

EVALUACIÓN DEL ALCANCE DEL MAL OLOR EN EL ENTORNO DE LOS RELLENOS SANITARIOS: CASO DE ESTUDIO EL VERDE, LEÓN, GUANAJUATO (MÉXICO)

Assessment of the extent of odors in the landfill environment El Verde, León, Guanajuato (Mexico)

Francisco José CANTARERO-PRADOS^{1*}, Hugo CASTRO-NOBLEJAS² y Juan Pablo LÓPEZ-ORTIZ³

¹ Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, Blvd. Louis Pasteur 27, 29007 Málaga, España.

² Departamento de Geografía Humana, Universidad de Granada, Campus Universitario de Cartuja, 18071 Granada, España.

³ Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, Universidad Nacional Autónoma de México, Boulevard UNAM 2011, predio El Saucillo y El Potrero, 37684 León, Guanajuato, México.

*Autor para correspondencia: fjcantarero@uma.es

(Recibido: marzo de 2025; aceptado: octubre de 2025)

Palabras clave: contaminación olorosa, dispersión atmosférica, gestión integral de residuos sólidos urbanos, ciencia ciudadana.

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo principal evaluar el alcance del mal olor procedente del relleno sanitario El Verde (León, Guanajuato, México) en sus alrededores, así como estimar el potencial de molestia derivado de la exposición a dicho olor. Para ello, se emplea una metodología basada en la combinación de tres dimensiones básicas del olor: intensidad, duración y frecuencia, que se integran en dos índices. El primero, de “consistencia”, confronta la intensidad y la duración; el segundo, de “molestia”, pondera al anterior mediante la frecuencia. La principal fuente de información fue una encuesta directa a la población, cuyos datos se integraron en un sistema de información geográfica (SIG). Los resultados, representados cartográficamente, muestran que el mal olor se percibe incluso a una distancia aproximada de 7 km. Asimismo, se advierte una notable desigualdad en la distribución del indicador de molestia, con un mayor impacto en el área urbana de León, ubicada al este del relleno sanitario. Posteriormente, se analizan las posibles causas de este resultado, considerando tanto factores físicos como humanos. Los hallazgos resaltan la necesidad de coordinar acciones entre diferentes áreas administrativas para abordar de manera más efectiva el impacto del mal olor asociado a esta instalación.

Key words: odor pollution, atmospheric dispersion, integrated solid waste management, citizen science.

ABSTRACT

The main objective of this study is to assess the extent of odor nuisance originating from the El Verde landfill site (León, Guanajuato, Mexico) in the surrounding areas and to estimate the potential discomfort associated with exposure to this odor. To achieve this, a methodology based on the combination of three basic odor dimensions is employed: intensity, duration, and frequency, which are integrated into two indices. The first, the “consistency index”, compares intensity and duration; the second, the “annoyance index”, weights the former according to frequency. The primary source of information was a direct survey of the local population, whose data were integrated into a GIS. The results, represented cartographically, show that the odor is perceived at distances of up

to approximately 7 km. Likewise, a marked inequality is observed in the distribution of the annoyance indicator, with a greater impact on the urban area of León, located to the east of the landfill site. Subsequently, the possible causes explaining this result are analyzed, considering both physical and human factors. The findings highlight the need to coordinate actions across administrative areas to more effectively address the impact of the bad odor associated with this landfill.

INTRODUCCIÓN

El relleno sanitario (RS) “El Verde” es una instalación receptora de residuos sólidos urbanos y de manejo especial que presta servicio al municipio de León, Guanajuato (México). Los malos olores que emite generan un notable malestar vecinal (Méndez 2018). Sin embargo, el ayuntamiento no ha prestado especial atención a esta problemática. Prueba de ello es que el área circundante al RS no aparece como afectada en el atlas municipal de riesgos, a pesar de que este incluye una cartografía temática sobre malos olores (IMPLAN 2010). Este problema ambiental no es exclusivo de León, ya que también afecta a otras grandes urbes mexicanas (Flores 2022, Velazco 2022, Adn40Mx 2024, Camacho 2024).

Si bien la exposición a los olores resultantes de la actividad humana suele percibirse como una molestia, estos pueden actuar como factores de estrés ambiental con impactos negativos en la salud y el bienestar, incluso si no son tóxicos (Guadalupe-Fernández et al. 2021). De hecho, los olores generados por actividades como la ganadería, la industria, las depuradoras y los sitios de disposición final pueden considerarse una forma de contaminación ambiental (CNIC 2010).

Sin embargo, la contaminación por olores, a diferencia de la contaminación acústica —cuyo impacto en la salud humana, su medición y su regulación están bien establecidos—, no se percibe como un problema generalizado. Esto se debe, en parte, a que el sentido del olfato ocupa una posición jerárquica inferior en la percepción humana, como lo demuestra su limitada codificación lingüística (Majid et al. 2018).

Los olores desagradables han sido una constante en la experiencia sensorial humana, tanto en entornos rurales como urbanos (Reinarz 2014). Sin embargo, suelen recibir poca atención en la gestión ambiental de los espacios urbanos. Esto se debe a su naturaleza, a veces efímera, y a su invisibilidad. Esta característica los distingue de otras formas de contaminación ambiental, como los impactos visuales en el paisaje o la contaminación lumínica y sonora, que son más tangibles y perceptibles de manera continua o

generalizada. Estas circunstancias contribuyen a la limitada investigación académica sobre los olores ambientales y sus efectos (Piccardo et al. 2022).

Entre las áreas científico-técnicas que han abordado esta problemática destacan las ingenierías, debido a la necesidad de paliar los impactos negativos de la industria (Schiffman y Williams 2005). La variedad metodológica para su evaluación es muy amplia (Guo et al. 2001, TCEQ 2007, Cid 2014, Mannebeck 2017, Eckmann et al. 2018, Kitson et al. 2019, Zheng et al. 2020).

El olor suele ser una mezcla de sustancias cuya interacción puede generar sinergias o antagonismos, lo que dificulta su evaluación mediante métodos químicos convencionales (McGinley y McGinley 2000, DEPWA 2002, Mannebeck 2017). Además, cuando se encuentra en bajas concentraciones, puede no ser detectado por los instrumentos de medición, aunque siga siendo perceptible al olfato humano (MMA s.f., Toro 2014).

Un enfoque básico para su análisis puede consistir en considerar algunas de sus dimensiones que se emplean con frecuencia en estudios de percepción olfativa: frecuencia, intensidad, duración, ofensividad y localización (MfE 2002). Para dicha medición se pueden emplear diversos fundamentos metodológicos. En función del sensor se distinguen métodos “sensoriales”, que emplean el olfato humano, y “analíticos”, que miden la concentración de compuestos químicos específicos (Bull et al. 2014). Además, según el lugar donde se tomen las muestras, las técnicas se dividen en “inmisión” y “emisión”. Independientemente del método empleado, estas técnicas presentan un grado considerable de incertidumbre estadística (Iglesias 2008).

Las metodologías denominadas “estandarizadas” se basan en fundamentos técnicos como los anteriores (McGinley y McGinley 2000, MMA s.f.). Entre las más conocidas se encuentran: 1) la olfometría dinámica, que mide la concentración en emisión para luego modelizar los valores en inmisión y cuya aplicación se detalla en las normas UNE-EN 13725:2004 (AENOR 2004) y UNE-EN 13725:2022 (AENOR 2022); 2) las mediciones en campo de acuerdo con

las normas alemanas de la serie VDI 3940 (VDI 2006), en cuadrícula o en pluma, o con el Estándar Europeo CEN TC 264 (CEN 2008); 3) las encuestas de olor y cálculo de índice de molestia, según las normas de la serie VDI 3883, en cuya versión VDI 3883 Part 2 (VDI 2015), se prevé la consulta a vecinos voluntarios locales; 4) las metodologías basadas en las quejas y la frecuencia de denuncias (DEFRA 2010, EA 2011).

Algunas legislaciones nacionales han incorporado dichas metodologías para el control del olor. En Colombia, por ejemplo, se emplea la “Encuesta de evaluación de impactos de los olores ofensivos en la salud y la calidad de vida” (MSPS-OPS 2012). En Chile, recientemente se publicó una norma para el control del olor, aunque por ahora su aplicación se limita a planteles porcinos (MMA 2023). A nivel supranacional, la Unión Europea también cuenta con regulaciones sobre la contaminación por olores. Destacan las “Conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en el tratamiento de residuos” y el “JRC reference report on monitoring of emissions to air and water from IED installations” (Brinkmann et al. 2018), ambos derivados de la aplicación de la Directiva Europea de Emisiones Industriales (CE 2010).

En México no existe una legislación específica que aborde directamente la problemática de los malos olores. La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (SEDUE 1988) hace referencia a la calidad del aire y al control de emisiones contaminantes, pero no menciona explícitamente los olores desagradables. En el caso de las instalaciones destinadas a la disposición de residuos sólidos, la NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT 2003) establece que no deben existir construcciones en un radio de 500 m alrededor de los rellenos sanitarios. En 2021, se propuso una modificación a esta norma (SEMARNAT 2021) que exige que los rellenos sanitarios cuenten con un “programa permanente de control de impactos ambientales”, el cual incluye, entre otros aspectos, la gestión de olores. Sin embargo, no se contempla ningún monitoreo externo para evaluar si los malos olores se dispersan hacia áreas aledañas, posiblemente debido a la suposición de que la mayoría de estos sitios están alejados de zonas pobladas.

La emanación y dispersión de los olores de un RS es una posibilidad que está controlada por diferentes mecanismos físicos de transmisión como la temperatura ambiente, la capa de mezcla, la estabilidad atmosférica, la velocidad y dirección de viento, la humedad relativa y la radiación solar (BMU 2002,

2021, Díaz et al. 2014). Además, las interacciones de la atmósfera con la topografía (de Wekker et al. 2018) o la morfología urbana (Moonen et al. 2012) condicionan notablemente su transmisión a través de una variada tipología de interacciones (**Cuadro I**).

El presente trabajo aborda el entorno urbano y periurbano del RS El Verde, ubicado en el municipio de León de los Aldama, Guanajuato. Este caso representa un claro ejemplo de cómo una fuente de olor ofensivo puede influir en el paisaje sensorial y afectar la calidad de vida en las zonas aledañas. El objetivo principal de este estudio es evaluar el alcance de la molestia por mal olor en el entorno de dicha instalación mediante la aplicación de encuestas directas, cuyo análisis se realiza con un SIG. Los resultados se expresan mediante una cartografía expositiva que ilustra su distribución y magnitud.

Para ello, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar una metodología para medir y categorizar el alcance del mal olor en el entorno de las fuentes emisoras.
- Cartografiar la distribución territorial de las emisiones considerando sus principales dimensiones.
- Evaluar el nivel de molestia reportado por los residentes de las áreas circundantes al RS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El RS El Verde se encuentra dentro de los límites municipales de León de los Aldama, estado de Guanajuato, estando su borde occidental marcado por el límite con el municipio de Unión de San Antonio, en el estado de Jalisco (**Fig. 1**).

Desde la inauguración de la infraestructura de servicios ambientales en 2001, León ha crecido notablemente gracias a su desarrollo industrial. En 2000, el municipio contaba con 1 134 842 habitantes, mientras que en el último censo de 2020 se registraron 1 721 215 habitantes (INEGI 2021). Este aumento poblacional aparece un importante incremento de los desechos sólidos urbanos confinados, que en este RS crecen aproximadamente a un ritmo del 3.8 % anual (PASA 2019). En 2022, el municipio generó 428 000 t de residuos (TV4N 2023). Al mismo tiempo, la mancha urbana de este municipio se ha ido expandiendo hacia el sector de la ciudad donde se ubica el RS (**Fig. 2**). Esto ha configurado un panorama muy diferente del que existía a principios de siglo, aunque cabe destacar que ninguna edificación se

CUADRO I. ELEMENTOS DEL MEDIO ATMOSFÉRICO Y TOPOGRÁFICO CON INCIDENCIA EN LOS PROCESOS DE GENERACIÓN DEL OLOR, DIFUSIÓN Y DISPERSIÓN.

Fase de generación del mal olor en la fase de residuos				
Factores		<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del terreno^{4,27} • pH (definido por el tipo de residuos)⁴ 	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad del terreno (por precipitación pluvial)^{1,8} • Disponibilidad de O₂ en la masa de residuos^{2,31} 	
Fase de difusión y dispersión del mal olor				
Medio atmosférico		Fenómeno específico de interacción atmósfera-topografía	Medio topográfico	
Factor	Subfactor		Subfactor	Factor
Grado de estabilidad atmosférica ^{6,10,11,18,20,22}	Inversiones térmicas ¹¹	Acumulación de contaminantes en los valles ¹⁹	Complejidad del terreno ^{26,30,10}	Geometría del terreno ^{13,16,29}
		Vientos catabáticos o de valle		
Altura de la capa de mezcla ^{10,11,18,22}		Brisas de mar y montaña		
		Efecto pluma (<i>plume impingement</i>) ¹⁹		
Viento (velocidad y dirección) ^{11,18,22}		Flujo descendente del terreno (<i>terrain downwash</i>) ²¹	Rugosidad del terreno ^{13,16,29}	
Flujo descendente del edificio (<i>building downwash</i>) ^{12,7}				
Radiación solar ^{11,18,22}		Elevación de temperaturas y del límite de la capa de mezcla por aumento del albedo ^{13,16,29}	Edificios ^{12,7}	Usos del suelo inducidos por la actividad antrópica ^{13,16,29}
Temperatura ambiente (calor) ^{11,18,22,27}		Alteración de las inversiones térmicas ²⁴	Generación artificial de calor por actividad antrópica (isla de calor) ^{15,25}	
Humedad relativa ^{11,18,22}			Altura de la fuente de emisión ^{9,11,17,28}	
Presión atmosférica ^{3,5}			Humedad del sustrato ¹⁶	

¹Banta y Gannon 1995 (tomado de Lehner y Rotach 2018), ²Bidlingmaier 1996 (tomado de Bueno et al. 2008), ³Braun 1997, ⁴Bueno et al. 2008, ⁵Bull et al. 2014, ⁶Cartelle 2015, ⁷Chang y Moroney 2001, ⁸Daniels et al., 2006 (tomado de Lehner y Rotach 2018), ⁹de Franceschi 2009, ¹⁰de Wekker et al. 2018, ¹¹Díaz et al. 2014, ¹²Easom 2000, ¹³EPA 2009, ¹⁴Finardi et al. 1997, ¹⁵Giovannini et al. 2014 (tomado de de Wekker et al. 2018), ¹⁶MECP 2023, ¹⁷Gohm et al. 2009, ¹⁸Guo et al. 2001, ¹⁹Hanna y Strimaitis 1990, ²⁰Jacobson et al. 2000, ²¹Johansson 2016, ²²BMU 2002, ²³Piringer y Schauburger 2012, ²⁴Rendón et al. 2014, ²⁵Salamanca et al. 2011 (tomado de de Wekker et al. 2018), ²⁶Steyn et al. 2013 (tomado de de Wekker et al. 2018), ²⁷Suler et al. 1977, ²⁸USEPA 1990, ²⁹USEPA 2024, ³⁰Zardi y Whiteman 2013 (tomado de de Wekker et al. 2018), ³¹Zhu 2006.

encuentra a menos de medio kilómetro de distancia, cumpliéndose estrictamente con lo marcado en la norma NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT 2003), que rige la instalación y el funcionamiento de este tipo de sitios.

La norma citada no establece controles específicos de monitoreo de los malos olores, pero sí contempla procesos que ayudan a controlar su emisión, como la cobertura diaria, el manejo de lixiviados y el tratamiento del biogás (SEMARNAT 2003). Las auditorías realizadas por la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial vienen confirmando que se

cumplen estos procedimientos (Jiménez 2025). Según el Sistema Integral de Aseo Público de León (SIAP 2020), este relleno sanitario cumple con todos los estándares nacionales e incluso internacionales (Jiménez 2025). Sin embargo, vecinos y activistas ambientales critican que no siempre se aplican adecuadamente, como en el caso de la cobertura diaria (Méndez 2018).

El tipo de poblamiento en sus proximidades es principalmente disperso en el lado jalisciense, mientras que, sobre León, Guanajuato, el desarrollo urbano se ha llevado a cabo a partir de colonias edificadas sobre antiguos terrenos ejidales (Ávila 2021).

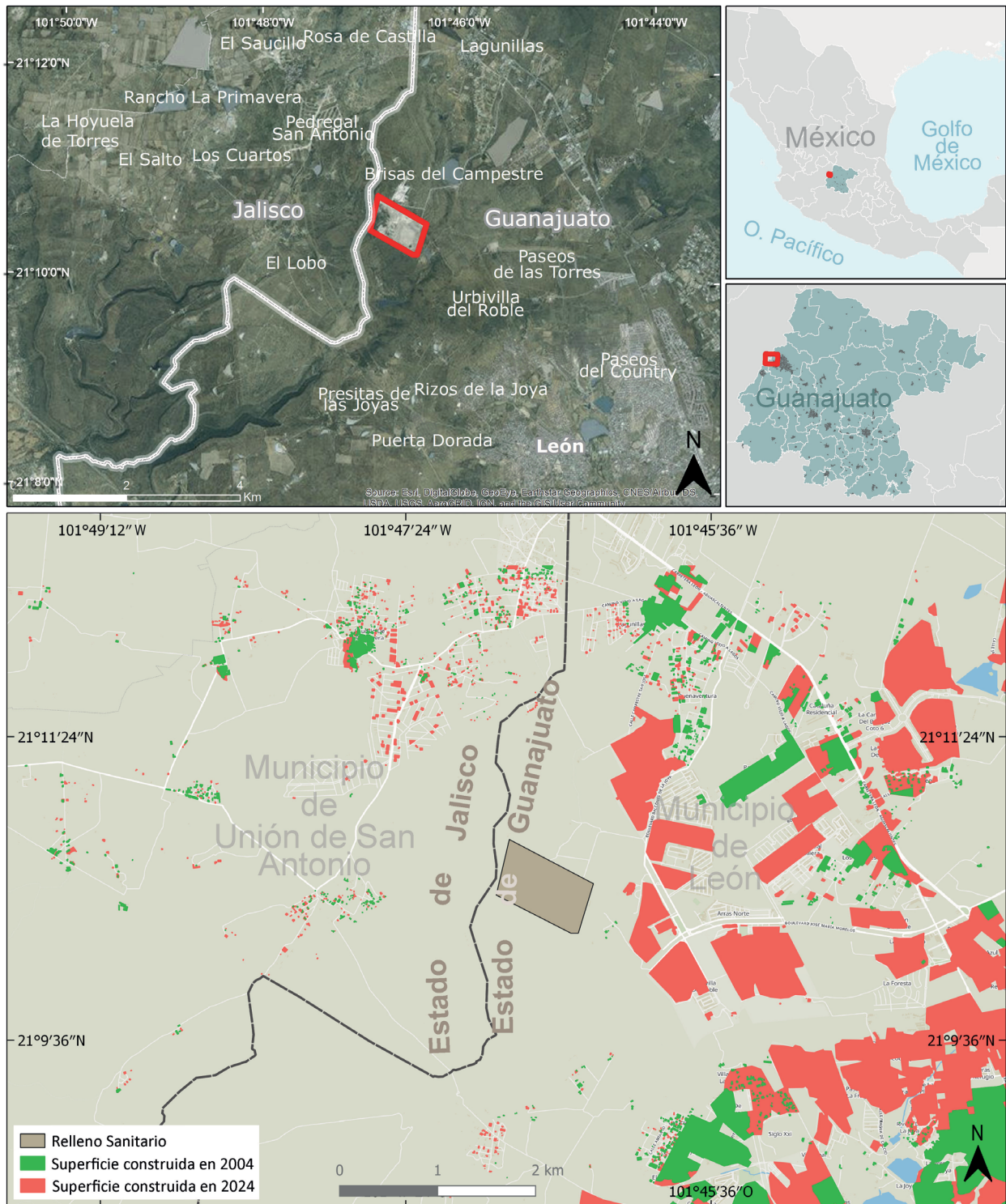


Fig. 1. Situación del área de estudio y evolución de la traza urbana. Fuente: elaboración propia a partir de INEGI (2023) y ESRI (2024).

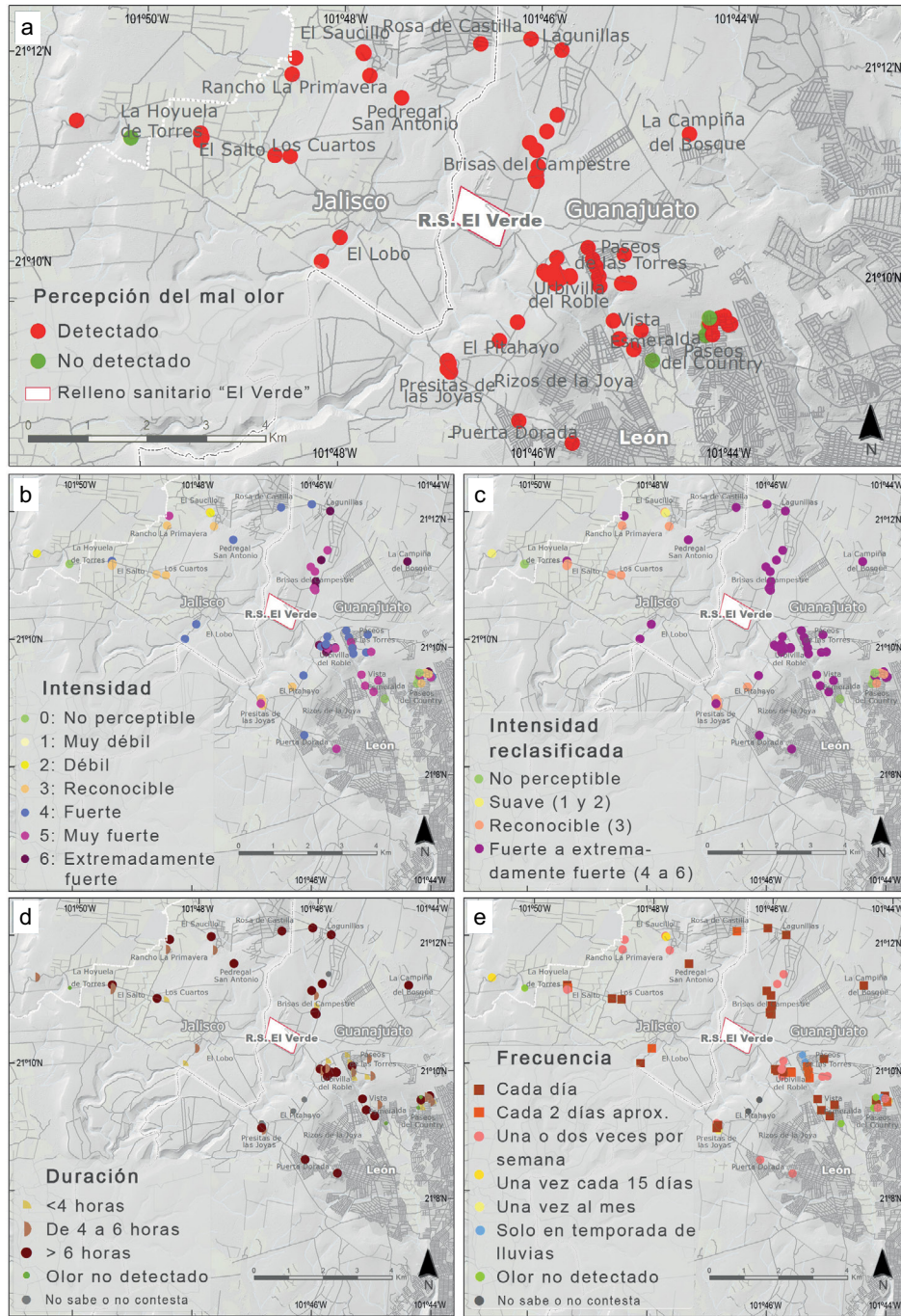


Fig. 2. (a) Alcance del mal olor y (b-e) sus dimensiones. Fuente: INEGI (2013, 2023).

La cartografía del Atlas de Riesgos del Municipio de León (IMPLAN 2010) no señala el entorno del RS El Verde como área afectada por malos olores; sin embargo, paradójicamente, el mal olor proveniente de este RS aparece especificado en el Plan de Desarrollo Municipal de Unión de San Antonio, su municipio vecino en el estado de Jalisco (MUSA 2021).

Procedimiento

Se aplicó una encuesta directa a los vecinos del área circundante al RS. Es una aproximación a la estimación del mal olor que emplea a la comunidad de forma activa, utilizándola como “sensor”. Este acercamiento se enmarca en las tipologías de base observacional/empírica compendiadas por Bull et

al. (2014). En el **cuadro II** puede observarse dicha clasificación, donde se resalta en un color más oscuro la empleada en este trabajo. El análisis se dividió en dos partes:

1. Se estimó el alcance del mal olor a partir de las encuestas citadas. Se consultó a los habitantes

aledaños acerca de la presencia del mal olor en su lugar de residencia y específicamente se les pidió que lo caracterizaran con base en tres dimensiones: intensidad, duración y frecuencia. Los resultados obtenidos fueron cartografiados individualmente para cada dimensión empleando un SIG.

CUADRO II. RESUMEN DE LOS DIFERENTES MÉTODOS, APROXIMACIONES Y HERRAMIENTAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL ALCANCE DEL OLOR*.

Tipo	Aproximación	Herramienta	Parámetros estimados	
Predictivo	Cualitativa	Estimaciones basadas en el riesgo empleando el concepto de fuente-vía-receptor	Puntaje o descriptor de riesgo relativo (ej. riesgo de impacto mínimo, bajo, medio o alto)	
	Semicualitativa	Modelos de cribado, tablas de consulta y nomógrafos	Concentración estimada	
	Modelado	Modelado de dispersión atmosférica con ADMS, AERMOD, etc. empleando fuentes que han sido medidas por olfatometría de dilución dinámica o valores tomados de literatura específica	Concentraciones previstas (ouE/m^3) normalmente como medias del percentil 98/h	
		Herramientas computacionales de dinámica de fluidos	Representación de patrones de flujo	
Observacional/em-pírico	Monitoreo del olor en aire ambiental	Sensorial	Test olfativos	Exposición al olor inferida por medidas de intensidad, frecuencia, duración, tono hedónico.
			Olfatometría de campo	Exposición al olor inferida por medidas de concentración junto con análisis de frecuencia, duración, tono hedónico
		Análisis de componentes	H ₂ S mediante analizador de película de oro	Exposición al olor inferida por medidas de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y umbral de detección del olor, junto con frecuencia, duración, tono hedónico. Sin embargo, puede ser difícil deducir una relación entre concentraciones de químicos y umbrales de olor
			Análisis de compuestos orgánicos volátiles (VOC), etc.	
	Usando activamente a la comunidad como "sensor"	Diarios de olor		Días (%) en los que el olor detectado supera una intensidad dada
	Sondeos a las comunidades		Porcentaje de vecinos molestos o de vecinos que hayan experimentado molestias	
	Usando pasivamente a la comunidad como "sensor"	Análisis de denuncias/quejas		Frecuencia de reclamaciones/denuncias/quejas

*Fuente: Bull et al. (2014).

ADMS: Atmospheric Dispersion Modeling System; AERMOD: American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model.

2. Los datos se procesaron mediante una evaluación multicriterio para generar un índice sintético de molestia que combinará las tres dimensiones. Estas se fusionaron jerárquicamente en dos etapas: primero, se combinaron los valores de intensidad y duración para generar un índice de consistencia; en segundo lugar, este índice se combinó con la dimensión de frecuencia para obtener un índice final de molestia.

Estimación del alcance del mal olor

A partir de los datos recabados en la consulta a los vecinos, se cartografiaron tres dimensiones del olor: intensidad, duración y frecuencia.

Procedimiento de muestreo

La propagación del olor está influida por factores físicos como el viento, la topografía y la disposición de las edificaciones, lo que dificulta la aplicación de técnicas de interpolación espacial. Para abordar esta complejidad, la recopilación de datos se realizó mediante una red de muestreo con puntos distribuidos uniformemente en el espacio. En la medida de lo posible, estos puntos se ubicaron en cada colonia, tanto en su centro como en sus límites. Así se aseguró una distribución equilibrada de la red. En áreas de poblamiento diseminado se eligieron rancherías, de modo que también se generara un tapiz de puntos separados, aproximadamente por la misma distancia. Todo lo anterior se realizó siempre y cuando las posibilidades de acceso a la información lo permitieran, lo cual dependía de la existencia de vecinos dispuestos a participar, entre otras circunstancias.

Por lo tanto, se trata de un procedimiento no probabilístico de tipo sistemático por área, que busca garantizar la cobertura geográfica y la representatividad espacial dentro del espacio muestreado. No se trazaron de antemano los límites del área de estudio, sino

que el trabajo de campo se extendió desde la fuente hasta los puntos donde los vecinos ya no percibían el mal olor. De este modo, aunque no se dispone de una población con una probabilidad de selección conocida, se ha calculado el error muestral tomando como referencia la población comprendida dentro de un contorno imaginario que comprende el conjunto de puntos muestreados.

Por otra parte, solo se entrevistó a vecinos que llevaban más de un año residiendo en el área de estudio, lo que permitió contar con un lapso temporal lo suficientemente amplio para que los participantes pudieran hablar con conocimiento de causa sobre la presencia y las características del mal olor.

Contenido temático de la cartografía de dimensiones del mal olor

Para caracterizar la problemática relacionada con el mal olor, se elaboraron cuatro mapas. El más básico representa los puntos desde los que los residentes percibieron en alguna ocasión el hedor proveniente del relleno sanitario. Además, se cartografían tres dimensiones del fenómeno oloroso: la intensidad, la duración y la frecuencia, variables que son empleadas por la mayoría de los trabajos técnicos especializados en la propagación del mal olor (VDI 1992, 1994, 2006, McGinley y McGinley 2000, DEPWA 2002, TCEQ 2007, CE 2018).

La intensidad es la fuerza con la que se percibe la sensación de olor; por su parte, la duración informa sobre cuánto tiempo se prolongan, en promedio, los episodios de mal olor, y la frecuencia acerca de cada cuánto tiempo se repiten.

Para la intensidad se emplearon siete niveles (**Cuadro III**), que son los empleados por las metodologías que usan guías internacionalmente aceptadas, como la VDI 3881, parte 1 (VDI 1992); VDI 3881, parte 4 (VDI 1986) y VDI 3882, parte 1 (VDI 1992),

CUADRO III. ESCALAS DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES DEL OLOR.

Intensidad	Frecuencia	Duración (h)
0: no perceptible	Olor no detectado	Olor no detectado
1: muy débil	Solo en temporada de lluvias	< 4
2: débil	Una vez al mes	
3: reconocible	Una vez cada 15 días	4-6
4: fuerte	Una o dos veces por semana	
5: muy fuerte	Cada dos días aproximadamente	> 6
6: extremadamente fuerte	Cada día	

además de otras, como la guía metodológica del olor del Departamento de Protección Ambiental del Oeste de Australia (DEPWA 2002).

En cuanto a la frecuencia, la encuesta pregunta cuántas veces se percibe el mal olor en la zona. La respuesta es abierta y posteriormente se agrupan los resultados en los siguientes intervalos, que pueden observarse en el **cuadro III**. En cuanto a la duración de los episodios de mal olor, el cuestionario interroga directamente al encuestado sobre cuánto tiempo dura en promedio cada episodio. Además, de manera accesoria, se pregunta acerca de la hora aproximada de comienzo y finalización de los episodios del mal olor, lo cual sirve para interpretar los resultados derivados de la integración de las tres dimensiones del mal olor, como se describe a continuación.

Integración de dimensiones. El índice de molestia por mal olor

Por último, este trabajo plantea estimar la molestia generada por el mal olor a través de la combinación de las dimensiones anteriormente abordadas (intensidad, duración y frecuencia). Esto se lleva a cabo para cada uno de los puntos de encuesta georreferenciados mediante una evaluación multicriterio, en la que las tres dimensiones del olor actúan como criterios. Estos se integran mediante una regla de decisión compensatoria aditiva (Gómez y Barredo 2005) en dos fases.

En la fase 1 se combinan las dimensiones de intensidad y duración. Esta combinación se realiza mediante una tabla de doble entrada que actúa como matriz de decisión explícita (**Cuadro IV**). Los valores de salida obtenidos constituyen un índice de consistencia.

En la fase 2 se vuelve a realizar una operación similar. En este caso, se combinan los valores de “consistencia” con los de frecuencia mediante la regla indicada por la matriz expuesta en el **cuadro V**. El resultado es el índice de molestia.

CUADRO IV. TABULACIÓN DE LOS NIVELES DE CONSISTENCIA DE LOS EVENTOS DE MAL OLOR*.

		Duración (horas)		
		<4	4-6	>6
Intensidad	1	Ligera	Ligera	Ligera
	2	Ligera	Ligera	Media
	3	Ligera	Media	Media
	4	Media	Media	Alta
	5	Media	Alta	Muy Alta
	6	Alta	Muy Alta	Muy Alta

*Índice derivado de la combinación de los valores de intensidad y duración en los puntos donde se registra mal olor.

A nivel conceptual, el procedimiento es similar a las tablas de la Comisión de Calidad Ambiental de Texas que combinan las dimensiones de frecuencia, intensidad, duración y ofensividad (FIDO, por su sigla en inglés; TCEQ 2007). Sin embargo, el resultado del método FIDO es binario: “es una molestia” o “no lo es”, mientras que la metodología propuesta en este trabajo genera un índice continuo de molestia expresado en cuatro niveles (**Cuadro V**), que es la síntesis de las dimensiones de intensidad, duración y frecuencia percibidas directamente por la comunidad expuesta. Otra diferencia radica en que en este trabajo la combinación de criterios se efectúa de manera secuencial, primero con el índice de consistencia y luego con el de molestia. Esto hace trazable y comprensible el proceso, pudiéndose controlar de manera simple las razones que explican los niveles totales de molestia.

Existen otras experiencias de investigaciones basadas en la metodología FID. Por ejemplo, Nolzco (2015) incluye un factor de aceptabilidad para superar el atributo binario resultante. Bull et al. (2014) también consideran las mismas dimensiones

CUADRO V. TABULACIÓN DE LOS NIVELES DE MOLESTIA DE LOS EVENTOS DE MAL OLOR A PARTIR DE LA COMBINACIÓN DE LOS RESULTADOS DE CONSISTENCIA Y FRECUENCIA.

		Frecuencia					
		Solo en temporada de lluvias	Cada mes	Cada 15 días	1 o 2 por semanas	Cada 2 días	Cada día
Consistencia	Ligera	Leve	Leve	Leve	Media	Media	Media
	Media	Leve	Media	Media	Media	Media	Alta
	Alta	Media	Media	Media	Alta	Alta	Alta
	Muy Alta	Media	Alta	Alta	Alta	Muy Alta	Muy Alta

que el método FIDO, pero agregan un quinto factor: localización/sensibilidad, que matiza los resultados en función de quién percibe el olor y en qué contexto territorial se encuentra.

El método empleado fue sensorial. Utiliza la percepción olfativa de los encuestados, lo cual no desmerece en rigor frente a otros procedimientos de tipo analítico basados en análisis químicos. Existe la tendencia a relacionar un olor con un compuesto específico; sin embargo, en el caso de la contaminación odorífera, los olores no se presentan de forma individual, sino como mezclas complejas de compuestos que, en conjunto, provocan la respuesta sensorial (MMA 2023, CONAMA 2010, Toro 2014). Así, las técnicas analíticas que evalúan la composición química de la mezcla no permiten conocer cómo es percibida sensorialmente ni responden a la pregunta fundamental: ¿cuánto huele la muestra? (Labaqua 2011). En cambio, las técnicas sensoriales tienen la ventaja de aportar información valiosa sobre cómo perciben las personas los olores y el grado de molestia que generan (MSPS-OPS 2012). Aunque no identifican las especies químicas específicas responsables del olor, la nariz humana es el instrumento más adecuado para medir esta respuesta (DEPWA 2002), como reconocen normas internacionales como la UNE-EN 13725:2022 (AENOR 2022) o la VDI 3940 (VDI 2006). A pesar de lo anterior, cabría pensar que el empleo de técnicas sensoriales posee una componente subjetiva; sin embargo, el empleo de métodos basados en paneles o encuestas con un número adecuado de participantes se apoya en principios estadísticos que permiten objetivar el resultado final (Bax et al. 2020), dejando atrás la subjetividad cuando la medición proviene de un conjunto representativo de observaciones, minimizando el sesgo individual y aumentando la validez de la estimación. Además, los datos se recaban en inmisión, obteniéndose resultados más apegados a las verdaderas molestias ciudadanas que si se optara por recabar los datos en emisión y modelizar posteriormente la concentración (Díaz et al. 2014).

Aplicación de la metodología

El sondeo consistió en 74 encuestas que se realizaron sobre las áreas habitadas circundantes al relleno sanitario. La encuesta más próxima se hizo a 1.2 km y la más lejana a 7 km. Se trata de 822.8 ha edificadas, con 28 335 habitantes (INEGI 2021), que abarcan espacios urbanos, periurbanos y rurales. Se ha conseguido una densa cobertura del territorio, promediando una encuesta por cada 333 m. Además, a nivel estadístico la muestra conseguida posee un

margen de error de $\pm 4.2\%$, con un nivel de confianza del 91.1 % y $p = q = 0.5$.

Las encuestas se realizaron entre los días 20 y 30 de junio de 2019 y fueron aplicadas por un grupo de cinco personas.

RESULTADOS

Como puede apreciarse en la **figura 2** (mapa a), el alcance del mal olor proveniente del RS trasciende con sobrada amplitud su perímetro, extendiéndose en todas las direcciones. El mal olor alcanza hasta 6800 m al oeste, llegando incluso al municipio de Lagos de Moreno, Jalisco. Al sur, se extiende entre 3000 y 3690 m, alcanzando colonias como Puerta Dorada y La Soledad, mientras que al norte llega hasta 3500 m, con registros en Lagunillas y La Campiña del Bosque, en el municipio de León. Hacia el este, es detectado hasta a 4 km del RS, en la colonia Paseos del Country. Los puntos donde no se detecta el olor en esta colonia y en la cercana Vista Esmeralda están situados en zonas bajas y protegidas de las corrientes de aire.

Toda la población identificó, sin lugar a dudas, el olor como proveniente de los residuos sólidos depositados en el RS, debido a su distintivo tono hedónico y a la ausencia de otras fuentes con características odoríferas similares en la zona.

Los puntos donde el mal olor fue detectado han sido clasificados en virtud de tres de las dimensiones del mal olor especificadas en la metodología. Sus resultados se representan en los mapas B1, B2, C y D de la **figura 2**.

Como puede apreciarse, los máximos valores de intensidad se registraron en la proximidad del RS, disminuyendo a medida que se incrementa la distancia a este. Los valores de intensidad “fuerte” a “extremadamente fuerte” (niveles 4, 5 y 6) son mayoritarios en los tres primeros kilómetros de distancia a la macrocelda número 2 (**Fig. 3**) y, posteriormente, continúan presentes, aunque matizados por la aparición de intensidades no tan elevadas.

La distribución espacial de la intensidad es ligeramente asimétrica. En la franja entre 3000 y 5000 m, los puntos ubicados al sureste presentan intensidades mayoritariamente “fuertes” o superiores, mientras que hacia el noroeste son más numerosos los registros de menor intensidad, con niveles “reconocibles” e incluso algún punto con nivel “débil”. Algo similar, pero menos llamativo, sucede entre el sur y el norte de esa misma franja, y también entre el sureste y el noreste.

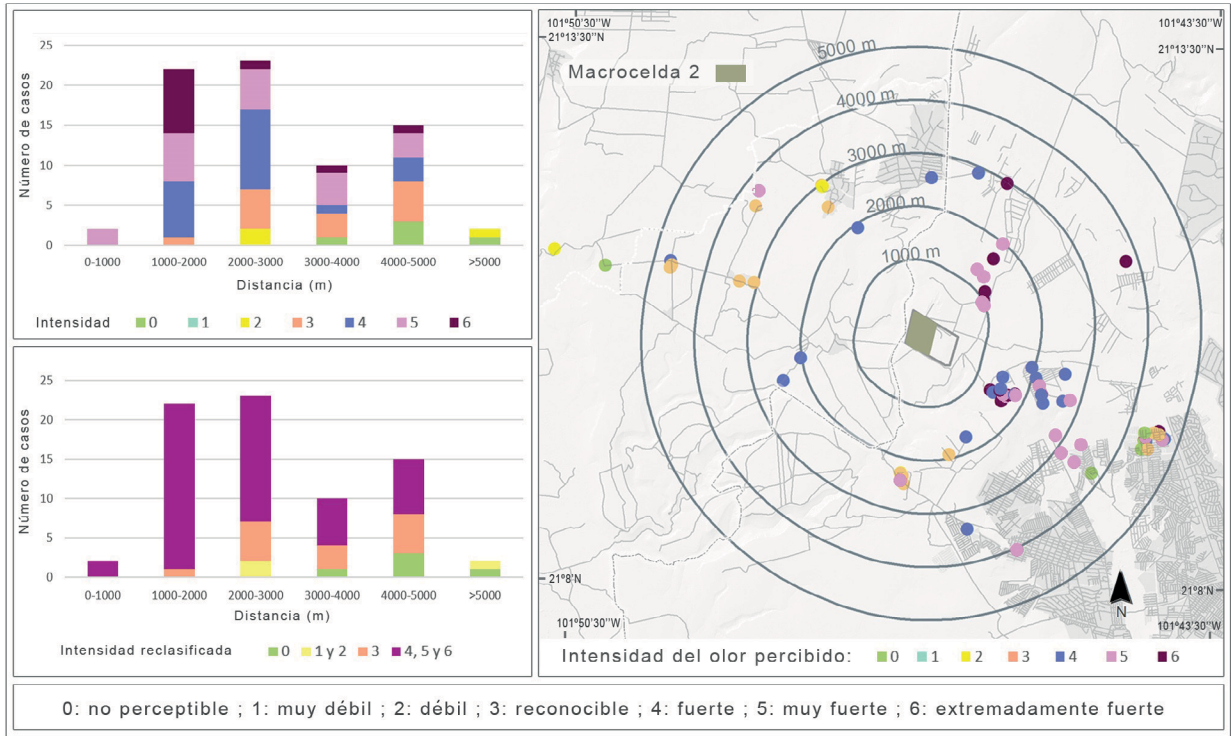


Fig. 3. Cartografía de las intensidades de mal olor e isolíneas de distancia al relleno sanitario (derecha), junto con la distribución de registros cada 1000 m en valores originales (izquierda, arriba) y reclasificados (izquierda, abajo). Fuente: elaboración propia a partir de INEGI (2013, 2023).

La duración de los episodios de mal olor también está determinada por la distancia. Como puede apreciarse en la **figura 4**, en los primeros 2000 m los episodios de más de 6 h son mayoritarios. Por el

contrario, a más de 4000 m prevalecen los episodios que duran menos de 6 h. A la vista de los resultados, la distancia no determina de forma absoluta la duración del mal olor, dado que en la franja de 3000 a 4000 m

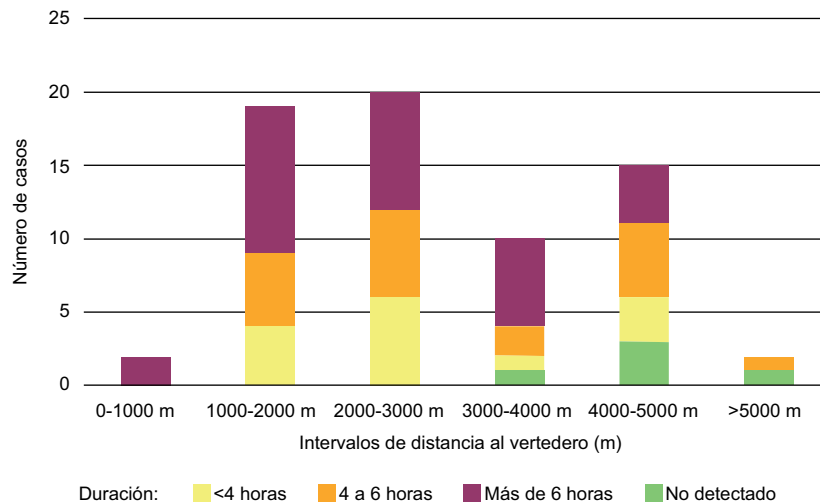


Fig. 4. Distribución de la duración promedio de los episodios de mal olor por intervalos de distancia (m).

se observa un repunte de episodios de más de 6 h. Esta anomalía invita a considerar otros factores en la explicación de este resultado. Uno de ellos puede ser la hora a la que suelen aparecer los episodios de mal olor. En la mayoría de los casos, los encuestados respondieron que experimentan una sensación de mal olor al anochecer, sin saber precisar cuándo termina, ya que persiste hasta el momento de ir a dormir. Cabría agregar a lo anterior que el entrevistado, aun estando despierto, puede llegar a no percibir exactamente cuándo termina un episodio concreto de mal olor por factores como su insensibilidad en momentos en que la intensidad del mal olor decrece o por la simple habituación al mismo. Pese a estos márgenes de error y al concurso de otros factores como la topografía, la ubicación a espaldas de edificaciones, la dirección del viento, etc., la distancia al RS es un factor determinante. El resto de los factores se aborda con mayor profundidad en el apartado de discusión.

Con relación a la frecuencia, cabe destacar que un 45 % de todos los encuestados percibe el mal olor cada uno o dos días. Tal como se aprecia en la **figura 5**, los valores de esta dimensión son proporcionales a la cercanía al RS.

El nivel de “consistencia” por mal olor involucra las dimensiones de “intensidad” y “duración”. Una vez combinadas, su resultado, de acuerdo con lo establecido en el **cuadro IV**, se representa en el mapa de la **figura 6**. Este indicador presenta una notable asimetría en su distribución este/oeste: en la mitad occidental, la mayoría de los registros en Jalisco solo alcanzan un nivel de consistencia “media”, mientras

que sobre el municipio de León existe una notable cantidad de puntos marcados con el grado de “muy alta”. De los puntos ubicados en el estado de Jalisco, solo un 31 % alcanza niveles de “alta” o “muy alta”, mientras que en el área de León el porcentaje asciende al 50 %. Si solo se tienen en cuenta los niveles muy altos, en Jalisco solo existe un punto con consistencia “muy alta”, mientras que en el municipio de León se cuentan 22 registros (el 38 % de todos los puntos sobre dicho municipio), estando cuatro de ellos situados a mayor distancia que aquel registrado en Jalisco (3700 m).

Si los resultados de “consistencia” se confrontan con los de la dimensión “frecuencia” se obtienen los niveles de “molestia”. En la **figura 7** se observa que también en este indicador existe una alta asimetría, pues solo se encuentran puntos con valores de molestia “muy alta” en la zona urbana de León, al este del RS. El 72 % de los puntos de este subconjunto se encuentra en un área situada a poco más de 1000 m de distancia de la macrocelda 2 (Brisas del Campes- tre), y en un corredor que discurre entre Urbivilla del Roble, Paseos de las Torres y Vista Esmeralda.

DISCUSIÓN

Al igual que en estudios previos (Mosquera et al. 2009, MSPS-OPS 2012), los encuestados indicaron de manera inequívoca que el mal olor que alcanza sus domicilios era proveniente del RS El Verde. Se basan en dos razones fundamentales: el inconfundible

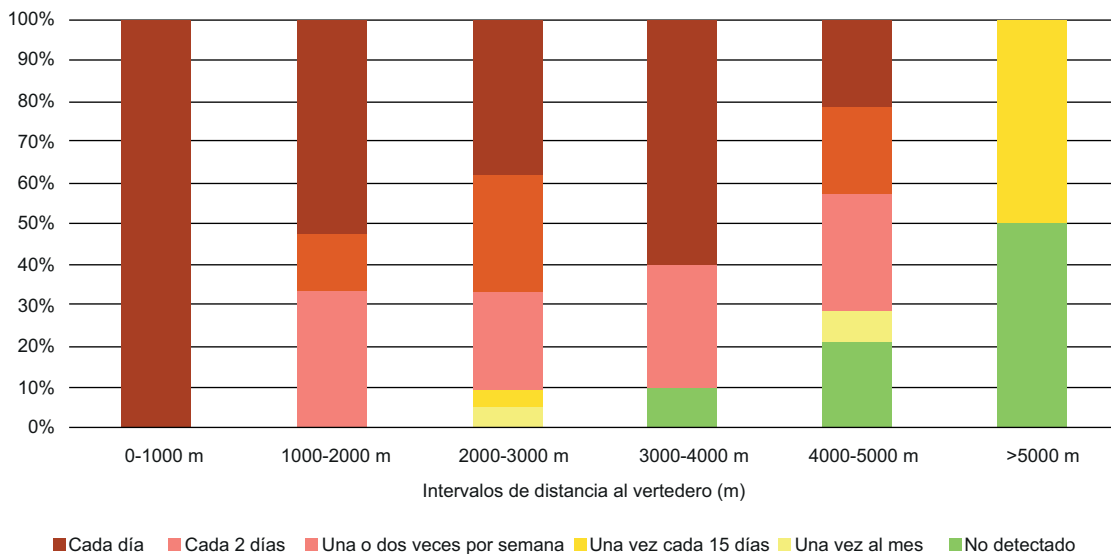


Fig. 5. Distribución porcentual de la frecuencia de los episodios de mal olor en función de la distancia al relleno sanitario.

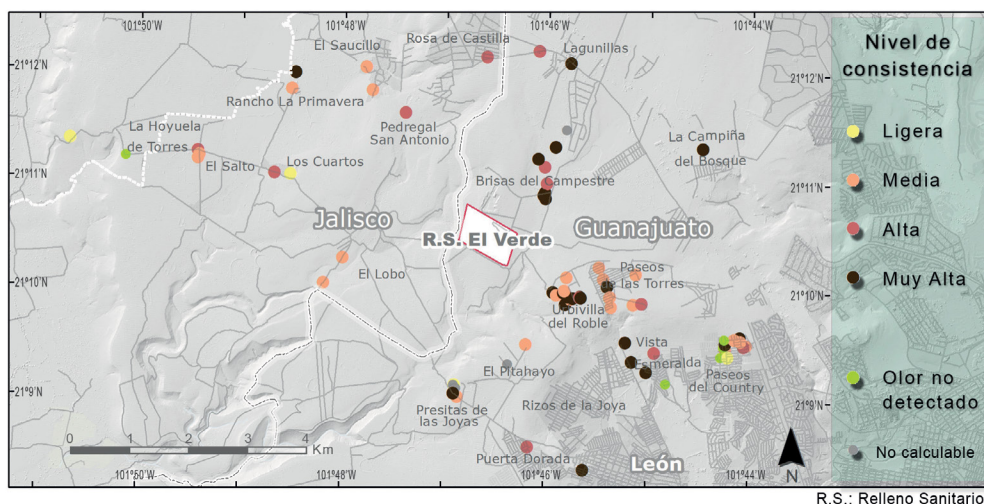


Fig. 6. Nivel de “consistencia” por mal olor a partir de la combinación de las dimensiones de intensidad y duración. Fuente: elaboración propia a partir de INEGI (2013, 2023).

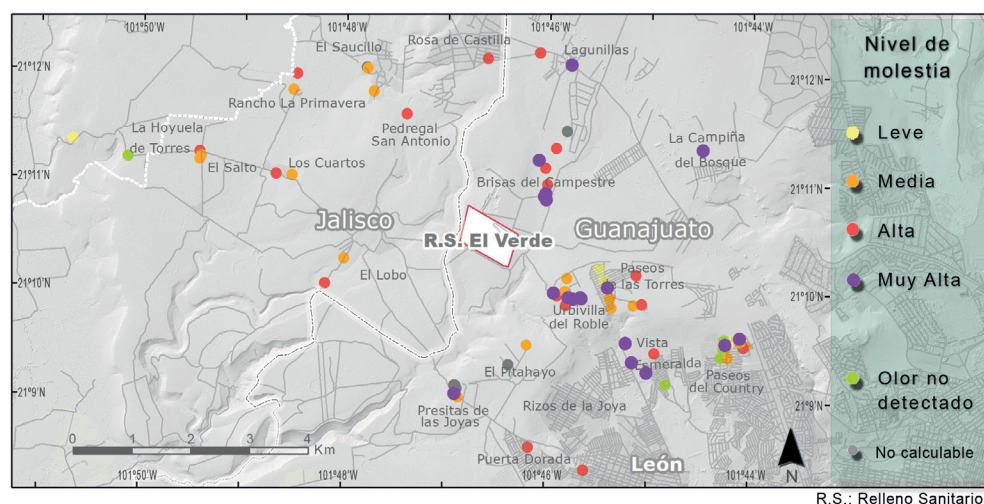


Fig. 7. Nivel de “molestia” por mal olor a partir de la combinación del indicador de “consistencia” y “frecuencia”. Fuente: elaboración propia a partir de INEGI (2013, 2023).

tono fétido del RS y el hecho de que se trata del único sitio en sus cercanías que presenta las características capaces de generar ese tipo de olor. A nivel temporal, una importante cantidad de los vecinos entrevistados mencionó que los episodios de mayor intensidad ocurren en periodo estival, momento del año en el que coinciden alta humedad del terreno (estación de lluvias) y elevadas temperaturas, dos de los factores presentes en la fase de generación del mal olor (Daniels et al. 2006, Bueno et al. 2008, Díaz et al. 2014, Lehner y Rotach 2018). Este fenómeno también se alinea con los hallazgos de Guo et al. (2001) en el sur de Minnesota, EUA, una región donde, al igual que en

Guanajuato, los picos de precipitación y temperatura ocurren durante el verano.

Por su parte, la mayoría de los encuestados señala que las máximas intensidades de olor suelen registrarse al anochecer, justo cuando el RS está fuera de operación. Esta circunstancia puede relacionarse con la aparición de inversiones térmicas a esa hora de la tarde, que comprimen los estratos más bajos de la capa de mezcla, impidiendo la dispersión vertical y con la consiguiente concentración del mal olor a pocos metros del suelo (Díaz et al. 2014). La acumulación del mal olor en esta franja horaria es muy común y se dispersa al amanecer, cuando la

turbulencia derivada de la incipiente radiación solar se reactiva (García et al. 2014, Vilarroig et al. 2021).

La calma atmosférica, como condición que facilita la dispersión, cobra aún más sentido si se observan los vientos dominantes en verano (**Fig. 8**). En ese momento del año, cuando el calor y la humedad favorecen la generación del olor, las colonias más afectadas situadas al oriente del RS deberían verse favorecidas por la protección del flujo predominante del este; sin embargo, la alta afectación de ese sector debe responder por lógica a que es alcanzado por el aire maloliente en momentos de calma meteorológica. Por otra parte, en el lado opuesto al RS, la presencia de dicho flujo procedente del este explica que el olor haya sido detectado en un punto situado a 6800 m al oeste. Ese estiramiento del área afectada, propiciado por el viento, es un fenómeno observado en trabajos previos (Zapata 2015, Eckmann et al. 2018). No obstante, para corroborar esta circunstancia, es necesario monitorear el viento, específicamente en el entorno del RS, ya que la interacción del aire con la topografía genera efectos meteorológicos locales que pueden ser relevantes para la dispersión del olor.

Para explicar la asimetría en los resultados, se plantea que factores físicos influyen en el alcance y las dimensiones del olor, más allá de la distancia al RS. Entre estos condicionantes se encuentran las interacciones entre las corrientes de aire en la capa límite atmosférica y la orografía, generadoras de intercambios atmosféricos turbulentos que pueden inducir una dispersión desigual del mal olor. Algunos de estos procesos aparecen citados como fenómenos

específicos de interacción atmósfera-topografía en la **figura 1**.

La altura relativa del relleno sanitario y, más concretamente, la de la macrocelda 2, es un factor que seguramente tiene fuertes implicaciones en la difusión del mal olor que se ha constatado en otros trabajos (Hanna y Strimaitis 1990, Aguay-Saquicaray 2024), que apuntan a la acumulación de la contaminación en los valles como uno de los fenómenos más frecuentes en la dispersión de contaminantes. Este factor podría, al menos en parte, justificar por qué en Urbivilla del Roble, a pesar de su proximidad al RS, al estar ubicada 20 m por encima de este, no se reportan niveles de molestia “alta” o “muy alta” en todos sus puntos, mientras que en Brisas del Campestre, situada topográficamente por debajo del RS, todos los puntos evaluados presentan niveles máximos de molestia.

La disposición del espacio construido también puede ser un factor que propicia las diferencias. Al este del RS, sobre el municipio de León, predominan las colonias urbanas con conjuntos habitacionales de viviendas dispuestas en serie, tanto plurifamiliares como unifamiliares, mientras que al oeste del RS el asentamiento es rural y disperso en Los Altos de Jalisco. Esta configuración puede estar favoreciendo la acumulación y recirculación del aire cargado de mal olor en las inmediaciones de los edificios de León, mediante un fenómeno de flujo descendente del edificio (*building downwash*), señalado como un factor relevante en la dispersión del aire en entornos urbanos (MECP 2023, Pelliconi et al. 2024).

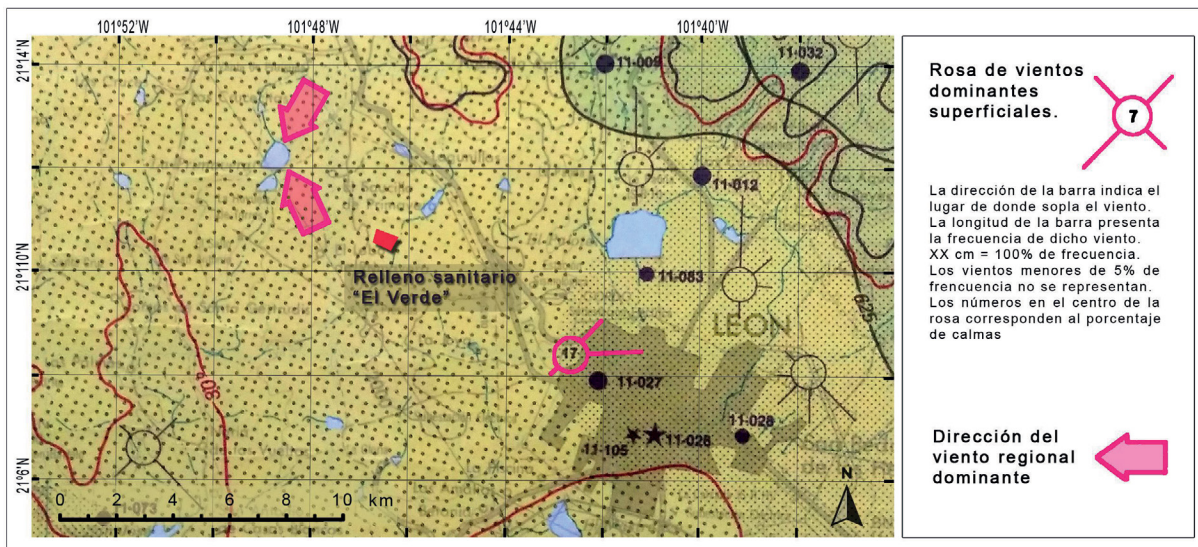


Fig. 8. Vientos dominantes superficiales en el periodo mayo-octubre en las cercanías al relleno sanitario de El Verde. Fuente: elaboración propia a partir de Carta de efectos climáticos regionales mayo-octubre (INEGI 1989).

Por otro lado, la topografía desempeña un papel relevante, ya que muchas de estas edificaciones se encuentran situadas en elevaciones. En este caso, el aire entraría en contacto con esas áreas elevadas, viéndose forzado a ascender, lo cual puede resultar en altas concentraciones de mal olor sobre los promontorios. Se trata del denominado “efecto pluma” (Hanna y Strimaitis 1990), el cual puede ocurrir en lugares alejados del RS como Paseos del Country. En esta colonia, no todos los puntos encuestados reportaron percibir el mal olor y los resultados varían según la posición en la ladera. Por ejemplo, en la ladera más cercana al RS, de menor altitud y orientada en dirección opuesta a la fuente, las intensidades son más bajas. En contraste, en la ladera más alejada, pero a mayor altitud, los niveles de intensidad alcanzan su punto máximo.

Los vientos catabáticos o de drenaje (Barclay y Borissova 2013), junto con las brisas de ladera, pueden influir en la dispersión del mal olor, especialmente en la franja de 2 a 4 km al oeste del RS. Esta zona se encuentra aproximadamente 120 m por debajo de la cota de la macrocelda 2, lo que la hace particularmente propensa a recibir los vientos descendentes procedentes de la instalación al atardecer. No obstante, se observan diferencias significativas en la intensidad del olor entre los registros del sur (El Lobo) y los del norte (El Saucillo). Los valores más elevados registrados en el sector meridional podrían estar relacionados con la ubicación de ambos puntos en la cabecera de los cursos de agua. Esta disposición favorecería la canalización del aire a través de estos cauces, lo que podría incrementar la concentración y percepción del mal olor en la zona.

Junto con los factores físicos que pueden estar implicados en la difusión heterogénea del olor, hay otra serie de factores humanos que también pueden esgrimirse para argumentar la asimetría de los resultados en indicadores como el de molestia.

En este sentido, la Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido (EA 2002) destaca diversos factores personales y subjetivos que pueden matizar las respuestas humanas ante los malos olores. Entre ellos figuran el historial previo de exposición, las conexiones emocionales o psicológicas, los recuerdos olfativos, el estado de ánimo y las estrategias de afrontamiento. Estas características se adquieren, en parte, a través de la interacción cotidiana con el medio en el que se vive, un proceso esencial en la configuración del espacio geográfico (Dollfus 1976). A partir de esto, podría plantearse la hipótesis de que los resultados observados están influidos por la presencia de dos tipos de población: una población rural asentada al oeste y otra urbana recién llegada

al este, en un área en proceso de urbanización. Esto coincide con lo expuesto por Bull et al. (2014), quienes sostienen que la ubicación de los receptores condiciona directamente su sensibilidad. Así, en áreas residenciales donde se espera un ambiente tranquilo y sin olores, la sensibilidad suele ser alta; mientras que en zonas agrícolas la población está más habituada a convivir con ciertos olores, lo que reduce su sensibilidad. Además, factores físicos como la edad, el género y otros condicionantes también inciden en esa percepción (EA 2002); así, algunos estudios han mostrado que las mujeres tienden a ser más sensibles a los malos olores que los hombres (Sáenz et al. 2016).

Sería oportuno profundizar en esta problemática considerando estos posibles condicionantes. Sin embargo, esta no es la única hipótesis que podría explicar las diferencias observadas. Como se ha indicado, los factores físicos relacionados con la dispersión de los olores también pueden influir. Para explorar esta otra hipótesis, pueden emplearse modelos de dispersión que, a partir de parámetros meteorológicos, permitan generar mapas de concentración de olores. No obstante, estos modelos, basados en ecuaciones matemáticas, no están exentos de limitaciones (Díaz et al. 2014); además, el aumento de la concentración odorífera no es proporcional al aumento de la intensidad del olor (DEPWA 2002). Por ello, la molestia debe evaluarse en campo mediante metodologías que contemplen cómo realmente se percibe el mal olor; la propuesta aquí presentada es una herramienta orientada en esa dirección.

CONCLUSIONES

Se observa que el alcance del mal olor proveniente del RS El Verde se extiende al menos hasta puntos cercanos a los 7 km de distancia. Debido a la amplitud de su radio de impacto, no solo afecta al municipio que lo gestiona (León, Guanajuato), sino también a su vecino, Unión de San Antonio, en el estado de Jalisco.

Se desarrolló una metodología adecuada para medir y categorizar el alcance del mal olor en el entorno de las fuentes emisoras. Esta permite estimar la molestia generada a partir de la combinación de tres dimensiones: intensidad, duración y frecuencia. Los resultados de dichas combinaciones se expresan mediante dos índices: el de “consistencia” de los eventos de mal olor y el de “molestia”.

Los niveles más altos de “molestia” se registran con mayor frecuencia en la parte oriental del RS, un área con un hábitat urbano notablemente distinto del entorno rural del sector occidental. Es probable

que esta asimetría responda a una combinación de factores tanto humanos como físicos. Por un lado, las diferencias socioeconómicas y de estilos de vida entre ambas zonas; por otro, la interacción entre la topografía y las corrientes de aire en la capa límite atmosférica, que genera procesos de intercambio turbulento.

Aunque la NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT 2003), que regula el diseño, construcción, operación y monitoreo de rellenos sanitarios, se cumple estrictamente —estableciendo una distancia mínima de 500 m entre la traza urbana y el RS—, esta medida resulta insuficiente para evitar que el mal olor afecte a los vecindarios cercanos y a áreas fuera del radio establecido por la norma. Además, el problema se agrava con el tiempo, ya que la mancha urbana de León continúa expandiéndose en las inmediaciones del RS.

Los resultados obtenidos constatan que la recurrente exposición de la población a los malos olores generados en el entorno del relleno sanitario no puede considerarse aceptable ni compatible con lo establecido en el artículo 15, fracción IV, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (SEDUE 1988), que establece el derecho de toda persona a gozar de un ambiente sano y a ser protegida contra la contaminación, en este caso odorífera. Aunque la operación del relleno sanitario cumple con los protocolos técnicos previstos en la NOM-083-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT 2003) y satisface los requisitos normativos para su funcionamiento (Jiménez 2025), resulta evidente que esta situación no se traduce en una garantía efectiva de un entorno libre de molestias para los vecinos.

En los últimos años se han formulado propuestas para mejorar la gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) en algunas de sus fases; p.ej., la reducción del desperdicio de alimentos (SIAP 2020, Tagle et al. 2025), lo cual constituye un avance en la senda de la sostenibilidad en el municipio. En ese sentido, el presente trabajo se dirige a una necesidad igualmente importante: la implementación de estrategias rigurosas, pero de aplicación accesible, que permitan validar científicamente las percepciones comunitarias sobre el deterioro ambiental derivado de los malos olores en otra de las fases de la GIRSU: la disposición final.

La metodología propuesta sitúa en el centro del análisis la molestia experimentada por la ciudadanía, involucrando directamente al vecindario como fuente de información y reduciendo significativamente los costes de aplicación frente a los modelos de dispersión (Díaz et al. 2014, Zarra et al. 2021).

Su sencillez la hace especialmente adecuada para contextos con limitaciones técnicas y presupuestarias, lo que podría facilitar a las administraciones públicas la identificación y caracterización espacial de la molestia por mal olor, una carga ambiental persistente en numerosas comunidades cercanas a instalaciones emisoras de olores ofensivos (Álvarez 2017, Montes 2019, Hau 2024, Arias 2025). Además, esta visualización, mediante la validación científica de la molestia, ya constituye un paso para que esas administraciones adopten acciones concretas para su control y erradicación.

En función de cada caso, se podrían aplicar a posteriori modelos de dispersión de olores para medir la concentración en el entorno, aunque ello suele conllevar costes técnicos y temporales elevados. Por tanto, independientemente de que se aplique o no un modelo de dispersión, la metodología empleada contribuye a visibilizar y legitimar la existencia de estas molestias. Sin ir más lejos, permitiría sacar de la inexistencia administrativa un problema tan evidente para la comunidad como el estudiado aquí, que es *vox populi* (Méndez 2018), pero que no está reconocido en el apartado de malos olores del atlas de riesgos del municipio (IMPLAN 2010, 2023). Su mera visualización obligaría a considerarlo formalmente en la gestión ambiental, contribuyendo así a una gestión más equitativa, atendiendo a un sector de la población que no percibe respuestas claras por parte de la administración (García 2017). Además, la posible integración de este enfoque en herramientas digitales, como aplicaciones para encuestas remotas, potenciaría aún más su implementación, convirtiéndolo en un instrumento de ciencia ciudadana de alto valor diagnóstico y participativo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México las facilidades prestadas durante la estancia de investigación realizada en su sede, con el objeto de avanzar en el desarrollo de esta investigación. Dicha estancia fue posible gracias al programa de becas de movilidad México-España 2019, otorgadas por la Red de Científicos Españoles en México y financiadas por la Fundación Areces. Asimismo, agradecemos la colaboración en el trabajo de campo de los estudiantes de la Licenciatura en Desarrollo Territorial de la ENES-UNAM León, Iván Aarón González Quillares, Sandra Guadalupe Martínez López y Sofía Maas González, quienes participaron en el levantamiento

de encuestas. Finalmente, esta investigación contó con el apoyo del proyecto de I+D+i CITOSEQ, titulado “Ciencia ciudadana y TIG para la evaluación de los riesgos compuestos sequías-olas de calor” (ref. PID2022-139046OA-I00), financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de España en la convocatoria 2022.

REFERENCIAS

- Adn40Mx (2024). Viven entre malos olores: pobladores de Naucalpan denuncian relleno sanitario [en línea]. <https://www.youtube.com/watch?v=EnRJZp3oLpM01/03/2025>
- AENOR (2004). UNE-EN 13725:2004. Calidad del aire. Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica. Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid, España, 70 pp.
- AENOR (2022). UNE-EN 13725:2022. Emisiones de fuentes estacionarias. Determinación de la concentración de olor por olfatometría dinámica y tasa de emisión de olor. Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid, España, 142 pp.
- Aguay-Saquicaray D.C. (2024). Modelado matemático y simulación numérica de la dispersión de contaminantes en el medio ambiente. MQRInvestigar 8 (3), 5017-5037. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.3.2024.5017-5037>
- Álvarez López R.J. (2017). Afectaciones socio ambientales por vertederos de residuos en Zapopan, Jalisco. Un enfoque desde la salud ambiental. Tesis de Maestría. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias y Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México, 140 pp.
- Arias Tamayo D. (2025). Bogotá se resiste a eliminar un modelo de gestión de residuos que enferma a las personas y al medioambiente. Climate Tracker [en línea]. <https://climatetrackerlatam.org/historias/bogota-se-resiste-a-eliminar-un-modelo-de-gestion-de-residuos-que-enferma-a-las-personas-y-al-medioambiente/02/03/2025>
- Ávila Quijas A.O. (2021). Los derechos de propiedad en los márgenes de la ciudad. Un galimatías institucional. En: Causas, procesos y retos en León de los Aldama, Guanajuato (Coronado Ramírez J.L., Ed.). Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México, pp. 119-132.
- Banta R.M. y Gannon P.T. (1995). Influence of soil moisture on simulations of katabatic flow. Theoretical and Applied Climatology 52 (1), 85-94. <https://doi.org/10.1007/BF00865509>
- Barclay J. y Borissova M. (2013). Potential problems using Aermot to implement current odor regulations for WWTPs. Memorias. 5th International Water Association Conference on Odors and Air Emissions, San Francisco, EUA, 4-7 de marzo.
- Bax C., Sironi S. y Capelli L. (2020). How can odors be measured? An overview of methods and their applications. Atmosphere 11 (1), 1-27. <https://doi.org/10.3390/atmos11010092>
- Bidlingmaier W. (1996). Odour emissions from composting plants. En: The science of composting (de Bertoldi M., Sequi P., Lemmes B. y Papi T., Eds.). Springer, Dordrecht, Holanda, 71-80.
- Braun E. (1997). El saber y los sentidos. 2a ed. Fondo de Cultura Económica, México, D.F., 151 pp.
- Brinkmann T., Both R., Scalet B.M., Roudier S. y Delgado L. (2018). JRC reference report on monitoring of emissions to air and water from IED installations. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 196 pp. <https://doi.org/10.2760/344197>
- Bueno Márquez P., Díaz Blanco M.J. y Cabrera Capitán, F. (2008). Factores que afectan al proceso de compostaje. En: Compostaje (Moreno Casco J. y Moral Herrero R., Eds.). Mundi-Prensa, Madrid, España, 93-110.
- BMU (2002). Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Colonia, Alemania, 180 pp.
- BMU (2021). Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft 2021). Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Berlín, Alemania, 144 pp.
- Bull M., McIntyre A., Hall D., Allison G., Redmore J., Pullen J., Caird L., Stoaling M. y Fain R. (2014). IAQM Guidance on the assessment of odour for planning. Institute of Air Quality Management. Londres, Reino Unido, 45 pp.
- Camacho N. (2024). Calor y lluvia disparan malos olores en el relleno de Chiltepeque. e-Consulta [en línea]. <https://www.e-consulta.com/nota/2024-05-20/medioambiente/calor-y-lluvia-disparan-malos-olores-en-el-relleno-de-chiltepeque> 15/12/2024
- Cartelle Fernández D., Díaz Jiménez C.N., Vellón Graña J.M. y Rodríguez López A. (2015). PrOlor, predice incidentes de olor con dos días de antelación [en línea]. <https://www.olores.org/es/tecnicas/modelos-de-dispersion/396-prolor-predice-olores-c20/12/2024>
- CE (2010). Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) (versión refundida). Comisión Europea, Diario Oficial de la Unión Europea, Luxemburgo, 24 de noviembre de 2010.

- CE (2018). Decisión de ejecución (UE) 2018/1147 de la Comisión de 10 de agosto de 2018 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en el tratamiento de residuos, de conformidad con la Directiva 2010. Comisión Europea, Diario Oficial de la Unión Europea, Luxemburgo, 10 de agosto de 2018.
- CEN (2008). Detection and assessment of odour in ambient air (Guideline on odour in ambient air-GOAA). CEN/TC 264/WG 27 N 185. Segunda versión, suplementada y actualizada. Comité Europeo de Normalización, Bruselas, Bélgica, 59 pp.
- CNIC (2010). Informe contaminación odorífera 2010. Centro Nacional de Información de la Calidad, Madrid, España, 5 pp.
- CONAMA (2010). Contaminación odorífera 2010. Informe. Fundación Conama, Madrid, España, 106 pp.
- Chang C.H. y Meroney R.N. (2003). Concentration and flow distributions in urban street canyons: Wind tunnel and computational data. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 91 (9), 1141-1154. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(03\)00056-4](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(03)00056-4)
- Cid J.C. (2014). El perfil meteo-FIDO: una nueva herramienta para la discriminación entre fuentes de olores y la verificación de quejas. Memorias. XII Congreso Nacional de Medio Ambiente. Madrid, España. 24-27 de noviembre.
- Daniels M.H., Chow F.K. y Poulos G.S. (2006). Effects of soil moisture initialization on simulations of atmospheric boundary layer evolution in Owens Valley. Memorias. AMS 12th Conference on Mountain Meteorology. Santa Fe, EUA, 27 de agosto-1 de septiembre.
- De Franceschi M. y Zardi D. (2009). Study of wintertime high pollution episodes during the Brenner-South ALPNAP measurement campaign. *Meteorology and Atmospheric Physics* 103 (1), 237-250. <https://doi.org/10.1007/s00703-008-0327-2>
- De Wekker S.F., Kossmann M., Knierl J.C., Giovannini L., Gutmann E.D. y Zardi D. (2018). Meteorological applications benefiting from an improved understanding of atmospheric exchange processes over mountains. *Atmosphere* 9 (10), 1-28. <https://doi.org/10.3390/atmos9100371>
- DEFRA (2010). Odour guidance for local authorities. Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres, Reino Unido, 110 pp.
- DEPWA (2002). Odour methodology guideline. Department of Environmental Protection of Western Australia, Perth, Australia, 32 pp.
- Díaz Jiménez C.N., Cartelle Fernández D. y Barclay J. (2014). Revisión de modelos de dispersión normativos, una clave importante en la gestión de olores en el medio ambiente. Memorias. Seminario Internacional de Olores en el Medio Ambiente. Santiago, Chile, 4-5 de marzo.
- Dollfus O. (1976). El espacio geográfico. Oikos-Tau, Barcelona, España, 125 pp.
- Easom G. (2000). Improved turbulence models for computational wind engineering. Tesis de Doctorado. University of Nottingham, Reino Unido, 237 pp.
- Eckmann T.C., Wright S.G., Simpson L.K., Walker J.L., Kolmes S.A., Houck J.E. y Velasquez S.C. (2018). Combining ordinary kriging with wind directions to identify sources of industrial odors in Portland, Oregon. *PLOS ONE* 13 (1), 1-30. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189175>
- EA (2002). Assessment of community response to odorous emissions. Reporte. R&D Technical Report P4-095/TR. Environment Agency, Bristol, Reino Unido, 125 pp.
- EPA (2009). Air dispersion modelling from industrial installations. Guidance note AG4. Environmental Protection Agency, Office of Environmental Enforcement, Wexford, Irlanda, 76 pp.
- ESRI (2024). World imagery. Environmental Systems Research Institute (ESRI) [en línea]. <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?center=-101.7768595,21.1759753&level=14> 12/02/2024
- Finardi S., Morselli M.G. y Jeannot P. (1997). Wind flow models over complex terrain for dispersion calculations. Report of Working Group 4. Cost Action 710. Pre-processing of meteorological data for dispersion models, 51 pp.
- Flores M. (2022). Familias sufren por malos olores del relleno sanitario de Chiltepeque. *El Sol de Puebla* [en línea]. <https://oem.com.mx/elsoldepuebla/local/familias-sufren-por-malos-olores-del-relleno-sanitario-de-chiltepeque-19551950> 18/12/2024
- García M., Ramírez H., Ulloa H., Arias S. y Pérez A. (2014). Las inversiones térmicas y la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de Guadalajara (México). *Investigaciones Geográficas* (58), 9-29. <https://doi.org/10.14198/INGEO2012.58.01>
- García López J. (2017). Viven miles en casas cercanas al basurero. *Periódico AM León* [en línea]. https://www.pressreader.com/mexico/periodico-am-leon/20170710/281676844946834?srltid=AfmBOoqiVfT81GENdBW1afm05eCeQrw4dEx9Rt_Bq_00fQX5RwYWLyc 22/12/2024
- Giovannini L., Zardi D., De Franceschi M. y Chen F. (2014). Numerical simulations of boundary-layer processes and urban-induced alterations in an Alpine valley. *International Journal of Climatology* 34 (4), 1111-1131. <https://doi.org/10.1002/joc.3750>
- Gohm A., Harnisch F., Vergeiner J., Obleitner F., Schnitzhofer R., Hansel A., Fix A., Neining B.,

- Emeis S. y Schäfer K. (2009). Air pollution transport in an Alpine valley: Results from airborne and ground-based observations. *Boundary-Layer Meteorology* 131 (3), 441-463. <https://doi.org/10.1007/s10546-009-9371-9>
- Gómez Delgado M. y Barredo Cano J.I. (2005). Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Ra-Ma, Paracuellos del Jarama, España, 279 pp.
- Guadalupe-Fernández V., de Sario M., Vecchi S., Bauleo L., Michelozzi P., Davoli M. y Ancona C. (2021). Industrial odour pollution and human health: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health* 20 (1), 1-21. <https://doi.org/10.1186/s12940-021-00774-3>
- Guo H., Jacobson L.D., Schmidt D.R. y Nicolai R.E. (2001). Calibrating INPUFF-2 model by resident-panelists for long-distance odor dispersion from animal production sites. *Applied Engineering in Agriculture* 17 (6), 859-868. <https://doi.org/10.13031/2013.6840>
- Hanna S.R. y Strimaitis D.G. (1990). Rugged terrain effects on diffusion. En: *Atmospheric processes over complex terrain* (Blumen W., Ed.) American Meteorological Society, Boston, EUA, 109-143. https://doi.org/10.1007/978-1-935704-25-6_6
- Hau R.D. (2024). Relleno sanitario de Mérida se convierte en una amenaza para los habitantes de Chalmuch. Por Esto! [en línea]. <https://www.poresto.net/yucatan/2024/2/24/relleno-sanitario-de-merida-se-convierte-en-una-amenaza-para-los-habitantes-de-chalmuch.html> 10/01/2025
- Iglesias García A.R. (2008). Contaminación atmosférica por olores: unas técnicas de medida avanzadas y una legislación específica inexistente. Memorias. IX Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, España, 1-5 de diciembre.
- IMPLAN (2010). Atlas de riesgos para el municipio de León, Guanajuato. Instituto Municipal de Planeación de León, León, México, 494 pp.
- IMPLAN (2023). Actualización del atlas de riesgo para la ciudad de León, Guanajuato 2023. Tomo I. Instituto Municipal de Planeación de León, León, México, 251 pp.
- INEGI (1989). Cartas de efectos climáticos regionales. Mayo-octubre. Segundo periodo. Entidad federativa: Guanajuato. Hoja F-14-7. Escala 1:250 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- INEGI (2013). Continuo de elevaciones mexicano (CEM) [en línea]. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/?lat=21.1759753&lng=-101.7768595&zoom=14> 12/02/2024
- INEGI (2021). Censo de población y vivienda. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México [en línea]. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/12/02/2024>
- INEGI (2023). Marco geoestadístico, diciembre 2023 [en línea]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=794551067314> 12/02/2024
- Kitson J., Leiva M., Christman Z. y Dalton P. (2019). Evaluating urban odor with field olfactometry in Camden, NJ. *Urban Science* 3 (3), 93. <https://doi.org/10.3390/urbansci3030093>
- Jacobson L.D., Guo H., Schmidt D.R. y Nicolai R.E. (2000). Development of an odor rating system to estimate setback distances from animal feedlots: Odor from feedlots-setback estimation tool (OFFSET). Memorias. American Society of Agricultural Engineers Annual International Meeting, Milwaukee, EUA, 9-12 de julio.
- Jiménez Mayagoitia C. (2025). Tiraderos de basura en Guanajuato arden sin control; persisten irregularidades en municipios. Periódico AM [en línea]. <https://www.am.com.mx/guanajuato/2025/3/24/tiraderos-de-basura-en-guanajuato-arden-sin-control-persisten-irregularidades-en-municipios-735393.html> 26/03/2025
- Johansson P. (2016). Modeling 101: Intro to dispersion modeling programs and process. Carolinas Air Pollution Control Association. Memorias. Carolina Air Pollution Control Association Meeting, WinstonSalem, EUA, 13 de octubre.
- Labaqua (2011). Metodologías para abordar un estudio de impacto ambiental por olores. Memorias. Jornada Innovación para la Sostenibilidad: Olfactometría. Madrid, España, 16 de junio.
- Lehner M. y Rotach M.W. (2018). Current challenges in understanding and predicting transport and exchange in the atmosphere over mountainous terrain. *Atmosphere* 9 (7), 1-28. <https://doi.org/10.3390/atmos9070276>
- Mannebeck D. (2017). Olfactometers according to EN 13725. En *Springer handbook of odor* (Buettner A., Ed.). Springer, Cham, Suiza, 61-62. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26932-0_24
- Majid A., Roberts S.G., Cilissen L., Emmorey K., Nicodemus B., O'Grady L., Woll B., LeLan B., De Sousa H., Cansler B.L., Shayan S., De Vos C., Senft G., Enfield N.J., Razak R.A., Fedden S., Tufvesson S., Dingemans M., Ozturk O., Brown P., Hill C., Le Guen O., Hirtzel V., Van Gijn R., Sicoli M.A. y Levinson S.C. (2018). Differential coding of perception in the world's languages. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (45), 11369-11376. <https://doi.org/10.1073/pnas.1720419115>
- McGinley C. M. y McGinley M. A. (2000). Odor intensity scales for enforcement, monitoring, and testing. Memorias. Annual Conference of the Air and Waste

- Management Association, Salt Lake City, EUA, 18-22 de junio.
- MECP (2023). Guideline A-11: Air dispersion modelling guideline for Ontario. Ministerio de Medio Ambiente, Conservación y Parques de Ontario, Toronto, Canadá, 159 pp.
- Méndez Valadez J.T. (2018). Afecta a vecinos olores fétidos de relleno sanitario. Periódico AM [en línea]. <https://www.am.com.mx/news/2018/3/4/afecta-vecinos-olores-fetidos-de-relleno-sanitario-332985.html> 19/12/2024
- MMA (s.f.). ¿Cómo se mide el olor? Ministerio del Medio Ambiente de Chile [en línea]. <https://olores.mma.gob.cl/como-se-mide/> 05/05/2025
- MMA (2023). Decreto 9. Establece norma de emisión de contaminantes en planteles porcinos que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población. Ministerio del Medio Ambiente de Chile. Biblioteca Nacional del Congreso de Chile, Chile, 6 de febrero.
- MSPS-OPS (2012). Convenio de cooperación técnica No. 485/10. Lineamiento para la vigilancia sanitaria y ambiental del impacto de los olores ofensivos en la salud y calidad de vida de las comunidades expuestas en áreas urbanas. Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia-Organización Panamericana de la Salud. Bogotá, Colombia, 141 pp.
- MfE (2002). Review of odour management in New Zealand. Technical Background Report. Ministry for the Environment, Wellington, Nueva Zelanda, 210 pp.
- Montes Cortés C. (2019). Relleno sanitario Doña Juana: una solución llena de problemas [en línea]. <https://medioambiente.uexternado.edu.co/relleno-sanitario-dona-juana-una-solucion-llena-de-problemas/20/12/2024>
- Moonen P., Defraeye T., Dorer V., Blocken B. y Carmeliet J. (2012). Urban physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand. *Frontiers of Architectural Research* 1 (3), 197-228. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2012.05.002>
- Mosquera J., Gómez O.L. y Méndez F. (2009). Percepción del impacto del vertedero final de basuras en la salud y en el ambiente físico y social en Cali. *Revista de Salud Pública* 11 (4), 549-558.
- MUSA (2021). Plan municipal de desarrollo de Unión de San Antonio, Jalisco 2021-2024. Municipio de Unión de San Antonio, Jalisco, México, 154 pp.
- Nolazco Tapia C.S. (2015). La utilización del protocolo FIDO como herramienta metodológica para determinar la molestia por olores de alimentos en el distrito de Miraflores. Memorias. III Conferencia Internacional sobre gestión de Olores en el Medio Ambiente, Bilbao, España. 23-24 de noviembre.
- PASA (2019). Informe anual 2018. Toneladas confinadas en el relleno sanitario. Informe interno. Promotora Ambiental, León, Guanajuato, México.
- Pelliconi M., Andretta M. y Righi S. (2024). The screening evaluation of environmental odors: A new dispersion modelling-based tool. *Environmental Science and Pollution Research* 31, 50529-50543. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34505-1>
- Piccardo M.T., Geretto M., Pulliero A. y Izzotti A. (2022). Odor emissions: A public health concern for health risk perception. *Environmental Research* 204, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112121>
- Piringer M. y Schaubberger G. (2012). Dispersion modelling for odour exposure assessment. En: *Odour impact assessment handbook* (Belgiorno V., Naddeo V y Zarra T., Eds.). John Wiley and Sons, Chichester, Reino Unido, 125-175. <https://doi.org/10.1002/9781118481264.ch5>
- Reinartz J. (2014). Past scents: Historical perspectives on smell. University of Illinois Press, Urbana, EUA, 296 pp. <https://doi.org/10.1515/cog-2014-0089>
- Rendón A.M., Salazar J.F., Palacio C.A., Wirth V. y Brötz B. (2014). Effects of urbanization on the temperature inversion breakup in a mountain valley with implications for air quality. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 53 (4), 840-858. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-13-0165.1>
- Sáenz L.E., Zambrano D.A. y Calvo J.A. (2016). Community perception of odors generated by the wastewater treatment plant El Roble-Puntarenas, Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(2), 137-149. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i2.2697>
- Salamanca F., Martilli A. y Yagüe C. (2011). A numerical study of the urban heat island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. *International Journal of Climatology* 32 (15), 2372-2386. <https://doi.org/10.1002/joc.3398>
- Schiffman S.S. y Williams C.M. (2005). Science of odor as a potential health issue. *Journal of Environmental Quality* 34 (1), 129-138. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0129a>
- SEDUE (1988). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Diario Oficial de la Federación, México, 28 de enero.
- SEMARNAT (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción y operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación, México, 10 de octubre.

- SEMARNAT (2021). Proyecto de Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003: Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Diario Oficial de la Federación, México, 10 de mayo.
- SIAP (2020). Programa municipal para la prevención y gestión de residuos para el municipio de León, Guanajuato. Sistema Integral de Aseo Público de León, León, Guanajuato, México, 616 pp.
- Steyn D. G., De Wekker S. F., Kossmann M. y Martilli A. (2013). Boundary layers and air quality in mountainous terrain. En: Mountain weather research and forecasting (Chow F. K., de Wekker S.F.J., Snyder B.J., Eds.). Springer, Dordrecht, Holanda, 261-289. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4098-3_5
- Suler D.J. y Finstein M.S. (1977). Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Applied and Environmental Microbiology* 33 (2), 345-350. <https://doi.org/10.1128/aem.33.2.345-350.1977>
- Tagle D., Álvarez L.C. y Fuente M. (2025). Compostaje descentralizado de residuos orgánicos en viviendas urbanas: análisis de viabilidad ambiental y financiera para León, Guanajuato. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 41, 51-64. <https://doi.org/10.20937/RICA.55133>
- TCEQ (2007). Odor complaint investigation procedures. Texas Commission on Environmental Quality, Austin, Texas, EUA, 17 pp.
- Toro V. (2014). Método para el monitoreo de olores ofensivos [en línea]. <http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/06/Metodo-para-el-Monitoreo-de-Olores-Ofensivo.pdf> 28/12/2024
- TV4N (2023). Quedan cinco años de vida al relleno sanitario de León. TV4 Noticias [en línea]. <https://tv4noticias.com/guanajuato/quedan-cinco-anos-de-vida-al-relleno-sanitario-de-leon> 21/12/2024
- USEPA (1990). 40 CFR part 51, section 123. Stack heights (Clean Air Act). United States Environmental Protection Agency, EUA. 1990.
- USEPA (2024). AERMOD implementation guide. AERMOD Implementation Workgroup, Office of Air Quality Planning and Standards, United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, EUA, 42 pp.
- Velazco I. (2022). “Es imposible salir de casa”: vecino de Paseo de los Leones por olores del relleno sanitario. *El Heraldo de Chihuahua* [en línea]. <https://oem.com.mx/elheraldodechihuahua/local/es-imposible-salir-de-casa-vecino-de-paseo-de-los-leones-por-olores-del-relleno-sanitario-14489583> 18/12/2024
- VDI (1986). VDI 3881 Blatt 1. Geruchsschwellenbestimmung. Grundlagen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Alemania, 28 pp.
- VDI (1992). VDI 3882 Part 1. Olfactometry-determination of odour intensity. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Alemania, 27 pp.
- VDI (1994). VDI 3882. Olfactometry-determination of hedonic odour tone. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Alemania, 31 pp.
- VDI (2006). VDI 3940 Part 1. Measurement of odour impact by field inspection-Measurement of the impact frequency of recognizable odours-Grid measurement. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, Alemania, 44 pp.
- VDI (2015). VDI 3883 Part 1 2015. Effects and assessment of odours-Assessment of odour annoyance-Questionnaires. Verein Deutscher Ingenieure, Dusseldorf, Alemania, 95 pp.
- Villarrog J., Miguel D., García M., Macías A., Beltrán I. y Climent J. (2021). Evaluación innovadora del impacto de los olores en las EDAR mediante técnicas experimentales y de modelización de la dispersión. Memorias. IX Conferencia de la IWA Sobre Olores y COVs. Bilbao, España, 26-27 de octubre.
- Zapata J.F. (2015). La resolución 1541 de noviembre 12 de 2013 modificada por las resoluciones nº 672 y 1494 de 2014 [en línea]. <https://www.cornare.gov.co/SIAR/aire/OLORES/CONTENIDO/PRESENTACION-OLORES.pdf>
- Zardi D. y Whiteman C.D. (2013). Diurnal mountain wind systems. En: Mountain weather research and forecasting (Chow F. K., de Wekker S.F.J., Snyder B.J., Eds.). Springer, Dordrecht, Holanda, 35-119. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4098-3_2
- Zarra T., Cimatoribus C., Oliva G. y Belgiorno V. (2021). Proactive approach for odour emissions characterization in wastewater treatment plant by H₂O odour system. *Chemical Engineering Transactions* 85, 43-48. <https://doi.org/10.3303/CET2185007>
- Zheng G., Liu J., Shao Z. y Chen T. (2020). Emission characteristics and health risk assessment of VOCs from a food waste anaerobic digestion plant: A case study of Suzhou, China. *Environmental Pollution* 257, 113546. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113546>
- Zhu N. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology* 97 (15), 1870-1875. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.08.011>