

## Evaluación multicriterio del sitio óptimo para el emplazamiento y diseño de un relleno sanitario en el municipio de Padilla

### Multi-criteria evaluation of the optimal site for the location and design of a sanitary landfill in the municipality of Padilla

QUIÑONEZ- Victor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

Recibido septiembre, 04, 2025; Aceptado noviembre, 20, 2025

#### Resumen

El trabajo de investigación surge ante la necesidad de mejorar la gestión de residuos sólidos en el municipio de Padilla, donde la falta de infraestructura adecuada para la disposición final ha generado impactos ambientales y sanitarios significativos. Frente a este problema, se plantea una solución técnica sostenible que permita sustituir el botadero a cielo abierto por un sistema de manejo controlado, en cumplimiento con la normativa boliviana y orientado a la protección del medio ambiente y la salud pública.

El objetivo principal es determinar el sitio óptimo para el emplazamiento y diseñar un relleno sanitario adaptado a las condiciones locales. Para ello, la metodología integra un diagnóstico ambiental y la aplicación de sistemas de información geográfica, empleando un análisis multicriterio basado en criterios como pendientes, hidrografía, uso de suelo, accesibilidad, estabilidad del terreno y restricciones legales.

Posteriormente, se desarrolla el diseño técnico considerando la generación de residuos, la vida útil proyectada, la geometría de celdas, el sistema de lixiviados mediante el método suizo, la captación de biogás y las obras complementarias necesarias. Los resultados muestran que Padilla generará 63.621 m<sup>3</sup> de residuos en 20 años, lo que fundamenta el diseño de un relleno de 65.040 m<sup>3</sup>, con un margen de seguridad del 2,2 %, un tanque de lixiviados cercano a 300 m<sup>3</sup> y ochenta sub-celdas, lo que hace diseño propuesto técnica y ambientalmente viable.

#### Palabras Clave

Residuos sólidos, sistemas de información geográfica, disposición final.

#### Abstract

This research project arises from the need to improve solid waste management in the municipality of Padilla, where the lack of adequate infrastructure for final disposal has led to significant environmental and health impacts. In response to this problem, a sustainable technical solution is proposed to replace the open-air dump with a controlled management system that complies with Bolivian regulations and is geared toward protecting the environment and public health.

The main objective is to determine the optimal site for the facility and to design a landfill adapted to local conditions. To this end, the methodology integrates an environmental assessment and the application of geographic information systems, employing a multi-criteria analysis based on factors such as slopes, hydrography, land use, accessibility, ground stability, and legal restrictions.

Subsequently, the technical design is developed, taking into account waste generation, projected service life, cell geometry, the leachate system using the Swiss method, biogas capture, and the necessary complementary works. The results show that Padilla will generate 63.621 m<sup>3</sup> of waste over 20 years, which supports the design of a 65.040 m<sup>3</sup> landfill with a safety margin of 2,2%, a leachate tank of approximately 300 m<sup>3</sup>, and eighty sub-cells, making the proposed design technically and environmentally viable.

#### Keywords

Solid waste, geographic information systems, final disposal

**Citación:** Quiñonez V. (2025). Evaluación multicriterio del sitio óptimo para el emplazamiento y diseño de un relleno sanitario en el municipio de Padilla. *Revista Ingeniería Sostenible Ambiental*, 2(5), 137-148

## Introducción

La gestión inadecuada de residuos sólidos urbanos continúa siendo uno de los principales desafíos ambientales en América Latina, especialmente en municipios intermedios donde predominan los botaderos a cielo abierto, generando contaminación del suelo, agua y aire, además de riesgos sanitarios para la población (UNEP, 2021; World Bank, 2018). En Bolivia, más del 50 % de los municipios aún dispone sus residuos en sitios sin control técnico, situación que incrementa la vulnerabilidad ambiental y dificulta el cumplimiento de la normativa vigente en materia de salud pública y protección ambiental (MMAyA, 2021). En este contexto, el municipio de Padilla presenta un sistema de disposición final deficiente, lo que ha generado impactos ambientales acumulativos y la necesidad urgente de implementar infraestructura adecuada para el manejo de residuos.

La selección del sitio óptimo para el emplazamiento de un relleno sanitario requiere integrar criterios ambientales, técnicos y sociales, lo cual puede lograrse mediante herramientas de análisis espacial como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), ampliamente utilizados para apoyar la toma de decisiones en proyectos de gestión de residuos y planificación territorial (MMAyA, 2012; OPS/OMS, 2020; World Bank, 2018). El análisis multicriterio dentro de entornos SIG permite evaluar simultáneamente variables como pendientes, hidrografía, accesibilidad, uso del suelo, estabilidad del terreno y restricciones legales, proporcionando una metodología transparente y replicable para la selección del sitio más adecuado, en concordancia con los criterios establecidos en la normativa boliviana para rellenos sanitarios (NB 757; NB 760; MMAyA, 2012).

Además de la selección del emplazamiento, el diseño técnico del relleno sanitario constituye un componente esencial para garantizar la sostenibilidad del sistema de disposición final. Lineamientos técnicos nacionales, como la *Guía para el diseño de rellenos sanitarios manuales y mecanizados* y la NB 760,

recomiendan el dimensionamiento adecuado de celdas y subceldas, el control y conducción de lixiviados incluyendo esquemas inspirados en el denominado método suizo, así como la captación y manejo del biogás para reducir riesgos ambientales y sanitarios (MMAyA, 2012; NB 760; OPS/OMS, 2020). Estas consideraciones son fundamentales en municipios como Padilla, donde la cantidad de residuos proyectada y las características geográficas requieren soluciones precisas y técnicamente justificadas.

En este marco, el presente estudio tiene como objetivo determinar el sitio óptimo para el emplazamiento de un relleno sanitario mediante herramientas SIG y desarrollar un diseño técnico que responda a las condiciones locales del municipio de Padilla. Este trabajo contribuye a fortalecer la planificación ambiental municipal y ofrece una alternativa sostenible frente a los impactos negativos generados por la mala disposición final de residuos sólidos.

## Materiales y métodos

### Materiales

Se utilizaron datos oficiales y cartografía temática de:

- GeoBolivia e IGM: Modelo digital de elevación (MDE), uso de suelo, geología, red hidrográfica, red vial, límites administrativos.
- Capas derivadas: vulnerabilidad hídrica, TWI (Topographic Wetness Index), VAS (Vulnerabilidad de aguas subterráneas) y precipitación.

Software empleado:

- ArcGIS Pro y QGIS, para geoprocesamiento y análisis multicriterio.
- Excel, para proyecciones poblacionales y generación de residuos.
- AutoCAD Civil 3D, para el esquema de diseño geométrico del relleno sanitario.

## VARIABLES

- VARIABLES INDEPENDIENTES: Pendiente, uso de suelo, geología, vulnerabilidad hídrica, TWI, VAS, distancia a ríos, distancia a centros poblados, distancia a red vial y precipitación.
- VARIABLE DEPENDIENTE: Índice de aptitud territorial para emplazamiento del relleno sanitario.

Las variables se definieron según los criterios de localización y diseño establecidos en la NB 757, NB 760 y la Guía para el Diseño de Rellenos Sanitarios (MMAyA, 2012).

## ANÁLISIS ESPACIAL Y MULTICRITERIO EN SIG

Máscaras de exclusión: Se eliminaron áreas no aptas de acuerdo con la NB 757 (áreas urbanas, cuerpos de agua, áreas protegidas, pendientes máximas, zonas de alta vulnerabilidad acuífera y geologías desfavorables).

Reclasificación de criterios: Cada capa fue reclasificada en rangos de aptitud (por ejemplo, no apto, poco apto, apto, muy apto) según tablas definidas en el proyecto, alineadas a la normativa y a la funcionalidad requerida para un relleno sanitario.

Método AHP y WLC: Se aplicó el Analytic Hierarchy Process (AHP) para obtener los pesos relativos de cada criterio. Luego, se integraron las capas mediante combinación lineal ponderada (WLC) en el entorno SIG, generando un mapa continuo de aptitud territorial, sin interpretar aún los resultados en esta sección.

## ANÁLISIS TESA PARA LA SELECCIÓN FINAL

Como fase de apoyo a la decisión, se aplicó un Análisis TESA (Técnico–Económico–Social–Ambiental) a las alternativas identificadas en el SIG.

Técnica–ambiental: Estabilidad del terreno, vulnerabilidad hídrica, compatibilidad con la normativa.

Social: Proximidad a poblaciones, potencial de conflictos, aceptación local.

Económica: Accesibilidad y requerimientos de movimiento de tierra y obras complementarias.

El TESA permitió priorizar de manera estructurada el sitio más sostenible, integrando criterios cualitativos y cuantitativos.

## METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO TÉCNICO DEL RELLENO SANITARIO

El diseño técnico preliminar se basó en los lineamientos de la NB 760 y la Guía del MMAyA (2012), e incluyó:

Estimación de la generación de residuos: Uso de datos de población actual y proyección a 20 años. Aplicación de la producción per cápita medida para Padilla (kg/hab·día). Cálculo de generación diaria y anual para el horizonte de diseño.

Cálculo volumétrico y vida útil: Conversión de masa a volumen considerando densidad compactada. Determinación del volumen de diseño del relleno sanitario con un margen de seguridad.

Dimensionamiento geométrico: Definición del área requerida, altura de operación, taludes y bermas, división del relleno en sub-celdas operativas para mejorar compactación, cobertura y control.

Sistemas de control ambiental: Esquema de drenaje y conducción de lixiviados hacia un tanque de almacenamiento dimensionado según el caudal estimado y las condiciones climáticas. Diseño conceptual del sistema de captación de biogás y drenaje pluvial, en concordancia con NB 760 y la Guía MMAyA.

## MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Se aplicó estadística descriptiva para:

- Proyecciones poblacionales.
- Cálculo de generación de residuos.
- Estimación de volúmenes y vida útil.

## RESULTADOS

### DIAGNÓSTICO AMBIENTAL Y GENERACIÓN DE RESIDUOS

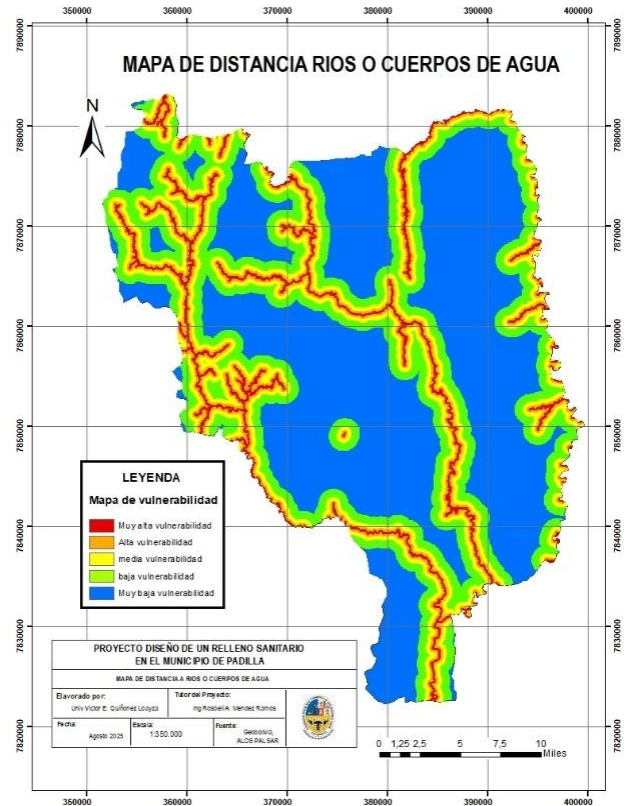
La caracterización realizada en el municipio de Padilla determinó una producción per cápita de 0,516 kg/hab·día.

Con base en la población urbana evaluada, la generación diaria fue de 862,64 kg/día, equivalente a 0,86 toneladas/día. La generación anual alcanzó 315,8 toneladas, y la proyección para el horizonte de diseño de 20 años estableció un volumen acumulado de 63.621 m<sup>3</sup> de residuos compactados. Estos valores constituyeron la base para el dimensionamiento del cuerpo del relleno sanitario.

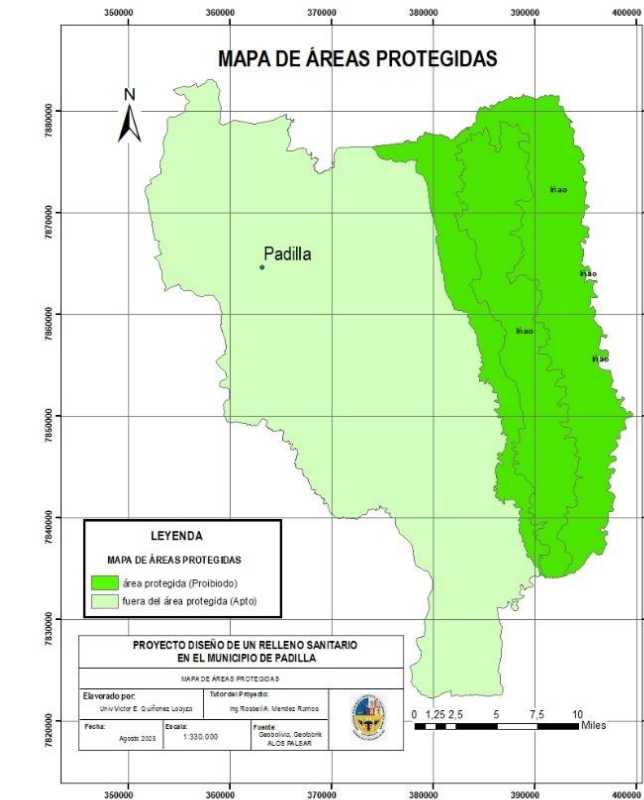
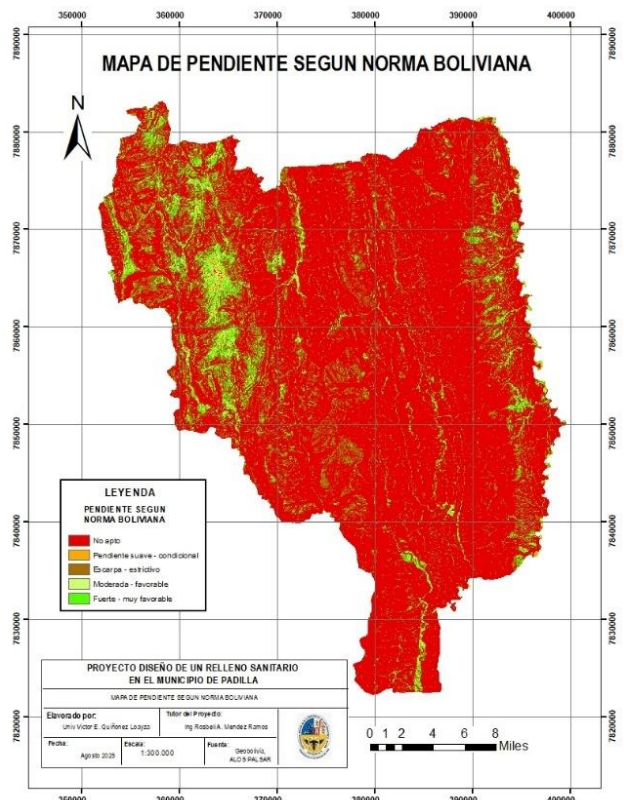
**Análisis de aptitud territorial (SIG – AHP – WLC)**

El análisis espacial integró variables clave (Tablas 1 y 2), incluyendo pendiente, hidrografía, accesibilidad vial, uso del suelo, geología, vulnerabilidad hídrica, distancia a centros poblados, TWI, VAS y precipitación, tal como se ilustra en las siguientes figuras. La reclasificación de capas raster y la ponderación derivada del Analytic Hierarchy Process (AHP) facilitan la generación de un mapa continuo de aptitud territorial para la selección de sitios óptimos.

**Figura 2 Mapa de distancia a ríos**



**Figura 3 Mapa de pendiente**



**Figura 1 Mapa de áreas protegidas**

Figura 4 Mapa de uso de suelo reclasificado

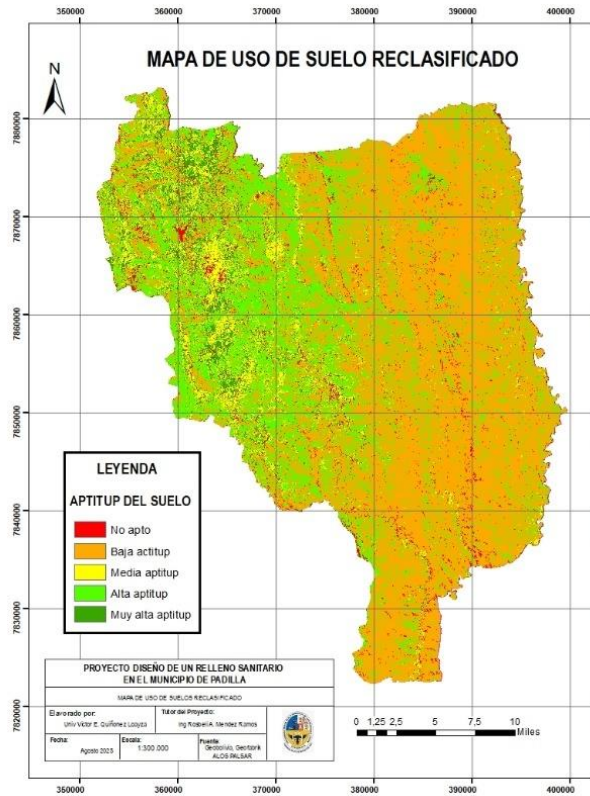


Figura 6 Vulnerabilidad hidrogeológica

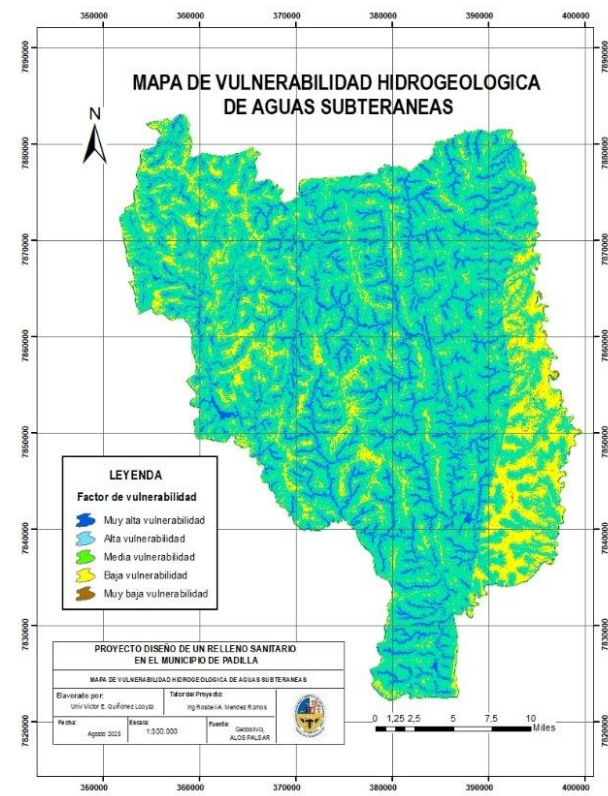


Figura 5 Mapa de índice topográfico de humedad

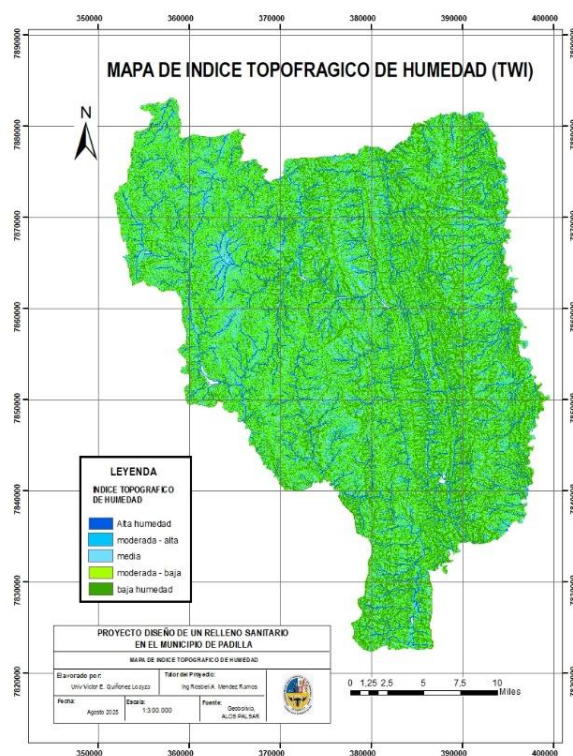


Figura 7 Mapa de Vulnerabilidad Geológica

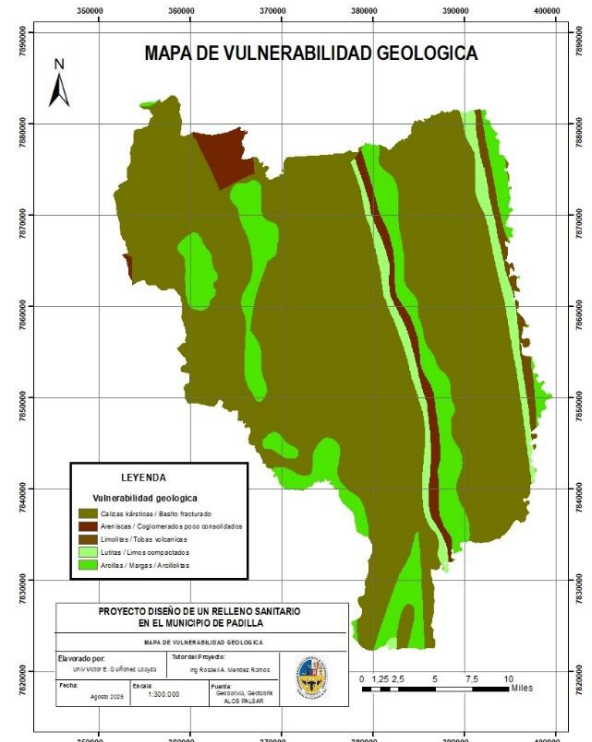


Figura 8 Mapa distancia a centros poblados

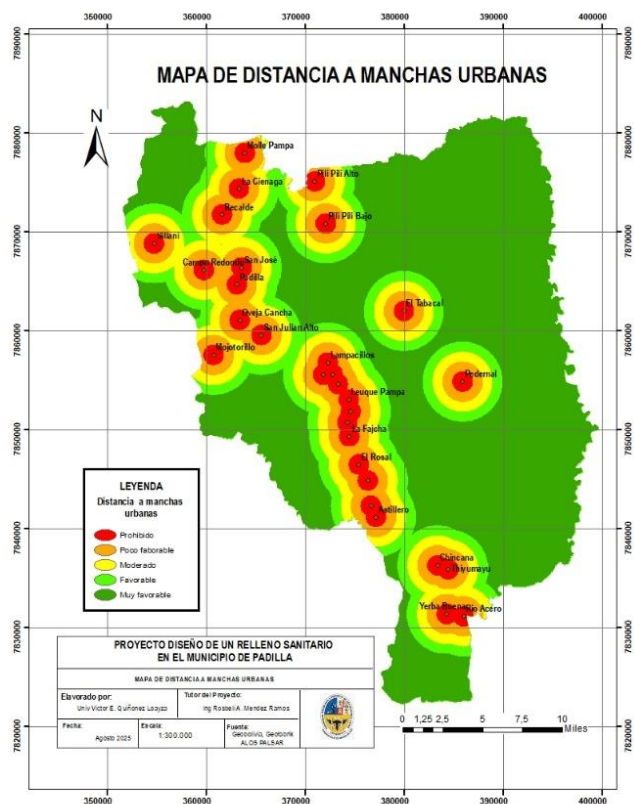


Figura 10 Mapa de precipitación

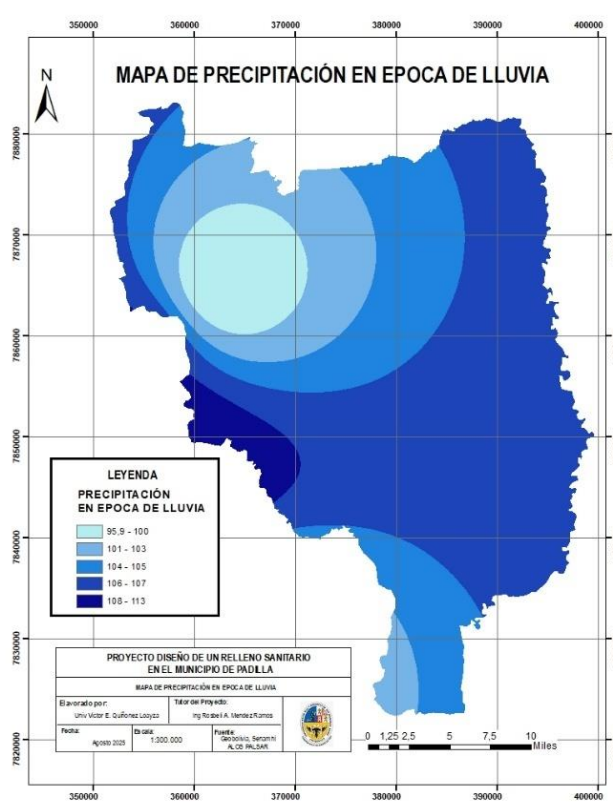


Figura 9 Mapa proximidad a Vías de acceso

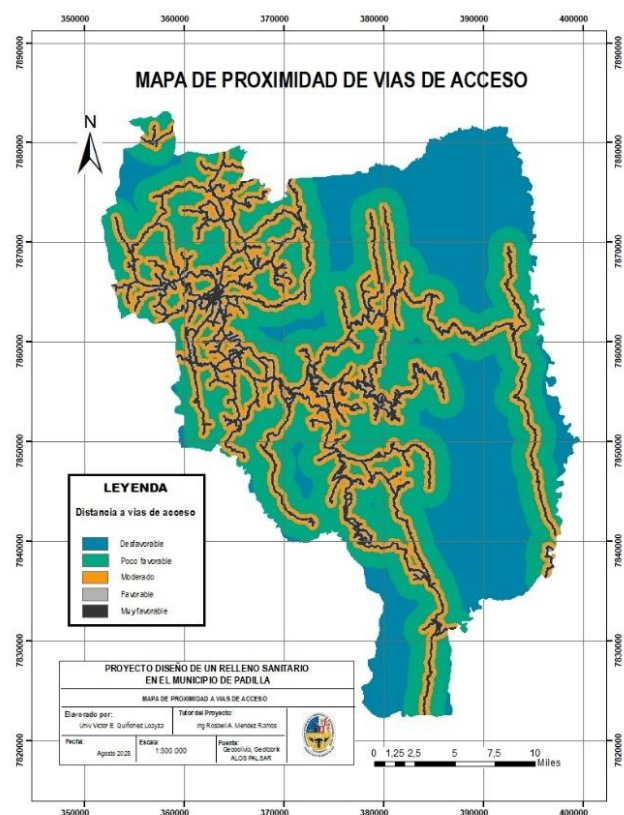


Figura 11 Mapa resultante de idoneidad

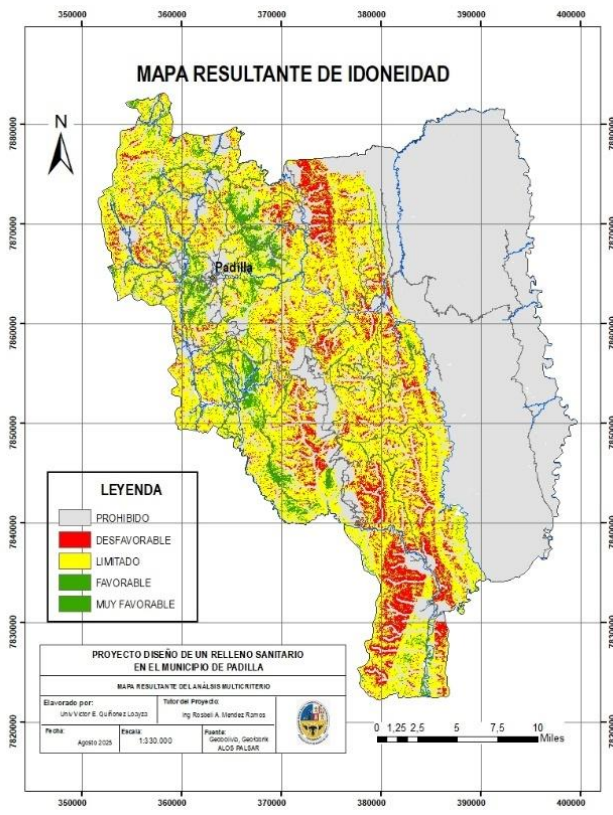


Figura 12 Mapa final

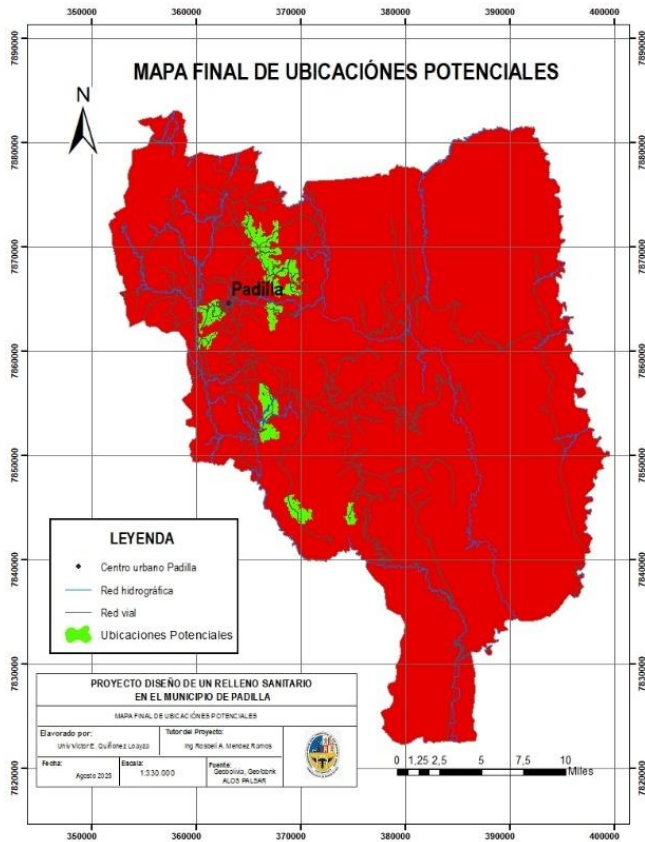


Figura 13 Lugares potenciales para el emplazamiento del relleno sanitario

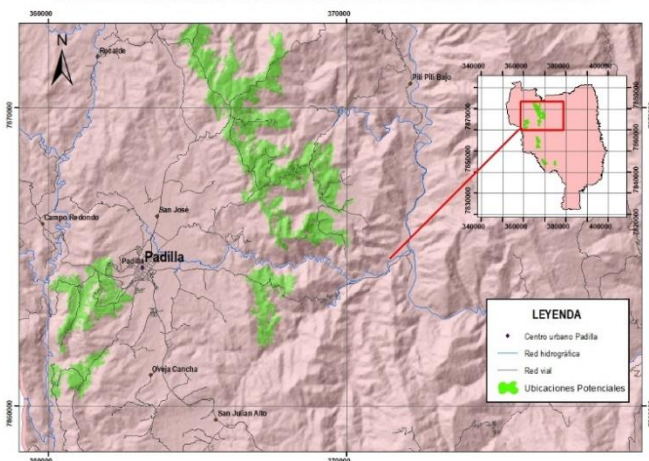


Figura 14 Ubicación de los 3 lugares propuestos

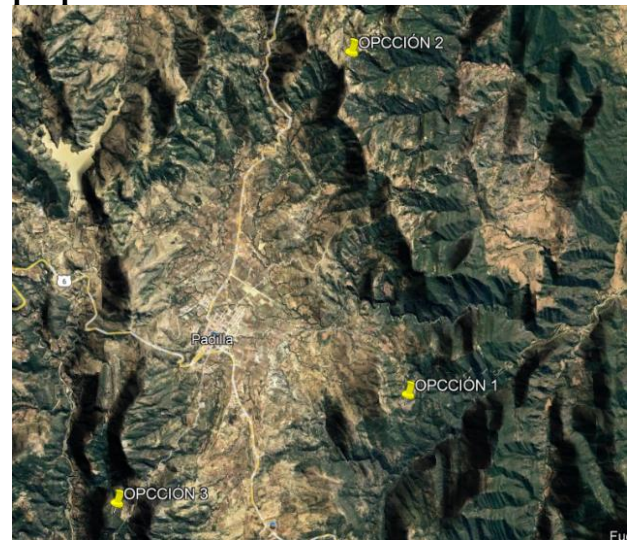


Tabla 1. Pesos AHP propuestos

Criterio	Peso	%
VAS (vulnerabilidad de acuífero)	0,20	20 %
Pendiente	0,15	15 %
Distancia a poblaciones	0,15	15 %
Distancia a ríos	0,15	15 %
Geología / Riesgo	0,10	10 %
TWI (humedad superficial)	0,09	9 %
Distancia a caminos	0,09	9 %
Uso de suelo	0,05	5 %
Precipitación	0,02	2 %
Total	1,00	100 %

El análisis multicriterio identificó tres alternativas principales (A-1, A-2 y A-3) como las áreas con mejores condiciones para el emplazamiento del relleno sanitario. Estas alternativas presentaron los valores más altos dentro de la escala de aptitud generada por el modelo.

**Tabla 2. Criterios de localización según normativa internacional**

Aspecto	Bolivia (NB 757, NB 760, Guía MMAyA)	OMS / Banco Mundial	Perú (MINAM, 2018)	Alemania (Directivas UE)
Distancia a centros poblados	$\geq 1.000$ m de la mancha urbana	Recomienda $\geq 500$ – $1.000$ m	$\geq 1.000$ m	$\geq 500$ m con barreras vegetales
Distancia a cuerpos de agua superficiales	$\geq 500$ m	$\geq 500$ m	$\geq 500$ m	$\geq 300$ m + sistemas de drenaje
Distancia a pozos y manantiales	$\geq 500$ m	$\geq 500$ m	$\geq 1.000$ m	$\geq 300$ m + monitoreo continuo
Zonas inundables	No permitido	No permitido	No permitido	No permitido
Áreas protegidas	Prohibido dentro de áreas protegidas	Prohibido	Prohibido	Prohibido
Geología y estabilidad	Evitar zonas de taludes inestables o dolinas	Evitar fallas activas	Evitar suelos no competentes	Estudios geotécnicos obligatorios
Hidrogeología	Tiempo de viaje de contaminante $\geq 150$ años	Protección de acuíferos con barreras	Estudios hidrogeológicos obligatorios	Impermeabilización estricta + monitoreo
Nivel freático	$\geq 1,5$ m bajo fondo de celda	$\geq 1,5$ m	$\geq 2$ m	$\geq 1,5$ m
Accesibilidad vial	Acceso permanente a vías principales	Vías transitables todo el año	Vías afirmadas mín. 6 m de ancho	Acceso pavimentado obligatorio
Cobertura de material	Material de cobertura disponible localmente	Recomendado	Obligatorio	Obligatorio
Aspectos sociales	Considerar aceptación social	Participación comunitaria	Consulta ciudadana	Evaluación pública obligatoria

## Evaluación TESA y selección del sitio

Las alternativas fueron evaluadas mediante la matriz Técnico–Económico–Social Ambiental (TESA). Los puntajes obtenidos fueron:

- A-1: 416 puntos
- A-2: 424 puntos
- A-3: 424 puntos

Las alternativas A-2 y A-3 alcanzaron el mayor índice de idoneidad (84,8 %).

Para resolver el empate, se consideraron criterios operativos adicionales. La alternativa A-3 presentó:

- Distancia de acarreo: 5,26 km
- Acceso vial directo: 12 m al camino principal

Estos factores permitieron seleccionar A-3 como el sitio óptimo para el emplazamiento del relleno sanitario del municipio de Padilla.

## Dimensionamiento y diseño técnico preliminar

El área operativa requerida para la disposición final fue de 1,0604 ha, mientras que el área total necesaria, incluyendo zonas de protección y obras complementarias, alcanzó 1,33 ha. El relleno fue diseñado con una altura total de 6 m, distribuida en 3 m de trinchera y 3 m sobre rasante, con taludes de 1V:1H en trinchera y 1V:3H sobre rasante. Se definieron 80 subceldas operativas, lo que permite un manejo controlado y progresivo del volumen de residuos. El cálculo volumétrico determinó un volumen proyectado de 63.621 m<sup>3</sup>, para el cual se estableció un volumen de diseño de 65.040 m<sup>3</sup>, otorgando un margen de seguridad del 2,2 %.

## Sistema de manejo de lixiviados

El diseño hidráulico del sistema se desarrolló mediante el método suizo. Se definieron:

- Pendiente de fondo: 1,5 %
- Separación entre drenes: 30 m
- Diámetro de drenes laterales: 160 mm
- Diámetro del dren colector: 200 mm
- Capa drenante: grava de 19–38 mm y espesor de 0,30 m
- Geosintéticos: geomembrana de HDPE  $\geq$  1,5 mm

Con los parámetros de infiltración efectiva y la precipitación del mes crítico, se dimensionó un tanque de almacenamiento de lixiviados de aproximadamente 300 m<sup>3</sup>.

## Discusión

La producción per cápita estimada de 0,516 kg/hab·día y el volumen proyectado de 63.621 m<sup>3</sup> en 20 años se ubican dentro de los rangos reportados para municipios intermedios de países en desarrollo, lo que confirma la validez del diagnóstico realizado para Padilla y asegura su comparabilidad con estudios internacionales (World Bank, 2018; UNEP, 2021). Estos resultados evidencian la urgencia de sustituir el botadero a cielo abierto por un sistema de disposición controlada, en línea con las tendencias globales hacia una gestión más segura y sostenible de los residuos sólidos.

La aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) combinada con análisis multicriterio permitió identificar sitios potenciales que cumplen con criterios ambientales, técnicos y sociales, en concordancia con la Guía para el Diseño de Rellenos Sanitarios y la normativa NB 757 (MMAyA, 2012; NB 757). La integración del análisis TESA aportó una dimensión adicional al incorporar aspectos operativos y económicos, fortaleciendo la selección final y alineándose con enfoques contemporáneos de planificación de infraestructura sanitaria promovidos por organismos internacionales (OPS/OMS, 2020).

El diseño técnico propuesto, con un volumen de 65.040 m<sup>3</sup>, un margen de seguridad del 2,2 %, subdivisión en subceldas y un sistema de manejo de lixiviados basado en el método suizo, cumple con los criterios establecidos en la NB 760 y las guías nacionales (NB 760; MMAyA, 2012). Esto demuestra que el proyecto es técnica y ambientalmente viable, y que responde a estándares reconocidos de ingeniería.

Como proyección futura, se recomienda complementar el diseño con evaluaciones específicas de potencial de generación de biogás y análisis detallados de costos de operación y mantenimiento, lo que permitirá optimizar la gestión integral del relleno sanitario y avanzar hacia esquemas de economía circular y aprovechamiento energético de residuos.

## Conclusiones

El estudio permitió identificar un sitio óptimo para el emplazamiento del relleno sanitario mediante la integración de herramientas SIG, análisis multicriterio y evaluación TESA, demostrando que la combinación de metodologías espaciales y criterios de sostenibilidad constituye una estrategia eficaz para mejorar la calidad de la toma de decisiones en la planificación de infraestructura ambiental. Este enfoque garantizó la selección de un área que satisface de manera simultánea criterios ambientales, técnicos, sociales y operativos, en concordancia con la normativa boliviana vigente.

El diseño técnico desarrollado asegura la viabilidad del sistema de disposición final, al incorporar estándares de ingeniería establecidos en la NB 760 y en la Guía de Diseño del MMAyA. La subdivisión en subceldas, el manejo controlado de lixiviados y la configuración geométrica propuesta fortalecen la sostenibilidad operativa del proyecto y reducen los riesgos asociados a la gestión de residuos sólidos urbanos.

En conjunto, la investigación evidencia que los municipios intermedios pueden optimizar sus procesos de planificación y gestión de residuos mediante la aplicación de metodologías geoespaciales y criterios de sostenibilidad. Como línea de trabajo futuro, se recomienda profundizar en el análisis de costos de operación, emisiones de biogás y comportamiento hidrológico del sitio, con el fin de complementar la gestión integral del relleno sanitario y avanzar hacia modelos más eficientes, resilientes y alineados con los principios de la economía circular.

## Referencias

- Agencia de Residuos de Cataluña (ARC). (1997). *Decreto 7/1997 de enero, sobre la disposición de los desperdicios de los residuos en depósitos controlados*. Catalunya.
- Agencia de Residuos de Cataluña (ARC). (n.d.). *Cierre técnico del relleno de Serrallarga, Lleida; Catalunya, España* (Mencionado en Guía MMAyA).
- Agencia Sueca de Cooperación Internacional (ASDI). (2023). *Lecciones aprendidas y buenas prácticas en los municipios de Boyuibe, Cuevo y Lagunillas del Chaco Cruceño: Cierre Técnico y Rehabilitación de Botaderos* (S. M. Morales Reider & H. Cari Ruiz, Autores).
- Banco Mundial. (1999). Documento de trabajo 426 (P. Rushbrook & M. Pugh, Autores).
- Banco Mundial. (2021). *What a Waste Global Database*. Recuperado de <https://datacatalog.worldbank.org/dataset/what-waste-global-database>
- Castro Merizalde, B. (1993). *Manual Programa de Computo HELP-2.5*.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora* (Documentos de Proyectos LC/TS.2021/120). Naciones Unidas. [www.cepal.org/es/publications](http://www.cepal.org/es/publications) ([cepal.org](https://www.bing.com) in Bing)
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). (n.d.). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.

- Colomer, F., & Gallardo, A. (2007). *Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Daniel, D. E., & Koerner, R. M. (2007). *Waste containment facilities: Guidance for construction, testing, and approval*. ASCE.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability (2nd ed.)*. Wiley.
- Educa Padilla-Tomina. (n.d.). [Cultivos de Padilla]. Recuperado de [https://www.google.com/url?sa=i&url=https://www.educa.com.bo/%2Fgeografia/%2Fpadilla-municipio-tomina&psig=AOvVaw1T6elwz-gcvKGc-dRqxI4r&ust=1757630793170000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBUQjRxqFwoTCJCv\\_IyJz48DFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=https://www.educa.com.bo/%2Fgeografia/%2Fpadilla-municipio-tomina&psig=AOvVaw1T6elwz-gcvKGc-dRqxI4r&ust=1757630793170000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBUQjRxqFwoTCJCv_IyJz48DFQAAAAAdAAAAABAE)
- Environmental Protection Agency (EPA). (1998). *Guidance for landfilling waste in economically developing countries*.
- Espinosa Lloréns, M. (2010). Análisis del comportamiento de los lixiviados generados en un vertedero de residuos sólidos municipales de la ciudad de la Habana. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(4), México.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1976).
- Fernández, A., & Sánchez, O. (1997). *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos*. ONUDI – LARE.
- Giraldo, E. (2008). Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances Recientes. Universidad de los Andes.
- Gobierno Autónomo Departamental de Chuquisaca (GADCH). (2020). *Datos de producción agrícola*.
- Gonçalves Ferreira, A. (2010). *Estudo dos Lixiviados Das Frações do Aterro Sanitário...*
- Helvetas Swiss Intercooperation. (2020). *Diagnósticos Territoriales de Cuevo, Boyuibe y Lagunillas*.
- Helvetas Swiss Intercooperation. (s/a). *Planes de Cierre y Rehabilitación de los Botaderos a Cielo Abierto de Cuevo, Boyuibe y Lagunillas*.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1996). *Ingeniería Ambiental (2a ed.)*. Editorial Pearson.
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA). (1996). *Norma Boliviana NB 743: Residuos sólidos – Determinación de parámetros de diseño sobre residuos sólidos municipales*. La Paz: Autor. <https://bibliotecas.ucb.edu.bo/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=128464>
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA). (1996). *Norma Boliviana NB 757: Características que deben reunir los sitios para ubicar sistemas de disposición final de residuos sólidos municipales*.
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA). (1996). *Norma Boliviana NB 760: Requisitos para el diseño, construcción, operación y monitoreo de un relleno sanitario*.
- Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA). (2012). *Norma Boliviana NB-69019: Residuos sólidos – Residuos de aparatos eléctricos y/o electrónicos – Manejo de residuos de aparatos eléctricos y/o electrónicos*. La Paz. <https://www.ibnorca.org/tienda/catalogo/detalle-norma/nb-69019:2012-nid=2779-6#scrollSlider>

- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales*. Universidad de Antioquía, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Colombia.
- Ley N° 031 Ley Marco de Autonomías Andrés Ibáñez. (2011). *Gaceta Oficial de Bolivia*.
- Ley N° 300 Ley Marco de la Madre Tierra Desarrollo Integral para Vivir Bien. (2012). *Gaceta Oficial de Bolivia*.
- Ley N° 755 de Gestión Integral de Residuos. (2015). *Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia*.
- Ley N° 777 del Sistema de Planificación Integral del Estado – SPIE. (2016). *Gaceta Oficial de Bolivia*.
- Martínez Guerrero, R. (2007). *Estudio sobre la concentración de contaminantes orgánicos, inorgánicos y biológicos en lixiviados del relleno sanitario “San Nicolás” y en agua de pozos aledaños*. México.
- Meléndez, C. (2004). *Guía Práctica para la Operación de Celdas Diarias en Relleno Sanitarios Pequeños y Mediados*. PROARCA/SIGMA Argentina.
- Ministerio de Ambiente (Colombia). (2002). *Guía ambiental para el saneamiento y cierre de botaderos a cielo abierto*.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2011). *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia*.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2011). *Programa Plurinacional de la Gestión Integral de Residuos Sólidos*.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2014). *Guía para el Diseño, Construcción, Operación, y Cierre de Rellenos Sanitarios* (Aprobada mediante R.M. 398 del 29 de septiembre de 2014).
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2016). Decreto Supremo N° 2954 (Reglamento General de la Ley N° 755). *Gaceta Oficial de Bolivia*. Recuperado de <https://www.lexivox.org/norms/BO-RE-DSN2954.html>
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2016). *Plan de Implementación de la Ley N° 755* (Aprobado mediante R.M. N° 489/2016).
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2021). *Planificación Nacional para el Cierre Técnico de Botaderos* (R.M. 269/2021 del 18 de mayo de 2021).
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA). (2022). *Guía para el fortalecimiento e Inclusión Social de Recicladoras y Recicladores* (Aprobado mediante R.M. 170 del 06 de mayo de 2022).
- NB 757. (IBNORCA). *Residuos sólidos. Relleno sanitario. Requisitos para la selección del sitio*.
- NB 760. (IBNORCA). *Residuos sólidos. Relleno sanitario. Requisitos para el diseño, construcción, operación y clausura*.
- OPS/OMS. (2020). *Gestión integral de residuos sólidos y riesgos sanitarios en la región de las Américas*. Organización Panamericana de la Salud.
- UNEP. (2021). *Waste Management Outlook for Latin America and the Caribbean*. United Nations Environment Programme.
- World Bank. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. The World Bank.