

INFORME TÉCNICO
RESULTADOS DE MEDICIÓN DE BIOGÁS
Y CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL
EN EL RELLENO SANITARIO VERA II

SEGOVIA ASEO S.A. E.S.P.

SEGOVIA, ANTIOQUIA

MARCH – 2026

(Primer Semestre 2026)

Fecha de monitoreo: 12 de marzo de 2026



1. INTRODUCCIÓN

La empresa Segovia Aseo S.A. E.S.P., como operadora del Relleno Sanitario Vera II en el municipio de Segovia, tiene como propósito garantizar el cumplimiento de la normatividad en materia de gestión y monitoreo de los gases generados en el sitio de disposición final. En este marco, el presente informe técnico expone los resultados del monitoreo realizado el 12 de marzo de 2026, en el cual se evaluaron las concentraciones de metano (CH_4), sulfuro de hidrógeno (H_2S) e índices de explosividad en las chimeneas del relleno sanitario.

De acuerdo con los lineamientos de la licencia ambiental y lo establecido en el Decreto 1784 de 2017, las evaluaciones de calidad, cantidad y composición del biogás deben efectuarse semestralmente como medida de control y seguimiento a las operaciones.

En esta jornada se llevó a cabo la medición de 11 chimeneas y 0 puntos de interés adicionales dentro de las instalaciones: sistema de tratamiento de lixiviados, caja de lixiviados y áreas perimetrales del relleno sanitario, para un total de 12 lecturas de biogás y 14 puntos de calidad del aire ambiental.

Los resultados obtenidos fueron procesados mediante métodos estadísticos descriptivos y análisis geoestadístico mediante el método de interpolación espacial Kriging, con el fin de generar mapas de isoconcentraciones que permiten visualizar la dispersión de los componentes del biogás en el área del relleno sanitario y sus alrededores.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Presentar los resultados de la calidad de biogás en el Relleno Sanitario Vera II y dar cumplimiento a lo establecido en la Licencia Ambiental del proyecto, el Plan de Manejo Ambiental (PMA) y el Decreto 1784 de 2017 en cuanto al seguimiento y control en la operación del relleno sanitario.



2.2. Objetivos específicos

- Mostrar los resultados de la composición de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxígeno (O_2) en el biogás de salida de las chimeneas durante las mediciones correspondientes al primer semestre de 2026.
- Monitorear los niveles de metano en las instalaciones del relleno sanitario para evitar la acumulación de biogás en concentraciones peligrosas, mediante el registro del Límite Explosivo del metano (LEL).
- Modelar la dispersión de los diferentes componentes del biogás sobre la masa de residuos para identificar zonas activas en cuanto a la generación de biogás.
- Evaluar la calidad del aire ambiental mediante la medición de material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) y la presencia de olores ofensivos en el área de influencia del relleno.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.1. Datos generales de la actividad económica

A continuación se presentan los datos generales de la empresa operadora del sitio de disposición final monitorado:

Tabla 1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

CAMPO	INFORMACIÓN
Razón social	Segovia Aseo S.A. E.S.P.
NIT	Por confirmar
Área a monitorear	Aseo
Actividad específica	Disposición final (Relleno Sanitario)
Municipio	Segovia
Departamento	Antioquia
Ubicación	Relleno Sanitario Vera II
Geo-referenciación	Por confirmar
Altitud	Por confirmar
Correo electrónico	Por confirmar

Fuente: elaboración propia

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Biogás Relleno Sanitario

Cuando se depositan los residuos sólidos en el relleno sanitario, el aire atrapado ocupa los espacios vacíos del relleno. Durante el periodo inicial, que generalmente es entre 6 y 18 meses, el oxígeno atrapado es consumido por bacterias aeróbicas.



Una vez que las bacterias aeróbicas consumen todo el oxígeno, el ambiente es propicio para las bacterias anaeróbicas, que pueden sobrevivir solamente en ambientes libres de oxígeno. Estas se alimentan de la celulosa (que se encuentra en la materia orgánica) y la descomponen, creando metano y dióxido de carbono como subproductos de dicho proceso.

El volumen y la concentración en las emisiones de metano en un relleno están directamente relacionados con la cantidad total de materia orgánica dispuesta en él, su contenido de humedad, técnicas de compactación, temperatura, tipo de residuos sólidos y tamaño de las partículas. El relleno usualmente continúa emitiendo metano por muchos años después de ser clausurado.

4.2. Composición del biogás

Tabla 2. Composición típica del biogás de relleno sanitario

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Metano (CH ₄)	35 – 60
Dióxido de carbono (CO ₂)	30 – 50
Nitrógeno (N ₂)	2 – 10
Oxígeno (O ₂)	0,2 – 1
Trazas (H ₂ S, NH ₃ , COVs)	< 1

4.3. Características generales del biogás

El rango explosivo del metano se encuentra entre el 5% y 15% por volumen en el aire, sobre el nivel del mar, a 25°C. Una cantidad de electricidad estática tan pequeña como 0,3 milijulios es suficiente para iniciar la ignición del metano. La temperatura de auto ignición del metano es de 540°C. El biogás del relleno sanitario puede presentar un peligro explosivo cuando se acumula en espacios reducidos o estructuras.

4.4. Marco normativo aplicable

Tabla 3. Marco normativo aplicable al monitoreo

NORMA	PARÁMETRO REGULADO	LÍMITE ESTABLECIDO
Decreto 1784 de 2017	Biogás en rellenos sanitarios	Monitoreo semestral obligatorio
Resolución 2254 de 2017	Material particulado PM ₁₀	75 µg/m³ (promedio 24 h)
Resolución 2254 de 2017	Material particulado PM _{2.5}	37 µg/m³ (promedio 24 h)
ACGIH TLV-TWA	Monóxido de carbono (CO)	50 ppm
ACGIH TLV-TWA	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	10 ppm



5. METODOLOGÍA

5.1. Identificación de puntos de medición

El Relleno Sanitario Vera II cuenta con chimeneas para la evacuación de los gases generados en el proceso de descomposición de los residuos sólidos. En la zona de disposición, las chimeneas se conforman con tubería PVC perforada rodeada con material filtrante. Se realizó la medición en 11 chimeneas y 0 puntos de control adicionales dentro de las instalaciones, incluyendo la caja de lixiviados y el área perimetral del relleno.

5.2. Descripción de instrumentación utilizada

Se utilizó el detector de gas portátil cuatro en uno ES30A, un medidor de múltiples gases que integra precisión y bajo consumo energético. Posee carcasa antideslizante, alarma sonora, luminosa y vibratoria, y calificación IP54. El instrumento emplea sensores electroquímico y catalítico, con temperatura de operación de -20°C a 50°C, unidades de concentración en ppm, %VOL y %LEL, y método de detección por difusión.

La medición del 12 de marzo de 2026 fue llevada a cabo en el Relleno Sanitario Vera II, localizado en el municipio de Segovia, Antioquia.

6. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las zonas de disposición, correspondientes al monitoreo realizado el 12 de marzo de 2026.

Tabla 4. Resultados mediciones

PUNTO MEDIDO	O ₂	EX LEL	CO	H ₂ S	CH ₄	CONDICIÓN
Chimenea 10	18	100	-	0	5	CRÍTICA
Chimenea 9	16	100	-	0	5	CRÍTICA
Chimenea 11	19	100	-	-	5	NORMAL
Chimenea 7	21	21	-	0	1	NORMAL
Chimenea 4	15	100	-	1	5	CRÍTICA
Chimenea 8	17	100	-	0	5	CRÍTICA
Chimenea 6	21	5	-	0	0	NORMAL
Chimenea 5	21	3	-	0	0	NORMAL
Chimenea 3	15	100	-	0	5	CRÍTICA
Chimenea 2	21	34	-	0	2	NORMAL
Caja lixiviado frente	17	100	-	0	5	CRÍTICA
Chimenea 1	14	100	-	0	5	CRÍTICA



La tabla presenta los resultados del monitoreo realizado en las chimeneas del Relleno Sanitario Vera II. Para cada punto se registraron las coordenadas en los ejes X e Y, así como las concentraciones de oxígeno (O_2 en %), explosividad (EX en porcentaje del Límite Inferior de Explosividad – LEL), monóxido de carbono (CO en ppm), sulfuro de hidrógeno (H_2S en ppm) y metano (CH_4 en %).

Los resultados muestran que las chimeneas con mayor actividad biogénica son: Chimenea 10 (LEL: 100%), Chimenea 9 (LEL: 100%), Chimenea 11 (LEL: 100%), Chimenea 4 (LEL: 100%), Chimenea 1 (LEL: 100%). En estos puntos se identifican concentraciones de metano (CH_4) entre 3.58% y 5.00%, y niveles de explosividad (LEL) que alcanzan hasta un 100.00%, lo que evidencia generación activa de biogás en estos sectores del relleno sanitario.

A continuación se presenta la tabla del balance de oxígeno consumido por chimenea.

Tabla 5. Balance de oxígeno

PUNTO MEDIDO	O_2 medido (%)	O_2 consumido (%)
Chimenea 10	18.0	2.9
Chimenea 9	16.0	4.9
Chimenea 11	19.0	1.9
Chimenea 7	21.0	0.0
Chimenea 4	15.0	5.9
Chimenea 8	17.0	3.9
Chimenea 6	21.0	0.0
Chimenea 5	21.0	0.0
Chimenea 3	15.0	5.9
Chimenea 2	21.0	0.0
Caja_lixiviado_frente	17.0	3.9
Chimenea 1	14.0	6.9

El análisis del balance de oxígeno muestra que la mayoría de los puntos mantienen niveles estables (20,9%), sin evidencias de consumo significativo. Sin embargo, se identifican chimeneas con reducción de oxígeno: Chimenea 1 (14.0%), Chimenea 4 (15.0%), Chimenea 3 (15.0%), Chimenea 9 (16.0%), Chimenea 8 (17.0%), Caja_lixiviado_frente (17.0%), Chimenea 10 (18.0%), Chimenea 11 (19.0%). Estos valores evidencian actividad biológica y generación de gases en dichos puntos, especialmente en las chimeneas con mayor índice de explosividad.

Tabla 6. Estadísticas descriptivas – Parámetros de biogás

Parámetro	N	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	Desv. Est.
LEL (%)	12	3	100	71.92	100.0	42.18
CH_4 (%)	12	0	5	3.58	5.0	2.15
H_2S (ppm)	11	0.0	1.0	0.09	0.0	0.3
O_2 (%)	12	14	21	17.92	17.5	2.64



7. MODELACIÓN Y DISPERSIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BIOGÁS

A continuación se presentan los resultados de la modelación de dispersión de los diferentes componentes del biogás en el Relleno Sanitario Vera II. Para realizar esta modelación se tomaron los resultados obtenidos en cada una de las chimeneas y los datos de georreferenciación de las mismas. Mediante métodos geoestadísticos de interpolación espacial (Kriging) se obtuvieron los mapas de isopletras (líneas de igual concentración).

7.1. HISTOGRAMAS

Como primer paso, se realizó una evaluación de la distribución de las mediciones obtenidas en las chimeneas del Relleno Sanitario Vera II, a través de histogramas para cada parámetro monitoreado: oxígeno (O_2), explosividad (LEL%), monóxido de carbono (CO) y metano (CH_4). Los histogramas permiten identificar la distribución estadística de cada variable y detectar posibles valores atípicos en los datos de campo.

Histogramas de Distribución – O_2 , LEL, CO y CH_4
Relleno Sanitario Vera II

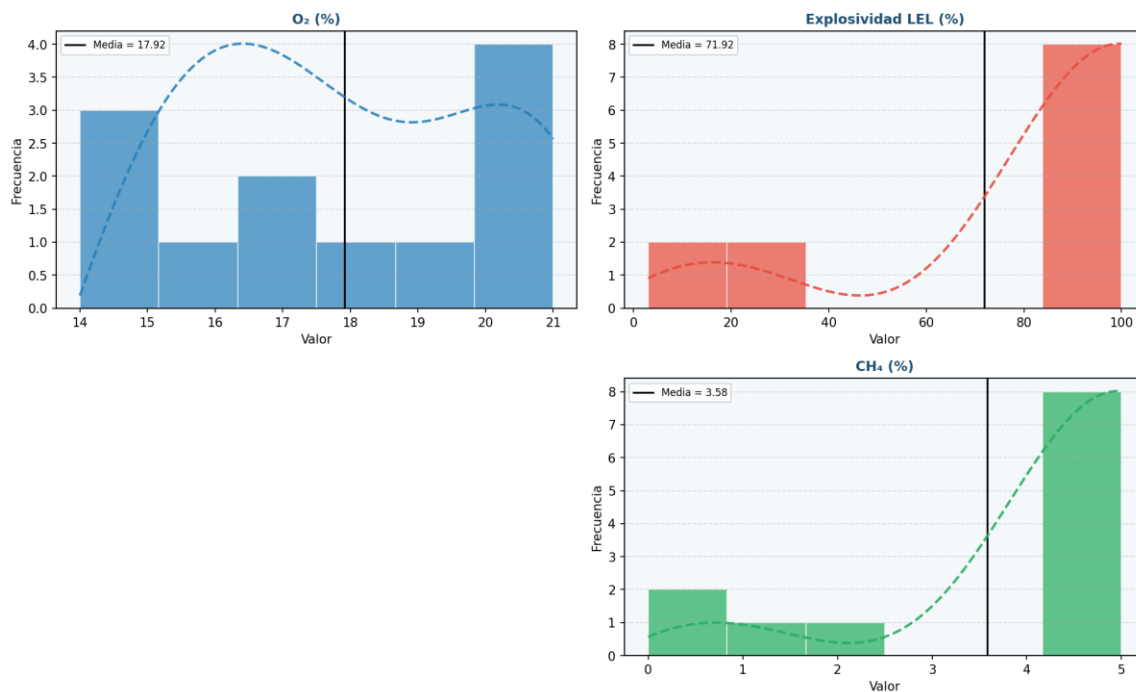


Figura 1. Histogramas de distribución – O_2 , LEL, CO y CH_4



7.2. GRÁFICOS NORMAL Q-Q (QUANTILE-QUANTILE)

Los gráficos Normal Q-Q evalúan la normalidad de las distribuciones de los parámetros medidos en las chimeneas: oxígeno (O_2), explosividad, monóxido de carbono (CO) y metano (CH_4). Estos gráficos comparan los cuantiles de los datos observados con los esperados bajo una distribución normal. Las desviaciones reflejan asimetrías típicas en datos ambientales, donde factores como la heterogeneidad en los residuos, ventilación y etapas de descomposición influyen en las mediciones.

Gráficos Normal Q-Q - Parámetros de Biogás
Relleno Sanitario Vera II

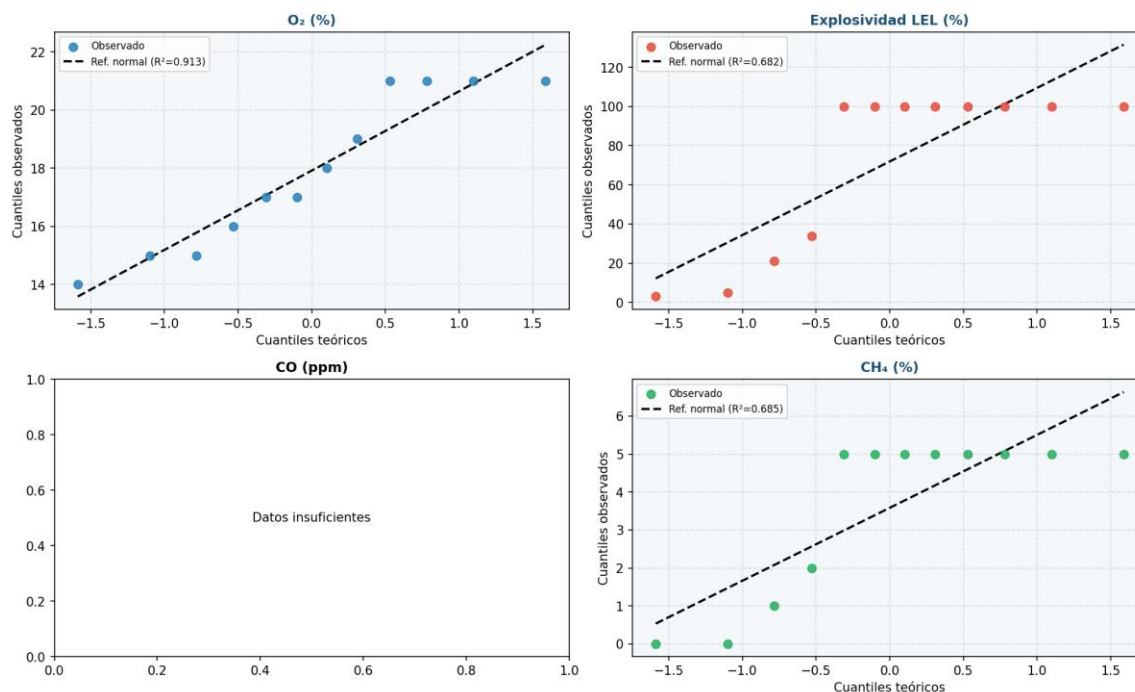


Figura 2. Gráficos Normal Q-Q de los parámetros monitoreados

7.3. DIAGRAMAS DE VORONOI

Los diagramas de Voronoi representan distribuciones espaciales de las variables medidas en las chimeneas del Relleno Sanitario Vera II. Cada diagrama divide el área en celdas poligonales asociadas a puntos de medición, con colores que indican valores numéricos según escalas específicas. Este tipo de representación permite identificar visualmente las zonas de mayor y menor concentración de cada parámetro monitoreado.



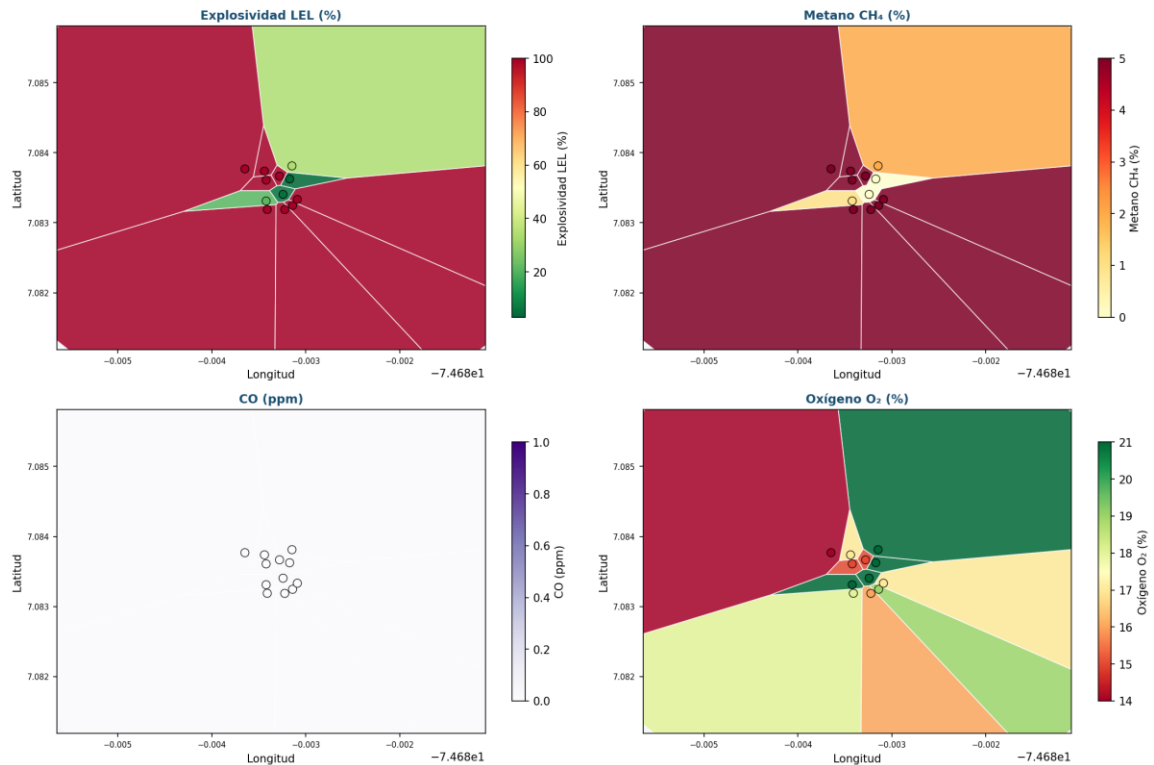


Figura 3. Diagramas de Voronoi – distribución espacial por parámetro

7.4. GRÁFICOS DE ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Los gráficos de análisis de tendencias muestran representaciones tridimensionales de las variaciones de oxígeno (O₂) y explosividad en las chimeneas del Relleno Sanitario Vera II. Estos gráficos combinan dos dimensiones espaciales con una dimensión de valor (eje Z), ilustrando cómo estos parámetros evolucionan en el espacio. Cada gráfico incluye una superficie de malla y líneas de tendencia que destacan patrones dinámicos.



**Análisis de Tendencias 3D - Superficie de Variación Espacial
Relleno Sanitario Vera II**

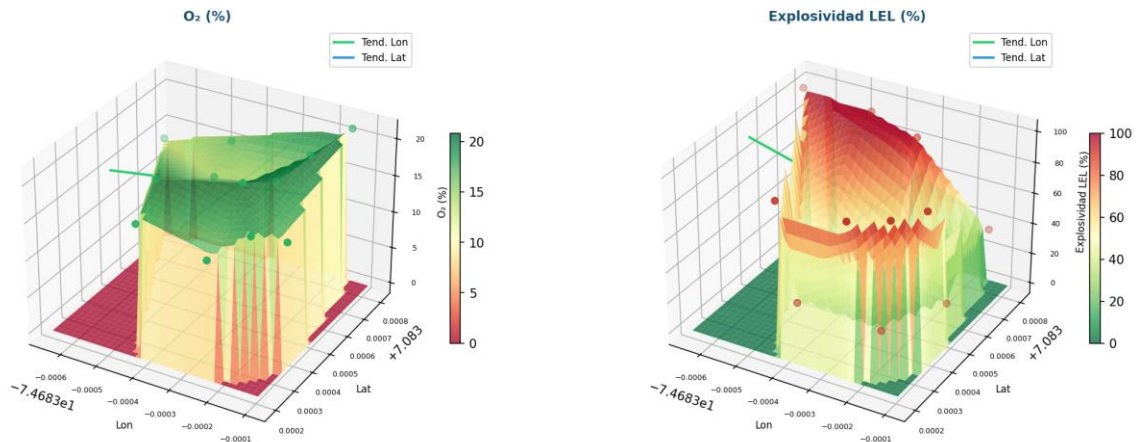


Figura 4. Análisis de tendencias 3D – superficie de variación espacial

7.5. Análisis de los Semivariogramas / Nubes de Covarianza

Los semivariogramas y nubes de covarianza analizan la variabilidad espacial de los parámetros medidos en las chimeneas del Relleno Sanitario Vera II. Estos gráficos muestran cómo la variabilidad de cada parámetro cambia con la distancia entre puntos de medición. La alta variabilidad especialmente en explosividad y CO sugiere que las emisiones son puntuales y localizadas, más que generalizadas en el área del relleno sanitario.



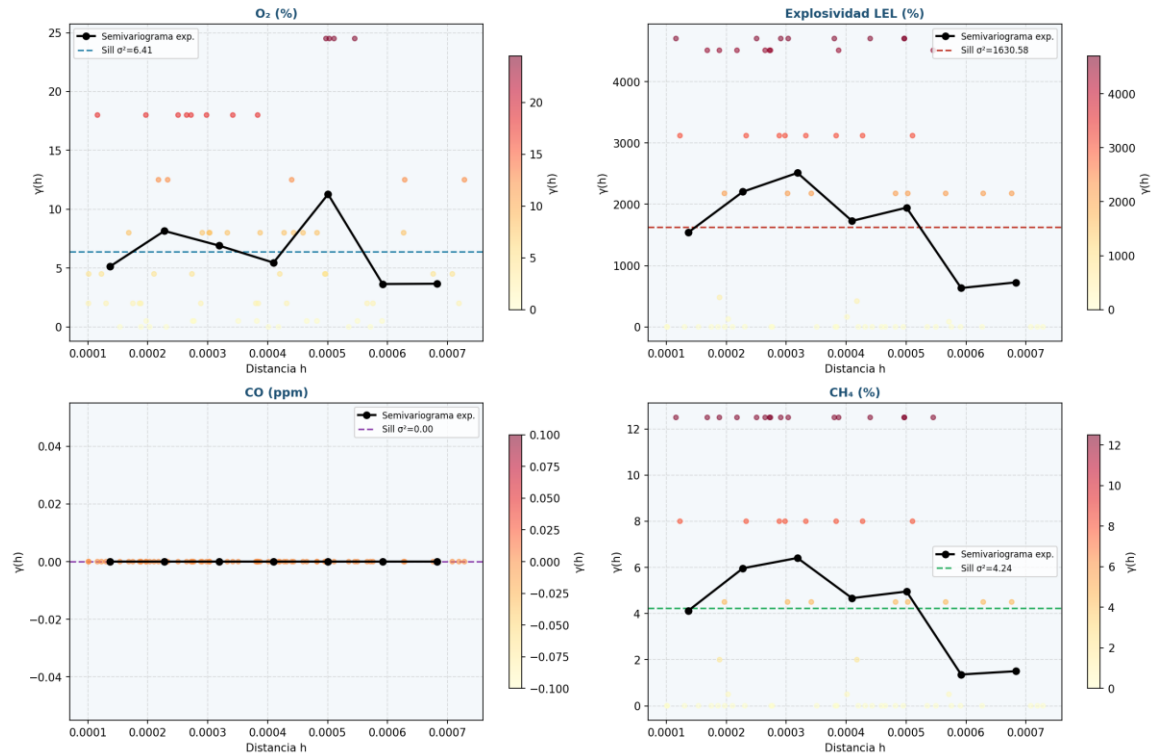


Figura 5. Semivariogramas y nubes de covarianza por parámetro

7.6. KRIGING

Los mapas de Kriging ilustran las distribuciones espaciales interpoladas de oxígeno (O_2), explosividad, monóxido de carbono (CO) y metano (CH_4) en las chimeneas del Relleno Sanitario Vera II. Estos mapas utilizan el método de Kriging para predecir valores en áreas no muestreadas, mostrando contornos rellenos que reflejan concentraciones estimadas en función de 12 puntos de medición.

- Chimeneas críticas ($LEL \geq 50\%$): Chimenea 10, Chimenea 9, Chimenea 4, Chimenea 8, Chimenea 3. Requieren intervención inmediata y seguimiento reforzado.
- Las condiciones de explosividad y metano en las zonas perimetrales del relleno son estables, sin riesgo inmediato en las áreas de infraestructura.
- Los mapas de Kriging confirman que las emisiones se concentran en las chimeneas activas y no presentan migración significativa hacia los linderos del relleno ni hacia las áreas habitadas circundantes.



Mapas de Kriging - Interpolación Espacial de Parámetros
Relleno Sanitario Vera II

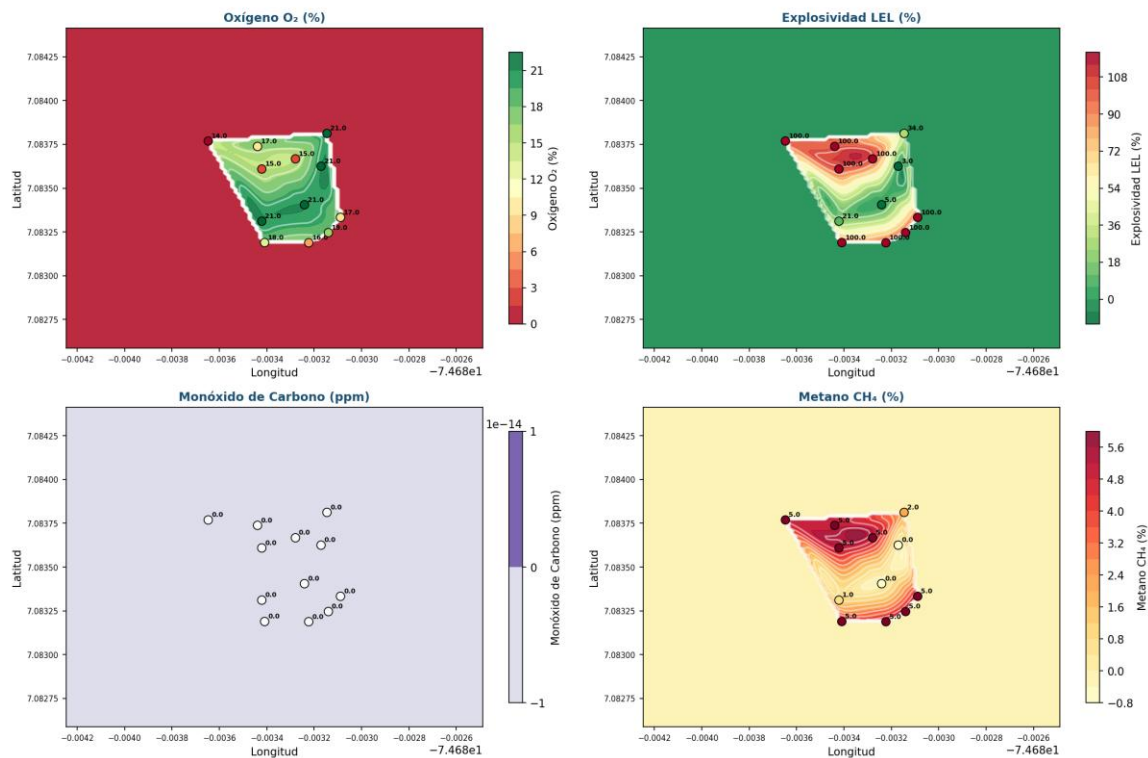


Figura 6. Mapas de Kriging – interpolación espacial de parámetros

7.7. Resultados por punto de monitoreo

Los gráficos de barras presentados a continuación muestran los valores registrados para cada parámetro en todos los puntos de monitoreo, incluyendo las líneas de referencia normativa que permiten identificar los puntos que superan los umbrales de precaución o peligro establecidos en la normatividad aplicable.



Resultados de Medición por Punto de Monitoreo
 Relleno Sanitario Vera II

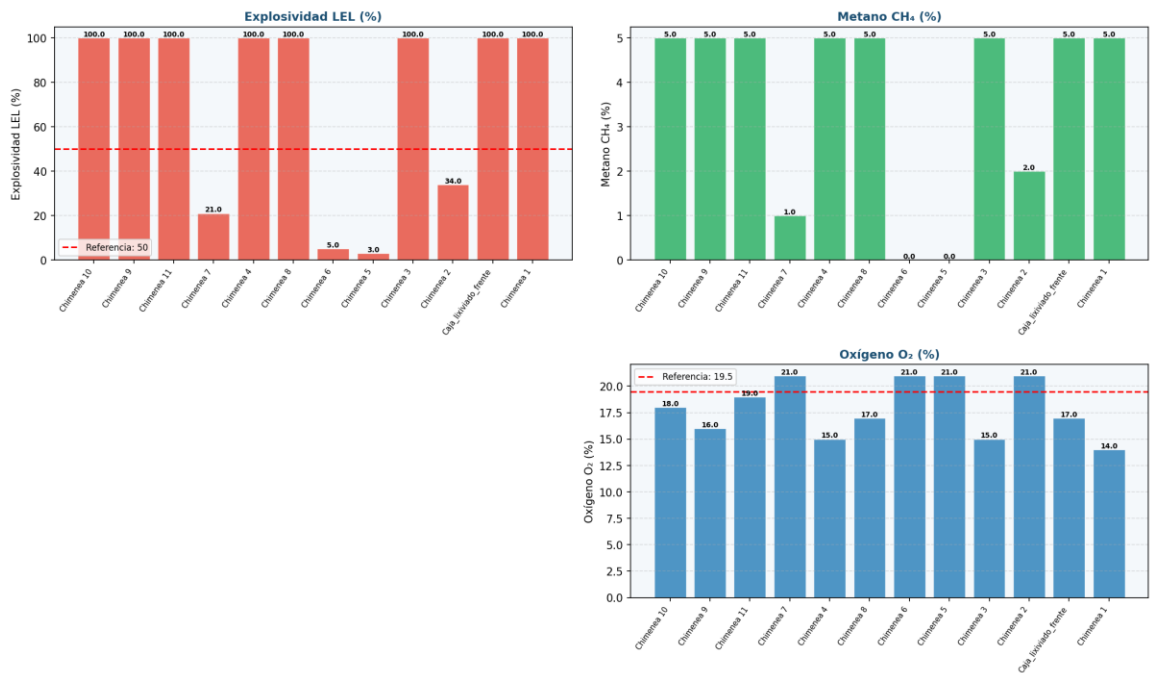


Figura 7. Resultados por punto de monitoreo – todos los parámetros

8. MEDICIONES DE PUNTOS DE CONTROL

Para la determinación de los puntos en los cuales se realizó la medición para determinar el Límite Explosivo Inferior (LEI) del metano, se evaluaron cuáles eran los de mayor interés dentro de las instalaciones del Relleno Sanitario Vera II y sus alrededores.

Tabla 7. MEDICIONES DE PUNTOS DE CONTROL

ID	PUNTO MEDIDO	O ₂	EX LEL	CO	H ₂ S	CH ₄
----	--------------	----------------	--------	----	------------------	-----------------

Las mediciones en los puntos de control indican un entorno con niveles de O₂ próximos al valor atmosférico (20,9%) y ausencia o valores mínimos de gases tóxicos o inflamables. Esto confirma que la dispersión de biogás no alcanza de forma significativa las zonas perimetrales ni las áreas de infraestructura del relleno sanitario.



9. RESULTADOS DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL

El programa de monitoreo de calidad del aire ambiental evaluó las concentraciones de material particulado y la presencia de olores ofensivos en los puntos establecidos en el área de influencia del Relleno Sanitario Vera II.

Las concentraciones de PM_{10} registraron un promedio de $33.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo: $45.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), manteniéndose dentro de los límites normativos según la Resolución 2254 de 2017 ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para período de 24 horas). El $PM_{2.5}$ promedió $19.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, igualmente dentro del límite normativo ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La evaluación de olores ofensivos registró 6 punto(s) con presencia de olores durante el monitoreo. Los niveles de intensidad identificados corresponden principalmente a las categorías débil y perceptible de la escala estandarizada, sin registros de intensidades fuertes que pudieran afectar significativamente a la comunidad circundante al Relleno Sanitario Vera II.

Tabla 8. Resultados de calidad del aire ambiental – Primer semestre

Fecha	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	$PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Olores	Intensidad
11 de febrero de 2026	31.6	19.0	False	0 - No perceptible
11 de febrero de 2026	34.4	22.5	False	0 - No perceptible
11 de febrero de 2026	33.0	19.0	False	0 - No perceptible
11 de febrero de 2026	31.3	17.6	False	0 - No perceptible
11 de febrero de 2026	29.2	16.8	False	0 - No perceptible
11 de febrero de 2026	37.2	22.1	False	0 - No perceptible
11 de febrero de 2026	27.5	16.3	False	0 - No perceptible
11 de febrero de 2026	37.1	22.4	False	0 - No perceptible
11 de febrero de 2026	29.4	17.8	True	2 - Débil
12 de marzo de 2026	45.6	25.3	True	2 - Débil
12 de marzo de 2026	34.7	19.8	True	3 - Distintivo
12 de marzo de 2026	29.2	17.5	True	2 - Débil
12 de marzo de 2026	31.7	18.1	True	3 - Distintivo



12 de marzo de 2026	33.3	18.7	True	3 - Distintivo
---------------------	------	------	------	----------------

Calidad del Aire Ambiental - Material Particulado y Olores
Relleno Sanitario Vera II

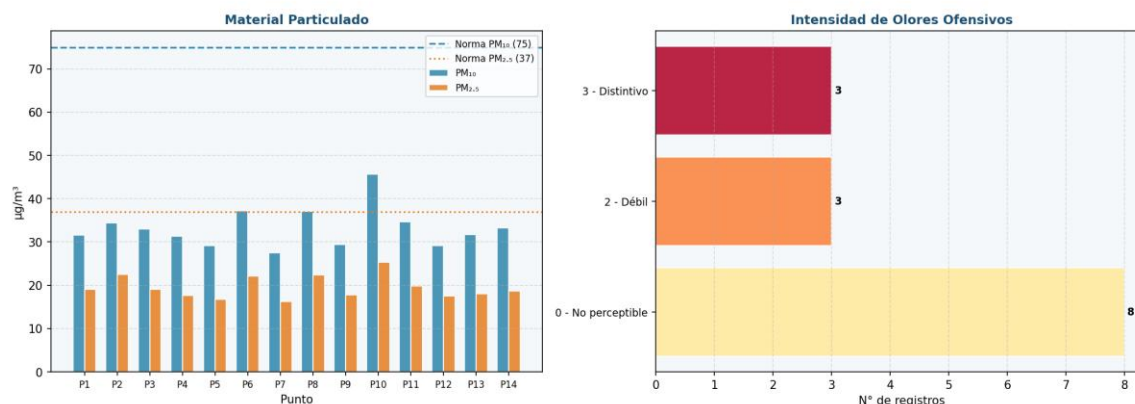


Figura 8. Material particulado $PM_{10}/PM_{2.5}$ e intensidad de olores ofensivos

10. EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO NORMATIVO

Tabla 9. Evaluación de cumplimiento normativo

Parámetro	Valor límite	Norma	Excedencias	Estado
PM_{10}	$75 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Res. 2254/2017	0	✓ CUMPLE
$PM_{2.5}$	$37 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Res. 2254/2017	0	✓ CUMPLE
LEL precaución	< 25%	Dec. 1784/2017	1	⚠ PRECAUCIÓN
LEL peligro	< 50%	Dec. 1784/2017	8	✗ CRÍTICO
O_2 mínimo	$\geq 19,5\%$	Dec. 1784/2017	8	⚠ DEFICIENCIA
H_2S	< 10 ppm	ACGIH TLV	0	✓ CUMPLE

11. CONCLUSIONES

- Las concentraciones más relevantes se registraron en las chimeneas de evacuación en condición crítica: Chimenea 10, Chimenea 9, Chimenea 4, Chimenea 8, Chimenea 3, Caja_lixiviado_frente, con valores de LEL que alcanzan hasta 100.00% y concentraciones de CH_4 de hasta 5.00%. Estos resultados evidencian generación activa de biogás en sectores específicos del relleno sanitario que requieren intervención inmediata y seguimiento reforzado.
- El balance de oxígeno muestra que 8 punto(s) presentan reducción de O_2 por debajo del valor de referencia atmosférico (20,9%), con un promedio general de 17.92% y un mínimo registrado de 14.00%. Esto confirma que en estos



sectores se desarrollan procesos activos de biodegradación y producción de biogás.

- El modelo de dispersión espacial mediante Kriging permitió identificar que las emisiones se concentran en las chimeneas y no presentan migración significativa hacia los linderos ni hacia las zonas aledañas al Relleno Sanitario Vera II. Esto indica que las estructuras de evacuación están cumpliendo su función de control y liberación controlada de gases.
- Los parámetros de calidad del aire (PM_{10} y $PM_{2.5}$) se mantuvieron dentro de los límites normativos de la Resolución 2254 de 2017. Los olores ofensivos registrados corresponden a categorías de baja intensidad, sin afectación significativa a la comunidad circundante.
- Los resultados permiten concluir que el Relleno Sanitario Vera II se encuentra en condiciones operativas con alertas en los parámetros normativos establecidos en el Decreto 1784 de 2017 y en la licencia ambiental vigente. Se recomienda mantener el monitoreo semestral establecido y reforzar el control en las chimeneas con mayores aportes de biogás.

12. RECOMENDACIONES

- Mantener el programa de monitoreo semestral de biogás conforme a lo exigido en el Decreto 1784 de 2017 y la licencia ambiental vigente del Relleno Sanitario Vera II.
- Implementar de manera inmediata acciones correctivas en los puntos en condición crítica identificados (Chimenea 10, Chimenea 9, Chimenea 4, Chimenea 8): verificar la integridad estructural, la permeabilidad y la capacidad de evacuación de cada chimenea. Registrar todas las intervenciones en la bitácora ambiental del proyecto.
- Establecer un programa de inspección periódica mensual de las chimeneas con mayores concentraciones de biogás, con el fin de detectar oportunamente cambios en la actividad biogénica y prevenir la acumulación de gases inflamables.
- Continuar el monitoreo de calidad del aire ambiental, incorporando mediciones en condiciones climatológicas variables (épocas secas y lluviosas) para caracterizar la variabilidad estacional de las emisiones en el área de influencia del relleno.
- Actualizar periódicamente la georreferenciación de las chimeneas y puntos de control con equipos GPS de precisión, con el fin de mejorar la calidad de los modelos geoestadísticos aplicados en los informes semestrales.
- Documentar fotográficamente todos los puntos de monitoreo durante cada jornada de campo, generando un registro visual que permita evidenciar el



estado de las chimeneas y las condiciones generales del relleno sanitario en cada período evaluado.

- Evaluar la posibilidad de implementar un sistema de monitoreo continuo (sensores fijos) en las chimeneas identificadas como críticas, con el fin de contar con datos en tiempo real y optimizar la respuesta ante situaciones de riesgo.

*Informe generado automáticamente | Segovia Aseo S.A. E.S.P. | Relleno Sanitario Vera II | Segovia, Antioquia |
Fecha de generación: 18/03/2026 04:45*

