UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



Proyecto de investigación previo a la obtención del título de: INGENIERA AMBIENTAL

TEMA

ANÁLISIS MULTICRITERIO BASADO EN SIG PARA IDENTIFICAR POTENCIALES ÁREAS PARA ESTABLECER UN RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN MACARÁ, PROVINCIA LOJA.

AUTOR

EDISON ADRIAN CAYANCELA MAIGUA

LUIS EMANUEL SUQUILANDA RODRIGUEZ

DIRECTORA

MARÍA DE DECKER

PUYO – ECUADOR

2020

AGRADECIMIENTOS

Al único y sabio Dios Jesucristo, a él sea la gloria, la honra y mi eterno agradecimiento porque me ha permitido poder llegar a este punto muy importante de mi carrera terrenal. A mis padres Estuardo Cayancela y Rosa Maigua, mis hermanos Hernán, Rubén, y Lesly Cayancela, por sus apoyos afectuosos y económicos durante mi desarrollo estudiantil y personal

A mi tutora Msc. María de Decker por su ayuda, paciencia y colaboración incondicional para el progreso del presente proyecto de titulación.

A los docentes de la Universidad Estatal Amazónica que me han brindado conocimientos científicos a lo largo de mi carrera universitaria.

Finalmente, a mis amigos y demás familiares que han servido de motivación para mi preparación académica.

EDISON ADRIAN CAYANCELA MAIGUA

En primer lugar, quiero agradecer a nuestro padre celestial por haberme dado la vida, la salud, la sabiduría y la voluntad para no desistir en este proceso universitario. También por haber puesto en mi camino a grandes personas que me cuidaron y motivaron para seguir adelante

A la universidad estatal amazónica por haberme abierto sus puertas, así como también a mis queridos docentes quienes me brindaron sus conocimientos y consejos para alcanzar mí desarrollo profesional.

Un agradecimiento muy especial a mi directora de proyecto Msc. María de Decker quien con su paciencia y conocimiento estuvo asesorándome y guiándome en la realización de este proyecto de titulación.

A mis padres quienes me apoyaron y aconsejaron en los momentos cuando más lo necesitaba y es por ellos que me encuentro culminando esta última etapa de mi vida universitaria.

A mis tíos(as) y abuelitos que siempre estuvieron motivándome y guiándome para no rendirme.

A mis amigos que formaron parte de mi vida universitaria, con quienes he compartido grandes momentos. Por las noches que pasamos en vela antes de la entrega de cualquier trabajo, por las acampadas, por todas las cenas, por los cumpleaños festejados, en fin, por todos aquellos momentos que quedaran grabados en mi memoria. Amigos futuros colegas muchas gracias.

LUIS EMANUEL SUQUILANDA RODRIGUEZ

DEDICATORIA

Al Rey de reyes y Señor de señores que es Jesucristo, quien ha sido el pilar fundamental a nivel personal, por brindarme fuerzas espirituales y físicas que me han sido necesarias para un desenvolvimiento adecuado en la vida cotidiana, por su gracia y misericordia ofreciéndome sabiduría y permitiéndome llegar hasta este punto académico de mi vida.

A mis padres Estuardo Cayancela y Rosa Maigua, por implantar en mí los principios y valores desde la niñez, por apoyarme con recursos económicos con sus consejos y su amor incondicional.

EDISON ADRIAN CAYANCELA MAIGUA

Con todo mi amor y cariño dedico el presente trabajo de titulación a mis padres Luis y Yoni quienes con su esfuerzo y dedicación me han permitido culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos por estar siempre ahí apoyándome y motivándome para no rendirme.

LUIS EMANUEL SUQUILANDA RODRIGUEZ

RESUMEN

Mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y con un análisis de multicriterio se identificó áreas potenciales para ubicar el rellano sanitario del cantón Macará, partiendo de 10 criterios específicamente con relevancia para una buena gestión tales como distancias a vías, uso de suelo, susceptibilidad a inundaciones, precipitación, distancia a ríos, pendiente, nivel freático, drenaje del suelo, zonas con infraestructura y deslizamientos, se tomó en cuenta zonas de restricción como áreas protegidas, relleno sanitario actual y las zonas urbanas. Para fusionar todos los criterios y estandarizarlos en ArcMap 10.5, se ponderó cada criterio mediante el proceso analítico jerárquico (AHP) y para obtener un mapa con áreas idóneas se utilizó la herramienta *Weighted Overlay* el cual combina las capas estandarizadas (1-9) y ponderadas facilitando sitos adecuados para el relleno, el mapa obtenido no mostro áreas con idoneidad (1) como la mejor opción, sin embargo, el 1,-24 % (691,21 ha) corresponde a una excelente opción para instalar el relleno sanitario, se seleccionó 26 sitios posibles de los cuales 6 sitios se consideraron como los más adecuados debido a su cercanía a las vías de acceso, distancia adecuada a la zona urbana y rural, a los recursos hídricos, profundidad adecuada al nivel freático, baja pendiente y drenaje del suelo moderado, se recomiendan estudios adicionales tales como estudios geomorfológicos, geológicos, edafológicos e hidrológicos.

Palabras claves: Relleno sanitario, SIG, análisis multicriterio, AHP, idoneidad, ponderación.

ABSTRACT

Through the Geographic Information Systems (GIS) and with a multicriteria analysis, potential areas were identified to locate the sanitary landing of Macará's canton. These areas have recognized based on ten specific relevant criteria for good management such as distances to rivers and roads, land use, floods susceptibility, precipitation, slope; phreatic levels, soil drainage, areas with infrastructure and landslides, restriction zones (protected areas), sanitary landfill, and urban areas. With all merge criteria and standardize them in ArcMap 10.5, each norm was weighted through the Hierarchical Analytical Process (AHP) to obtain a map with suitable areas. Also, the Weighted Overlay tool was used, which combines the standardized (1-9) and weighted layers providing suitable sites for the landfill. The map obtained did not show suitable areas (1) as the best option, but 1.24% (691.21 ha) corresponds to an excellent choice to install the sanitary landfill; There selected 26 possible sites of which 6 sites were considered the most suitable for few things; due to their proximity to roads, adequate distance to the urban and rural areas. Also, sufficient depth for phreatic levels, low slope, and moderate soil drainage. Scientific studies like geomorphological, geological, edaphological, and hydrological are recommended.

Keywords: Landfill, GIS, multi-criteria analysis, AHP, suitability, weighting

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I 9

1. INTRODUCCIÓN 9

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN 10

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 12

1.3. OBJETIVOS 12

1.3.1. Objetivo general 12

1.3.2. Objetivos específicos 12

CAPITULO II 14

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN 14

2.1. ANTECEDENTES 14

2.2. BASES TEÓRICAS 15

2.2.1. Residuo / desecho 15

2.2.2. Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) 15

2.2.3. Gestión integral de los residuos (GIR) 16

2.2.4. Modelo de Gestión 16

2.2.5. Manejo integral de los residuos solidos 16

2.2.6. Disposición final 16

2.2.7. Relleno sanitario 16

2.2.7.1. Tipos de relleno sanitario 17

2.2.7.1.1. Relleno sanitario mecanizado 17

2.2.7.1.2. Relleno sanitario semi-mecanizado 17

2.2.7.1.3. Relleno sanitario manual 17

2.2.7.2. Métodos de construcción de un relleno sanitario 17

2.2.7.2.1. Método de trinchera o zanja 17

2.2.7.2.2. Método de área 18

2.2.7.2.3. Método combinado (trinchera y área) 18

2.2.8. Sistemas de Información Geográfica 18

2.2.9. Aplicación de los SIG en el campo medioambiental 18

2.2.10. El modelo de datos raster 18

2.2.11. El modelo de datos vector 19

2.2.12. Capas: 19

2.2.13. Shapefile 19

2.2.14. Zona de influencia (Buffer) 19

2.2.15. Análisis Multicriterio/ Evaluación multicriterio (EMC) 19

2.2.16. Análisis Multicriterio basado en SIG (Algebra de Mapas) 20

2.2.17. Weighted Overlay 20
2.3. MARCO LEGAL 20
CAPITULO III 27
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 27
3.1. LOCALIZACIÓN 27
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 28
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 29
3.3.1. Metodología para calcular el área requerida de terreno para instalar el nuevo relleno sanitario 29
3.3.1.1. Proyección de la población 29
3.3.1.2. Producción total 29
3.3.1.3. Volumen de residuos solidos 30
3.3.1.4. Volumen del relleno sanitario 30
3.3.1.5. Área requerida 31
3.3.1.6. Área total requerida 31
3.3.2. Metodología para identificar áreas potenciales para la instalación del nuevo relleno sanitario 31
CAPITULO IV 38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 38
4.1. AREA REQUERRIDA PARA INSTALAR EL RELLENO SANITARIO 38
4.1.1. Proyección de la población 38
4.1.2. Producción total de residuos 39
4.1.3. Volumen de residuos solidos 40
4.1.4. Volumen del relleno sanitario 41
4.1.5. Área requerida 42
4.1.6. Área total requerida 43
4.2. ANÁLISIS MULTICRITERIO 44
4.2.1. Definición y estandarización de los criterios 44
4.2.2. Análisis de las capas temáticas 47
4.2.2.1. Amenaza a Deslizamientos 47
4.2.2.2. Distancia a vías 48
4.2.2.3. Distancia a los asentamientos humanos 49
4.2.2.4. Distancia a recursos hídricos 51
4.2.2.5. Pendiente 52
4.2.2.6. Drenaje en los Suelos 54
4.2.2.7. Susceptibilidad de inundaciones 56
4.2.2.8. Uso de suelo 57
4.2.2.9. Precipitación 59
4.2.2.10. Profundidad del nivel freático 60

4.2.3. Ponderación de los criterios utilizando el método de proceso analítico jerárquico 61
4.2.4. Mapa de idoneidad 66
4.2.5. Mapa de Restricciones 67
4.2.6. Identificación de potenciales sitios para el relleno 68
CAPITULO V 77
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 77
5.1. CONCLUSIONES 77
5.2. RECOMENDACIONES 78
CAPITULO VI 79
6. BIBLIOGRAFÍA 79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de estandarización o de idoneidad 33
Tabla 2. Escala fundamental de comparación por pares 34
Tabla 3. Ejemplo de matriz de comparación por pares 35
Tabla 4. Densidad Poblacional del cantón Macará 38
Tabla 5. Proyección de la población urbana y rural 2010 - 2030 38
Tabla 6 Generación total de residuos sólidos 2020 - 2030 39
Tabla 7. Resumen del cálculo del área requerida del relleno sanitario 43
Tabla 8. Criterios para determinar la obtención de área para el relleno sanitario 44
Tabla 9. Porcentajes de los valores de distancia a vías. 48
Tabla 10. Porcentajes de los valores distancia a Zonas Edificadas. 50
Tabla 11. Clases de Drenaje en los Suelos 55
Tabla 12. Leyenda cobertura y uso de tierra 58
Tabla 13. Matriz de comparación por pares 62
Tabla 14. Matriz normalizada y ponderación 63
Tabla 15. Porcentaje de las áreas del mapa final de idoneidad 67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio 29
Figura 2.Clasificación de la base de datos. 34
Figura 3. Capa de distancia a vías 49
Figura 4. Capa de distancia a Zonas Edificadas 50
Figura 5. Capa de distancia a recursos hídricos 52
Figura 6. Capa de pendiente 53
Figura 7. Capa de Drenaje en los Suelos 55
Figura 8. Capa de susceptibilidad de inundación 57
Figura 9. Capa de uso de suelo 58
Figura 10. Capa de precipitación 60
Figura 11. Capa de profundidad del nivel freático 61
Figura 12. Mapa final de idoneidad para el relleno sanitario en el cantón Macará 67
Figura 13. Mapa de restricciones para el relleno sanitario en el cantón Macará 68
Figura 14. Sitos alternativos con idoneidad de 2 puntos para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará 70
Figura 15. Sitos alternativos con idoneidad de 2 puntos para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará 71
Figura 16. Área 1, para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará 73
Figura 17. Área 2y3, para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará 74
Figura 18. Área 4, para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará 75
Figura 19. Área 5, para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará 76
Figura 20. Área 6, para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará 77

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los sitios de disposición final de desechos sólidos, se constituyen en piezas claves dentro de los procesos de gestión territorial por sus implicaciones ambientales, técnicas, sociales y económicas (Yılmaz & Atmaca, 2006). Un sitio inadecuado para un relleno sanitario genera impactos ambientales o problemas ambientales tales como contaminación a las aguas superficiales y subterráneas, conflictos sociales y disgustos de las comunidades aledañas el problema abarca en el ámbito económico afectando los costos de preparación del suelo, construcciones generales por tal motivo se planifica y se determina los sitios con precautela cumpliendo los parámetros legales y técnicos establecidos en cada país (Demesouka, Anagnostopoulos, & Siskos, Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece. , 2019). En Ecuador la normativa para la instalación de un relleno sanitario de cualquier tipo está en el libro VI anexo 6 del Texto Unificado de Legislación Secundaria (TULSMA) (Ministerio del ambiente (MAE M. d., 2015).

En la identificación de sitios potenciales para la instalación de un relleno sanitario se puede utilizar el método análisis Multicriterio basado en los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Boroushaki & Malczewski, 2010). El método análisis Multicriterio no solo permite combinar y transformar datos ya que es una herramienta totalmente indispensable para la toma de decisiones en problemas complejos cuyo método tiene la ventaja de gestionar costos, reducir errores, gestionar el tiempo, presentando el resultado en un mapa con valores idóneos (Gorsevski, Donevska, Mitrovski, & Frizado, 2012; Vučijak, Kurtagić, & Silajdžić, 2016); A nivel internacional muchos autores ya han empleado esta metodología, entre ellos: (Sener., 2004); (Kabite, Suryabhagavan, Argaw, & Sulaiman, 2012); (Khan & Samadder, 2015); (Bosompem, Stemn, & Fei-Baffoe, 2016); (Djokanović, Abolmasov, & Jevremović, 2016); (Yıldırım & Güler, 2016); (Barakat, Hilali, El Baghdadi, & Touhami, 2017) ; (Tüdeş & Kumlu, 2017); (Al-Anbari, Thameer, & Al-Ansari, 2018) ; (Sureshkumar, Sivakumar, & Nagarajan, 2017); (Kapilan & Elangovan, 2018); (Aksoy & San, 2019); (Karimi, Amiri, Huang, & Karimi, 2019). El proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) es utilizado para la ponderación de los criterios dentro del análisis Multicriterio. A nivel nacional no existen muchos estudios con la implementación de dichas metodologías, entre ellos se podría mencionar a (González & Minga, 2010); (Molina, 2018); (Palacios, 2018). Autores como (Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017) y (Navarrete, 2019) optaron por el método de combinación lineal ponderada (WLC, por sus siglas en inglés) para la ponderación de los criterios.

El cantón Macará cuenta con un relleno sanitario que tiene una vida útil hasta enero del 2021. Por ese motivo el presente proyecto de titulación tiene como finalidad identificar áreas o sitos potenciales para establecer un nuevo relleno sanitario para el cantón Macará, a través de uso del análisis multicriterio y los sistemas de información geográfica.

La estructura de este proyecto se describe a continuación:

En el capítulo 1, se detalla el planteamiento del problema de investigación y su justificación, la formulación del problema y los objetivos a cumplir.

Capítulo 2, se detalla los aspectos históricos relacionados con los residuos y el relleno sanitario, los aspectos teóricos y la normativa legal.

En el capítulo 3, se detalla el área de estudio, el tipo de investigación y la metodología. La metodología se divide en dos partes; en la primera se describe y explica las fórmulas que se van a aplicar para calcular el área requerida para el relleno. En la segunda parte se detalla la metodología del análisis multicriterio.

En el capítulo 4 se ejecuta un análisis y discusión de los resultados obtenidos en base a la metodología.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones obtenidas en relación con los objetivos planteados y concluye con las recomendaciones para mejorar futuras investigaciones relacionadas con el proyecto.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN

El crecimiento poblacional, el consumismo y la mala gestión en los últimos años a nivel mundial han causado significativamente el aumento de los residuos sólidos provocados impactos irreversibles que afectan al medio ambiente y también a la salud de la población. (Sáez & Urdaneta, 2014) mencionan que en los países de América Latina y el Caribe por consecuencia al aumento de la población y a la necesidad de satisfacer sus necesidades básicas, la prioridad de la conservación ambiental carece de importancia motivo que los recursos económicos destinados para la gestión de los residuos sólidos son muy pocos e ineficientes, los procesos de gestión de los residuos especialmente las disposiciones finales son realizadas con métodos o tecnologías inadecuadas. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) afirma que en América Latina y el Caribe solo el 23% de los residuos sólidos se destinaron en rellenos sanitarios que cumplen con las normas ambientales, el resto de los residuos se dispuso en botaderos a cielo abierto y en rellenos controlados que no cumplen con las normas necesarias, por otro lado se concluyó que en ciertos municipios la existencia de botaderos se debe a la falta de recursos económicos, mientras que en otros no existe la voluntad política para invertir en rellenos sanitarios (Martínez Arce, Daza, Tello Espinoza, Soulier Faure, & Terraza, 2010).

Ecuador con el transcurso de los años se ha proyectado en la mejora de la gestión de residuos sólidos, en el Acuerdo Ministerial 061 reforma del libro VI del TULSMA, Art. 47 (MAE M. d., 2015) se declara la gestión de los residuos sólidos como prioridad nacional y de interés público, siendo los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) los responsables de la gestión de desechos sólidos dentro del área de su jurisdicción. Y por consiguiente, con la finalidad de impulsar dicha gestión, se creó en el año 2010 el Plan Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), Consejo Nacional de Competencias (CNC, 2019).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) así como la Asociación de Municipios del Ecuador (AME), en Ecuador a nivel nacional los municipios almacena los residuos sólidos urbanos en rellenos sanitarios (45,7%), en celdas emergentes (28,8%) y en botaderos el 25,6% (AME & INEC, 2017). Por otro lado en Ecuador actualmente en varios municipios de provincias se trabaja con rellenos sanitarios, ya que un estudio realizado en el 2016 sobre el medio de disposición final de los desechos data que 79 municipios usan botaderos (35,7%), 46 municipios usan celdas emergentes (20,8%) y 96 municipios realizan su disposición final en rellenos sanitarios (43,4%) lo que de cierto modo demuestra que poco a poco en Ecuador se realiza una adecuada disposición final de los residuos sólidos municipales (AME-INEC, 2016).

(Giménez & Cardozo, 2012) mencionan que la combinación de los Sistema de Información Geográfica (SIG) y el análisis multicriterio son una excelente alternativa para determinar áreas o sitios potenciales en la instalación de rellenos sanitarios.

Para encontrar áreas idóneas que cumplan con los criterios establecido en la normativa ambiental para la instalación de un relleno sanitario en el cantón Macará, provincia Loja se apegará a lo antes mencionado. Los resultados generados en la presente investigación pueden ser utilizados por el GADM de Macará a fin de contribuir a su planificación donde se podría instalar el nuevo relleno sanitario.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El actual relleno sanitario del cantón Macará, tiene un tiempo de vida útil estimado hasta enero del 2021, motivo por el cual urge la necesidad de buscar un sitio idóneo para instalar un nuevo relleno sanitario.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Identificar áreas potenciales para establecer un nuevo relleno sanitario para el cantón Macará, provincia de Loja.

1.3.2. Objetivos específicos

- Calcular el área requerida para la construcción del nuevo relleno sanitario del cantón Macará.
- Establecer criterios que permita encontrar áreas potenciales en donde se puedan construir el nuevo relleno sanitario en el cantón Macará.
- Generar mapas con los diferentes criterios seleccionados.
- Modelar las áreas potenciales mediante el uso de ArcMap.
- Seleccionar los sitios que posea las mejores condiciones geográficas, climáticas y geofísicas.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. ANTECEDENTES

Podemos destacar que los residuos sólidos se generan por las actividades o acciones humanas desde los comienzos de la humanidad hasta el presente se han presentado varios sucesos que han aumentado la generación de residuos sólidos, al principio dicha acción no generaba ningún inconveniente, pero con el tiempo el ser humano salto al desarrollo, volviéndose sedentario y formando comunidades y eso trajo consigo dificultes de gestionar los residuos por lo que se optaba en acumularlos en zonas apartadas de la población, sin embargo desconocían de los procesos que sucedían en la descomposición como ésta afectaría su salud y al medio ambiente, y este impacto incrementa cuando se gestionaban grandes cantidades de residuos por las grandes ciudades y el crecimiento exponencial del desarrollo industrial, a partir de los impactos negativos generados se establecieron leyes y métodos para disponer los residuos en áreas aisladas a los ríos y ciudades y que a su vez sean seguras con el pasar de los tiempos empezando con los vertederos a cielo abierto (García, 2014).

En América Latina con la llegada de los conquistadores se establecieron medidas y costumbres europeas de esa época, como los equipos de transporte para recolectar y transportar los residuos hacia los vertederos, posteriormente en la segunda mitad del siglo XX, se dio una gran transformación en el manejo adecuado de los residuos sólidos en vertederos a cielo abierto, eliminándolos y construyendo los actuales rellenos sanitarios. Desde 1949 el relleno sanitario se implanta en Estados Unidos como una solución alternativa para disponer los residuos sólidos y en 1967 los gobiernos latinoamericanos optaron en construir los rellenos sanitaros para la disposición final de los residuos, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS, 2018).

En Ecuador, los gobiernos municipales contaban con un servicio de recolección y disposición final de los residuos y a partir de la aprobación de la carta magna (2008) y del COOTAD (Código Orgánico Organización Territorial Autonomía y Descentralización) se establece como competencia de los municipios la gestión de los residuos sólidos. El ministerio del ambiente como autoridad ambiental creó en el 2010 el PNGIDS, programa que tenía como finalidad eliminar los botaderos para el 2017 y optimizar los rellenos sanitarios (CNC, 2019).

Actualmente en el Ecuador hay 221 municipios y existen 72 rellenos sanitarios, de los cuales 45 poseen licencia ambiental, 11 no la poseen y 16 están en trámite según los Registros de Información

Ambiental Económica. Además, los rellenos en su mayoría carecen de infraestructura como: sistemas de tratamiento de lixiviados, chimeneas, pozos de monitoreo y cubiertas protectoras, convirtiéndolos en sitios potenciales de contaminación (CNC, 2019).

Seleccionar el sitio para el relleno es una tarea muy compleja y exigente ya que esta debe ser sostenible ambientalmente, económicamente accesible y socialmente aceptable. (Eskandari, Homaee, & Falamaki, 2016) establecen su punto de vista sobre la ubicación de un relleno sanitario como complejo y exigente enfocado a la sostenibilidad ambiental, económica y social, así (Barakat, Hilali, El Baghdadi, & Touhami, 2017) recomiendan el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) por ser una herramienta ideal y poseer la capacidad para gestionar una gran cantidad de datos espaciales de diversas fuentes y el uso del análisis multicriterio para asignar pesos de importancia (ponderación) a cada criterio, permite desarrollar modelos para predecir la idoneidad de los sitios para el relleno sanitario.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Residuo / desecho

"Sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo" (Castells, 2012, pág. 18). Todo material que no posee un valor de uso directo y que es descartado por su propietario (Argüello, 2018).

Según la real academia de la lengua "Desecho" es sinónimo de residuo, sin embargo, hay que recalcar que el residuo puede ser aprovechable es decir volver a darle uso mientras que el desecho no es aprovechable (MAE, Ministerio del Ambiente.Código Orgánico Ambiental, 2017).

2.2.2. Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Aquellos generados por las actividades de zonas residenciales y comerciales (Argüello, 2018). Son no peligrosos y pueden ser aprovechados (Sbarato, 2009).

2.2.3. Gestión integral de los residuos (GIR)

Conjunto de acciones y disposiciones regulatorias, financieras, económicas, operativas, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación, enfocado al destino final de los residuos sólidos no peligrosos apoyándose en lo técnico, ambiental y socio-económico (MAE M. d., 2015, pág. 18).

2.2.4. Modelo de Gestión

Se refiere a la forma en la cual se presta el servicio de gestión de residuos sólidos, éste servicio es competencia exclusiva de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), el cual puede ser prestado de forma directa, por contrato, por gestión compartida, por delegación a otro gobierno o por cogestión con la comunidad y empresas de economía mixta (Argüello, 2018).

2.2.5. Manejo integral de los residuos solidos

Es un conjunto de acciones y procedimientos al manejo de los residuos sólidos desde la generación hasta su disposición final, garantizando el menor impacto al ambiente y la salud pública (Internacional-Avina., 2012).

2.2.6. Disposición final

Etapa final de la gestión integral de los residuos, en la que disponen los residuos de forma permanente y sanitaria en lugares adecuados y diseñados a lo establecido por la legislación ambiental vigente, para evitar impactos negativos a la salud y al medio ambiente (MAE, 2015).

2.2.7. Relleno sanitario

Técnica empleada para la disposición final de los residuos o desechos sólidos que consiste en utilizar un área que se disponen adecuadamente los residuos en celdas (MAE M. d., 2015) que garantiza una disposición segura y confiable enfocado en lo técnico, económico y socio-ambiental (Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

2.2.7.1. Tipos de relleno sanitario

2.2.7.1.1. Relleno sanitario mecanizado

Utilizado para la disposición final de residuos sólidos con capacidades mayores de 40 toneladas diarias generadas, poblaciones mayores a 100.000 habitantes y se caracteriza por el uso de maquinaria pesada combinada de manera permanente (Jaramillo, 2002; Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

2.2.7.1.2. Relleno sanitario semi-mecanizado

Utilizado para la disposición final de residuos sólidos con capacidades entre 16 y 40 toneladas diarias generadas, y se caracteriza por el empleo parcial y permanente de técnicas y equipos mecanizados para la compactación y cobertura como maquinaria pesada (Jaramillo, 2002; Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

2.2.7.1.3. Relleno sanitario manual

Utilizado para la disposición final de residuos sólidos con capacidades menores de 15 toneladas diarias generadas y sus operaciones diarias en el relleno se conforman de una cuadrilla de hombres que utilizan herramientas de uso manual para compactar y cubrir (Jaramillo, 2002; Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

2.2.7.2. Métodos de construcción de un relleno sanitario

Para determinar el método adecuado dependerá de la topografía del terreno, tipo de sulo y nivel freático y los métodos conocidos son trinchera o zanja, método área y combinado (Jaramillo, 2002; Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

2.2.7.2.1. Método de trinchera o zanja

Este método toma en cuenta el nivel freático, normalmente su profundidad es de dos o tres metros y para ello son implementados en terrenos planos y en donde sea posible en excavar zanjas (Jaramillo, 2002; Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

2.2.7.2.2. Método de área

Este método se utiliza cuando el nivel freático se acerca muy a la superficie y no es posible excavar zanjas ya que podrían generar contaminación a las aguas subterráneas y a provecha los terrenos planos como para rellenar depresiones o canteras abandonadas esto consiste en el depósito de los residuos en el suelo previamente permeabilizado. (Jaramillo, 2002; Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

2.2.7.2.3. Método combinado (trinchera y área)

Tomando en cuenta la topografía y las condiciones físicas del terreno, podemos combinar los métodos de zanja y área puesto que poseen técnicas similares de operación y aprovechamiento del terreno y el material de cobertura (Jaramillo, 2002).

2.2.8. Sistemas de Información Geográfica

Según el National Center for Geographic and Analysis (NCGIA) "es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para simplificar la gestión, obtención, manipulación, modelado (configurar), análisis, representación y salida de datos espaciales referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión" (Peña, 2010, pág. 4).

2.2.9. Aplicación de los SIG en el campo medioambiental

Los SIG son herramientas para tomar decisiones y resolver problemas ambientales complejos como lo menciona (Quiroz, 2010) además de contar una interfaz que se actualiza a lo largo del tiempo para facilitar los estudios ambientales, actualmente no solo se hace un análisis de datos con formatos raster si no también con formato vector (Domínguez, 2000).

2.2.10. El modelo de datos raster

Gestiona la información continua en el espacio, divide el área de estudio en una matriz (cuadricula) de celdas o píxeles y cada celda contiene un valor de información o una región geográfica (Soto, Marín, & Vargas, 2014)

2.2.11. El modelo de datos vector

Gestiona la información discreta de los datos el cual establecen un sistema de coordenadas representados en carácter geométrico donde pueden ser interpretados los elementos geográficos en punto, línea y polígono (Soto, Marín, & Vargas, 2014). Un punto está conformado por un par de coordenadas (X,Y), una línea por un grupo de coordenadas que pertenecen a sus vértices (X1Y1; X2Y2; X3Y3....) y un polígono se forma por una línea cerrada y rellena que generan un área (Sastre., 2010).

2.2.12. Capas:

Se introduce el concepto de capa como fichero, o parte de un fichero, que contiene información de una sola variable. Se reserva el término mapa para una combinación de capas preparadas para su visualización o impresión. No debe mezclarse información de diferentes tipos en una misma capa (Sarría, 2017).

2.2.13. Shapefile

Formato que acumula datos geográficos vectoriales, al presente es uno de los más utilizados, desarrollado por la empresa ESRI (Enviromental Systems Research Institute) y se construyen por diversos ficheros, cada uno contiene distintos elementos del dato espacial (Olaya, 2011).

2.2.14. Zona de influencia (Buffer)

Son polígonos generados a partir de una entidad a una distancia cimentada, con la herramienta *Buffer* se generan zonas de influencia de vectores como puntos, líneas y polígonos (Pucha-Cofrep, Oñate-Valdivieso, González-Jaramillo, & Pucha-Cofrep, 2017). La herramienta *Multiple Ring Buffer* permite crear múltiples zonas de influencia.

2.2.15. Análisis Multicriterio/ Evaluación multicriterio (EMC)

La EMC es una técnica donde se dispone un objetivo que es confrontado por distintos criterios que a su vez son modelados a través de pesos los cuales califican y evalúan los diferentes criterios para seleccionar las zonas más óptima y finalmente realizar un análisis concreto al considerar posibles modificaciones al resultado final (Posada, 2015, pág. 28).

2.2.16. Análisis Multicriterio basado en SIG (Algebra de Mapas)

Más allá de la toma de decisiones que confronta el análisis de diversos criterios, los Sistemas de Información Geográfica también se fundamentan en la obtención de nuevas capas de información a partir de otras previamente disponibles, atreves de un grupo de herramientas de cálculo con matrices de datos nombrado como algebra de mapas interviene un amplio conjunto de logaritmos que se ejecutan sobre una o varias capas raster de entrada para producir una o varias capas raster de salida (Sarría, 2017).

2.2.17. Weighted Overlay

Es una herramienta que interviene en los análisis de superposición que denomina un peso de importancia a cada capa, para resolver problemas (como la selección de sitios o áreas) que conforman varios criterios (Patiño, León, & Ávila, 2016).

2.3. MARCO LEGAL

- **Constitución de la República del Ecuador (CRE), Registro oficial 449 del 20 de octubre 2008**

  Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

  4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (Art. 264 Constitución, Art. 55, literal d, COOTAD)

  Art. 415.- El Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano y de uso del suelo, que permitan regular el crecimiento urbano, el manejo de la fauna urbana e incentiven el establecimiento de zonas verdes. Los gobiernos autónomos descentralizados Código Orgánico Ambiental (COA), Registro Oficial Suplemento 983 del 12 abril 2017 desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos (Ecuador, 2008).

- **Código Orgánico Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD), Registro Oficial Suplemento 303 del 19 de octubre 2010** (Asamblea Nacional del Ecuador, 2010)**.**

  Art. 27.- (literales 6 y 7) Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados

  Metropolitanos y Municipales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales el ejercicio de las siguientes facultades, en concordancia con las políticas y normas emitidas por los Gobiernos Autónomos Provinciales y la Autoridad Ambiental Nacional:

6. Elaborar planes, programas y proyectos para los sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos o desechos sólidos;

7. Generar normas y procedimientos para la gestión integral de los residuos y desechos para prevenirlos, aprovecharlos o eliminarlos, según corresponda.

Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (Asamblea Nacional del Ecuador, 2019).

Art. 565.- Plan de gestión integral municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios. - Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos deberán elaborar y presentar el Plan de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios, mismo que debe ser remitido a la Autoridad Ambiental Nacional para su aprobación, control y seguimiento.

Su formulación contendrá la siguiente información mínima:

b) Descripción de alternativas para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de desechos sanitarios. Considerando el tipo de desecho sanitario, se puede considerar alternativas como la eliminación por reducción de carga microbiana, celdas diferenciadas, entre otros, los mismos que pueden ubicarse en la misma jurisdicción o realizarse a través de mancomunidades, gestores ambientales, u otros, en el marco del artículo 275 del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización;

c) Descripción de componentes y actividades de cada una de las fases de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios, que debe incluir, entre otros, actividades de divulgación, concientización, aprovechamiento, inclusión social y capacitación, entre otros;

Art. 566.- Autorización para proyectos de residuos y desechos sólidos no peligrosos y sanitarios. - Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos deberán obtener la viabilidad técnica de la Autoridad Ambiental Nacional y la autorización administrativa ambiental de los proyectos de residuos y desechos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios, según corresponda, conforme lo establecido en este Reglamento y la normativa ambiental aplicable.

Art. 573.- Atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional. - Sin perjuicio de aquellas establecidas en la Constitución y la ley, las atribuciones de la Autoridad Ambiental Nacional, respecto a la gestión integral de residuos y desechos, son las siguientes:

g) Emitir la viabilidad técnica a Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos sobre los estudios que contengan el diagnóstico, factibilidad y diseños definitivos de proyectos de cierre técnico de botaderos, y proyectos para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos en cualquiera de sus fases;

Art. 574.- Gestión de desechos de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos. - Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos para la gestión integral de los residuos y desechos, considerarán lo siguiente:

a) Emitir normativa local para la gestión integral de residuos y desechos, en concordancia con la política y normativa ambiental nacional vigente;

b) Elaborar e implementar planes, programas y proyectos para la gestión integral de los residuos y desechos, en concordancia con la política y normativa ambiental vigente;

c) Elaborar e implementar un Plan de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos y sanitarios, en concordancia con la normativa ambiental vigente;

l) Determinar en sus Planes de Ordenamiento Territorial los sitios previstos para disposición final de desechos no peligrosos, y sanitarios, así como los sitios para acopio y transferencia de ser el caso.

Art. 580.- Viabilidad técnica. - Para los proyectos de cierre técnico de botaderos y proyectos para la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos o cualquiera de sus fases, los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos deberán presentar a la Autoridad Ambiental Nacional, los estudios de diagnóstico, factibilidad y diseños definitivos. Una vez presentados los estudios, la Autoridad Ambiental Nacional determinará su viabilidad técnica, mediante informe motivado y según la normativa y lineamientos que se expida para el efecto.

Independientemente del modelo de gestión adoptado, para estos proyectos los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos deberán obtener la viabilidad técnica como requisito previo a la obtención de la autorización administrativa ambiental.

Art. 585.- Implementación de las fases. - Los lineamientos y criterios técnicos para la implementación de las fases de la gestión integral de los residuos y desechos sólidos no peligrosos serán establecidos por la Autoridad Ambiental.

La normativa local que expidan los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos para la gestión integral de los residuos y desechos sólidos no peligrosos deberá estar en los lineamientos y criterios técnicos definidos por la Autoridad Ambiental Nacional.

Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos podrán suscribir convenios entre sí para realizar la gestión integral de sus residuos y desechos sólidos no peligrosos en cualquiera de sus fases, o adoptar un modelo de gestión mancomunado conforme lo dispuesto en la Ley, a fin de minimizar los impactos ambientales y promover economías de escala.

Art. 586.- Fases de la gestión integral. - Las fases de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos son el conjunto de actividades técnicas y operativas de la gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos que incluye:
a) Separación en la fuente;
b) Almacenamiento temporal;
c) Barrido y limpieza;
d) Recolección;
e) Transporte;
f) Acopio y/o transferencia;
g) Aprovechamiento;
h) Tratamiento; y,
i) Disposición final.
Las fases de gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos deberán implementarse con base en el modelo de gestión adoptado por los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, el cual debe ser aprobado por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 596.- Disposición final. - Es la última de las fases de la gestión integral de los desechos, en la cual son dispuestos de forma sanitaria mediante procesos de aislamiento y confinación definitiva, en espacios que cumplan con los requerimientos técnicos establecidos en las normas secundarias correspondientes, para evitar la contaminación, daños o riesgos a la salud humana y al ambiente.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y Metropolitanos deberán disponer los desechos sólidos no peligrosos de manera obligatoria en rellenos sanitarios u otra alternativa que cumpla con los requerimientos técnicos y operativos aprobados para el efecto. La disposición final de desechos sólidos no peligrosos se enfocará únicamente en aquellos residuos que no pudieron ser reutilizados, aprovechados o reciclados durante las etapas previas de la gestión integral de residuos o desechos.

Se prohíbe la disposición final de desechos sólidos no peligrosos sin la autorización administrativa ambiental correspondiente.

Asimismo, se prohíbe la disposición final en áreas naturales que conforman el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en el dominio hídrico público, aguas marinas, playas, en las vías públicas, a cielo abierto, patios, predios, solares, quebradas o en cualquier otro lugar diferente al destinado para el efecto, de acuerdo a la norma secundaria que emita la Autoridad Ambiental Nacional.

- **Acuerdo No. 61, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Edición especial No. 316. Registro Oficial, lunes 4 de mayo del 2015.**

  Libro VI en el Anexo 6, norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.

  4.12.4 Todo sitio para la disposición sanitaria de desechos sólidos provenientes del servicio de recolección de desechos sólidos deberá cumplir como mínimo, con los siguientes requisitos para rellenos sanitarios mecanizados:

  a) El relleno sanitario debe ubicarse a una distancia no menor de 13 Km. de los límites de un aeropuerto o pista de aterrizaje.

  b) No debe ubicarse en zonas donde se ocasione daños a los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas, fuentes termales o medicinales), a la flora, fauna, zonas agrícolas ni a otros elementos del paisaje natural. Tampoco se deben escoger áreas donde se afecten bienes culturales (monumentos históricos, ruinas arqueológicas, etc).

  c) El relleno sanitario deberá estar ubicado a una distancia mínima de 200 m de la fuente superficial más próxima.

d) Para la ubicación del relleno no deben escogerse zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, cauces de quebradas, zonas propensas a deslaves, a agrietamientos, desprendimientos, inundaciones, etc., que pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno.

e) El relleno sanitario no debe ubicarse en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. La distancia del relleno a las viviendas más cercanas no podrá ser menor de 500 m. Tampoco se deben utilizar áreas previstas para proyectos de desarrollo regional o nacional (hidroeléctricas, aeropuertos, represas, etc.).

f) El relleno sanitario debe estar cerca de vías de fácil acceso para las unidades de recolección y transporte de los desechos sólidos.

g) El lugar seleccionado para el relleno sanitario debe contar con suficiente material de cobertura, de fácil extracción.

h) La permeabilidad de los suelos deberá ser igual o menor que 1 x 10-7 cm/seg; si es mayor se deberá usar otras alternativas impermeabilizantes.

i) Se deberá estimar un tiempo de vida útil del relleno sanitario de por lo menos 10 años.

.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra en el Cantón Macará ubicado al sur occidental de la provincia de Loja, a 79º57’49.39” de longitud oeste y 4º23’13.11” de latitud Sur, Altitud: 340 m.s.n.m con una temperatura de 30° C a 35°C media anual. Sus límites: al Norte con el cantón Célica; al Sur con el Perú; al Este con el cantón Sozoranga y al Oeste con el cantón Zapotillo, tiene 575 kilómetros cuadrados, constituyendo el 5,2% de la superficie de la provincia de Loja, pero es la subcuenca alta más importante del Catamayo-Chira. El cantón Macará cuenta con dos parroquias Urbanas que es Macará, Eloy Alfaro y tres rurales: Larama, Sabiango, La Victoria y 48 barrios (Sanmartín, 2016).

Según los resultados arrojados en el censo del INEC 2010, el cantón Macará consta con una población total de 19.018 habitantes, en las parroquias urbanas Macará y Eloy Alfaro, que conforman la zona 1, de la cual el 82,71% (15.730 hab) se encuentra en el área urbana y 3.142 hab en el área rural representan el 17,29% de la población a nivel cantonal. Además, se identifica en un mayor porcentaje como mestiza con un 90,45%, seguida por el 4,69% como blanco/a posteriormente el 3,38% como afroecuatoriano o afrodescendiente, como mulatos el 0,57%, montubios el 0,33%, otros el 0,15% y como indígenas el 0,14% (GADM-MACARÁ, 2019).

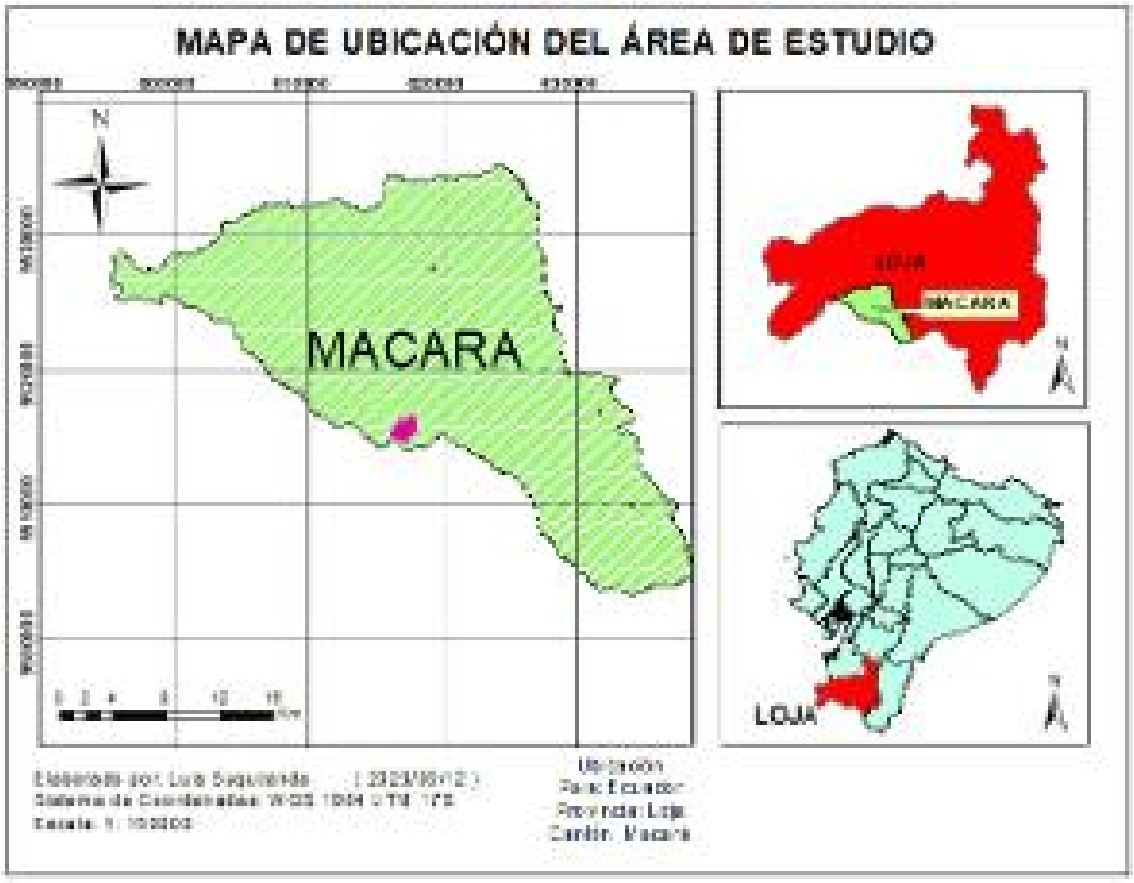


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio
Fuente: Elaboración propia

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación de este proyecto es exploratoria ya que se realizó una revisión bibliográfica y se elaboró mapas obtenidos de una base de datos pública y otras entidades en la determinación de áreas potenciales para la instalación del nuevo relleno sanitario del cantón Macará.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Metodología para calcular el área requerida de terreno para instalar el nuevo relleno sanitario

Para determinar el área requerida se uso las formulas planteadas en los estudios de (Merat, 2015).

Para ello fue necesario contar con los siguientes datos:

- Número de habitantes (se consiguió del INEC)
- La tasa de crecimiento poblacional (se consiguió del INEC)
- La producción per cápita (se consiguió del GAD Municipal de Macará)

3.3.1.1. Proyección de la población

Es importante calcular la población futura para conocer la cantidad de residuos sólidos a disponer en el relleno. Según (MMAyA, 2012) el tiempo mínimo de vida útil de un relleno sanitario es 10 años.

$$Pf = Pi \times (1 + r)^n \quad (1)$$

Pf= Población futura

Pi= Población inicial

r= Tasa de crecimiento poblacional

n= Número de años (año final - año inicial)

3.3.1.2. Producción total

Al multiplicar la generación per cápita por el número de habitantes de la localidad se calcula la cantidad total de residuos sólidos producidos por día.

$$CRD = ppc * Pob \quad (2)$$

CRD: Cantidad de residuos sólidos producidos por día (Kg/día)

Pob: Población total

ppc: Producción per cápita.

3.3.1.3. Volumen de residuos solidos

El volumen diario de los residuos se calcula dividiendo la cantidad de residuos sólidos producidos (Tn/día) por la densidad de los residuos sólidos compactados, finalmente se multiplica por 365 días para conocer el volumen anual de los residuos.

$$V_{diario} = \frac{CRD}{D_{rs}} \quad (3)$$

$$V_{Anual} = CRD * 365 \quad (4)$$

Donde

V_{diario}: Volumen de residuos sólidos a disponer en un día (m3 /día)

V_{Anual}: Volumen de residuos sólidos en un año (m3 /año)

CRD = Cantidad de residuos sólidos producidos (Tn/día)

Drs: Densidad de los residuos sólidos compactados (400 a 500 $\frac{Kg}{m^3}$) y del relleno estabilizado (500 a 600 $\frac{Kg}{m^3}$) (Jaramillo, 2002; Merat, 2015; Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

3.3.1.4. Volumen del relleno sanitario

Para obtener el volumen del relleno se multiplica el volumen anual por el material de cobertura.

$$V_{RS} = V_{Anual} * m.c. \quad (5)$$

V_{RS} = Volumen del Relleno Sanitario (m^3 /año)

m.c. = Factor de material de cobertura (1,2 a 1,25) (Merat, 2015).

3.3.1.5. Área requerida

Para calcular el área requerida se divide el volumen del relleno sanitario por la altura media del relleno.

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}} \quad (6)$$

A_{RS}: Área requerida

h_{RS}: Altura o profundidad media del relleno sanitario

3.3.1.6. Área total requerida

$$A_T = (A_{RS} * Fa) + A_{RS} \quad (7)$$

A_T: Área total requerida

Fa: Factor de aumento del área adicional. Está entre el 20% o 40% del área que se deberá rellenar (Jaramillo, 2002; Merat, 2015).

3.3.2. Metodología para identificar áreas potenciales para la instalación del nuevo relleno sanitario

En este estudio se empleó el análisis multicriterio mediante los SIG para identificar áreas potenciales en el cantón Macará. A continuación, se explica paso a paso el método utilizado:

Definición de criterios: En este estudio se empleó los criterios cimentados por la norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos, del libro VI anexo 6, (4.12). Normas generales del TULSMA (MAE M. d., 2015):

a) Amenaza a deslizamientos: distanciados.
b) Vías: La distancia oportuna para el fácil acceso como recolección y trasporte de los desechos sólidos se considera en rangos de 200 a 400 m admisible.
c) Asentamientos humanos: Las distancias a las edificaciones, estructuras y centros educativos como de salud se consideran que sea mayor a 500 m.
d) Recursos hídricos: Las distancias para evitar contaminación a las aguas se establece un rango mayor de 200 m.
e) Drenaje del suelo: Mal drenado o moderado, aunque si es excesivo se podrán utilizar alternativas impermeabilizantes.
f) Inundación: Excluir zonas que presentan un alto grado de inundación.
g) Uso de suelo: Evitar la instalación del relleno en áreas protegidas, así como zonas agrícolas.

También se incorporó otros criterios que se encuentran disponibles en publicaciones con estudios similares:

a) Pendiente: Valor aceptable del 2 al 12%.
b) Precipitación: 500 a 1000 mm el valor aceptable.
c) Nivel freático: Profundidad mayor a 1m.

d) Amenazas a Deslizamientos: Baja o media

Obtención de datos: Del Sistema Nacional de Información (SNI) (http://sni.gob.ec/coberturas), se obtuvieron los archivos shapefile de recursos hídricos, precipitación y áreas protegidas, mientras que del (IGM, 2009), Instituto Geográfico Militar (http://www.geoportaligm.gob.ec/descargas_prueba/macara.html) y GADM de Macará se consiguió los archivos de amenaza a deslizamientos, red vial, asentamientos humanos, pendientes, drenaje de los suelos, inundación, uso de suelo y profundidad a nivel freático (Nivel efectivo) (anexo 1).

Integración de los criterios al SIG: Los datos recolectados fueron usados para crear capas de los criterios antes mencionados, utilizando el programa ArcMap 10.5, nos permitió almacenar, manipular, integrar, analizar y visualizar los datos recolectados (Yıldırım & Güler, 2016). Con la herramienta *Multiple Ring Buffer* (*ArcToolbox* / *Analysis Tools* / *Proximity*) se crearon múltiples zonas de influencia (Buffer) a los criterios de vías, asentamientos humanos, recursos hídricos y áreas de inundación. Posteriormente con la ayuda de la herramienta *Intersect o clip (Geoprocessing*) se realizó un corte utilizando la capa buffer de cada criterio con el área de estudio a fin de examinar solamente las áreas que se encuentren dentro del cantón Macará. Para los criterios de amenaza a deslizamientos, pendientes, drenaje del suelo, uso de suelo, precipitación y nivel freático solamente se les asignó un valor de reclasificación o de estandarización.

Estandarización de los criterios: Se utilizó la herramienta *Polygon to Raster* (*ArcToolbox / Conversion Tools / To Raster*) para la estandarización de cada capa (criterio) ser convertido en formato raster, posteriormente se utilizó la herramienta *Weighted overlay* (*ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Overlay*) misma que trabaja solo con archivos raster. El objetivo de la estandarización en la toma de decisiones basada en SIG es proveer a todos los criterios una escala de calificación de idoneidad uniforme (Yıldırım & Güler, 2016). La herramienta *Reclassify* (*ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Reclass)* nos permitió la incorporación de los valores de idoneidad a cada capa (criterio). En este estudio se asignó valores de idoneidad en una escala del 1 al 9, siendo 1 la mejor opción y 9 la peor (Tabla 1) (Al-Hanbali, Alsaaideh, & Kondoh, 2011) y posteriormente combinar los mapas y obtener un puntaje de idoneidad general (Malczewski, 2004).

Tabla 1

Valores de estandarización o de idoneidad

Valores	Explicación
1	Es la mejor opción posible para la decisión final
2	Es una excelente opción para la decisión final
3	Es una muy buena opción para la decisión final
4	Es una buena opción para la decisión final
5	Es una opción decente para la decisión final
6	Es una opción desagradable para la decisión final
7	Es una mala opción para la decisión final
8	Es una opción no viable para la decisión final
9	La peor opción posible para la decisión
NO DATA	Excluido

Fuente: (Antao, 2015)

Calculo de ponderación de criterios ya establecidos: Mediante el *proceso analítico jerárquico* (AHP) desarrollado por (Saaty T. L., 1980) se calculó el peso o ponderación de los criterios. El método AHP según (Pimenta, Beltrão, Gemaque, & Tavares, 2019) fomenta que se ha sido utilizado para solucionar problemas complejos en la ubicación espacial de las tierras en un análisis de idoneidad. La matriz de comparación por pares con una escala del 1 al 9 (Tabla 2), se realizó la etapa significativa de AHP en la ponderación de los criterios a evaluar (Tüdeş & Kumlu, 2017).

Tabla 2

Escala fundamental de comparación por pares

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	**Igual importancia**	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	**Importancia moderada**	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	**Importancia fuerte**	Un elemento es fuertemente favorecido

7	**Importancia muy fuerte**	Un elemento es muy dominante
9	**Importancia extrema**	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre el otro
2, 4, 6 y 8	**Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.**	Se usa como compromiso entre dos juicios

Fuente: (Saaty T. L., 2008)

Mediante Microsoft Excel se creó la matriz de comparación por pares (Tabla 3) y el cálculo para obtener las ponderaciones mediante el proceso analítico jerárquico AHP el cual se divide en 4 etapas según (Saaty T. L., 2008)

1. Modelización

Se realizó la jerarquización del problema, se organizaron las ideas y se definieron los objetivos y los criterios (Tabla 8).

2. Valoraciones

Se ordenó y ponderó los diferentes intereses de cada uno de los criterios en la selección de las alternativas Tabla 13. El objetivo de esta etapa consistió en medir la importancia que el decisor le asigna a cada uno de los criterios (Escrivá, 2016).

3. Priorización y síntesis

Una vez creada la matriz de comparaciones pareadas, se calculó lo que se denomina prioridad la cual indica la importancia que el decisor le ha asignado a cada elemento (Escrivá, 2016).

4. Análisis de Consistencia

Si es aceptable los juicios podemos continuar con el proceso de decisión, pero si es inaceptable deberá reconsiderarse y probablemente modificar los juicios antes de continuar con el análisis (Tabla 13) (Escrivá, 2016).

Para crear la matriz por pares se comparó cada criterio de la primera columna (numeradores) con los criterios de la primera fila (denominadores) (Tabla 3), tomando el valor de importancia. En la comparación de criterios iguales es decir C_1 con C_1 su valor de importancia será de 1, sin embargo si se compara dos criterios diferentes es decir C_1 con el C_2 (criterios diferentes) se establece cuál de los dos criterios se tendrá más importancia y colocar los valores de importancia presentes en la Tabla 2.

El criterio que no es importante adquirirá un valor de 1. Además la matriz debe haber tener reciprocidad, es decir si C_{12} = x/1 entonces C_{21} = 1/x.

Tabla 3

Ejemplo de matriz de comparación por pares

	Denominador						
	Criterio	C_1	C_2	C_3	C_4	.....	C_n
Numerador	C_1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	.....	C_{1n}
	C_2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{23}	.....	C_{2n}
	C_3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	.....	C_{3n}
	C_4	C_{41}	C_{42}	C_{33}	C_{44}	.....	C_{4n}
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	C_m	C_{m1}	C_{m2}	C_{m3}	C_{m4}		C_{mn}

Fuente: Elaboración propia

Completada la matriz de comparación por pares, se sumó los valores de cada columna de la matriz, y se dividió cada elemento de la matriz por el total de la suma de cada columna. La matriz resultante de la división se denomina matriz normalizada. Finalmente, nos enfocamos en la matriz normalizada, para obtener el peso (ponderación) y se calculó el promedio de todos los elementos de cada fila, obteniendo así una matriz de pesos de los criterios (Saaty T. L., 2008). Para obtener los pesos en porcentajes, se multiplicó por 100. Para comprobar si la matriz que se construyó con los valores asignados es consistente o sólida, se calculó el índice de consistencia, el índice aleatorio y la razón de consistencia. Para obtener el índice de consistencia se aplicó las siguientes formulas (Saaty T. L., 2008).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$RI = \frac{1{,}98\ (n - 2)}{n} \quad (9)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (10)$$

Donde:

CI: Índice de consistencia

RI: Índice de consistencia aleatoria

CR: Razón de consistencia

n: número de columnas de la matriz o número de criterios en la matriz

Para obtener λ_{max} se multiplicó dos matrices la de comparación por pares por la matriz de pesos, utilizando la función MMULT. La función MMULT es una función de Excel que a través de la multiplicación de dos matrices (matriz 1, matriz 2), se calcula un nuevo producto siempre y cuando la matriz (1) con un número de columnas y la matriz (2), con el número de filas sean similares y poseer ambas matrices con contenido numérico (Microsoft., 2017). Finalmente se dividió cada elemento del resultado obtenido por cada elemento de la matriz de pesos, el promedio del resultado obtenido representa λ_{max} (Anzar & Guijarro, 2012).

Si los pesos obtenidos de cada criterio son consistentes es decir RC debe ser menor a 0,1 pueden ser utilizados en el análisis (Saaty T. L., 1980).

Identificación de las áreas para el relleno sanitario: Una vez obtenido los pesos de cada criterio, se aprovechó la herramienta *Weighted Overlay (ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Overlay)* cuya función nos permitió crear el mapa de idoneidad e identificar los sitios potenciales para el relleno sanitario (Al-Anbari, Thameer, & Al-Ansari, 2018), posteriormente transformamos los resultados en archivo vector mediante la herramienta *Raster to Polygon* (*ArcToolbox / Conversion Tools / From Raster*) y en la tabla de atributos del polígono se creó una nueva columna (*Add Field*) con el nombre de "área" y aplicó la herramienta *Calculate Geometry* y se seleccionó la unidad en hectáreas, finalmente se seleccionó las áreas que cumplían con el área requerida para el relleno sanitario sin dejar por alto una inspección intensa entre las áreas obtenidas para recomendar las más aptas o idóneas del punto de vista económico, social y ambiental.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. AREA REQUERRIDA PARA INSTALAR EL RELLENO SANITARIO

4.1.1. Proyección de la población

El libro VI anexo 6 del TULSMA (MAE M. d., 2015) establece los requerimientos para cumplir con el área requerida, para ello se calculó la población futura y se realizó una proyección de la población urbana y rural desde el 2020 al 2030, utilizando la ecuación 1. Como año base se consideró el último censo realizado en el 2010 (INEC, 2010). Teniendo como datos iniciales lo siguiente:

Población actual total: 19.018 habitantes

Población urbana: 15.730 habitantes

Población rural: 3.142 habitantes

Tasa de crecimiento (TDC): mide la evolución que ha sufrido Macará en el tiempo, según el (INEC, 2010) la tasa de crecimiento de la población de Macará para el 2010 es del 0,32%, si se compara con la provincia de Loja que es del 1,1%, la tasa tiene un crecimiento poblacional mucho menor, y si se relaciona con el país refleja que es del 1,9%, se observa un decrecimiento poblacional generado por múltiples causas, especialmente de orden económico (GADM-MACARÁ, 2019, pág. 104).
La tendencia de crecimiento poblacional, demuestra la urbanización de la población rural, concentrándose especialmente en la cabecera cantonal, según lo demuestra la Tabla 4:

Tabla 4

Densidad Poblacional del cantón Macará

Parroquias	1990	2001	Tasa Intercensal (1990-2001)	2010	Tasa Intercensal (2001-2010)
Macará	14296	14643	1,75	15730	0,76
Larama	983	975	-0,08	1080	1,02
La Victoria	2088	1894	-0,97	1557	-1,95
Sabiango	914	838	-0,86	651	-2,52
TOTAL	**18281**	**18350**		**19018**	

Fuente: (INEC, 2010).

En la Tabla 5 se presenta la proyección de la población siendo 21.066 Hab la población para el año 2030 (parroquias rurales 2.764 hab y urbana 18.302 hab), población base para la cual se diseña el relleno sanitario.

Tabla 5

Proyección de la población urbana y rural 2010 - 2030

PARROQUIAS	LA VICTORIA	LARAMA	MACARÁ	SABIANGO	POBLACIÓN FUTURA (PF)
2010	1557	1080	15730	651	**19018**
2011	1527	1091	15850	635	19102
2012	1497	1102	15970	619	19188
2013	1468	1113	16091	603	19275
2014	1439	1125	16214	588	19365
2015	1411	1136	16337	573	19457
2016	1383	1148	16461	559	19551
2017	1357	1160	16586	544	19647
2018	1330	1171	16712	531	19744
2019	1304	1183	16839	517	19844
2020	1279	1195	16967	504	**19946**
2021	1254	1208	17096	492	20049
2022	1229	1220	17226	479	20155
2023	1205	1232	17357	467	20262
2024	1182	1245	17489	455	20371
2025	1159	1258	17622	444	20482
2026	1136	1270	17756	433	20595
2027	1114	1283	17891	422	20710
2028	1092	1296	18027	411	20827
2029	1071	1310	18164	401	20945
2030	1050	1323	18302	391	**21066**

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Producción total de residuos

La producción per cápita (ppc) es de 0,63 kg/hab*día en el cantón Macara como se establece en Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (GADM-MACARÁ, 2019) para un resultado más óptimo adoptamos por el incremento del 1% cada año como menciona (Jaramillo, 2002) que cada año la ppc aumenta entre el 0,5% y el 1%. En la ecuación 2 se determinó la producción diaria de los residuos del cantón Macará, como resultado para el año 2020 se generan 4.586.582,7 kg de residuos al año, esta operación se la proyectó hasta el 2030 como último año de operación (Tabla 6).

Tabla 6

Generación total de residuos sólidos 2020 - 2030

Año	ppc (kg/habitantes/días)	#habitantes	año (día)	GR (kg)/año	GR(Kg)/dia
2020	0,63	19946	365	**4586582,7**	12565,98
2021	0,64	20049	365	4683446,4	12831,36
2022	0,65	20155	365	4781773,75	13100,75
2023	0,66	20262	365	4881115,8	13372,92
2024	0,67	20371	365	4981728,05	13648,57
2025	0,68	20482	365	5083632,4	13927,76
2026	0,69	20595	365	5186850,75	14210,55
2027	0,7	20710	365	5291405	14497
2028	0,71	20827	365	5397317,05	14787,17
2029	0,72	20945	365	5504346	15080,4
2030	0,73	21066	365	5613035,7	15378,18
TOTAL				**55991233,6**	**153400,64**

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Volumen de residuos solidos

Al realizar la ecuación 3 y 4 se obtuvo el volumen de los residuos.

$$V_{diario} = \frac{CRD}{D_{rs}} \quad (3)$$

Donde:

CRD = Cantidad de residuos sólidos producidos (kg/día)

Drs: Densidad de los residuos sólidos ($\frac{kg}{m^3}$), (Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016) menciona que para el cálculo se use una densidad de 600 kg/m^3 como la más adecuada en el caso de no usar maquinaria pesada o adecuada.

Volumen diario de residuos sólidos recolectados en el 2020

$$V_{diario\ 2020} = \frac{12565{,}98\ kg/día}{600\ \frac{kg}{m^3}}$$

$$V_{diario\ 2020} = 20{,}94\ m^3/día$$

Volumen anual

$$V_{Anual} = V_{diario} * 365 \quad (4)$$

$$V_{Anual\ 2020} = 20{,}94\ m^3/día * 365$$

$$V_{Anual\ 2020} = 7644{,}30\ m^3/año$$

Este cálculo se lo proyectó hasta el 2030 como último año de operación, los resultados se muestran en la Tabla 7.

4.1.4. Volumen del relleno sanitario

Al realizar la ecuación 5 se obtuvo el volumen del relleno sanitario

$$V_{RS} = V_{Anual} * m.c. \quad (5)$$

Donde:

V_{RS} = Volumen del Relleno Sanitario (m^3 /año)

V_{Anual}: Volumen de residuos sólidos en un año (m3 /año)

m.c. = Factor de material de cobertura (1,2 a 1,25) (Merat, 2015) se consideró un valor de 1,23 como optimo según (Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

$$V_{RS\,2020} = 7644.30\ m^3/\text{año} * 1{,}23$$

$$V_{RS\,2020} = 9402.49\ m^3/\text{año}$$

Se calculó hasta el año 2030 ya que este es el último año de operación del relleno sanitario, los resultados se muestran en la tabla 7.

4.1.5. Área requerida

Se puede estimar el área requerida (ecuación 6) para construir el relleno sanitario una vez obtenido el volumen del relleno además de la profundidad o altura que tendría el relleno. Sin embargo, como se tiene una idea general de la topografía del terreno donde se construirá el relleno como menciona (Zepeda, 1991) "*La geología y características específicas del terreno son algunos de los factores más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar el sitio*" además de que los sitios a seleccionar poseerán niveles freáticos mayores a 3 metros, motivo que se considera construir un relleno sanitario combinado de zanja y área aprovechando el terreno y el material de cobertura (MMAyA, 2012). Según (GADM-MACARÁ, 2019) el nivel freático en el cantón Macará es muy superficial en la zonas bajas, teniendo zonas o sectores donde este se encuentra a distancias menores a los 0,5 metros y mayores a los 1 metros. Después de encontrar y seleccionar el área para el relleno será necesario realizar otros estudios para obtener valores exactos del nivel freático para poder aumentar la profundidad de manera que permita alargar la vida útil del relleno.

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}} \quad (6)$$

Donde:

A_{RS}: Área requerida por rellenar

V_{RS} = Volumen del Relleno Sanitario (m^3 /año)

h_{RS}: Altura o profundidad media del relleno sanitario

El área requerida para los residuos sólidos en el 2020 es:

$$A_{RS\,2020} = \frac{9402{,}49\ m^3/año}{3\ m}$$

$$A_{RS\,2020} = 3134{,}16\ m^2/año$$

Se calculó hasta el año 2030 ya que este es el último año de operación del relleno sanitario, los resultados se muestran en la Tabla 7.

4.1.6. Área total requerida

El Área total requerida será el total de área para los años proyectados para el funcionamiento del relleno sanitario; para ello se aplicó la ecuación 7, sin embargo (Jaramillo, 2002; MMAyA, 2012) menciona que los rellenos tanto manuales como mecanizados necesitan áreas o infraestructura complementaria que será parte del área total requerida como talleres, piscinas de lixiviados, básculas y planta de tratamiento, por lo que se consideró aumentar un 30% como factor adicional.

$$A_T = (A_{RS} * F) + A_{RS} \quad (7)$$

Donde:

A_T: Área total requerida

A_{RS}: Área requerida

F: Factor de aumento del área adicional. Está entre el 20% o 40% del área que se deberá rellenar (Jaramillo, 2002; Merar, 2015).

El área total requerida para los residuos sólidos en el 2020 es:

$$A_{T\ 2020} = (3134{,}16\ m^2/año\ * 0{,}3) + \ 3134{,}16\ m^2/año$$

$$A_{T\ 2020} = 4074{,}41\ m^2$$

Se calculó hasta el año 2030 ya que este es el último año de operación del relleno sanitario, los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Resumen del cálculo del área requerida del relleno sanitario

AÑO	GENERACIÓN TOTAL DE RESIDUOS (KG/DÍA)	VOLUMEN DIARIO DE RS (M^3/DÍA)	VOLUMEN ANUAL DE RS (M^3/AÑO)	VOLUMEN DEL RELLENO SANITARIO (M^3/AÑO)	ALTURA O PROFUNDIDAD MEDIA DEL RELLENO SANITARIO (M)	ÁREA REQUERIDA (M^2)	ÁREA TOTAL REQUERIDA (M^2)
2020	12565,98	20,9433	7644,3045	9402,49454	3	3134,16485	4074,4143
2021	12831,36	21,3856	7805,744	9601,06512	3	3200,35504	4160,46155
2022	13100,75	21,834583	7969,6229	9802,63619	3	3267,5454	4247,80901
2023	13372,92	22,2882	8135,193	10006,2874	3	3335,42913	4336,05787
2024	13648,57	22,747617	8302,8801	10212,5425	3	3404,18083	4425,43508
2025	13927,76	23,212933	8472,7207	10421,4464	3	3473,81547	4515,96012
2026	14210,55	23,68425	8644,7513	10633,044	3	3544,34801	4607,65242
2027	14497	24,161667	8819,0083	10847,3803	3	3615,79342	4700,53144
2028	14787,17	24,645283	8995,5284	11064,5	3	3688,16665	4794,61665
2029	15080,4	25,134	9173,91	11283,9093	3	3761,3031	4889,69403
2030	15378,18	25,6303	9355,0595	11506,7232	3	3835,5744	4986,24671
					Total (m^2)		49738,8792
					Total (ha)		4,97

Fuente: Elaboración propia

Los datos se tabularon para calcular que se requiere de un área de 4,97 ha, se redondea a 5 ha para la construcción del relleno sanitario más eficiente.

4.2. ANÁLISIS MULTICRITERIO

4.2.3. Definición y estandarización de los criterios

Se tabularon los criterios conforme a la revisión de la literatura y el libro VI anexo 6 del TULSMA (MAE M. d., 2015), los criterios empleados para este estudio se muestran en la Tabla 8 con sus respectivos valores de estandarización.

Tabla 8

Criterios para determinar la obtención de área para el relleno sanitario

CRITERIOS	SUB – CRITERIOS	VALORES DE ESTANDARIZANCIÓN
Amenaza de Deslizamientos	Baja	1
	Moderada	5
Distancia a vías (m)	0 – 200	1
	200 – 400	2
	400 – 600	3
	600 – 800	4
	800 – 1000	5
	1000 – 1200	6
	1200 – 1400	7
	1400 – 1600	8
	>1600	9
Distancia a los asentamientos humanos (m)	<500	9
	500-1000	8
	1000-1500	7
	1500-2000	5
	2000-2500	3
	2500-3000	2
	3000-3500	1
	3500-4500	2
	>4500	9
Distancia a recursos hídricos (m)	0 – 200	9
	200 – 300	9
	300 – 400	7
	400-500	5
	500-600	1
	600-700	1
	700-800	5
	800-1000	7

	>1000	9
Pendientes (%)	0 – 2	9
	2 – 12	1
	12 – 25	5
	>25	9
Drenaje de los suelos	Excesivo	9
	Bueno	3
	Moderado	1
	Mal Drenado	1
Susceptibilidad de inundación	Nula	1
	Alta	9
Uso de suelo	Conservación y Protección	9
	Vegetación Arbustiva/ Herbácea/en Descanso /Improductivas	1
	Tierra Agropecuaria Mixta y Forestal	5
	Cuerpo De Agua	9
	Zona Antrópica	9
	Otras Tierras	9
Precipitación (mm)	500-1000	1
` Profundidad del nivel freático (m)	Poco Profundo	5
	Moderadamente Profundo	1
	Superficial	9
	No Aplicable	9

Fuente: Elaboración propia

El Libro VI anexo 6 del TULSMA (MAE M. d., 2015) establece que se deben excluir las áreas protegidas. Los criterios que forman parte de restricciones en este estudio fueron zonas urbanas, áreas protegidas y el Relleno sanitario actual.

4.2.4. Análisis de las capas temáticas

1.1.1.1. Amenaza a Deslizamientos



Figura 2. Capa de Amenaza a Deslizamientos
Fuente: Elaboración propia

En el libro VI anexo 6 del TULSMA (MAE M. d., 2015; MMAyA, 2012) establece que los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas activas o que estén expuestas a deslizamientos o derrumbes de terrenos o que estén afectadas por actividad volcánica, como lo expresa (UTPL, 2012) al efectuarse deslizamientos produce gran de formación cortante de la superficie. En este estudio se clasificaron en amenazas por deslizamiento como baja y moderada en el territorio (Figura 2.) obteniendo como resultado que el 89,76 % del territorio es una opción decente para instalar un relleno sanitario con idoneidad 5 y el 10,24 % del territorio es la mejor opción posible para instalar un relleno sanitario con idoneidad de 1 que cumple con los requisitos que establece la normativa ambiental.

1.1.1.2. Distancia a vías

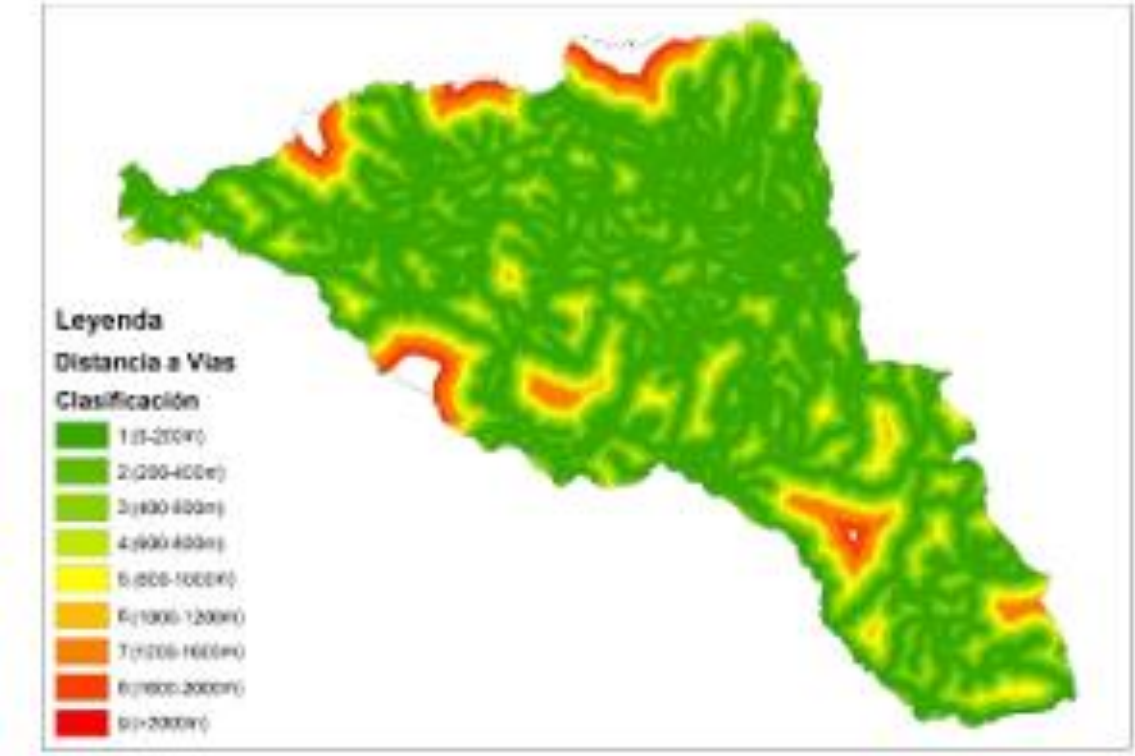


Figura 3. Capa de distancia a vías

Se puede observar en la Figura 3 los valores de reclasificación (Tabla 8) de las distintas distancias a las vías dentro del área del Cantón Macará, donde se obtuvo que el porcentaje más alto es 47,87 % del territorio el cual ocupa la ponderación con valor 1 representando el área idónea (Tabla 8) cumpliendo con la normativa del Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (MAE M. d., 2015) que dice que el relleno debe ubicarse lo más cerca posible de las vías de fácil acceso. Además, el porcentaje que le sigue de 23,18 % del total del territorio, es para la ponderación de 2, representando una excelente opción para la ubicación del relleno sanitario, la mayor parte del territorio está cubierto por las distancias más apropiadas a las vías y el sector donde se concentra la zona urbana, los valores 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se representan en la Tabla 9. Esto quiere decir que el 71,05 % del territorio evaluando el criterio de distancia a vías posee las mejores opciones para el emplazamiento del relleno sanitario. Es importante la ubicación del relleno sanitario se centre en los factores económicos y sociales el cual abarca el costos de trasporte y tiempos de atención, (MMAyA, 2012) recomienda la distancia no deberá superar los 20 Km de recorrido. Por ello el relleno sanitario debe estar cercano a la red vial del sector, ya que la construcción de una vía para acceder al relleno demanda de recursos económicos, además de causar impactos al paisaje y al ambiente coincidiendo con (Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017; Güler, 2017; Zapata Muñoz & Zapata Sanchez, 2013).

Tabla 9

Porcentajes de los valores de distancia a vías

VALORES	AREA(M2)	PORCENTAJE
1	270565800	47,87
2	131010200	23,18
3	67301930	11,91
4	36409820	6,44
5	20314480	3,59
6	12740250	2,25
7	17383730	3,08
8	9242181	1,64
9	268677	0,05
	TOTAL	100%

Fuente: Elaboración propia

1.1.1.3. Distancia a zonas edificadas



Figura 4. Capa de distancia a Zonas Edificadas
Fuente: Elaboración propia

Para determinar la ubicación del relleno se debe conocer las características demográficas y sociales de cada una de las poblaciones de asentamientos cercanos y las infraestructuras de sector privado y público además de zonas turísticas, se considera distancias mayores a 500 m (MMAyA, 2012; MAE M. d., 2015). Por otro lado (Barakat, Hilali, El Baghdadi, & Touhami, 2017) mencionan que la distancia debe ser igual o mayor a 2000 m, esta distancia evitaría problemas con respecto a la salud de la población y al medio ambiente, como también afirma (Aksoy & San, 2019). En este estudio las distancias menores a los 500 metros es de 9 puntos, es decir que representa la peor opción para la instalación del relleno sanitario, a las distancias mayores a los 4500 metros también se les asignó un valor de idoneidad de 9 puntos y a las distancias de 3000 – 3500 se le asignó un valor de 1 punto representando la mejor opción como se corroboró con (Barakat, Hilali, El Baghdadi, & Touhami, 2017).

Obteniendo como resultado (Figura 4) que el porcentaje más alto representa el 22,96 % del área de estudio con una idoneidad de 7 los que restringe en considerable cantidad el área, la idoneidad de 1 obtuvo un porcentaje de 4,67 %, sin embargo la idoneidad de 2 que representa una opción excelente para la decisión final, obtuvo un porcentaje de 12,15 % del área de estudio, la idoneidad de 5 también se le considera una opción decente ocupando el 17,56 % del área de estudio que podría ser el más apto para instalar el relleno sanitario, y a la idoneidad de 8 y 9 se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Porcentajes de los valores distancia a Zonas Edificadas

VALORES	AREA	PORCENTAJE
1	26887900	4,67
2	69932200	12,15
3	58659900	10,19
5	101095800	17,56
7	132141100	22,96
8	124586800	21,64
9	62310300	10,83
TOTAL		100%

Fuente: Elaboración propia

1.1.1.4. Distancia a recursos hídricos

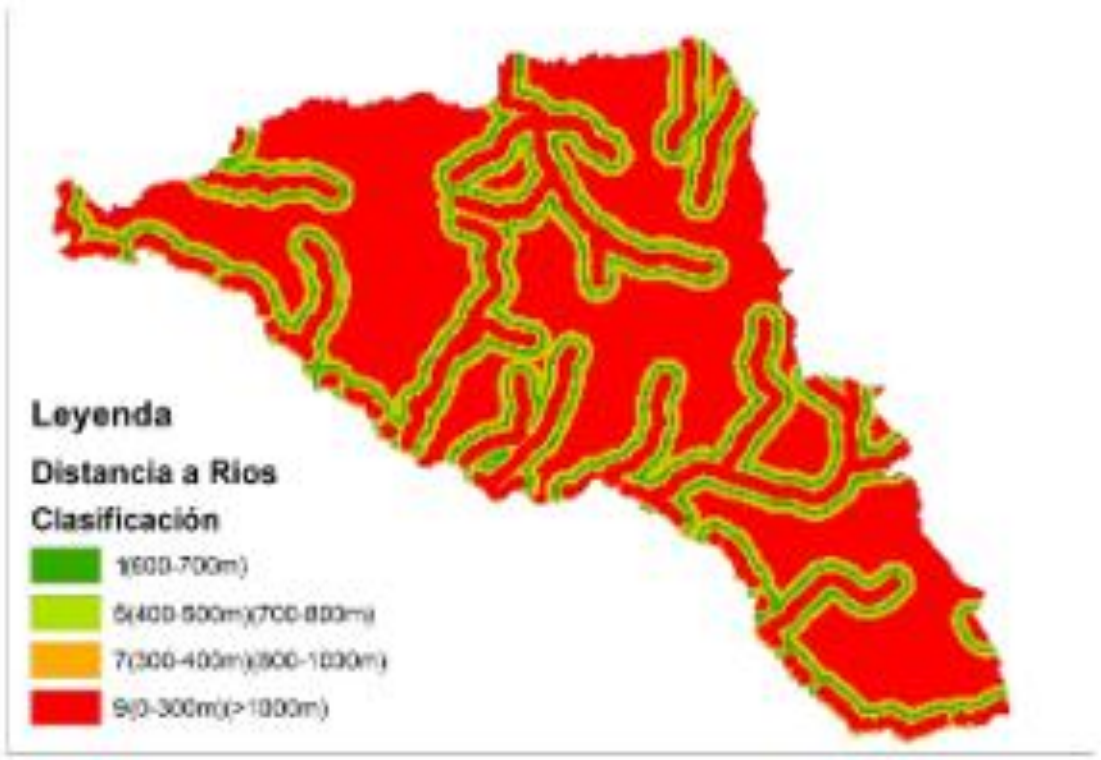


Figura 5. Capa de distancia a recursos hídricos
Fuente: Elaboración propia

Las distancias para evitar contaminación a las aguas se establece a rangos mayores de 200 m según (MAE M. d., 2015); así mismo (Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017) mencionan que mientras más alejado este el relleno del cuerpo hídrico habrá menos contaminación, sin embargo hay que tener en cuenta que distancias menores de 200 m habrá un contacto de sustancias contaminantes que contienen una importante carga de cloruros, nitratos, y nutrientes como el nitrógeno y fósforo que provocan disminución de concentración de oxígeno y la eutrofización del agua (Colomer Mendoza, Altabella, Ferrán García, Herrera Prats, & Robles Martínez, 2013).En este estudio se consideró los rangos entre 600-700 metros con una idoneidad de 1 como la mejor opción ya que distancias mayores a 1000 m contraen costos elevados para trasportar en los lixiviados tratados a un cuerpo hídrico cercano (Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017; Kubes, 2019), por ello las distancias menores de 300 m y mayores de 1000 m tiene una idoneidad de 9 como la peor opción. Obteniendo como resultado (Figura 5) que el 64,4 % del área de estudio corresponde a la valoración de 9 puntos y el 15 % al valor 7, reduciendo significativamente la disponibilidad de área para instalar el relleno sanitario ya que la valoración de 1 punto obtuvo el 10,17 %, sin embargo, el 10,43 % que representa una valoración de 5 puntos se sumaría a las posibles áreas a considerar para este proyecto

1.1.1.5. Pendiente

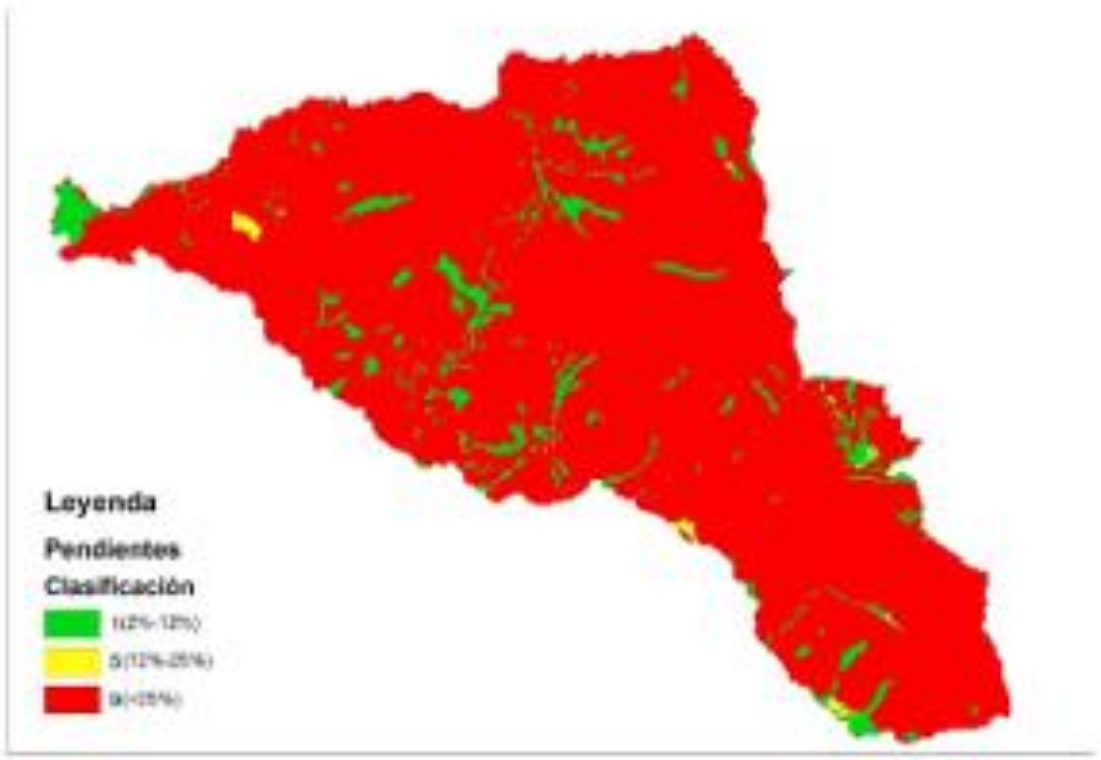


Figura 6. Capa de pendiente
Fuente: Elaboración propia

Él (MMAyA, 2012) recomienda que un buen sitio para el relleno debe tener una pendiente entre 2 a 12%, y no con pendiente mayor a 25% por las dificultades de operación que conlleva. Por otro lado, terrenos con pendiente menor al 2 %, presentan problemas al manejar las aguas de escorrentía y los lixiviados (Khan & Samadder, 2015). Los terrenos con pendiente entre 12 a 25% presentan algunas dificultades para la operación (Demesouka, Anagnostopoulos, & Siskos, 2019) los valores asigandos con idoniedad 1 abarca pendientes de 2 a 12% como la mejor opcion por otro lado pendientes mayores a 25% se representa con valor 9 siendo la peor opcion, obteniendo como resultado (Figura 6) que el 6,52 % del territorio puede ser utilizado para instalar el relleno sanitario aunque también se le puede sumar el 0,47 % de territorio que representa una idoneidad de 5 puntos, motivo que el 93 % del territorio pose pendientes mayores al 25%, que representa una idoneidad de 9 puntos reduciendo en gran medida la disponibilidad de áreas para instalar un relleno sanitario.

1.1.1.6. Drenaje en los Suelos



Figura 7. Capa de Drenaje en los Suelos
Fuente: Elaboración propia

(MMAyA, 2012) menciona que una capa de suelo de baja permeabilidad o drenaje moderado que se encuentra arriba de la primera capa freática es ideal para la construcción de un relleno sanitario ya que el terreno dispone de una barrera natural o geológica conformada por arcilla, limo y morrenas. Según el (MAE M. d., 2015) una permeabilidad menor o igual a $1x10^{-7}$ cm/s o un mal drenaje es un excelente sitio para la instalación de un relleno sanitario. Sin embargo, es muy importante que se construya una capa de arcilla impermeable como sistema de revestimiento en la en la base del relleno sanitario, a fin de impedir la filtración de los lixiviados hacia las capas freáticas (Demesouka, Vavatsikos, & Anagnostopoulos, 2014; MMAyA, 2012). Según (Díaz & Vallejo, 2017) los sistemas alternativos de impermeabilización que se utilizan en la actualidad son las geo membranas.

La clase de drenaje es un atributo del suelo que viene determinado por un conjunto de propiedades (estructura, textura, porosidad, existencia de una capa impermeable, permeabilidad, posición del suelo en el paisaje, pendiente) (Porta & López, Agenda de campo de suelos., 2005, pág. 146), como se expresa en la Tabla 11.

Tabla 11

Clases de drenaje en los suelos

Etiqueta	Descripción
Excesivo	Eliminación rápida del agua en relación al aporte por la lluvia. Suelos generalmente de texturas gruesas. Normalmente ningún horizonte permanece saturado durante varios días después de un aporte de agua.
Bueno	Eliminación fácil del agua de precipitación, aunque no rápidamente. Suelos de textura media a fina. Algunos horizontes pueden permanecer saturados durante unos días después de un aporte de agua. Sin moteados en los 100 cm superiores o con menos de un 2 %. El nivel freático se encuentra a profundidades mayores de 120 cm.
Moderado	Eliminación lenta del agua en relación al aporte. Suelos con un amplio intervalo de texturas. Algunos horizontes pueden permanecer saturados durante más de una semana después del aporte de agua. Moteados del 2 al 20 % entre 60 y 100 cm. Presencia de una capa de permeabilidad lenta, o un nivel freático alto (60-90 cm de profundidad).
Mal Drenado	Eliminación muy lenta del agua en relación al suministro. Suelos con un amplio intervalo de texturas. Los horizontes permanecen saturados por agua durante varios meses. Rasgos gléicos (coloraciones oscuras, azulados y verdosos). Problemas de hidromorfismo. Estas características se observan por lo general en zonas deprimidas y con régimen de humedad ácuico. Los moteados se distinguen usualmente desde la superficie. El nivel freático está por lo general cerca de la superficie.

Fuente : (Porta & López Acevedo, 1995)

En este estudio desde la clasificación mal drenado, moderado y bueno, se consideró como la mejor opción para instalar el relleno sanitario con una idoneidad de 1 y 3 puntos, posteriormente a la clasificación excesiva representa una idoneidad 9 como la peor opción. Obteniendo como resultado (Figura 7) que el 1,44% del territorio no es apto para instalar un relleno sanitario ya que sus suelos son muy permeables, la idoneidad 1 que representa la mejor opción obtuvo el 41,98% de territorio y la idoneidad 3 el 56,58%.

1.1.1.7. Susceptibilidad de inundaciones



Figura 8. Capa de susceptibilidad de inundación
Fuente: Elaboración propia

Los terrenos identificados no deberán estar ubicados sobre o cerca de fallas geológicas ni en zonas con riesgos de estabilidad ni deben tener la posibilidad de ocurrencia de inundación por acumulación de aguas pluviales o avenidas.

(MAE M. d., 2015) menciona que el relleno no debe ubicarse en zonas propensas a inundaciones por que los lixiviados contaminarían gran parte de las agua subterráneas ocasionando impactos a la salud de la población y al medio ambiente (Colomer Mendoza, Altabella, Ferrán García, Herrera Prats, & Robles Martínez, 2013). Para ello se consideró un buffer de 10 km alrededor de las zonas de inundación dividiendo así a las zonas inundables con valor 9 y no inundables con valor de idoneidad 1 respectivamente. Obteniendo como resultado (Figura 8) que el 94,56% del área de estudio representa las áreas sin susceptibilidad a inundaciones para instalar el relleno sanitario mientras que el 5,44% representa zonas con riesgo a inundaciones

1.1.1.8. Uso de suelo

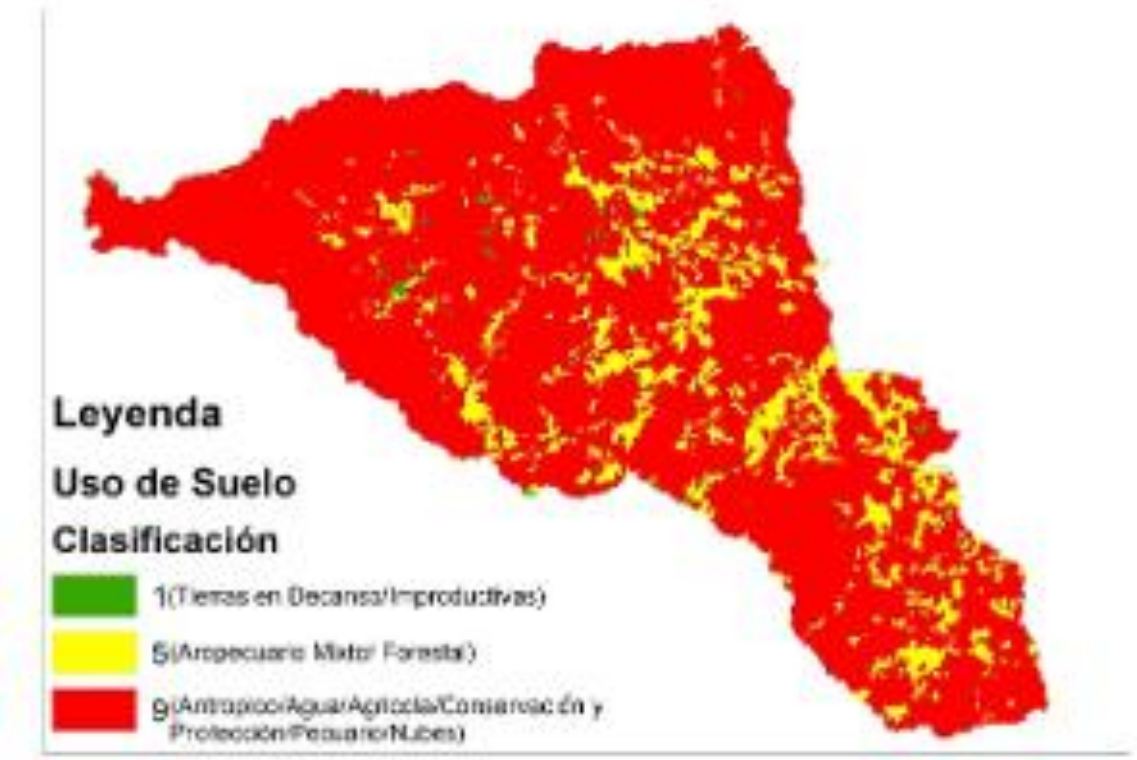


Figura 9. Capa de uso de suelo
Fuente: Elaboración propia

(MMAyA, 2012) menciona que los terrenos en uso agrícola o productivo no sean usados para un relleno y recomienda áreas improductivas y mineralizadas por procesos erosivos. Asimismo, (Cárdenas, Robles, Colomer, & Piña, 2016) indican que para reducir los impactos ambientales y conflictos con la comunidad y su economía debe analizarse las potencialidades de la zona respecto al desarrollo urbano, agrícola e industrial. A partir de esto se optó por reclasificar los usos de suelo (Tabla 12).

Tabla 12

Leyenda uso de suelo

Nivel I	Nivel II
Bosque (conservación y protección)	Bosque Nativo
	Plantación forestal
Vegetación arbustiva y herbácea/ en	Vegetación arbustiva
	Páramo

Descanso /Improductivas	Vegetación herbácea
Tierra agropecuaria Mixta y forestal	Cultivo anual
	Cultivo semipermanente
	Cultivo permanente
	Pastizal
	Mosaico agropecuario
Cuerpo de agua	Natural
	Artificial
Zona antrópica	Área poblada
	Infraestructura
Otras tierras	Área sin cobertura vegetal
	Glaciar

Fuente: Ministerio del Ambiente (2012)

Se consideró tierra improductiva y en descanso con valor 1 como mejor opción seguido del valor de idoneidad 5 una decente opción entre ellas la tierra agropecuaria mixta y forestales por otro lado se consideró que la clase de bosque, cuerpo de agua, zona antrópica y otras tierras (depósitos de arena) no pueden ser utilizadas para instalar un relleno sanitario, lo cual menciona (Karimi, Amiri, Huang, & Karimi, 2019) que un relleno sanitario no debe ubicarse en estas áreas, por eso se les asignó un valor de idoneidad de 9 puntos, obteniendo como resultado (Figura 9) que el 84,79% del área de estudio representa la peor opción posible reduciendo así la disponibilidad del área a considerarse optima obteniendo solamente el 0,65% de área, sin embargo, a esta de le puede sumar el porcentaje de 14,55% obtenido del valor de idoneidad de 5 puntos.

1.1.1.9. Precipitación



Figura 10. Capa de precipitación
Fuente: Elaboración propia

La precipitación tiene influencia en el diseño del relleno según (Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017) ya que el conocimiento de ésta en el sitio seleccionado, será importante para el diseño de los drenajes y el cálculo de volumen de lixiviados. Una precipitación alta mayor a los 2000 mm aumenta el riesgo de contaminar las aguas superficiales y subterráneas y afectaría al factor económico por mejorar el drenaje del área como lo menciona (Demesouka, Vavatsikos, & Anagnostopoulos, 2014), en el cantón Macará la precipitación oscila entre los 500 mm hasta los 1000 mm (GADM-MACARÁ, 2019) es por eso que para este estudio se les asignó un valor de idoneidad de 1 para aquellas áreas donde la precipitación sea de 500 mm a 1000mm representando la mejor opción para instalar el relleno sanitario. Obteniendo como resultado (Figura 10), siendo las áreas más adecuadas por esta por debajo de los 1000 mm (Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017).

1.1.1.10. Profundidad del nivel freático



Figura 11. Capa de profundidad del nivel freático
Fuente: Elaboración propia

El manto freático es un factor básico para la selección de área para un relleno es evitar que pueda haber alguna contaminación de los acuíferos a través de la infiltración de lixiviados (Barakat, Hilali, El Baghdadi, & Touhami, 2017). Por eso menciona (MMAyA, 2012) es muy importante realizar un estudio hidrogeológico para conocer la profundidad de las aguas subterráneas y poder definir el método constructivo y operacional del relleno como también mencionan (Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016). Según el shapefile obtenido por el GADM de Macará, el nivel freático en zonas bajas se encuentra a profundidades menos de 1 metros. Motivo por el cual en este estudio se asignó un valor de idoneidad de 1 como mejor opción para aquellas áreas con profundidad moderadamente profunda de 51 cm a 100 cm o mayores y 5 para el área entre 21 cm a 50 cm (poco profunda) y 9 para las áreas de 11 a 20 cm de profundidad. Obteniendo como resultado (Figura 11) que el 45,93% del área de estudio representa el valor 1 como la mejor opción para instalar el relleno sanitario mientras que el 52,25 % representa el valor 5 como una decente opción. Sin embargo, una vez definido el lugar para el relleno sanitario será necesario realizar otros estudios complementarios a fin de garantizar que la profundidad que se asumió para determinar el área del relleno sea la adecuada.

1.1.2. Ponderación de los criterios utilizando el método de proceso analítico jerárquico

Mediante Microsoft Excel se creó la matriz de comparación por pares y el cálculo para obtener las ponderaciones mediante el proceso analítico jerárquico AHP el cual se divide en 4 etapas según (Saaty T. L., 2008). Se desarrolló con un enfoque al aspecto ambiental, social y económico para imponer su importancia sobre cada uno de los criterios y la valoración de la misma, basada en otros estudios realizados.

Tabla 13

Matriz de comparación por pares

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Amenaza a Deslizamientos (C1)	1	1/7	1/7	1/9	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1/9
Distancia a vías (C2)	7/1	1	3/1	1/2	3/1	3/1	5/1	5/1	7/1	1/3
Distancia a los asentamiento humanos (C3)	7/1	1/3	1	1/3	3/1	3/1	5/1	6/1	7/1	1/3
Distancia a recursos hídricos (C4)	9/1	2/1	3/1	1	9/1	8/1	2/1	9/1	9/1	1
Pendiente (C5)	3/1	1/3	1/3	1/9	1	1/3	1/3	1/3	1	1/3
Drenaje del suelo (C6)	3/1	1/3	1/3	1/8	3/1	1	1/3	1/2	3/1	1/2
Susceptibilidad de inundación (C7)	3/1	1/5	1/5	1/2	3/1	3/1	1	3/1	1	1/3
Uso de suelo (C8)	3/1	1/5	1/6	1/9	3/1	2/1	1/3	1	3/1	1/3
Precipitación (C9)	1	1/7	1/7	1/9	1	1/3	1	1/3	1	1/5
Profundidad del nivel freático (C10)	9/1	3/1	3/1	1	3/1	2/1	3/1	3/1	5/1	1
Total	46,00	7,69	11,32	3,90	29,33	23,00	18,33	28,50	38,00	4,48

Fuente: Elaboración propia

Después se calculó la ponderación a partir de la matriz normalizada (Tabla 14)

Tabla 14

Matriz normalizada y ponderación

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	Ponderación
Amenaza a Deslizamientos (C1)	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	1,88%
Distancia a vías (C2)	0,15	0,13	0,27	0,13	0,10	0,13	0,27	0,18	0,18	0,07	16,15 %
Distancia a los asentamiento humanos (C3)	0,15	0,04	0,09	0,09	0,10	0,13	0,27	0,21	0,18	0,07	13,44 %
Distancia a recursos hídricos (C4)	0,20	0,26	0,27	0,26	0,31	0,35	0,11	0,32	0,24	0,22	25,17 %
Pendiente (C5)	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,07	3,46%
Drenaje del suelo (C6)	0,07	0,04	0,03	0,03	0,10	0,04	0,02	0,02	0,08	0,11	5,42%
Susceptibilidad de inundación (C7)	0,07	0,03	0,02	0,13	0,10	0,13	0,05	0,11	0,03	0,07	7,30%
Uso de suelo (C8)	0,07	0,03	0,01	0,03	0,10	0,09	0,02	0,04	0,08	0,07	5,30%
Precipitación (C9)	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,01	0,05	0,01	0,03	0,04	2,67%
Profundidad del nivel freático (C10)	0,20	0,39	0,27	0,26	0,10	0,09	0,16	0,11	0,13	0,22	19,20 %

Fuente: Elaboración propia

La distancia a los recursos hídricos se obtuvo una ponderación de 25,17% siendo importante y necesario para la ubicación del relleno sanitario cuyo impacto será mínimo al cumplir con la distancia establecida (Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017).

La ponderación de 19,20% la obtuvo el nivel freático el cual es necesario para utilizar la metodología correcta y la instalación del relleno como evitar contaminación a las aguas subterráneas (Barakat, Hilali, El Baghdadi, & Touhami, 2017).

La distancia a las vías con una ponderación de 16,15%, es importante a fin de reducir los costos de transporte y recolección (MMAyA, 2012) o la construcción de nuevas vías (Barakat, Hilali, El Baghdadi, & Touhami, 2017).

Los asentamientos humanos con una ponderación de 13,44% enfocado en disminuir los impactos a los factores ambientales y socio-económicos de la población de ahí la importancia de alejar los rellenos según la normativa a una distancia adecuada (MAE M. d., 2015).

La susceptibilidad de inundación obtuvo una ponderación de 7,3%, es importante y su ocupación en el área del cantón es muy significativa en relación al total del cantón.

El Drenaje de los suelos presenta una ponderación baja de 5,42%, una capa de suelo de baja permeabilidad o drenaje moderado que se encuentra arriba de la primera capa freática es ideal para la construcción de un relleno sanitario ya que el terreno dispone de una barrera natural o geológica conformada por arcilla, limo y morrenas así como sistemas de impermeabilización como las geo membranas para evitar la infiltración de los, lixiviados tal como lo explica (Rondón Toro, Szantó Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016; Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017; Díaz & Vallejo, 2017; MAE M. d., 2015; MMAyA, 2012).

El uso de suelo obtuvo una ponderación de 5,3%. Sin descuidar lo mencionado por (MMAyA, 2012) que los terreno en uso agrícola o productivo no sean usados para un relleno sino las áreas improductivas o en descanso y mineralizadas por procesos erosivos.

Las pendientes adecuadas oscilan desde el 2% al 25% recibe una ponderación baja de 3,46%.

Según el (GADM-MACARÁ, 2019) la precipitación anual en el cantón está oscilando entre los 500 – 1000 mm, motivo por el cual se considera a este criterio una ponderación de 2,67%.

La amenaza a deslizamientos en su totalidad, debido a que la mayoría del territorio es calificado baja y moderada (Varnes, 1978). Adicional, lo que establece la normativa ambiental respecto a la

ubicación o instalación de un relleno sanitario no debe estar expuesto a asentamientos, por ese motivo obtuvo la ponderación más baja de 1,88%.

La etapa 4: Análisis de Consistencia

Índice de consistencia

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (16)$$

$$CI = \frac{11{,}3 - 10}{10 - 1}$$

$$CI = 0{,}145$$

Índice de consistencia aleatoria

$$RI = \frac{1{,}98\ (n - 2)}{n} \quad (17)$$

$$RI = \frac{1{,}98\ (10 - 2)}{10}$$

$$RI = 1{,}584$$

Razón de consistencia

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (18)$$

$$CR = \frac{0{,}145}{1{,}584}$$

$CR = 0{,}09$ (< 0.1) CONSISTENTE

La matriz es consistente por lo cual se procedió realizar el análisis (Saaty T. L., 1980).

1.1.3. Mapa de idoneidad

Mediante la herramienta *Weighted Overlay* se realizó las diversas capas generadas en ArcMap en formato raster, cuyo resultado se obtuvo un mapa que mostró los sitios con diferentes niveles de idoneidad para instalar el relleno sanitario dentro del cantón Macará (Figura 12).

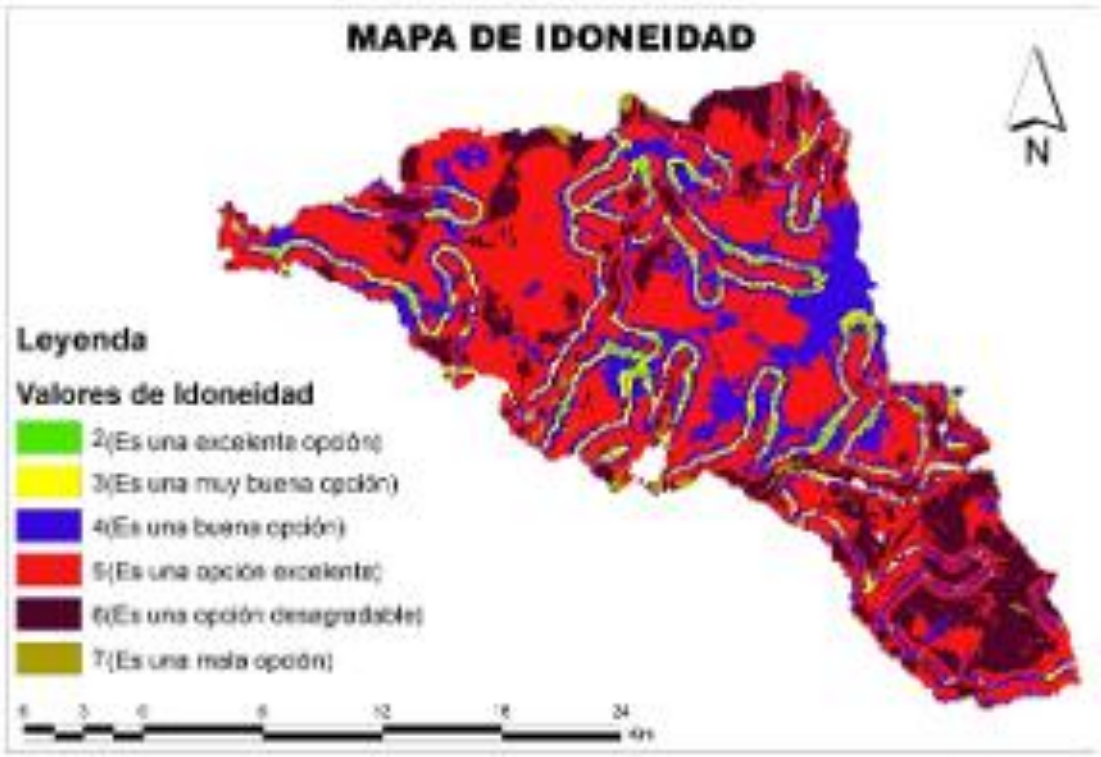


Figura 12. Mapa final de idoneidad para el relleno sanitario en el cantón Macará
Fuente: Elaboración propia

Cuyo mapa de idoneidad final obtenido careció de sitios con idoneidad 1 como mejor opción dentro del cantón Macará, no obstante, se obtuvieron áreas apropiadas para el relleno sanitario (Figura 12) con idoneidad 2 siendo el 1,24% del área es una excelente opción para instalar o construir el relleno sanitario. Finalmente se puede realizar estudios *in-situ* conforme lo establece (MMAyA, 2012) para una buena gestión, el resto de los valores se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15

Porcentaje de las áreas del mapa final de idoneidad

Valores	ÁREA(m^2)	PORCENTAJE
2	6912100	1,24
3	40999400	7,35
4	137954700	24,74
5	262558400	47,08
6	103850500	18,62
7	5408000	0,97
	TOTAL	100%

Fuente: Elaboración propia

1.1.4. Mapa de Restricciones

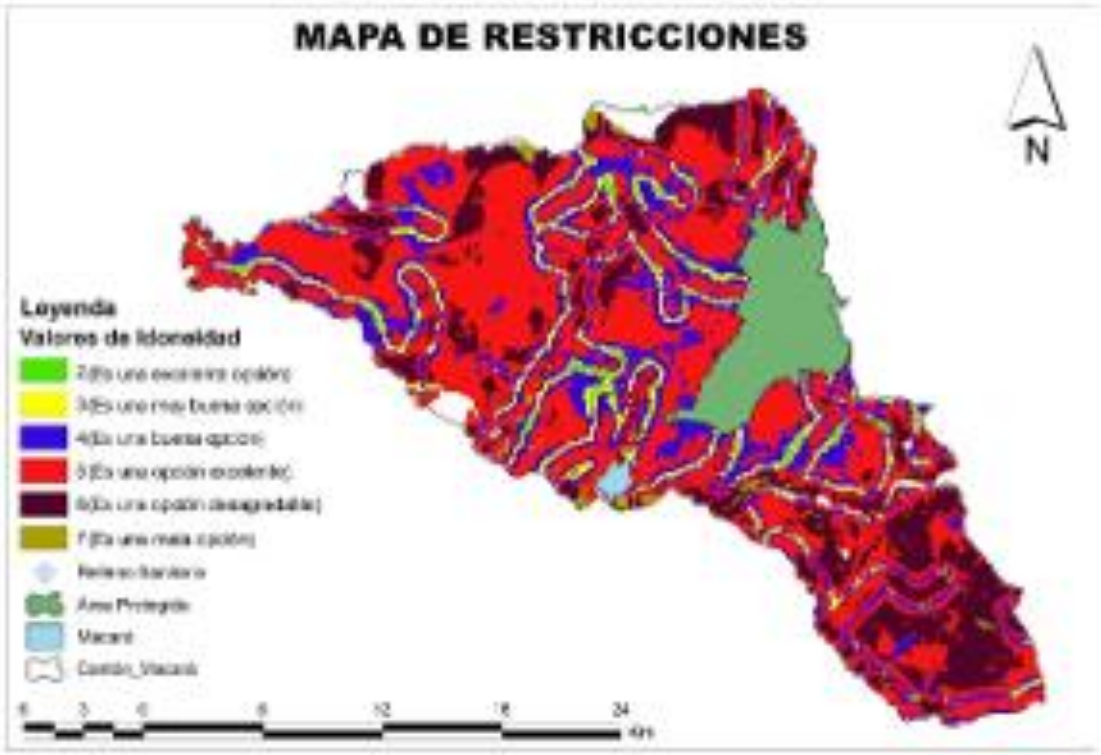


Figura 13. Mapa de restricciones para el relleno sanitario en el cantón Macará
Fuente: Elaboración propia

Las restricciones en este estudio fueron la zona urbana donde se incluyen unidades educativas, centros de salud, zonas turísticas y áreas protegidas. Las restricciones se eliminaron del mapa final luego de realizar el proceso de Superposición Ponderada (WO). A cada capa raster (Figura 2-11) se le colocó pesos que sumando representen el 100%, para lo cual se colocaron a todos los raster los porcentajes correspondientes ya que se consideró que todas las capas son importantes para la designación de áreas potenciales para un relleno sanitario evaluando los valores jerárquicos de cada criterio.(Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017) realizó el mismo análisis, y señala en su investigación que los raster deben tener distintos valores porcentuales marcando que unas capas son más importantes que otras, indicando en este caso que la distancia a fuentes hídricas con el porcentaje más alto y la capa de uso de suelo con el porcentaje más bajo. Luego de utilizar la herramienta *Weighted Overlay* y superponer todas las capas adquiriendo el raster resultado con los valores jerárquicos, se transformó a polígonos (Figura 14), se seleccionaron los polígonos con los valores de idoneidad (2) que representaban una excelente opción posible para el emplazamiento del relleno sanitario (Figura 14).

1.1.5. Identificación de potenciales sitios para el relleno

Al utilizar la herramienta *Raster to Polygon* (*ArcToolbox / Conversion Tools / From Raster*) obtuvimos un mapa tipo polígono el cual nos permite obtener valores desde la tabla de atributos, se creó una nueva columna (*Add Field*) con el nombre de "área" y se aplicó la herramienta *Calculate Geometry*. Se seleccionó la unidad en hectáreas, finalmente se seleccionó las áreas que cumplían con el área requerida para el relleno sanitario (5 ha) durante toda su vida útil. Se seleccionaron un total de 26 posibles sitios, que se muestran en la Figura 14, obteniendo como resultado sitios con áreas entre 5 ha y 26,57 ha.

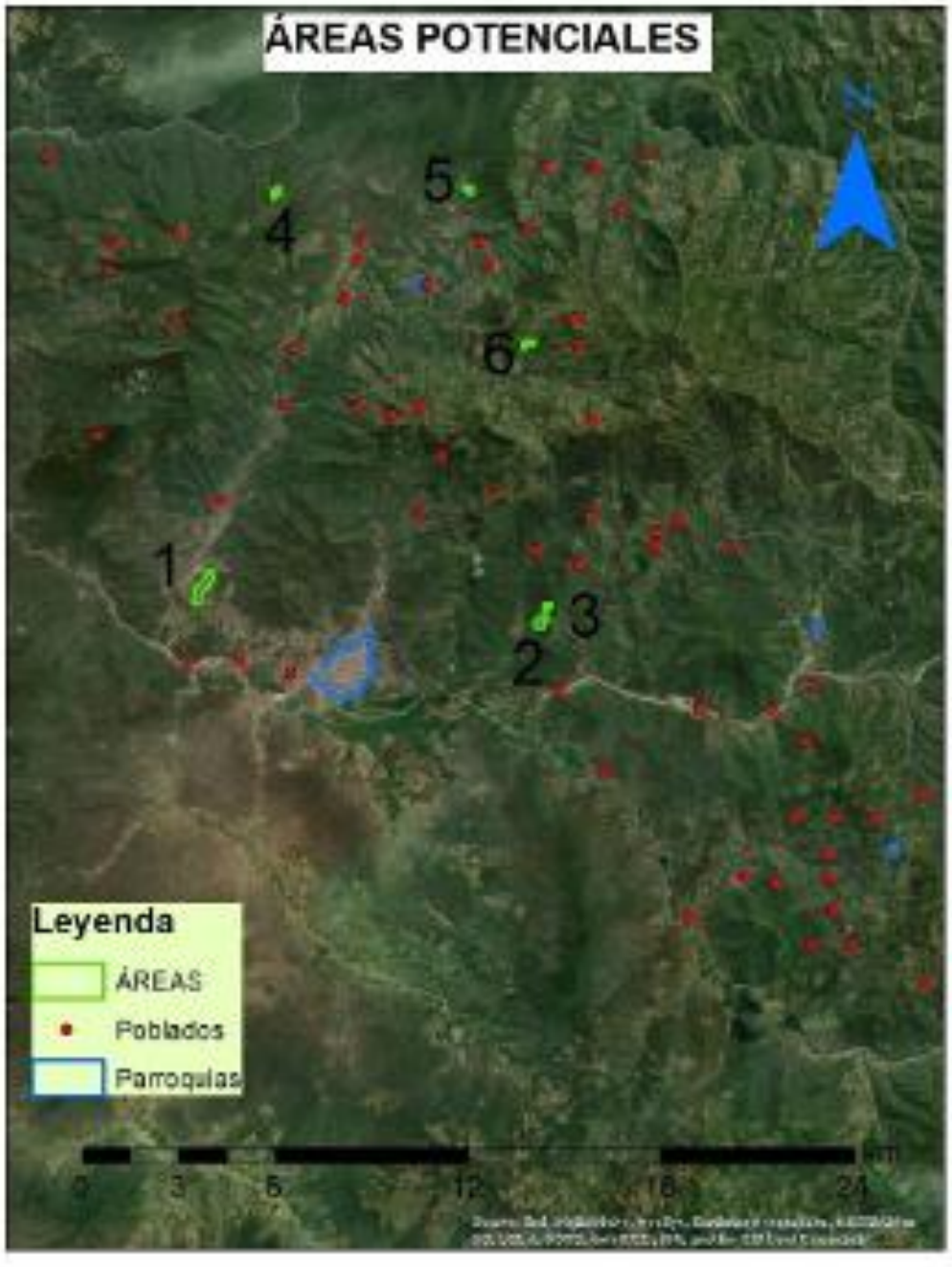


Figura 14. Sitos alternativos con idoneidad de 2 puntos para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará
Fuente: Elaboración propia

Una vez separada las áreas requeridas para el relleno, se volvió a revisar los sitios antes mencionados enfocados en los aspectos ambientales y socio-económicos del cantón, solamente se recomiendan 6 sitios potenciales para el relleno sanitario, tal como se muestra en la Figura 15. Los 6 sitios se seleccionaron como los más adecuados por lo que establecía (Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017; Barakat, Hilali, El Baghdadi, & Touhami, 2017; Colomer Mendoza, Altabella, Ferrán García, Herrera Prats, & Robles Martínez, 2013) a las distancia de vías de acceso, distancia adecuada a la zona urbana

y rural, a los recursos hídricos, profundidad adecuada al nivel freático, baja pendiente y drenaje del suelo. A continuación, se presenta algunas características de los sitios recomendados:

Figura 15. Sitos



alternativos con idoneidad de 2 puntos para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará
Fuente: Elaboración propia

El sitio Nº 1 cuentan con una superficie de alrededor de 26,5 ha, área suficientemente grande para el relleno, aumentando así su vida útil. Es el más recomendable no solo por la extensión del terreno si

no porque cumple con todos los criterios para la ubicación del relleno sanitario. Se ubica a 3000 metros aproximadamente de la parroquia urbana Macará y Eloy Alfaro, su pendiente oscila entre 5-12%, y su uso de suelo son agropecuarias con un nivel freático mayor a 1 m (Figura 16).



Figura 16. Área 1 para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará

Fuente: Elaboración propia

Los sitios Nº 2 y 3 se encuentran a 5000 metros aproximadamente de la parroquia Macará y Eloy Alfaro, su pendiente oscila entre 12-25%, y su uso de suelo son agropecuarias. Además, se las recomienda para tratar los residuos de las parroquias rurales La Victoria y Sabiango (Figura 17).

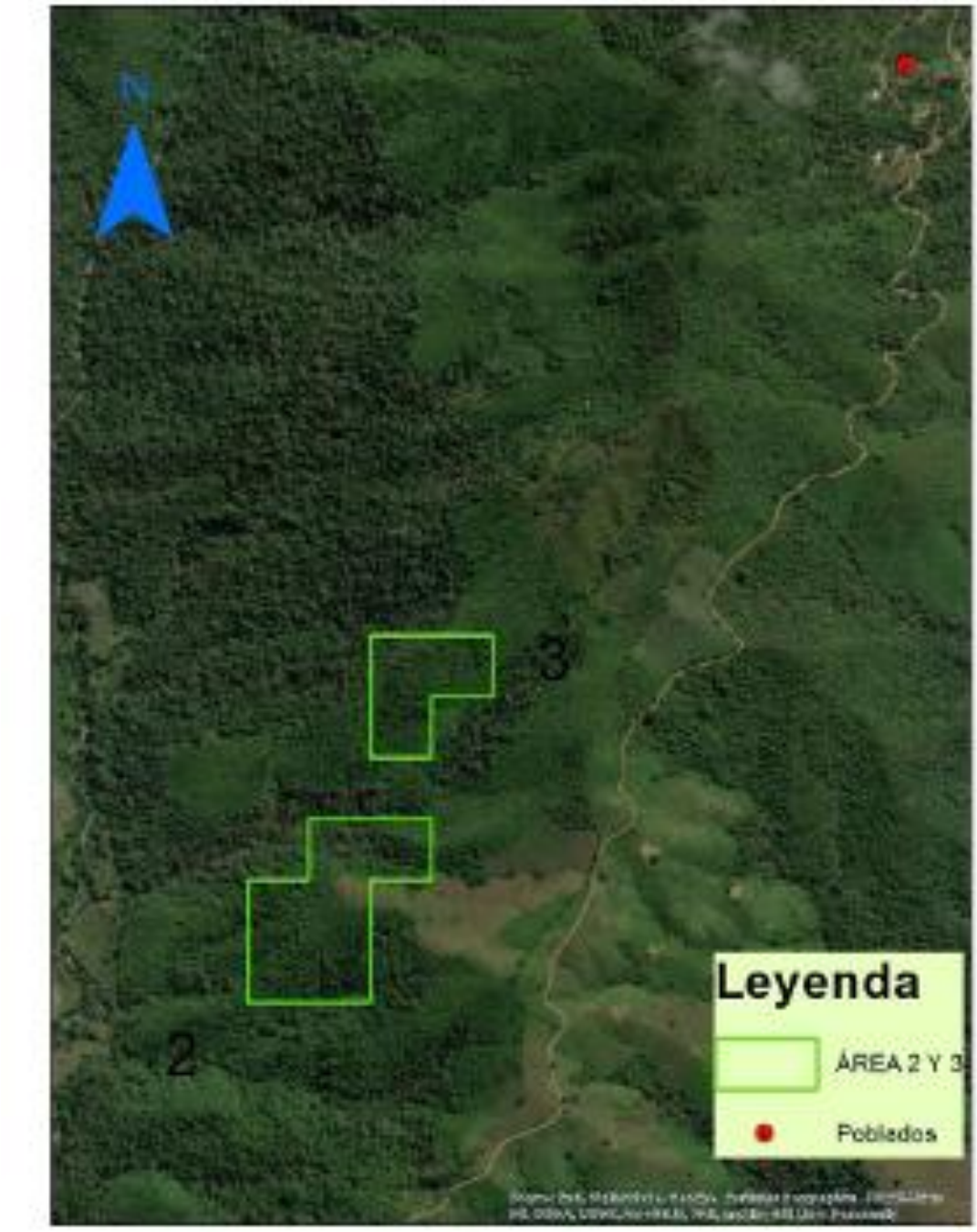


Figura 17. Área 2 y 3, para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará

Fuente: Elaboración propia

Los sitios Nº 4, 5 y 6 están ubicados de 3 a 5 km a la redonda de la parroquia rular Larama con pendientes de 10-25%, y suelos agropecuario mixto (Figuras 18-20).



Figura 18. Área 4 para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará

Fuente: Elaboración propia

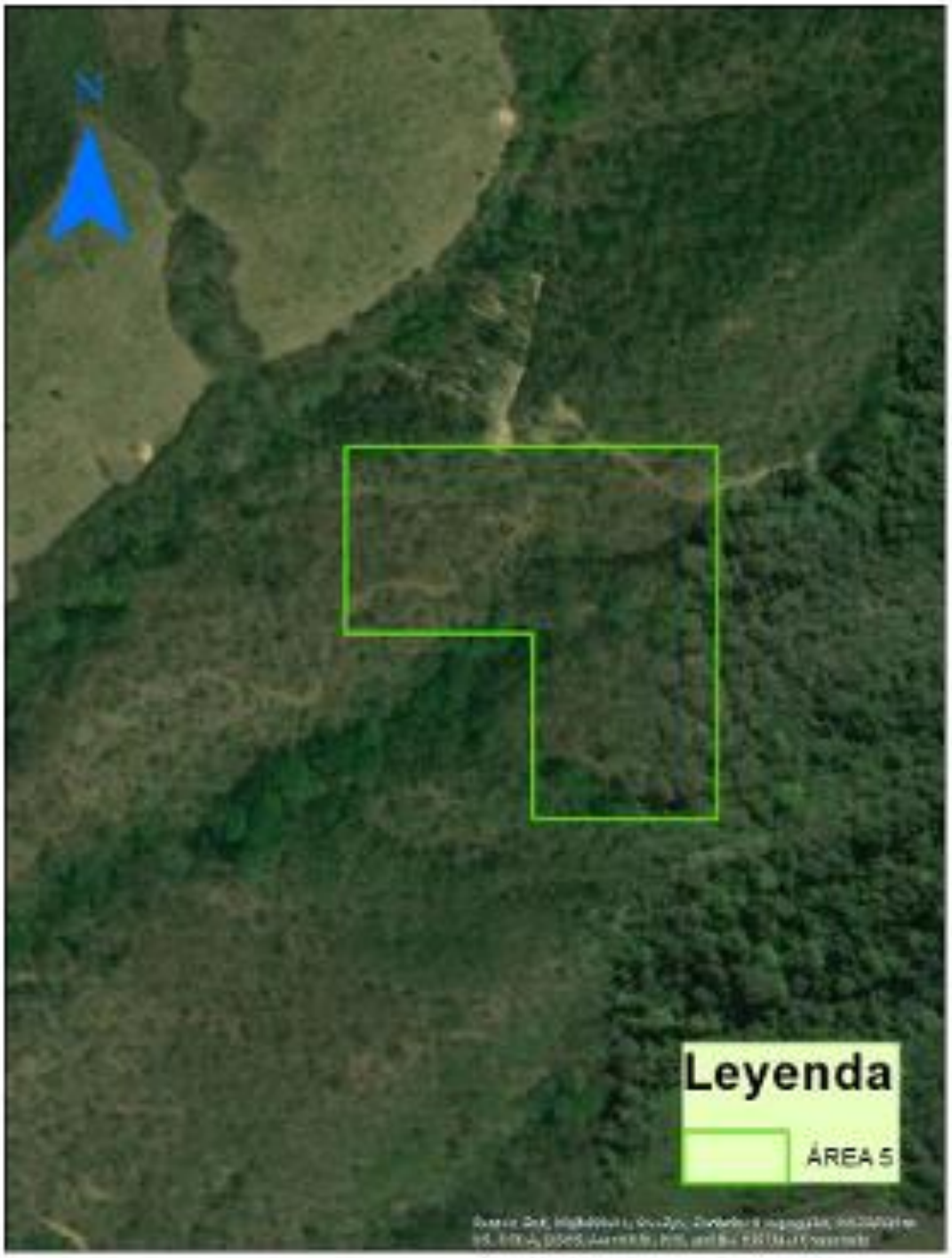


Figura 19. Área 5 para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará

Fuente: Elaboración propia

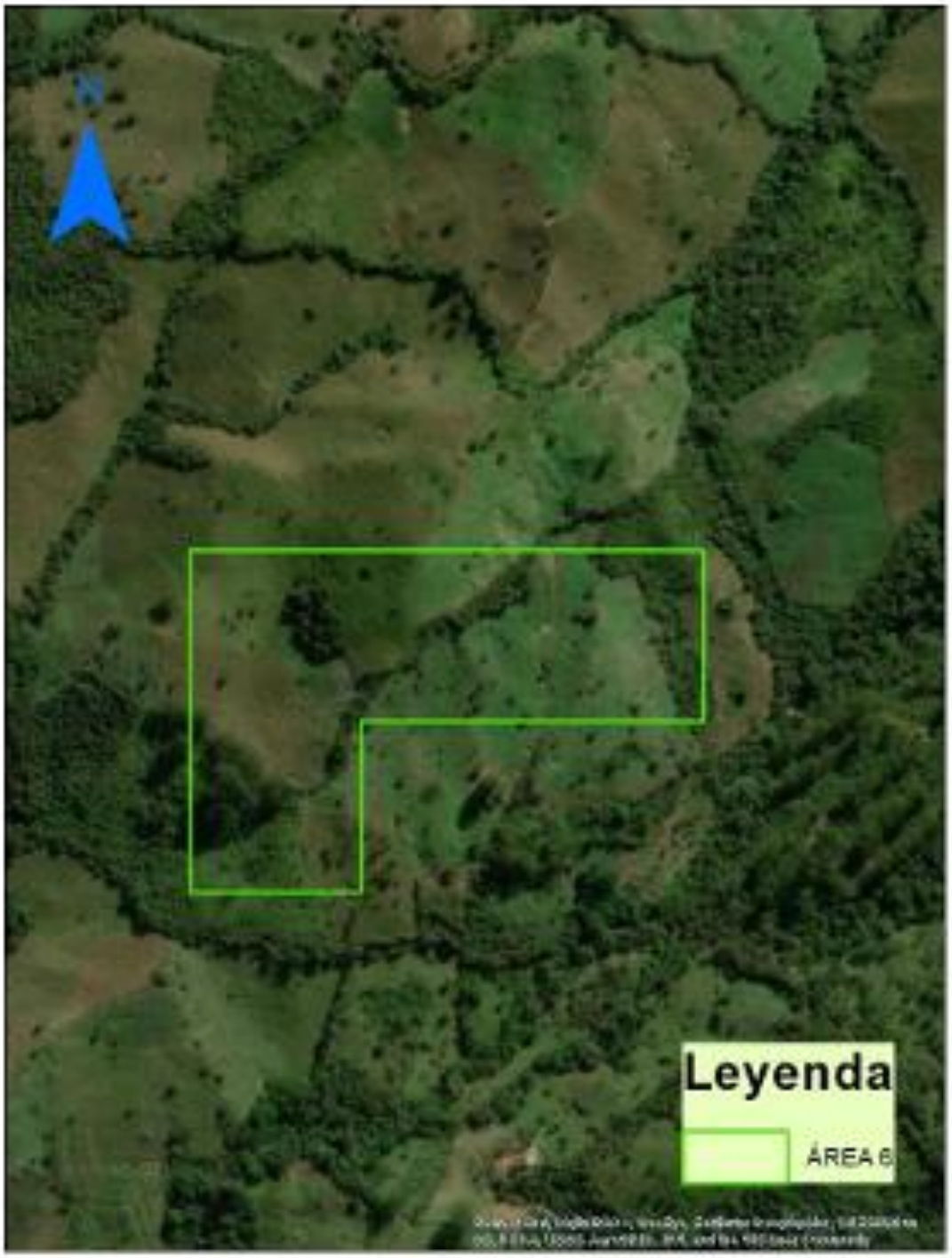


Figura 20. Área 6 para instalar el relleno sanitario en el cantón Macará

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.1. CONCLUSIONES

Todo el proceso realizado en esta investigación descriptiva se basó en alcázar los objetivos planteados, dando solución a encontrar áreas potenciales en el cantón facilitando al GADM-MACARÁ para el año 2021 dentro de su planificación la instalación de un nuevo relleno sanitario.

Los 10 criterios utilizados tales como deslizamientos, distancias a vías, a cuerpos hídricos, a zonas edificadas, zonas inundables, drenaje del suelo, uso del suelo, pendientes, precipitación y nivel freático se les asignó valores respectivamente a su importancia para favorecer al medio ambiente y a la población. Atreves de la herramienta *Weighted Overlay* se generó un mapa de idoneidad para el relleno, obteniendo como resultado que de toda el área de estudio solamente el 1,24% del área representa una excelente opción para instalar el relleno sanitario, solo 6 áreas potenciales, 3 de ellos se ubican en la parroquia urbana Macara y Eloy Alfaro y los 3 restantes en la parroquia rural Larama.

El sitio 1 con un área de 26,5 ha, siendo suficientemente grande para el relleno, aumentando así su vida útil. Es el más recomendable no solo por la extensión del terreno si no porque cumple con todos los criterios para la ubicación del relleno sanitario. Se ubica a 3000 metros aproximadamente de la parroquia urbana Macará y Eloy Alfaro, su pendiente oscila entre 5-12%, y su uso de suelo son agropecuarias con un nivel freático mayor a 1m. Sin embargo, se cuenta con 5 sitios con sus mapas generados en Arc Map 10.5 señalando el territorio que ocupa en base de mapa de ArcMap.

El Área total requerida para el relleno sanitario estimado para el año 2030 es de 5 ha, incluyendo las áreas adicionales como talleres, piscinas de lixiviados, básculas y planta de tratamiento, por lo que se consideró aumentar un 30% como factor adicional para lo que abastecerá a una población para el 2030 de 21.066 habitantes.

Se aplicó el método de análisis multicriterio (proceso analítico jerárquico) AHP, construyendo una matriz de comparación por pares teniendo en cuenta la importancia relativa de cada criterio y para comprobar la consistencia de la matriz se evaluó la razón de consistencia misma que tuvo un valor de 0,09 el cual se consideró aceptable para ejecutar el análisis.

2.2. RECOMENDACIONES

El presente estudio puede ser presentado a la municipalidad de Macará a fin de mejorar su planificación de la gestión integral de desechos solido no peligrosos para el año 2021-2022

Mediante un equipo técnico especializado se recomienda el estudio adicional de los siguientes aspectos para mejorar los resultados en este estudio tales como estudios geológicos, geomorfológicos, edafológicos, hidrológicos, etc.

Se recomienda asociarse con más cantones para abarcar más territorio y poder obtener sitos adecuados para la instalación de futuros rellenos sanitarios en la provincia de Loja y a nivel nacional.

CAPITULO VI

3. BIBLIOGRAFÍA

AIDIS, A. I. (2018). *Antecedentes, limitaciones, barreras y problemática del manejo de los residuos en la región. En V. Ojeda. (Ed.), Gestión integral de residuos sólidos urbanos (pp. 2-12).* . .: Recuperado de http://www.aidisnet.org/libros/.

Aksoy, E., & San, B. T. (2019). *Geographical information systems (GIS) and multi-criteria decision analysis (MCDA) integration for sustainable landfill site selection considering dynamic data source.* . .: Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78(2), 779-791. doi: https://doi.org/10.1007/s10064-017-1135-z.

Al-Anbari, M., Thameer, M., & Al-Ansari, N. (2018). *Landfill Site Selection by Weighted Overlay Technique: Case Study of Al-Kufa, Iraq.* Iraq: Sustainability, 10(4), 999. doi: https://doi.org/10.3390/su10040999.

Al-Hanbali, A., Alsaaideh, B., & Kondoh, A. (2011). *Using GIS-based weighted linear combination analysis and remote sensing techniques to select optimum solid waste disposal sites within Mafraq City, Jordan.* Japan: doi:10.4236/jgis.2011.34023.

AME, A. d., & INEC, I. N. (2017). *Gestión de Residuos Sólidos: GAD Municipales 2017.* . Ecuador: Recuperado de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-2017-gad/.

AME-INEC. (2016). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Gestión de Residuos Sólidos.* .: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/2016/Presentacion%20Residuos%20Solidos%202016%20F.pdf.

Antao, M. (2015). *The Use Of Analytical Hierarchy Process In Spatial Decision Support System For Land Use Management. (Master of Science in Geospatial Technologies),.* Lisboa, Portugal: Universidade Nova de Lisboa, Portugal. Obtenido de Recuperado de https://run.unl.pt/handle/10362/14547

Anzar, B. J., & Guijarro, M. F. (2012). *Nuevos métodos de valoración: Modelos multicriterio (2ª ed.).* . Valencia, España:: Universidad politécnica.

Argüello, J. (2018). *Boletín Técnico, GAD Municipales. Gestión de Residuos Sólidos (INEC Ed.).* Ecuador: Unidad de Estadísticas Ambientales basadas en Registros Administrativos (ESARA).

Asamblea Nacional del Ecuador. (2010). *Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización.* . Quito: Registro Oficial No. 303.

Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código del Ambiente.* Quito: Registro Oficial No. 983.

Asamblea Nacional del Ecuador. (2019). *Reglamento al Codigo Orgánico del Ambiente.* Quito: Registro Oficial No. 507.

Barakat, A., Hilali, A., El Baghdadi, M., & Touhami, F. (2017). *Landfill site selection with GIS-based multi-criteria evaluation technique. A case study in Béni Mellal-Khouribga Region, Morocco.* . Morocco. : Environmental earth sciences, 76(12), 413. doi: https://doi.org/10.1007/s12665-017-6757-8.

Boroushaki, S., & Malczewski, J. (2010). *ParticipatoryGiS: A Web-based Collaborative GIS and Multicriteria Decision Analysis.* .: Journal of the Urban & Regional Information Systems Association, 22(1), 23-32.

Bosompem, C., Stemn, E., & Fei-Baffoe, B. (2016). *Multi-criteria GIS-based siting of transfer station for municipal solid waste.* .: The case of Kumasi Metropolitan Area, Ghana. Waste Management & Research, 34(10), 1054-1063. doi: https://doi.org/10.1177/0734242X16658363.

Cárdenas, M. P., Robles, M. F., Colomer, M. F., & Piña, G. A. (2016). *Herramientas para la evaluación de riesgos sobre el ambiente y la salud, por la disposición final de residuos sólidos urbanos.* .: Revista Internacional de Contaminación Ambiental,. doi:10.20937/RICA 2016.32.05.04

Castells, X. E. (2012). *Reciclaje de residuos industriales: Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora.* .: Ediciones Díaz de Santos.

CNC, C. C. (2019). *Informe sobre mapeo de actores generadores de información a nivel territorial e identificación de fuentes de información de la competencia de desechos sólidos: dirección de monitoreo y evaluación a GAD.* ECUADOR: Recuperado de http://www.competencias.gob.ec/wpcontent/uploads/2019/07/Manejo-desechos-solidos.pdf.

Cobos, S., Solano, J., Vera, A., & Monge, J. (2017). *EJE 02-02 Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay.* . Azuay: Memorias Universidad Del Azuay, 1(XVI), 51 - 62. Recuperado de http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/memorias/article/view/48.

Colomer Mendoza, F., Altabella, J. E., Ferrán García, D., Herrera Prats, L., & Robles Martínez, F. (2013). *Influencia de la ubicación de los rellenos sanitarios en el impacto ambiental.* España: Revista Académica de la FI-UADY, 141-151. doi:1665-529-X.

Demesouka, O. E., Anagnostopoulos, K. P., & Siskos, E. (2019). *Spatial multicriteria decision support for robust land-use suitability: The case of landfill site selection in Northeastern Greece.* . Northeastern Greece. : European Journal of Operational Research, 272(2), 574-586. d.

Demesouka, O. E., Vavatsikos, A. P., & Anagnostopoulos, K. P. (2014). *GIS-based multicriteria municipal solid waste landfill suitability analysis: A review of the methodologies performed and criteria implemented. „. .*: Waste Management & Research. doi:https://doi.org/10.1177/0734242X14526632

Díaz, B. L., & Vallejo, V. A. (2017). *Propuesta para el diseño del nuevo relleno sanitario para el municipio de Aguachica – Cesar (tesis de pregrado). .* Bogotá, Colombia.: Universidad católica de Colombia. .

Djokanović, S., Abolmasov, B., & Jevremović, D. (2016). *GIS application for landfill site selection: a case study in Pančevo, Serbia. .* Serbia: Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 75(3), 1273-1299. doi: 10.1007/s10064-016-0888-0.

Ecuador, C. d. (2008). *Constitución de la República del Ecuador.* Alfaro: Asamblea Constituyente.

El Maguiri, A. K. (2016). *Landfill site selection using GIS, remote sensing and multicriteria decision analysis: case of the city of Mohammedia, Morocco.* Bulletin of Engineering Geology and the Environment. doi:https://doi.org/10.1007/s10064-016-0889-z

Escrivá, L. J. (2016). *APLICACIÓN DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) AL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS RENOVABLES.* Valencia: Universida Politecnica de Valencia.

Eskandari, M., Homaee, M., & Falamaki, A. (2016). *Landfill site selection for municipal solid wastes in mountainous areas with landslide susceptibility. . .*: Environmental Science and Pollution Research, 23(12), 12423-12434. doi: https://doi.org/10.1007/s11356-016-6459-x.

GADM-MACARÁ. (2019). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT).* Macará: Secrearia Tecnica Planifica Ecuador.

García, J. (2014). *La historia de la basura ¿Hemos cambiado? . .*: Recuperado de https://www.cienciahistorica.com/2014/09/25/la-historia-de-la-basura-hemos-cambiado/.

Giménez, M., & Cardozo, C. (2012). *Localización óptima de relleno sanitario aplicando técnicas multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) en el área metropolitana del Alto Paraná. Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM. La Plata, Argentina. .* Argentina: Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26832.

González, M., & Minga, F. (2010). *Definición de sitios para el tratamiento y disposición final de residuos sólidos en cinco parroquias rurales del cantón Loja, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) (tesis de pregrado). .* Loja: Universidad nacional de Loja, Loja, Ecuador. Recuperado de https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/5711.

Gorsevski, P. V., Donevska, K. R., Mitrovski, C. D., & Frizado, J. P. (2012). *Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection:*

a case study using ordered weighted average. . .: Waste management, 32(2), 287-296. doi: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.023.

Güler, D. &. (2017). *Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul.* Istanbul.: Environmental Earth Sciences,. doi:10.1007/s12665-017-7039-1

IGM, I. G. (2009). *Generación de geoinformación de la cuenca alta y media del río Pastaza.* Quito-Ecuador.: Inédito.

INEC. (2010). *(Instituto Nacional de Estadisticas y Censos).* QUITO,ECUADOR: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/.

Internacional-Avina., C. (2012). *Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. .* Ecuador: Módulo 9 Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS).

Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios Manuales. Universidad de Antioquia, Colombia. .* Antoquia: Recuperado de https://issuu.com/gonzaloviteri/docs/guia_construccion_relleno_sanitarios.

Kabite, G., Suryabhagavan, K. V., Argaw, M., & Sulaiman, H. (2012). *GIS-based solid waste landfill site selection in addis ababa, Ethiopia. .* Ethiopia. : International journal of Ecology and environmental sciences, 38(2-3), 59-72.

Kapilan, S., & Elangovan, K. (2018). *Potential landfill site selection for solid waste disposal using GIS and multi-criteria decision analysis (MCDA). . .*: Journal of Central South University, 25(3), 570-585. doi: https://doi.org/10.1007/s11771-018-3762-3.

Karimi, H., Amiri, S., Huang, J., & Karimi, A. (2019). *Integrating GIS and multi-criteria decision analysis for landfill site selection, case study: Javanrood County in Iran. .* Iran: International Journal of Environmental Science and Technology, 16(11), 7305-7318. doi: https://doi.org/10.1007/s13762-018-2151-7.

Khan, D., & Samadder, S. R. (2015). *A simplified multi-criteria evaluation model for landfill site ranking and selection based on AHP and GIS. . .*: Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 23(4), 267-278. doi: https://doi.org/10.3846/16486897.2015.1056741.

Kubes, N. M. (2019). *Análisis Multicriterio basado en SIG para identificar potenciales áreas para establecer un relleno sanitario en el cantón Rumiñahui de la provincia Pichincha, Ecuador (tesis de pregrado).* Puyo, Ecuador.: Universidad Estatal Amazónica.

Lisbeth, C. C. (2020). *Analisis multicriterio basado en SIG para identificar potenciales áreas para establecer un relleno sanitario en el canton Tena de la provincia Napo.* Tena: Univerisidad estatal amazonica.

MAE. (2012). *Ministerio del Ambiente, Línea Base de Deforestación del Ecuador Continental.* Quito-Ecuador.: .Ministerio del Ambient. Obtenido de http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Folleto%20mapa-parte1.pdf

MAE. (2017). *Ministerio del Ambiente.Código Orgánico Ambiental.* Quito: Registro Oficial Suplemento 983.

MAE, M. d. (2015). *Acuerdo Ministerial No. 061: Reforma al Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Quito:*. Quito: Registro Oficial Suplemento 316.

Malczewski, J. (2004). *GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview.* https://doi.org/10.1016/j.progress.2003.09.002: Progress in Planning, Volume 62, Issue 1.

Martínez Arce, E., Daza, D., Tello Espinoza, P., Soulier Faure, M., & Terraza, H. (2010). *Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010.* .: Banco Interamericano de Desarrollo.

Mena, F. C., Morales, H. Y., Ormazábal, R. Y., & Gajardo, V. J. (2010). *Localización de un relleno sanitario en la comuna de Parral, Chile, a través de evaluación multicriterio.* . Chile: Interciencia, 35(9), 684-689. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339/33914212009.

Merat, C. (2015). *Desarrollo de un manual de construcción de un relleno sanitario piloto de residuos sólidos urbanos con sistemas naturales de alta velocidad (Tesis de pregrado).* Sevilla: Escuela politécnica superior de Sevilla. .

Microsoft. (2017). *MMULT (Función MMULT).* . .: . Obtenido de https://support.office.com/es-es/article/MMULT-funci%C3%B3n-MMULT40593ed7-a3cd-4b6b-b9a3-e4ad3c7245eb

Ministerio del Ambiente. (2010). *INFORME DE GESTIÓN MAE-PNGIDS 2010-2013; Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos.* . Quito: MAE.

MMAyA, M. d. (2012). *Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Rellenos Sanitarios.* Bolivia: Agencia Catalana de Cooperación al Desarrollo Agencia de Residuos de Cataluña.

Molina, C. W. (2018). *Análisis de ubicaciones de un nuevo relleno sanitario en la ciudad de Loja, Ecuador (Tesis de maestría).* . Loja: Recuperado de https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_molina3.

Nascimento, V. F., & Silva, A. M. (2014). *Identifying problems for choosing suitable areas for installation of a new landfill through GIS technology: A case study.* . .: Journal of the Air & Waste Management Association, 64(1), 80-88. doi: https://doi.org/10.1080/10962247.2013.833558 .

Navarrete, M. E. (2019). *Análisis Multicriterio basado en SIG para identificar potenciales áreas para establecer un relleno sanitario en el cantón Rumiñahui de la provincia Pichincha, Ecuador*. Ecuador: UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA.

Olaya, V. (2011). *Sistemas de información geográfica.* . España. : Recuperado de https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf.

Palacios, I. (2018). *Evaluación multicriterio para la ubicación de un relleno sanitario en la ciudad de Macas, a través de la ponderación de sus variables con el proceso analítico jerárquico, AHP.* . Macas: Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa, 3(3), 83-94.

Patiño, R. H., León, G. A., & Ávila, A. M. (2016). *Análisis de idoneidad del suelo para construcción de colegios públicos integrando SIG y PAJ en el área urbana de Bogotá. , 7, 16-24.* . Bogotá.: Redes de Ingeniería. Obtenido de https://go.galegroup.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA566262036&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=2248762X&p=IFME&sw=w

Peña, J. (2010). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio.* . .: Editorial Club Universitario.

Pimenta, L. B., Beltrão, N. E., Gemaque, A. M., & Tavares, P. A. (2019). *Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais.), 20(2), 4.* Campo Grande: Interações .

Porta, J., & López Acevedo, M. (1995). *Metodologías para la determinación de la capacidad de uso de las Tierras de Costa Rica.* Costa Rica: MIRENEM.

Porta, J., & López, A. M. (2005). *Agenda de campo de suelos.* Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Posada, H. (2015). *Evaluación multicriterio y SIG., como herramientas para la gestión territorial: Caso de estudio ubicación del terminal de transporte en Zipaquirá Cundinamarca (para optar al título de: Especialista en Gestión Territorial y Avalúos).* Bogotá: Universidad Santo Tomás. Obtenido de http://repository.usta.edu.co/handle/11634/2270

Pucha-Cofrep, F. F.-G., Oñate-Valdivieso, F., González-Jaramillo, V., & Pucha-Cofrep, D. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS.* .: Franz Pucha Cofrep. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/318447525

Quiroz, Y. (2010). *Los SIG como herramienta para la toma de decisiones en la solución de problemas ambientales y dentro de la formación profesional en ciencias ambientales.* .: Temas de Ciencia y Tecnología,.

Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.* Recuperado de https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40407: Naciones Unidas, CEPAL.

Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation.* . .: McGraw-Hill International Book Company.

Saaty, T. L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process.* .: International journal of services sciences.

Sáez, A., & Urdaneta. (2014). *Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe.* Caribe: Omnia, 20(3), pp. 121 – 135. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=737/73737091009.

Sanmartín, J. M. (2016). *RUTA TURÍSTICA DEL CANTÓN MACARÁ PROVINCIA DE LOJA.* LOJA-ECUADOR: UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.

Sarría, F. A. (2017). *Sistemas de Información Geográfica. Cartografía y Geodesia, 239.* . .: https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf.

Sastre., O. P. (2010). *Sistemas de información geográfica (SIG) técnicas básicas para estudios de biodiversidad.* . España: Instituto Geológico y Minero de España. Obtenido de http://librosysolucionarios.net/sistemas-de-informacion-geografica-sig-tecnicas-basicas-para-estudios-de-biodiversidad-pablo-sastre-olmos/

Sbarato, R. D. (2009). *Aspectos Generales de la Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos.* Córdoba, Argentina:: Encuentro Grupo Editor.

Sener., B. (2004). *Landfill site selection by using Geography Information System (Master's Dissertation).* .: Middle East Technical University.

Soto, D. D., Marín, M. M., & Vargas, F. A. (2014). *Caracterización de formatos de almacenamiento, transporte y visualización de datos geográficos.* . .: Lámpsakos . Obtenido de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4996729

Sureshkumar, M., Sivakumar, R., & Nagarajan, M. (2017). *Selection of alternative landfill site in Kanchipuram, India by using GIS and multicriteria decision analysis.* . India: Applied Ecology and Environmental Research, 15(1), 627-636.

Tejada, P. J. (2018). *Modelo de localización óptima para relleno sanitario en el municipio de Villagarzón (Tesis de maestría).* . Villagarzón: Recuperado de https://issuu.com/unigis_latina/docs/rejada.

Tüdeş, Ş., & Kumlu, K. B. (2017). *Solid Waste Landfill Site Selection in the Sense of Environment Sensitive Sustainable Urbanization: Izmir, Turkey Case.* . Izmir: In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 245(8). IOP Publishing. doi: https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/8/082063.

UTPL. (2012). *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional escala 1:25000.* Loja: SEMPLADES.

Varnes, D. (1978). *Landslide Hazard Zonation: A review of principles and practice.* .: UNESCO.

Vučijak, B., Kurtagić, S. M., & Silajdžić, I. (2016). *Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina.* . .: Journal of Cleaner Production, 130, 166-174. doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.030.

Yıldırım, Ü., & Güler, C. (2016). *Identification of suitable future municipal solid waste disposal sites for the Metropolitan Mersin (SE Turkey) using AHP and GIS techniques.* . Turkey: Environmental Earth Sciences, 75(2), 101.

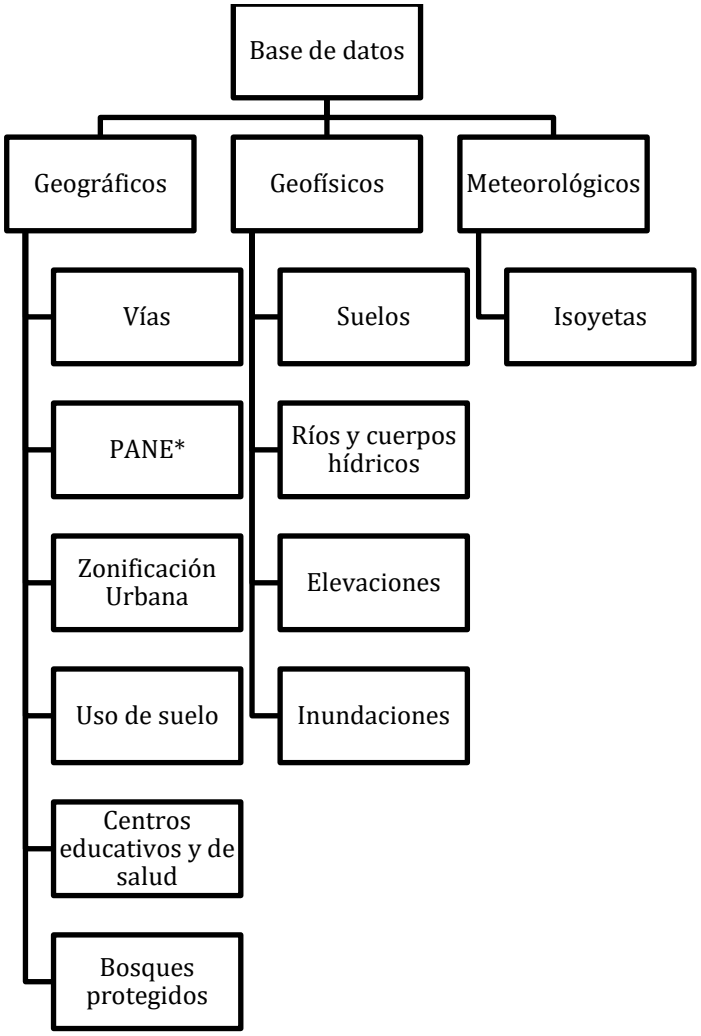
Yılmaz, A., & Atmaca, E. (2006). *Environmental geological assessment of a solid waste disposal site: a case study in Sivas, Turkey.* Turkey: Environmental Geology, 50(5), 677-689. doi: https://doi.org/10.1007/s00254-006-0241-1.

Zapata Muñoz, A., & Zapata Sanchez, C. (2013). *Un método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios.* .: Gestion y Ambiente.

Zepeda, F. (1991). *SANEAMIENTO RURAL Y SALUD / GUÍA PARA ACCIONES A NIVEL LOCAL CAPITULO 7 .TECNOLOGÍAS PARA RESIDUOS SÓLIDOS.* Washinton: Fundacion W.K.KELOGG.

4. ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de la base de datos.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2. Porcentaje territorial según los valores de idoneidad del criterio

CRITERIOS	VALORES DE ESTANDARIZANCIÓN	PORCENTAJE (%)
Amenaza de Deslizamientos	1	10,24
	5	89,76
Distancia a vías (m)	1	47,87
	2	23,18
	3	11,91
	4	6,44
	5	3,59
	6	2,25
	7	3,08
	8	1,64
	9	0,05
Distancia a los asentamientos humanos (m)	1	4,67
	2	12,15
	3	10,19
	5	17,56
	7	22,96
	8	21,64
	9	10,83
Distancia a recursos hídricos (m)	1	10,17
	5	10,43
	7	15,00
	9	64,41
Pendientes (%)	9	6,52
	5	0,47
	9	93,00
Drenaje de los suelos	1	41,98
	3	56,58
	9	1,44
Susceptibilidad de inundación	1	94,56

	9	5,44
Uso de suelo	1	0,65
	5	14,55
	9	84,79
Precipitación (mm)	1	100
` Profundidad del nivel freático (m)	1	45,93
	5	52,25
	9	1,82

Fuente: Elaboración propia