Ciencia Latina
Internacional

Análisis de Dióxido de Carbono en Trabajadores de Botaderos Municipales

y Evaluación del Impacto de los Olores Generados

CID editorial
ALIANZA RED
Red de Redes
INDEXA
Crossref

Septiembre 2026 – CID - Centro de Investigación y Desarrollo
Copyright © CID - Centro de Investigación y Desarrollo
Copyright del texto © 2026 de Autores
biblioteca.ciencialatina.org
editorial@ciencialatina.org
Atención por WhatsApp al +52 22 26903834

Datos Técnicos de Publicación Internacional
Título: Análisis de Dióxido de Carbono en Trabajadores de Botaderos Municipales y Evaluación del Impacto de los Olores Generados **Autores:** Kelsy Pamela Gallardo Minaya, Max clive Alcantara Trujillo, Rosangela Ricaldi Marcelo **Editor:** CID - Centro de Investigación y Desarrollo **Diseño de tapa:** CID - Centro de Investigación y Desarrollo **Corrección de Estilo:** CID - Centro de Investigación y Desarrollo **Formato:** PDF **Páginas**: 78 pág. **Tamaño:** A4 **Requisitos de sistema:** Adobe Acrobat Reader **Modo de acceso:** World Wide Web **ISBN:** En gestión **DOI:** https://doi.org/10.37811/cli_w1370

1ª Edición. Año 2026. Editorial CID - Centro de Investigación y Desarrollo.
El contenido del libro y sus datos en su forma, corrección y fiabilidad son responsabilidad exclusiva de los autores. Permite la descarga de la obra y compartir siempre que los créditos se atribuyan a los autores, pero sin la posibilidad de cambiarlo de cualquier forma o utilizarlo con fines comerciales

LIBRO DE AUTORÍA

Autor/a 1

Nombre: Kelsy Pamela

Apellido: Gallardo Minaya

ORCID:

Universidad: Universidad Continental

Facultad/Departamento: Programa de Posgrado

Ciudad: Huancayo

País: Perú

Correo personal: auditora.sgsst@gmail.com

Breve biografía académica (máximo 3 líneas):

Doctora en Seguridad y Gestión Minera, Maestra en Educación, Magister en Minería y Medio Doctora en Filosofía de la Educación y en Seguridad y Gestión Minera, con más de 25 años de experiencia en Seguridad y Salud en el Trabajo, Higiene Ocupacional y Gestión Ambiental. Auditora Nacional del SGSST (MTPE), perito CIP y supervisora SSOMA. Docente universitaria e investigadora, especialista en auditorías, gestión de riesgos, monitoreo ocupacional y Sistemas Integrados de Gestión (ISO 45001)

Autor/a 2

Universidad del centro del Peru

Nombre: Max clive

Apellido: Alcantara Trujillo

ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3798-5432

Facultad/Departamento: Programa de Posgrado

Ciudad: Huancayo

País: Perú

Breve biografía académica (máximo 3 líneas):

Ingeniero Metalurgista con doctorado en gestión sostenible, docente universitario especialista en Gestión de Riesgos SSOMAC, Especialista en Seguridad, Salud Ocupacional, Higiene Ocupacional, Medio Ambiente y Relaciones comunitarias.

Autor/a 3

Nombre: Rosangela

Apellido: Ricaldi Marcelo

ORCID: (https://orcid.org/000-0002-3697-7361)

Universidad: Universidad César Vallejo

Facultad/Departamento: Programa de Post Grado

Ciudad: Trujillo

País: Perú

Doctora en Ingeniería Ambiental e Ingeniera Ambiental, con más de 17 años de experiencia en gestión ambiental aplicada a proyectos de infraestructura. Docente universitaria y especialista en instrumentos de gestión ambiental, gestión de residuos, economía circular, permisos ambientales y sostenibilidad. Estudiante de Derecho, comprometida con el desarrollo de proyectos de impacto ambiental y social.

Análisis de Dióxido de Carbono en Trabajadores de Botaderos Municipales y Evaluación del Impacto de los Olores Generados

INDICE

CAPÍTULO I 15

BOTADEROS MUNICIPALES Y CONTEXTO AMBIENTAL 15

1.1. Botaderos municipales 15

1.2. Características físicas y operativas de los botaderos 15

1.2.1. Características físicas 15

1.2.2. Características operativas 16

1.3. Composición de los residuos sólidos en botaderos 16

1.4. Procesos de descomposición y generación de gases 16

CAPÍTULO II 22

DIÓXIDO DE CARBONO Y SU RELEVANCIA EN BOTADEROS 22

2.1. Propiedades físicas y químicas del dióxido de carbono 22

2.2. Origen del CO_2 en la descomposición de residuos 23

2.3. Factores que influyen en la concentración de CO_2 23

2.4. Efectos del CO_2 en el ambiente de trabajo 24

CAPÍTULO III 26

IMPACTO DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES 26

3.1. Vías de exposición y mecanismos de absorción 26

3.2. Síntomas y efectos en la salud agudos y crónicos 27

3.3. Normas y límites de exposición ocupacional 28

CAPÍTULO IV 30

IMPACTO DE LOS OLORES GENERADOS EN BOTADEROS 30

4.1. Principales Compuestos causantes de olores 30

4.2. Percepción y umbral de molestia olfativa 30
4.3. Efectos psicológicos y físicos en los trabajadores 32
4.4. Relación entre olores y calidad de aire 32
CAPÍTULO V 33
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 33
5.1. Objetivos Principales 33
5.1.1. Objetivo general 33
5.1.2. Objetivos específicos 33
5.2. Hipótesis 34
5.2.1. Hipótesis principal 34
5.2.2. Hipótesis especifico 34
5.3. Tipo y diseño de la investigación 34
5.4. Población y muestra 34
5.4.1. Población: 34
5.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 35
5.6. Procedimiento de Monitoreo 36
CAPÍTULO VI 40
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 40
6.1. Muestreo de Dióxido de Carbono (CO_2) 40
6.2. Comparación con la normativa nacional 45
6.3. Observaciones complementarias de campo 45
CAPÍTULO VII 72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 72

7.1. Conclusiones fundamentales 72

7.2. Recomendaciones técnicas 73

CAPÍTULO VIII 74

REFLEXIONES FINALES 74

8.1. Importancia del control de gases en botaderos 74

8.2. Importancia del control de olores en botaderos 74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades físicas y químicas del dióxido de carbono 22

Tabla 2 Concentraciones de CO2 y efectos 24

Tabla 3 Efectos agudos y crónicos en la salud, CO2. 27

Tabla 4 Limites de exposición de Dióxido de carbono 29

Tabla 5 Componentes de los gases y sus olores. 31

Tabla 6 Normativa 45

Tabla 7 Estaciones de monitoreo de $CO2$ 46

Tabla 8 Monitoreo en el botadero 1. 47

Tabla 9: Niveles de riesgo CO2. 50

Tabla 10 Resultados de monitoreo en el botadero 1. 51

Tabla 11 Monitoreo en el botadero de 2 53

Tabla 12 Resultados del monitoreo en el botadero 2. 55

Tabla 13 Monitoreo en el botadero 3. 57

Tabla 14 Resultados de monitoreo en el botadero 3. 59

Tabla 15 Monitoreo en el botadero 4. 61

Tabla 16 Resultados monitoreo en el botadero de 4. 63

INDICE DE GRAFICO

Gráfico 1 Monitoreo de CO2 en el botadero 1..... 50

Gráfico 2 Monitoreo de CO2 en el botadero 2. 55

Gráfico 3 Monitoreo de CO2 en botadero 3. 59

Gráfico 4 Monitoreo de CO2 en botadero 4 63

Gráfico 5: Pregunta 1..... 66

Gráfico 7: Pregunta 3..... 67

Gráfico 8: Pregunta 4..... 67

Gráfico 9: Pregunta 5..... 68

Gráfico 10: Pregunta 6..... 68

Gráfico 11: Pregunta 7..... 69

Gráfico 12: Pregunta 8..... 69

Gráfico 13: Pregunta 9..... 70

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografia 1: Botadero monitoreado. 40

Fotografia 2: Depósito de residuos, botadero. 41

Fotografía 3: Cubrimiento con cal, Botadero. 42

Fotografia 4 Botadero monitoreado. 43

Fotografia 5: Botaderos informales. 43

DEDICATORIA

Con profundo respeto y gratitud, a los trabajadores de los botaderos del mundo, por su ardua labor y su invaluable contribución al bienestar colectivo y a la sostenibilidad de nuestras comunidades.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profunda gratitud a Dios por su infinita bondad, sabiduría y fortaleza, que hicieron posible la culminación de esta investigación. Asimismo, agradezco a todas las personas e instituciones que contribuyeron a la realización de esta obra.

Resumen

El presente estudio aborda la evaluación, monitoreo y control del dióxido de carbono (CO_2) en botaderos municipales, con el propósito de determinar la concentración de este gas en el aire ambiente y su implicancia en la salud ocupacional y la calidad ambiental del entorno laboral. El proceso de muestreo se realizó siguiendo criterios técnicos que garantizaron la validez y representatividad de los resultados, considerando factores como la ubicación geográfica, las fuentes de emisión, las condiciones de ventilación natural o forzada y las características operativas del sitio.

Las mediciones efectuadas durante las actividades normales del botadero evidenciaron niveles de CO_2 cercanos o superiores al límite máximo permisible de 5000 ppm, especialmente en las fases de cobertura con tierra y cierre diario de operaciones. Esta situación indica una acumulación significativa de gases generados por la descomposición de materia orgánica, lo que representa un riesgo potencial para la salud de los trabajadores expuestos a condiciones de ventilación insuficiente y posible desplazamiento del oxígeno ambiental.

El análisis de los resultados permitió identificar la necesidad de implementar medidas de control y mitigación, tales como la instalación de sistemas de ventilación mecánica o extractores, el monitoreo ambiental continuo, la rotación del personal en áreas críticas y la capacitación en prevención de riesgos por exposición a gases. Asimismo, se recomienda evitar el uso de aerosoles o ambientadores perfumados en zonas administrativas o de descanso, dado que pueden incrementar la concentración de CO_2 y liberar compuestos orgánicos volátiles (COV) que afectan la calidad del aire. La investigación resalta la importancia del control del CO_2 como indicador de ventilación, seguridad ocupacional y gestión ambiental, dado que su monitoreo no solo previene afecciones respiratorias y fatiga laboral, sino que también contribuye a evaluar la eficiencia de las operaciones de disposición de residuos y a mitigar el impacto de los gases de efecto invernadero; también resalta la importancia de los olores y los efectos que causa en los trabajadores. En conclusión, el control del dióxido de carbono en botaderos municipales es una acción prioritaria dentro de la gestión integral de residuos sólidos, pues permite proteger la salud de los trabajadores, garantizar condiciones ambientales seguras y promover la sostenibilidad de las operaciones de disposición final.

Términos clave: Botaderos municipales, CO2.

Abstract

This study addresses the assessment, monitoring, and control of carbon dioxide (CO_2) in municipal landfills, with the aim of determining the concentration of this gas in the ambient air and its implications for occupational health and the environmental quality of the workplace. The sampling process was carried out following technical criteria that guaranteed the validity and representativeness of the results, considering factors such as geographical location, emission sources, natural or forced ventilation conditions, and the operational characteristics of the site.

Measurements taken during normal landfill activities showed CO_2 levels close to or above the maximum permissible limit of 5000 ppm, especially during the soil covering and daily closure phases of operations. This situation indicates a significant accumulation of gases generated by the decomposition of organic matter, which represents a potential health risk for workers exposed to conditions of insufficient ventilation and possible displacement of ambient oxygen.

Analysis of the results identified the need to implement control and mitigation measures, such as the installation of mechanical ventilation systems or extractors, continuous environmental monitoring, staff rotation in critical areas, and training in risk prevention due to gas exposure. It is also recommended to avoid the use of aerosols or scented air fresheners in administrative or rest areas, as they can increase CO_2 concentrations and release volatile organic compounds (VOCs) that affect air quality. The research highlights the importance of CO_2 control as an indicator of ventilation, occupational safety, and environmental management, since its monitoring not only prevents respiratory conditions and work fatigue but also contributes to evaluating the efficiency of waste disposal operations and mitigating the impact of greenhouse gases. It also highlights the importance of odors and their effects on workers. In conclusion, carbon dioxide control in municipal landfills is a priority action within comprehensive solid waste management, as it protects workers' health, ensures safe environmental conditions, and promotes the sustainability of final disposal operations.

Key terms: Municipal landfills, CO_2.

Introducción

Los botaderos municipales representan uno de los escenarios más complejos y menos visibilizados de la gestión ambiental en el Perú. Detrás de cada tonelada de residuos depositada, existen trabajadores que día a día enfrentan condiciones adversas, entre ellas la exposición continua a gases y olores que no solo afectan su salud, sino también su bienestar físico y mental.

El dióxido de carbono (CO_2), aunque comúnmente asociado a la contaminación atmosférica global, es también un indicador importante en los espacios donde se acumulan residuos orgánicos en descomposición. En los botaderos, su concentración puede alcanzar niveles que alteran la calidad del aire y la seguridad respiratoria de los trabajadores. A este hecho se suman los olores intensos y persistentes generados por la descomposición de materia orgánica, que afectan no solo a quienes laboran en el lugar, sino también a las comunidades aledañas.

El presente estudio busca analizar la exposición de los trabajadores al dióxido de carbono en los botaderos municipales, así como evaluar el impacto de los olores producidos por los residuos sólidos orgánicos. La investigación se centra en comprender cómo estos factores influyen en la salud ocupacional y en la percepción del entorno laboral.

Más allá de los datos y las mediciones, este trabajo pretende dar voz a quienes trabajan en condiciones donde el aire, elemento esencial para la vida, se convierte en un factor de riesgo. Comprender su realidad y los efectos del entorno físico sobre su salud es también un llamado a repensar la gestión de los residuos, la responsabilidad ambiental y la dignificación del trabajo humano en los márgenes de nuestras ciudades.

CAPÍTULO I

BOTADEROS MUNICIPALES Y CONTEXTO AMBIENTAL

1.1. Botaderos municipales

En el Perú 9 de cada 10 municipalidades provinciales visitadas por la defensoría del pueblo, arrojan sus residuos en lugares no aptos para su disposición, y el 98% de las municipalidades existen botaderos informales (*Informe sobre Residuos Slidos*, s. f.).

El botadero municipal es un lugar donde terminan los residuos sólidos sin tener ningún control técnico ni sanitario, el área esta despejada sin contar con una infraestructura para ningún manejo como lixiviados, control de emisiones gaseosas, cobertura diaria y ninguna medida de protección ambiental ni de salud pública (Monteverde, 2017).

Los botaderos por lo general se hacen por acumulación inapropiada de residuos en las vías, terrenos baldíos o espacios públicos de ámbito urbano o rural, careciendo de medidas de adecuación sanitaria, por lo que representan un riesgo para la salud de la población y el ambiente (*Informe sobre Residuos Slidos*, s. f.).

En los botaderos los residuos no se compactan no se cubren lo que produce que haya malos olores, gases y lixiviados que contaminan, también aumentan la presencia de vectores y como los recicladores van constantemente ponen en riesgo su salud (*Guia tecnicapara clausura de botaderos .PDF*, s. f.).

1.2. Características físicas y operativas de los botaderos

Las características generales del botadero son las siguientes: su ubicación geográfica, área que ocupa, tenencia del sitio, actividad (el sitio será activo si se siguen depositando residuos y será considerado inactivo si ya no se depositan residuos), tiempo de operatividad, condiciones de operatividad, distancia a poblado más cercano, uso actual y potencia del suelo, entre otros (*Guia tecnicapara clausura de botaderos .PDF*, s. f.).

1.2.1. Características físicas

Las características físicas del botadero son: la topografía (relieve y pendiente), edafología y geología (tipo y características del suelo, entre las cuales están la permeabilidad) y

climatología temperaturas ambientales máximas y mínimas, precipitación pluvial, dirección y magnitud de los vientos predominantes (*Guia tecnicapara clausura de botaderos .PDF*, s. f.).

1.2.2. Características operativas

Las características en estas son el volumen de residuos y tipos de residuos acumulados, quema de residuos, la generación de lixiviados y gases contaminantes. La cobertura de los residuos con tierra u otro material es importante para reducir olores, moscas ratas y otros vectores, los botaderos no cuentan con estas características. Los canales sirven para recibir y conducir la escorrentía, manejar el agua de lluvia, también es necesaria una estructura para contener los lixiviados, también los sistemas de contención o recolección, lo que muchos botaderos carecen (Ozbay et al., s. f.).

1.3. Composición de los residuos sólidos en botaderos

Según el MINAM, la composición de residuos sólidos municipales en los botaderos es una mezcla de todos los residuos posibles, sin separación en la fuente ni valorización, a continuación, se muestra cual es la composición típica de los residuos sólidos en el Perú, en el 2014 de los residuos sólidos generados el 53.16% de los residuos sólidos son materia orgánica, el 18.64% son residuos no aprovechables, el 18.64% son residuos aprovechables y el 6.83% son residuos reciclables (*PLAN NACIONAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*, s. f.).

En el año 2014 se generaron 7 497 482 t/año, de residuos sólidos municipales, de estos sólo 3 309 712 toneladas fueron dispuestas en un relleno sanitario menos del 50%, lo restante fue dispuesto inadecuadamente es decir en botaderos (*PLAN NACIONAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*, s. f.).

1.4. Procesos de descomposición y generación de gases

En los botaderos hay distintos residuos, pero en cuanto haya más residuos orgánicos habrá más gases como dióxido de carbono, metano, nitrógeno y sulfuro de hidrogeno, producidos por las bacterias de descomposición, en cuanto más residuos químicos se desechen, mayor será la producción de gases NMOCs, los cuales son altamente volátiles y podrían reaccionar con oxidos de nitrógeno (NOx) en presencia de luz solar, formando asi ozono troposférico (O3) el cual es un contaminante peligroso para el ambiente y la salud (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

Los gases de botadero están compuestos por una mezcla de muchos gases distintos, en volumen, el gas de botaderos suele estar compuesto por 45%-60% de metano y 40%-60% de dióxido de carbono, también pequeños porcentajes de nitrógeno, oxigeno, amoniaco, sulfuros, hidrogeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos no metánicos (NMOCs), como el tricloroetileno, benceno y cloruro de vinilo (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

Existen fases de descomposición de los residuos:

- Descomposición bacteriana: Los gases de vertederos se producen por descomposición bacteriana, esto ocurre cuando las bacterias, existentes en la tierra y en los residuos de forma natural, descomponen los residuos orgánicos (alimentos, residuos de jardín, basura de las calles, textiles y productos de madera y papel), estos residuos se descomponen en cuatro fases y la composición del gas cambia en cada una (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

- En la primera fase de descomposición las bacterias aerobias usan el oxígeno disponible para degradar los carbohidratos, proteínas y lípidos de los desechos orgánicos, esto genera principalmente dióxido de carbono (CO2), en esta etapa en nitrógeno inicialmente es muy elevado y el mismo disminuye a medida que avanza el proceso de descomposición. El tiempo que dura esta fase es hasta agotar el oxígeno disponible dependiendo la compactación que tienen los residuos, podría extenderse de algunos días hasta varios meses (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

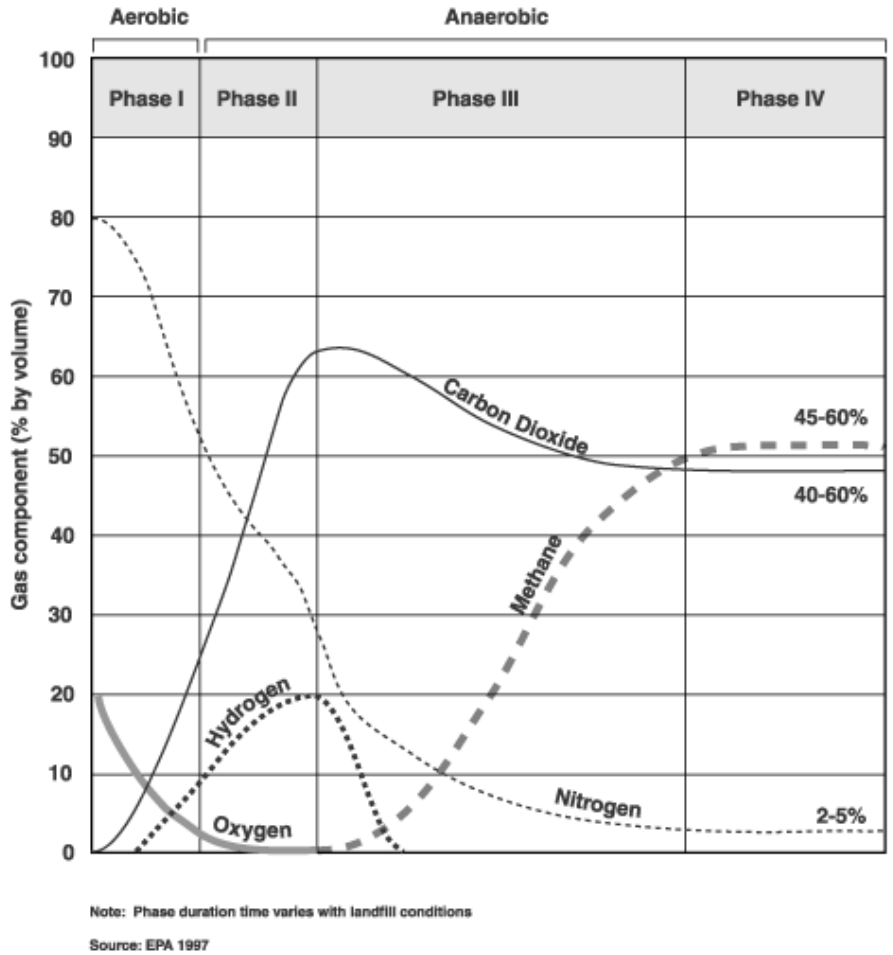
- La segunda fase, al agotarse el oxígeno las bacterias transforman a los compuestos en ácidos orgánicos (acético, láctico y fórmico) y alcoholes (metanol y etanol). En esta etapa el vertedero se vuelve altamente acido lo que favorece a la disolución de nutrientes como nitrógeno y fosforo que son aprovechados por las poblaciones bacterianas, en esta fase los principales gases liberados son (CO2) e Hidrogeno (H2) (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

- La tercera fase, en esta las bacterias anaeróbicas consumen los ácidos orgánicos generados en la etapa anterior y los transforman por lo general en acetato, esto reduce la acides y vuelve al vertedero más neutro, esto favorece al establecimiento de las bacterias metanogénicas, que inician la producción de metano. En esta fase se desarrolla una relación simbiótica entre las bacterias productoras de ácido y las de metano, ya que las primeras

generan compuestos (como el dióxido de carbono y el acetato) que las segundas consumen, evitando su acumulación a niveles tóxicos (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

- La cuarta fase, los gases del vertedero alcanzan una composición y ritmo estables, esto marca la etapa de metanogénesis activa y estabilización. Este biogás generado contiene de 45%-60% de metano, 40%-60% de dióxido de carbono y entre 2%-9% de otros gases como sulfuros. Esta fase puede durar alrededor de 20 años y la emisión de gases puede continuar por más de 50 años dependiendo de la cantidad de materia orgánica (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

Figura: fases de producción de gas en vertedero



➢ Volatilización: Algunos gases pueden generarse cuando ciertos residuos, en particular residuos orgánicos, pasan de estado líquido o solido a vapor, este proceso se conoce como volatilización. Los NMOCs presentes en los gases de vertedero pueden ser el resultado de la

volatilización de ciertas sustancias químicas desechadas en el vertedero (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

- Reacciones químicas: Los gases de vertederos incluidos los NMOCs, pueden generarse por la reacción de ciertas sustancias químicas presentes en los residuos, ejemplo: si el blanqueador de cloro y el amoniaco entran en contacto dentro del vertedero, se produce un gas nocivo (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

1.5. Factores que incrementan la generación de gases en botaderos

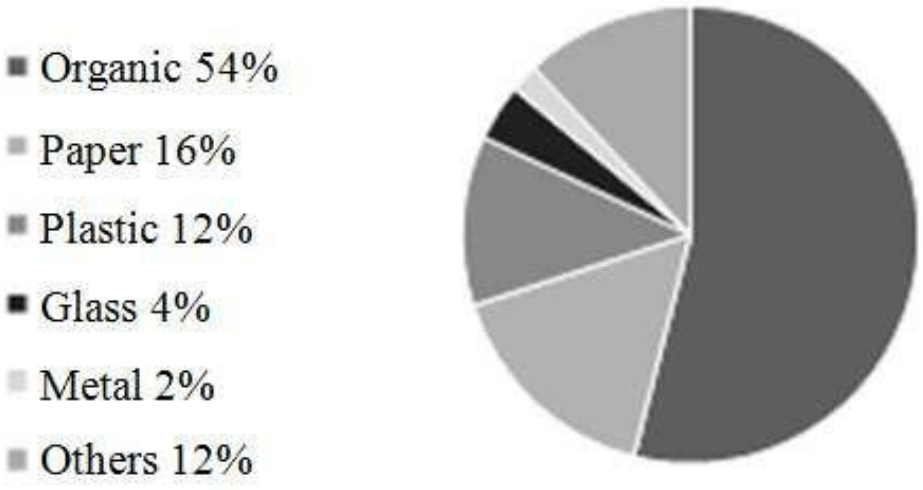
1.5.1. Alta cantidad de residuos orgánicos

Según la UNEP, una gran parte de los residuos municipales sólidos (RSU) generados a nivel mundial está compuesto por residuos orgánicos provenientes principalmente de restos de comida, desperdicios vegetales, residuos de mercados, poda y otros materiales biodegradables. Así cuando estos residuos terminan en un botadero se produce su descomposición anaerobia muy rápido debido a que son altamente biodegradables, liberando grandes cantidades de gases dentro del cual está el dióxido de carbono (CO2) (UNEP, 2024).

Cuando estos residuos se acumulan en condiciones no adecuadas, donde no cuentan con oxigeno como es en el caso de los botaderos, que no se sigue un proceso adecuado, se descomponen anaerobiamente liberando diversos gases como el Dióxido de Carbono (CO2), metano (CH4) y otros.

Según estudios en América latina la mayor cantidad de residuos generados corresponde a los residuos orgánicos en un 54%, seguidos del papel y plástico (Sepúlveda, 2016).

Gráfico 1: Porcentaje de residuos generados. Fuente: (Sepúlveda, 2016).



1.5.2. Altas temperaturas ambientales

Cuando la temperatura incrementa la actividad bacteriana también lo que generara una mayor emisión de gas y acelerara la volatilización y reacciones químicas de los gases. Cuando la temperatura es fría inhibe a las bacterias provocando una disminución en la actividad bacteriana esto por lo general cuando la temperatura esta en los 10° (50°F), los residuos de botaderos son más propensos a los efectos de la temperatura por el mismo hecho que no están sellados (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

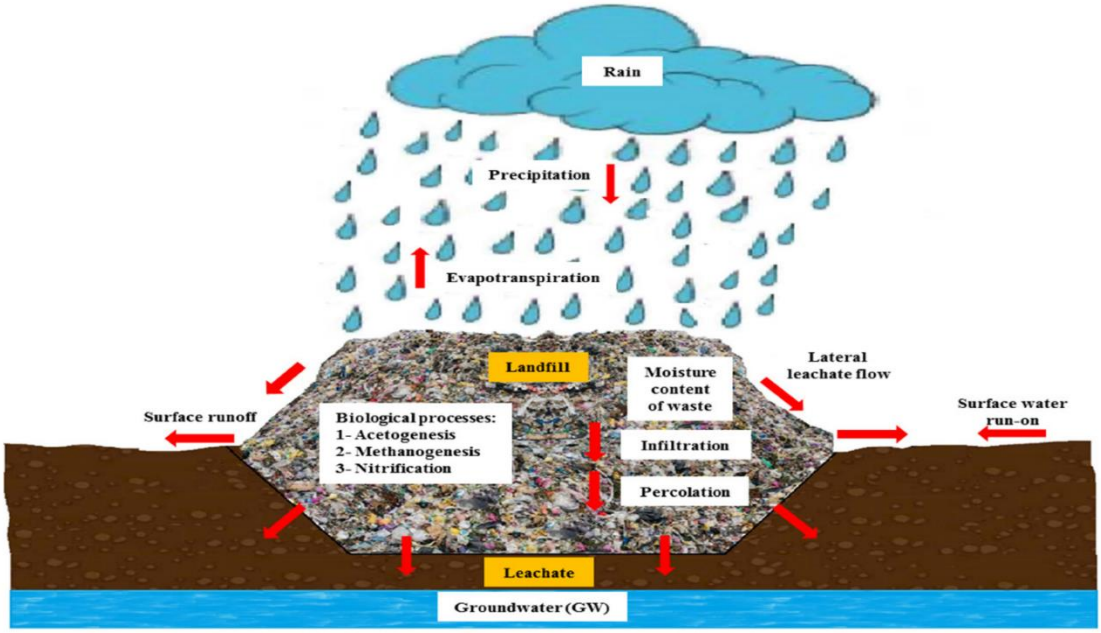
1.5.3. Humedad elevada (lluvias, lixiviado)

La humedad favorece la generación de gas debido a que acelera la descomposición bacteriana y es parte de las reacciones químicas para la generación de gases, esto sucede por las lluvias y la recirculación de lixiviados, y en los botaderos se puede apreciar que no tienen ningún plan para que esto mejore (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

También, la humedad actúa como solvente y transportadora de iones y moléculas orgánicas, permitiendo la generación de sustancias peligrosas y contaminantes, como también de gases tales como el dióxido de carbono (CO2), metano (CH4), Sulfuro de hidrogeno (H2S) y otros compuestos (Oonk, s. f.).

A continuación se puede observar algunas de las reacciones biológicas y químicas que ocurren dentro del botadero (Jamrah et al., 2024):

Gráfico 2: Reacciones químicas en vertederos.



CAPÍTULO II

DIÓXIDO DE CARBONO Y SU RELEVANCIA EN BOTADEROS

2.1. Propiedades físicas y químicas del dióxido de carbono

El dióxido de carbono o conocido también como gas acido carbónico o hielo seco siendo la formula CO2.

Tabla 1 Propiedades físicas y químicas del dióxido de carbono

PROPIEDADES	
Descripción física	Gas incoloro e inodoro
Formula	CO2
Peso molecular	44.0
Punto de ebullición	Sublimes
Punto de fusión	-109°F
solubilidad	77°F: 0,2%
Presión de vapor	56.5 atm
Potencial de ionización	13.77 eV
Densidad relativa del gas	1.53
Inflamabilidad	Gas no inflamable
Incompatibilidades y reactividades	El polvo de diversos metales, como magnesio, circonio, titanio, aluminio, cromo y manganeso, es inflamable y explosivo al estar suspendido en dióxido de carbono. En agua, forma ácido carbónico.
Rutas de exposición	inhalación, contacto con la piel y/o los ojos (líquido/sólido)
Sintomas	Dolor de cabeza, mareos, inquietud, parestesia; disnea (dificultad para respirar); sudoración, malestar (sensación

	vaga de malestar); aumento de la frecuencia cardíaca, del gasto cardíaco, de la presión arterial; coma; asfixia; convulsiones; congelación (líquido, hielo seco)
Órganos objetivos	Sistema respiratorio, Sistema cardiovascular

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH)

2.2. Origen del CO_2 en la descomposición de residuos

En la primera fase de descomposición de los residuos, cuando hay oxigeno disponible las bacterias aeróbicas descomponen los carbohidratos, lípidos y proteínas presentes en los residuos orgánicos, en este proceso la materia orgánica se oxida y se produce CO2 como principal subproducto.

Reacción general:

$$Materia\ organica\ +\ O2\ \rightarrow CO2\ +\ H2O\ +\ energía$$

En la fase anaeróbica el CO2 tiene un origen biogénico, ósea procede de la descomposición natural de la materia orgánica, las bacterias continúan el proceso de degradación, en esta etapa los ácidos orgánicos generados se transforman en metano y dióxido de carbono mediante la metanogénesis (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 3*, s. f.).

Reacciones:

- Fermentación acida:

$$Carbohodratos\ \rightarrow Acidos\ organicos\ +\ CO2\ +\ H2$$

- Metanogénesis:

$$CO2\ +\ 4H2 \rightarrow CH4\ +\ 2H2O$$

$$CH3COOH\ \rightarrow\ CH4\ +CO2$$

2.3. Factores que influyen en la concentración de CO_2

- Composición de residuos: La presencia de residuos orgánicos aumenta la presencia de CO2 y otros gases producidos por las bacterias en el proceso de descomposición (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

- Antigüedad de los residuos: Los residuos menos antiguos generan mayor cantidad de gases (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

- Contenido de humedad: Favorece al aumento de producción de gases, ya que favorece a la descomposición bacteriana, y promueve las reacciones químicas que producen gases (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

- Temperatura: Cuando aumenta la temperatura también aumenta la actividad bacteriana lo que genera mayores producciones de gas (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2*, s. f.).

2.4. Efectos del CO_2 en el ambiente de trabajo

Los gases pueden moverse a través de la superficie del vertedero al aire, una vez ahí los gases pueden ser transportados a la comunidad por el viento, los olores en los vertederos son indicativos que los gases se mueven por encima del suelo, los gases también pueden moverse a través del suelo subterráneo e ingresar a las casas o corredores de servicios.

El CO2 no es toxico por sí solo, pero al acumularse puede desplazarse el oxígeno al aire, en espacios confinados o depresiones (hoyos, zanjas, túneles, alcantarilla). En concentraciones elevadas el co2 genera avientes deficientes de oxígeno, lo que generara mareos, perdida de conciencia y muerte si el nivel de oxígeno es muy bajo (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 3*, s. f.).

El CO2 está presente en la atmosfera en un nivel bajo de 400ppm, pero las concentraciones altas de CO2 son muy peligrosa, en el siguiente cuadro se aprecia las concentraciones y sus efectos (*Know the Risks – Work Safely with CO2 | Vaisala*, 2025).

Tabla 2 Concentraciones de CO2 y efectos

Concentraciones y efectos típicos	
Efecto	Concentración de co2
Ambientes típicos	350 - 450 ppm
Calidad aceptable del aire interior	600 - 800 ppm

Calidad del aire interior tolerable	1000 ppm
Límite de exposición promedio durante 8 horas	5000 ppm
Preocupación, solo exposición breve	6000 - 30000 ppm
Aumento de la respiración y dolor de cabeza.	3 - 8 %
Náuseas, vómitos, pérdida del conocimiento.	10 % +
Pérdida repentina del conocimiento, muerte	20% +

Fuente: Vaisala

CAPÍTULO III

IMPACTO DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN LA SALUD DE LOS TRABAJADORES

3.1. Vías de exposición y mecanismos de absorción

3.1.1. Vías principales de exposición

- Inhalación (vía respiratoria): El Dióxido d carbono (CO_2) se genera en grandes cantidades debido a la descomposición de residuos orgánicos, estos se acumulan en zanjas bajas, pozos o espacio confinados, desplazando así el oxígeno del aire; los trabajadores o personas que ingresan a estas áreas sin ventilación o sin detección de gases pueden inhalar concentraciones elevadas de CO_2 lo cual afectara a la oxigenación del cuerpo.

- Dérmica o cutánea: El Dióxido de carbono no es absorbido de manera significativa por la piel, por lo que esta vía no es muy relevante.

- Digestiva (ingestión): La exposición por ingestión no ocurre normalmente en ambientes ocupacionales, ocurre cuando hay contaminación cruzada, ejemplo: agua contaminada en zona de lixiviados.

3.1.2. Mecanismos de absorción

Una vez el CO_2 en el organismo sigue este proceso fisiológico:

- Entrada en el sistema respiratorio: El gas se difunde desde los alveolos pulmonares hacia la sangre esto por la gradiente de presión parcial de CO_2 entre el inhalado y la sangre venosa (*CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards - Carbon dioxide*, s. f.-a).

- Transporte de sangre:

- Disuelto directamente en el plasma (aprox. 7%)

- Unido a la hemoglobina formando carbonohemoglobina ($HbCO_2$) (23%).

- Transformado en iones de bicarbonato (HCO_3^-) mediante la acción de la enzima anhidrasa carbónica (70%).

- Efectos fisiológicos:

- A niveles normales, el CO_2 participa en la regulación del pH sanguíneo.

- A concentraciones elevadas (>3%), el organismo pierde su capacidad de eliminarlo adecuadamente, provocando hipercapnia (exceso de CO2 en sangre)

3.2. Síntomas y efectos en la salud agudos y crónicos

3.2.1. Síntomas de CO2

El dióxido de carbono (CO2) es un gas inodoro e incoloro, este se genera principalmente por la descomposición de materia orgánica de manera anaerobia ya sea en botaderos o rellenos sanitarios, este gas tiende a acumularse en ambientes cerrados que tienen escasa ventilación, lo cual genera niveles peligrosos para la salud de los trabajadores (*CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards - Carbon dioxide*, s. f.-b). Algunos de los síntomas son los siguiente: Dolor de cabeza, mareos, inquietud, parestesia (hormigueos, adormecimiento, ardor, sensaciones anormales), aumento de la frecuencia cardiaca, del gasto cardiaco, de la presión arterial, coma, asfixia, conclusiones, congelación (*CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards - Carbon dioxide*, s. f.-b).

3.2.2. Efectos en la salud agudos y crónicos

Desde un punto toxicológico, el CO2 es considerado un asfixiante simple, la exposición a este gas puede generar efectos agudos y crónicos en la salud.

3.2.2.1. Efectos agudos y crónicos por CO2

Estos efectos se presentan tras una exposición corta a concentraciones elevadas de CO2, a continuación, se muestra los efectos agudos:

Tabla 3 Efectos agudos y crónicos en la salud, CO2.

Concentración de CO2	Efecto agudo observado	Efectos crónicos observados
1000 – 2000 ppm	Sensación de aire vaciado, somnolencia, leve malestar	• Alteraciones respiratorias por el aumento de la frecuencia respiratoria y la reducción pulmonar.
2000 – 5000 ppm	Dolor de cabeza, fatiga, aumento de la frecuencia respiratoria	

5000 – 15000 ppm	Mareos, dificultad para concentrarse, aumento del ritmo cardiaco	• Efectos neurológicos, dificultad para concentrarse, disminución del rendimiento cognitivo, somnolencia y dolor de cabeza recurrente. • Alteraciones de sueño y fatiga crónica • Acidosis respiratoria compensada, el cuerpo intenta neutralizar el exceso de CO2 en sangre.
30000 – 50000 ppm	Nauseas, confusión, perdida de conciencia	
>40000 ppm	Paro respiratorio y muerte por anoxia	

Fuente: NIOSH (2017), Satish, U et al. (2012).

3.3. Normas y límites de exposición ocupacional

3.3.1. Normas

- Ley N° 29783 – Ley de seguridad y salud en el trabajo

- Esta ley establece la obligación del empleador de identificar, evaluar y controlar los riesgos ocupacionales, lo que incluye al CO2, también exige que se implemente las mediciones ambientales y ocupacionales de forma periódica.

- Decreto supremo N| 005-2012-TR _ Reglamento de la ley 29783

- Este regula los niveles de exposición permisibles a agentes químicos en el ambiente laboral, también obliga a la evaluación de gases y vapores donde haya riesgo de inhalación. (MTPE, 2012)

- D.S. 009-2005 _ Reglamento de seguridad y salud en el trabajo

- Este reglamento establece que haya condiciones mínimas de seguridad para la explosión a agentes físicos, químicos y biológicos, también indica la necesidad de contar con monitoreos en zonas potenciales de generación de gases.

- Limites permisibles de exposición ocupacional (LPEO) _ MINSA/INS

- OSHA – 29 DFR 1910.1000 (EE.UU.)
- NIOSH – Pocket Guide to chemical Hazards
- ACGIH – Threshold limit values
- OMS / OIT

Esta recomienda vigilar gases producto de la descomposición de residuos como el CO2, pues estos representan riesgos de hipoxia y asfixia, por lo que el sistema de ventilación y monitoreo deben ser obligatorios.

3.3.2. Límites de exposición

A continuación se muestra los siguientes límites de exposición de dióxido de carbono (*CARBON DIOXIDE | Occupational Safety and Health Administration*, s. f.).

Tabla 4 Limites de exposición de Dióxido de carbono

CO2	OSHA PEL 8 HORAS TWA	NIOSH REL Hasta 10 horas TWA	CAL/OSHA PEL 8 horas TWA	ACGIH TLV 8 horas TWA	LMP 8 hora TWA
TWA	5000 ppm (9000 mg/m3)	5000 ppm (9000 mg/m3)	5000 ppm (9000 mg/m3)	5000 ppm (9000 mg/m3)	5000 ppm (9000 mg/m3) (0.5%)
STEL		30.000 ppm (54.000 mg/m3)	30.000 ppm (54.000 mg/m3)	30.000 ppm (54.000 mg/m3)	30.000 ppm (54.000 mg/m3) (3%)
C					
Notación de pie	norte	norte	norte	norte	

Fuente: OSHA (2023), NIOSH, ACGIH (2022).

CAPÍTULO IV

IMPACTO DE LOS OLORES GENERADOS EN BOTADEROS

4.1. Principales Compuestos causantes de olores

- Sulfuros: El sulfuro de hidrogeno, de dimetilo y los mercaptanos son los sulfuros más comunes y responsables de los olores en botaderos, estos gases producen un olor muy fuerte a huevo podrido, incluso teniendo concentraciones muy bajas, de estos tres el sulfuro de hidrogeno está en concentraciones más altas (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 3*, s. f.).

- Amoniaco: El amoniaco también es un gas oloroso que se produce por la descomposición de materia orgánica, este gas es común en el medio ambiente y necesario para mantener la vida vegetal y animal, este gas se produce en la descomposición de estiércol, plantas y animales muertos (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 3*, s. f.).

- Compuestos orgánicos volátiles (COV), algunos COV como el cloruro de vinilo y los hidrocarburos por lo general se emiten en concentraciones muy bajas por lo que representan problemas bajos de olores (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 3*, s. f.).

4.2. Percepción y umbral de molestia olfativa

Los olores en los botaderos de residuos sólidos provienen principalmente de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica lo cual genera una mezcla compleja de gases los que generan mal olor.

A continuación, se muestra los principales compuestos y una estimación del umbral de olores promedio que una persona puede detectar (AIHA 1989) (*ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 3*, s. f.).

Tabla 5 Componentes de los gases y sus olores.

Componente	Umbral de olor (partes por mil millones)	Características/olor
Sulfuro de hidrogeno	0.5 a 1	Fuerte olor a huevo podrido
Metano	45-60	El metano es un gas natural. Es incoloro e inodoro, su fuente principal con los vertederos.
Dióxido de Carbono	40-60	Este gas se encuentra de manera natural en la atmosfera (0,03%), es incoloro, inodoro y un poco acido.
Amoniaco	1.000 a 5.000	Gas incoloro con olor a acre, olor dulce, parecido
Benceno	840	Olor parecido al del disolvente de pintura
Dicloroetileno	85	Olor dulce, parecido al éter, ligeramente acre
Diclorometano	205.000 a 307.000	Olor dulce, parecido al cloroformo
Etilbenceno	90 a 600	Olor aromático como benceno
Tolueno	10.000 a 15.000	Olor aromático como benceno
Tricloroetileno	21.400	Olor dulce, parecido al cloroformo.
Tetracloroetileno	50.000	Olor dulce, parecido al éter o al cloroformo.
Cloruro de vinilo	10.000 a 20.000	Olor ligeramente dulce

Fuente: Capitulo 3, Introducción de los gases de vertedero.

4.3. Efectos psicológicos y físicos en los trabajadores

4.3.1. Efectos psicológicos:

En una investigación sobre síntomas de salud física y mental entre residentes que viven cerca de vertederos de residuos municipales, se reportan problemas de sueño bajo estado de ánimo, cansancio extremo, pérdida de apetito, estrés, ansiedad y depresión, problemas de pensamiento, concentración y decaimiento (Peprah et al., 2024).

4.3.2. Efectos físicos:

Los trabajadores por lo general no cuentan con implementos de protección personal, lo que pone en riesgo su salud y por lo general no cuentan con un seguro médico.

La exposición a niveles elevados a gases como el amoniaco y sulfuro de hidrogeno en el aire causan tos, irritación de ojos, nariz y garganta, dolores de cabeza, náuseas y dificultad para respirar, estos efectos suelen desaparecer cuando termina la exposición, en estudios realizados durante meses se reportaron quejas de salud que coincidieron con niveles elevados de sulfuro de hidrogeno y olores de vertedero. Las quejas reportadas incluyeron irritación de garganta, garganta y pulmones, náuseas, dolor de cabeza, congestión nasal, dificultades para dormir, pérdida de peso, dolor de pecho y agravamiento del asma (*Important Things to Know about Landfill Gas*, s. f.).

4.4. Relación entre olores y calidad de aire

Los residuos en un botadero se descomponen y empieza la generación de gases (metano, sulfuro y dióxido de carbono) que se dispersan por acción del aire, produciendo también olores que se difunden en los entornos; estos olores causan distintos problemas tanto físicos como psicológicos, además muchas veces en estos lugares se queman los residuos lo que genera generación de gases como dióxido de carbono también dioxinas, cenizas y volatilización de sustancias químicas que son perjudiciales para la salud y el ambiente (*Informe sobre Residuos Slidos*, s. f.).

El metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), dependiendo la etapa de descomposición, puede llegar hasta un 60% de los componentes gaseosos que genera un relleno. El metano, gas inodoro y combustible el cual es mas ligero en el aire y explosivo cuando su concentración alcanza entre 5% - 15% en el aire (*Informe sobre Residuos Slidos*, s. f.).

También los botaderos abiertos emiten polvos y material particulado que puede portar agentes patógenos y materiales peligrosos lo que puede causar problemas respiratorios y pulmonares, y una contaminación cruzada dañando a la población y al ambiente (*Informe sobre Residuos Slidos*, s. f.).

El CO2 que entra a la atmosfera a través de la quema de combustibles fósiles como carbón, gas natural y petróleo, también por la quema y descomposición de residuos sólidos, árboles y otros materiales biológico (*Overview of Greenhouse Gases | US EPA*, s. f.); este gas ha contribuido al factor de cambio climático antropógeno puesto que es el gas de efecto invernadero con mayor presencia en el ambiente, este gas es un potencial absorbedor de energía térmica, el exceso de este gas contribuye a la contaminación y al cambio climático (*Greenhouse Gas Emissions*, s. f.).

El metano (CH4), es un gas de efecto invernadero que se produce durante la producción y transporte de carbón, gas natural y petróleo; también se produce por actividades de la ganadería y otras prácticas agrícolas, el uso de suelo y la descomposición de residuos orgánico en vertederos de residuos sólidos (*Overview of Greenhouse Gases | US EPA*, s. f.); este gas también contribuye al cambio climático, este gas tiene una mayor capacidad de retener el calor por lo que podría tener consecuencias que perjudiquen los ecosistemas naturales que no pueden adaptarse con tanta rapidez (*Greenhouse Gas Emissions*, s. f.).

CAPÍTULO V

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

5.1. Objetivos Principales

5.1.1. Objetivo general

Determinar los niveles de dióxido de carbono (CO2) a los que están expuesto los trabajadores de los botaderos y evaluar el impacto de los olores generados en los mismos.

5.1.2. Objetivos específicos

- Cuantificar las concentraciones de CO2 en las distintas áreas del botadero, mediante un monitoreo ambiental periódico.
- Comparar los valores de CO2 con la guía que establecen las normativas.

- Evaluar la percepción de olores y sus efectos en los trabajadores a través de encuestas estructuradas y registro de síntomas.

5.2. Hipótesis

5.2.1. Hipótesis principal

Los trabajadores de los botaderos municipales están expuestos a concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) superiores a los límites establecidos por la normativa y tienen un impacto negativo en la salud y bienestar debido a la molestia y percepción de los olores.

5.2.2. Hipótesis especifico

- La concentración de CO_2 en las distintas áreas del botadero presentan diferencias significativas y función del tipo de actividad o zona de trabajo.

- La concentración de CO_2 medidas en el botadero superan los valores de las normativas.

- Existe una relación significativa entre la percepción de olores generados en el botadero y la presencia de síntomas físicos y/o molestias reportadas por los trabajadores.

5.3. Tipo y diseño de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque mixto, cuantitativo por las mediciones objetivas de CO_2 y encuestas sobre percepción y síntomas; cualitativo por las entrevistas estructuradas para profundizar experiencias, estrategias de afrontamiento y contexto laboral.
El diseño es no experimental, observacional debido a que en esta investigación solo se mide lo que ocurre, también es transversal por que se recoge la medición y encuestas con el fin de caracterizar la situación en el momento de estudio.

5.4. Población y muestra

5.4.1. Población:

En esta investigación la población son los trabajadores municipales que realicen labores operativas durante el periodo de estudio.

5.4.2. Muestra:

Lo mismo que en la población

5.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

5.5.1. Técnicas de recolección de datos:

- Monitoreo Directo: Esta técnica consiste en la medición in situ de las concentraciones de CO2 en las áreas operativas del botadero, lo cual permitirá cuantificar la exposición y compararlos con los límites máximos permisibles que establecen las normas.

- Encuestas estructuradas: Esta técnica se aplica a los trabajadores mediante un cuestionario, lo que permitirá evaluar la frecuencia, intensidad y molestia de los olores que perciben durante la jornada laboral.

- Registro de síntomas: Este instrumento recoge la presencia de los síntomas físicos que tienen los trabajadore y la frecuencia que tiene.

- Observación directa: En esta se registra las condiciones ambientales y operativas como uso de EPP, temperatura, ventilación.

5.5.2. Instrumentos de recolección de datos:

- Detector de calidad del aire interior
- Cuestionario estructurado incluyendo ítems sobre frecuencia de olor, intensidad, molestia y tiempo de exposición.
- Formulario de registro de síntomas, lo que permitirá evaluar la presencia y recurrencia de síntomas relacionados a la exposición de olores.
- Formato estructurado, nos permitirá anotar las condiciones del entorno como: ventilación, clima, topi de residuos, uso de EPP, ubicación del trabajador.

5.6. Procedimiento de Monitoreo

➢ Planeación previa

○ Definir los objetivos y alcances

○ Obtener los permisos con la gerencia de botaderos: Pedir el permiso para la accesibilidad y coordinar fechas, horarios, lista de trabajadores.

○ Preparar el marco muestral: Identificar los puntos fijos a muestrear y seleccionar los trabajadores.

○ Seleccionar equipo: Equipos portátiles NDIR para lecturas en tiempo real.

○ Definir cronograma: Fechas y turnos de muestreos.

➢ Equipos

- Detector de calidad del aire interior: Este dispositivo es un monitor multifuncional capaz de medir varios contaminantes y factores ambientales importantes.

Parámetros clave detectados:

○ CO2 (Dióxido de carbono): Se utiliza NDIR (infrarrojo No Dispersivo) para medir la concentración de CO2 en partes por millon (ppm), este indicador es clave de la ventilación, puesto que los niveles altos (superiores a 1000-1200ppm) sugieren que el aire está viciado y que es necesario ventilar para evitar la somnolencia, dolores de cabeza.

- Termómetro/hidrómetro portátil: Esto nos permitirá conocer las condiciones ambientales insitu, estos factores pueden alterar el funcionamiento de otros equipos de medición y pueden influir en la concentración de algunos contaminantes.

- GPS: Es importante para geo referenciar los puntos de monitoreo y para saber dónde medir en una próxima ocasión.

- Baterías y cargadores de repuestos: Esto asegura la continuidad del trabajo de campo.

- Hoja de muestreo: Es un formato físico o digital donde se anotan manualmente todos los detalles del muestreo.

- EPP para el equipo de medición: Garantiza la seguridad del personal que realiza las mediciones.

➢ Calibración y verificación

○ Calibrar según el manual del fabricante

○ Registro de calibración

➢ Diseño del muestreo

○ Muestro fijo, seleccionar de 6 a 10 representativos, tomar lecturas puntuales de 10 minutos y registrar el promedio de ese periodo, repetir tres veces al día.

○ Muestreo personal, colocar el monitor portátil en zona de respiración, colgado en el bolsillo superior o en el cuello esto durante todo el turno completo de 8 horas.

➢ Procedimiento en campo

○ Estar en el campo con el equipo calibrado y probado.

○ Anotar identificación del punto: código de muestreo, ubicación, coordenadas, área donde se monitorea, hora de inicio.

- Medir y registrar temperatura y humedad
- Colocar el monitor a la altura de la zona respiratoria (1.2-1.5 metros del suelo) y de 1-2 metros de la fuente.
- Registrar las lecturas, muestrear por lo menos 10 minutos.
- Anotar observaciones.
- Repetir esto en cada punto de monitoreo
- Al finalizar descargar los datos y anotar hora final

➢ Control de calidad

- Anotar fallos, cambios de batería o eventos no habituales
- Calibración periódica

➢ Seguridad y ética

- Consentimiento para monitoreo al personal
- Protección del equipo, EPP obligatorio, coordinar para no interferir en labores del personal.
- Si se detectan niveles que representen riesgos agudos, notificar de inmediato a la gerencia.

➢ Registro y formatos

- Plan de muestreo
- Registro de muestreo personal

➢ Procesamiento y análisis de datos

- Procesar los datos
- Cálculo de la TWA
- Estadísticas descriptivas
- Comparaciones normativas

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Muestreo de Dióxido de Carbono (CO_2)

6.1.1. Botaderos Monitoreados

Fotografia 1: ***Botadero monitoreado.***

Estos botaderos, reciben residuos sólidos de varios distritos de la región y está ubicado en la faja marginal del Rio Mantaro.

Este botadero ya esta al borde de su capacidad según OEFA, tuvo que ampliar su tiempo de vida. Los pobladores aledaños de estos botaderos denuncian molestias como olores fuertes, proliferación de insectos, impacto sobre sus viviendas y su salud.

En estos botaderos no existe una previa selección de residuos, por falta de conciencia ambiental, afectando así la salud de la población y el medio ambiente como el riesgo de contaminación hídrica de ríos debido a la cercanía de algunos botaderos.

A continuación, se muestra imágenes de los botaderos:

Fotografia 2: Depósito de residuos, botadero.

En la fotografía se observa el vertimiento de los residuos, como se puede apreciar hay una mezcla de todos los residuos posibles, así como: plásticos, cartones, restos orgánicos y otros materiales no segregados. La falta de clasificación contribuye en gran manera a que haya olores desagradables y evita que se puedan hacer otros procedimientos que ayuden en la reducción como el compostaje, y también atrae a animales como perros callejeros y roedores insectos estén asechando el lugar, lo cual es un riesgo para la salud publica y el medio ambiente.

Además, los residuos biodegradables en descomposición liberan lixiviados y gases contaminantes como CO2 que son peligrosos en especial para los trabajadores y personas que estén cerca.

Fotografía 3: Cubrimiento con cal, Botadero.

Se puede observar que los residuos están cubiertos con cal, esto con el fin de poder reducir los olores desagradables, poder controlar la proliferación de insectos y disminuir la presencia de microorganismos patógenos que podrían ser causante de enfermedades. La cal tiene el objetivo principal de desinfectar y estabilizar temporalmente los residuos; la aplicación adecuada es echar cal en capas delgadas y uniformemente sobre los residuos recientemente depositados. Pero como se puede observar en la imagen los residuos están dispersos y desparramados por lo que limita la efectividad de la cal, añadiendo que las condiciones climáticas como la lluvia y el viento pueden dispersarla.

Fotografia 4 Botadero monitoreado.

Fotografia 5: Botaderos informales.

La fotografía 5 refleja la falta de una gestión adecuada de residuos sólidos está generando el incremento de botaderos clandestinos, generando mayor riesgo en la salud y el ambiente, la falta de in sistema de recolección, transporte, tratamiento y disposición final ha provocado que las personas arrojen sus desechos en cualquier lugar.

6.1.2. Consideraciones de muestreo

El proceso de muestreo del dióxido de carbono (CO_2) tiene como finalidad determinar la concentración de este gas en el aire ambiente del área evaluada, a fin de identificar posibles condiciones de acumulación derivadas de la actividad humana o de procesos de descomposición de materia orgánica. Un muestreo correcto permite obtener datos confiables y representativos de la exposición o concentración ambiental, por lo que se deben seguir criterios técnicos que garanticen la validez de los resultados.

Previo a la ejecución del muestreo, se realiza una evaluación del área a monitorear, considerando la ubicación geográfica, las fuentes potenciales de emisión y las condiciones de ventilación natural o forzada. Esta etapa es fundamental para definir los puntos de medición y asegurar que los valores obtenidos reflejen el comportamiento real de la concentración de CO_2 en el entorno laboral.

Antes del inicio del muestreo, se debe encender el medidor de CO_2 y permitir su estabilización, evitando manipularlo constantemente (como apagarlo y encenderlo entre mediciones), puesto que esto puede generar errores en la calibración o fluctuaciones en los datos.

Durante el proceso, se debe tener en cuenta que, al iniciar la medición, el valor de CO_2 puede oscilar ±50 ppm durante aproximadamente un minuto. Si se observa una variación superior a este rango, se interpreta que la concentración aún no se ha estabilizado, por lo que se debe esperar hasta que el equipo muestre valores constantes antes de registrar la lectura.

Una vez estabilizado el medidor, se debe registrar el valor de CO_2 de la medición inicial, correspondiente a la concentración base o de referencia previa al ingreso de personas al área. Este valor servirá como punto de comparación para las lecturas posteriores obtenidas durante las distintas fases de ocupación o actividad en el lugar.

Posteriormente, se procede a monitorear y registrar los valores de CO_2 en diferentes puntos del área, siguiendo un recorrido representativo que permita identificar posibles zonas de

acumulación o deficiencia en la ventilación. Las lecturas deben efectuarse de manera secuencial y en intervalos de tiempo uniformes, anotando las condiciones ambientales al momento de cada medición.

Si durante la toma de datos se observan incrementos cercanos o superiores al umbral de 400 ppm, se recomienda realizar mediciones adicionales en otros puntos del mismo lugar, especialmente en zonas donde se evidencie menor circulación de aire o presencia de olores característicos. Esta acción permite confirmar la uniformidad del gas en el ambiente y detectar posibles focos de concentración anómala.

6.2. Comparación con la normativa nacional

La normativa peruana establece los valores máximo permisible para agentes químicos incluido el CO2, en el decreto N°015-2005-SA, muestra lo siguiente:

Tabla 6 Normativa

Tipo de Límite	Concentración de CO2	Descripción
VLP - TWA (Media Ponderada en el Tiempo)	**5,000 ppm** (Partes Por Millón)	Es el límite para la exposición promedio durante una jornada laboral normal de 8 horas diarias y 40 horas semanales.
VLP - STEL (Exposición de Corta Duración)	**30,000 ppm** (Partes Por Millón)	Es el límite para la exposición máxima durante 15 minutos. No se debe exceder este valor, y si se excede el TWA, la exposición corta no debe durar más de 15 minutos ni repetirse más de 4 veces al día, con 60 minutos de intervalo.

6.3. Observaciones complementarias de campo

6.4. Estaciones de monitoreo

Entre los botaderos que se tomó como lugar de estudio está el “botadero 1”, este acumula residuos de distintos distritos de Huancayo. Este botadero maneja diariamente un volumen de 200 toneladas diarias.

Tabla 7 Estaciones de monitoreo de CO_2

Estación	Lugar de muestreo	Coordenadas	Observación
PM-CO2-01	Botadero 1	E: 475089.45 N: 8662433.76	Horario: medio día Personas por turno: **5** Fuente de ventilación: **Natural**
PM-CO2-02	Botadero 2	E: 475089.45 N: 8662433.76	Horario: medio día Personas por turno: 4 Fuente de ventilación: **Natural**
PM-CO2-03	Botadero 3	E: 455970 N: 8671200	Horario: medio día Personas por turno: 6 Fuente de ventilación: **Natural**
PM-CO2-04	Botadero 4	E: 475640.6 N: 8655830.4	Horario: medio día Personas por turno: 3 Fuente de ventilación: **Natural**

6.5. Resultados de monitoreo

6.5.1. Botadero 1:

Las mediciones se realizaron en el botadero municipal durante el desarrollo normal de las actividades operativas. Este enfoque permitió obtener datos representativos de las condiciones reales de funcionamiento del sitio, ya que no se interrumpieron ni modificaron las rutinas habituales de disposición y manejo de residuos durante el proceso de monitoreo.

A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en el Botadero 1:

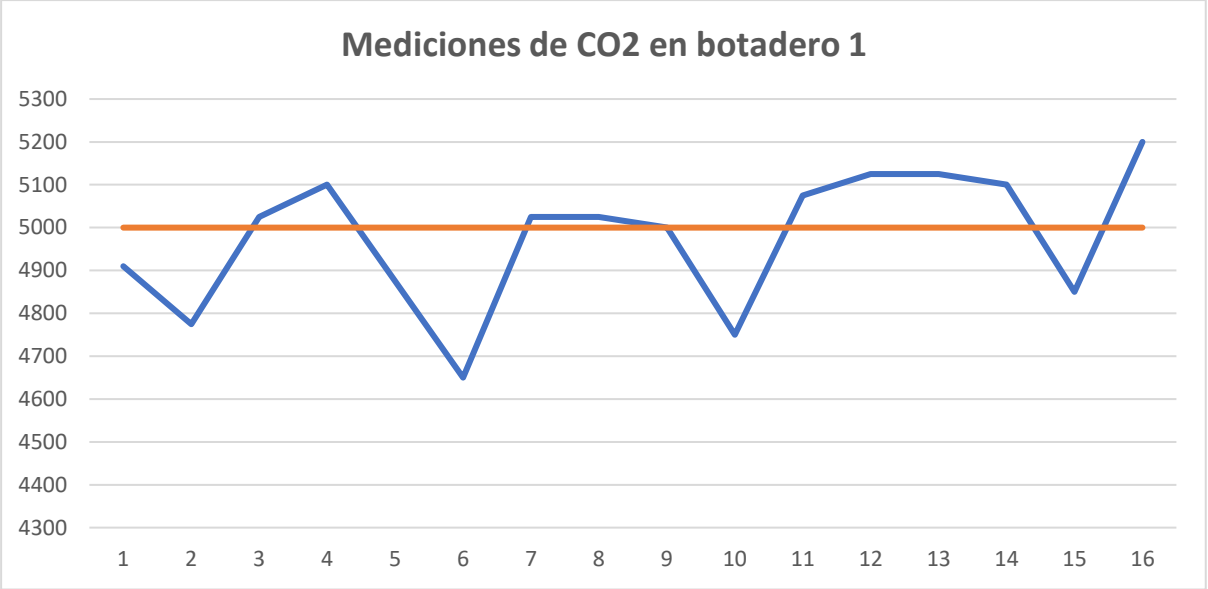
Tabla 8 Monitoreo en el botadero 1.

N° Semana	**Descripción del punto**	**Min. Concentración de CO_2**	**Max. Concentración de CO_2**	**Prom. Concentración de CO_2**	**Según normativa**	**Humedad**	**Temperatura**	**Fecha**	**Observaciones**
1	Inicio de actividad	4720	5100	4910	5000 ppm	23%	16°C	03/03/2025	
	Aplicación de Cal	4600	4950	4775	5000 ppm	23%	16°C	03/03/2025	
	Cobertura con tierra	4850	5200	5025	5000 ppm	23%	16°C	03/03/2025	

	Fin de actividades	4900	5300	5100	5000 ppm	23%	16°C	03/03/2025	
2	Inicio de actividad	4700	5050	4875	5000 ppm	20%	18°C	10/03/2025	
	Aplicación de Cal	4500	4800	4650	5000 ppm	20%	18°C	10/03/2025	
	Cobertura con tierra	4900	5150	5025	5000 ppm	20%	18°C	10/03/2025	
	Fin de actividades	4950	5250	5025	5000 ppm	20%	18°C	10/03/2025	
3	Inicio de actividad	4800	5200	5000	5000 ppm	20%	18°C	17/03/2025	
	Aplicación de Cal	4600	4900	4750	5000 ppm	20%	18°C	17/03/2025	
	Cobertura con tierra	4900	5250	5075	5000 ppm	20%	18°C	17/03/2025	

	Fin de actividades	4950	5300	5125	5000 ppm	20%	18°C	17/03/2025	
4	Inicio de actividad	4900	5300	5100	5000 ppm	22%	15.6°	24/03/2025	
	Aplicación de Cal	4700	5000	4850	5000 ppm	22%	15.6°	24/03/2025	
	Cobertura con tierra	5000	5400	5200	5000 ppm	22%	15.6°	24/03/2025	
	Fin de actividades	5080	5470	5275	5000 ppm	22%	15.6°	24/03/2025	

Gráfico 3 Monitoreo de CO2 en el botadero 1



Interpretación: En el gráfico anterior se aprecia que, en la mayoría de las mediciones, los niveles de CO_2 se encuentran cercanos o superan el límite establecido de 5000 ppm. Esto indica que, durante las actividades en el botadero municipal, especialmente en los momentos de cobertura con tierra y al finalizar las actividades, se generan concentraciones elevadas de gases, lo que podría representar un riesgo para la salud de los trabajadores y sugiere la necesidad de implementar medidas de ventilación, control o mitigación.

A continuación se muestra los niveles de exposición del CO2, según INDOOR AIR HIGIENE INSTITUTE muestra los siguientes niveles de acuerdo a la normativa(devadmin, 2021).

Tabla 9: Niveles de riesgo CO2.

Rango (ppm)	**Color / Nivel**	**Clasificación**
<1000 ppm	**Muy bueno**	Aire natural, sin alteración por fuentes locales. Representa condiciones óptimas.
1000 a 5000 ppm	**Bueno**	Leve influencia humana o biológica; ventilación natural adecuada.
5000 a 40000 ppm	**Malo**	Alta emisión de CO_2; riesgo ambiental moderado; evitar permanencia prolongada.

>40000 ppm	**Muy Malo**	Exposición riesgosa; puede causar malestar o hipoxia. Se recomienda evacuar o aumentar la dispersión de gases.

Fuente: INDOOR AIR HIGIENE INSTITUTE.

Tabla 10 Resultados de monitoreo en el botadero 1.

Punto de monitoreo	**semana**	**Prom. Concentración de CO_2**	**Según normativa**	**Nivel de riesgo**
1	Inicio de actividad	5100 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Aplicación de Cal	4950 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5200 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5300 ppm	5000 ppm	**Malo**
2	Inicio de actividad	5050 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Aplicación de Cal	4800 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5150 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5250 ppm	5000 ppm	**Malo**

3	Inicio de actividad	5200 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Aplicación de Cal	4900 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5250 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5300 ppm	5000 ppm	**Malo**
4	Inicio de actividad	5300 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Aplicación de Cal	5000 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Cobertura con tierra	5400 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5470 ppm	5000 ppm	**Malo**

6.5.2. Botadero2:

En el botadero 2, las mediciones se realizaron en el botadero municipal durante el desarrollo normal de las actividades operativas lo que permitió obtener datos representativos de las condiciones reales de funcionamiento del sitio, ya que no se interrumpieron ni modificaron las rutinas habituales de disposición y manejo de residuos durante el proceso de monitoreo.

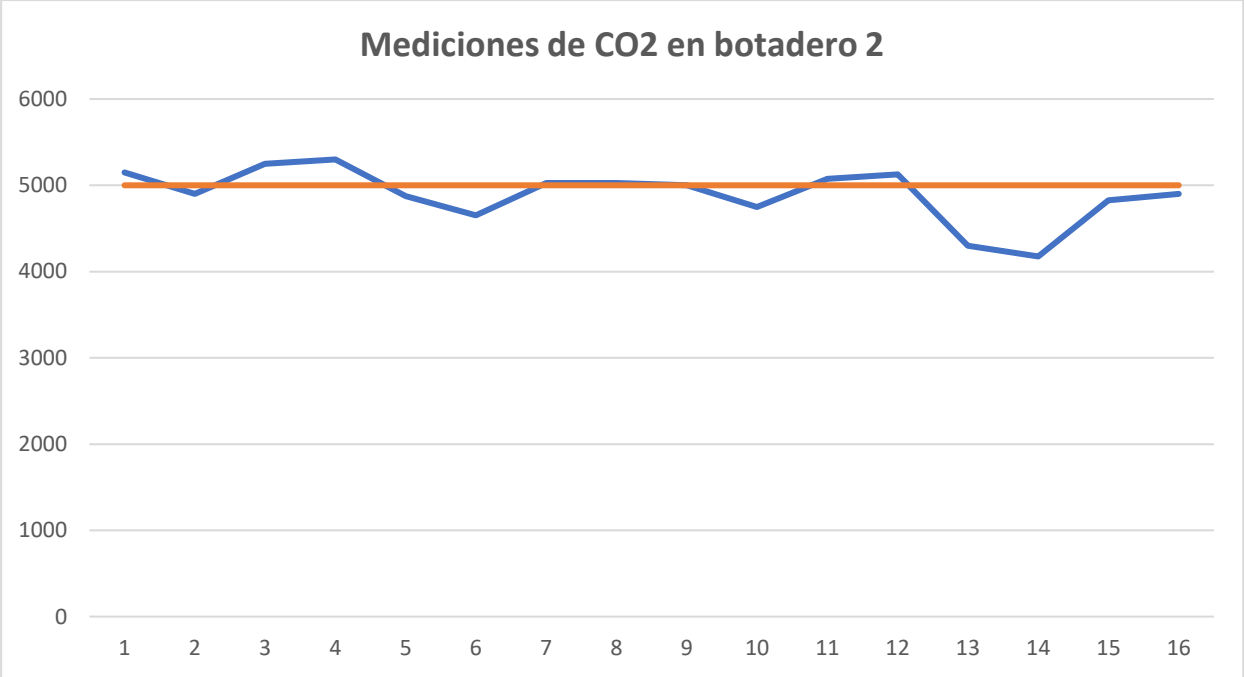
A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en el Botadero 2:

Tabla 11 Monitoreo en el botadero de 2

N° Semana	Descripción del punto	Min. Concentración de CO_2	Max. Concentración de CO_2	Prom. Concentración de CO_2	Según normativa	Humedad	Temperatura	Fecha	Observaciones
1	Inicio de actividad	4950	5350	5150	5000 ppm	23%	16°C	04/03/2025	
	Aplicación de Cal	4750	5050	4900	5000 ppm	23%	16°C	04/03/2025	
	Cobertura con tierra	5050	5450	5250	5000 ppm	23%	16°C	04/03/2025	
	Fin de actividades	5100	5550	5300	5000 ppm	23%	16°C	04/03/2025	
2	Inicio de actividad	5000	5400	4875	5000 ppm	20%	18°C	11/03/2025	
	Aplicación de Cal	4800	5100	4650	5000 ppm	20%	18°C	11/03/2025	
	Cobertura con tierra	5100	5500	5025	5000 ppm	20%	18°C	11/03/2025	
	Fin de actividades	5150	5600	5025	5000 ppm	20%	18°C	11/03/2025	

3	Inicio de actividad	5050	5450	5000	5000 ppm	20%	18°C	18/03/2025	
	Aplicación de Cal	4850	5150	4750	5000 ppm	20%	18°C	18/03/2025	
	Cobertura con tierra	5150	5550	5075	5000 ppm	20%	18°C	18/03/2025	
	Fin de actividades	5200	5650	5125	5000 ppm	20%	18°C	18/03/2025	
4	Inicio de actividad	4050	4550	4300	5000 ppm	22%	15.6°	25/03/2025	
	Aplicación de Cal	3950	4400	4175	5000 ppm	22%	15.6°	25/03/2025	
	Cobertura con tierra	4600	5050	4825	5000 ppm	22%	15.6°	25/03/2025	
	Fin de actividades	4700	5100	4900	5000 ppm	22%	15.6°	25/03/2025	

Gráfico 4 Monitoreo de CO2 en el botadero 2.



Interpretación: En el gráfico anterior se aprecia que, en la mayoría de las mediciones, los niveles de CO_2 se encuentran cercanos o superan el límite establecido de 5000 ppm. Esto indica que, durante las actividades en el botadero municipal, especialmente en los momentos de cobertura con tierra y al finalizar las actividades, se generan concentraciones elevadas de gases, lo que podría representar un riesgo para la salud de los trabajadores y sugiere la necesidad de implementar medidas de ventilación, control o mitigación.

Tabla 12 Resultados del monitoreo en el botadero 2.

Punto de monitoreo	**semana**	**Prom. Concentración de CO_2**	**Según normativa**	**Nivel de riesgo**
1	Inicio de actividad	5150 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Aplicación de Cal	4900 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5250 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5300 ppm	5000 ppm	**Malo**

2	Inicio de actividad	4875 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Aplicación de Cal	4650 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5025 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5025 ppm	5000 ppm	**Malo**
3	Inicio de actividad	5000 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Aplicación de Cal	4750 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5075 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5125 ppm	5000 ppm	**Malo**
4	Inicio de actividad	4300 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Aplicación de Cal	4175 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	4825 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Fin de actividades	4900 ppm	5000 ppm	**Bueno**

6.5.3. Botadero 3:

En el botadero 3, las mediciones se realizaron en el botadero municipal durante el desarrollo normal de las actividades operativas lo que permitió obtener datos representativos de las condiciones reales de funcionamiento del sitio, ya que no se interrumpieron ni modificaron las rutinas habituales de disposición y manejo de residuos durante el proceso de monitoreo.

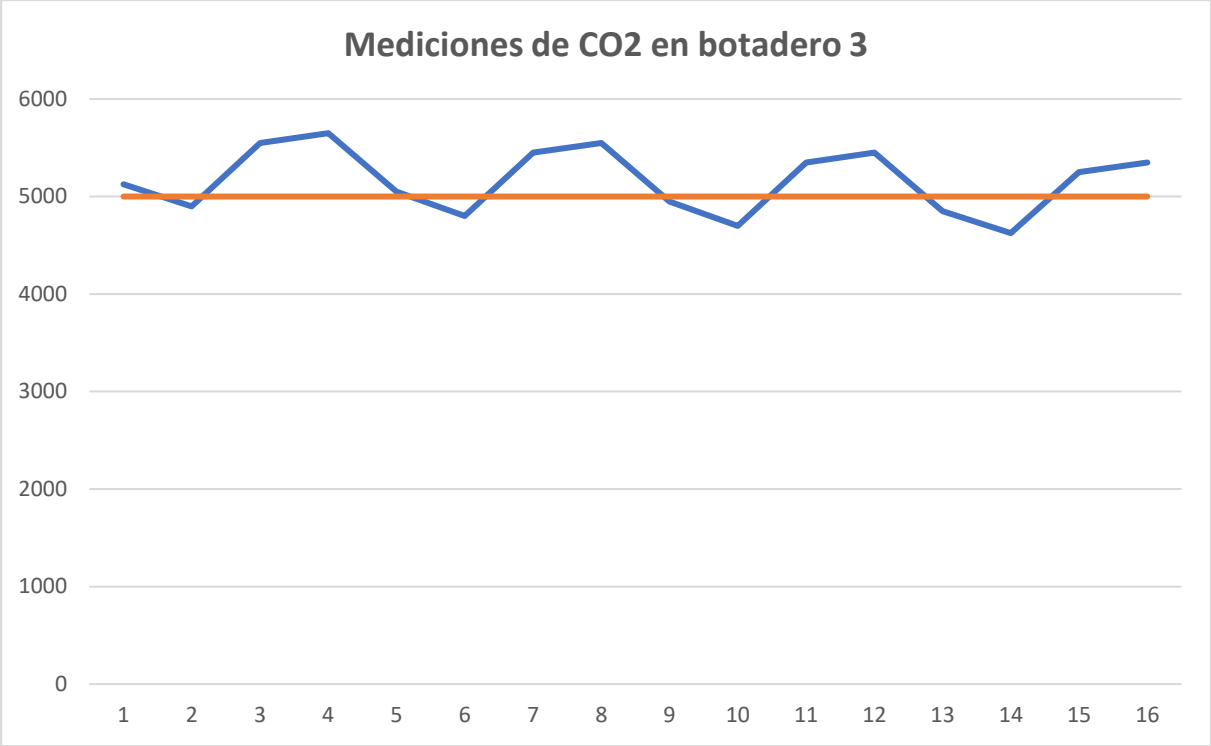
A continuación, se muestran los resultados de los monitoreos en el Botadero 3:

Tabla 13 Monitoreo en el botadero 3.

N° Semana	Descripción del punto	Min. Concentración de CO_2	Max. Concentración de CO_2	Prom. Concentración de CO_2	Según normativa	Humedad	Temperatura	Fecha	Observaciones
1	Inicio de actividad	4850	5400	5125	5000 ppm	23%	16°C	05/03/2025	
	Aplicación de Cal	4700	5100	4900	5000 ppm	23%	16°C	05/03/2025	
	Cobertura con tierra	5300	5800	5550	5000 ppm	23%	16°C	05/03/2025	
	Fin de actividades	5400	5900	5650	5000 ppm	23%	16°C	05/03/2025	
2	Inicio de actividad	4800	5300	5050	5000 ppm	20%	18°C	12/03/2025	
	Aplicación de Cal	4600	5000	4800	5000 ppm	20%	18°C	12/03/2025	
	Cobertura con tierra	5200	5700	5450	5000 ppm	20%	18°C	12/03/2025	
	Fin de actividades	5300	5800	5550	5000 ppm	20%	18°C	12/03/2025	

3	Inicio de actividad	4700	5200	4950	5000 ppm	20%	18°C	19/03/2025	
	Aplicación de Cal	4500	4900	4700	5000 ppm	20%	18°C	19/03/2025	
	Cobertura con tierra	5100	5600	5350	5000 ppm	20%	18°C	19/03/2025	
	Fin de actividades	5200	5700	5450	5000 ppm	20%	18°C	19/03/2025	
4	Inicio de actividad	4600	5100	4850	5000 ppm	22%	15.6°	26/03/2025	
	Aplicación de Cal	4400	4850	4625	5000 ppm	22%	15.6°	26/03/2025	
	Cobertura con tierra	5000	5500	5250	5000 ppm	22%	15.6°	26/03/2025	
	Fin de actividades	5100	5600	5350	5000 ppm	22%	15.6°	26/03/2025	

Gráfico 5 Monitoreo de CO2 en botadero 3.



Interpretación: En el gráfico anterior se aprecia que, en la mayoría de las mediciones, los niveles de CO_2 se encuentran cercanos o superan el límite establecido de 5000 ppm. Esto indica que, durante las actividades en el botadero municipal, especialmente en los momentos de cobertura con tierra y al finalizar las actividades, se generan concentraciones elevadas de gases, lo que podría representar un riesgo para la salud de los trabajadores y sugiere la necesidad de implementar medidas de ventilación, control o mitigación.

Tabla 14 Resultados de monitoreo en el botadero 3.

Punto de monitoreo	**semana**	**Prom. Concentración de CO_2**	**Según normativa**	**Nivel de riesgo**
1	Inicio de actividad	5125 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Aplicación de Cal	4900 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5550 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5650 ppm	5000 ppm	**Malo**

2	Inicio de actividad	5050 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Aplicación de Cal	4800 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5450 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5550 ppm	5000 ppm	**Malo**
3	Inicio de actividad	4950 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Aplicación de Cal	4700 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5350 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5450 ppm	5000 ppm	**Malo**
4	Inicio de actividad	4850 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Aplicación de Cal	4625 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5250 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5350 ppm	5000 ppm	**Malo**

6.5.4. Botadero 4:

En el botadero 4, las mediciones se realizaron en el botadero municipal durante el desarrollo normal de las actividades operativas lo que permitió obtener datos representativos de las condiciones reales de funcionamiento del sitio, ya que no se interrumpieron ni modificaron las rutinas habituales de disposición y manejo de residuos durante el proceso de monitoreo.

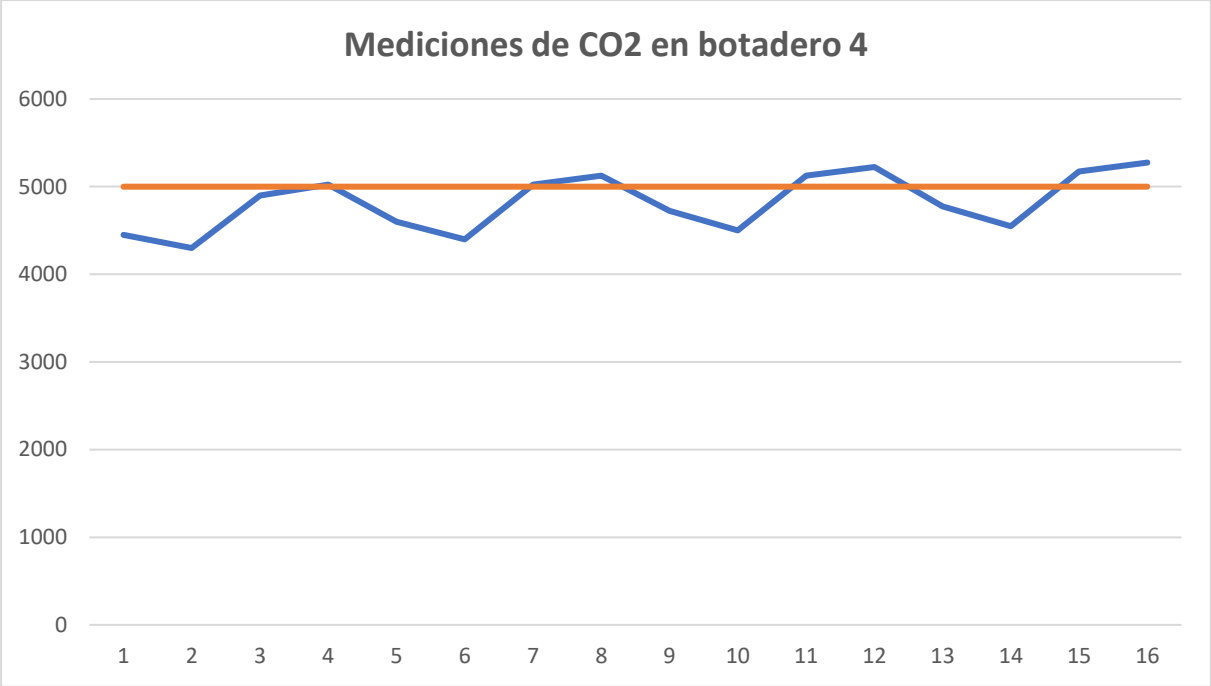
A continuación, se muestran los resultados del monitoreo en el Botadero 4:

Tabla 15 Monitoreo en el botadero 4.

N° Semana	Descripción del punto	Min. Concentración de CO_2	Max. Concentración de CO_2	Prom. Concentración de CO_2	Según normativa	Humedad	Temperatura	Fecha	Observaciones
1	Inicio de actividad	4250	4650	4450	5000 ppm	23%	16°C	06/03/2025	
	Aplicación de Cal	4100	4500	4300	5000 ppm	23%	16°C	06/03/2025	
	Cobertura con tierra	4700	5100	4900	5000 ppm	23%	16°C	06/03/2025	
	Fin de actividades	4800	5250	5025	5000 ppm	23%	16°C	06/03/2025	
2	Inicio de actividad	4400	4800	4600	5000 ppm	20%	18°C	13/03/2025	
	Aplicación de Cal	4200	4600	4400	5000 ppm	20%	18°C	13/03/2025	
	Cobertura con tierra	4800	5250	5025	5000 ppm	20%	18°C	13/03/2025	
	Fin de actividades	4900	5350	5125	5000 ppm	20%	18°C	13/03/2025	
	Inicio de actividad	4500	4950	4725	5000 ppm	20%	18°C	20/03/2025	

3	Aplicación de Cal	4300	4700	4500	5000 ppm	20%	18°C	20/03/2025	
	Cobertura con tierra	4900	5350	5125	5000 ppm	20%	18°C	20/03/2025	
	Fin de actividades	5000	5450	5225	5000 ppm	20%	18°C	20/03/2025	
4	Inicio de actividad	4550	5000	4775	5000 ppm	22%	15.6°	27/03/2025	
	Aplicación de Cal	4350	4750	4550	5000 ppm	22%	15.6°	27/03/2025	
	Cobertura con tierra	4950	5400	5175	5000 ppm	22%	15.6°	27/03/2025	
	Fin de actividades	5050	5500	5275	5000 ppm	22%	15.6°	27/03/2025	

Gráfico 6 Monitoreo de CO2 en botadero 4



Interpretación: En el gráfico anterior se aprecia que, en la mayoría de las mediciones, los niveles de CO_2 se encuentran cercanos o superan el límite establecido de 5000 ppm. Esto indica que, durante las actividades en el botadero municipal, especialmente en los momentos de cobertura con tierra y al finalizar las actividades, se generan concentraciones elevadas de gases, lo que podría representar un riesgo para la salud de los trabajadores y sugiere la necesidad de implementar medidas de ventilación, control o mitigación.

Tabla 16 Resultados monitoreo en el botadero de 4.

Punto de monitoreo	**semana**	**Prom. Concentración de CO_2**	**Según normativa**	**Nivel de riesgo**
1	Inicio de actividad	4450 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Aplicación de Cal	4300 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	4900 ppm	5000 ppm	**Bueno**

	Fin de actividades	5025 ppm	5000 ppm	**Malo**
2	Inicio de actividad	4600 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Aplicación de Cal	4400 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5025 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5125 ppm	5000 ppm	**Malo**
3	Inicio de actividad	4725 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Aplicación de Cal	4500 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5125 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5225 ppm	5000 ppm	**Malo**
4	Inicio de actividad	4775 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Aplicación de Cal	4550 ppm	5000 ppm	**Bueno**
	Cobertura con tierra	5175 ppm	5000 ppm	**Malo**
	Fin de actividades	5275 ppm	5000 ppm	**Malo**

6.6. Impacto de olores en los trabajadores

Se realizaron encuestas estructuradas que ayudaron a poder determinar el impacto que tienen los olores en los trabajadores a continuación se muestra el cuestionario:

OLORES EN BOTADEROS OLORES EN BOTADEROS

1) ¿Percibe con frecuencia la presencia de olores fuertes o desagradables durante su jornada laboral en el botadero municipal?

2) ¿En qué zonas del botadero los olores son más intensos o persistentes?

3) ¿En qué momento del día percibe mayor concentración de olores (mañana, tarde, noche)?

4) ¿Ha presentado molestias físicas (dolor de cabeza, mareos, náuseas o irritación nasal) asociadas a la exposición a los olores en su área de trabajo?

5) ¿Ha notado algún tipo de fatiga o dificultad para respirar al estar expuesto prolongadamente a los olores del botadero?

6) ¿Cree que la exposición continua a estos olores podría representar un riesgo para su salud?

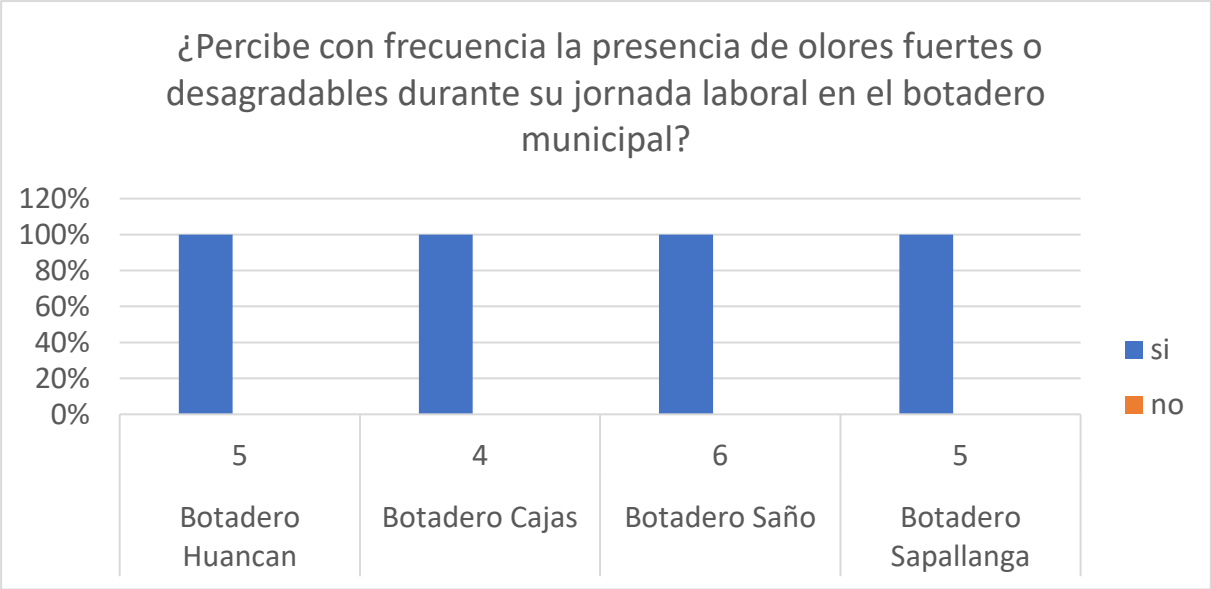
7) ¿Cuenta con equipos de protección personal (EPP) adecuados para reducir la exposición a olores o gases (mascarillas, respiradores, filtros, etc.)?

8) ¿Existen medidas de control o ventilación en las zonas donde se concentran los olores?

9) ¿La empresa realiza monitoreo ambiental o medición de gases en el área de trabajo?

6.6.1. Resultados de la encuesta

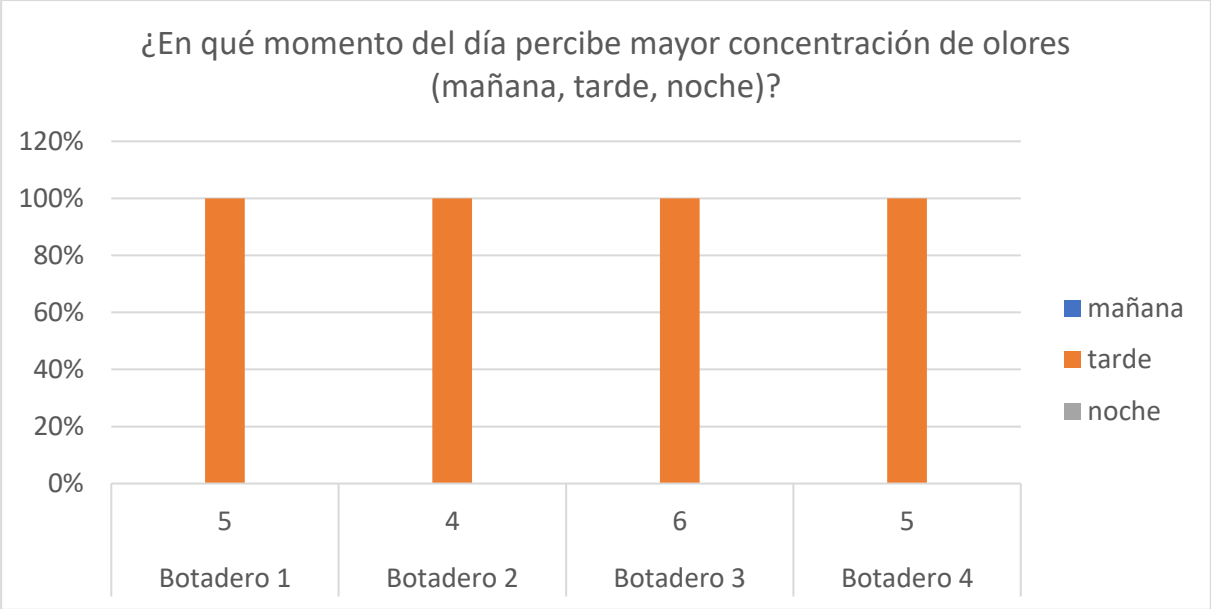
Gráfico 7: Pregunta 1



En el grafico se muestra los resultados de la pregunta uno donde La mayoría de los trabajadores manifestó percibir con frecuencia olores intensos y desagradables durante su jornada laboral, principalmente derivados de la descomposición de residuos orgánicos. Esta situación evidencia una exposición constante a emisiones gaseosas y deficiencias en la ventilación natural del área.

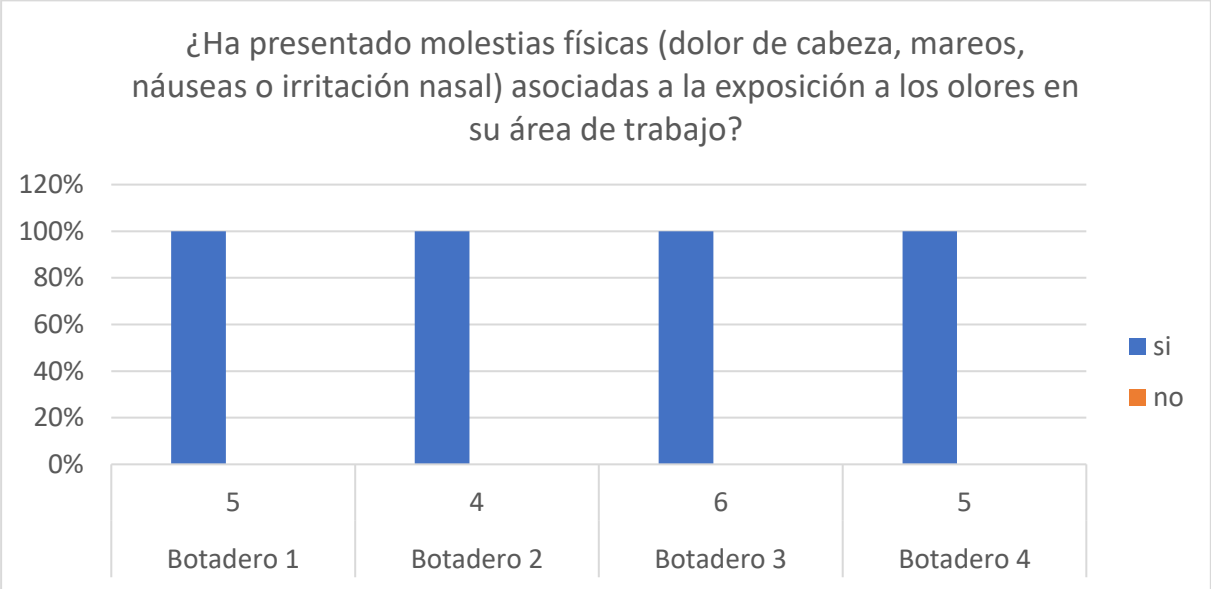
Los encuestados identificaron zonas con mayor intensidad de olores, especialmente en los sectores de descarga y cobertura de residuos. Estas áreas presentan mayor actividad biológica y acumulación de gases, lo que sugiere la necesidad de mejorar las medidas de ventilación y dispersión de gases.

Gráfico 8: Pregunta 3



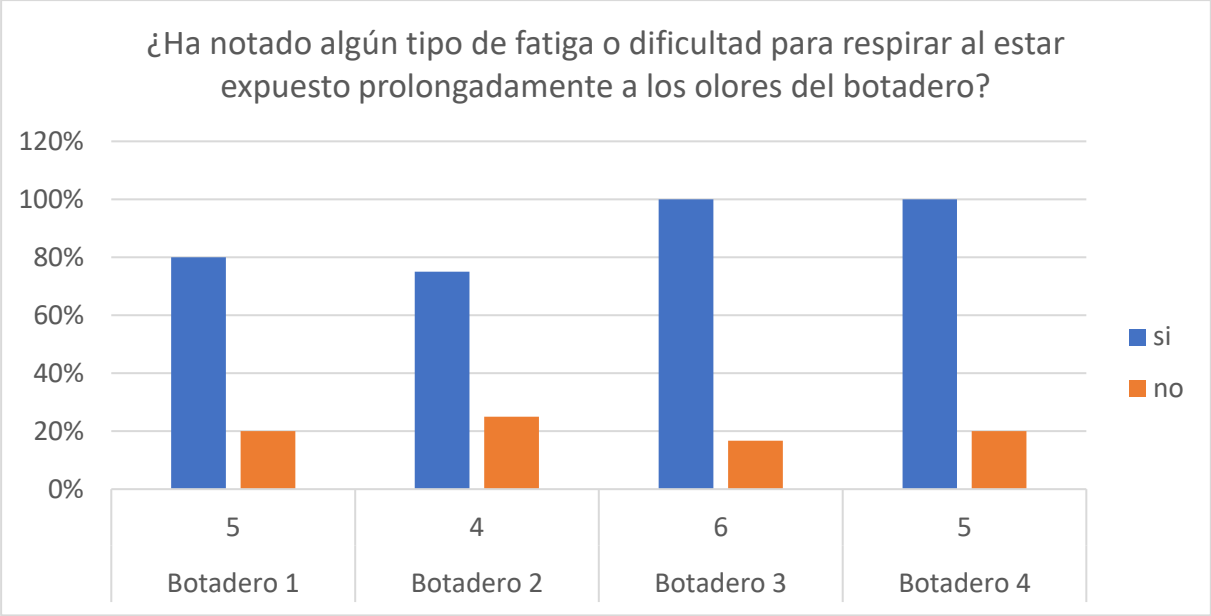
Se observó que los olores son más perceptibles durante las horas de la tarde, coincidiendo con el incremento de la temperatura ambiental y la mayor actividad de descomposición. Esto favorece la liberación de gases y la propagación de olores en el entorno laboral.

Gráfico 9: Pregunta 4



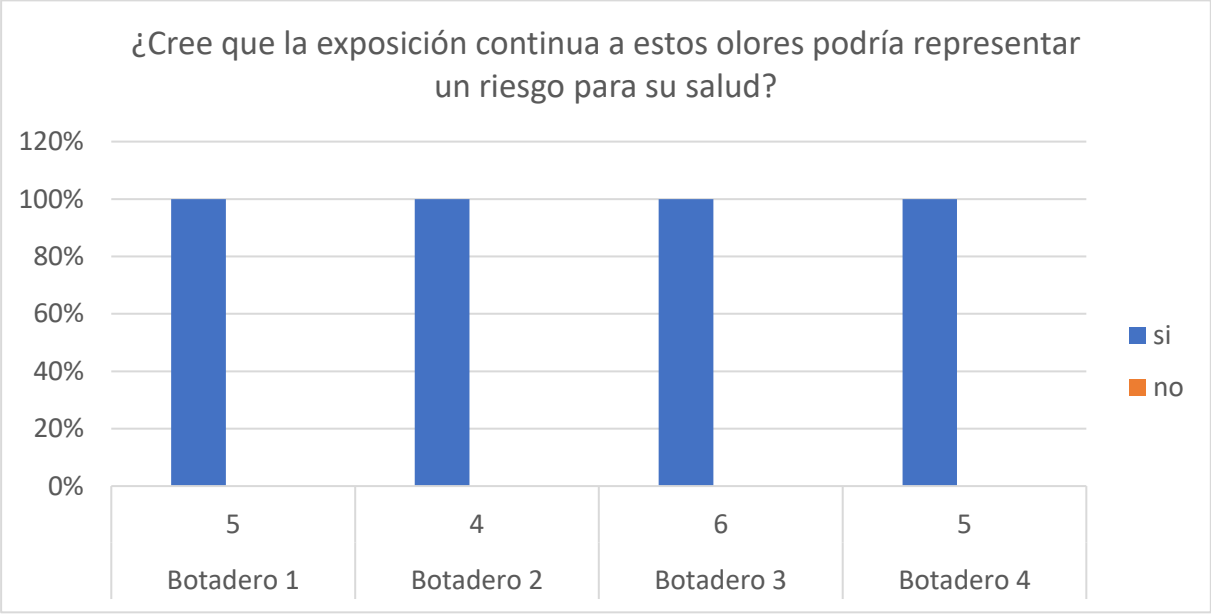
Un porcentaje significativo de trabajadores reportó síntomas como dolor de cabeza, irritación nasal y náuseas, lo que indica posibles efectos fisiológicos asociados a la exposición a gases y compuestos volátiles. Este hallazgo refuerza la necesidad de evaluar la calidad del aire y los niveles de concentración de CO_2 y otros gases.

Gráfico 10: ***Pregunta 5.***



Los trabajadores señalaron sentir fatiga y ligera dificultad respiratoria luego de permanecer prolongadamente en zonas con olores intensos. Esto sugiere una posible reducción de la calidad del aire y acumulación de gases que pueden afectar el bienestar respiratorio.

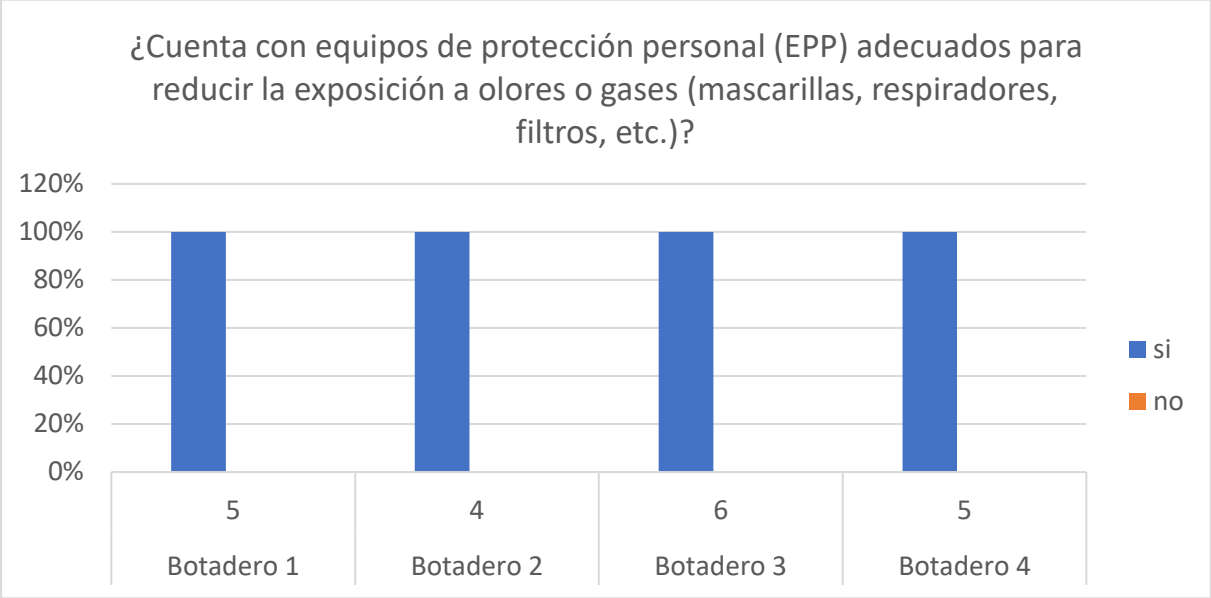
Gráfico 11: Pregunta 6.



La mayoría considera que la exposición continua a los olores representa un riesgo para la salud, ya que los gases emitidos por los residuos en descomposición pueden contener

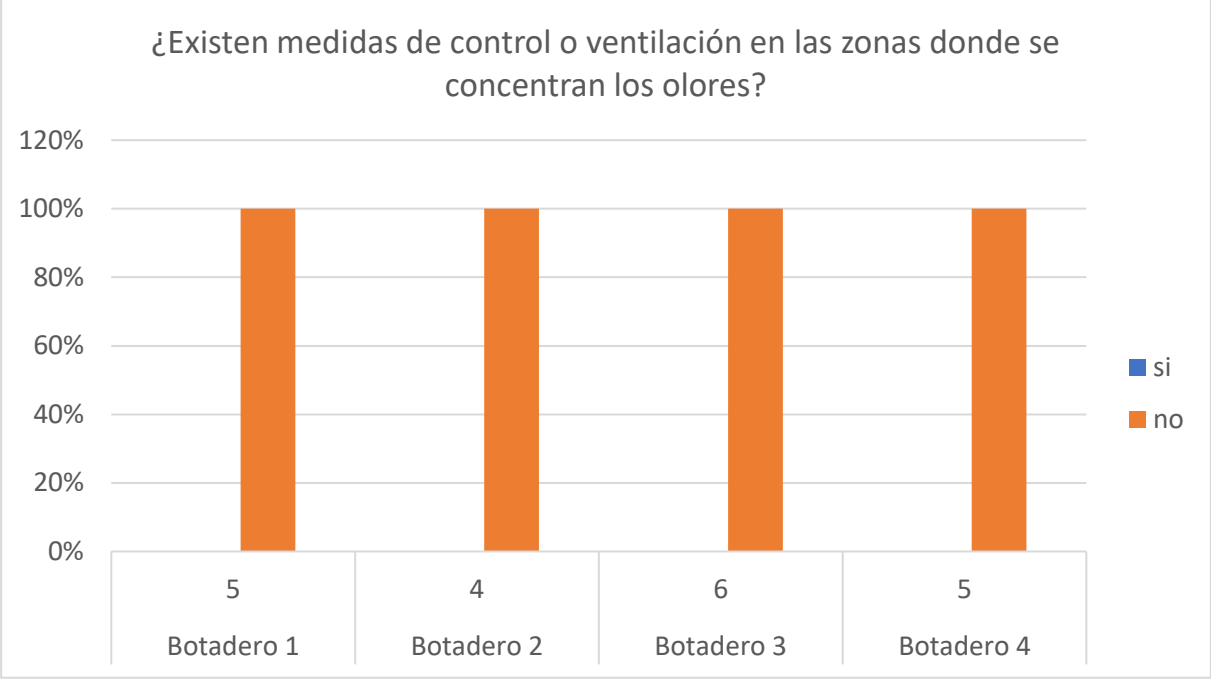
compuestos irritantes o tóxicos, como dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y amoníaco (NH_3).

Gráfico 12: Pregunta 7.



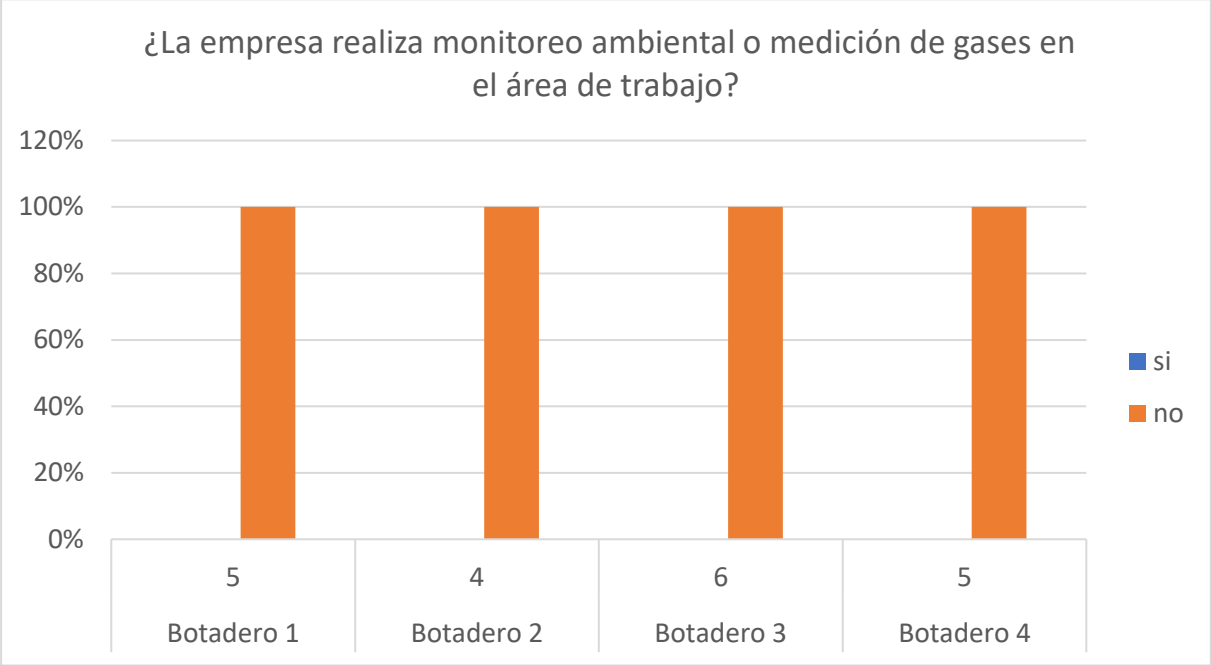
La mayoría de los trabajadores indicó no contar con EPP adecuados. Se evidencian carencias en la dotación de mascarillas o respiradores con filtros específicos para gases, lo que incrementa la vulnerabilidad ante la exposición continua.

Gráfico 13: Pregunta 8.



Los trabajadores afirmaron que no existen medidas de control o ventilación efectivas. La falta de sistemas de extracción o ventilación mecánica favorece la acumulación de gases en determinadas áreas, generando ambientes de trabajo con poca renovación de aire.

Gráfico 14: Pregunta 9.



No se realizan monitoreos ambientales periódicos ni mediciones de gases. Esta ausencia limita la capacidad de identificar niveles de riesgo y establecer acciones preventivas frente a la exposición a CO_2 y otros gases derivados de la descomposición orgánica.

6.7. Factores de riesgo

La población con la que se trabajó está conformada por los trabajadores del área de botaderos municipales, quienes desempeñan labores directas en la disposición final de los residuos generados por la población. En estos botaderos se realizaron mediciones de la concentración de CO2 en distintos puntos y momentos del proceso operativo, con el fin de evaluar la exposición de los trabajadores a el CO2.

Como se observa en las evaluaciones, los niveles de CO_2 en la mayoría de las mediciones se encuentran cercanos o incluso superan los 5000 ppm, valores limite establecidos por normativas nacionales como el decreto N°015-2005-SA y normativa internacional como la NIOSH y la OSHA que buscan exposiciones laborales seguras. Durante las actividades de cobertura con tierra y al finalizar la jornada, se evidencian concentraciones más elevadas de

gases, lo cual representa un potencial riesgo para la salud de los trabajadores. Esta situación refleja la importancia de considerar factores ambientales como la ventilación natural, la acumulación de gases y las condiciones meteorológicas que influyen directamente en la calidad del aire del entorno laboral. Por ello, se hace necesario implementar medidas de control y mitigación, tales como la mejora de la ventilación en las zonas de trabajo, la rotación del personal expuesto y el monitoreo continuo de los niveles de gases, a fin de garantizar la seguridad de los trabajadores y minimizar los riesgos de enfermedades ocupacionales.

6.8. Controles de riesgo

Entre las medidas de control recomendadas, se propuso implementar, en la medida de lo posible, sistemas de ventilación mecánica o extractores de apoyo incluso en ambientes abiertos, con el fin de favorecer la dispersión de los gases generados por la descomposición de residuos, especialmente en zonas donde la topografía o las condiciones climáticas (como la falta de viento o el aire frío) dificultan la renovación natural del aire. Asimismo, se recomendó evitar el uso de ambientadores o aerosoles perfumados en las áreas administrativas, de control o descanso ubicadas dentro del botadero municipal. Según la Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) de España, este tipo de productos puede aumentar las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) y liberar compuestos orgánicos volátiles (COV), afectando la calidad del aire y generando condiciones similares a las de ambientes con humo de tabaco, lo que representa un riesgo para la salud respiratoria del personal expuesto.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones fundamentales

- Concentración elevada de CO_2: Los resultados del muestreo evidenciaron que, en la mayoría de las mediciones, las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) se aproximan o superan el límite máximo permisible de 5000 ppm, establecido por la normativa ocupacional internacional (NIOSH y OSHA). Esto indica la presencia de una acumulación significativa de gases en el ambiente laboral, especialmente durante las fases de cobertura con tierra y cierre de operaciones diarias.

- Condiciones de ventilación insuficientes: Se identificó que las condiciones naturales de ventilación en el botadero municipal no son suficientes para dispersar los gases generados por la descomposición de residuos. Factores como la topografía del terreno, la escasa circulación de aire y las condiciones meteorológicas influyen directamente en la concentración de CO_2, favoreciendo su acumulación en determinadas zonas.

- Riesgo para la salud ocupacional: La exposición prolongada a concentraciones elevadas de CO_2 puede generar efectos adversos en la salud de los trabajadores, tales como cefaleas, fatiga, somnolencia, alteraciones respiratorias y disminución del rendimiento laboral. Por tanto, los valores obtenidos reflejan una situación de riesgo físico ocupacional, que requiere atención inmediata para prevenir incidentes y enfermedades laborales.

- Representatividad del muestreo: El proceso de monitoreo se efectuó durante el desarrollo normal de las actividades, sin alterar las condiciones operativas. Esto permitió obtener datos representativos de la realidad ambiental del área evaluada, garantizando la fiabilidad de los resultados y su aplicabilidad en la gestión de riesgos ocupacionales.

- Importancia del monitoreo continuo: Los resultados demuestran la necesidad de establecer un programa de monitoreo periódico de gases en el botadero municipal, no solo para CO_2 sino también para otros compuestos gaseosos asociados (CH_4, H_2S, CO), con el fin de detectar variaciones en la composición del aire y aplicar medidas preventivas oportunas.

7.2. Recomendaciones técnicas

- Implementación de sistemas de ventilación mecánica: Instalar extractores o sistemas de ventilación forzada en zonas con baja circulación de aire, incluso en ambientes abiertos, a fin de facilitar la dispersión del CO_2 y otros gases generados por la descomposición de materia orgánica.

- Monitoreo ambiental continuo: Establecer un plan de vigilancia ambiental que contemple mediciones periódicas de CO_2 y otros gases de interés, especialmente durante las etapas críticas del proceso operativo (cobertura de residuos y finalización de la jornada).

- Rotación del personal y pausas controladas: Implementar rotaciones de personal en las áreas con mayor concentración de gases y permitir pausas de recuperación en zonas ventiladas, reduciendo el tiempo de exposición directa a ambientes con deficiente calidad del aire.

- Capacitación del personal operativo: Brindar capacitaciones periódicas en seguridad y salud ocupacional relacionadas con los riesgos por exposición a gases, el uso correcto de equipos de monitoreo portátil y la interpretación de lecturas ambientales.

- Uso racional de productos en áreas cerradas: Evitar el uso de ambientadores, aerosoles o productos perfumados dentro de las zonas administrativas, de control o descanso del botadero. Según la OCU (España), estos productos pueden incrementar la concentración de CO_2 y liberar compuestos orgánicos volátiles, afectando la calidad del aire interior.

- Evaluación complementaria de gases peligrosos: Realizar estudios complementarios para determinar la presencia de otros gases asociados a la descomposición de residuos, como metano (CH_4), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y monóxido de carbono (CO), que podrían representar riesgos adicionales para la seguridad de los trabajadores.

- Diseño de medidas de ingeniería y control ambiental: Considerar la reconfiguración de las zonas de descarga y cobertura de residuos, optimizando la circulación del aire mediante canales de ventilación natural o chimeneas de desgasificación, según las condiciones del terreno.

CAPÍTULO VIII

REFLEXIONES FINALES

8.1. Importancia del control de gases en botaderos

El control del dióxido de carbono (CO_2) en los botaderos municipales es de suma importancia debido a que este gas es uno de los principales productos generados por la descomposición biológica de la materia orgánica presente en los residuos sólidos. Aunque el CO_2 no es tóxico en concentraciones bajas, su acumulación en altas concentraciones puede desplazar el oxígeno del aire, provocando atmósferas deficientes en oxígeno que representan un riesgo significativo para la salud y la seguridad de los trabajadores. En estos entornos, la concentración de CO_2 puede variar en función de factores como la intensidad de la actividad biológica, la temperatura ambiental, el grado de compactación de los residuos y la ventilación natural del área. Cuando los valores superan el límite máximo permisible de 5000 ppm, se incrementa la probabilidad de malestares fisiológicos como cefaleas, mareos, somnolencia y fatiga, además de una disminución en la capacidad de concentración y rendimiento laboral. El monitoreo constante del CO_2 permite identificar zonas de acumulación y deficiencia de ventilación, facilitando la implementación de medidas preventivas tales como sistemas de ventilación forzada, rotación de personal y control de emisiones en los focos de descomposición activa. Asimismo, el control de este gas contribuye a la evaluación de la estabilidad del relleno sanitario o botadero, ya que niveles elevados pueden ser indicativos de procesos anaerobios intensos o de una cobertura deficiente de los residuos. Desde un enfoque ambiental, la gestión adecuada del CO_2 en botaderos también reviste importancia por su impacto como gas de efecto invernadero (GEI). El control de su emisión y concentración no solo protege la salud de los trabajadores, sino que además aporta al cumplimiento de compromisos ambientales y a la mitigación del cambio climático. Por lo tanto, el control del CO_2 en los botaderos municipales debe considerarse una acción prioritaria dentro de los programas de monitoreo ambiental y de seguridad ocupacional, garantizando condiciones de trabajo seguras, aire respirable y una gestión responsable de los residuos sólidos urbanos.

8.2. Importancia del control de olores en botaderos

El control de olores en los botaderos es un aspecto crítico tanto desde la perspectiva ambiental como social y sanitaria, ya que los olores desagradables generados por la

descomposición de residuos pueden afectar la calidad de vida de los trabajadores y de las poblaciones aledañas. Estos olores suelen estar asociados a la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV), sulfuro de hidrógeno (H_2S), amoníaco (NH_3) y otros productos gaseosos resultantes de procesos biológicos y químicos. La exposición continua a olores fuertes o persistentes puede provocar molestias fisiológicas como cefaleas, náuseas o irritación de las vías respiratorias, además de generar rechazo social y conflictos con las comunidades cercanas al botadero. Por ello, el control de olores se considera una medida esencial dentro de la gestión integral de residuos sólidos, contribuyendo al bienestar del personal operativo y al mantenimiento de una buena relación socioambiental. Entre las estrategias más efectivas para el control de olores se encuentran la cobertura diaria de los residuos con tierra o material inerte, la aireación controlada de los desechos, la instalación de sistemas de biofiltros o cortinas vegetales, y la optimización de la ventilación natural o forzada. Estas medidas permiten minimizar la emisión de gases malolientes, mejorar la calidad del aire en el entorno del botadero y cumplir con los estándares ambientales establecidos por las autoridades competentes. En síntesis, el control de olores no solo tiene un valor estético o de confort, sino que constituye una acción técnica orientada a proteger la salud ocupacional, preservar el entorno ambiental y promover una gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos.

BIBLIOGRAFIA

ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2: Landfill Gas Basics. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://www.atsdr.cdc.gov/hac/landfill/html/ch2.html?utm_source

ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 3: Landfill Gas Safety and Health Issues. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://www.atsdr.cdc.gov/hac/landfill/html/ch3.html?utm_source

CARBON DIOXIDE | Occupational Safety and Health Administration. (s. f.). Recuperado 13 de octubre de 2025, de https://www.osha.gov/chemicaldata/183?utm_source

CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards—Carbon dioxide. (s. f.-a). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0103.html?utm_source

CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards—Carbon dioxide. (s. f.-b). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0103.html?utm_source

devadmin. (2021, abril 6). CO2 Explained. *Indoor Air Hygiene Institute*. https://www.indoorairhygiene.org/co2-explained/

Greenhouse Gas Emissions. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://studentenergy.org/other/greenhouse-gas-emissions/?gad_source=1&gad_campaignid=19610957212&gbraid=0AAAADmfXHQcPsRD0Kgm5SU_Tg0iafpK0&gclid=Cj0KCQjw9JLHBhC-ARIsAK4PhcqfysIYwzzjShyZ_7eMuPtdT1gFFpmNNpeRZ9zSF0kx76zpV4R-ZkwaAi6SEALw_wcB

Guia tecnicapara clausura de botaderos .PDF. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/417387/-429230710554760046120191106-32001-jw7e68.pdf?v=1573077217

Important Things to Know about Landfill Gas. (s. f.).

Informe sobre Residuos Slidos. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/467.pdf?utm_source

Jamrah, A., AL-Zghoul, T. M., Al-Qodah, Z., Jamrah, A., AL-Zghoul, T. M., & Al-Qodah, Z. (2024). An Extensive Analysis of Combined Processes for Landfill Leachate Treatment. *Water*, *16*(12). https://doi.org/10.3390/w16121640

Know the Risks – Work Safely with CO2 | Vaisala. (2025, marzo 14). https://www.vaisala.com/en/application-note/know-risks-work-safely-co2

Monteverde, B. G. (2017). *REGLAMENTO DEL DECRETO LEGISLATIVO N° 1278, LEY DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS TÍTULO I DISPOSICIONES GENERALES*.

Oonk, H. (s. f.). *LITERATURE REVIEW: METHANE FROM LANDFILLS*.

Overview of Greenhouse Gases | US EPA. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases

Ozbay, G., Jones, M., Gadde, M., Isah, S., & Attarwala, T. (s. f.). *Design and Operation of Effective Landfills with Minimal Effects on the Environment and Human Health*. https://doi.org/10.1155/2021/6921607

Peprah, P., Agyemang-Duah, W., Morgan, A. K., Onyina, E., & Asare, E. S. (2024). Differences in physical and mental health symptoms among residents living near municipal solid waste sites: A cross sectional study in the Ashanti Region, Ghana. *Journal of Health, Population and Nutrition*, *43*(1), 34. https://doi.org/10.1186/s41043-024-00527-1

PLAN NACIONAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. (s. f.). Recuperado 8 de octubre de 2025, de https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/IMPRIMIR-PLANRES-2016-2024-25-07-16.pdf?utm_source

Sepúlveda, J. A. M. (2016). Outlook of Municipal Solid Waste in Bogota (Colombia). *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, *9*(3), 477-483. https://doi.org/10.3844/ajeassp.2016.477.483

UNEP (Ed.). (2024). *Beyond an age of waste: Turning rubbish into a resource*. UNEP.

Septiembre 2026 - CID - Centro de Investigación y Desarrollo
Copyright © - CID - Centro de Investigación y Desarrollo
Copyright del texto © 2026 de Autores
Formato: PDF
Tamaño: A4 210 x 297 mm
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acceso: World Wide Web
biblioteca.ciencialatina.org
editorial@ciencialatina.org
Atención por WhatsApp al +52 1 55 9435 7573