



V.Bo. Nestor Rojas

**Aplicación de herramientas SIG para la localización óptima de rellenos sanitarios
en Colombia conforme al decreto 838 de 2005: estudio de caso municipio de Puerto
Boyacá**

Autor1: María Paula González Rodríguez ^a, Autor2: Paula Valentina Mejía González ^b,
Autor3: Néstor Iván Rojas Gamba ^c.

- a. Facultad Ingeniería Civil, Especialización en Ingeniería Hidroambiental
Universidad Santo Tomás – Tunja, maria.gonzalezr@santoto.edu.co.
- b. Facultad Ingeniería Civil, Especialización en Ingeniería Hidroambiental
Universidad Santo Tomás – Tunja, paula.mejiag@santoto.edu.co.
- c. Facultad Ingeniería Civil, Especialización en Ingeniería Hidroambiental
Universidad Santo Tomás – Tunja, nestor.rojas@santoto.edu.co.

Resumen

El manejo integral de los residuos sólidos municipales constituye un reto importante para las administraciones locales en Colombia, especialmente cuando ocurren situaciones como el cierre, en 2015, del relleno sanitario El Marañoal, ubicado en el municipio de Puerto Boyacá. Este hecho respondió a deficiencias estructurales y ambientales que generaron una crisis en la disposición final de los residuos sólidos, afectando no solo al municipio, sino también a poblaciones vecinas. Ante este panorama, surge la necesidad de identificar un nuevo sitio para la disposición adecuada de los residuos, cumpliendo con criterios técnicos, ambientales y normativos. En este artículo se expone el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar la ubicación más adecuada de un relleno sanitario en el municipio, con base en los lineamientos del Decreto 838 de 2005. Se aplica una metodología multicriterio que considera factores como pendiente, uso del suelo, cuerpos de agua, vías de acceso y zonas restringidas, lo que permite realizar un análisis

espacial riguroso y sustentado. Los resultados brindan una alternativa técnica para la toma de decisiones.

Palabras clave

Sistemas de Información Geográfica (SIG), Relleno sanitario, Localización óptima, Gestión de residuos sólidos, Análisis multicriterio, Decreto 838 de 2005, Puerto Boyacá, Planeación territorial, Evaluación ambiental, Herramientas geoespaciales.

Abstract

The proper management of municipal solid waste represents a critical challenge for local governments in Colombia, especially after events such as the closure of the El Marañal landfill in 2015 in the municipality of Puerto Boyacá, due to structural and environmental failures that resulted in a final disposal crisis. Faced with this situation, the need to locate a new landfill site according to technical, environmental and legal criteria has arisen. This article presents the application of Geographic Information Systems (GIS) tools for the optimal location of a sanitary landfill in the municipality, in compliance with “Decreto 838 de 2005, Colombia”. A multi-criteria approach that integrates variables such as slope, land use, water bodies, road network and exclusion areas is used, allowing a rigorous and objective spatial evaluation. The results offer a technical alternative for informed and sustainable decision making in solid waste management in complex municipal contexts such as Puerto Boyacá.

Key Words

Landfill, Optimal location, Solid waste management, Multicriteria analysis, “Decreto 838 de 2005, Colombia”, Puerto Boyacá, Territorial planning, Environmental evaluation, Geospatial tools

Introducción

La generación de residuos sólidos y su inadecuado tratamiento representa un problema creciente asociado al desarrollo urbano y rural, debido al aumento poblacional y al crecimiento económico del país. Por ello, es crucial diseñar estrategias que permitan

mitigar los impactos ambientales derivados de una gestión ineficiente (CorpoBoyacá, s.f.). Una adecuada gestión de los residuos implica la implementación de acciones y programas enfocados en prevenir su generación, reducir la cantidad que requiere disposición final y promover su aprovechamiento. Los residuos sólidos de tipo orgánico, inorgánico, de consumo masivo, especiales y peligrosos forman parte de los desafíos ambientales tanto en zonas urbanas como rurales del municipio de Puerto Boyacá, situación que se ve agravada por falencias en las rutas de recolección, almacenamiento y disposición, lo cual afecta negativamente a los recursos naturales. La localización de sitios de disposición final debe ser resultado de procesos planificados de ordenamiento territorial, guiados no solo por la dimensión física, sino por una visión de sostenibilidad integral. (Alcaldía Municipal de Puerto Boyacá, 2024).

En Colombia, el marco normativo establecido por el Decreto 838 de 2005, la Resolución 0472 de 2017 y el RAS 2000 Volumen 2 – Título G, exige que los sistemas de disposición final, como los rellenos sanitarios, cumplan criterios técnicos, ambientales, geográficos y sociales que garanticen su funcionamiento seguro y sostenible en el largo plazo. Para abordar esta complejidad, se recurre al análisis multicriterio, una metodología que permite integrar y ponderar diversas variables como distancias, características del suelo y restricciones ambientales para apoyar la toma de decisiones espaciales fundamentadas. No obstante, muchas entidades territoriales enfrentan dificultades para localizar sitios óptimos, debido a la limitada disponibilidad de suelo apto y a la ausencia de estudios multicriterio con respaldo técnico.

Se propone una metodología para la selección óptima de terrenos destinados a la ubicación de un relleno sanitario en el municipio de Puerto Boyacá, como respuesta a la crisis generada por el cierre del sitio de disposición final El Maraňal, debido a problemas estructurales y ambientales. La selección del sitio se basa en el cumplimiento de los criterios técnicos, ambientales y normativos establecidos en el Decreto 838 de 2005, utilizando herramientas de análisis espacial integradas en la plataforma ArcGIS Pro. (Esri, s.f.)

El uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite evaluar diversas variables espaciales como la proximidad a fuentes hídricas, centros poblados,

pendientes del terreno, uso del suelo y zonas protegidas, integrándolas mediante un enfoque multicriterio que facilita identificar las áreas más adecuadas para establecer un relleno sanitario a nivel regional. Esta metodología, ya probada en otros territorios del país, como el área metropolitana del Valle de Aburrá (Gascón, Jiménez y Pérez, 2015), ha evidenciado su efectividad en situaciones donde este tipo de infraestructura representa la opción principal para el manejo final de los residuos.

En este contexto, su implementación en el municipio de Puerto Boyacá busca respaldar procesos de planificación territorial y fomentar una gestión responsable de los residuos, en línea con los requerimientos normativos actuales y las demandas locales.

Marco Teórico

La localización de sitios para disposición final de residuos sólidos exige considerar múltiples variables ambientales, sociales, técnicas y normativas. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen herramientas clave al permitir integrar criterios espaciales en modelos de análisis multicriterio. A través de operaciones como la reclasificación, la superposición ponderada y el análisis de distancias, los SIG facilitan la identificación de zonas con condiciones óptimas para infraestructuras ambientales (Esri, s.f.). Este enfoque ha demostrado ser eficaz en la planificación territorial de proyectos de disposición final, permitiendo tomar decisiones fundamentadas en datos geográficos objetivos.

Marco Legal

El marco normativo para la disposición final de residuos sólidos en Colombia está liderado por el Decreto 838 de 2005, el cual establece criterios técnicos, ambientales y sociales obligatorios para la localización y operación de rellenos sanitarios (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005). Dentro de estos criterios destacan la capacidad del terreno, las condiciones de acceso, la distancia a cuerpos hídricos, la pendiente, el uso actual del suelo y la densidad poblacional. El artículo 5° del Decreto estipula que estos aspectos deben evaluarse mediante un sistema de puntuación técnica, el cual permite comparar y jerarquizar las alternativas territoriales disponibles en función de su idoneidad ambiental y operativa.

A continuación, se presentan algunas de las tablas correspondientes a los criterios normativos más relevantes considerados para la evaluación de sitios de disposición final, conforme a lo establecido en el Decreto 838 de 2005. Estas tablas permiten calificar la idoneidad del terreno con base en parámetros como capacidad, accesibilidad vial, distancias mínimas y restricciones ambientales.

Capacidad 30 años	
Distancia	Puntaje
≥ 1.5	200
≤ 0.5	0

Tabla 1. Capacidad del relleno

Esta tabla representa la capacidad requerida del sitio de disposición final en relación con la producción proyectada de residuos sólidos en un horizonte de planificación de 20 a 30 años.

Distancia entre perímetro urbano y zona de disposición final	
Criterio	Puntaje
2-5 km	140
5.1-10 km	100
10.1-25 km	60
25.1-50 km	20
Mayor a 50 km	0

Tabla 2. Distancia entre perímetro urbano y zona de disposición final.

Evalúa el estado físico y funcional de las vías disponibles para llegar al sitio, considerando aspectos como pavimentación, tránsito y accesibilidad en temporada de lluvias.

Distancia a cuerpos hídricos	
Distancia	Puntaje
> 2000 m	60
1000 a 2000 m	40
500 a 999 m	20
50 a 499 m	10
< 50 m	0

Tabla 3. Distancia a cuerpos hídricos

Clasifica la idoneidad del sitio según su proximidad a fuentes hídricas superficiales, cumpliendo con distancias mínimas para evitar riesgos de contaminación y afectación ambiental.

Marco de referencia

El análisis multicriterio basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite integrar diversas capas de información espacial, como pendientes, uso del suelo y proximidad a cuerpos de agua, con el fin de generar mapas de aptitud que identifican zonas viables para la ubicación de rellenos sanitarios. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado en contextos internacionales como herramienta para la toma de decisiones territoriales fundamentadas. Un ejemplo destacado es el estudio de Alemán et al. (2022), en el que se aplicó un índice de localización sostenible en el área metropolitana de Monterrey, México, integrando variables ambientales, técnicas y sociales para seleccionar sitios óptimos para la disposición final de residuos. Este trabajo demuestra cómo el uso de SIG, combinado con criterios de sostenibilidad, puede fortalecer la gestión integral de residuos urbanos (Rueda-Avellaneda et al., 2023).

En el contexto colombiano, también se han desarrollado múltiples investigaciones que aplican herramientas SIG para apoyar procesos de planificación ambiental. Un caso relevante es el artículo publicado en la revista *Perspectiva Geográfica* de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), donde se documenta el uso del análisis multicriterio con SIG para la selección de sitios de disposición final en áreas rurales. Este estudio resalta la importancia de adaptar los criterios establecidos en el Decreto 838 de 2005 a las realidades geográficas y sociales de cada territorio, lo que resulta clave para la viabilidad técnica y normativa de este tipo de infraestructuras (*Perspectiva Geográfica*, UPTC).

Adicionalmente, plataformas científicas como ScienceDirect han documentado diversas aplicaciones de modelos multicriterio y SIG en distintos entornos geográficos, lo que valida la solidez metodológica de este enfoque. Estas investigaciones destacan el uso de herramientas como la distancia euclidiana, la reclasificación temática y la ponderación de variables para generar mapas de idoneidad ambiental, fácilmente adaptables a marcos regulatorios locales o nacionales.

Con base en estas referencias, se diseñó una metodología específica para identificar áreas potencialmente aptas para la localización de un relleno sanitario en Puerto Boyacá, en cumplimiento con los criterios técnicos, ambientales y normativos definidos por el Decreto 838 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. La metodología se fundamentó en un enfoque multicriterio ponderado implementado en un entorno SIG, integrando variables físicas, normativas, ambientales y técnicas. Este proceso incluyó operaciones de análisis espacial mediante el software ArcGIS, tales como la generación de capas ráster normalizadas, análisis de distancias euclidianas, cálculo de pendientes, reclasificación con base en umbrales normativos, conversión ráster a vector, estimación de áreas y selección espacial de polígonos de alta aptitud.

Metodología

La presente metodología se diseñó con el objetivo de identificar áreas potencialmente aptas para la ubicación de un relleno sanitario, en cumplimiento con los criterios técnicos, ambientales y normativos establecidos en el Decreto 838 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. Se llevó a cabo la integración de variables normativas, físicas, ambientales y técnicas bajo un enfoque multicriterio ponderado en SIG, para identificar las zonas óptimas de localización de un nuevo relleno sanitario. Este proceso implicó una serie de operaciones avanzadas de análisis espacial mediante el software ArcGIS, entre las que se incluyeron: generación de capas ráster normalizadas, aplicación de distancias euclidianas, análisis de pendientes, reclasificación por criterios normativos, conversión ráster a vector, cálculo de áreas y selección espacial de polígonos.

Etapas del proceso metodológico

Recolección y preparación de datos: Se seleccionaron 13 criterios con base en el Decreto 838 de 2005. La selección se orientó a garantizar el cumplimiento de requisitos normativos para la localización de rellenos sanitarios, y se consolidaron capas representativas para cada variable, utilizando insumos vectoriales y ráster obtenidos desde Colombia en Mapas, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el Departamento Administrativo Nacional de

Estadística (DANE) y la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) modelo de elevación digital.

Se recopilaron los siguientes insumos cartográficos, con resolución suficiente para análisis a escala detallada:

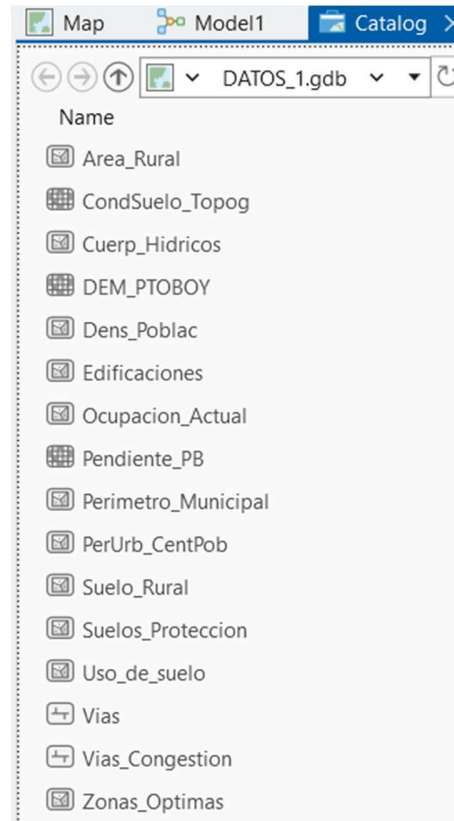


Figura 1: Base de datos – Insumos cartográficos. Fuente: Elaboración propia.

Todos los datos fueron proyectados al mismo sistema de coordenadas con una proyección (MAGNA-SIRGAS, origen único nacional) respaldada por el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia adoptado oficialmente en Colombia (IGAC, 2020).

Análisis de distancia euclidiana: La herramienta de “distancia euclidiana” fue aplicada a cada uno de estos elementos, generando rasters que representan la distancia en línea recta desde cada píxel del área de estudio hasta el objeto de referencia correspondiente. Con base en los criterios de distanciamiento mínimo establecidos por la normativa se generaron capas de distancia euclidiana para los siguientes elementos:

- Centros poblados: distancia mínima de 1.000 metros.
- Cuerpos de agua superficiales: distancia mínima de 500 metros.
- Áreas protegidas y reservas: restricción absoluta.
- Red vial principal: acceso requerido, sin estar demasiado cerca.

Reclasificación raster: Cada capa de distancia generada fue reclasificada en rangos de aptitud, asignando valores cualitativos (óptima, moderadamente óptima, restringida) de acuerdo con los umbrales establecidos en el decreto:

- Se asignaron puntajes normalizados entre 1 y 100 para representar el nivel de cumplimiento de cada variable, permitiendo luego su combinación ponderada se priorizan criterios técnicos como: distancias mínimas a cuerpos hídricos (≥ 200 m), zonas de protección periurbana (≥ 2 km), pendientes aptas ($\leq 12\%$) y cobertura del suelo con baja densidad poblacional, Del mismo modo, se reclasificaron capas de pendiente (idealmente $<15\%$), uso del suelo (excluyendo zonas urbanas o agrícolas intensivas), y geología (preferiblemente terrenos estables y no inundables).

Clasificación raster		
Criterio	Valor	
Zona óptima	100	Cumple totalmente el criterio establecido por norma
Zona moderadamente apta	60-80	Cumple parcialmente o con condiciones aceptables
Zona restringida	>40	No cumple o implica alto riesgo

Tabla 4: Clasificación Raster

Asignación de ponderaciones: Como se mencionó anteriormente, se decidió asignar un porcentaje de peso a cada uno de los criterios seleccionados. Esta ponderación se realizó conforme a los lineamientos establecidos en el Decreto 838 de 2005, priorizando variables de acuerdo con su relevancia normativa y operativa para la localización de rellenos sanitarios. En consecuencia, se construyó una tabla de ponderaciones ajustadas, cuya suma total de porcentajes fue igual al 100 %.

Clasificación raster		
Criterio	Capa	Porcentaje
Distancia a perímetro urbano	Reclass_PerUrbCP	18%
Distancia a cuerpos hídricos	Reclass_CuerpHid	8%
Densidad poblacional	Reclass_Denspob	5%
Pendiente del terreno	Reclass_SlopeDEM	6%
Presencia de vías de acceso	Raster_ConVias	3%
Pendiente de vías de acceso	Raster_PendVias	4%
Congestión vehicular	Raster_Congest	5%
Proximidad a doble vías	Raster_DistViaP	3%
Proximidad a vía principal	Raster_OcupActSu	11%
Ocupación actual del suelo	Punt_MovMasa	5%
División predial	Raster_DivPredV	5%
Capacidad de almacenamiento	Raster_ZonaOptima	26%

Tabla 5: Porcentajes de ponderación

Análisis multicriterio (Modelo de idoneidad): se utilizó la herramienta Weighted Overlay de ArcGIS, que combina las capas reclasificadas según sus pesos y devuelve un raster final de aptitud con valores entre 35 y 96, el resultado del Weighted Overlay fue un índice de idoneidad espacial que integra múltiples factores, generando un mapa categorizado en 5 clases:

Clasificación de ponderación	
Rango de aptitud	Clasificación
35-47	No apto
47-62	Baja aptitud
62-78	Media aptitud
78-86	Alta aptitud
86-96	Zona óptima

Tabla 6: Clasificación de ponderación

Diagrama de Flujo del Modelo de Análisis Multicriterio: para representar y comunicar el proceso metodológico del análisis multicriterio realizado mediante herramientas SIG, se exporta un modelo en forma de diagrama de flujo. Este diagrama permite visualizar de manera clara y secuencial cada etapa del análisis,

desde la incorporación de los datos de entrada (tales como capas vectoriales y ráster), hasta la obtención del resultado final, representado en un mapa de idoneidad. A lo largo del flujo, se evidencian los procesos de transformación, combinación y análisis de los distintos criterios involucrados, lo que facilita la comprensión, validación y reproducción del modelo.



Figura 2: Diagrama de Flujo del modelo. Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Resultados

El modelo genera una capa raster final que se interpreta como un mapa de aptitud o idoneidad espacial. Dependiendo del propósito del análisis (ubicación óptima para

infraestructura, expansión urbana, conservación, etc.), los valores altos indicarán mayor aptitud según los criterios considerados.

Este modelo permitió generar un mapa continuo de idoneidad para todo el municipio de Puerto Boyacá, en el que cada celda refleja un puntaje según su nivel de cumplimiento con los criterios técnicos, ambientales y normativos establecidos en el Decreto 838 de 2005. Para ello, se reclasificaron las capas temáticas utilizadas en el análisis, dando prioridad a variables clave como la distancia a centros poblados, cuerpos de agua, pendiente del terreno, accesibilidad vial y densidad poblacional.

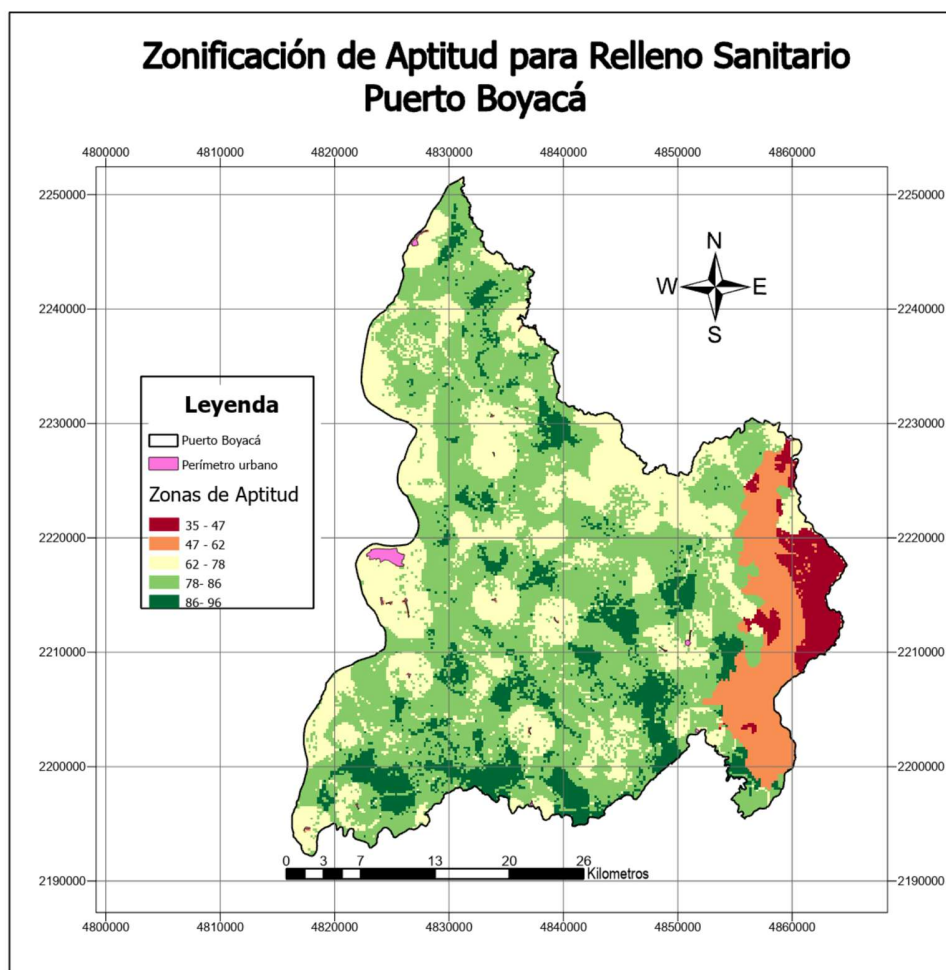


Figura 3: Mapa de idoneidad Municipio de Puerto Boyacá
Fuente: elaborado por los autores

Una vez ejecutado el modelo, se aplicó una reclasificación binaria sobre el raster resultante para destacar las áreas con mayor puntaje (≥ 86), consideradas técnicamente viables para la instalación de un relleno sanitario. Estas zonas fueron convertidas a formato vectorial, lo

que permitió identificar y delimitar claramente los polígonos más aptos. Como parte del análisis final, se filtraron únicamente aquellos polígonos con una superficie mínima de 15 hectáreas, en concordancia con los requerimientos operativos y de capacidad del proyecto, asegurando que las opciones seleccionadas sean sostenibles tanto en términos técnicos como ambientales.

De acuerdo con lo obtenido en el mapa de idoneidad del análisis multicriterio se evidencia:

Zona con mayor aptitud (se identifica con color verde oscuro a claro): Se evidencia que estas zonas se encuentran principalmente en el centro y sur occidente del municipio. Con un puntaje >85 se evidencia que pueden contar con:

- Buena accesibilidad con cercanía a vías principales.
- Topografía favorable y pendientes suaves.
- Baja conflictiva o restricciones poca presencia de cuerpos de agua o áreas protegidas.
- Condiciones de suelo adecuadas según el uso previsto ya sea agrícola, urbano y o infraestructura.

Zonas intermedias (Se evidencia con color amarillo a naranja):

- Amplias zonas del territorio caen en esta categoría, lo que indica aptitud media.
- Podrían ser candidatas a desarrollo o intervención si se mejoran ciertos factores, como infraestructura o uso del suelo.

Zonas con baja a muy baja aptitud (Se evidencia con color Rojo)

- Estas áreas se concentran en el oriente del municipio, limitando con la llanura.
- Posibles factores que contribuyen a la baja aptitud con Pendientes pronunciadas o áreas inundables.
- Presencia de cuerpos hídricos importantes o restricciones ambientales.
- Alejamiento de infraestructura vial o centros poblados.
- Condiciones de uso del suelo no favorables (por ejemplo, zonas protegidas o conflictivas).

Conclusiones

El uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el análisis multicriterio espacial permite integrar, procesar y visualizar múltiples variables geográficas que inciden directamente en la toma de decisiones territoriales. En el caso del estudio de aptitud territorial en el municipio de Puerto Boyacá, el SIG facilitó la recopilación y combinación de datos relevantes como accesibilidad vial, pendiente del terreno, cobertura del suelo, cuerpos hídricos y restricciones legales o ambientales.

Este enfoque metodológico permitió identificar con precisión las áreas más idóneas para la localización de un nuevo relleno sanitario, apoyando decisiones informadas en ámbitos como el urbanismo, el desarrollo rural, la infraestructura y la conservación. Además, ofrece la ventaja de simular escenarios, asignar ponderaciones según prioridades locales y actualizar los resultados en función de cambios territoriales, contribuyendo así a la eficiencia y adaptabilidad del proceso de planificación.

A partir de los resultados obtenidos, se formulan las siguientes recomendaciones orientadas a optimizar la implementación de los hallazgos en la gestión del territorio:

- **Planeación territorial:** Las zonas clasificadas como altamente aptas (zonas verdes) deberían priorizarse para el desarrollo de proyectos de expansión urbana, infraestructura o servicios públicos, en función de los objetivos de ordenamiento definidos por el municipio.
- **Gestión ambiental:** Las áreas de baja aptitud (zonas rojas) podrían requerir protección ambiental, restauración ecológica o restricciones de uso, con el fin de preservar ecosistemas sensibles y mitigar impactos negativos.
- **Zonificación productiva:** Los mapas de idoneidad generados mediante SIG constituyen una herramienta útil para la asignación técnica y sostenible de usos del suelo, ya sea agrícola, forestal, de conservación o para infraestructura.

En conclusión, las herramientas SIG no solo aumentan la precisión y eficiencia del análisis espacial, sino que también fortalecen la planificación estratégica, participativa y sostenible del desarrollo territorial, especialmente en procesos complejos como la localización óptima de sistemas de disposición final de residuos sólidos.

Referencias

- Corpoboyacá. (s.f.). Gestión integral de residuos sólidos y peligrosos. Recuperado el 3 de junio de 2025. Recuperado de <https://www.corpoboyaca.gov.co/vigente/gestion-integral-de-residuos-solidos-y-peligrosos/>.
- Alcaldía Municipal de Puerto Boyacá. (2024). Plan de Desarrollo Puerto Boyacá Potencia Nacional de Desarrollo 2024–2027. Recuperado de: <https://www.puertoboyaca-boyaca.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/PLAN%20DE%20DESARROLLO%20PUERTO%20BOYAC%C3%81%20POTENCIA%20NACIONAL%20DE%20DESARROLLO%202024-2027.pdf>
- Esri. (s.f.). ArcGIS Pro: Software SIG de escritorio. Recuperado de: <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
- Gascón, S. M., Jiménez, L. M., & Pérez, H. (2015). Óptima ubicación de un relleno sanitario para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá empleando sistemas de información geográfica. Ingenierías USBmed, 6(Corpoboyacá, s.f.), 38-45. Recuperado de: <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/1722>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). Decreto 838 de 2005, por el cual se reglamentan los sistemas de disposición final de residuos sólidos en Colombia. Diario Oficial de la República de Colombia. Recuperado de: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=16123&utm_source=chatgpt.com
- Rueda-Avellaneda, J. F., Gomez-Gonzalez, R., Rivas-García, P., Benitez-Bravo, R., Botello-Álvarez, J. E., & Wang, Z. (2023). Application of a sustainable location index approach to landfill site selection in Monterrey, Mexico. Waste Management & Research, 41 41(5), 1014–1025 https://www.academia.edu/101645493/Analytic_Hierarchy_Process_AHP_for_a_Landfill_Site_Selection_in_Chachapoyas_and_Huancas_NW_Peru_Modeling_in_a_GIS_RS_Environment
- Molina, A. M., López, L. F., & Villegas, G. I. (2005). Los sistemas de información geográfica (SIG) en la planificación municipal. Revista EIA, (4), 21-31. Tomado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-1237200500200003&script=sci_arttext
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 0472 de 2017, por la cual se reglamentan los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos

- (PGIRS). Diario Oficial de la República de Colombia. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0472-de-2017/?utm_source=chatgpt.com
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000. Volumen 2, Título G: Rellenos sanitarios. Bogotá, Colombia. Recuperado de: https://ventanilla.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/010710_ras_titulo_g_.pdf
 - Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (s.f.). Manual de drenaje para carreteras. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
 - Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2002). Documento CONPES 3177: Política para la gestión ambiental urbana. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3177.pdf>
 - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (s.f.). Proyecciones de población por municipio 2020–2035. Recuperado el 3 de junio de 2025. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co>
 - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (s.f.). Indicadores ambientales municipales. Recuperado el 3 de junio de 2025. Recuperado de: <https://www.ideam.gov.co>
 - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2020). MAGNA-SIRGAS: Marco Geocéntrico Nacional de Referencia. Recuperado de <https://www.igac.gov.co>
 - NASA. (s.f.). EarthData – Digital Elevation Models (DEM). Recuperado el 3 de junio de 2025. Recuperado de: <https://earthdata.nasa.gov>
 - (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Colombia en Mapas. Recuperado el 3 de junio de 2025. Recuperado de: <https://colombiaenmapas.gov.co>