

**INFORME TÉCNICO RESULTADOS DE MEDICIÓN DE
GASES GENERADOS POR FUENTES FIJAS CHIMENEAS
EN EL RELLENO SANITARIO VERA II**

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

SEGOVIA, ANTIOQUIA

MAYO – 2025



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	6
3.1. Datos generales de la actividad económica	6
4. MARCO TEÓRICO	7
4.1. Biogás Relleno Sanitario	7
4.2. Composición del gas de un Relleno Sanitario (Biogás)	7
4.3. Características generales Biogás	8
4.4. Migración de emisiones de biogás	9
4.5. Factores que influyen en las presiones internas, migración y emisiones del Relleno Sanitario	9
5. METODOLOGÍA	10
5.1. Identificación de puntos de medición	10
5.2. Descripción de instrumentación utilizada	11
5.2.1. Instrumento	11
5.2.2. Bomba de succión	12
6. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES	14
7. MODELACIÓN Y DISPERSIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BIOGÁS	18
7.1. HISTOGRAMAS	18
7.2. GRÁFICOS NORMAL Q-Q (QUANTILE-QUANTILE)	19
7.3. DIAGRAMAS DE VORONOI	20
7.4. GRÁFICOS DE ANÁLISIS DE TENDENCIAS	21
7.5. Análisis de los Semivariogramas/Nubes de Covarianza	22
7.6. KRIGING	24
8. MEDICIONES DE PUNTOS DE CONTROL	26
9. CONCLUSIONES	27



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	6
Tabla 2. Composición Biogás	7
Tabla 3. Resultados mediciones.....	15
Tabla 4. Balance de oxígeno	16
Tabla 5. MEDICIONES DE PUNTOS DE CONTROL	26

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. resultados de concentraciones de contaminantes.....	16
Gráfica 2. Balance de oxígeno	17
Gráfica 3. Histogramas.....	18
Gráfica 4. Normal Q-Q.....	19
Gráfica 5. diagramas de Voronoi.....	20
Gráfica 6. gráficos de análisis de tendencias	22
Gráfica 7. Semivariogramas/Nubes de Covarianza	23
Gráfica 8 Kriging	25

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. plano localización chimeneas	10
Ilustración 2. Detector de gas portátil cuatro en uno ES30A	11
Ilustración 3. Bomba de Muestreo de Gas BH-GSP	12
Ilustración 4. Conexión final del instrumento.....	14



1. INTRODUCCIÓN

Segovia Aseo SAESP, como empresa operadora del Relleno Sanitario Vera II en el municipio de Segovia, tiene como propósito garantizar el cumplimiento de la normatividad vigente 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 13 de mayo de 2025, 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.

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 tres puntos de interés adicionales dentro de las instalaciones: la laguna de lixiviados, el área administrativa (oficinas) y la vía que comunica con la comunidad aledaña, para un total de 15 lecturas.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron procesados 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 2025.
- Monitorear los niveles de metano en las instalaciones del relleno sanitarios para evitar la acumulación de biogás en concentración peligrosas, mediante el registro del Límite Explosivo del metano.
- Presentar un análisis de los resultados obtenidos de la calidad del biogás y comparar con muestreos anteriores para establecer tendencias y comprender el comportamiento del biogás en el relleno.
- Modelar la dispersión de los diferentes componentes del biogás sobre la masa residuos para identificar zonas activas en cuanto a la generación de biogás.



3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.1. Datos generales de la actividad económica

A continuación, en la siguiente Tabla, los datos generales de la actividad de la empresa, objeto del presente estudio.

Tabla 1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	
Razón social	SEGOVIA ASEO S.A. E.S.P.
NIT	900170153-1
Área a monitorear	Aseo
Actividad específica	Disposición final (Relleno Sanitario)
Municipio	Segovia
Departamento	Antioquia
Ubicación	Vereda el Aporriado (paraje Vera)
Geo-referenciación	7° 5' 0.79" N 74° 40' 59.22" W Las coordenadas en CTM12 son: • Este: 4814179.715 m • Norte: 2341058.210 m
Correo electrónico	serviciospublicos@segoviaaseo.com.co

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 el relleno, su contenido de humedad, técnicas de compactación, temperatura, tipo de residuos sólidos y tamaño de las partículas.

Igualmente, las emisiones están directamente influenciadas por el tipo de operación en el relleno sanitario y la gestión tanto en el manejo de los lixiviados como de evacuación del biogás. El índice de emisión de metano disminuye con la clausura del relleno (según la materia orgánica vaya siendo agotada). El relleno usualmente continúa emitiendo metano por años (20 años o más) después de ser clausurado.

4.2. Composición del gas de un Relleno Sanitario (Biogás)

El biogás anaeróbico consta principalmente de metano, dióxido de carbono y concentraciones mínimas de Compuestos Orgánicos No Metánicos (NMOC). En la referencia, se puede observar los principales componentes del Biogás.

Tabla 2. Composición Biogás

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Metano (CH ₄)	35 – 60
Oxígeno (O ₂)	0,2 – 1
Nitrógeno (N ₂)	2 – 10



COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Dióxido de Carbono (CO ₂)	30 – 50
Hidrógeno (H ₂)	0 – 1

Ambos componentes principales del biogás, metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), son gases de efecto invernadero (GEI) que contribuyen al calentamiento global. Sin embargo, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) establece que el CO₂ de origen biogénico, como el presente en el biogás, no se contabiliza como GEI en los inventarios, dado que hace parte del ciclo natural del carbono.

El metano, en cambio, sí es considerado un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global (GWP) significativamente mayor que el del CO₂. De acuerdo con el IPCC AR6 (2021), su GWP es aproximadamente 82–85 veces superior al del CO₂ en un horizonte de 20 años, y alrededor de 28–30 veces en un horizonte de 100 años, lo que refleja su alta contribución al cambio climático, especialmente en el corto plazo.

Por lo tanto, la captura y combustión del metano mediante quemadores, generadores, calentadores u otros dispositivos constituye una medida efectiva de mitigación, ya que transforma un gas con elevado potencial de calentamiento (CH₄) en CO₂ biogénico, con menor impacto climático y parte del ciclo natural del carbono.

4.3. Características generales 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. La densidad específica (vapor) del metano es 0,55. Normalmente, la gravedad específica del biogás no diluido es de aproximadamente 1,0 (cercana a la del aire). Este es el motivo por el cual el manejo del biogás puede ser peligroso.

El biogás del relleno sanitario puede presentar un peligro explosivo cuando se acumula en espacios reducidos, incluso estructuras. Si el control adecuado, el biogás puede migrar grandes distancias desde los rellenos sanitarios hacia la comunidad circundante.



4.4. Migración de emisiones de biogás

Las presiones internas del biogás se incrementarán y muchas veces superarán las presiones barométricas atmosféricas durante la biodegradación de los elementos orgánicos de los desechos. A gas, como resultado, la migración y emisión del biogás puede ocurrir mientras la presión que está dentro de la masa de residuos intenta igualarse con las condiciones atmosféricas. Este movimiento del biogás está regido por dos mecanismos principales: convección y difusión. La convección es el movimiento de gas como respuesta a un gradiente de presión en donde el gas se desplazará en dirección de mayor a menor presión de gas; la difusión es el movimiento de gas como respuesta a un gradiente de concentración en donde el gas se desplazará en dirección de mayor a menor concentración.

4.5. Factores que influyen en las presiones internas, migración y emisiones del Relleno Sanitario

- Una cubierta con poca permeabilidad puede ayudar a evitar emisiones de gas a la atmósfera. No obstante, si la cubierta tiene poca permeabilidad y el relleno sanitario no está revestido o tienen un revestimiento permeable, puede predominar la migración lateral.
- La geología, litología y estratigrafía circundantes pueden ocasionar la migración subterránea del biogás. El biogás puede migrar por barreras impermeables tales como fallas en el revestimiento de arcilla o a través de estratos con arena o gravilla suelta y permeable.
- Los niveles de aguas subterráneas pueden influir en la migración y las emisiones de biogás. El aumento en los niveles de agua y la subsiguiente presión ejercida sobre el relleno sanitario puede aumentar la migración y emisiones de biogás.
- Las fluctuaciones locales diurnas de la presión barométrica pueden influir en la migración y emisiones de biogás. Característicamente, las emisiones y migración de biogás aumentarán cuando las presiones atmosféricas disminuyan.

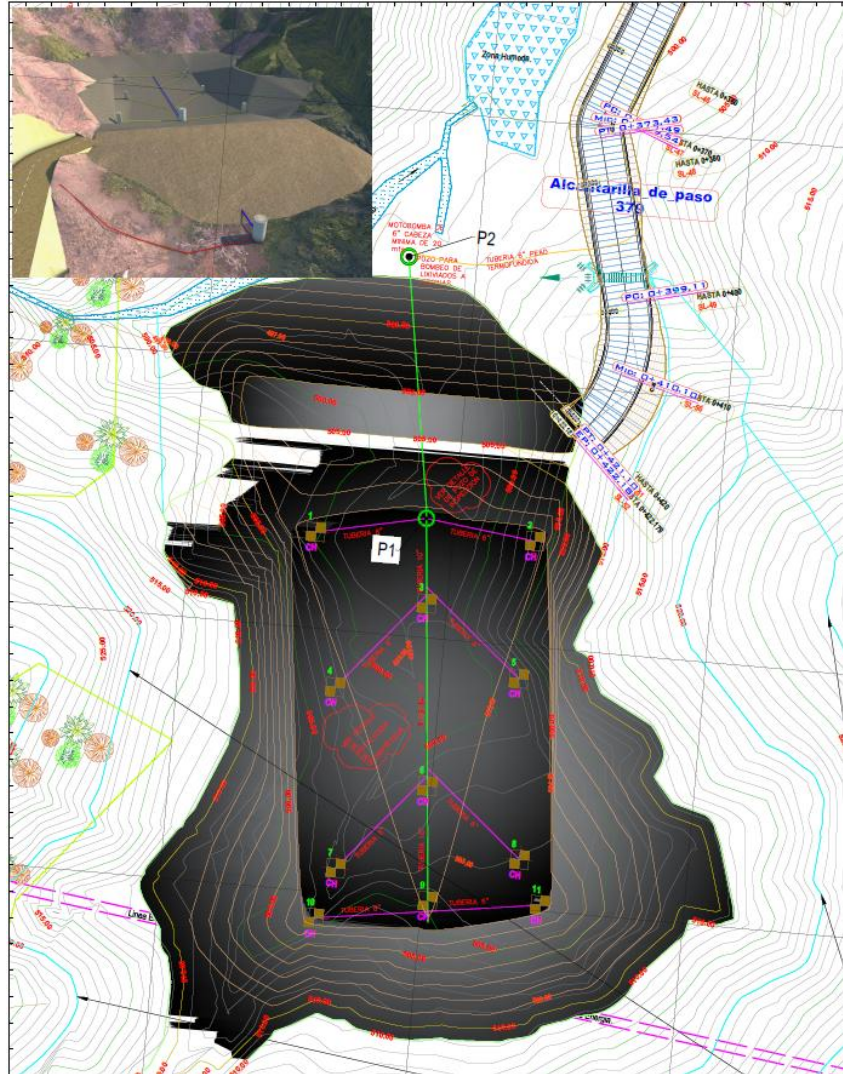


5. METODOLOGÍA

5.1. Identificación de puntos de medición

El Relleno Sanitario vera II cuenta con 1 zona para la disposición de residuos con un total de chimeneas para la evacuación de los gases generados en el proceso de descomposición de los residuos sólidos.

Ilustración 1. plano localización chimeneas



En la zona de disposición, las chimeneas se conforman con una parte central de tubería PVC perforadas y rodeadas con piedras retenidas con malla de gavión de un metro de lado. Se encontró que cada una de las chimeneas cuenta con cobertura permanente lo que mejora la confiabilidad de las mediciones.



Además de las chimeneas, se realizó la medición del límite de explosividad del metano en sitios abiertos como las oficinas, el área administrativa, y en las zonas aledañas al relleno sanitario.

5.2. Descripción de instrumentación utilizada

5.2.1. Instrumento

Descripción	El medidor de multiples gases ES30A es un equipo robusto, que integra diseño y precision en un mismo equipo. Esta diseñado para consumir poca energía. Sus alarmas TWA y STEEL permiten ser ajustadas, pantalla LCD a color. Viene con funcion de auto-test para mayor seguridad en cada medicion. Carcasa antideslizante. Detector de gases personal, alarma sonora, luminca y vibratoria, calificacion IP54, entre otros
Sensor	Electroquimico y catalitico
Tamaño	119,6 x 60 x 44 mm, Peso: 182 gr.



Temperatura de operación	de	-20°C ~ 50°C
Humedad		10% ~ 95%
Unidades de concentración	de	ppm, %VOL, %LEL, mg/m ³
Método de detección		Difusión

5.2.2. Bomba de succión

La bomba de succión de gas es una bomba de succión automática que puede utilizarse en un detector de gas, permite que el gas detectado pueda ser bombeado a través de la bomba de muestreo, y pueda ser revisado este gas a través de la medición del detector de gases

Ilustración 3. Bomba de Muestreo de Gas BH-GSP



La bomba de muestreo de gas BH-GSP es un dispositivo autocebante diseñado para ser utilizado en conjunto con un detector de gas. Emplea un



sistema de autocebado de membrana de carbono que permite la extracción del gas a detectar hacia el detector para su análisis.

- **Método de Visualización:** Pantalla LCD que proporciona información clara y fácil de entender sobre el estado de funcionamiento.
- **Flujo Inspiratorio:** Capacidad de bombear hasta 500 ml por minuto, garantizando una eficiente extracción de muestra.
- **Humedad de Trabajo:** Diseñada para operar en ambientes con una humedad relativa de hasta el 97%, asegurando un rendimiento óptimo en diversas condiciones.
- **Tiempo de Precalentamiento:** Menos de 20 segundos de tiempo de calentamiento, lo que permite una puesta en marcha rápida y eficiente.
- **Configuración Estándar:** Incluye sonda, manguera y cargador, proporcionando todo lo necesario para su funcionamiento inmediato.
- **Voltaje de Funcionamiento:** Funciona con una batería recargable de 3.7V y 1800mAH, ofreciendo una autonomía prolongada.
- **Volumen de Alarma:** Emite una alarma con un volumen de 75dB para notificar sobre la presencia de gases peligrosos.
- **Temperatura Ambiente:** Capaz de operar en un rango de temperatura que va desde -20°C hasta 50°C, adaptándose a diversas condiciones ambientales.
- **Dimensiones:** Compacta y portátil, con dimensiones de 225 mm x 65 mm x 30 mm, facilitando su transporte y manipulación.



- **Longitud de la Sonda:** La sonda tiene una longitud de 220 mm, lo que permite alcanzar áreas de difícil acceso para una toma de muestras precisa.

La bomba de muestreo de gas BH-GSP ofrece un rendimiento fiable y una operación sencilla, convirtiéndola en una herramienta indispensable para la detección y monitoreo de gases en entornos diversos.

Ilustración 4. Conexión final del instrumento



Asimismo, se presenta en la siguiente tabla el cronograma de las mediciones de emisiones llevadas a cabo en el relleno sanitario, junto con las actividades realizadas para la elaboración del informe técnico

6. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las zonas de disposición.



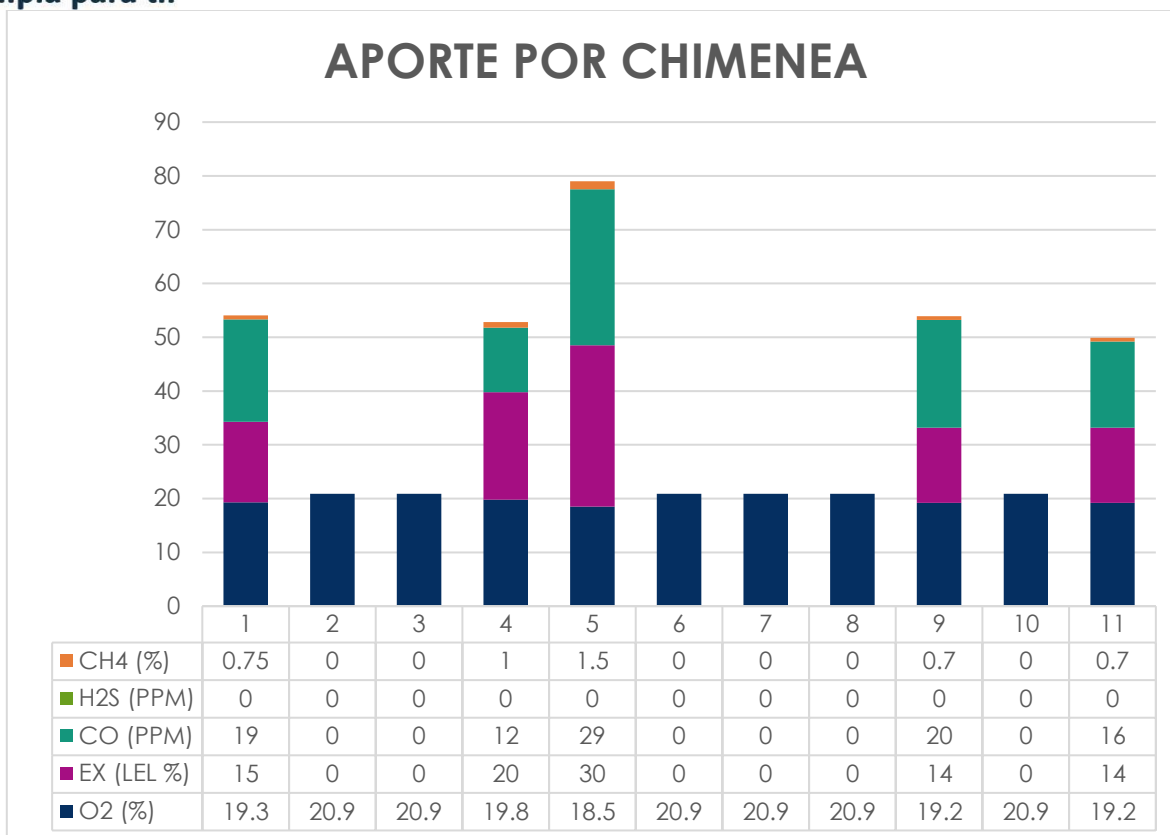
Tabla 3. Resultados mediciones

CHIMENEA	COORDENADAS		PARAMETROS MEDIDOS				
	X	Y	O ₂ (%)	EX (LEL (%))	CO (PPM)	H ₂ S (PPM)	CH ₄ (%)
1	4814147.009	2341080.096	19.3	15	19	0	0.75
2	4814174.28	2341084.345	20.9	0	0	0	0
3	4814160.039	2341064.324	20.9	0	0	0	0
4	4814149.968	2341060.663	19.8	20	12	0	1
5	4814175.511	2341062.802	18.5	30	29	0	1.5
6	4814163.655	2341043.935	20.9	0	0	0	0
7	4814146.267	2341030.516	20.9	0	0	0	0
8	4814185.991	2341038.944	20.9	0	0	0	0
9	4814169.636	2341019.567	19.2	14	20	0	0.7
10	4814151.106	2341017.53	20.9	0	0	0	0
11	4814185.247	2341019.764	19.2	14	16	0	0.7

La tabla presenta los resultados del monitoreo realizado en diferentes chimeneas del relleno sanitario vera II. Para cada punto se registraron las coordenadas en los ejes X y Y, así como las concentraciones de oxígeno (O₂ en %), explosividad (EX en porcentaje del Límite Inferior de Explosividad – LEL), monóxido de carbono (CO en partes por millón – ppm), sulfuro de hidrógeno (H₂S en ppm) y metano (CH₄ en %).

Los datos muestran que la mayoría de las chimeneas presentan niveles de oxígeno cercanos a 20.9%, con ausencia de gases combustibles o tóxicos. Sin embargo, algunas chimeneas registran presencia significativa de compuestos, destacándose las chimeneas 1, 4, 5, 9, 11, donde se identifican valores de metano entre 0.7% y 1.5%, explosividad de hasta 30% del LEL y concentraciones de CO entre 12 y 29 ppm. El H₂S no presentó lecturas en ninguna de las chimeneas.





Gráfica 1. resultados de concentraciones de contaminantes

Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados indican que, aunque en general las emisiones son bajas, existen puntos con presencia de metano y monóxido de carbono que requieren seguimiento, particularmente la chimenea 5, que reportan las mayores concentraciones de metano (1.5%) y CO (29 ppm), además del mayor porcentaje de explosividad (30%).

Tabla 4. Balance de oxígeno

CHIMENEA	COORDENADAS		BALANCE DE OXÍGENO	
	X	Y	O ₂ medido (%)	O ₂ consumido (%)
1	4814147.009	2341080.096	19.3	1.6
2	4814174.28	2341084.345	20.9	0
3	4814160.039	2341064.324	20.9	0
4	4814149.968	2341060.663	19.8	1.1
5	4814175.511	2341062.802	18.5	2.4
6	4814163.655	2341043.935	20.9	0

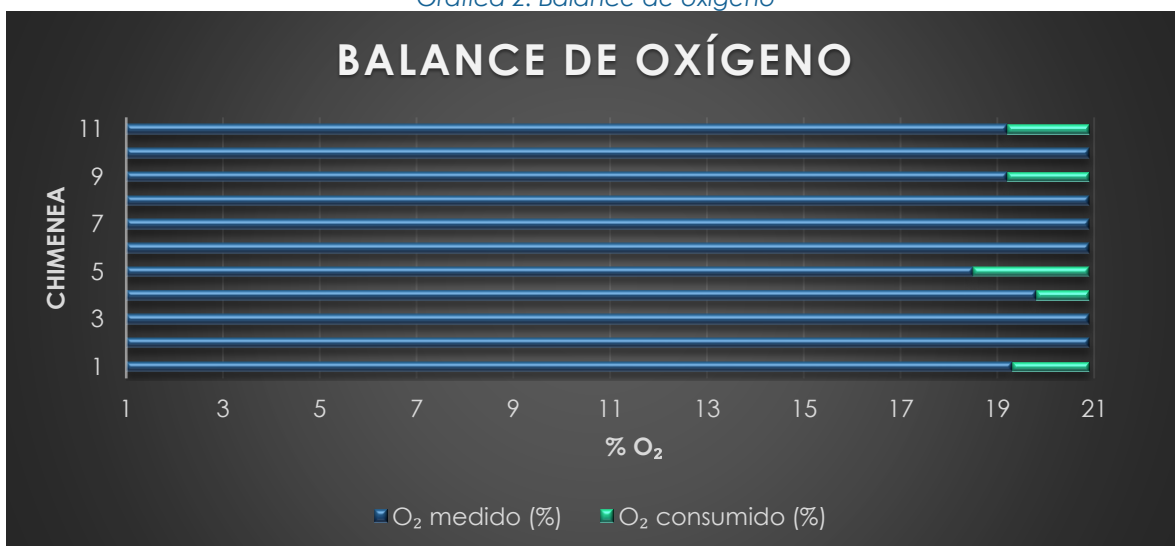


CHIMENEA	COORDENADAS		BALANCE DE OXÍGENO	
	X	Y	O ₂ medido (%)	O ₂ consumido (%)
7	4814146.267	2341030.516	20.9	0
8	4814185.991	2341038.944	20.9	0
9	4814169.636	2341019.567	19.2	1.7
10	4814151.106	2341017.53	20.9	0
11	4814185.247	2341019.764	19.2	1.7

La tabla presenta los resultados del balance de oxígeno obtenido en las chimeneas monitoreadas del relleno sanitario, donde se registraron las coordenadas de cada punto (X y Y), el oxígeno medido (O₂ en %) y el oxígeno consumido (O₂ en %).

En general, la mayoría de las chimeneas presentan valores de oxígeno atmosférico cercanos a 20.9%, lo que indica ausencia de actividad significativa de biodegradación en esos puntos. No obstante, algunas chimeneas muestran un consumo de oxígeno, reflejando procesos biológicos o reacciones internas que demandan este gas. Se destacan las chimeneas 1, 4, 5, 9 y 11, que presentan consumos entre 1.1% y 2.4%, siendo la chimenea 5 la que registra el mayor consumo de oxígeno (2.4%), con una concentración medida de 18.5%.

Gráfica 2. Balance de oxígeno



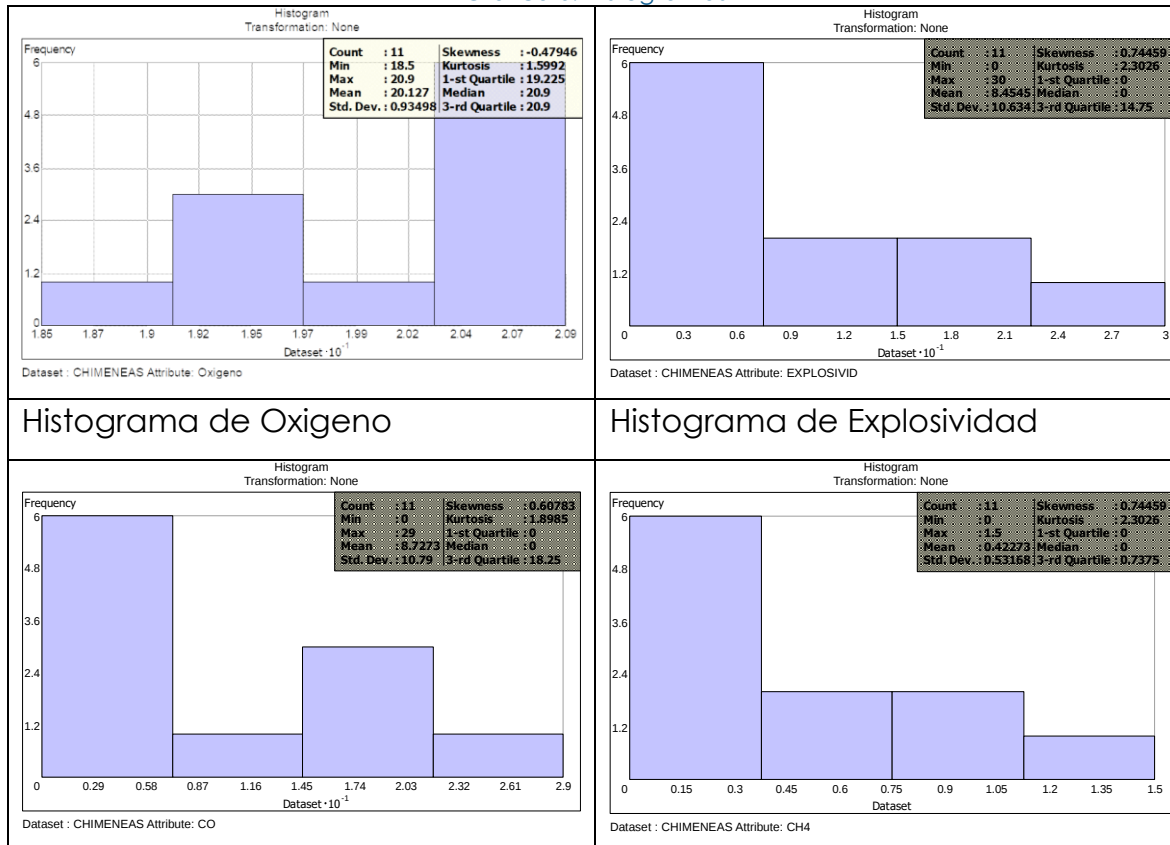
7. MODELACIÓN Y DISPERSIÓN DE LOS COMPONENTES DEL BIOGÁS

A continuación se presentan los resultados de la modelación de dispersión de los diferentes componentes del biogás. Para realizar esta modelación se tomaron los resultados obtenidos en cada una de las chimeneas y los datos de georreferenciación de las mismas. Utilizando el software ArcGIS el cual interpola utilizando el método de 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 2, a través de histogramas para cada parámetro monitoreado: oxígeno (O_2), explosividad (LEL%), monóxido de carbono (CO) y metano (CH_4).

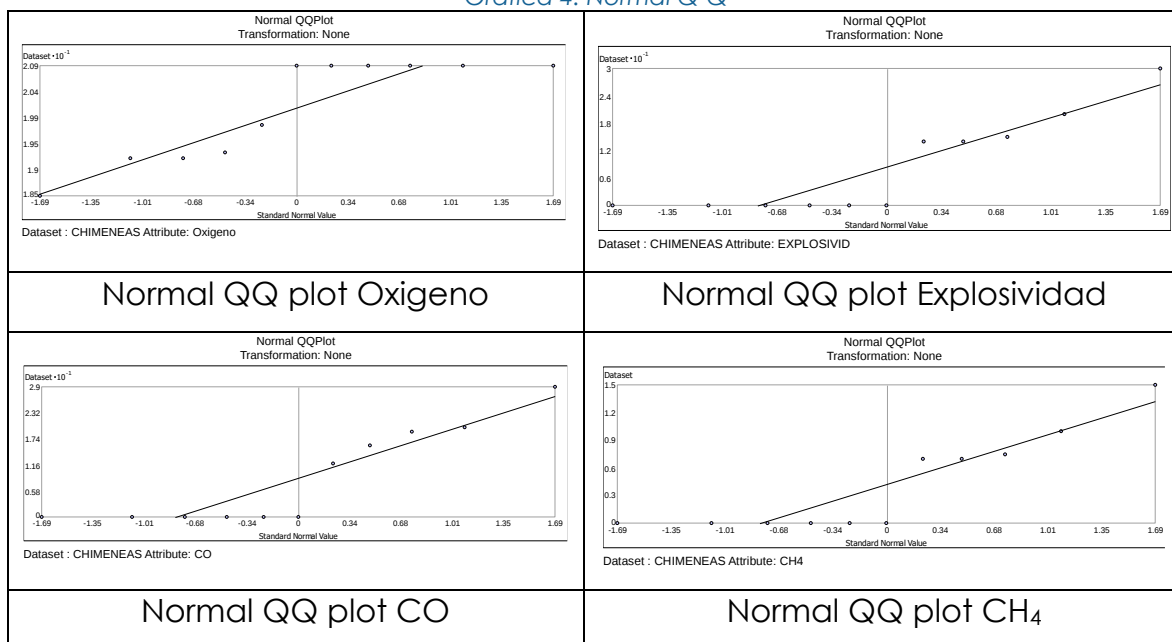
Gráfica 3. Histogramas



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

Los gráficos Normal Q-Q (Quantile-Quantile) presentados evalúan la normalidad de las distribuciones de los parámetros medidos en las chimeneas del relleno sanitario Vera 2: oxígeno (O₂), explosividad, monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄). Estos gráficos comparan los cuantiles de los datos observados con los esperados bajo una distribución normal, utilizando un conjunto de 11 muestras del dataset "CHIMENEAS_Attribute" sin transformación. La alineación de los puntos con la línea diagonal de referencia indica cuán cerca está cada distribución de la normalidad.

Gráfica 4. Normal Q-Q



Los gráficos Q-Q confirman que ninguna de las distribuciones se ajusta perfectamente a una normalidad, con desviaciones que reflejan asimetrías y bimodalidad (O₂) o colas pesadas (CO, CH₄, explosividad). Esto es típico en datos ambientales, donde factores como heterogeneidad en los residuos, ventilación y etapas de descomposición influyen en las mediciones.



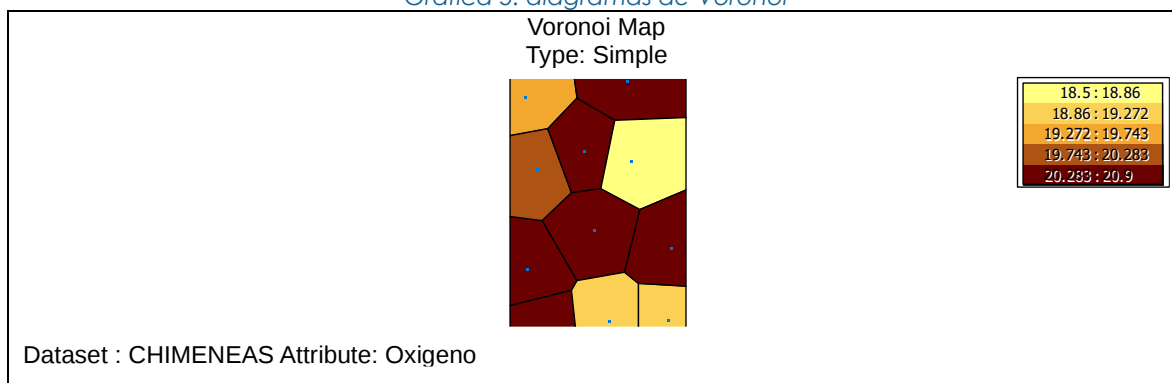
La no normalidad de O_2 y CO sugiere la presencia de subgrupos o eventos atípicos, mientras que la explosividad y CH_4 muestran distribuciones más cercanas a la normalidad

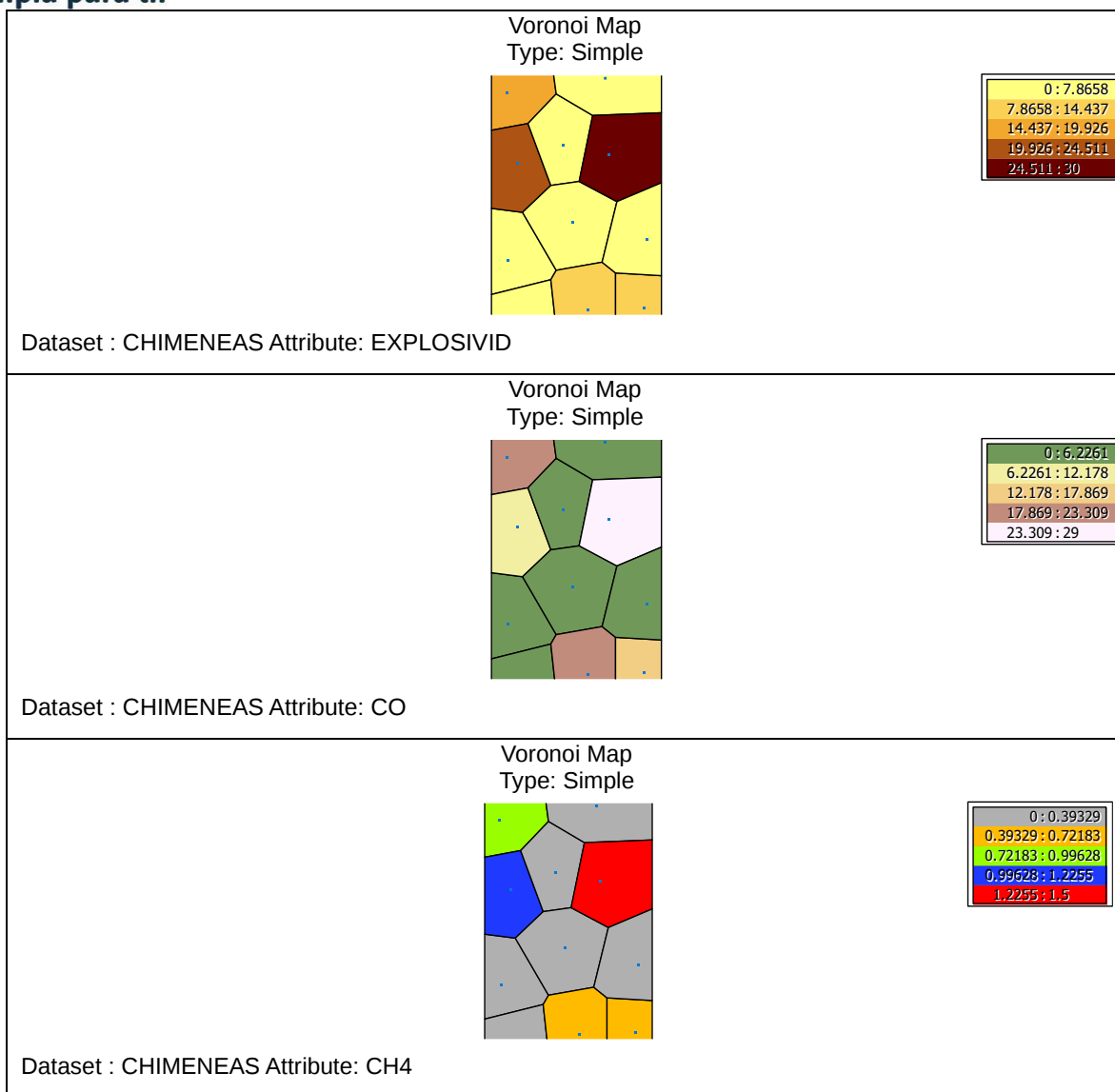
7.3. DIAGRAMAS DE VORONOI

Las siguientes graficas son diagramas de Voronoi que representan distribuciones espaciales de variables medidas en las chimeneas del relleno sanitario Vera 2, Cada diagrama divide el área en celdas poligonales asociadas a puntos de medición, con colores que indican valores numéricos según escalas específicas, ahí presentadas.

Los diagramas de Voronoi revelan patrones de variabilidad espacial que indican un relleno sanitario con condiciones heterogéneas, pero manejables en general. La predominancia de valores bajos en la mayoría de las áreas sugiere que Vera 2 opera con bajo riesgo ambiental y de seguridad en promedio (e.g., explosividad <1% en gran parte), consistente con los niveles medios bajos de CH_4 (0.422%) y CO (1.699 ppm) de los histogramas.

Gráfica 5. diagramas de Voronoi





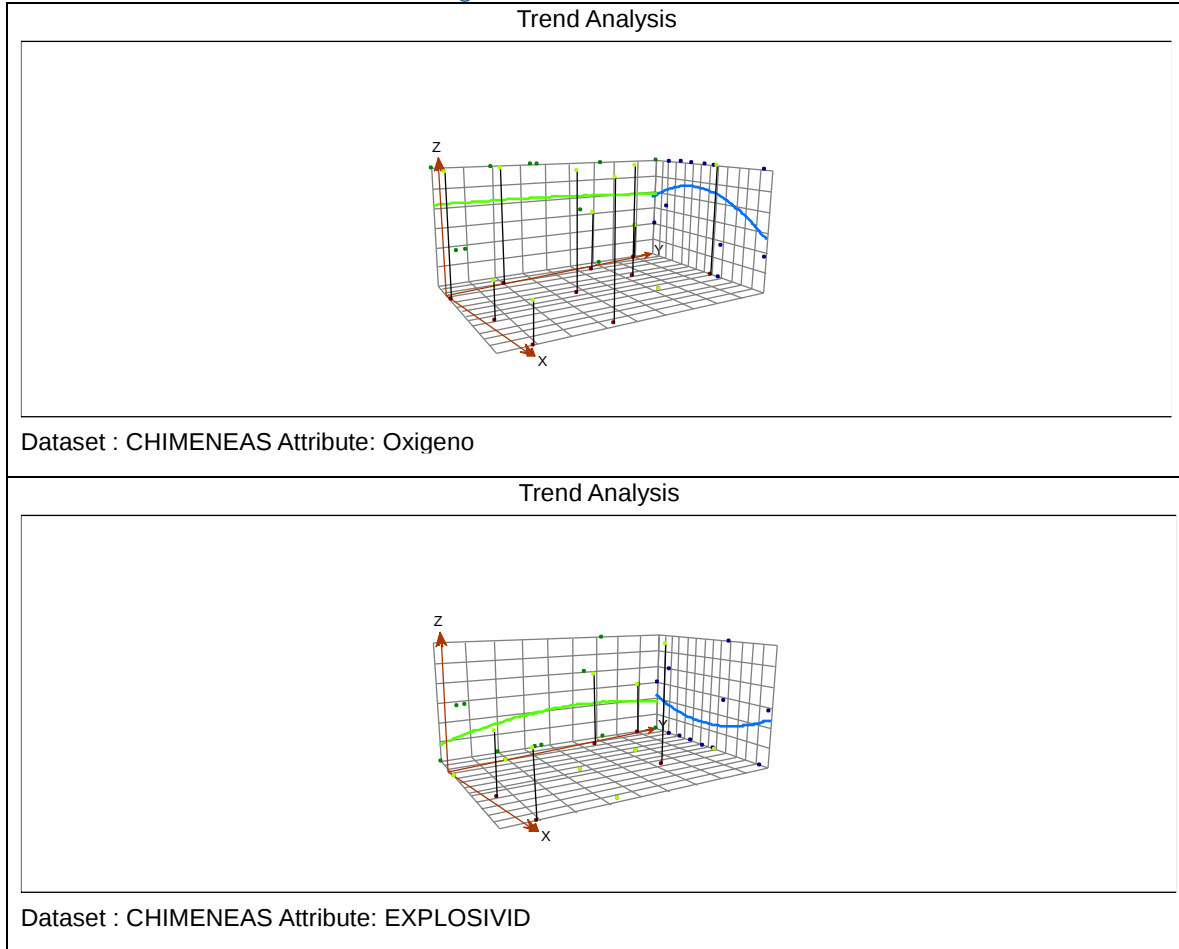
7.4. GRÁFICOS DE ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Los gráficos de análisis de tendencias presentados muestran representaciones tridimensionales de las variaciones de oxígeno (O₂) y explosividad en las chimeneas del relleno sanitario Vera 2, basados en el dataset "CHIMENEAS_Attribute". Estos gráficos, combinan dos dimensiones espaciales (e.g., ubicación de chimeneas) con una dimensión temporal o de valor (eje Z), ilustrando cómo estos parámetros evolucionan a lo largo de un período no especificado (probablemente horas o días). Cada gráfico



incluye una superficie de malla (en rojo/naranja) y líneas de tendencia (verde y azul) que destacan patrones dinámicos.

Gráfica 6. gráficos de análisis de tendencias



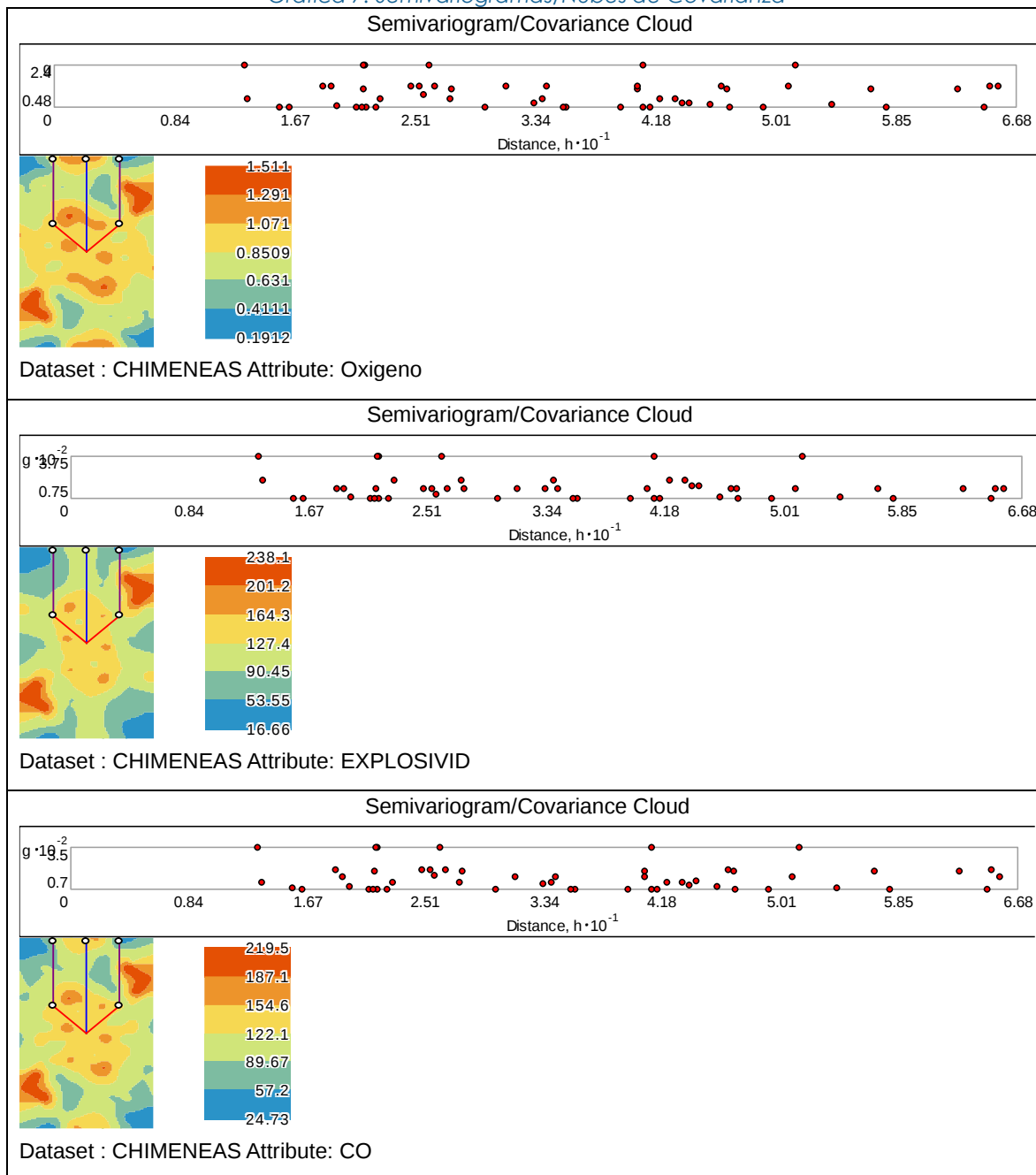
7.5. Análisis de los Semivariogramas/Nubes de Covarianza

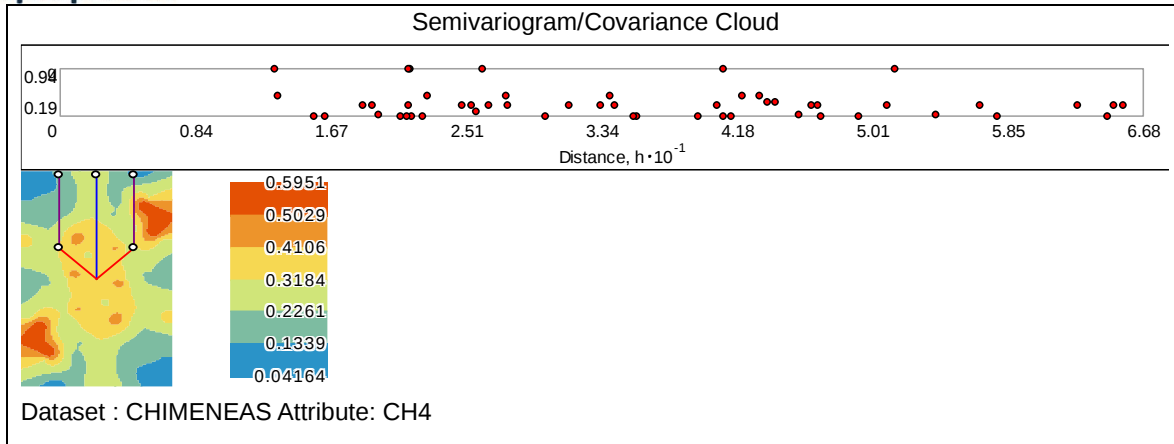
Los gráficos presentados son semivariogramas/nubes de covarianza que analizan la variabilidad espacial de los parámetros medidos en las chimeneas del relleno sanitario Vera 2 (oxígeno [O₂], explosividad, monóxido de carbono [CO] y metano [CH₄]), basados en el dataset "CHIMENEAS_Attribute". Generados alrededor de las 04:39 PM -05 del 27 de agosto de 2025, estos gráficos combinan un diagrama de dispersión (semivariograma) con un mapa de covarianza coloreado, mostrando cómo la variabilidad de cada parámetro cambia con la distancia entre puntos de



medición (distancia en 10^{-1} m). A continuación, se describe y analiza cada caso.

Gráfica 7. Semivariogramas/Nubes de Covarianza





En todos los parámetros, especialmente explosividad y CO, la variabilidad entre puntos es alta y no sigue un patrón claramente definido, lo que sugiere que las emisiones son puntuales y localizadas más que generalizadas.

El CO es el gas con mayor variabilidad y puntos críticos identificados, lo que requiere seguimiento específico.

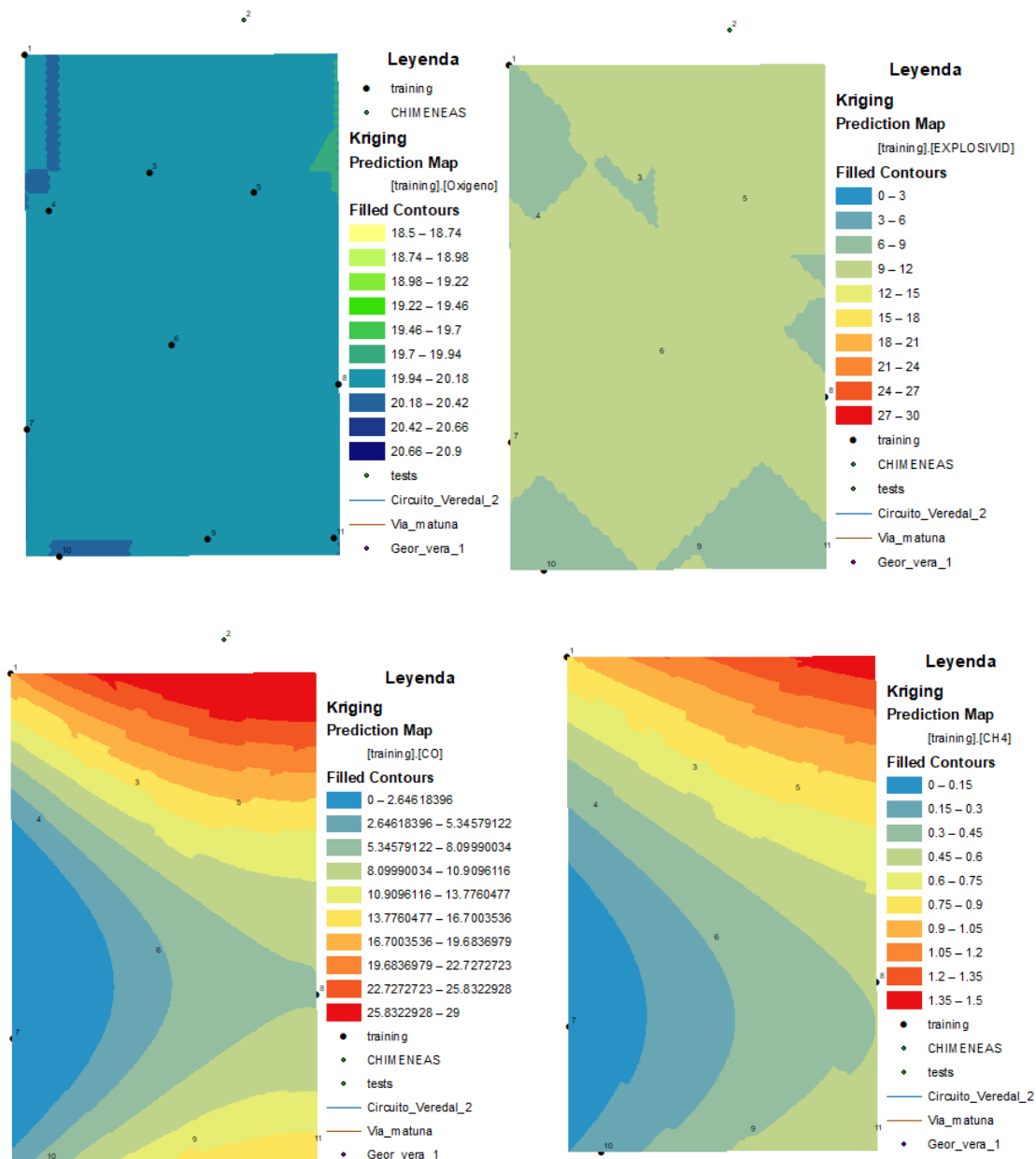
Aunque se detecta generación activa de CH₄, las concentraciones son bajas y no representan riesgo inmediato.

7.6. KRIGING

Los mapas de kriging presentados ilustran las distribuciones espaciales interpoladas de oxígeno (O₂), explosividad, monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄) en las chimeneas del relleno sanitario Vera 2. Estos mapas utilizan el método de kriging para predecir valores en áreas no muestreadas, mostrando contornos rellenos que reflejan concentraciones estimadas en función de 11 puntos de medición.



Gráfica 8 Kriging



- **Seguridad general:** Las condiciones de oxígeno y explosividad son estables, sin riesgo inmediato.
- El CO muestra zonas con mayores concentraciones que deben ser vigiladas.



- **Metano controlado:** Las concentraciones son bajas y no representan riesgo explosivo, pero requieren seguimiento por su carácter inflamable.

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 5. MEDICIONES DE PUNTOS DE CONTROL

ÁREA	PARAMETROS MEDIDOS				
	O ₂ (%)	EX (LEL %)	CO (PPM)	H ₂ S (PPM)	CH ₄ (%)
la laguna de lixiviados	20.9	0	0	0	0
área administrativa (oficinas)	20.9	0	0	0	0
vía interna	20.9	0	0	0	0
Vía Externa	20.9	0	0	0	0

Las mediciones indican un entorno seguro en la Laguna de Lixiviados, Área Administrativa, Vía Interna y Vía Externa, con niveles de O₂ igual al atmosférico y ausencia de gases tóxicos o inflamables (CO, H₂S, CH₄, explosividad).



9. CONCLUSIONES

- La mayoría de las chimeneas y puntos de control presentan concentraciones de oxígeno cercanas al valor atmosférico (20,9%), con ausencia de gases tóxicos o inflamables (H_2S , CH_4 , CO) en las zonas administrativas y de circulación, lo que indica un entorno seguro para el personal y la comunidad aledaña.
- Algunas chimeneas (1, 4, 5, 9 y 11) muestran evidencia de actividad biológica y generación de gases, con concentraciones de metano entre 0,7% y 1,5%, consumo de oxígeno de hasta 2,4% y valores de explosividad de hasta 30% del LEL. Si bien estos valores no representan un riesgo inmediato, sí requieren seguimiento por su potencial acumulativo.
- No se detectó presencia de H_2S en ninguna medición, lo cual es positivo en términos de toxicidad y riesgo de olor.
- Los análisis de interpolación Kriging, diagramas de Voronoi y semivariogramas evidencian una dispersión irregular de los gases, lo que indica que la generación de biogás es localizada y depende de factores como la compactación, humedad y edad de los residuos.



ANEXO CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN



NOMBRE DEL CLIENTE: SEGOVIA ASEO S.A ESP

EQUIPO : DETECTOR DE GAS
MARCA : EYESKY
MODELO : ES30A
SERIE : 302403142270192

INFORMACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DEL DETECTOR DE GAS

FECHA DE CALIBRACIÓN
30/04/2025

SITIO DE CALIBRACIÓN
LABORATORIO ALCOMAX

ETIQUETA DE CALIBRACIÓN
23659

CONDICIONES AMBIENTALES

	Mínima	Máxima
TEMPERATURA °C	24,9	24,9
HUMEDAD RELATIVA %HR	68	68
PRESIÓN ATMOSFÉRICA hPa	849	849

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Calibración por puntos fijos con gas seco, según LAB-TOX A1-B2 CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN detectores de gases ingresados al laboratorio.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

La incertidumbre expandida de la medición reportada se establece como la incertidumbre estándar de medición multiplicada por el factor de cobertura "k" y la probabilidad de cobertura, la cual debe ser aproximada al 95% y no menor a este valor.

RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

GAS	UNIDADES	CAL-GAS	LECTURA	ERROR	INCERTIDUMBRE	RESULTADO
H2S	ppm	25	25	0,0	2,6	PASA
CO	ppm	100	99	-1,0	10,1	PASA
CH4	%LEL	50	49	-1,0	5,2	PASA
O2	%VOL	18,0	18,3	0,3	1,9	PASA

FACTORES DE ALARMAS

GAS	UNIDADES	ALARMA 1	ALARMA 2
H2S	ppm	7	14
CO	ppm	25	50
CH4	%LEL	20	50
O2	%VOL	19,5	23

OBSERVACIONES

- Se dejan los equipos en buen estado de funcionamiento.
- El equipo se ha calibrado, verificado y ajustado a un flujo de 0.5 L/min, efectuando una lectura, verificando niveles de alarma y tiempo de respuesta, acorde al procedimiento de casa matriz.
- La correcta indicación del equipo calibrado es igual a: Lectura menos el Error.
- Símbolos que pueden aparecer: H2S: Ácido sulfhídrico, CO: Monóxido de carbono, CH4: Metano, O2: Oxígeno, CO2: Dióxido de carbono, NO2: Dióxido de nitrógeno, C4H8: Isobutileno (VOC)
- Los certificados de calibración sin firma no tienen validez.

DESCARGO DE RESPONSABILIDADES

Cuando el cliente no proporcione información sobre la calibración, el laboratorio elegirá lo que considere conveniente según el procedimiento de calibración.

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD, REGLA DE DECISIÓN y CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

El cliente no requiere declaración de conformidad en este certificado, la calibración ha sido llevada a cabo con estándares internacionales y de acuerdo a normatividad nacional vigente.

TRAZABILIDAD METROLÓGICA DE LOS EQUIPOS PATRONES

ALCOMAX S.A.S garantiza que los valores de materiales de referencia certificados son proporcionados por productores competentes con trazabilidad metrológica establecida al S.I, y las calibraciones de sus patrones son proporcionadas por laboratorios competentes.

Equipos patrones	Marca / Fabricante	Serie / Lote
GAS SECO H2S, CO, O2, CH4	CALGAZ	302-403038753

Calibró

alcomax
EQUIPOS DE MEDICIÓN

Calle 6 Sur No. 52-92 Local 21-201 Medellín
TEL.: (4) 557 79 23 (57) 317 629 67 01

Gabriel Jaime Echeverri

Tecnólogo Electrónico

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido total o parcialmente.

Número de páginas
2 (Dos)

FIN DEL CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

alcomax
EQUIPOS DE MEDICIÓN



CALGAZ,
A DIVISION OF AIRGAS USA LLC

821 Chesapeake Drive,
Cambridge, MD 21613
USA Tel. 1-800-638-1197
www.calgaz.com

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Date: 05/03/2024
Order Number: 1129917246
Lot Number: 302-403038753

Customer: CONTROL & SOLUTIONS S.A.S.
Part Number: A9998716CNS
Use Before: MAY 3, 2026

Component	Concentration (± 5%)
HYDROGEN SULFIDE	25PPM
CARBON MONOXIDE	100PPM
METHANE	2.5%(50%LEL)
OXYGEN	18%
NITROGEN	Balance

Cylinder Size: 2.1 Cu. Ft.
Contents: 60 Liter

Valve: 5/8"-18UNF
Pressure: 1000 PSIG

Product composition verified by direct comparison to calibration standards traceable to N.I.S.T. weights and/or N.I.S.T. Gas Mixture reference materials.

Analyst:

Steve Plutschak

Scott Tingle