Para calcular la emisión de ruido, se debe calcular las diferencias aritméticas entre el nivel de presión sonora equivalente corregido y su correspondiente ruido residual, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 7-11. Diferencia aritmética ruido percibido total y el residual, total ponderados A, S, corregidos, por escenario de estudio.

Punto	$L_{RAeq,\ 1h,\ -}$ $L_{RAeq,1h,\ Residual}$	$L_{RAeq,\ 1h,\ -}$ $L_{RAeq,1h,\ Residual}$
RE1	7,1	2,3
RE2	12,7	2,7
RE3	21,4	18,7

Nota: Todos los datos en dB(A).
Fuente: Datos calculados por CIAN S.A.S., 2026.

De acuerdo a lo estipulado en el literal f del Capítulo I, Anexo 3 de la Resolución 627 de 2006, si la diferencia aritmética entre $L_{RAeq,\ 1h,}$ y $L_{RAeq,1h,\ Residual}$ es igual o inferior a 3dB(A), se deberá indicar que el nivel de ruido de emisión es del orden igual o inferior al ruido residual.

7.1.6. Cálculo de Aportes de las Fuentes de Emisión de Ruido

Con el fin de obtener la emisión de ruido de la zona de estudio, se calcula la diferencia logarítmica de la siguiente manera:

$$L_{eq,emisión} = 10 \times \log(10^{L_{RAeqT}/10} - 10^{L_{RAeqT,Residual}/10})$$

Sus resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7-12. Aporte de las fuentes de ruido, por escenario de estudio.

Punto	$L_{eq,emisión}$ Escenario Diurno	$L_{eq,emisión}$ Escenario Nocturno
RE1	71,0	52,0
RE2	59,0	55,4
RE3	70,7	64,0

Nota: Todos los datos en dB(A).
Fuente: Datos calculados por CIAN S.A.S., 2026.

Estos valores nos indican cuánto ruido le aportan las actividades y las fuentes de emisión muestreadas, al ambiente en el que se encuentran, que, en este caso, corresponde al proyecto Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

Los datos mostrados corresponden a los valores totales corregidos, para los puntos monitoreados, y son estos los que se comparan contra los estándares máximos permisibles establecidos por la legislación ambiental vigente.

7.2. INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES

Con el fin de evaluar el rango de validez de las medidas expresadas en el presente estudio, se utilizó la «Guía para expresar la incertidumbre en las medidas», también conocida como el método GUM[3], por sus siglas en inglés, donde se establece que la incertidumbre es el «parámetro asociado al resultado de una medida, que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mensurando», y la cual a su vez, fue la base para elaborar las recomendaciones contenidas en la norma ISO 1996-2, que establece: Identificar de manera clara el mensurando mediante una expresión cuantitativa (modelo matemático) que relacione el valor de éste con los parámetros a los que está asociado, determinar las fuentes de incertidumbre que afectan la expresión para el cálculo de resultados, las variables influyentes o los parámetros de entrada y establecer el tipo de distribución de las fuentes de incertidumbre.

7.2.1. Relación entre Resultados y Valores Recopilados

En términos del procedimiento de medición, al observar lo establecido en la Resolución 0627 de 2006 del MADS, se encuentra que las mediciones de emisión de ruido poseen una incertidumbre asociada, una a los datos recopilados durante el monitoreo y, por otra parte, a la precisión de lectura de los equipos de medición; pero adicionalmente se analizó la incertidumbre asociada inducida por el clima.

En cuanto a los valores recopilados durante el monitoreo de emisión de ruido, se tiene una sola lectura para cada punto por escenario; donde tales mediciones corresponden principalmente a los parámetros:

- Nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A, S, $L_{Aeq,T}$.
- Nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A, S, $L_{Aeq,T,Residual}$, o nivel percentil L_{90}.

[3] GUM, Guide to the Expression of Uncertainty In Measurement.

- Calibración del sonómetro a 114,0 dB, al inicio y fin de cada medición por punto.
- Velocidad máxima del viento durante cada medición por punto.

No obstante, en el presente estudio y como se explicó en la sección "Parámetros de medida", el ruido residual se midió como el L_{90}.

La precisión instrumental de los equipos de medición se estableció mediante la revisión detallada de las especificaciones técnicas del fabricante y los certificados de calibración vigentes, consignados en las hojas de vida de cada instrumento. A partir de dicha información metrológica, se identificaron y documentaron los valores de exactitud y/o tolerancias aplicables a cada equipo, los cuales fueron considerados en la estimación de la incertidumbre de medición.

Por su parte, las variables meteorológicas, estas se midieron durante el desarrollo del monitoreo con equipos apropiados para ello como la pantalla antiviento.

Es importante mencionar que, para calcular la incertidumbre los valores recopilados durante el monitoreo expresados en dB se convierten primero a una escala lineal para determinar el nivel combinado energético "L" debido a que la física del ruido es aditiva en energía y no en dB que es logarítmico; finalmente se devuelve al valor de dB.

7.2.2. Resultado del cálculo de la incertidumbre

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados de la incertidumbre, en donde se obtiene que los valores de ruido podrían variar entre estas magnitudes, con un rango de dispersión de entre más o menos el valor obtenido, y que dicho valor podría representar la incertidumbre de las mediciones como dicho rango de variación en la cual los datos pueden cambiar.

Tabla 7-13. Estimación de la incertidumbre expandida para las mediciones de emisión de ruido por cada escenario de medida

Punto	Incertidumbre Combinada (UC)		Incertidumbre Expandida (U_X)		$L_{eq\ emisión} \pm U_X$	
	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
RE1	0,59	0,59	1,18	1,18	71,0±1,2	52,0±1,2
RE2	0,59	0,59	1,18	1,18	59,0±1,2	55,4±1,2
RE3	0,59	0,59	1,18	1,18	70,7±1,2	64,0±1,2

Fuente: Datos calculados por CIAN S.A.S., 2026.

7.3. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

A continuación, se realiza el resumen de los niveles de emisión de ruido durante los horarios diurno y nocturno, en tres (03) puntos ubicados estratégicamente en el proyecto Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

Tabla 7-14. Resultados horario diurno

Jornada	Diurna
Lugar de medición:	Planta de Residuos Sólidos El Gaván.
Fecha:	27 y 28 de agosto de 2026.

Mediciones sonoras dadas en decibeles (dB), condiciones normales.

Punto	Hora inicio	Calibración inicial (dB)	Hora final	Calibración final (dB)	Nombre	Laeq, 1h	Laeq,1h, Residual	Leq, emisión
RE1	2026.08.27 10:43:19	114,0	2026.08.27 11:43:44	114,0	Trinchera	71,9	64,8	**71,0**
RE2	2026.08.28 12:14:06	114,0	2026.08.28 13:14:05	114,0	Malla Perimetral	59,2	46,5	**59,0**
RE3	2026.08.27 12:07:48	114,0	2026.08.27 13:07:50	114,0	Portería	70,7	49,3	**70,7**

Fuente: Trabajo de campo y datos calculados CIAN S.A.S., 2026.

Tabla 7-15. Resultados horario nocturno

Jornada	Nocturna
Lugar de medición:	Planta de Residuos Sólidos El Gaván.
Fecha:	27 y 28 de agosto de 2026.

Mediciones sonoras dadas en decibeles (dB), condiciones normales.

Punto	Hora inicio	Calibración inicial (dB)	Hora final	Calibración final (dB)	Nombre	Laeq, 1h	Laeq,1h, Residual	Leq, emisión
RE1	2026.08.27 21:15:32	114,0	2026.08.27 22:15:31	114,0	Trinchera	54,3	52,0	**50,4**
RE2	2026.08.28 21:24:17	114,0	2026.08.28 22:24:16	114,0	Malla Perimetral	58,1	55,4	**54,8**
RE3	2026.08.27 22:33:47	114,0	2026.08.27 23:33:46	114,0	Portería	64,1	45,4	**64,0**

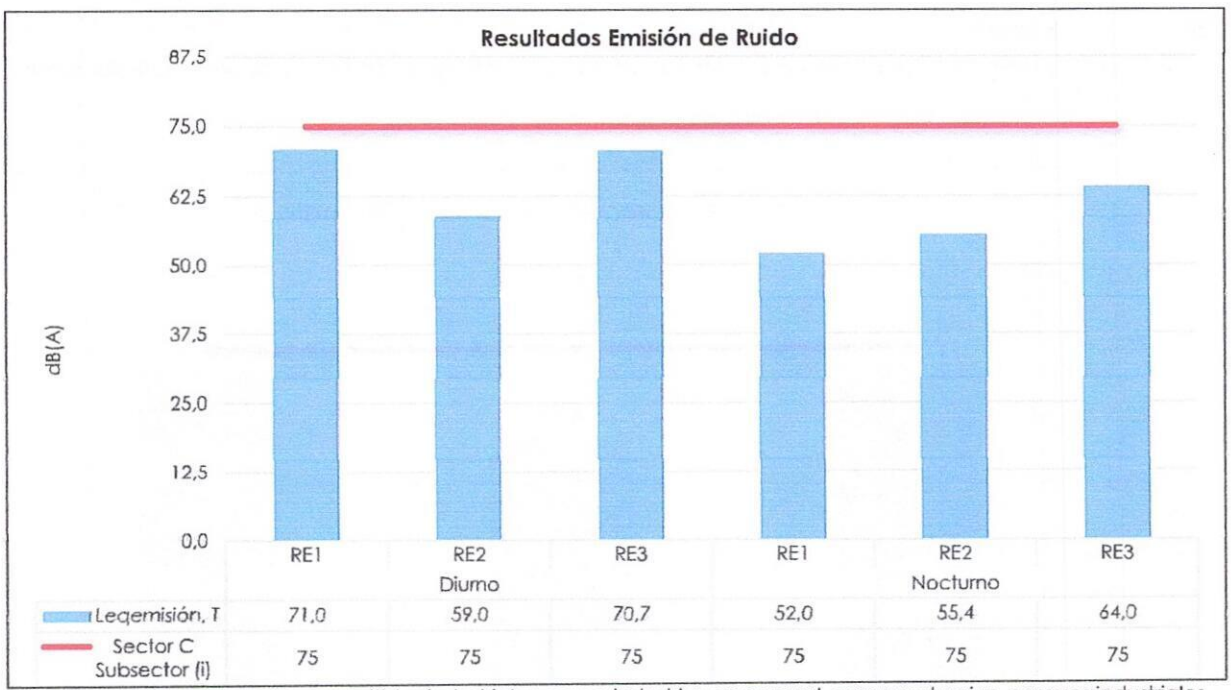
Fuente: Trabajo de campo y datos calculados CIAN S.A.S., 2026.

7.4. COMPARACIÓN CON LA NORMATIVIDAD VIGENTE

Los estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido establecidos en la Resolución 627 del 7 abril de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial que se aplican al presente análisis de datos, corresponden al sector C: Ruido intermedio restringido, subsector "Zonas con usos permitidos

industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas".

En las siguientes gráficas se ilustra el comportamiento de cada uno de los puntos monitoreados para emisión de ruido, para cada escenario y su cumplimiento normativo.



(i)Subsector "Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas"

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

Gráfica 7-1. Registro de datos compilados para cada punto de monitoreo vs. norma vigente

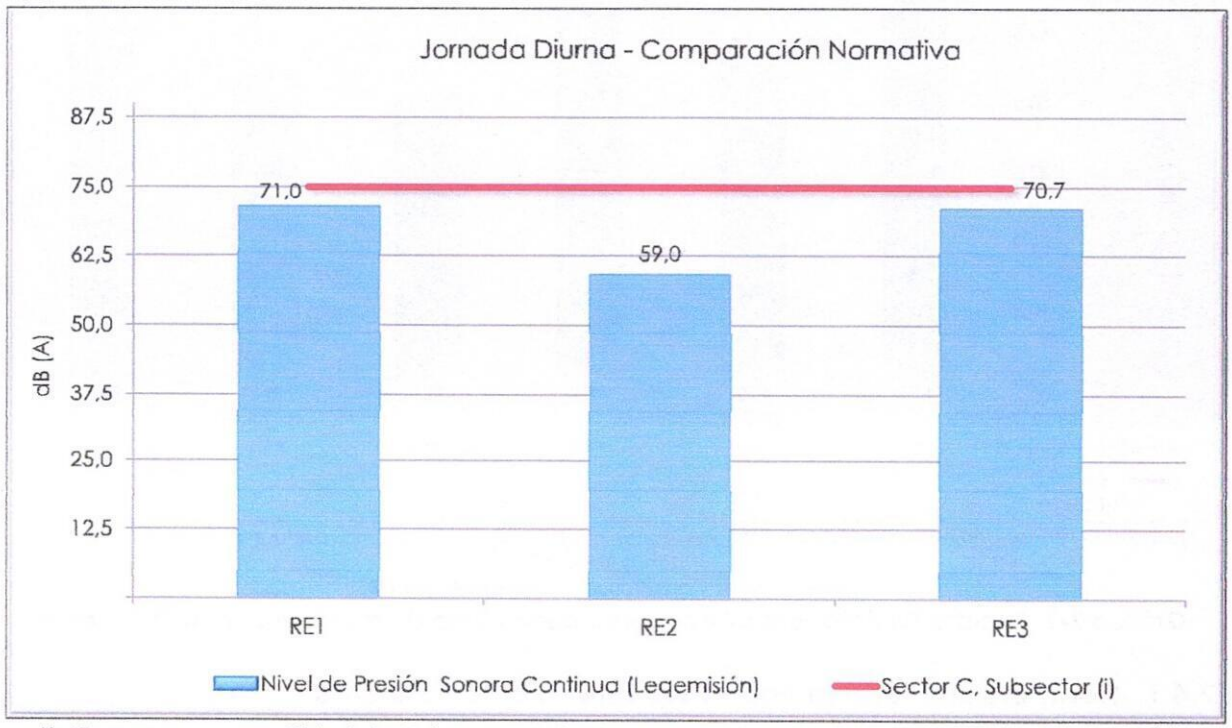
7.4.1. *Comparación con la norma vigente – Jornada Diurna*

Durante la jornada diurna se registraron niveles sonoros que oscilaron entre 59,0 dB y 71,0 dB, siendo el valor más alto el registrado en el punto RE1 (Trinchera). Todos los valores obtenidos se encontraron dentro del límite máximo permitido en la norma aplicable (75 dB), como se aprecia en la **Tabla 7-17** y en la **Gráfica 7-2**.

Tabla 7-16. Comparativo de los resultados de la jornada diurna con la norma vigente

Punto	Nombre	Nivel de presión sonora continua equivalente ponderado (dB)	Incertidumbre	Sector C. Ruido intermedio restringido. Subsector (i)		
				Límite de la Norma dB	Dentro de la norma	Excedencia (dB)
RE1	Trinchera	71,0	±1,2	75	SI	0,0
RE2	Malla Perimetral	59,0	±1,2	75	SI	0,0
RE3	Portería	70,7	±1,2	75	SI	0,0

(i): "Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas"
Fuente: Datos calculados CIAN S.A.S., 2026.



(i): "Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas"
Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

Gráfica 7-2. Comparación con la norma Jornada Diurna – Sector C

Este comportamiento se justifica por la ausencia de fuentes fijas generadoras de ruido y la incidencia de la actividad de los camiones recolectores y buldócer durante el muestreo.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que los resultados obtenidos en cada punto también se encontraron influenciados por fuentes externas como la fauna silvestre (principalmente aves) y el tránsito vehicular sobre la vía nacional en el caso del punto localizado en la Portería.

7.4.2. Comparación con la norma – Jornada Nocturna

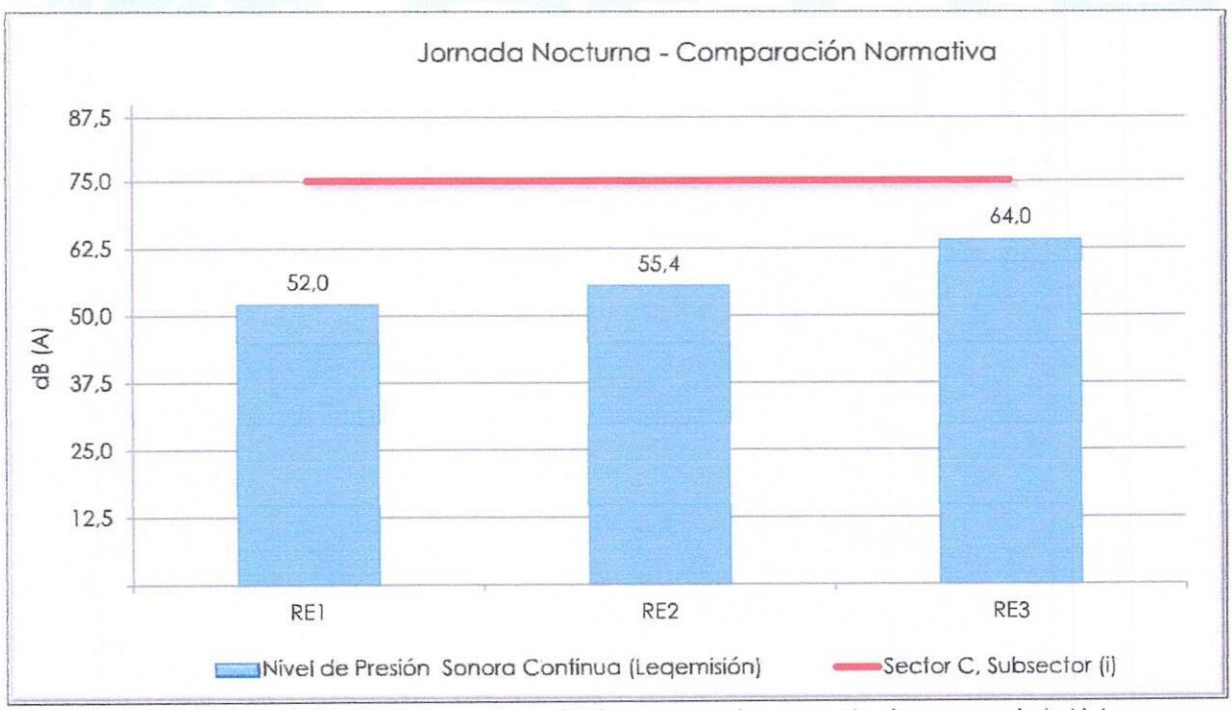
Durante la jornada nocturna se registraron niveles sonoros que oscilaron entre 52,0 dB y 64,0 dB, siendo el valor más alto el registrado en el punto RE3 (Portería), resultado que podría estar asociado con la incidencia de la presencia de fauna silvestre (grillos, sapos y perros) y la cercanía a la vía nacional.

Todos los valores obtenidos se encontraron dentro del límite máximo permitido en la norma aplicable (75 dB), como se aprecia en la **Tabla 7-18** y en la **Gráfica 7-3**.

Tabla 7-17. Comparativo de los resultados de la jornada nocturna con la norma vigente

Punto	Nombre	Nivel de presión sonora continua equivalente ponderado (dB)	Incertidumbre	Sector C. Ruido intermedio restringido. Subsector (i)		
				Límite de la Norma dB	Dentro de la norma	Excedencia (dB)
RE1	Trinchera	52,0	±1,2	75	SI	0,0
RE2	Malla Perimetral	55,4	±1,2	75	SI	0,0
RE3	Portería	64,0	±1,2	75	SI	0,0

(i): "Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas"
Fuente: Datos calculados CIAN S.A.S., 2026.



(i): "Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas"
Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

Gráfica 7-3. Comparación con la norma Jornada Nocturna - Sector C

Es importante establecer que los resultados obtenidos en las mediciones del horario nocturno se encuentran influenciadas por fuentes externas como la fauna silvestre (principalmente grillos y cigarras) y el tránsito vehicular sobre la vía nacional, ya que en este horario no se desarrollan actividades específicas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

8. CONCLUSIONES

El presente informe técnico corresponde al monitoreo de niveles de presión sonora para emisión de ruido en jornada diurna y nocturna; realizado en el área del proyecto Planta de Residuos Sólidos El Gaván, ubicado en jurisdicción del municipio de Paz de Ariporo, departamento de Casanare; efectuado los días 27 y 28 de agosto de 2026.

La zona específica estudiada para emisión de ruido corresponde al sector: Sector C. Ruido intermedio restringido. Subsector: (i) "Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas."; que, de acuerdo con los estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido, expresado en dB(A) en la Resolución 0627 de 2006, se establecen límites de 75 dB(A) para la jornada diurna y jornada nocturna.

Los datos se registraron en tres (03) puntos de medición, distribuidos de manera estratégica en el área de interés.

Con base en los resultados se puede observar que todos los puntos, tanto en la jornada diurna como en la jornada nocturna, son inferiores al límite establecido por la norma (75 dB), asociados en mayor medida con factores externos entre los que se destacan los sonidos generados por el paso vehicular de la vía nacional y por la presencia de fauna silvestre como aves, grillos y cigarras; por lo que es posible establecer el ruido generado por las actividades propias de la Planta de Residuos Sólidos, el cual funciona únicamente en horario diurno, no generan afectación significativa en su área de influencia.

9. BIBLIOGRAFÍA

ICONTEC - NTC GTC51. (1997). Guía para la Expresión de Incertidumbre en las Mediciones.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION. Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of sound pressure levels. ISO 1996-2. 2017

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION. Uncertainty Measurement – Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, GUM-1995. ISO/IEC GUIDE 98-3. 2008

República de Colombia. Resolución Número 627 del 07 de abril de 2006, de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS)

10. ANEXOS

Tabla 10-1. Relación de anexos

Anexo No.	Nombre del anexo	Contenido	Cantidad total de páginas
1	Reporte de resultados	LA-F-332_RESULTADOS_NPS_ER_3348	2
2	Certificados de Equipos	Calibrador (1 archivo)	6
		Estación meteorológica (1 archivo)	6
		Sonómetro (1 archivo)	9
3	Formatos de Campo	Formatos operativos OP-F-49, OP-F-50 y OP-F-51	8
4	Reporte de memorias	Diurno (3 archivos)	9
		Nocturno (3 archivos)	9
5	Memoria de cálculo	Archivo Excel	N.A.
6	Acreditación IDEAM	Resolución 0602 del 10 de mayo de 2023 Resolución 0356 del 27 de marzo de 2026	80

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

FIN DE INFORME

11. HISTÓRICO DE CAMBIOS

Tabla 11-1. Histórico de cambio

Código del informe técnico	Versión	Fecha	Descripción de la modificación	Elaboró	Revisó	Aprobó
INF_01_ER_C-2026-075	0	Septiembre de 2026	Versión inicial	Profesional Proyectos	Director Proyectos	Gerente

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

INFORME TÉCNICO DEL MONITOREO PARA LA DETERMINACIÓN DE BIOGAS (CH_4, CO_2, O_2, H_2S), EXPLOSIVIDAD, CAUDAL Y PARTÍCULAS AEROTRANSPORTABLES

INF_02_BG_C-2026-075[1]

PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS EL GAVÁN
EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS PAZ DE ARIPORO S.A. E.S.P.



Fuente: BETTA Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

MUNICIPIO DE PAZ DE ARIPORO
DEPARTAMENTO DE CASANARE
AGOSTO 2026

Paz de Ariporo S.A E.S.P
Acueducto Alcantarillado Aseo

[1] Informe válido únicamente para la(s) muestra(s) analizada(s). Se prohíbe la reproducción parcial o total de este informe técnico sin la autorización de BETTA Consultoría S.A.S. o el contratante. Para comprobar la autenticidad de este documento, comuníquese a la empresa citando el código del informe.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN 9
1.1 INFORMACIÓN EMPRESA SOLICITANTE DEL MONITOREO 9
1.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA ENCARGADA DE LA MEDICIÓN 9
1.3 EQUIPO EMPLEADOS PARA LAS MEDICIONES 9
2. INTRODUCCIÓN 11
3. OBJETIVOS 12
3.1 OBJETIVO GENERAL 12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
4. METOLOGÍA DE MEDICIÓN 13
4.1 MARCO CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y DE SEGURIDAD DEL BIOGÁS 14
4.1.1 Índice De Estabilidad Biológica (IEB) 14
4.1.2 Construcción del Índice de Riesgo de Combustión Interna 15
4.1.3 Metodología para la Estimación del Potencial Energético del Biogás 15
4.1.4 Índice de Fracción Metánica (FM) 17
4.1.5 Índice de Condición Operativa de la Chimenea (ICOT) 17
5. GENERALIDADES 21
5.1 PLANEACIÓN DEL MONITOREO 21
5.2 TIEMPO DE TOMA DE MUESTRA Y DURACIÓN DEL MUESTREO 21
5.3 CONTAMINANTES SOLICITADOS 22
5.4 CONDICIONES DE MONITOREO 24
5.5 DESCRIPCIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN 24
5.6 UBICACIÓN PUNTOS DE MONITOREO 25
5.7 FICHAS TÉCNICAS DEL MONITOREO 27
5.7.1 Chimenea CH-1 27
5.7.2 Chimenea CH-2 28
5.7.3 Chimenea CH-4 29
5.7.4 Chimenea CH-5 30
5.7.5 Chimenea CH-6 31
5.7.6 Chimenea CH-7 32
5.7.7 Chimenea CH-8 33
5.7.8 Chimenea CH-9 34
5.7.9 Chimenea CH-10 35
5.7.10 Chimenea CH-11 36
5.7.11 Chimenea CH-12 37
5.7.12 Chimenea CH-14 38
5.8 CRONOLOGÍA DEL MONITOREO 39
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS 40
6.1. CUMPLIMIENTO NORMATIVO 40
6.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS 40

6.2.1. *Resultados CH_4* 41
6.2.2. *Resultados CO_2* 42
6.2.3. *Resultados O_2* 43
6.2.4. *Resultados H_2S* 44
6.2.5. *Resultados % LEL Entorno* 45
6.2.6. *Resultados Caudal de los gases* 46
6.2.7. *Resultados Partículas Aerotransportables* 47
6.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS 48
6.3.1. *Representación gráfica de la medición de Metano, CH_4* 48
6.3.2. *Representación gráfica de la medición de Dióxido de Carbono, CO_2* 49
6.3.3. *Representación gráfica de la medición del Sulfuro de Hidrogeno H_2S* 50
6.3.4. *Representación gráfica de la medición de Partículas Aero transportables* .51
7. CONCLUSIONES **53**
8. BIBLIOGRAFIA **55**
9. ANEXOS **56**
10. HISTÓRICO DE CAMBIOS **57**

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-1. Información Empresa Solicitante Del Monitoreo 9
Tabla 1-2. Información de la empresa encargada de la medición 9
Tabla 1-3. Equipos utilizados 10
Tabla 2-1. Identificación estación monitoreo 11
Tabla 4-1. Factor de emisión - TEA 19
Tabla 4-2. Características Combustible 20
Tabla 4-3. Análisis del Biogás 20
Tabla 5-1. Frecuencia de monitoreo según categoría del relleno 22
Tabla 5-2. Contaminantes medidos 23
Tabla 5-3. Coordenadas de los puntos de muestreo 25
Tabla 5-4. Ficha Técnica Chimenea CH-1 27
Tabla 5-5. Ficha Técnica Chimenea CH-2 28
Tabla 5-6. Ficha Técnica Chimenea CH-4 29
Tabla 5-7. Ficha Técnica Chimenea CH-5 30
Tabla 5-8. Ficha Técnica Chimenea CH-6 31
Tabla 5-9. Ficha Técnica Chimenea CH-7 32
Tabla 5-10. Ficha Técnica Chimenea CH-8 33
Tabla 5-11.. Ficha Técnica Chimenea CH-9 34
Tabla 5-12. Ficha Técnica Chimenea CH-10 35
Tabla 5-13. Ficha Técnica Chimenea CH-11 36
Tabla 5-14. Ficha Técnica Chimenea CH-12 37
Tabla 5-15. Ficha Técnica Chimenea CH-14 38
Tabla 5-16. Cronograma de actividades. 39
Tabla 6-1. Resumen de Resultados Biogás Planta de Residuos Sólidos El Gaván 40

Tabla 9-1. Relación de anexos 56
Tabla 10-1. Histórico de cambio 57

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 6-1. Resultados Metano CH_4 – Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 41
Gráfica 6-2 Resultados Dióxido de Carbono CO_2 – Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 42
Gráfica 6-3 Resultados Oxigeno O_2 – Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 43
Gráfica 6-4 Resultados Sulfuro de hidrogeno, H_2S– Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 44
Gráfica 6-5 Resultados Limite de explosividad, LEL en el entorno de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 45
Gráfica 6-6 Resultados caudal de los gases– Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 46
Gráfica 6-7 Resultados partículas aerotransportables– Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 47
Gráfica 6-8 Representación gráfica de la medición de Metano, CH_4 en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 48
Gráfica 6-9 Representación gráfica de la medición de Dióxido de Carbono, CO_2 en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 49
Gráfica 6-10 Representación gráfica de la medición del Sulfuro de Hidrogeno del H_2S en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván 50
Gráfica 6-11 Representación gráfica de la medición de las Partículas Aero transportables en las chimeneas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván. 51

LISTA DE FIGURAS

Figura 5-1 Ubicación Geográfica de las fuentes fijas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván 26

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5-1: :Medición chimenea CH1 27
Fotografía 5-3:Medición entorno chimenea CH1 27
Fotografía 5-4: Chimenea CH1 27
Fotografía 5-5:Medición chimenea CH 2 28
Fotografía 5-6:Medición entorno chimenea CH 2 28
Fotografía 5-7: Chimenea CH 2 28
Fotografía 5-8:Medición chimenea CH 4 29

Fotografía 5-9:Medición entorno chimenea CH 4....29
Fotografía 5-10: Chimenea CH 4....29
Fotografía 5-11:Medición chimenea CH 5....30
Fotografía 5-12:Medición entorno chimenea CH 5....30
Fotografía 5-13: Chimenea CH 5....30
Fotografía 5-14:Medición chimenea CH 6....31
Fotografía 5-15:Medición entorno chimenea CH 6....31
Fotografía 5-16: Chimenea CH 6....31
Fotografía 5-17:Medición chimenea CH 7....32
Fotografía 5-18:Medición entorno chimenea CH 7....32
Fotografía 5-19: Chimenea CH 7....32
Fotografía 5-20:Medición chimenea CH 8....33
Fotografía 5-21:Medición entorno chimenea CH 8....33
Fotografía 5-22: Chimenea CH 8....33
Fotografía 5-23:Medición chimenea CH 9....34
Fotografía 5-24: Medición entorno chimenea CH 9....34
Fotografía 5-25: Chimenea CH 9....34
Fotografía 5-26:Medición chimenea CH10....35
Fotografía 5-27:Medición entorno chimenea CH10....35
Fotografía 5-28: Chimenea CH10....35
Fotografía 5-29:Medición chimenea CH11....36
Fotografía 5-30:Medición entorno chimenea CH11....36
Fotografía 5-31: Chimenea CH11....36
Fotografía 5-32:Medición chimenea CH12....37
Fotografía 5-33:Medición entorno chimenea CH12....37
Fotografía 5-34: Chimenea CH12....37
Fotografía 5-35:Medición chimenea CH14....38
Fotografía 5-36:Medición entorno chimenea CH14....38
Fotografía 5-37: Chimenea CH14....38

GLOSARIO

Biogás: Se denomina biogás al gas que se obtiene a partir de la descomposición de desechos de tipo orgánico por vía anaerobia (es decir, sin oxígeno). Este proceso es desarrollado por bacterias.

Analizador: Equipo instrumental necesario para realizar análisis del aire ambiente mediante el uso de las propiedades físicas y químicas y que da señales de salida cíclicas o puntuales.

Metano (CH_4): Gas incoloro, inodoro y muy inflamable, más ligero que el aire, que en la naturaleza se produce por la descomposición de la materia orgánica.

Ácido sulfhídrico (H_2S): es un gas incoloro inflamable, de sabor algo dulce y olor a huevos podridos; en altas concentraciones puede ser venenoso.

Límite inferior de explosividad (LEL): Concentración mínima de un gas combustible cuando se mezcla con aire donde puede ocurrir una explosión. Esta concentración se expresa en % de volumen. En los instrumentos de gases combustibles utilizados para detectar atmósferas explosivas, la concentración se expresa como factor de porcentaje del punto de LEL. Una lectura de LEL de 100 % corresponde al porcentaje de concentración de volumen en el que puede ocurrir la combustión.

Dióxido de carbono (CO_2): Es un gas incoloro e inodoro compuesto por un átomo de carbono y dos de oxígeno en enlaces covalentes. Realmente el CO_2 forma parte de la naturaleza y es indispensable para la vida en la Tierra.

Calibración: Conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición o valores representados por una unidad de medida y los valores conocidos correspondientes a una medición.

Concentración de una Sustancia en el Aire: Es la relación que existe entre el peso o el volumen de una sustancia y la unidad de volumen de aire en la cual está contenida.

Condiciones de Referencia: Son los valores de temperatura y presión con base en los cuales se fijan las normas de calidad del aire y de las emisiones, que respectivamente equivalen a 25°C y 760 mm Hg (1 atmósfera de presión).

Contaminación atmosférica: Es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes: Fenómenos físicos o sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, causantes de efectos adversos en el medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana que, solos o en combinación, o como productos de

reacción, se emiten al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de estas.

Emisión: Es la descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.
Emisión fugitiva: Es la emisión ocasional de material contaminante.

Excedencia: representación numérica para cada episodio que por contaminante supera el límite normativo correspondiente

Relleno sanitario: *se denomina relleno sanitario al espacio donde se depositan los* residuos sólidos de una ciudad después de haber recibido determinados tratamientos. Para impedir que se contamine el subsuelo, se impermeabiliza el terreno con polietileno de alta densidad u otra sustancia y se coloca arcilla.

Fuente fija: Es la fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Gestión de residuos sólidos orgánicos: Proceso que comprende el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.

Límite de detección: Es el valor inferior del intervalo de variación de una característica (como la concentración) que un procedimiento que utiliza un método de medición específico puede discernir.

Monitoreo: En el sentido más amplio de la palabra, medición repetida para seguir la evolución de un parámetro durante un período de tiempo.

Validación: Proceso que permite determinar si los datos resultantes de la etapa de monitoreo son confiables, representativos y de calidad, acopiando e inspeccionando mediante evidencia objetiva que confirme que los requerimientos específicos del uso final de los datos han sido cumplidos

LISTA DE ABREVIATURAS

°T:	Temperatura
°Ta:	Temperatura Ambiente
CH_4:	Metano
ppm:	Partes por millón
O_2:	Oxigeno
CO_2:	Dióxido de Carbono
LEL:	Límite inferior de explosividad
H_2S:	Sulfuro de Hidrogeno
Pb:	Presión Barométrica
Vs:	Velocidad promedio del Gas
Qs:	Flujo Volumétrico seco

1. RESUMEN

1.1 INFORMACIÓN EMPRESA SOLICITANTE DEL MONITOREO

Tabla 1-1. Información Empresa Solicitante Del Monitoreo

NOMBRE DEL CONTRATANTE	EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE PAZ DE ARIPORO S.A E.S.P.
NIT.	844.001.357-0
CONTRATO	Contrato Prestación de Servicios No 101.191.054 del 18 de agosto de 2026
OBJETIVO DEL CONTRATO	Realizar los monitoreos ambientales requeridos en la Planta El Gaván, de conformidad con las obligaciones establecidas por Corporinoquia bajo la Resolución No. 500.36.18.1262, mediante la cual se otorgó la licencia ambiental para la operación del relleno sanitario del municipio de Paz de Ariporo

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

1.2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA ENCARGADA DE LA MEDICIÓN

Tabla 1-2. Información de la empresa encargada de la medición

Nombre de la Organización	Betta Consultoría Ambiental S.A.S.
NIT.	901.271.047-6
Dirección	Calle 23g #82-77 Modelia Occidental
Teléfono	321 9106659
Correo electrónico	dir.administrativo@bettaconsultoria.co.

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

1.3 EQUIPO EMPLEADOS PARA LAS MEDICIONES

Equipo(s) utilizado(s): Optima 7 analizador portátil instrumental optimizado para la determinación de compuestos de Biogás.

Tabla 1-3. Equipos utilizados

Equipo utilizado	Especificaciones	ID y Fecha de calibración
	Optima 7 es un potente analizador de mano adecuado para biogás así como para las mediciones de motores de cogeneración de gases de combustión. Es capaz de medir simultáneamente hasta 7 componentes de gas. - Medición de biogás: O_2, H_2S, CH_4 y CO_2 (infrarrojos para CO_2/CH_4) - Medición estándar de O_2 con celda de larga duración (aprox. Vida útil estimada de 4 a 5 años: carcasa moderna de línea delgada con imanes de montaje seguro en la parte trasera para un funcionamiento resistente a las caídas.	ID: E0-52 Serie: 359045 Fecha de calibración: Diciembre 01 de 2025

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

2. INTRODUCCIÓN

El presente documento se refiere al monitoreo de caudales y concentración de biogás en chimenea que establece la Resolución 938 de 2019 y la Decreto 1784 de 2017, adicionalmente la Resolución 500.36 18 1262 de 2018 donde se otorga la licencia ambiental, como lo son el caudal y concentración de Biogás (Metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2), límite de explosividad (LEL), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y partículas aerotransportables en los puntos establecidos en el área de influencia de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, ubicada en el municipio de Paz de Ariporo, departamento de Casanare.

Dicho estudio está contemplado en la fecha del 29 de agosto de 2026, tomando las mediciones por contaminante monitoreado.

A continuación, se presenta la información general de la estación monitoreada.

Tabla 2-1. Identificación estación monitoreo

Lugar de *Monitoreo*	Ubicación	Altitud *msnm*	Coordenadas origen único nacional		Parámetros Medidos
			N	E	
Sitio de disposición final Planta de Residuos sólidos El Gaván	Localizado en el predio El Cerrojo, vereda El Muese, del Municipio de Paz de Ariporo, departamento del Casanare.	321	2201634,181	5118345,503	Caudal CH_4 CO_2 O_2 LEL H_2S Partículas Aero Transportables Kg/h

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

En cumplimiento con los requerimientos del Artículo 3. (Monitoreo e instrumentación) de la Resolución 938 de 2019, frente a los parámetros de Monitoreo de Caudales y Concentración de Biogás en Chimeneas Resolución 500.36 18 1262 de 2018 de Corporinoquía y de la actividad de disposición final.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el monitoreo del caudal y de la concentración de biogás, en los puntos establecidos en el área de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, ubicada en el municipio de Paz de Ariporo, departamento del Casanare, operada por la Empresa de Servicios Públicos Paz de Ariporo S.A. E.S.P, para el mes de agosto de 2026.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las concentraciones de biogás (metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2)), límite de explosividad (LEL), sulfuro de hidrogeno (H_2S), partículas aerotransportables y el caudal, mediante la ejecución de un monitoreo de biogás.

- Verificar el cumplimiento normativo para la medición de la concentración de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y oxígeno (O_2), límite de explosividad (LEL), sulfuro de hidrogeno (H_2S) y partículas aerotransportables en las 12 chimeneas monitoreadas en la planta de residuos sólidos.

- Verificar el cumplimiento de la determinación del caudal de cada una de las chimeneas presentes en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

- Dar cumplimiento al monitoreo de biogás según lo contemplado en la Resolución 500.36 18 1262 de 2018 de Corporinoquia.

4. METOLOGÍA DE MEDICIÓN

La medición de oxígeno (O_2) se fundamenta en los lineamientos técnicos establecidos en la norma **ISO 12039 – Determination of oxygen and carbon monoxide — Instrumental method**, aplicable a métodos instrumentales extractivos en fuentes estacionarias.

La determinación de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) se realizó mediante tecnología NDIR, basada en absorción selectiva en el espectro infrarrojo, técnica reconocida internacionalmente para medición de gases de combustión y gases de proceso.

La medición de sulfuro de hidrógeno (H_2S) se efectuó mediante sensor electroquímico selectivo, cuyo principio se basa en reacción electroquímica proporcional a la concentración del gas presente en la muestra.

La extracción de muestra se realizó mediante sistema extractivo compuesto por:

- Sonda de muestreo en acero inoxidable
- Línea de conducción
- Trampa de condensados
- Filtro de partículas

Este acondicionamiento garantiza representatividad y evita interferencias por humedad o material particulado.

- **Medición de temperatura del biogás**

La temperatura del gas se determinó mediante termocupla tipo K integrada en la sonda del analizador portátil, El principio de medición se basa en la generación de fuerza electromotriz proporcional a la diferencia de temperatura entre la unión caliente y la unión de referencia (efecto Seebeck).

- **Medición de velocidad del gas**

La velocidad del biogás se determinó mediante medición de presión diferencial utilizando tubo tipo Pitot integrado al sistema del equipo. El principio se basa en la relación entre presión dinámica y velocidad del fluido, conforme a la ecuación de Bernoulli:

$$V=\rho 2\Delta P$$

donde:

- V = velocidad del gas (m/s)
- ΔP = presión diferencial medida (Pa)
- ρ = densidad del gas (kg/m^3)

La determinación instrumental de velocidad mediante tubo Pitot es consistente con metodologías internacionalmente aceptadas para fuentes estacionarias, tales como:

- EPA Method 2 – Determination of stack gas velocity and volumetric flow rate
- ISO 10780 – Measurement of velocity and volume flowrate in ducts

En aplicaciones de biogás en tuberías o ductos, el valor reportado corresponde a la velocidad puntual medida en el eje de flujo o en punto representativo del conducto.

- **Aseguramiento metrológico**

El equipo utilizado cuenta con certificado de calibración vigente emitido por laboratorio acreditado bajo ISO/IEC 17025, con trazabilidad a patrones nacionales e internacionales y reporte de incertidumbre expandida (k=2), garantizando la confiabilidad metrológica de las mediciones realizadas.

Las lecturas reportadas corresponden a valores promedio una vez alcanzada la estabilización del sistema de medición en cada punto evaluado.

4.1 MARCO CONCEPTUAL PARA LA EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y DE SEGURIDAD DEL BIOGÁS

4.1.1 Índice De Estabilidad Biológica (IEB)

El Índice de Estabilidad Biológica (IEB) es un indicador compuesto diseñado para evaluar el estado biológico del relleno sanitario, integrando variables representativas de la actividad metanogénica, las condiciones anaerobias, la actividad bioquímica interna y la presencia de procesos oxidativos.

Este índice permite identificar si la masa de residuos se encuentra en condiciones de metanogénesis estable, transición, inestabilidad o colapso biológico.

A partir del cálculo del Índice de Estabilidad Biológica (IEB), se clasificaron las chimeneas en cinco estados biológicos:

- Metanogénesis estable: Relleno maduro con captación eficiente de biogás.
- Estable: Operación adecuada del sistema de captación.
- Transición: Requiere ajustes de vacío y/o revisión de sellos.
- Inestable: Presencia de aireación parcial o inhibición biológica.
- Crítico: Oxidación, fugas o colapso biológico del sistema.

Los resultados evidencian que:

- Un grupo de chimeneas presenta IEB altos, asociados a procesos metanogénicos consolidados y condiciones anaerobias adecuadas.
- Un número importante de chimeneas se ubica en estados de transición e inestabilidad, reflejando la necesidad de ajustes operativos.

- Algunas chimeneas presentan IEB bajos, asociados a aireación, oxidación o posible inhibición biológica.

La interpretación técnica del IEB permitió asociar estos estados con el comportamiento del relleno, desde relleno maduro con captación eficiente hasta condiciones de oxidación, fugas o colapso biológico local.

4.1.2 Construcción del Índice de Riesgo de Combustión Interna

Con el fin de integrar las variables evaluadas en un único criterio cuantitativo, se construyó un índice de riesgo numérico adimensional, con valores entre 0 y 100, el cual pondera principalmente la influencia del oxígeno, el monóxido de carbono y la temperatura, como variables determinantes del riesgo de combustión interna.

El índice fue diseñado de manera que valores crecientes representen un aumento progresivo del riesgo, permitiendo la comparación entre distintos puntos de monitoreo y el seguimiento temporal del comportamiento del sistema.

Clasificación del riesgo

A partir del valor del índice de riesgo obtenido, se establecieron tres niveles de riesgo:

- Riesgo bajo: índice < 40
- Riesgo medio: índice entre 40 y 69
- Riesgo alto: índice ≥ 70

Esta clasificación fue complementada mediante un sistema de semáforo (verde, amarillo y rojo), con el fin de facilitar la interpretación de los resultados y priorizar la toma de decisiones operativas.

Definición de acciones operativas

Cada nivel de riesgo identificado fue asociado a una acción operativa recomendada, orientada a la prevención y control de eventos de combustión interna:

- Riesgo bajo: mantenimiento de las condiciones actuales de operación y continuidad del monitoreo rutinario.
- Riesgo medio: revisión del sistema de captación, ajuste del caudal de extracción, inspección de sellos y aumento de la frecuencia de monitoreo.
- Riesgo alto: intervención inmediata del punto afectado, reducción o suspensión temporal de la extracción, sellado de puntos de ingreso de aire y monitoreo continuo hasta la estabilización de las condiciones.

4.1.3 Metodología para la Estimación del Potencial Energético del Biogás

La estimación del potencial energético del biogás se realizó a partir de los parámetros medidos en campo y laboratorio, considerando principalmente la **composición del gas**

y el caudal volumétrico, los cuales determinan la energía disponible para un eventual aprovechamiento.

Determinación del poder energético del biogás

El poder energético del biogás se calculó en función del contenido volumétrico de metano (CH_4), dado que este es el principal componente combustible del biogás. Para ello, el porcentaje de metano medido (% v/v) fue convertido a fracción volumétrica y multiplicado por el poder calorífico inferior (PCI) del metano, adoptando un valor de referencia de 9,94 kWh/m³ de CH_4, ampliamente utilizado en evaluaciones técnicas de biogás.

El poder energético del biogás se expresó en términos de energía por unidad de volumen (kWh/m³), de acuerdo con la siguiente relación:

PCI_biogás (kWh/m³) = Fracción de CH_4 × 9,94

Estimación de la energía disponible

La energía disponible fue estimada a partir del caudal volumétrico de biogás medido (m³/h), multiplicado por el poder energético del biogás obtenido, lo que permitió calcular la energía teórica horaria (kWh/h) asociada al flujo de gas evaluado.

Este valor representa el potencial energético teórico, es decir, la energía máxima contenida en el biogás bajo las condiciones de composición y caudal registradas.

Enfoque del análisis energético

Con el fin de diferenciar entre un análisis puramente diagnóstico y uno orientado a escenarios de aprovechamiento, se definieron dos tipos de análisis:

- Análisis teórico: considera el 100 % de la energía contenida en el biogás, sin aplicar factores de eficiencia, y es utilizado para caracterizar el potencial energético del sitio desde un enfoque ambiental y técnico.
- Análisis de aprovechamiento: corresponde a un escenario hipotético de generación eléctrica, en el cual se aplica una eficiencia de conversión eléctrica de referencia del 35 %, representativa de sistemas convencionales de generación a partir de biogás.

El tipo de análisis seleccionado determina la energía finalmente reportada y utilizada para la clasificación del potencial energético.

Clasificación del potencial energético

Con base en la energía horaria estimada (kWh/h), el potencial energético del biogás fue clasificado de manera cualitativa en tres categorías:

- Bajo: < 50 kWh/h
- Medio: entre 50 y 150 kWh/h
- Alto: > 150 kWh/h

Esta clasificación permite una interpretación rápida del potencial energético del sitio y facilita la comparación entre puntos de monitoreo o periodos de evaluación, así como la identificación de zonas con mayor viabilidad para un eventual aprovechamiento energético.

4.1.4 Índice de Fracción Metánica (FM)

El Índice de Fracción Metánica (FM) es un indicador de la calidad del biogás, que representa la proporción de metano respecto al contenido total de gases mayoritarios (metano y dióxido de carbono). Este índice permite evaluar el grado de madurez del proceso anaerobio y la eficiencia potencial de la captación de biogás.

Interpretación técnica

- Valores elevados de FM indican un proceso metanogénico consolidado.
- Valores bajos de FM pueden asociarse a etapas de transición, aireación o inhibición biológica.

El índice FM se utiliza de forma complementaria al IEB y como variable clave en el diagnóstico cruzado de las chimeneas.

4.1.5 Índice de Condición Operativa de la Chimenea (ICOT)

El diagnóstico cruzado entre el IEB, la fracción metánica (FM) y la concentración de oxígeno (O_2) permitió determinar el Índice de Condición Operativa de la chimenea (ICOT).

A partir de este análisis, las chimeneas fueron clasificadas en las siguientes condiciones operativas:

- Chimeneas óptimas, caracterizadas por alta estabilidad biológica, buena calidad del biogás y ausencia significativa de oxígeno.
- Chimeneas en ajuste, que presentan estabilidad parcial, pero requieren optimización del vacío o revisión de sellos.
- Chimeneas aireadas o con fugas, identificadas principalmente por concentraciones elevadas de oxígeno.
- Chimeneas con inhibición biológica, asociadas a bajos valores de IEB y pobre desempeño metanogénico.

Este diagnóstico cruzado permitió identificar de forma clara las chimeneas prioritarias para intervención operativa.

- Para la determinación de las partículas Aero transportables se realiza por un factor de emisión es un valor representativo que se relaciona con la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera por una actividad específica. Estos factores son usualmente expresados como el peso de un contaminante dividido en una unidad de peso, volumen, distancia, o duración de la actividad que emite el contaminante (ej., kilogramos de partículas emitidas por gramo de carbón quemado). Tales factores facilitan la estimación de las emisiones y en la mayoría de los casos, los factores son simples promedios de datos disponibles y usualmente se asume que son representativos para la fuente evaluada.

  La ecuación general de un factor de emisión está dada por:

  E = A x EF x (1-ER/100)
  Dónde: E = emisiones,
  A = nivel de actividad,
  EF = factor de emisión, y
  ER = eficiencia del sistema de control, %.

La calidad del factor de emisión está determinada por la fuente o referencia bibliográfica ya que si por ejemplo este fue determinado a través de un promedio histórico de datos de fuentes la calidad sería menor a que si se estimara a través de balances de materia y modelos matemáticos.

Para la estimación de los factores se consideran dos pasos principales: Primero, relacionado con la calidad de los datos sobre los cuales se estiman los factores y segundo relacionado con la capacidad de que el factor permanezca como un factor de emisión promedio de aplicación nacional para la fuente de interés.

Las pruebas de calidad de los datos están clasificadas de la A a la D como sigue:
A = Las pruebas fueron realizadas por una metodología reconocida y son reportadas con suficiente detalle para una validación adecuada.
B = Las pruebas son realizadas por una metodología reconocida, pero falla en datos suficientes para una adecuada validación.
C = Las pruebas son realizadas en una no aprobada o nueva metodología, o falla en una cantidad significante de información de las fuentes.
D = Las pruebas son basadas en un método general no aprobado, pero el método un orden de magnitud en la estimación del factor.

La representatividad de la calidad del factor está clasificada de la A a la E como se muestra a continuación:

Excelente. El factor es desarrollado de una prueba de calidad de datos clasificada como A o B a partir de muchas fuentes de datos al azar en la población industrial. Por lo tanto, el grupo de fuentes muestreado es suficientemente específica para minimizar la variabilidad.

Sobre el promedio. El factor es desarrollado de una prueba de calidad de datos clasificada como A o B a partir de un número razonable de fuentes. Sin embargo, no se evidencia una desviación típica, y no es claro si las pruebas representan una muestra aleatoria del tipo de industria. Así como la clasificación A, el grupo de fuentes muestreado es suficiente para minimizar la variabilidad.

Promedio. El factor es desarrollado de una prueba de calidad de datos clasificada como A, B y/o C a partir de un número razonable de fuentes. Sin embargo, no se evidencia una desviación típica, y no es claro si las pruebas representan una muestra aleatoria del tipo de industria. Así como la clasificación A, el grupo de fuentes muestreado es suficiente para minimizar la variabilidad.

Por debajo del promedio. El factor es desarrollado de una prueba de calidad de datos clasificada como A, B y/o C a partir de un pequeño número de fuentes, y puede haber razones para sospechar que las fuentes referenciadas no representen una muestra aleatoria del tipo de industria. También puede haber evidencia de variabilidad dentro del grupo de fuentes muestreado.

Pobre. El factor es desarrollado de una prueba de calidad de datos clasificada como C y D, y puede haber razones para sospechar que las fuentes referenciadas no representen una muestra aleatoria del tipo de industria. También puede haber evidencia de variabilidad dentro del grupo de fuentes muestreado.

"los factores de emisión que se deben utilizar, son los establecidos en el documento AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US-EPA) el cual contiene los factores de emisión definidos en Estados Unidos para una gran cantidad de actividades. Los factores de emisión que se incluyen en este documento se agrupan en 15 capítulos, cada capítulo cuenta con secciones, subsecciones, y sub-subsecciones inclusive, para exponer los factores de emisión por fuentes o procesos industriales específicos."

De acuerdo al tipo de fuente se aplicaron el factor observado en la siguiente tabla según la EPA

Tabla 4-1. *Factor de emisión - TEA*

Contaminante	F.E. lb/MMBTU - TEA	Rating F.E
PM	5.62E-05*	N/A

Fuente: *AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 13: section 13.5 Industrial Flares.*

En un balance de masas se representan las entradas y las salidas de un sistema con el fin de estimar de manera indirecta la emisión, empleando la ley de la conservación de la masa y ecuaciones básicas de combustión que se describen a continuación:

$$Masa\ entra + Masa\ Generada = Masa\ sale + Masa\ Acumulada$$

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

$$C + 0{,}5O_2 \rightarrow CO$$

$$H + 0{,}5O_2 \rightarrow H_2O$$

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

$$N + 0{,}5O_2 \rightarrow NO + O_2 + NO_2$$

Según el Protocolo para el Control y la Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas, un factor de emisión es la relación entre la cantidad de contaminante emitido por unidad de consumo de energía o combustible. Para el caso objeto de estudio, estos valores fueron seleccionados dependiendo de cada fuente, utilizando los factores de emisión descritos anteriormente.

Adicionalmente, para dar solución al balance se efectúan las siguientes suposiciones:

- El material particulado es generado a partir de las cenizas presentes en el combustible.
- La totalidad del hidrógeno en el combustible se transforma en agua durante la combustión.
- Con el fin de dar precisión al balance, la emisión de material particulado es determinada por factores de emisión.
- La fracción volumétrica de material particulado es insignificante frente al total de la mezcla de gases.
- Los gases se comportan como gases ideales.

La siguiente tabla presenta las características de los combustibles utilizados:

Tabla 4-2. *Características Combustible*

Características	Pandereta
Densidad Combustible	0,0006864 g/cm³
Capacidad Calorífica	655,76 Btu/ft³

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

La composición de los combustibles utilizados se encuentra en la siguiente tabla, esta es tomada de bibliografía, asociado al combustible genérico.

Tabla 4-3. *Análisis del Biogás*

Elemento	Nombre	%masa Gas
CO2	Dióxido de Carbono	35,0
CH4	Metano	64,90
H_2S	Sulfuro de Hidrogeno	0,2

Fuente: Calculadora de emisiones UPME 2026.

5. GENERALIDADES

En este capítulo se describen los conocimientos sobre los contaminantes a medir, así mismo, como su tipo de medición para la ejecución de la campaña de monitoreo y finalmente las descripciones de las estaciones instaladas.

5.1 PLANEACIÓN DEL MONITOREO

De acuerdo con la solicitud realizada por la Empresa de Servicios Públicos Paz de Ariporo S.A. E.S.P., en la cual se contempla la medición de las concentraciones de biogás, (metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2)), límite de explosividad (LEL), sulfuro de hidrogeno (H_2S), partículas aerotransportables y el caudal, en el área de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, ubicada en el municipio de Paz de Ariporo, departamento del Casanare. La campaña de monitoreo de biogás se realizó el 29 de agosto de 2026, con registros de cada uno de estos parámetros.

Se realizó la calibración y verificación del analizador, las cuales se presentan en los anexos del informe, con el fin de garantizar las condiciones del equipo en uso. Durante el monitoreo se llevó registro de operación del analizador, bajo las directrices establecidas por el procedimiento de monitoreo de biogás 11-PT5.4.

5.2 TIEMPO DE TOMA DE MUESTRA Y DURACIÓN DEL MUESTREO

La determinación de los parámetros de biogás se realizó bajo condiciones operativas representativas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván y considerando las condiciones ambientales presentes durante la jornada de monitoreo.

En cada uno de los puntos establecidos se efectuó una (1) medición puntual, garantizando previamente el tiempo necesario para la estabilización de las lecturas del analizador instrumental y la verificación del adecuado funcionamiento de los sensores y conexiones del equipo.

El registro de datos se realizó una vez el analizador presentó lecturas estables y representativas de la composición del biogás en cada chimenea monitoreada, *minimizando posibles interferencias asociadas a ingreso de aire, variaciones* operacionales o inestabilidad de los sensores durante la toma de información en campo. Adicionalmente la medición del LEL en el entorno de la chimenea en relación a los 4 puntos cardinales a 5 metros aproximados de distancia con el fin de garantizar

que no tenga una atmosfera peligrosa, obtenida mediante el cálculo del contenido de CH_4.

5.3 CONTAMINANTES SOLICITADOS

El monitoreo de biogás se realiza en cumplimiento de los requerimientos establecidos en el Artículo 3 (Monitoreo e instrumentación) de la Resolución 938 de 2019, relacionados con el seguimiento de caudales y concentración de biogás en chimeneas asociadas a la actividad de disposición final de residuos sólidos.

De acuerdo con lo establecido en dicha resolución, para los rellenos sanitarios clasificados en categoría I (De 0 a 50 ton/día), las actividades de monitoreo deben ejecutarse con una frecuencia semestral, garantizando el control y seguimiento de las condiciones operacionales y de generación de biogás de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

El Artículo 3 de la Resolución 0938 de 2019 establece que las actividades de monitoreo e instrumentación deben desarrollarse conforme a criterios técnicos que permitan evaluar las condiciones de generación, captación y manejo del biogás, asegurando la obtención de información representativa y confiable para el seguimiento ambiental y operacional del relleno sanitario.

Tabla 5-1. Frecuencia de monitoreo según categoría del relleno

Condiciones de Operación	Frecuencia	Categoría de Relleno			
		I	II	III	IV
Caracterización de residuos sólidos en el relleno sanitario	Anual	X	X	X	X
Monitoreo de la densidad de compactación mayor o igual a 1,1 Ton/m³	Semanal				X
Monitoreo de la densidad de compactación mayor o igual a 1 Ton/m³	Mensual		X	X	
Monitoreo de la densidad de compactación mayor o igual a 0,85 Ton/m³	Mensual	X			
Monitoreo del área máxima descubierta	Diaria	X	X	X	X
Monitoreo geoeléctrico para detectar zonas de acumulación de biogás o de lixiviados en la masa de residuos	Semestral			X	
Monitoreo geoeléctrico para detectar zonas de acumulación de biogás o de lixiviados en la masa de residuos	Mensual				X
Monitoreo de caudales y concentración de biogás en chimenea	Semestral	X	X	X	

Monitoreo de caudales y concentración de biogás en chimenea	Mensual				X
Monitoreo geotécnico con topografía	Mensual	X	X	X	
Monitoreo geotécnico con topografía	Semanal				X
Monitoreo geotécnico con inclinómetros o extensómetros	Bimestral		X		
Monitoreo geotécnico con inclinómetros o extensómetros	Mensual			X	

Fuente: Resolución 0938 de 2019

La Resolución 1784 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), establece en el Artículo 2.3.2.3.10 la categorización de los rellenos sanitarios de acuerdo con el promedio diario de residuos sólidos dispuesto durante el último año, clasificándolos en:

- **Categoría I:** de 0 a 50 ton/día.
- **Categoría II:** mayor a 50 y hasta 500 ton/día.
- **Categoría III:** mayor a 500 y hasta 3000 ton/día.
- **Categoría IV:** mayor a 3000 ton/día.

La presente actividad de monitoreo se desarrolla considerando los lineamientos técnicos y operacionales aplicables a la categoría correspondiente de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván evaluada. Adicionalmente, se consideran los requerimientos establecidos en el Artículo 2.3.2.3.16. de la citada resolución, relacionados con las condiciones de operación, control y seguimiento ambiental asociadas al manejo y monitoreo del biogás generado en rellenos sanitarios.

El monitoreo de biogás se realiza con el propósito de controlar y evaluar las concentraciones de gases generados en la planta de residuos sólidos, permitiendo identificar posibles acumulaciones en el fondo del relleno y prevenir riesgos asociados a condiciones de explosividad. Para ello, se definen previamente los puntos de muestreo de gases, correspondientes a chimeneas o ductos de monitoreo, y se emplea un equipo instrumental con sonda para la medición de parámetros como metano (CH_4), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y límite inferior de explosividad (LEL). Las actividades de monitoreo se desarrollan conforme a lo establecido en el Reglamento Operativo de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

Tabla 5-2. Contaminantes medidos

Contaminante	Principio de medición	Método de referencia
O_2	Sensor Electroquímico	VDE 0411 (EN61010) and DIN VDE 0701 antes de salir de fábrica MRU GmbH. - DIN 31000/ VDE 1000 and UVV = VBG 4 de los gremios profesionales de mecánica fina e ingeniería eléctrica - MRU GmbH garantiza que el analizador cumple con los requisitos esenciales de las disposiciones legales de los estados miembros sobre la compatibilidad electromagnética
CO_2	Sensor NDIR	
CH_4	Sensor NDIR	
H_2S	Sensor Electroquímico	
LEL	Cálculo matemático	
Caudal	Diferencial de presión	

Contaminante	Principio de medición	Método de referencia
		(89/336/EWG) y a la regulación de bajo voltaje (3/23/EWG
Partículas Aero Transportables	Calculo por factores de emisión y balance de masas	AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 13: Miscellaneous Sources Section 13.5. Industrial Flares http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/index.html

Fuente: Manual de operación Optima 7 y EPA AP-42

5.4 CONDICIONES DE MONITOREO

Durante el periodo de monitoreo, las concentraciones de los contaminantes presentaron un comportamiento relativamente estable entre los periodos evaluados, sin evidenciar variaciones significativas. Los resultados obtenidos se encontraron dentro de los rangos registrados para los diferentes puntos de monitoreo, por lo que las condiciones observadas durante la campaña no representaron cambios importantes en el comportamiento de las concentraciones. Las variaciones puntuales identificadas pueden estar asociadas a las condiciones propias de cada punto y a las condiciones meteorológicas presentes durante la medición.

5.5 DESCRIPCIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN

Las fuentes de emisión de biogás de la planta de residuos sólidos corresponden principalmente a las chimeneas construidas para la captación, conducción y liberación controlada de los gases generados por la descomposición de los residuos sólidos dispuestos. Estas estructuras permiten evacuar el biogás generado al interior de la masa de residuos, evitando la acumulación de gases y la formación de bolsas de presión que puedan ocasionar levantamiento de lixiviados, presencia de niveles colgados, brotes superficiales o riesgos de inestabilidad parcial en el cuerpo del relleno sanitario.

El sistema de manejo de gases implementado en el relleno inicia desde la etapa operativa mediante la construcción progresiva de chimeneas verticales. A medida que aumenta la altura de disposición de residuos, se conforman módulos de piedra que estructuran cada chimenea hasta alcanzar la cota final proyectada para el relleno.

La construcción de cada chimenea inicia con la adecuación de una plataforma de soporte ubicada en las intersecciones de los filtros de fondo o de acuerdo con la distribución definida sobre la capa drenante, una vez finalizado el sistema de drenaje de fondo. Estas estructuras se diseñan con el propósito de facilitar la migración y conducción del biogás hacia la superficie de manera controlada y segura.

Como medida de control operacional y reducción de riesgos, las chimeneas cuentan con una terminación en tubería de 5" a 6" de diámetro, instalada de forma que permanezca embebida al menos dos metros dentro del cuerpo del relleno y sobresalga aproximadamente dos metros sobre la superficie final.

La quema unitaria se establece como una medida temporal de manejo hasta que las condiciones de cantidad y calidad del biogás permitan la implementación de un sistema centralizado de captación y quema, con posibilidad de aprovechamiento energético. Este sistema contribuye a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero, minimización de olores ofensivos y mejora de las condiciones de operación y seguridad del relleno sanitario.

Mediante el monitoreo de los gases requerido en la normativa vigente, se podrá definir el nivel de concentración de gases que podrían hacer explosiva la zona. Por lo anterior, se realiza en el tiempo de lo indicado en la Resolución con la medición del límite inferior de explosividad o LEL (Low Explosive Level) en los alrededores de las chimeneas evaluadas con el fin de garantizar la seguridad del área, ya que al generarse biogás sin tratamiento este puede formar concentraciones de mezclas inflamables o explosivas con el oxígeno del aire. El límite máximo para LEL de metano corresponde al 5%. La medición se realiza con toma de datos a diferentes distancias alrededor de las chimeneas en todas las direcciones. Ante un resultado que genere riesgo, el ingeniero encargado deberá iniciar las obras requeridas para minimizarlo y controlarlo.

5.6 UBICACIÓN PUNTOS DE MONITOREO

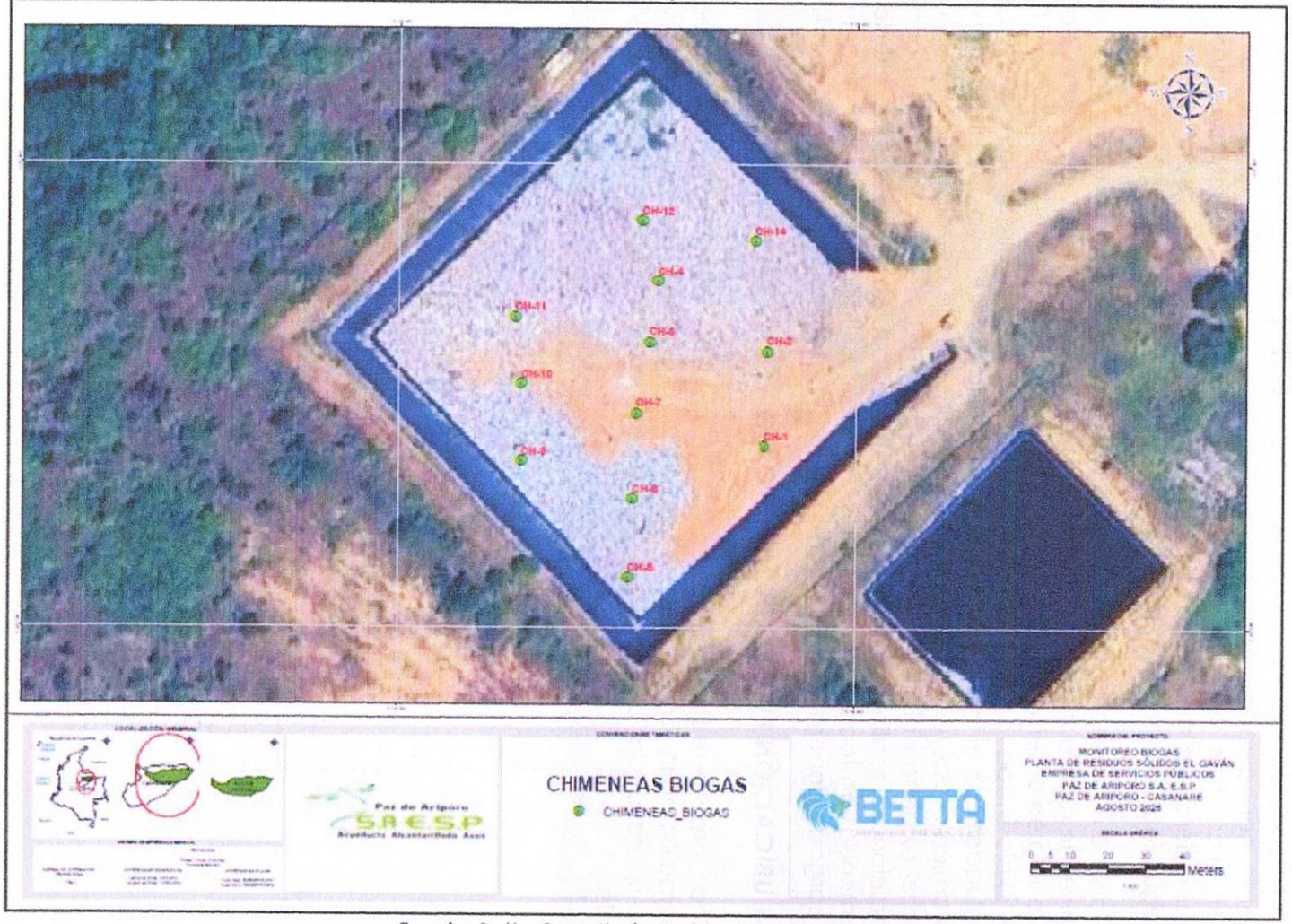
El monitoreo se realizó durante un (1) día, en las 12 chimeneas dispuestas en el área de operación de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, ubicado en el municipio de Paz de Ariporo, departamento del Casanare, como se presenta en la **Figura 1** y la siguiente tabla.

Tabla 5-3. Coordenadas de los puntos de muestreo

ID Fuente	Coordenada Origen Único Nacional	Cota msnm
CH-1	E 5118375,376 - N 2201607,222	311
CH-2	E 5118376,252 - N 2201631,783	311
CH-4	E 5118347,626 – N 2201649,841	311
CH-5	E 5118345,503 – N 2201634,181	311
CH-6	E 5118341,276 – N 2201593,65	312
CH-7	E 5118342,156 – N 2201615,755	312
CH-8	E 5118340,208 – N 2201573,19	312
CH-9	E 5118311,743 – N 2201603,111	312
CH-10	E 5118311,706 – N 2201623,065	312
CH-11	E 5118310,135 – N 2201640,561	312
CH-12	E 5118343,574 – N 2201665,699	312
CH-14	E 5118372,804 – N 2201660,449	311

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

Figura 5-1 Ubicación Geográfica de las fuentes fijas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván



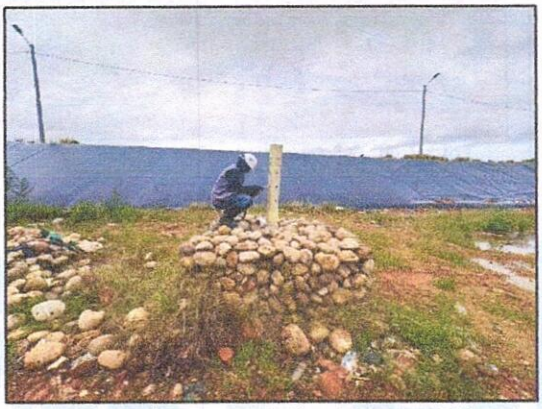
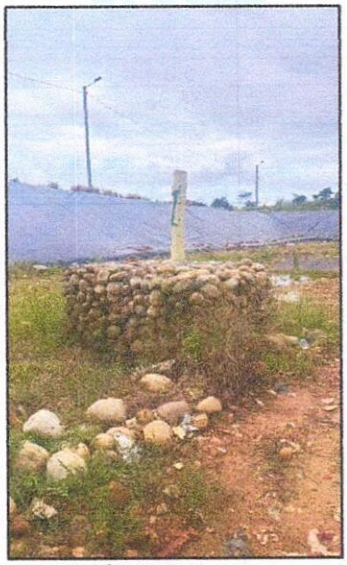
Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

5.7 FICHAS TÉCNICAS DEL MONITOREO

A continuación, se describe las condiciones de operación actual y el resumen de las mediciones en cada una de las chimeneas monitoreadas en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

5.7.1 Chimenea CH-1

Tabla 5-4. Ficha Técnica Chimenea CH-1

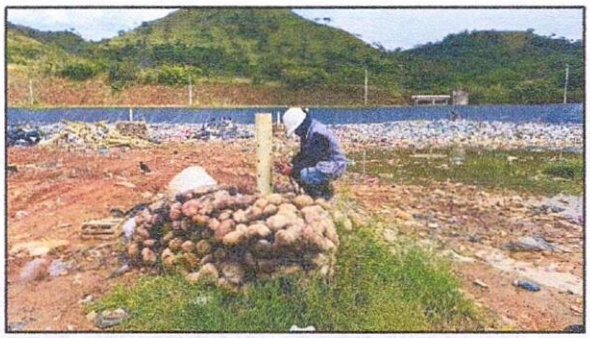
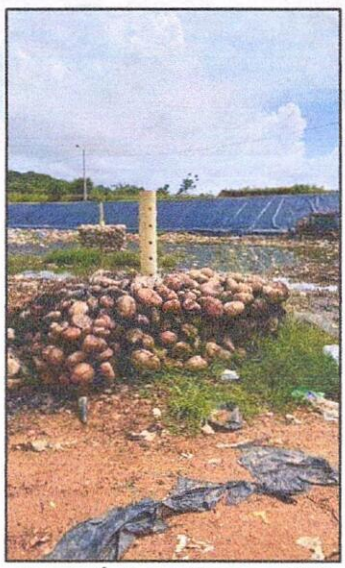
CHIMENEA: CH-1	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-1:** :Medición chimenea CH1	 **Fotografía 5-2:**Medición entorno chimenea CH1
 **Fotografía 5-3:** Chimenea CH1	

Coordenada Plana	E 5118375,376 - N 2201607,222
Altitud m.s.n.m.	311
% CH_4	0,00
% CO_2	0,06
% O_2	20,19
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00343
Temp. Chimenea °C	27,7
Velocidad m/s	0,40
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,36
IEA	9,6%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Oxidación, fugas o colapso biológico
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.2 Chimenea CH-2

Tabla 5-5. Ficha Técnica Chimenea CH-2

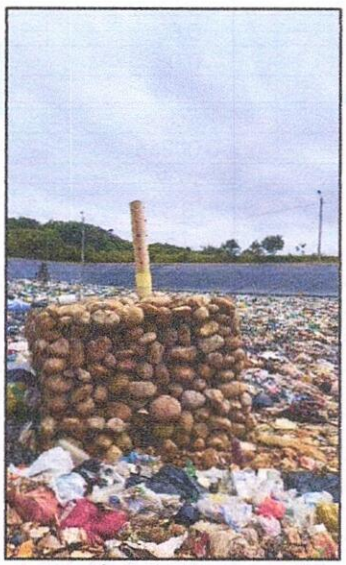
CHIMENEA: CH-2	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-4:** Medición chimenea CH 2	 **Fotografía 5-5:** Medición entorno chimenea CH 2
 **Fotografía 5-6:** Chimenea CH 2	

Coordenada Plana	E 5118376,252 - N 2201631,783
Altitud m.s.n.m.	311
% CH_4	0,00
% CO_2	0,06
% O_2	19,88
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00594
Temp. Chimenea °C	31,6
Velocidad m/s	0,70
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,36
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.3 Chimenea CH-4

Tabla 5-6. Ficha Técnica Chimenea CH-4

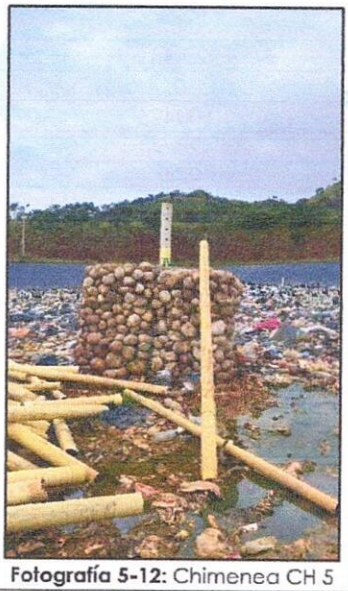
CHIMENEA: CH-4	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-7:** Medición chimenea CH 4	 **Fotografía 5-8:** Medición entorno chimenea CH 4
 **Fotografía 5-9:** Chimenea CH 4	

Coordenada Plana	E 5118347,626 – N 2201649,841
Altitud m.s.n.m.	311
% CH_4	0,00
% CO_2	0,07
% O_2	20,48
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00426
Temp. Chimenea °C	28,5
Velocidad m/s	0,50
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,36
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.4 Chimenea CH-5

Tabla 5-7. Ficha Técnica Chimenea CH-5

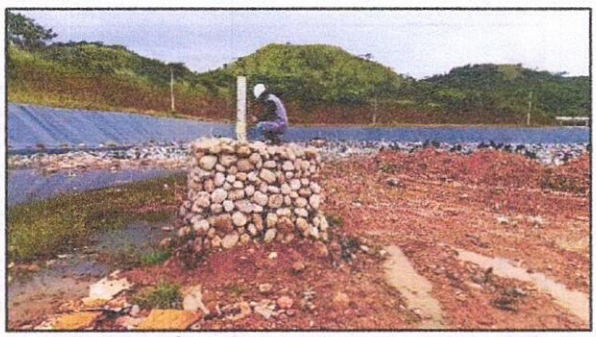
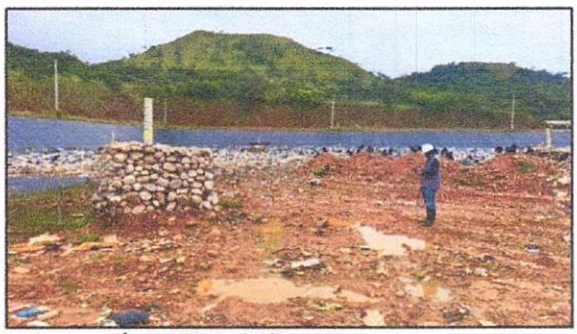
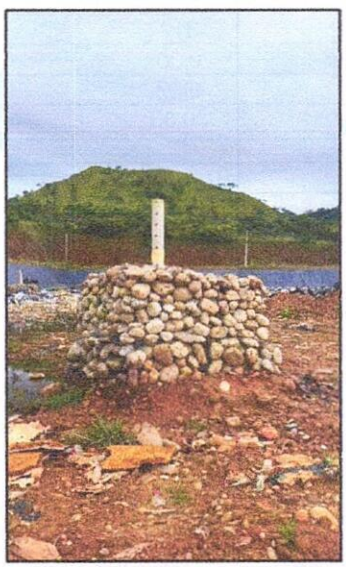
CHIMENEA: CH-5	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-10:** Medición chimenea CH 5	 **Fotografía 5-11:** Medición entorno chimenea CH 5
 **Fotografía 5-12:** Chimenea CH 5	

Coordenada Plana	E 5118345,503 – N 2201634,181
Altitud m.s.n.m.	311
% CH_4	0,00
% CO_2	0,08
% O_2	20,49
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00256
Temp. Chimenea °C	27,9
Velocidad m/s	0,3
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,36
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.5 Chimenea CH-6

Tabla 5-8. Ficha Técnica Chimenea CH-6

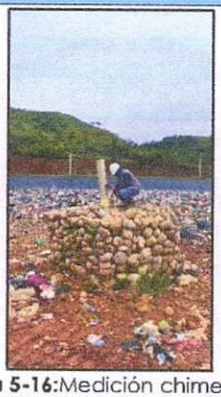
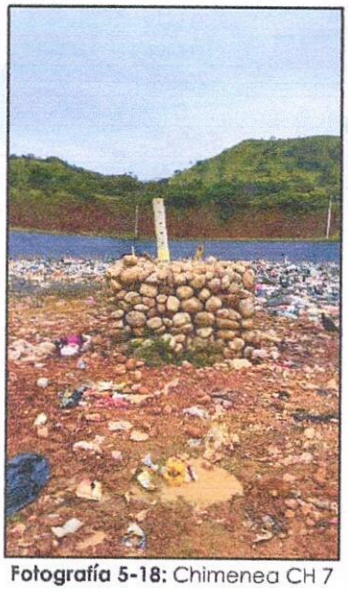
CHIMENEA: CH-6	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-13:** Medición chimenea CH 6	 **Fotografía 5-14:** Medición entorno chimenea CH 6
 **Fotografía 5-15:** Chimenea CH 6	

Coordenada Plana	E 5118341,276 - N 2201593,65
Altitud m.s.n.m.	312
% CH_4	0,00
% CO_2	0,06
% O_2	20,23
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00427
Temp. Chimenea °C	27,6
Velocidad m/s	0,50
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,29
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.6 Chimenea CH-7

Tabla 5-9. Ficha Técnica Chimenea CH-7

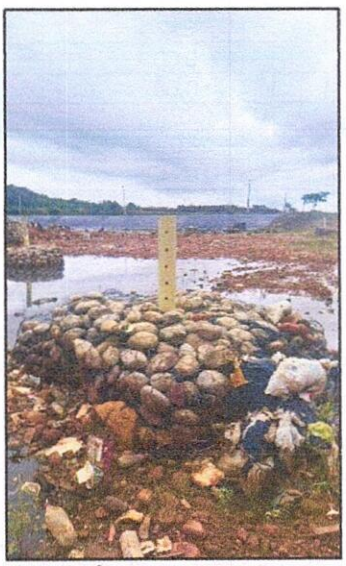
CHIMENEA: CH-7	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-16:** Medición chimenea CH 7	 **Fotografía 5-17:** Medición entorno chimenea CH 7
 **Fotografía 5-18:** Chimenea CH 7	

Coordenada Plana	5118342,156 - 2201615,755
Altitud m.s.n.m.	312
% CH_4	0,00
% CO_2	0,07
% O_2	20,33
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00514
Temp. Chimenea °C	28.0
Velocidad m/s	0,60
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,29
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.7 Chimenea CH-8

Tabla 5-10. Ficha Técnica Chimenea CH-8

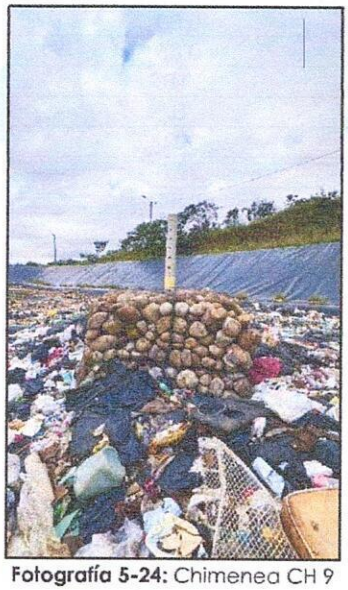
CHIMENEA: CH-8	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-19:** Medición chimenea CH 8	 **Fotografía 5-20:** Medición entorno chimenea CH 8
 **Fotografía 5-21:** Chimenea CH 8	

Coordenada Plana	E 5118340,208 – N 2201573,19
Altitud m.s.n.m.	312
% CH_4	0,00
% CO_2	0,06
% O_2	20,07
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00342
Temp. Chimenea °C	29,0
Velocidad m/s	0,40
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,29
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.8 Chimenea CH-9

Tabla 5-11.. Ficha Técnica Chimenea CH-9

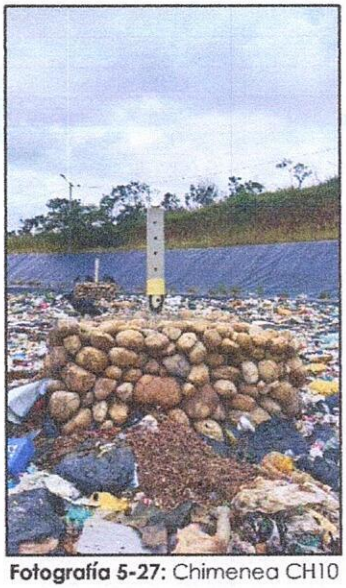
CHIMENEA: CH-9	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-22:**Medición chimenea CH 9	 **Fotografía 5-23:** Medición entorno chimenea CH 9
 **Fotografía 5-24:** Chimenea CH 9	

Coordenada Plana	E 5118311,743 – N 2201603,111
Altitud m.s.n.m.	312
% CH_4	0,00
% CO_2	0,08
% O_2	20,50
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00423
Temp. Chimenea °C	30,4
Velocidad m/s	0,50
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,29
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0,000
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.9 Chimenea CH-10

Tabla 5-12. Ficha Técnica Chimenea CH-10

CHIMENEA: CH-10	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-25:** Medición chimenea CH10	 **Fotografía 5-26:** Medición entorno chimenea CH10
 **Fotografía 5-27:** Chimenea CH10	

Coordenada Plana	E 5118311,706 - N 2201623,065
Altitud m.s.n.m.	312
% CH_4	0,00
% CO_2	0,07
% O_2	20,51
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00341
Temp. Chimenea °C	29,6
Velocidad m/s	0,40
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barometrica mmHg	736,29
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0,000
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.10 Chimenea CH-11

Tabla 5-13. Ficha Técnica Chimenea CH-11

CHIMENEA: CH-11	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad particulas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-28:** Medición chimenea CH11	 **Fotografía 5-29:** Medición entorno chimenea CH11
 **Fotografía 5-30:** Chimenea CH11	

Coordenada Plana	E 5118310,135 – N 2201640,561
Altitud m.s.n.m.	312
% CH_4	0,00
% CO_2	0,08
% O_2	20,24
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00255
Temp. Chimenea °C	29,7
Velocidad m/s	0,3
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,29
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	0,00
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0,000
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.11 Chimenea CH-12

Tabla 5-14. Ficha Técnica Chimenea CH-12

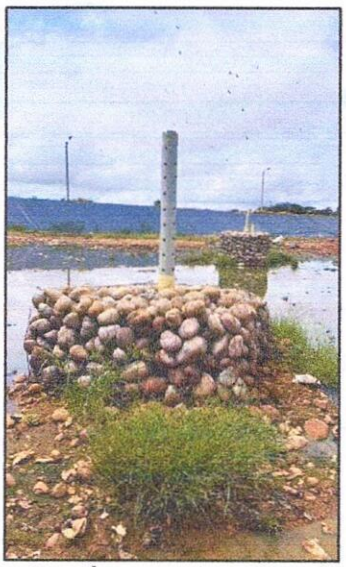
CHIMENEA: CH-12	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-31:** Medición chimenea CH12	 **Fotografía 5-32:** Medición entorno chimenea CH12
 **Fotografía 5-33:** Chimenea CH12	

Coordenada Plana	E 5118343,574 - N 2201665,699
Altitud m.s.n.m.	312
% CH_4	0,00
% CO_2	0,07
% O_2	20,07
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00340
Temp. Chimenea °C	31,7
Velocidad m/s	0,4
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,29
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.7.12 Chimenea CH-14

Tabla 5-15. Ficha Técnica Chimenea CH-14

CHIMENEA: CH-14	
OBJETIVO: Determinar las concentraciones de biogás, límite de explosividad partículas Aero transportables y caudal de la chimenea de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.	
 **Fotografía 5-34:** Medición chimenea CH14	 **Fotografía 5-35:** Medición entorno chimenea CH14
 **Fotografía 5-36:** Chimenea CH14	

Coordenada Plana	E 5118372,804 - N 2201660,449
Altitud m.s.n.m.	311
% CH_4	0,00
% CO_2	0,06
% O_2	19,69
H_2S ppm	0
Partículas Aerotransportadles Kg/h	0,00506
Temp. Chimenea °C	32,4
Velocidad m/s	0,60
Diámetro cm	15
% LEL Chimenea	0
% LEL Entorno	0,0
Presión Barométrica mmHg	736,36
IEA	0,0%
Estado Biológico IEB	Crítico
Interpretación Técnica	Ninguna
Riesgo explosividad	BAJO
Potencial Energético	0
Índice de Fracción Metánica	0,00
Clasificación FM	Fase madura o perturbación
Observación Técnica	Posible infiltración de aire.
ICOT	TEA aireada / fuga

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

5.8 CRONOLOGÍA DEL MONITOREO

A continuación, se presenta el cronograma con las principales actividades realizadas en el desarrollo de la campaña de monitoreo de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

Tabla 5-16. Cronograma de actividades.

Fecha	Actividad
2025-12-05	Calibración Analizador
2026-08-29	Inicio de campaña de monitoreo
2026-08-29	Finalización de campaña de monitoreo
2026-08-29	Verificación Cero Analizador
2026-08-30	Procesamiento de datos

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo se dividirá en dos secciones: la primera contiene los resultados de las concentraciones de cada uno de los parámetros solicitados, la segunda parte presenta la identificación de las fuentes monitoreadas con mayor emisión de biogás a la atmosfera y la representación gráfica de algunos contaminantes.

El presente informe es complementado por el **Anexo 1** donde se presentan el reporte de resultados, el **Anexo 2** calibraciones y certificación del analizador empleado en el **Anexo 3** datos de Campo, **Anexo 4** la representación gráfica y por último el **Anexo 5** los registros fotográficos.

6.1. CUMPLIMIENTO NORMATIVO

En cumplimiento con los requerimientos del Artículo 3. (Monitoreo e instrumentación) de la Resolución 938 de 2019, frente a los parámetros de Monitoreo de Caudales y Concentración de Biogás en Chimeneas Resolución 500.36 18 1262 de 2018 de Corporinoquia y de la actividad de disposición final, esta actividad se debe realizar con frecuencia trimestral.

A continuación, se adiciona los resultados de cada una de las fuentes monitoreadas en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

6.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PLANTA DE RESIDUOS SÓLIDOS

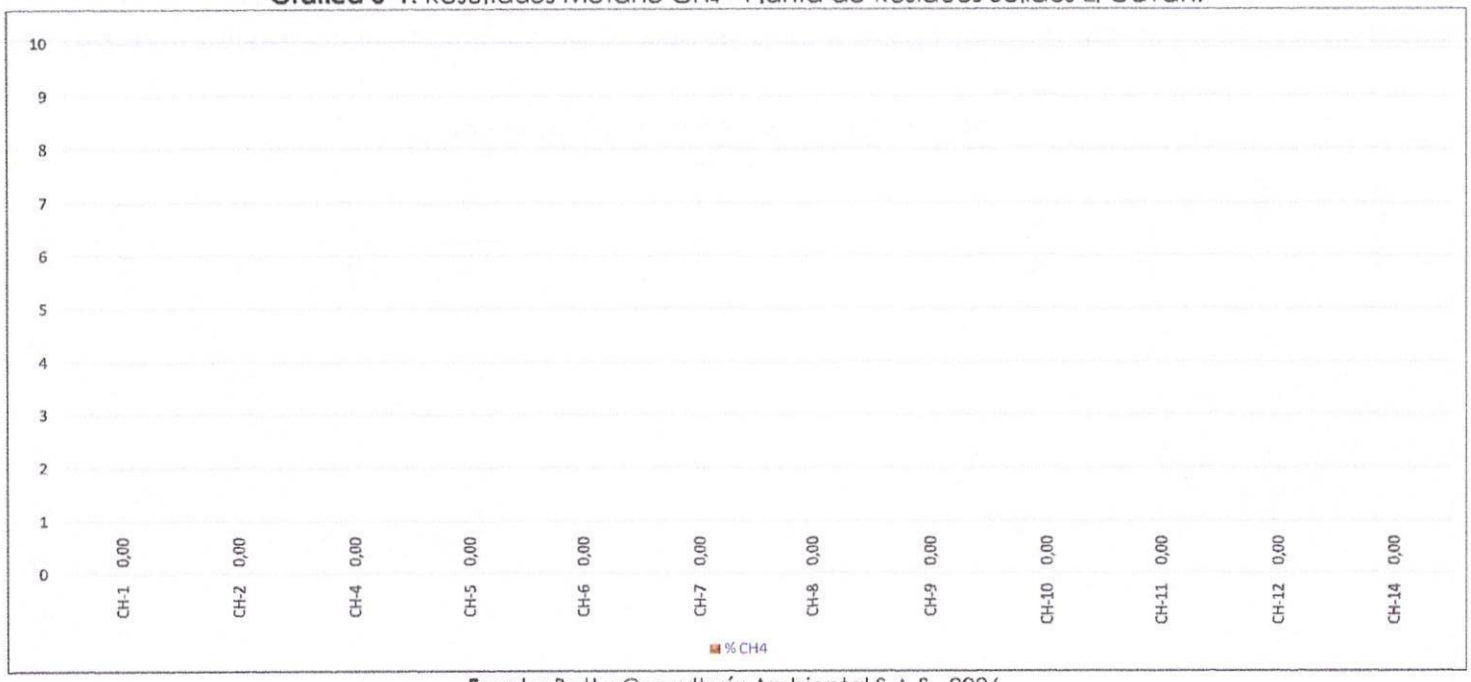
Tabla 6-1. Resumen de Resultados Biogás Planta de Residuos Sólidos El Gaván

ID Fuente	Resultado % CH_4	Resultado % CO_2	Resultado % O_2	Resultado H_2S ppm	Resultado % LEL	Resultado Caudal m^3/h	Resultado Temp. °C	Particulas Aero Transportables Kg/h
CH-1	0,00	0,06	20,19	0	0,00	24,39	27,7	0,00343
CH-2	0,00	0,06	19,88	0	0,00	42,28	31,6	0,00594
CH-4	0,00	0,07	20,48	0	0,00	30,33	28,5	0,00426
CH-5	0,00	0,08	20,49	0	0,00	18,26	27,9	0,00256
CH-6	0,00	0,06	20,23	0	0,00	30,42	27,6	0,00427
CH-7	0,00	0,07	20,33	0	0,00	36,56	28,0	0,00514
CH-8	0,00	0,06	20,07	0	0,00	24,33	29,0	0,00342
CH-9	0,00	0,08	20,50	0	0,00	30,15	30,4	0,00423
CH-10	0,00	0,07	20,51	0	0,00	24,28	29,6	0,00341
CH-11	0,00	0,08	20,24	0	0,00	18,14	29,7	0,00255
CH-12	0,00	0,07	20,07	0	0,00	24,21	31,7	0,00340
CH-14	0,00	0,06	19,69	0	0,00	36,03	32,4	0,00506

Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

6.2.1. Resultados CH_4

Gráfica 6-1. Resultados Metano CH_4 – Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

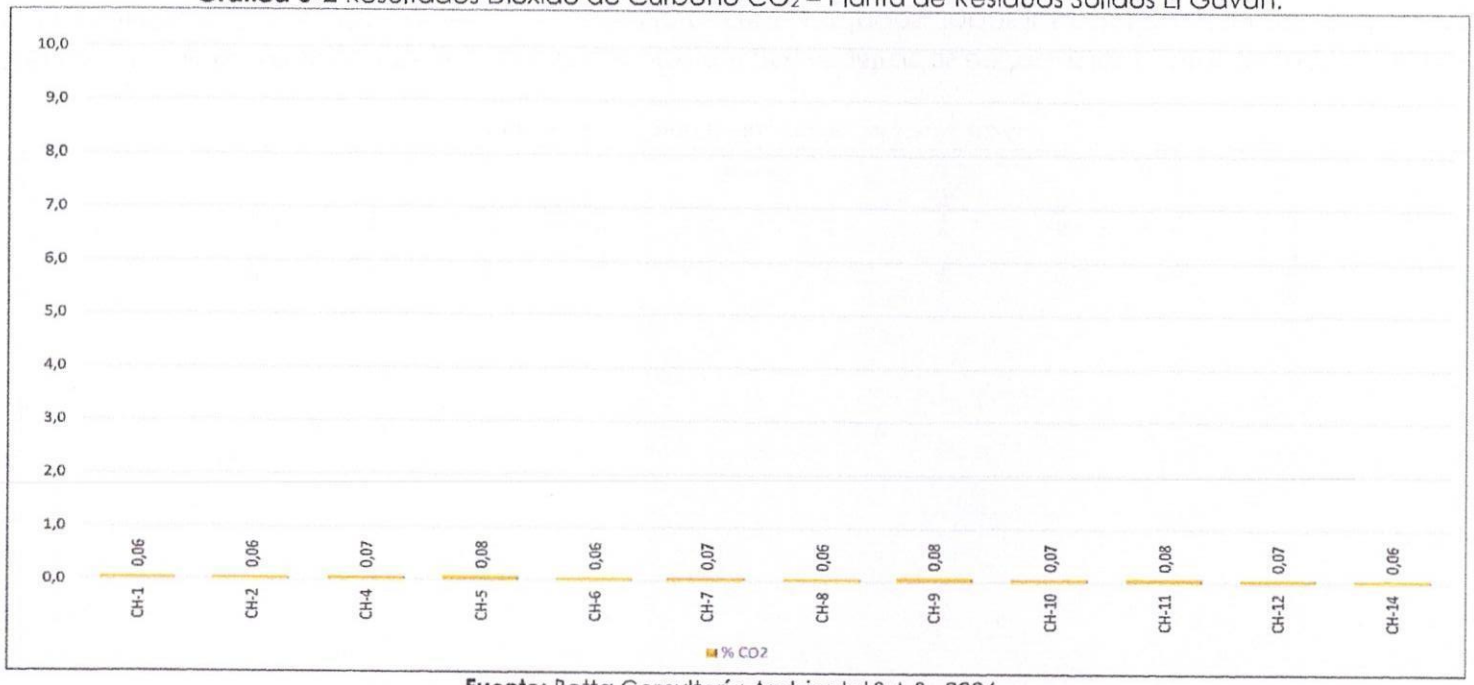


Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

En la Gráfica 6-1, presenta las concentraciones de metano (CH_4) registradas en todos los puntos de monitoreo de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván. De acuerdo con los valores representados, todos los puntos presentan una concentración de 0,00 % de CH_4, por lo que durante la jornada de monitoreo no se evidenció presencia detectable de metano en los puntos evaluados. Este comportamiento puede estar relacionado con las condiciones particulares de generación, captación o conducción del biogás en la planta, por lo que se recomienda mantener el monitoreo periódico del parámetro con el fin de identificar posibles variaciones en su comportamiento.

6.2.2. Resultados CO_2

Gráfica 6-2 Resultados Dióxido de Carbono CO_2 – Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

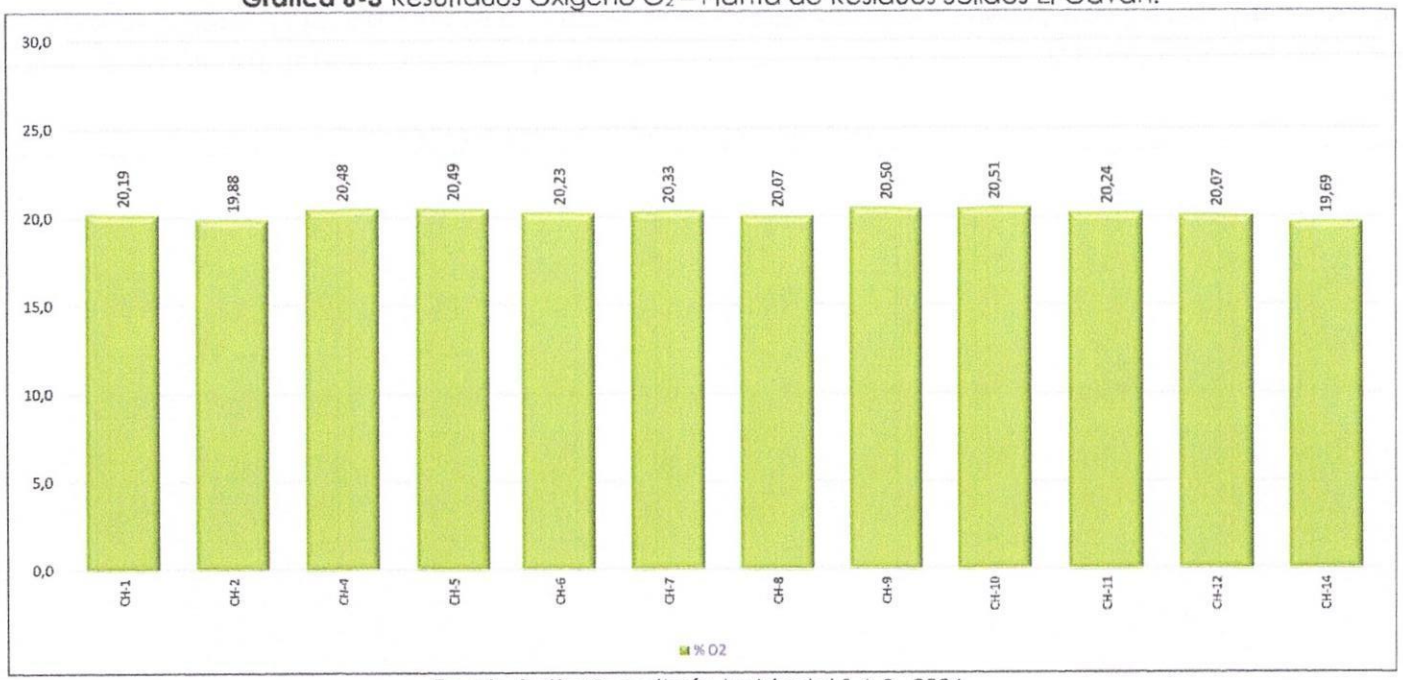


Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

En la Gráfica 6-2, presenta las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) registradas en los puntos de monitoreo de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, cuyos valores se encuentran entre 0,06 % y 0,08 %. La mayor concentración se registra en los puntos CH-5, CH-9 y CH-11, con 0,08 %, mientras que la menor corresponde a los puntos CH-1, CH-2, CH-6, CH-8 y CH-14, con 0,06 %. En general, se observa un comportamiento homogéneo y con concentraciones bajas de CO_2 entre los puntos evaluados, sin variaciones significativas durante el monitoreo.

6.2.3. Resultados O_2

Gráfica 6-3 Resultados Oxigeno O_2 – Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

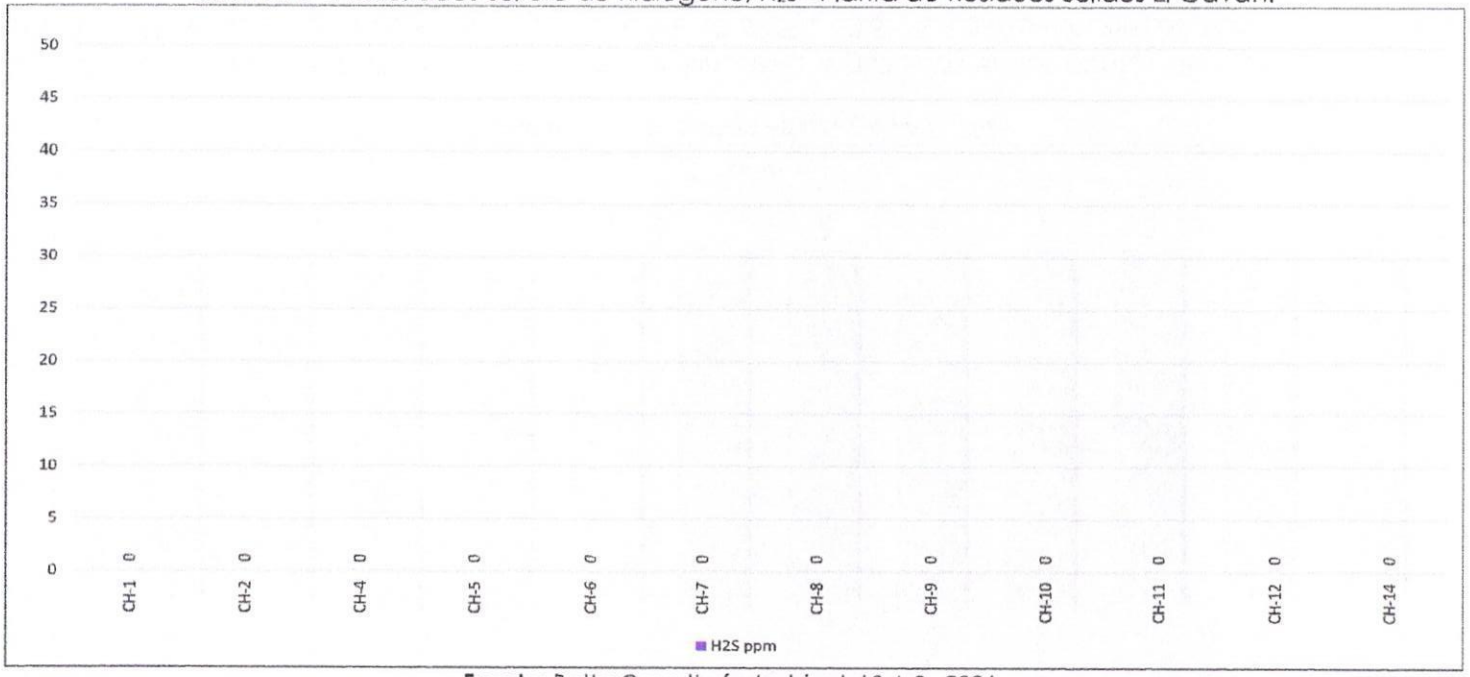


Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

En la Gráfica 6-3, presenta las concentraciones de oxígeno (O_2) registradas en los puntos de monitoreo de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, con valores que oscilan entre 19,69 % y 20,51 %. La mayor concentración se registra en CH-10, con 20,51 %, seguida de CH-9 con 20,50 %, mientras que el menor valor corresponde a CH-14, con 19,69 %. En general, las concentraciones de O_2 presentan un comportamiento relativamente homogéneo entre los puntos evaluados, con valores cercanos a la concentración del oxígeno atmosférico, sin variaciones marcadas entre las chimeneas monitoreadas.

6.2.4. Resultados H_2S

Gráfica 6-4 Resultados Sulfuro de hidrogeno, H_2S– Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

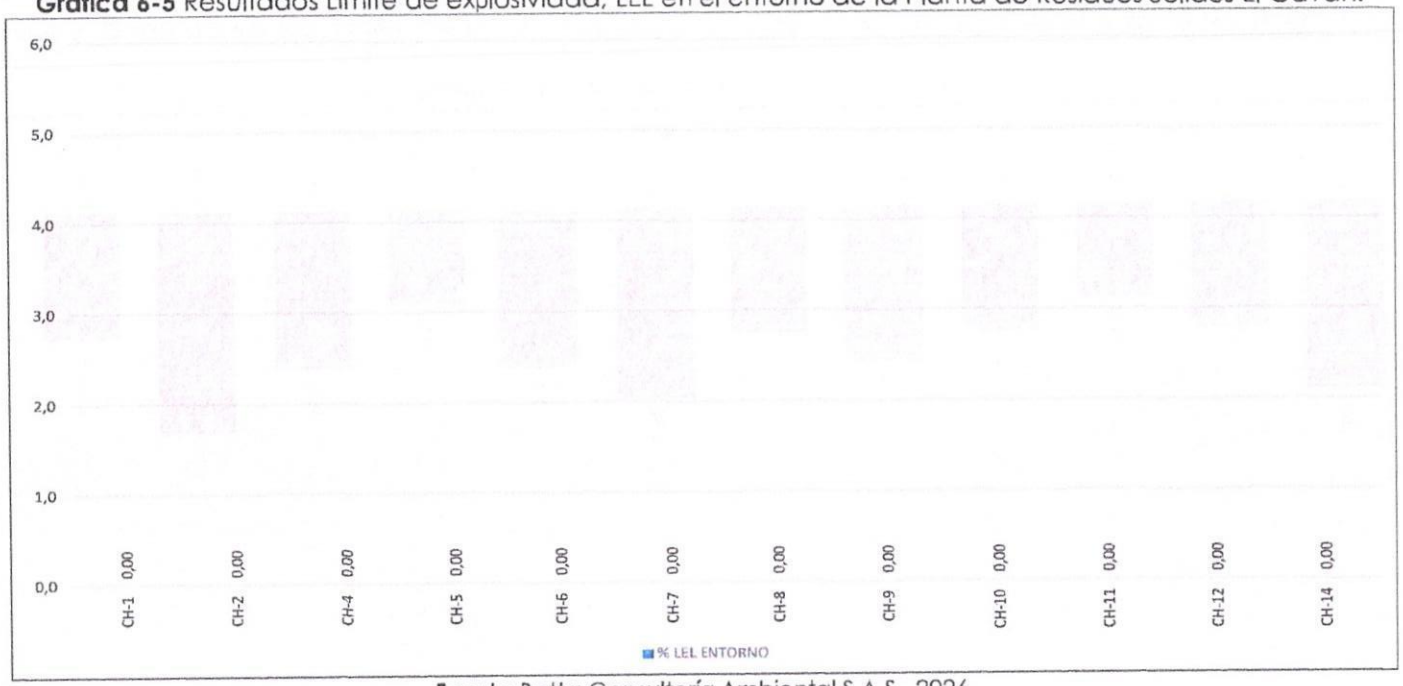


Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

En la Gráfica 6-4, presenta las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) registradas en los puntos de monitoreo de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, correspondientes a las chimeneas. De acuerdo con los resultados representados, todos los puntos presentan una concentración de H_2S de 0 ppm, por lo que durante la jornada de monitoreo no se evidenció presencia detectable de este compuesto en los puntos evaluados. En general, se observa un comportamiento uniforme para el parámetro, sin variaciones entre las chimeneas monitoreadas, por lo que se recomienda mantener el seguimiento periódico para identificar oportunamente cualquier cambio en las condiciones de generación y conducción del biogás.

6.2.5. Resultados % LEL Entorno

Gráfica 6-5 Resultados Limite de explosividad, LEL en el entorno de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

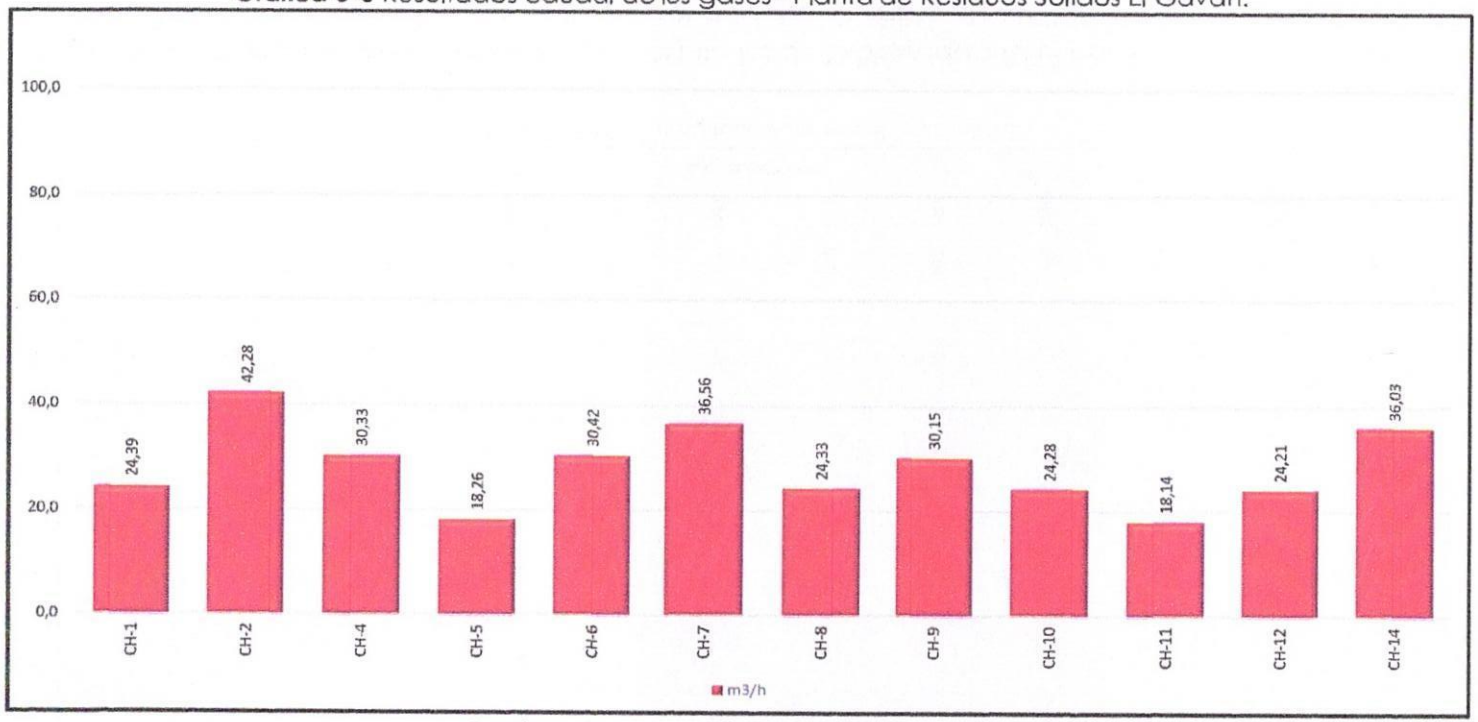


Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

En la Gráfica 6-5, los resultados obtenidos para el Límite Inferior de Explosividad (LEL) corresponden al cálculo derivado del porcentaje de metano (CH_4) registrado en las fuentes evaluadas. Durante el monitoreo realizado en el área circundante y en las diferentes posiciones cardinales de la salida de gases, en algunos casos se identificaron concentraciones bajas y puntuales de metano; sin embargo, estas no alcanzan niveles que permitan la formación de atmósferas potencialmente explosivas. Por lo tanto, las condiciones observadas no representan un riesgo significativo de explosividad asociado a la migración superficial de biogás en la Planta de residuos sólidos.

6.2.6. Resultados Caudal de los gases

Gráfica 6-6 Resultados caudal de los gases– Planta de Residuos Sólidos El Gaván.

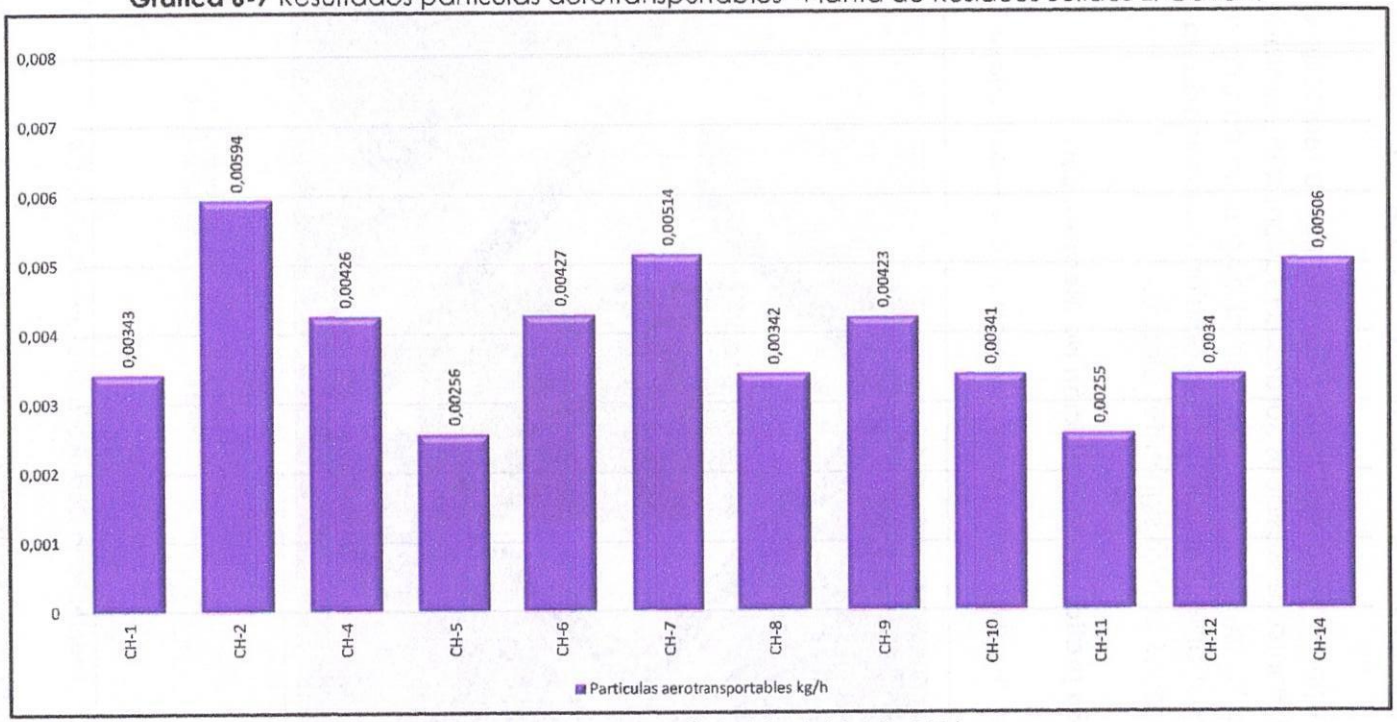


Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

En la Gráfica 6-6, presenta los caudales de biogás registrados oscilaron entre 18,14 m³/h y 42,28 m³/h. El mayor valor se presentó en CH-2 (42,28 m³/h), seguido de CH-7 (36,56 m³/h) y CH-14 (36,03 m³/h), mientras que los menores correspondieron a CH-11 (18,14 m³/h) y CH-5 (18,26 m³/h). En general, se observó una variación moderada entre los puntos, asociada a las condiciones particulares de generación y captación del biogás dentro del relleno sanitario.

6.2.7. Resultados Partículas Aerotransportables

Gráfica 6-7 Resultados partículas aerotransportables– Planta de Residuos Sólidos El Gaván.



Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

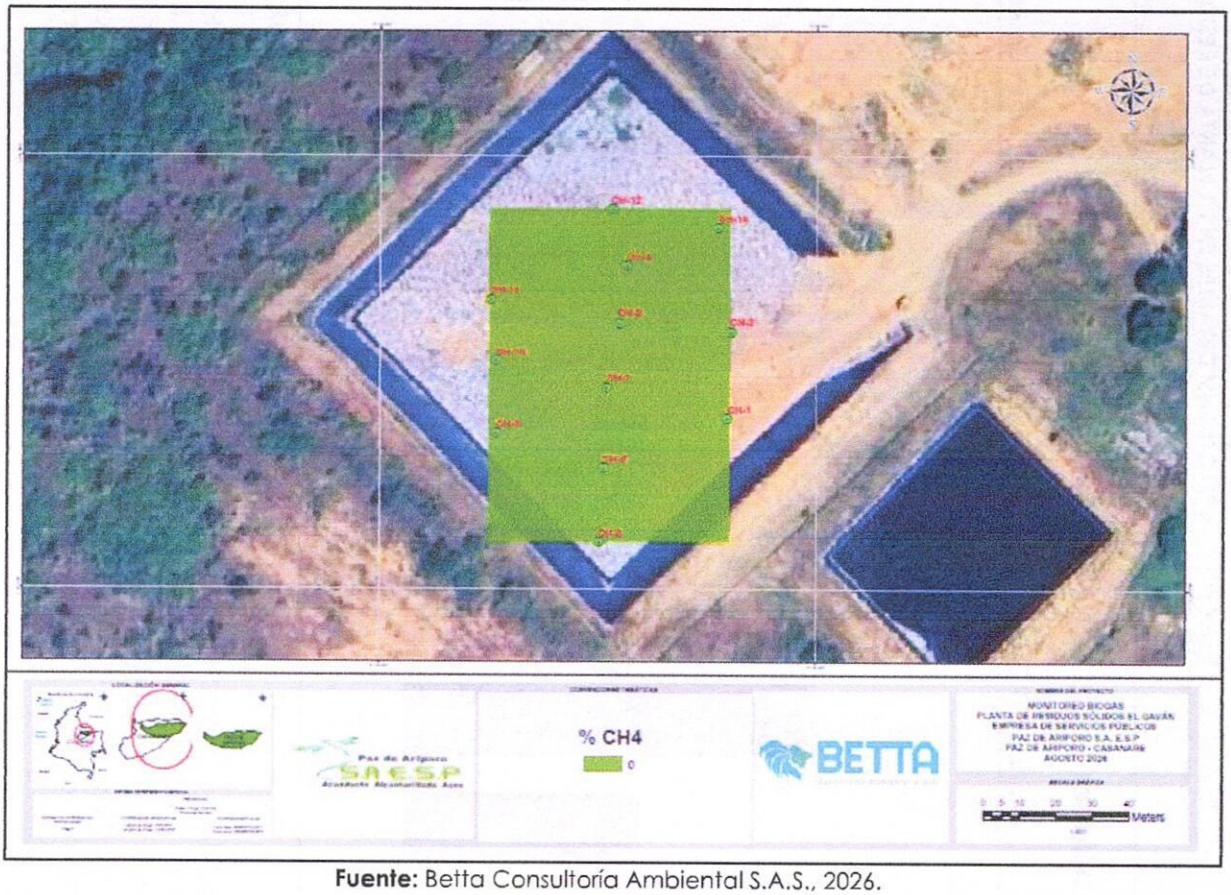
En la Gráfica 6-7, los resultados obtenidos para las partículas aerotransportables presentaron valores entre 0,00255 kg/h y 0,00594 kg/h, registrándose el mayor valor en CH-2 (0,00594 kg/h), seguido de CH-7 (0,00514 kg/h) y CH-14 (0,00506 kg/h); mientras que los menores valores correspondieron a CH-11 (0,00255 kg/h) y CH-5 (0,00256 kg/h). En general, se observa una variación moderada entre las chimeneas evaluadas, sin diferencias marcadas en la mayoría de los puntos. Este comportamiento puede estar relacionado con las diferencias en los caudales de biogás y con las condiciones particulares de generación, transporte y captación en cada chimenea.

6.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se representa los resultados del monitoreo realizado en cada una de las chimeneas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, representadas gráficamente con las emisiones de los gases que componen el biogás en cuanto a CH_4, CO_2, H_2S y partículas Aero transportables, producto de la emisión determinada en cada una de las chimeneas representados con los siguientes planos.

6.3.1. Representación gráfica de la medición de Metano, CH_4

Gráfica 6-8 Representación gráfica de la medición de Metano, CH_4 en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.



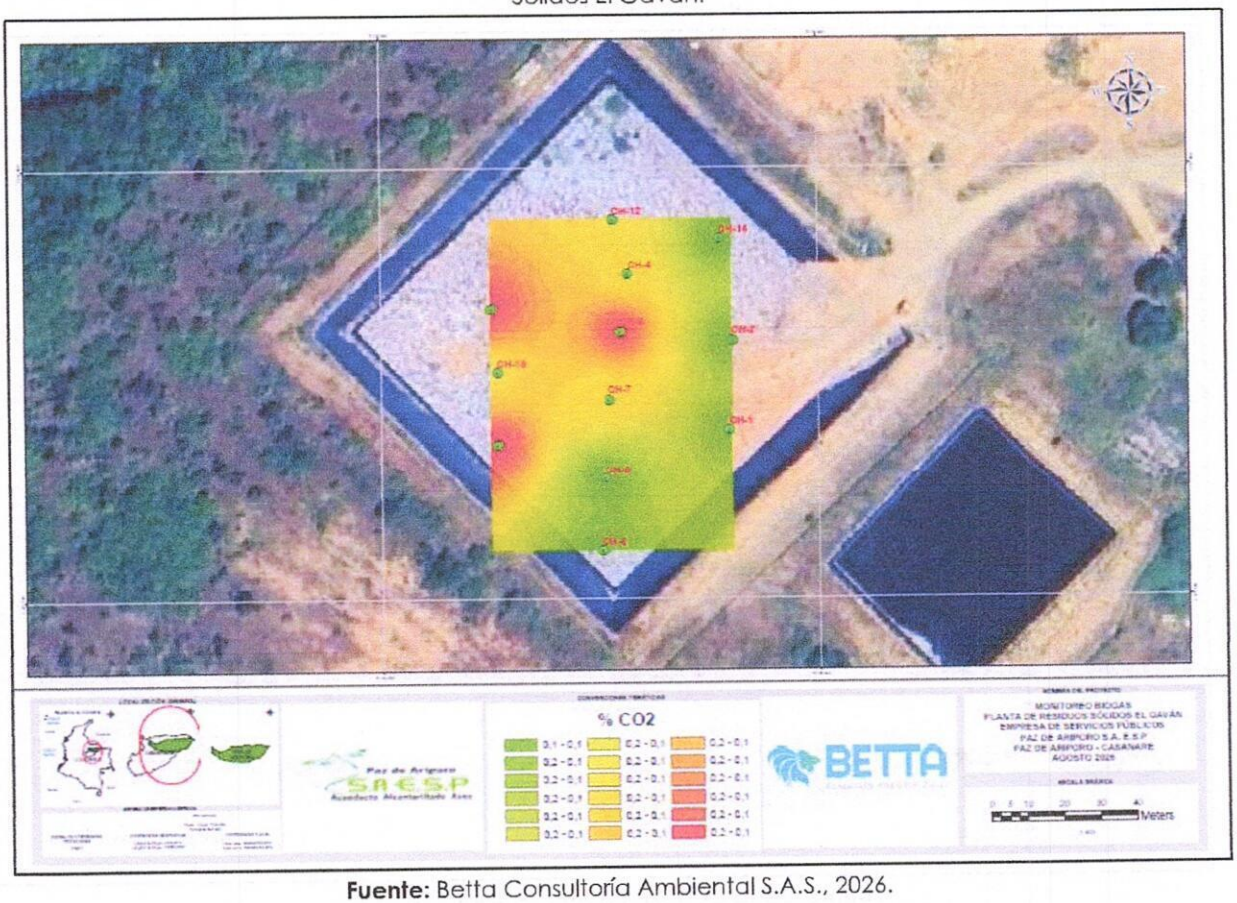
Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

Según la Gráfica 6-8, la representación espacial de las concentraciones de metano (CH_4) en las chimeneas evaluadas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván evidencia un comportamiento uniforme en el área monitoreada, dado que los puntos presentan una concentración de 0,00 % de CH_4. En consecuencia, la distribución espacial se

encuentra representada por una única categoría de concentración, sin identificarse zonas de mayor o menor concentración de metano dentro del área evaluada. Los resultados obtenidos para esta jornada de monitoreo no evidencian presencia detectable de CH_4 en las chimeneas evaluadas, por lo que no se observa una distribución espacial diferenciada del parámetro. Se recomienda mantener el monitoreo periódico de las chimeneas para verificar la estabilidad de estos resultados e identificar oportunamente posibles cambios en la composición del gas generado en el sitio.

6.3.2. *Representación gráfica de la medición de Dióxido de Carbono, CO_2*

Gráfica 6-9 Representación gráfica de la medición de Dióxido de Carbono, CO_2 en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.



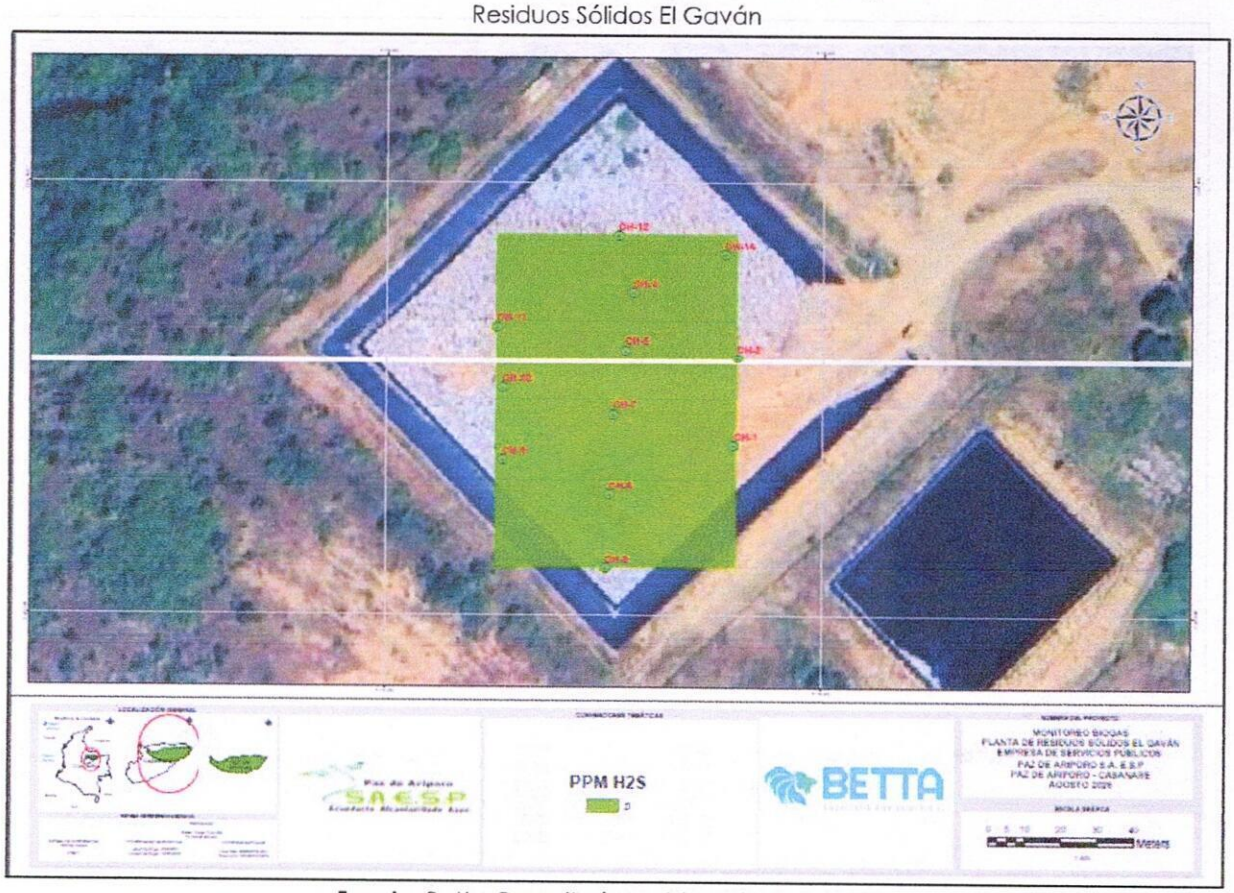
Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

Según la Gráfica 6-9, la representación espacial de las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván evidencia una distribución heterogénea dentro del área evaluada. Se observa una mayor intensidad de las tonalidades amarillas, naranjas y rojas principalmente hacia el sector central y

occidental del área monitoreada, destacándose una zona de mayor concentración alrededor de la chimenea CH-5, mientras que hacia los sectores oriental y sur predominan tonalidades verdes, asociadas con concentraciones relativamente menores. En términos generales, la distribución espacial evidencia variaciones en la concentración de CO_2 entre las chimeneas evaluadas, por lo que estos resultados deben analizarse conjuntamente con los valores de CH_4 y O_2, así como con las condiciones particulares de operación y captación del biogás, para establecer el comportamiento integral del sistema.

6.3.3. Representación gráfica de la medición del Sulfuro de Hidrogeno H_2S

Gráfica 6-10 Representación gráfica de la medición del Sulfuro de Hidrogeno del H_2S en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván



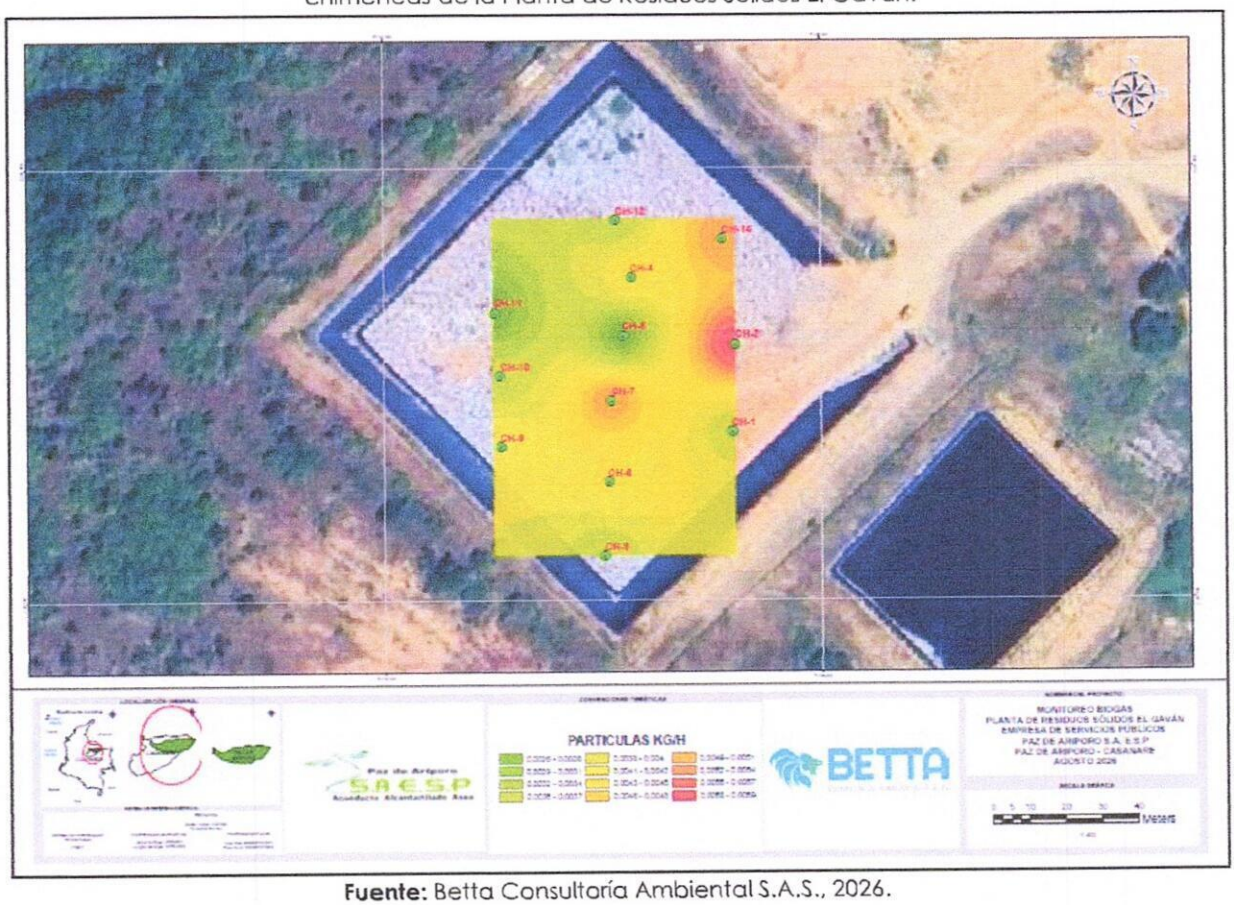
Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

Según la Gráfica 6-10, la representación espacial de las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván evidencia un comportamiento uniforme en el área monitoreada, dado que la totalidad de los puntos evaluados presenta una concentración de 0 ppm de H_2S. En consecuencia, no se identifican zonas

con mayor o menor concentración del compuesto dentro del área representada, manteniéndose una distribución homogénea en las chimeneas. Estos resultados indican que, durante la jornada de monitoreo, no se registró presencia detectable de H_2S en los puntos evaluados, por lo que se recomienda mantener el seguimiento periódico del parámetro para verificar la estabilidad de las condiciones observadas.

6.3.4. Representación gráfica de la medición de Partículas Aero transportables

Gráfica 6-11 Representación gráfica de la medición de las Partículas Aero transportables en las chimeneas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván.



Fuente: Betta Consultoría Ambiental S.A.S., 2026.

Según la Gráfica 6-11, la representación espacial de las partículas aero transportables en la Planta de Residuos Sólidos El Gaván evidencia una distribución heterogénea dentro del área evaluada. Se observa una mayor intensidad de las tonalidades amarillas, naranjas y rojas principalmente hacia el sector central y oriental del área monitoreada, destacándose una zona de mayor concentración alrededor de los puntos CH-7, CH-2 y CH-14, mientras que hacia el sector occidental y algunas zonas del sur predominan tonalidades verdes, asociadas con valores relativamente menores. En

términos generales, la distribución espacial muestra variaciones en la cantidad de partículas aero transportables entre los diferentes puntos de evaluación, identificándose sectores con mayor y menor aporte de material particulado. Estos resultados permiten reconocer espacialmente las áreas que presentan mayores tasas de emisión y pueden servir como referencia para fortalecer las actividades de seguimiento y control de las emisiones atmosféricas asociadas a la operación de la planta

7. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el monitoreo de caudal y concentración de biogás (Metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2), límite de explosividad (LEL), sulfuro de hidrogeno (H_2S) y las partículas aero transportables en el área de operación de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván, ubicado en el municipio de Paz de Ariporo, departamento del Casanare, se puede establecer que:

- Los resultados obtenidos para el componente de biogás metano (CH_4) en las chimeneas de la Planta de Residuos Sólidos El Gaván evidenciaron una concentración de 0,00 % en la totalidad de los puntos evaluados: CH-1, CH-2, CH-4, CH-5, CH-6, CH-7, CH-8, CH-9, CH-10, CH-11, CH-12 y CH-14. En consecuencia, durante la jornada de monitoreo no se registró presencia detectable de metano en las chimeneas evaluadas, presentándose un comportamiento uniforme del parámetro en toda el área de estudio. Estos resultados permiten establecer que, para las condiciones registradas durante el monitoreo, no se evidenció una concentración significativa de CH_4 en las corrientes gaseosas evaluadas.

- Los resultados correspondientes al dióxido de carbono (CO_2) presentaron valores bajos y relativamente uniformes entre las chimeneas monitoreadas, con concentraciones comprendidas entre 0,06 % y 0,08 %. Las mayores concentraciones, de 0,08 %, se registraron en las chimeneas CH-5, CH-9 y CH-11, mientras que los menores valores, de 0,06 %, se presentaron en CH-1, CH-2, CH-6, CH-8 y CH-14. En términos generales, la baja concentración de CO_2 registrada evidencia una presencia reducida de este componente en la corriente gaseosa durante la jornada evaluada.

- Las concentraciones de oxígeno (O_2) presentaron un comportamiento relativamente uniforme entre los puntos evaluados, con valores que oscilaron entre 19,69 % y 20,51 %. La mayor concentración se registró en CH-10, con 20,51 %, seguida de CH-9 con 20,50 %, mientras que el menor valor correspondió a CH-14, con 19,69 %. En general, los resultados se encuentran en un rango cercano al contenido de oxígeno presente en el aire, evidenciando una presencia importante de O_2 en las corrientes gaseosas monitoreadas. Este comportamiento es consistente con las bajas concentraciones de CH_4 y CO_2 obtenidas durante la jornada.

- Las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) fueron de 0 ppm en la totalidad de las chimeneas evaluadas, sin registrarse presencia detectable del compuesto en ninguno de los puntos monitoreados. Este comportamiento evidencia una

distribución uniforme del parámetro y ausencia de H_2S en las corrientes gaseosas durante la jornada de evaluación. En consecuencia, no se identificaron puntos con concentraciones diferenciadas de este contaminante dentro del área monitoreada.

- Se presentaron los resultados obtenidos para el límite Inferior de explosividad (LEL), calculado a partir del porcentaje de metano (CH_4) medido en las chimeneas. Los valores obtenidos en el área circundante a la salida de los gases indican que no se registraron concentraciones de CH_4 superiores al 5%, por lo tanto, no se configura una atmósfera explosiva, descartando riesgos de ignición en el entorno de la planta.

- Los resultados de caudal de biogás presentan una variación importante entre las chimeneas monitoreadas, con valores comprendidos entre 18,14 m³/h y 42,28 m³/h. El mayor caudal se registró en CH-2, con 42,28 m³/h, seguido de CH-7 con 36,56 m³/h y CH-14 con 36,03 m³/h; el menor valor correspondió a CH-11, con 18,14 m³/h, seguido de CH-5 con 18,26 m³/h. En general, los resultados evidencian diferencias en el flujo de gases entre las chimeneas, aun cuando las concentraciones de CH_4 y CO_2 permanecen bajas y relativamente uniformes.

- Los resultados correspondientes a las partículas aerotransportables presentaron concentraciones entre 0,00255 kg/h y 0,00594 kg/h. La mayor tasa de emisión se registró en CH-2 con 0,00594 kg/h, seguida de CH-7 con 0,00514 kg/h y CH-14 con 0,00506 kg/h; el menor valor correspondió a CH-11 con 0,00255 kg/h, seguido de CH-5 con 0,00256 kg/h. En términos generales, se observa una variación moderada entre las tasas de emisión de partículas de las diferentes chimeneas, destacándose CH-2 como el punto con el mayor valor registrado durante la jornada de monitoreo.