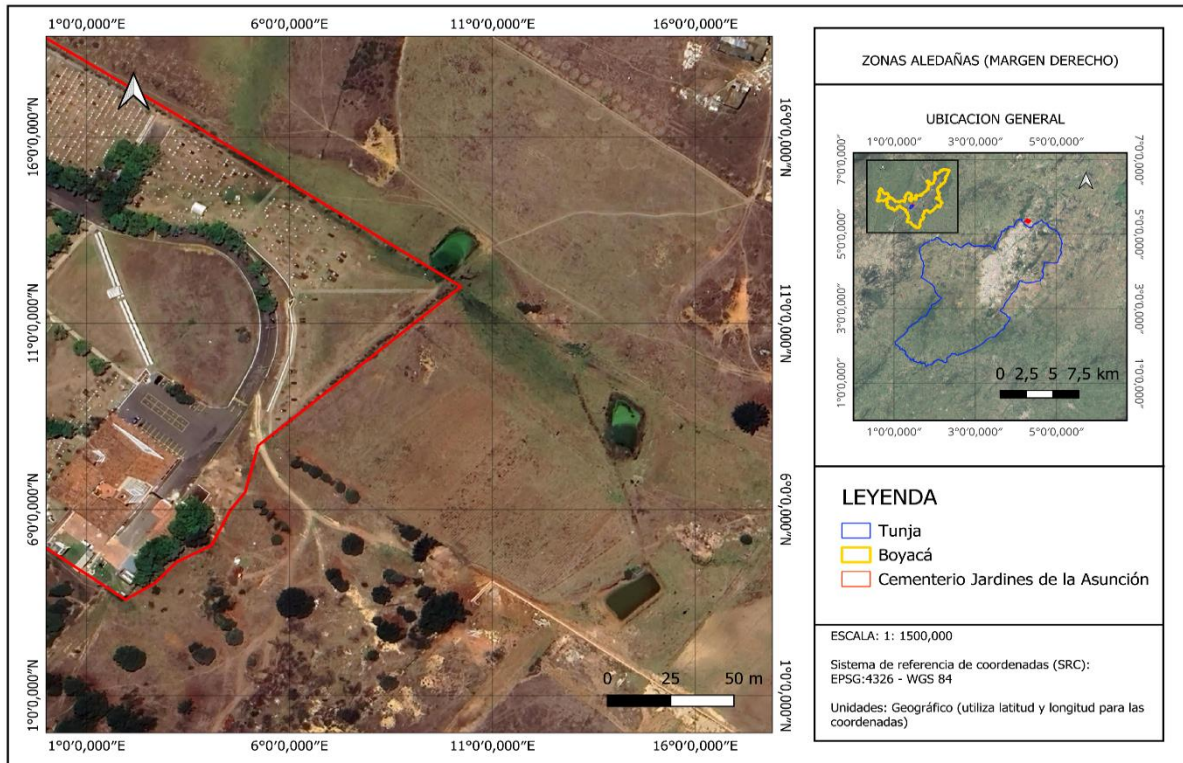
Nota. Elaboración propia, 2026

Anexo 10. Salidas Cartográficas

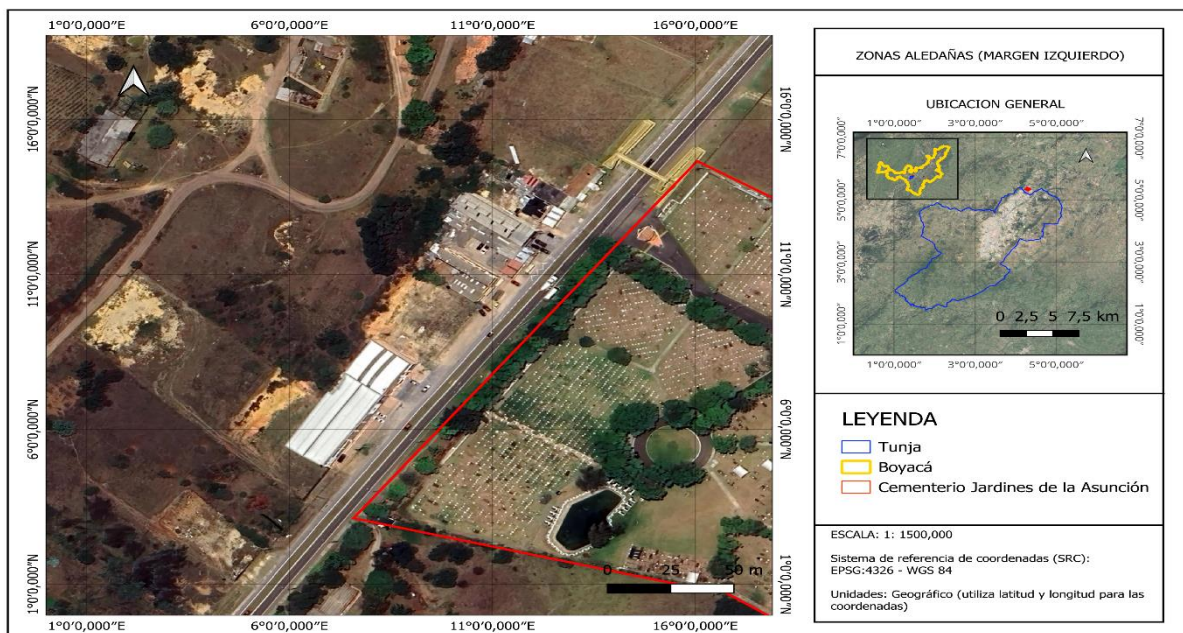
Vista satelital del Cementerio Jardines de la Asunción



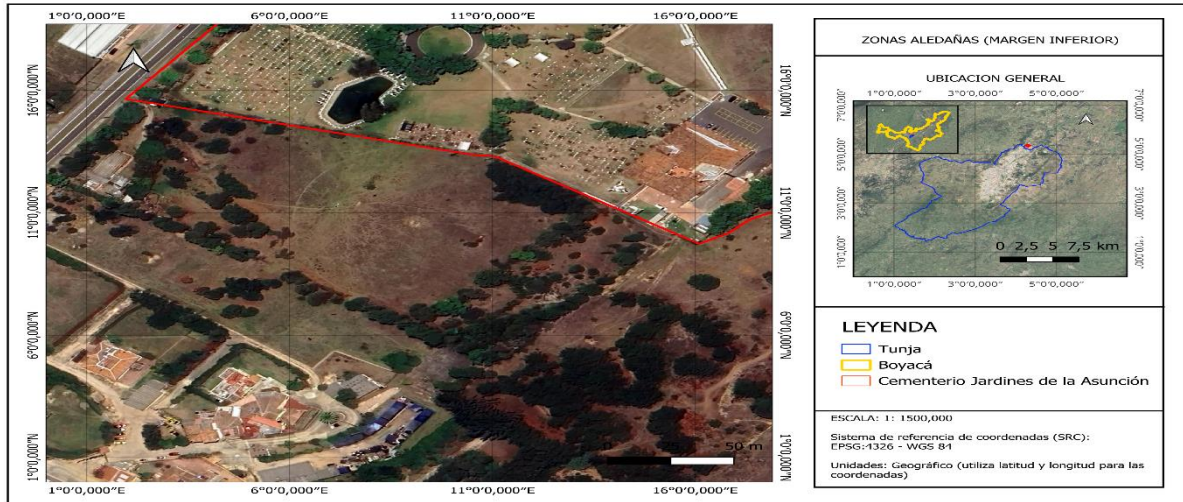
Zonas aledañas (Margen derecho)



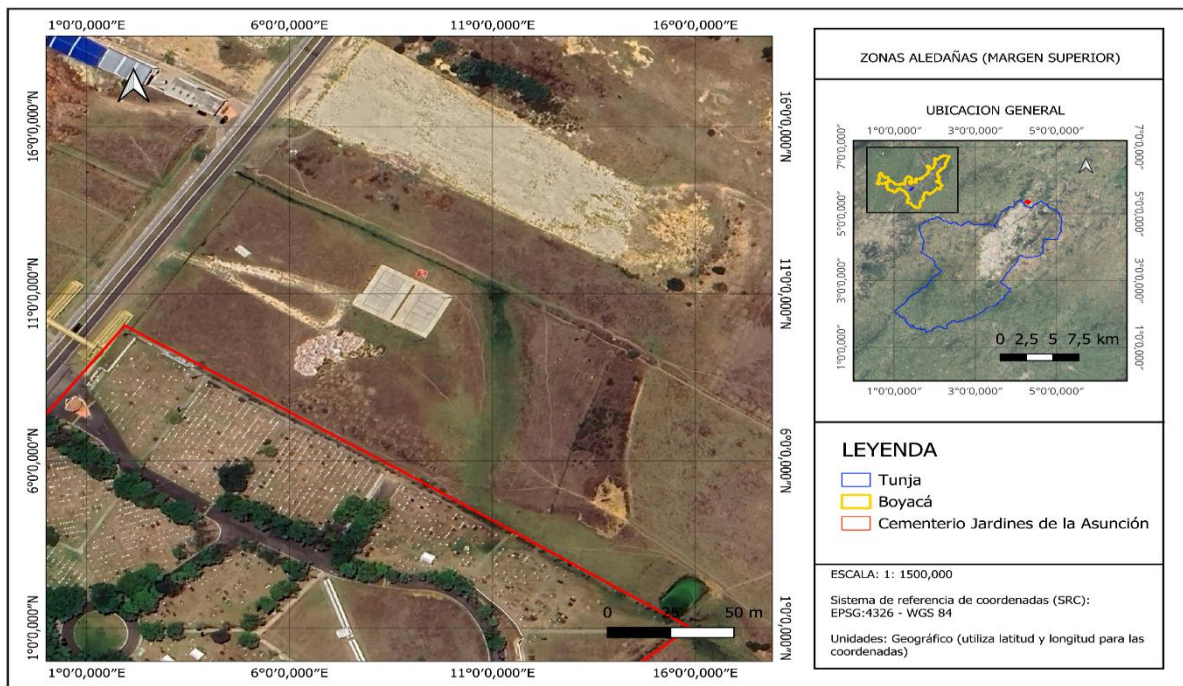
Zonas aledañas (Margen Izquierdo)



Zonas aledañas (Margen Inferior)



Zonas aledañas (Margen Superior)



Caracterización cartográfica de las condiciones ambientales, ecosistemas y servicios ecosistémicos en el área de influencia del horno crematorio del Parque Cementerio Jardines de la Asunción

