



Impacto ambiental y emisión de metano del botadero de basura de Naranjito, Guayas – Ecuador

Freddy Carlos Gavilánez Luna¹ , César Ernesto Morán Castro¹  & Gabriela Campoverde Verdugo¹ 

1. Universidad Agraria del Ecuador, Ciudad Universitaria Milagro “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”, Av. La Granja y Emilio Morgner, Milagro, Ecuador; fgavilanez@uagraria.edu.ec, cmoran@uagraria.edu.ec, gaby_campo_91@outlook.com

Recibido 06-II-2024 • Corregido 27-V-2024 • Aceptado 28-V-2024
<https://doi.org/10.22458/urj.v16i1.5173>

ABSTRACT. “Environmental impact and methane emission from the Naranjito garbage dump, Guayas – Ecuador”. **Introduction:** Outdoor garbage disposal and accumulation sites concentrate water, soil and atmospheric pollution; however, there is little information on this problem in Ecuador. **Objective:** Assess the environmental impact, including methane emissions, from the open-air garbage dump in Naranjito, Ecuador. **Methods:** To determine the methane emission rate from solid waste biomass, we applied the static camera method, with a portable device, for 15 continuous days (May-June 2023) and at 08:00, 12:30 and 16:00. For the qualitative evaluation of environmental impact, we used the Global Index weighting, based on the impacts generated in the physical and perceptual environment. **Results:** The global Index was 53,3, i.e. critical impact; mean emission rate was 858,8mg/m²/h, higher than the emission rate of the surrounding soil (133,4mg/m²/h; p<0,05). **Conclusion:** A sustainable management alternative is urgent to reduce the methane emission rate in Naranjito.

Keywords: biogas, landfill, leachate, recycling, urban solid waste.

RESUMEN. Introducción: Los sitios de eliminación y acumulación de basura al aire libre concentran la contaminación del agua, el suelo y el aire; sin embargo, hay poca información sobre este problema en Ecuador. **Objetivo:** Evaluar el impacto ambiental, incluidas las emisiones de metano, del vertedero al aire libre en Naranjito, Ecuador. **Métodos:** Para determinar la tasa de emisión de metano de la biomasa de residuos sólidos, aplicamos el método de cámara estática, con un dispositivo portátil, durante 15 días continuos (mayo-junio 2023) a las 08:00, 12:30 y 16:00. Para la evaluación cualitativa del impacto ambiental utilizamos la ponderación del Índice Global, basada en los impactos generados en el entorno físico y perceptual. **Resultados:** El Índice Global fue de 53,3, es decir, impacto crítico; la tasa media de emisión fue de 858,8mg/m²/h, superior a la tasa de emisión del suelo circundante (133,4mg/m²/h; p<0,05). **Conclusión:** Es urgente una alternativa de gestión sostenible para reducir la tasa de emisión de metano en Naranjito.

Palabras clave: biogás, lixiviados, reciclaje, relleno sanitario, residuos sólidos urbanos.

Los botaderos de basura a cielo abierto son las alternativas de manejo de los residuos sólidos urbanos (RSU) que utiliza la gran mayoría de ciudades debido a limitaciones económicas en algunos casos y/o falta de conciencia ambiental en otros. Estos sitios, que no tienen planificación ni manejo técnico, son fuentes incontrolables de contaminación de suelos, agua y aire. Los suelos sobre los que se realiza la acumulación de los RSU quedan inutilizados posteriormente para otros usos; así también los recursos hídricos circundantes sufren contaminación por la diversidad de toxinas (Al-Wabel et al., 2022), nitratos y metales pesados que se filtran mediante los lixiviados, contaminando incluso las aguas freáticas (Mama et al., 2021; Sáez & Urdaneta, 2014).

En estos sitios se produce una generación desmedida y difusa de gases de efecto invernadero (GEI), especialmente metano (CH₄) (Köfalusi & Aguilar, 2006), en una proporción de 50 a 70% de todo el biogás producido (Rivera et al., 2008). La emisión desmedida de CH₄ provenientes de los botaderos contribuye con el 9 al 21% de la concentración de este gas en la atmósfera (Ghosh,

et al., 2019) y su peligrosidad en el ambiente se debe a su potencial de calentamiento global: 25 veces superior al CO₂ (Barraso et al., 2021).

En el Ecuador, el manejo de los desechos sólidos y de actividades de saneamiento ambiental es competencia exclusiva de cada uno de los 221 Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) Municipales en que se divide todo el territorio nacional (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización [COOTAD], 2019). Cada ecuatoriano, en la zona urbana, registra en promedio una producción per cápita diaria (ppc) de 0,9kg de residuos sólidos que hacen que en el país se genere un total de 14 394t/día de RSU, de las cuales, el 54,9% corresponde a desechos orgánicos y el 45,1% a desechos inorgánicos; éstos últimos conformados por plástico (11,3%), desechos sanitarios (6,8%), cartón (5,2), papel (4,3) y otros (17,5%) (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2022).

Si bien en Ecuador el 54,5% de los GAD municipales disponen sus RSU en rellenos sanitarios y otro 28,2% lo hace en celdas emergentes, existen todavía 38 municipios que colocan sus desechos en botaderos de basura a cielo abierto (INEC, 2022). No obstante, a pesar de que un gran número de municipalidades ha optado por el uso de rellenos sanitarios, a este procedimiento no se le acompaña efectivamente con medidas de gestión integral que busquen la valorización y el reúso de los desechos, de tal manera que se amplíe la vida útil de estas instalaciones (Solórzano & Villalba, 2018), pues según el INEC (2022), apenas el 16,6% de los municipios realiza recolección diferenciada de los RSU.

La ciudad de Naranjito es uno de los 25 cantones de la provincia del Guayas y tiene una población aproximada de 40 161 habitantes (considerando el Censo Nacional del 2010 y afectada por la tasa de crecimiento de 1,08) (INEC, 2010). Cuenta con un botadero de basura a cielo abierto, ubicado a unos ocho kilómetros del perímetro urbano, cuyo espacio comprende 3,76ha y en donde se depositan los residuos de la población urbana. La ciudad genera, en promedio, 11,0t/día de RSU (Gobierno Autónomo Descentralizado de Naranjito [GAD-Naranjito], 2020) que, al ser depositadas en el botadero sin ninguna medida de gestión ambiental, favorecen la contaminación progresiva del ambiente. De allí que esta investigación buscó aportar con datos y resaltar la incidencia de los efectos negativos en el ambiente, que al final sirvan como efecto motivador para un manejo integral y sostenible de los RSU. Por ello, los objetivos propuestos consistieron en evaluar el impacto ambiental y cuantificar la emisión de metano del botadero de basura a cielo abierto de la ciudad de Naranjito.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del sitio de estudio: La ciudad de Naranjito se encuentra dentro de una zona de clima tropical, con una lluvia anual promedio de 1 498mm, concentrada mayoritariamente entre los meses de diciembre a abril; temperaturas medias máxima y mínima de 29,2°C y 20,9°C, respectivamente; humedad relativa del 82%; con dos horas diarias de insolación en promedio (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], s.f.). Es una ciudad cuyo desarrollo principal viene de actividades agrícolas, con una población en donde el 3,7% no ha recibido ninguna educación, el 4,5% tiene educación primaria, el 61,2% cuenta con educación secundaria y el 30,7% ha recibido educación universitaria (Asas & Olmedo, 2022).

Método de evaluación del impacto ambiental: Para la valoración del impacto ambiental del botadero utilizamos la metodología del índice global (Ig) propuesta por Conesa (2010), el cual es un procedimiento semi-cualitativo que valora el impacto producido sobre el medio físico (Imf) y el perceptual (Imp) (Apéndice, Tabla 1A), recomendado para valorar los impactos de vertederos de

RSU. Los parámetros de las expresiones que se aplican en el procedimiento (Tabla 1A) se deducen con las respectivas escalas que han sido propuestas por el autor del método y que convierten la valoración cualitativa en cuantitativa. Según este mismo autor y de acuerdo a los valores de I_g , los impactos pueden ser clasificados como Bajo (<10), Moderado (10-20), Medio (20-35), Notable (35-50) y Crítico (>50).

Medición de metano: Para la medición de la tasa de emisión de metano sobre las masas de basura en el botadero, utilizamos el procedimiento de cámara estática (Herrera et al., 2013). Para ello construimos una cámara acrílica transparente, de un metro de lado y 0,7m de altura, con una base de 0,20m de altura (Fig. 1). Colocamos un ventilador de seis voltios en la parte superior de la cámara para homogeneizar la concentración de CH_4 al interior de la misma al momento en que tomábamos las lecturas. Registramos durante 15 días consecutivos (20/05/23 – 03/06/23), en la mañana (08h00), al mediodía (12h30) y en la tarde (16h00), tres réplicas por lectura durante una hora. Tomamos las réplicas cada 20 minutos, tiempo que nos permitía acumular el gas para el registro respectivo. Realizamos las lecturas de concentración con un equipo portátil, marca Forensics Detector, cuyo sensor introducimos en la cámara en cada medición, reportando tanto la concentración de metano (ppm) como la temperatura ($^{\circ}F$). Utilizamos la expresión propuesta por los autores Naser et al. (2010) para establecer el flujo de emisión de CH_4 , cuyo planteamiento es:

$$F_E = \rho \times h \times \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{273}{T} \quad (4)$$

En la expresión (4), el flujo de emisión de CH_4 (F_E) se obtiene en unidades de $mg/m^2/hora$, considerando que la densidad ρ del gas esté dada en la unidad de kg/m^3 . Para este último parámetro, utilizamos el valor de $0,716kg/m^3$ como condición estándar, según Naser et al. (2010). En la expresión indicada también se debe tener en cuenta la altura h desde el suelo hasta la parte superior de la cámara, medida en metros; mientras que la tasa registrada con el equipo ($\Delta C / \Delta t$) debe incluirse en unidades de ppm/hora. La expresión planteada tiene un ajuste por temperatura (T) dado por el valor de $273/T$, en donde T debe colocarse en unidades absolutas (kelvins, K).



Fig. 1. Cámara estática y proceso de registro de CH_4 .

Comparamos los datos de emisión con la tasa de referencia, la cual obtuvimos al tomar tres lecturas en el área cercana al botadero, en un espacio de suelo sin residuos. Con estos valores, aplicamos un test de comparación de medias utilizando la distribución de probabilidad t de Student, y consideramos un error tipo I del 5% (Montgomery, 2004).

RESULTADOS

Valoración del impacto ambiental: Luego del análisis respectivo de las condiciones actuales del botadero de basura, aplicamos los baremos respectivos que permitieron definir los impactos sobre la vegetación natural, la calidad del aire, la fauna y la calidad del agua (Tabla 1). Con estos valores establecimos un índice de 27,0 como impacto del medio físico. De la misma forma, al realizar la valoración perceptiva de los impactos en cuanto a la diferencia de color, morfología del elemento constructivo, naturaleza del elemento constructivo, cambio por la implantación del elemento constructivo y la calidad del paisaje (Tabla 1), fijamos una valoración de 52,5 como impacto sobre medio perceptual. Finalmente, determinamos un índice global de 53,3. Esta calificación específica del Ig nos permite concluir que el impacto total generado por el botadero de basura de la ciudad de Naranjito es crítico, ya que supera el umbral de 50.

Tabla 1.

Valoración cualitativa de los factores de impacto del índice global (impacto total) del botadero de Naranjito, según escalas de Conesa (2010).

Id	Índice	Interpretación según escalas	Valor asignado
<i>Iv</i>	Factor de impacto sobre la vegetación natural	Según el sitio de ubicación del botadero de basura, éste se encuentra inserto dentro de terrenos agrícolas que lo rodean, dedicados al cultivo de caña de azúcar. Se buscó adoptar una calificación intermedia dada en la escala, con valores límites de 5 a 8.	7
<i>Ia</i>	Factor de impacto sobre la calidad del aire	El sitio puede emitir polvo de forma ocasional y de corto alcance (< 1km) que afectan a escasos bienes o personas, debido a que el botadero está ubicado fuera de la zona poblada. Además de considerar la emisión de malos olores de manera continua.	5
<i>If</i>	Factor de impacto sobre la fauna	Se consideró una alteración moderada sobre los hábitats de roedores y aves de carroña que son atraídos hacia el sitio, considerando un valor intermedio de los límites 2 a 5 de la escala.	4
<i>Iw</i>	Factor de impacto sobre la calidad del agua	Los lixiviados generados escurren de forma superficial, afectando el agua de los sistemas de drenaje del terreno circundante. Otra parte se infiltra y contamina las fuentes subterráneas de agua que sirve para consumo humano y para el riego de cultivos. En este caso, se consideraron los límites de 5 a 7 para todos los usos de agua superficial y los límites de 4 a 6 para los usos de agua subterránea, cuyo valor adoptado es la suma de los valores medios.	11
<i>Ic</i>	Factor de impacto por diferencia de color	La diversidad de residuos dispersados en el área del botadero genera diferencias de tonalidades que	5

		pueden ser consideradas, de acuerdo a la escala, como significativas. En este caso los límites son de 3 a 6.	
<i>Im</i>	Factor de impacto sobre la morfología del elemento constructivo	Considerando las formas y los volúmenes de RSU, éstos son totalmente distintos a la morfología de la superficie que rodea al botadero. Los límites de la escala para esta consideración están dados por los valores de 4 a 10.	7
<i>In</i>	Factor de impacto producido por la naturaleza del elemento constructivo	Se consideró la clasificación de que los materiales son diferentes a los de la superficie que rodea al botadero, según el grado de diferenciación de los diferentes residuos. Los límites dados para esta clasificación son de 1 a 4.	3
<i>Ii</i>	Índice de implantación del elemento constructivo	Los RSU son materiales diferentes a los de la superficie, de acuerdo al grado de diferenciación. La escala sugerida para este criterio es de 1 a 4.	3
<i>Ip</i>	Factor de impacto sobre la calidad del paisaje	Considerando que la zona circundante al botadero está dedicada al mono-cultivo de caña de azúcar, se declara que la misma es de baja calidad paisajística, cuyos límites de los valores de escala son 0,4 y 0,6.	0,5

Generación de metano: La tasa de emisión de metano presentó una notable variación dentro del periodo de observación, con un promedio mínimo de 532,8mg/m²/h a un promedio máximo de 1 734,8mg/m²/h (Tabla 2), influenciada por las características de los materiales orgánicos y por la temperatura (Nava-Martínez et al., 2010) entre los diferentes días y los diferentes horarios de evaluación. En todos los casos la tasa de emisión de los RSU del botadero fue mayor a 133,4mg/m²/h que fue la tasa de emisión media registrada en el suelo circundante (sin RSU).

Tabla 2.
Valores estadísticos de la emisión de metano (mg/m²/h).

Estadístico	Mañana	Mediodía	Tarde	Media diaria
Mínimo	375,4	505,7	265,0	532,8
Máximo	2 194,0	2 039,7	1 187,0	1 734,8
Promedio	942,5	983,3	650,5	858,8*
Desv. estándar	483,1	410,6	241,3	326,1
IC (95%) -> Li	675,0	755,9	516,9	678,2
IC (95%) -> Ls	1 210,0	1 210,6	784,1	1 039,4
Coef. Variación (%)	51,3	41,8	37,1	38,0

*significativamente diferente ($p < 0,05$) a la emisión del suelo circundante; IC: intervalo de confianza; Li: límite inferior; Ls: límite superior.

Pudimos observar una tendencia hacia la baja en los registros entre la mañana y la tarde (Tabla 2 y Fig. 2), atribuible posiblemente a condiciones de menor temperatura y a la variabilidad de aspectos climáticos como el viento y la presión atmosférica que ocurren durante el día y que favorecen la mayor concentración del gas en los espacios o cavidades de las biomásas incluidos en los RSU (Delkash et al., 2022). Además, un aspecto esencial en la variabilidad que muestran los

registros de CH₄ se debe a la proporción de materiales orgánicos y su grado de descomposición que es muy diverso en cada una de las unidades de área de las masas de basura que están en contacto con la atmósfera (Bo-Feng et al., 2014).

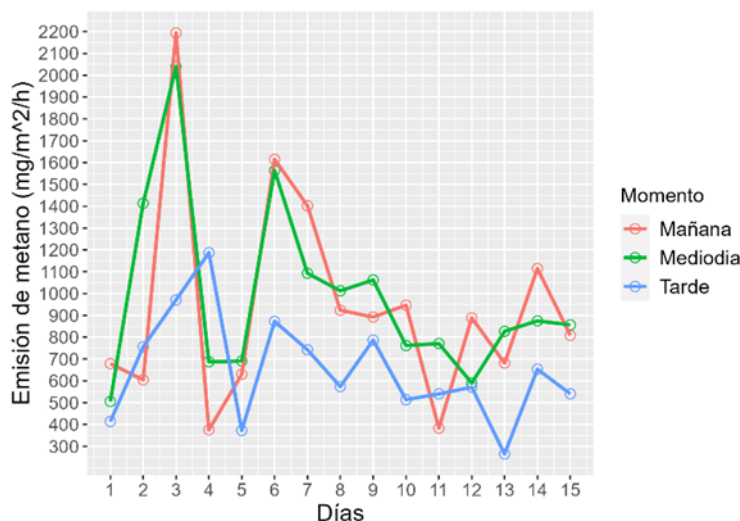


Fig. 2. Registros de la emisión de CH₄.

DISCUSIÓN

Los impactos ambientales originados por los botaderos de basura a cielo abierto siempre traerán consigo efectos negativos, independientemente de la metodología que se utilice para sus valoraciones (Qasim et al., 2020). Los lixiviados, la generación de malos olores, la emisión extralimitada de gases de efecto invernadero y la atracción de fauna indeseable, son los elementos que degradan los espacios en donde se depositan continuamente los RSU de una ciudad y correspondientemente sus percepciones siempre serán de detrimento. Este criterio es consensuado con el índice global crítico que ocasiona el botadero de la ciudad de Naranjito (53,3) y con las diversas metodologías como, por ejemplo, el de la matriz de Leopold utilizado en varios estudios similares, aun a pesar de que esta última valora impactos positivos (Ramazani & Ghanbarzadeh, 2021).

Uno de los problemas consustanciales de los botaderos de RSU son las emisiones de gases de efecto invernadero como el metano. La tasa de emisión de este gas que se origina desde las masas de materiales orgánicos es superior al de un suelo normal (Gómez et al., 2008), lo cual ha sido corroborado por este estudio al obtener una media de 858,8mg/m²/h dentro del botadero (Tabla 2) y una tasa de 133,4mg/m²/h en el terreno circundante sin RSU. La mayor intensidad de emisión de CH₄ se produce en la mañana y al mediodía, mientras que, en la tarde, se reduce sustancialmente en más o menos un 44% (Tabla 2 y Fig. 2); coincidiendo con los resultados publicados por Silva & Ramírez (2020), quienes lograron estimar una emisión de 60 y 40% de CH₄ en la mañana y tarde, respectivamente, en un botadero de RSU de características similares.

Niveles de generación de CH₄ desde botaderos de basura a cielo abierto, distintos a estos resultados por la multiplicidad de factores influyentes, han sido reportados por Börjesson & Svensson (1997) en Suecia, indicando una tasa máxima de 320,8mg/m²/h; o el de Lakmini et al. (2023) en Sri Lanka, quienes reportaron un valor máximo de 10 672mg/m²/h.

La tasa de emisión de metano del suelo encima del cual se vierten los RSU es de

aproximadamente 133,4mg/m²/h, un valor significativamente ($p < 0,05$) menor a la media observada de 858,8mg/m²/h que ocurre sobre los RSU del botadero. Esto es, la emisión de CH₄ que genera el basural es 5,1 veces mayor a la emisión del suelo circundante del área del botadero y, de acuerdo a Purkait & Chakrabarty (2011), podrían generar entre tres a cuatro veces más que los arrozales. Desde este punto de vista, la tasa de emisión de CH₄ del botadero de basura de Naranjito hace imperante la necesidad de aplicar metodologías sostenibles como los rellenos sanitarios, ya que sitios de disposición de RSU como los de la mencionada ciudad representan la fuente antropogénica mayoritaria de gases de efecto invernadero dentro del campo de los residuos (Aristizábal et al., 2015).

El botadero de basura a cielo abierto de la ciudad de Naranjito ocasiona un impacto ambiental crítico, según lo establece su Índice global, a través de una valoración observacional – cualitativa de su incidencia sobre el medio físico y perceptual. Este sitio de disposición de los RSU emite una tasa de metano 5,1 veces mayor al suelo que circunda al botadero, generando una media de 775kgCH₄/día. De allí que, la contaminación recurrente que causa el botadero de basura a cielo abierto de la ciudad de Naranjito establece la necesidad urgente de gestionar adecuadamente sus RSU dentro del contexto de un relleno sanitario, al cual se acompañe con alternativas de reciclaje y reúso, sistemas de tratamiento de los lixiviados; además también se procure la captura y aprovechamiento eficaz de la producción de biogás del mismo, con la perspectiva de utilizarlo, por ejemplo, para complementar el requerimiento de energía eléctrica que tendría la misma instalación.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Agraria del Ecuador por el apoyo de los equipos y a Jimmy Plaza, Director de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado de Naranjito.

ÉTICA, CONFLICTO DE INTERESES Y DECLARACIÓN DE FINANCIAMIENTO

Declaramos haber cumplido con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la preparación de este documento; que no hay conflictos de interés de ningún tipo, y que todas las fuentes financieras se detallan plena y claramente en la sección de agradecimientos. Asimismo, estamos de acuerdo con la versión editada final de esta publicación. El respectivo documento legal firmado se encuentra en los archivos de la revista.

La declaración de contribución de cada autor es la siguiente: F.C.G.L. y C.E.M.C.: Diseño del estudio, recolección y análisis de datos. F.C.G.L. y G.C.V.: Recopilación de datos. Todos los coautores: preparación y aprobación final del manuscrito.

REFERENCIAS

- Al-Wabel, M. I., Ahmad, M., Rashid, H., Rafique, M. I., Ahmad, J., & RA Usman, A. (2022). Environmental issues due to open dumping and landfilling. In P. Pathak, & S. G. Palani. (Eds.). *Circular Economy in Municipal Solid Waste Landfilling: Biomining & Leachate Treatment* (pp. 65-93). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07785-2_4
- Aristizábal, B., Vanegas, E., Mariscal, J., & Camargo, M. (2015). Digestión anaerobia de residuos de poda como alternativa para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero en rellenos sanitarios. *Energética*, *19*(46), 29–36. <https://www.redalyc.org/pdf/1470/147043932005.pdf>
- Asas, N., & Olmedo, V. (2022). *Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de transporte público intra-cantonal en el cantón Naranjito provincia del Guayas* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Chimborazo]. <https://tinyurl.com/2xzsmbj>
- Barraso, C., López-Parra, M. & Rodríguez, P.L. (2021). Efecto de la variedad de orujo de uva sobre la producción de gas y metano in vitro. *Archivos de Zootecnia*, *70*(269), 34–41. <https://tinyurl.com/29v49paw>
- Bo-Feng, C., Jiang-Guo, L., Qing-Xiang, G., Xiao-Qin, N., Dong, C., Lan-Cui, L., Ying, Z., & Zhan-Sheng, Z. (2014). Estimation of Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfills in China Based on Point Emission Sources. *Advances in Climate Change Research*, *5*(2), 81-91. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2014.081>
- Börjesson, G., & Svensson, B. H. (1997). Seasonal and diurnal methane emissions from a landfill and their regulation by methane oxidation. *Waste Management and Research*, *15*(1), 33 –54. <https://doi.org/10.1006/wmre.1996.0063>
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). (2019). República del Ecuador: Registro Oficial. <https://www.cpcps.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Delkash, M., Chow, F. K., & Imhoff, P. T. (2022). Diurnal landfill methane flux patterns across different seasons at a landfill in Southeastern US. *Waste Management*, *144*, 76 – 86. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.03.004>
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Naranjito (GAD-Naranjito). (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial, Naranjito-Provincia del Guayas*. GAD-Naranjito.
- Gómez, R., Filigrana, P., & Méndez, F. (2008). Descripción de la calidad del aire en el área de influencia del botadero de Navarro, Cali, Colombia. *Colombia Médica*, *39*(3), 245–252. <https://tinyurl.com/244yvrlw>
- Gosh, P., Shah, G., Chandra, R., Sahota, S., Kumar, H., Kumar, V., & Shekhar, I. (2019). Assessment of methane emissions and energy recovery potential from the municipal solid waste landfills of Delhi, India. *Bioresource Technology*, *272*, 611– 615. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.10.069>
- Herrera, J., Beita, V., Solórzano, D., Argüello, H., & Rodríguez, A. (2013). Determinación de emisiones de metano y óxido nitroso generadas en plantaciones de arroz en Guanacaste, Costa Rica. *Ciencias Ambientales*, *46*(2), 5–14. <https://doi.org/10.15359/rca.46-2.1>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2010). *Fascículo provincial del Guayas: Resultados del Censo 2010 de Población y Vivienda en el Ecuador*. <https://tinyurl.com/24wu598x>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2022). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales*. <https://tinyurl.com/27hnbqj>
- Köfalusi, K. G., & Aguilar, E. G. (2006). Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta ecológica*, *17*(2), 39 – 51. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53907903>

- Lakmini, P., Jayawardana, D., & Bandara, N. (2023). Quantification of methane and carbon dioxide emissions from an active landfill: study the effect of surface conditions on emissions. *Environmental Earth Sciences*, 82(64), 2–12. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10745-1>
- Mama, C. N., Nnaji, C. C., Nnam, J. P., & Ópata, C. (2021). Environmental burden of unprocessed solid waste handling in Enugu State, Nigeria. *Environ Sci Pollut Res*, 28, 19439–19457. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12265-y>
- Montgomery D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa S.A.
- Naser H. M., Nagata, O., Tamura, S., & Hatano, R. (2010). Methane emissions from five paddy fields with different amounts of rice straw application in central Hokkaido, Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(1), 95-101. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00105.x>
- Nava-Martínez, E. C., García-Flores, E., & Wakida, F. T. (2010). Surface Methane Emission in a Former Dumpsite in Tijuana, Mexico. *International Journal of Environmental Research*, 5(3), 621–626. <https://tinyurl.com/279qu6jn>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (s.f.). *Climwat* [Base de datos]. <https://tinyurl.com/2d4xpmxo>
- Purkait, N. N., & Chakrabarty, D. K. (2011). Pattern of methane emission from a garbage dump. *Current Science*, 101(4), 528 – 531. <http://www.jstor.org/stable/24078985>
- Qasim, M., Xiao, H., He, K., Noman, A., Liu, F., Chen, M., Hussain, D., Jamal, Z., & Li, F. (2020). Impact of landfill garbage on insect ecology and human health. *Acta Tropica*, 211, 105630. <https://tinyurl.com/27g8b8eo>
- Ramazani, H., & Ghanbarzadeh, M. (2021). Landfill site-selection and environmental impact assessment using GIS and RIAM / Iranian Leopold Matrix Methods. *Journal of Environmental Studies*, 47(3), 267-291. <https://doi.org/10.22059/jes.2021.327673.1008216>
- Rivera, D., Méndez, J. & Herrera, L. (2008). Estudio de factibilidad para la implementación de una planta de energía eléctrica en la UNAH, utilizando celdas de combustible a base de gas metano. *Revista Ciencia y Tecnología*, 1(3), 37–52. <https://doi.org/10.5377/rct.v0i3.1810>
- Sáez, A., & Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121–135. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73737091009>
- Silva, J., & Ramírez, C. (2020). Estimación del volumen de metano en el botadero municipal de basura del km 22 carretera Federico Basadre – Pucallpa – Ucayali. *Revista de Investigación Universitaria*, 10(2), 444–450. <http://revistas.unu.edu.pe/index.php/iu/article/view/29/33>
- Solórzano, G., & Villalba, L. (2018). Tratamiento y valorización de residuos sólidos urbanos. En P. Tello, D. Campani y D. R. Sarafian. (Eds.). *Gestión integral de residuos sólidos urbanos* (pp. 74-101). Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental-AIDIS. <https://tinyurl.com/yr836aqb>

APÉNDICE

Tabla 1A.
Fórmulas para calcular el índice global

Expresiones y símbolos	Nº	Significados
$Ig = Imf + 0.5 \times Imp$	(1)	Fórmula para calcular el índice global para valoración del impacto ambiental generado por el botadero de RSU.
$Imf = Iv + Ia + If + Iw$	(2)	Fórmula para calcular el índice de valoración del medio físico.
$Imp = (Ic + Im + In)(Ii + Ip)$	(3)	Fórmula para cuantificar el impacto sobre el medio perceptual
$Iv:$		Factor de impacto sobre la vegetación natural.
$Ia:$		Factor de impacto sobre la calidad del aire.
$If:$		Factor de impacto sobre la fauna.
$Iw:$		Factor de impacto sobre la calidad del agua.
$Ic:$		Factor de impacto por diferencia de color.
$Im:$		Factor de impacto sobre la morfología del elemento constructivo.
$In:$		Factor de impacto producido por la naturaleza del elemento constructivo.
$Ii:$		Factor de implantación del elemento constructivo.
$Ip:$		Factor de impacto sobre la calidad del paisaje.

Fuente: Conesa, 2010.