

Determinación de Áreas Potenciales para el Emplazamiento de un Relleno Sanitario en Puno aplicando Técnicas de Superposición Ponderada en un entorno Geoespacial

[Ing. Mamani Romero Diego Jhoel]

[Universidad Nacional del Altiplano/ Ing. Estadística e informática]

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0482-9340>

Región Puno, Perú

28 de Diciembre, 2025

1 Introducción

La generación de grandes volúmenes de residuos sólidos está intrínsecamente ligada al crecimiento exponencial de la demanda de alimentos, la urbanización acelerada y la sobrepoblación global [1]. Se proyecta que, en los próximos 30 años, la generación de residuos sólidos aumentará en aproximadamente un 70 % a nivel mundial [2], lo que convierte su gestión y disposición final en un desafío crítico que requiere soluciones inmediatas y sostenibles [3–5].

En el contexto de los países en desarrollo, la técnica más económica y ampliamente utilizada para la disposición final de residuos sólidos continúa siendo el relleno sanitario [8,9]. En América Latina y el Caribe, se estima que el 54.4 % de la población dispone sus residuos en este tipo de infraestructuras [10]. Sin embargo, la situación en el Perú evidencia brechas significativas: en el año 2018, de los más de siete millones de toneladas de residuos municipales generados, solo el 49.16 % fue dispuesto en infraestructuras de disposición final (IDF) autorizadas [11]. Además, el país cuenta con un número insuficiente de rellenos sanitarios, distribuidos de manera desigual en el territorio nacional [12], lo que ha favorecido la proliferación de botaderos a cielo abierto.

La selección de un sitio adecuado para la implementación de un relleno sanitario constituye una tarea de alta complejidad [13–15], ya que implica el cumplimiento de normativas ambientales estrictas y la evaluación simultánea de múltiples factores físicos, ambientales y socioeconómicos [3,16]. Una localización inadecuada o una gestión deficiente de estas infraestructuras puede generar impactos ambientales, sociales y económicos severos, comprometiendo la salud pública [17,18] y alterando las características biofísicas del entorno [19–21]. En este contexto, resulta indispensable el uso de herramientas técnicas que permitan objetivizar y respaldar

el proceso de toma de decisiones.

Como respuesta a esta problemática, en las últimas décadas se han desarrollado metodologías que integran los Sistemas de Información Geográfica (SIG), la teledetección y el Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA), particularmente a través del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) [13,23–28]. Los SIG han demostrado ser herramientas eficaces para la recopilación, gestión y análisis de información espacial [29–32], mientras que el método AHP es ampliamente utilizado para determinar la importancia relativa de los criterios de evaluación mediante comparaciones pareadas [26,33–35].

La integración de SIG y AHP ha mostrado resultados satisfactorios en la selección de sitios óptimos para rellenos sanitarios en diversos contextos geográficos [7,28,38–41], reduciendo la subjetividad y fortaleciendo la planificación territorial basada en criterios técnicos y científicos.

En este marco, el presente estudio tiene como objetivo identificar las áreas con mayor aptitud territorial para el emplazamiento de un relleno sanitario en la ciudad de Puno. Para ello, se adopta un marco metodológico validado en investigaciones recientes [9,36,37], aplicando un enfoque de superposición ponderada que integra criterios físicos, ambientales y socioeconómicos, con la finalidad de proponer una solución técnica que garantice la sostenibilidad ambiental y operativa de la infraestructura.

2 Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

La investigación se centró en la evaluación de la aptitud territorial de la zona periurbana y rural de la ciudad de Puno, ubicada en el sur del Perú. La selección del área de estudio respondió a la necesidad de

identificar emplazamientos técnicamente viables para la implementación de una infraestructura de disposición final de residuos sólidos que minimice los impactos económicos, ambientales y ecológicos [72], así como los riesgos para la salud pública asociados a una gestión inadecuada de los residuos [51, 73].

2.2 Marco metodológico

El estudio adoptó un enfoque geoespacial integrado que combina Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de Análisis de Decisión Multicriterio (MC-DA) [13, 23]. Específicamente, se empleó la metodología de superposición ponderada para la identificación de áreas óptimas, debido a su eficiencia y amplia validación en estudios de planificación territorial de rellenos sanitarios [30, 32, 41].

2.3 Obtención y procesamiento de datos

La base de datos espacial se construyó a partir de información cartográfica proveniente de fuentes oficiales y datos de sensores remotos, los cuales fueron procesados en un entorno SIG. Las variables espaciales consideradas se generaron a partir de los siguientes insumos:

2.3.1. Modelo de elevación y pendiente

Se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) para la derivación del mapa de pendientes, considerado un factor crítico para la estabilidad estructural del relleno sanitario y el control del escurrimiento superficial y lixiviados [48]. La pendiente influye directamente en los costos de construcción y en los riesgos de fallas geotécnicas [49].

2.3.2. Hidrografía y clima

Las redes hídricas superficiales fueron integradas con el fin de establecer zonas de exclusión que permitan la protección de los recursos hídricos [55]. Asimismo, se incorporaron datos de precipitación provenientes de bases de datos climáticas globales para evaluar el riesgo de infiltración y generación de lixiviados [54].

2.3.3. Infraestructura y uso del suelo

Se integraron capas vectoriales correspondientes a la red vial nacional y a las áreas urbanas, con el objetivo de garantizar accesibilidad operativa y reducir conflictos socioambientales [58]. Adicionalmente, se utilizó información de cobertura y uso del suelo (LULC) para priorizar áreas eriales o de baja aptitud agrícola, evitando zonas con alto valor productivo o ecológico [56].

2.3.4. Restricciones normativas

Como criterio de exclusión absoluta, se incorporaron las Áreas Naturales Protegidas (ANP) proporcionadas por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), en cumplimiento de la normativa ambiental vigente [57].

2.4 Estandarización y ponderación de criterios

Dado que los criterios espaciales presentaban unidades heterogéneas (grados, metros, milímetros), se aplicó un proceso de estandarización mediante reclasificación de valores en función de umbrales de aptitud territorial [59]. Este procedimiento permitió transformar todas las variables a una escala común, facilitando su integración en el análisis multicriterio.

2.4.1. Jerarquía de criterios mediante AHP

Para determinar la importancia relativa de cada criterio, se aplicó el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) propuesto por Saaty [24, 63]. La asignación de pesos se realizó priorizando criterios asociados a la seguridad ambiental y física, considerando que variables como la pendiente y la geología influyen directamente en los costos de excavación, la estabilidad del terreno y los riesgos de contaminación ambiental [49, 61].

2.4.2. Combinación Lineal Ponderada (WLC)

La integración final de las variables estandarizadas se realizó mediante el método de Combinación Lineal Ponderada (Weighted Linear Combination, WLC) en el entorno SIG, técnica ampliamente empleada en análisis de aptitud territorial y selección de sitios para rellenos sanitarios [19, 66]. Este método permite la agregación simultánea de múltiples criterios, considerando tanto los pesos asignados mediante AHP como las restricciones espaciales establecidas.

El Índice de Aptitud territorial (S) para cada unidad mínima de análisis (píxel) se calculó mediante la siguiente ecuación de agregación:

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i \times C_j \quad (1)$$

donde w_i representa el peso asignado al criterio i , x_i corresponde al valor estandarizado de la variable espacial, y C_j representa las restricciones booleanas, que toman valores de 0 o 1, excluyendo áreas no aptas como zonas urbanas consolidadas y Áreas Naturales Protegidas [66]. Este procedimiento permitió obtener un mapa continuo de aptitud territorial, en el cual valores más

altos indican una mayor idoneidad para el emplazamiento del relleno sanitario.

2.5 Selección de sitios candidatos

A partir del mapa final de aptitud territorial, se identificaron las áreas clasificadas como *Muy Adecuadas* (S_4), consideradas prioritarias para la localización del relleno sanitario. Posteriormente, se realizó un proceso de conversión raster a vector y un filtrado espacial para seleccionar únicamente aquellos polígonos que cumplieran con el área mínima requerida, garantizando la vida útil de la infraestructura proyectada a un horizonte de planificación de 20 años [27, 80]. El conjunto de datos completos, incluyendo las coordenadas y puntajes de los sitios seleccionados, se encuentra disponible en acceso abierto [83].

Adicionalmente, se evaluó la forma geométrica, continuidad espacial y accesibilidad de los sitios candidatos, con el fin de descartar áreas fragmentadas o con configuraciones desfavorables para la operación del relleno sanitario. La validación final de la ubicación y características de los sitios seleccionados se complementó mediante el análisis de imágenes satelitales de alta resolución, permitiendo corroborar las condiciones actuales del terreno y su compatibilidad con el uso propuesto [60].

3 RESULTADOS

3.1 Modelo Final de Aptitud Territorial

La integración de las variables físicas, ambientales y socioeconómicas mediante el método de superposición ponderada permitió generar el **Mapa Final de Aptitud Territorial** para el emplazamiento de un relleno sanitario en la ciudad de Puno (Figura 2).

El análisis espacial evidencia que una proporción significativa del territorio periurbano presenta **restricciones severas**, clasificándose como **Zonas No Aptas**, principalmente debido a la topografía accidentada, caracterizada por pendientes superiores al 20 %, y a la alta densidad de cuerpos hídricos asociados al entorno inmediato del Lago Titicaca. Estas condiciones incrementan el riesgo de inestabilidad geotécnica y de contaminación hídrica, limitando la viabilidad técnica del emplazamiento.

No obstante, el modelo multicriterio permitió identificar áreas específicas con **Muy Alta Aptitud**, representadas en color verde oscuro, las cuales cumplen simultáneamente con los criterios normativos y técnicos establecidos: pendientes suaves, distancias de seguridad adecuadas respecto a cuerpos de agua y áreas

urbanas, así como una proximidad óptima a la red vial principal, condición clave para la eficiencia operativa del sistema de gestión de residuos.

Como se observa en el mapa resultante, las zonas más favorables se concentran en el sector sureste de la ciudad, particularmente en áreas de expansión próximas a los centros poblados de Salcedo y Jayllihuaya. Estas áreas presentan una morfología de piedemonte, con pendientes moderadas y suelos relativamente consolidados, características que favorecen tanto los procesos de excavación como la estabilidad estructural de la infraestructura del relleno sanitario.

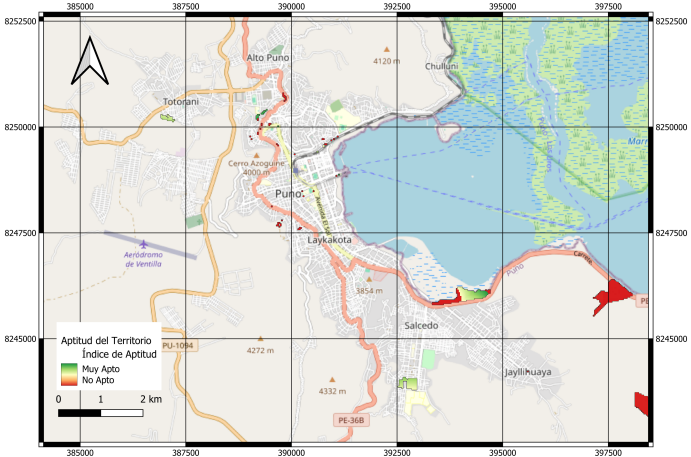


Figura 1: Mapa Final de Aptitud Territorial. Una versión en alta resolución de este mapa se encuentra disponible para descarga en [83].

3.2 Identificación y Priorización de Sitios Candidatos

A partir de la vectorización de las zonas clasificadas como de alta y muy alta aptitud, se identificaron polígonos discretos que superan el umbral mínimo de superficie requerido para garantizar la operatividad del relleno sanitario a mediano y largo plazo. En total, se identificaron **12 sitios potenciales** con superficies mayores a **10 hectáreas**, lo que asegura una vida útil proyectada superior a 20 años para la disposición de residuos sólidos municipales. En el Cuadro 1 se presentan

Cuadro 1: Sitios candidatos de alta aptitud seleccionados

ID del sitio	Ubicación referencial	Área (ha)	Este (X)	Norte (Y)
Sitio A (A1)	Sector Sur (Salcedo)	147.35	394 120	8 246 500
Sitio B (A2)	Sector Jayllihuaya	114.64	395 080	8 245 100
Sitio C (A3)	Sector Periurbano SE	102.12	393 850	8 247 200

los sitios candidatos más representativos, ordenados de

acuerdo con su Índice de Aptitud y disponibilidad de área, incorporando su localización referencial y coordenadas geográficas.

3.3 Selección del Sitio Óptimo

Si bien el análisis espacial preliminar identificó al Sitio A (Sector Salcedo) como el área de mayor aptitud teórica debido a su extensión (147.35 ha) y accesibilidad, la fase de validación en campo y verificación normativa determinó su inviabilidad técnica y social. La inspección in situ reveló una expansión urbana no planificada y asentamientos poblacionales recientes que contravienen las distancias mínimas de seguridad establecidas en el Decreto Legislativo N.º 1278 (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos) y su reglamento, generando una incompatibilidad de uso de suelo irreversible. Además, su ubicación en la cuenca baja representa un riesgo latente de contaminación por escorrentía hacia el Lago Titicaca, comprometiendo los estándares de calidad ambiental.

- En consecuencia, se redefinió la priorización seleccionando al Sitio (Sector Totorani) como la alternativa definitiva y más viable. A diferencia de la primera opción, Totorani presenta:
- Ubicación en cabecera de cuenca: Lo que minimiza drásticamente el riesgo de infiltración de lixiviados hacia el cuerpo de agua del Lago Titicaca, facilitando el control hidráulico del proyecto.
- Aislamiento poblacional: Se ubica fuera del radio de expansión urbana inmediata, cumpliendo estrictamente con las zonas de amortiguamiento exigidas por la normativa vigente (MINAM) y garantizando la licencia social del proyecto.
- Condiciones operativas: Aunque requiere adecuación de vías, su geomorfología permite un diseño de trincheras o terrazas con menor impacto visual y paisajístico para la ciudad de Puno.

Esta reevaluación demuestra la importancia de complementar el modelamiento SIG con la verificación en terreno, asegurando que la infraestructura propuesta sea sostenible no solo espacialmente, sino también social y ambientalmente.

4 Discusión

La selección inadecuada de sitios para la disposición final de residuos sólidos conlleva impactos negativos económicos, ambientales y ecológicos irreversibles [72],

además de representar un riesgo latente para la salud pública debido a la contaminación potencial de recursos naturales [51, 73]. En el contexto de la ciudad de Puno, el análisis espacial evidenció que la topografía accidentada y la proximidad al Lago Titicaca actúan como restricciones severas que limitan significativamente la disponibilidad de terrenos aptos.

Los resultados obtenidos demuestran que la integración de la metodología de Análisis de Decisión Multicriterio basada en el Proceso de Jerarquía Analítica (MCDA-AHP) con Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye una herramienta robusta y eficaz para resolver problemas de localización espacial compleja, en concordancia con lo reportado por diversos estudios previos [13, 30, 41]. A diferencia de los métodos tradicionales, este enfoque permite una evaluación holística del territorio, reduciendo la subjetividad inherente al proceso de selección y optimizando costos y tiempos en la etapa de pre-inversión mediante la focalización de los esfuerzos de validación en campo [69].

El análisis multicriterio reveló que las variables de pendiente y geología fueron los factores determinantes en la aptitud territorial. Este hallazgo es consistente con la literatura especializada, donde se destaca que la inclinación del terreno y las características geológicas influyen directamente en los costos de excavación, la estabilidad estructural del relleno y el riesgo de infiltración de lixiviados [49, 61]. Asimismo, la restricción asociada a la distancia mínima a cuerpos de agua cumplió estrictamente con los criterios normativos orientados a la protección de los recursos hídricos superficiales [7, 51].

El modelo final identificó al sector Sur-Este de la ciudad (Salcedo-Jayllihuaya) como la zona de mayor aptitud territorial. Si bien el presente estudio consideró un conjunto de siete criterios principales, los resultados obtenidos son suficientes para una etapa de pre-factibilidad, al cumplir con los estándares técnicos y normativos establecidos a nivel nacional [51, 80]. No obstante, es importante señalar que los estudios basados en análisis de gabinete no son concluyentes; la selección definitiva del sitio requiere la realización de estudios geotécnicos in situ, análisis hidrogeológicos detallados y evaluaciones de dirección y velocidad del viento [13].

5 Conclusiones

El presente estudio permitió evaluar de manera integral la aptitud territorial para el emplazamiento de un relleno sanitario en la ciudad de Puno, estableciendo un marco metodológico replicable basado en la inte-

gración del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Las principales conclusiones derivadas de la investigación son las siguientes:

- **Eficacia metodológica:** Se valida que el modelo SIG-AHP constituye una técnica eficaz para la planificación territorial de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos [32, 41], permitiendo superar la limitada disponibilidad de datos espaciales detallados mediante el uso de información geoespacial y garantizando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente [51].
- **Identificación de sitios potenciales:** El modelo permitió identificar doce sitios clasificados como de “Muy Alta Aptitud”, los cuales cumplen con el requisito de superficie mínima mayor a 10 hectáreas, asegurando una vida útil proyectada superior a 20 años, de acuerdo con las metodologías de proyección de generación de residuos establecidas por el Ministerio del Ambiente y la literatura técnica especializada [27, 80].
- **Selección del sitio óptimo y Restricciones Normativas:** El modelamiento espacial identificó inicialmente al Sitio A1 (ubicado en el sector Salcedo) como la alternativa con mayor aptitud técnica debido a su pendiente favorable y características geológicas, ofreciendo una superficie de 147.35 hectáreas.

Sin embargo, tras la validación normativa, este sitio queda descartado para la ejecución del proyecto debido a su proximidad inmediata a zonas de expansión urbana y viviendas consolidadas. De acuerdo con la Norma Técnica de Diseño de Rellenos Sanitarios (MINAM/DIGESA) y el D.S. N° 014-2017-MINAM, se establece que la ubicación de una infraestructura de disposición final debe respetar una distancia mínima de 1,000 metros (1 km) respecto a cualquier centro poblado o área residencial para garantizar la salud pública y minimizar conflictos sociales. [59].

En consecuencia, se determina al Sector Totorani como la alternativa técnica y ambientalmente más viable

- **Aporte a la gestión pública:** La presente investigación proporciona una herramienta científica de soporte a la toma de decisiones para las autoridades locales [21], contribuyendo a la mitigación de los impactos ambientales asociados a los botaderos

existentes y promoviendo un ordenamiento territorial sostenible orientado a la protección de la salud pública [17].

Referencias

- [1] M. W. K. S. C. Ojeda, S. Lozano y G. Quintero, “Periodo estacional: El caso de una ciudad mexicana,” *I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, pp. 23–24, 2008.
- [2] S. Kaza, L. C. Yao, P. Bhada-Tata y F. Van Woerden, *What a Waste 2.0: Una instantánea global de la gestión de residuos sólidos hasta 2050*, World Bank, Washington, DC, 2018.
- [3] P. K. Dara y T. B. Reddy, “Municipal solid waste landfill sites selection for Visakhapatnam city under Vision 2020 using GIS and AHP,” *International Journal of Contemporary Research and Review*, vol. 9, no. 6, pp. 20181–20194, 2018.
- [4] A. Sáez y G. Urdaneta, “Omnia,” *Choice Reviews Online*, vol. 44, no. 3, 2006.
- [5] C. Zafra-Mejía y D. Romero-Torres, “Tendencias tecnológicas de depuración de lixiviados en rellenos sanitarios iberoamericanos,” *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 18, no. 35, pp. 125–147, 2019.
- [6] M. Uyan, “MSW landfill site selection by combining AHP with GIS for Konya, Turkey,” *Environmental Earth Sciences*, vol. 71, no. 4, pp. 1629–1639, 2014.
- [7] Y. Rezaeisabzevar, A. Bazargan y B. Zohourian, “Landfill site selection using multi-criteria decision making,” *Journal of Environmental Sciences*, vol. 93, pp. 170–184, 2020.
- [8] K. Noguera y J. Olivero-Verbel, “Los rellenos sanitarios en Latinoamérica: caso colombiano,” *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 34, no. 132, pp. 347–356, 2010.
- [9] M. A. Alanbari, N. Al-Ansari, H. K. Jasim y S. Knutsson, “Modeling landfill suitability based on GIS and multicriteria decision analysis: Case study in Al-Mahaweel Qadaa,” *Natural Science*, vol. 6, no. 11, pp. 828–851, 2014.
- [10] OPS, *Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y*

- el Caribe 2010*, OPS–OMS–Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, DC, 2011.
- [11] MEF (Ministerio de Economía y Finanzas), *Guía para el cumplimiento de la Meta 3 del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal 2020*, MEF, Lima, Perú, 2020.
 - [12] MINAM (Ministerio del Ambiente), *Infraestructuras de disposición final de residuos sólidos: Listado de rellenos sanitarios en el Perú*, MINAM, Lima, Perú, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/279709-listado-de-rellenos-sanitarios>
 - [13] S. P. Gbanie, P. B. Tengbe, J. S. Momoh, J. Medo, V. T. S. Kabba y S. Kabba, “Modelling landfill location using geographic information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA): Case study of Bo, Southern Sierra Leone,” *Applied Geography*, vol. 36, pp. 3–12, 2013.
 - [14] C. B. Karakuş, D. Demiroğlu, A. Çoban y A. Ulutaş, “Evaluation of GIS-based multi-criteria decision-making methods for sanitary landfill site selection: The case of Sivas city, Turkey,” *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 22, no. 1, pp. 254–272, 2020.
 - [15] D. Elena, D. Garza-Requena, F. Rafael y E. Carmen, “Los rellenos sanitarios: una alternativa para la disposición final de los residuos sólidos urbanos,” *Ciencia*, vol. 6, no. 2, pp. 14–17, 2011.
 - [16] A. Barakat, A. Hilali, M. E. Baghdadi y F. Touhami, “Landfill site selection with GIS-based multi-criteria evaluation technique: A case study in Beni Mellal–Khouribga Region, Morocco,” *Environmental Earth Sciences*, vol. 76, no. 12, 2017.
 - [17] H. I. Mohammed, Z. Majid y Y. B. Yamusa, “GIS-based sanitary landfill suitability analysis for sustainable solid waste disposal,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 220, Article ID 012056, 2019.
 - [18] H. Khorsandi, A. Faramarzi, A. A. Aghapour y S. J. Jafari, “Landfill site selection via integrating multi-criteria decision techniques with geographic information systems: A case study in Naqadeh, Iran,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 191, no. 12, 2019.
 - [19] S. M. Monavari, P. Hoasami, S. Tajziehchi, N. Khorramichokami y A. S. Area, “Study of solid waste landfill suitability using regional screening method and AHP in Rasht City,” *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 820–825, 2012.
 - [20] M. J. Buncag, L. M. Santos y A. Magpantay, “Suitability analysis for sanitary landfill site in the province of Ifugao, Philippines,” *International Journal of Science and Management Studies (IJSMS)*, vol. 2, no. 6, pp. 85–94, 2019.
 - [21] F. O. Ajibade, O. O. Olajire, T. F. Ajibade et al., “Combining multicriteria decision analysis with GIS for suitably siting landfills in a Nigerian state,” *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 3–4, Article ID 100010, 2019.
 - [22] M. Mortazavi Chamchali y A. Ghazifard, “The use of fuzzy logic spatial modeling via GIS for landfill site selection (case study: Rudbar, Iran),” *Environmental Earth Sciences*, vol. 78, no. 10, pp. 1–16, 2019.
 - [23] M. Saatsaz, I. Monsef, M. Rahmani y A. Ghods, “Site suitability evaluation of an old operating landfill using AHP and GIS techniques and integrated hydrogeological and geophysical surveys,” *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 190, no. 3, 2018.
 - [24] T. L. Saaty, “A scaling method for priorities in hierarchical structures,” *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15, no. 3, pp. 234–281, 1977.
 - [25] M. K. Ayim, A. Fei-Baffoe, A. Sulemana, K. Miezah y F. Adams, “Potential sites for landfill development in a developing country: A case study of Ga South Municipality, Ghana,” *Heliyon*, vol. 5, no. 10, Article ID e02537, 2019.
 - [26] O. Demesouka, A. Vavatsikos y K. Anagnostopoulos, “GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis: A review of the methodologies performed and criteria implemented,” *Waste Management & Research*, vol. 32, no. 4, pp. 270–296, 2014.
 - [27] J. Silveira dos Santos, A. Gonçalves Girardi y A. A. Brasil, “Utilização de geoprocessamento para localização de áreas para aterro sanitário no município de Alegrete–RS,” en *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, abril 2007.
 - [28] M. Chamchali, A. Mohebbi Tafreshi y G. Mohebbi Tafreshi, “Utilizing GIS linked to AHP for landfill

- site selection in Rudbar County of Iran,” *GeoJournal*, vol. 86, no. 1, pp. 163–183, 2019.
- [29] J. R. Adewumi, O. J. Ejeh, K. H. Lasisi y F. O. Ajibade, “A GIS–AHP-based approach in siting MSW landfills in Lokoja, Nigeria,” *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 12, 2019.
- [30] A. Richter, K. T. W. Ng y N. Karimi, “A data-driven technique applying GIS and remote sensing to rank locations for waste disposal site expansion,” *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 149, pp. 352–362, 2019.
- [31] S. A. Ali y A. Ahmad, “Suitability analysis for municipal landfill site selection using fuzzy analytic hierarchy process and geospatial technique,” *Environmental Earth Sciences*, vol. 79, no. 10, 2020.
- [32] S. A. Ali, F. Parvin, N. Al-Ansari, Q. B. Pham, A. Ahmad y M. S. Raj, “Sanitary landfill site selection by integrating AHP and FTOPSIS with GIS: A case study of Memari Municipality, India,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 6, pp. 7528–7550, 2020.
- [33] H. Karimi, S. Amiri, J. Huang y A. Karimi, “Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection: Case study of Javanrood County, Iran,” *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, no. 11, pp. 7305–7318, 2019.
- [34] M. Çeliker, O. Yıldız y N. N. Koçer, “Evaluating solid waste landfill site selection using multi-criteria decision analysis and geographic information systems in the city of Elazığ, Turkey,” *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, vol. 25, no. 6, pp. 683–691, 2019.
- [35] Ş. Şener, E. Şener, B. Nas y R. Karagüzel, “Combining AHP with GIS for landfill site selection: A case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey),” *Waste Management*, vol. 30, no. 11, pp. 2037–2046, 2010.
- [36] S. Cobos, J. Solano, A. Vera y J. Monge, “Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay,” *Memorias*, p. 12, 2017. Disponible en: <http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/48>.
- [37] F. Mohammadimanesh, B. Salehi, M. Mahdianpari, B. Brisco y E. Gill, “Full and simulated compact polarimetry SAR responses to Canadian wetlands: Separability analysis and classification,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 5, pp. 516–525, 2019.
- [38] H. Karimi, B. M. A. Herki, S. Q. Gardi *et al.*, “Site selection and environmental risks assessment of medical solid waste landfill for the city of Kermanshah, Iran,” *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 00, no. 00, pp. 1–13, 2020.
- [39] V. R. Sumathi, C. Sarkar y U. Natesan, “GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill,” *Waste Management*, vol. 28, no. 11, pp. 2146–2160, 2008.
- [40] R. Hazarika y A. Saikia, “Landfill site suitability analysis using AHP for solid waste management in the Guwahati Metropolitan Area, India,” *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 13, pp. 1–14, 2020.
- [41] G. Sisay, S. L. Gebre y K. Getahun, “GIS-based potential landfill site selection using MCDM–AHP modeling of Gondar Town, Ethiopia,” *African Geographical Review*, vol. 40, no. 2, pp. 105–124, 2020.
- [42] J. C. León Mendoza y L. Mendoza, “Capital humano y pobreza regional en Perú,” *Región y Sociedad*, vol. 31, pp. 1–23, 2019.
- [43] INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), “Características de la población,” *Perú: Perfil Sociodemográfico*, vol. 2017, 2018.
- [44] Defensoría del Pueblo, *¿Dónde va nuestra basura?*, pp. 1–265, Defensoría del Pueblo, Lima, Perú, 2019. Disponible en: <http://www.defensoria.gob.pe>.
- [45] MPCH (Municipalidad Provincial de Chachapoyas), “Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales,” 2018. Disponible en: http://www.academia.edu/download/40955734/GERENCIA_MUNICIPAL.pdf.
- [46] OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), *Áreas degradadas por residuos sólidos municipales*, OEFA, Lima, Perú, 2019. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1627>.
- [47] J. Mego, J. Pilco, J. Chávez, D. Leiva y M. Oliva, “Impacto en la calidad del agua de la quebrada ‘El Atajo’ ocasionado por el botadero de Rondón

- de la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, Perú,” *Revista INDES*, vol. 2, no. 1, pp. 80–87, 2016.
- [48] J. F. Silva, R. K. A. da Silva, Y. M. Paz, J. V. dos Reis, H. D. S. Ferreira y A. L. B. Candeias, “Avaliação do sensoriamento remoto termal para monitoramento de aterros sanitários,” *Journal of Environmental Analysis and Progress*, vol. 3, no. 1, pp. 037–048, 2018.
- [49] E. Tercan, M. A. Dereli y S. Tapkın, “A GIS-based multicriteria evaluation for MSW landfill site selection in the Antalya–Burdur–Isparta planning zone, Turkey,” *Environmental Earth Sciences*, vol. 79, no. 10, pp. 1–17, 2020.
- [50] S. Djokanović, B. Abolmasov y D. Jevremović, “GIS application for landfill site selection: A case study in Pančevo, Serbia,” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 75, no. 3, pp. 1273–1299, 2016.
- [51] MINAM (Ministerio del Ambiente), *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado*, pp. 29–35, MINAM, Lima, Perú, 2008. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/residuos>.
- [52] T. Hengl, J. Mendes de Jesus, G. B. M. Heuvelink *et al.*, “SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning,” *PLoS One*, vol. 12, no. 2, Article ID e0169748, 2017.
- [53] INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico), *Boletín INGEMMET No. A-55: Geología del Perú*, vol. A, no. 55, p. 177, INGEMMET, Lima, Perú, 1995. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/176>.
- [54] S. E. Fick y R. J. Hijmans, “WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas,” *International Journal of Climatology*, vol. 37, no. 12, pp. 4302–4315, 2017.
- [55] MINEDU (Ministerio de Educación), “Descarga de información espacial del Ministerio de Educación,” 2020. Disponible en: <http://signed.minedu.gob.pe/descargas/>.
- [56] N. Puletti, F. Chianucci y C. Castaldi, “Use of Sentinel-2 for forest classification in Mediterranean environments,” *Annals of Silvicultural Research*, vol. 42, no. 1, pp. 32–38, 2018.
- [57] SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado), *GEO ANP: Visor de las Áreas Naturales Protegidas*, SERNANP, Lima, Perú, 2020. Disponible en: <https://geo.sernanp.gob.pe/visorsernanp/>.
- [58] MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones), *Descarga de datos espaciales*, MTC, Lima, Perú, 2017. Disponible en: <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/descarga.html>.
- [59] J. Biluca, C. R. de Aguiar, F. Trojan y F. Trojan, “Sorting of suitable areas for disposal of construction and demolition waste using GIS and ELECTRE TRI,” *Waste Management*, vol. 114, pp. 307–320, 2020.
- [60] Z. K. Motlagh y M. H. Sayadi, “Siting MSW landfills using MCE methodology in GIS environment (case study),” 2015.
- [61] O. E. Demesouka, A. P. Vavatsikos y K. P. Anagnostopoulos, “Using MACBETH multicriteria technique for GIS-based landfill suitability analysis,” *Journal of Environmental Engineering*, vol. 142, no. 10, pp. 1–11, 2016.
- [62] F. Sarı, D. A. Ceylan y M. M. Özcan, “A comparison of multicriteria decision analysis techniques for determining beekeeping suitability,” *Apidologie*, vol. 51, no. 4, pp. 481–498, 2020.
- [63] R. W. Saaty, “The analytic hierarchy process—what it is and how it is used,” *Mathematical Modelling*, vol. 9, no. 3–5, pp. 161–176, 1987.
- [64] T. L. Saaty, “The implementation of management science in higher education administration,” *International Journal of Services Sciences*, vol. 15, no. 4, pp. 283–290, 1987.
- [65] S. Bozóki y T. Rapsák, “On the inconsistencies of pairwise comparison matrices,” *Journal of Global Optimization*, vol. 42, no. 2, pp. 157–175, 2008.
- [66] C. R. C. Yunis, R. Salas López, S. M. O. Cruz *et al.*, “Land suitability for sustainable aquaculture of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Molinopampa (Peru) based on RS, GIS, and AHP,” *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 9, no. 1, Article ID 28, 2020.
- [67] Z. Ding, M. Zhu, Z. Wu, Y. Fu y X. Liu, “Combining AHP–entropy approach with GIS for construction waste landfill selection: a case study of

- Shenzhen,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 10, 2018.
- [68] A. Najjari y K. Shayesteh, “Site selection for hazardous waste using fuzzy logic combined with analytic hierarchy process: a case study in Nahavand, Iran,” *Avicenna Journal of Environmental Health Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 8–15, 2019.
- [69] L. L. Moreira, D. Schwambach, N. R. Corrêa y A. L. N. Coelho, “SIG aplicado à seleção de áreas potenciais para instalação de aterro sanitário no município de Serra-ES,” *Geociências*, vol. 35, no. 4, pp. 531–541, 2016.
- [70] I. Palacios, “Relleno sanitario en la ciudad de Macas a través de la ponderación de sus variables con el proceso AHP,” *Revista Ciencias de la Seguridad y Defensa*, vol. III, no. 3, pp. 83–94, 2018.
- [71] M. Adúriz, A. Gargano, P. Chimeno, M. Saldungaray y V. Conti, “Caracterización de los agro-sistemas predominantes de la cuenca alta del río Sauce Grande,” *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 32, no. 3, pp. 3–26, 2003.
- [72] H. Y. Lin y J. J. Kao, “A vector-based spatial model for landfill siting,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 58, no. 1–3, pp. 3–14, 1998.
- [73] H. Karimi, A. Soffianian, S. Seifi, S. Pourmanafi y H. Ramin, “Evaluating optimal sites for combined-cycle power plants using GIS: comparison of two aggregation methods in Iran,” *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 39, no. 2, pp. 101–112, 2020.
- [74] P. de Medeiros Engelmann, V. H. J. M. dos Santos, L. I. Moser *et al.*, “Environmental monitoring of water resources around a municipal landfill of the Rio Grande do Sul State, Brazil,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 26, pp. 21398–21411, 2017.
- [75] M. Eghtesadifard, P. Afkhami y A. Bazayr, “An integrated approach to the selection of municipal solid waste landfills through GIS, K-means and multi-criteria decision analysis,” *Environmental Research*, vol. 185, Article ID 109365, 2020.
- [76] M. Barzehkar, N. M. Dinan, S. Mazaheri, R. M. Tayebi y G. I. Brodie, “Landfill site selection using GIS-based multi-criteria evaluation (case study: SaharKhiz region, Gilan Province, Iran),” *SN Applied Sciences*, vol. 1, no. 9, pp. 1–11, 2019.
- [77] E. H. W. F. K. Kirimi, “Determination of suitable landfill site using geospatial techniques and multi-criteria decision analysis: a case study of Nakuru Town, Kenya,” *International Journal of Scientific Research*, vol. 3, no. 11, pp. 500–505, 2014.
- [78] B. Şener, M. L. Süzen y V. Doyuran, “Landfill site selection by using geographic information systems,” *Environmental Geology*, vol. 49, no. 3, pp. 376–388, 2006.
- [79] F.-B. Mustafa y B. E. Bwadi, “Determination of optimal freshwater prawn farming site locations using GIS and multicriteria evaluation,” *Journal of Coastal Research*, vol. 82, pp. 41–54, 2018.
- [80] MINAM (Ministerio del Ambiente), *Guía metodológica para la elaboración de los instrumentos técnicos sustentatorios para el ordenamiento territorial*, MINAM, Lima, Perú, 2015.
- [81] MINAM (Ministerio del Ambiente), *Programa de recuperación de áreas degradadas por residuos sólidos*, MINAM, Lima, Perú, 2015.
- [82] Diario Oficial El Peruano, “Resolución Ministerial N.º 099-2019-MINAM,” Lima, Perú, 2019.
- [83] Mamani Romero, D. J. (2026). *Datos geoespaciales de sitios candidatos para la localización de un relleno sanitario: Aptitud territorial y coordenadas* [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18135711>