

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



DENOMINACION DEL TITULO A OBTENER

Ingeniera Ambiental

TITULO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

Análisis Multicriterio basado en SIG para identificar potenciales áreas para establecer un relleno sanitario en el cantón Rumiñahui de la provincia Pichincha, Ecuador.

AUTOR:

María Eduarda Kubes Navarrete

DIRECTOR:

Msc. María Katharina Elisabeth de Decker

PUYO – PASTAZA – ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque fue quien me ha brindado la fuerza de voluntad, salud y credibilidad para lograr cada una de mis metas.

A mi padre por enseñarme desde niña que nada es imposible si lo deseas y apoyarme siempre a ser mejor, además de impulsarme a nunca rendirme.

A mi madre y hermano por brindarme el apoyo moral durante todo mi transcurso de formación académica.

A mi abuelita, que en paz descanse, por abrirme las puertas de su hogar y brindarme todo el apoyo y cariño necesario para no sentirme inconforme lejos de casa mientras cursaba mi carrera universitaria.

A mi prima y demás familiares por brindarme su apoyo incondicional y ayuda en momentos necesarios.

A mi tutora de proyecto por confiar en mí y guiarme durante la elaboración del mismo y apoyarme a culminarlo.

A todos los docentes por compartir sus conocimientos durante cinco años de formación académica, además de enseñarnos a ser excelentes profesionales, no solo en lo académico, sino también a ser personajes con valores y éticos para lograr resolver problemas en la vida profesional.

Eduarda Kubes.

DEDICATORIA

Deseo dedicar este proyecto principalmente a Dios mostrando el esfuerzo que emprendí gracias a él.

A mis padres, Eduardo Kubes y Rocío Navarrete, por apoyarme e impulsarme a culminar mis estudios con éxito y estar junto a mí en los momentos más difíciles, para que sientan orgullo hacia mí por haber culminado una más de mis metas.

A mi abuelita Laura Robalino, porque con sus consejos y compañía durante un tiempo de mi carrera universitaria, ayudó a que tuviera las fuerzas necesarias para no rendirme y continuar, y desde donde ahora este se sentirá orgullosa de mi.

A mi prima Diana Kubes, por brindarme un hogar y ser mi compañera incondicional mientras realizaba y culminaba mis estudios estando lejos de casa.

A toda mi familia por siempre preocuparse por mí y darme una mano cuando lo necesité.

A mi tutora María de Decker, por su guía incondicional y su confianza, dedico a ella el trabajo realizado con mi esfuerzo y su ayuda.

A Karel Dieguez por ser un excelente profesor y por ayudarme e impulsarme a culminar este trabajo.

A la Universidad Estatal Amazónica por ser mi segundo hogar, y a los docentes que pusieron un grano de conocimientos en mí para lograr culminar esta etapa de mi vida como una excelente profesional.

Eduarda Kubes.

RESUMEN

Los rellenos sanitarios presentan con la disposición final la última etapa del manejo de los residuos sólidos municipales lo cual es esencial para conformar una gestión integral. El relleno sanitario ubicado en el cantón Quito está a punto de cumplir con su vida útil en el cual el cantón Rumiñahui de la provincia de Pichincha actualmente dispone sus desechos, por lo tanto, es necesario buscar un nuevo sitio para el emplazamiento de un relleno sanitario. El objetivo de este proyecto es identificar áreas potenciales cumpliendo con la normativa técnica vigente para el establecimiento de un relleno sanitario para la comunidad del cantón Rumiñahui realizando un análisis multicriterio mediante SIG, para lo cual se calculó el área requerida para el relleno resultando un área total de 9,73 hectáreas. Luego se realizó el análisis multicriterio colocando a cada criterio (mapas) ponderaciones que fueron del 1 al 9 para luego superponer todas las capas con la herramienta *Weighted Overlay* obteniendo como resultado final un mapa con las potenciales áreas para el emplazamiento de un relleno sanitario con sus valores de ponderación. Se seleccionó las áreas con los valores más bajos que interpretaron las mejores decisiones posibles para situar un relleno sanitario ocupando el 5,38% de todo el territorio en Rumiñahui, luego se calcularon las áreas para comparar con el área total requerida, finalmente seleccionando un área de 10 hectáreas cumpliendo con el análisis multicriterio y el área requerida para el relleno.

Palabras clave: Análisis multicriterio, relleno sanitario, sistemas de información geográfica (SIG).

ABSTRACT

The landfills present with the final disposal the last step of municipal solid waste management which is essential to form an integral management of waste. The sanitary landfill located in Quito is about to fulfill its useful life in which Rumiñahui in Pichincha province actually disposes its solid waste, for which it is necessary to look for a new site for the location of a sanitary landfill. The objective of this project is to identify potential areas complying with current technical regulations to establish a sanitary landfill for Rumiñahui community by performing a multi-criteria analysis using GIS, for which the area required for the landfill was calculated resulting in a total area of 9.73 hectares. Then the multicriteria analysis was carried out by placing each criterion (maps) weights from 1 to 9 and then overlapping all the layers with the Weighted Overlay tool, obtaining as a final result a map with the potential areas for the location of the sanitary landfill with its weighting values. The areas with the lowest weights that interpreted the best possible decisions to place a sanitary landfill occupying 5.38% of the entire territory in Rumiñahui were selected, finally the calculated areas were compared with the total required area, selecting an area of 10 hectares complying with the multicriteria analysis and the area required for the filling.

Keywords: Multicriteria analysis, sanitary landfill, geographic information systems (GIS).

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
TABLA DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRAFICOS	viii
1. CAPÍTULO I	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. HPÓTESIS	2
1.4. OBJETIVOS	2
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. CAPÍTULO II	4
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.1.1. ANTECEDENTES	4
2.1.2. BASES TEÓRICAS	5
2.1.3. MARCO LEGAL	10
3. CAPÍTULO III	17
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	17
3.1.1. LOCALIZACIÓN	17
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	18
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	18
3.3.1. Cálculo del área para el relleno sanitario	19
3.3.2. Análisis multicriterio	20
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.5. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES	26
4. CAPÍTULO IV	27
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1.1. Área requerida para el relleno sanitario de Rumiñahui	27
4.1.2. Análisis multicriterio	33

5. CAPITULO V	52
5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1.1. CONCLUSIONES	52
5.1.2. RECOMENDACIONES	53
6. CAPÍTULO VI	54
6.1. BIBLIOGRAFIA	54
7. CAPÍTULO VII	59
7.1. ANEXOS	59
7.1.1. Anexo 1	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capas en formato shapefile que conforman la base de datos para usar en el programa ArcMap.....	21
Tabla 2. Explicación de los valores jerárquicos para el análisis multicriterio.....	22
Tabla 3. Habitantes del año 2020 al 2029 de Rumiñahui	27
Tabla 4. Resultado de la generación de residuos sólidos por año del 2020 al 2034.....	28
Tabla 5. Estudio de los horizontes geeléctricos para la excavación de pozos	30
Tabla 6. Clasificación de los criterios evaluados para la ubicación de un relleno sanitario basado en el Anexo 6 (Ministerio del Ambiente, 2003).....	33
Tabla 7. Valores de permeabilidad	41
Tabla 8. Descripción porcentual del resultado final de la superposición ponderada.....	47
Tabla 9: Disposición final de los desechos sólidos en Pichincha.....	59

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	18
Grafico 2. Clasificación de la base de datos espaciales.....	21
Grafico 3. Esquema de herramientas aplicadas a los archivos	25
Grafico 4. Distancia a vías con la clasificación de valores de ponderación	36
Grafico 5. Distancia a zona urbana con la clasificación de los valores de ponderación	37
Grafico 6. Distancia a ríos con la clasificación de los valores de ponderación	38
Grafico 7. Pendientes con la clasificación de los valores de ponderación	39
Grafico 8. Permeabilidad de suelos con la clasificación de los valores de ponderación	40
Grafico 9. Susceptibilidad de inundaciones con la clasificación de los valores de ponderación	42
Grafico 10. Uso de suelo con la clasificación de los valores de ponderación	43
Grafico 11. Precipitación con la clasificación de los valores de ponderación.....	44
Grafico 12. Restricciones.....	45
Grafico 13. Mapa resultado del análisis multicriterio con las áreas ponderadas.....	46
Grafico 14. Áreas resultantes para emplazamiento con valores 2 y 3.	48
Grafico 15. Áreas para emplazamiento de relleno sanitario iguales o mayores a 2 ha.	49
Grafico 16. Área para emplazamiento de relleno sanitario	49

1. CAPÍTULO I

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN

En varias ciudades a nivel mundial el manejo de los desechos sólidos se convierte en una de las tareas más difíciles, ambas ciudades desarrolladas y en desarrollo, se encuentran hoy en día enfrentando esta tarea. En muchos lugares del mundo los rellenos sanitarios son los sistemas de manejo económicamente efectivos y fáciles para la disposición final de los desechos sólidos. Sin embargo, la inadecuada ubicación y mal manejo de los rellenos sanitarios pueden convertirse en un problema de contaminación ambiental y provocar problemas en la salud de los humanos (Kabite, Suryabagavan, Argaw, Sulaiman, & sciences, 2012).

En Latino América la obtención y operación de rellenos sanitarios viene a ser tarea de los municipios existentes en cada país, al pasar de los años de cierto modo se puede visualizar un aumento de la creación de rellenos sanitarios debido a la conciencia ambiental y cumplimiento de legislación. Sin embargo, la problemática con la mala disposición final de los residuos sólidos es aun existente, es decir que muchos municipios depositan sus desechos sólidos en botaderos a cielo abierto sin ningún tratamiento previo, en algunas ciudades existen más botaderos que rellenos. Por ejemplo, en Venezuela existen escasos rellenos sanitarios en funcionamiento, en 335 municipios existen 250 sitios de disposición final que son botaderos a cielo abierto; según los datos e informes compartidos de cada país se concluyó que en ciertos municipios existen en varios sitios de botaderos debido a la falta de recursos económicos, mientras que en otros no existe la voluntad política para invertir en rellenos sanitarios (Espinoza, Arce, Daza, Faure, & Terraza, 2010).

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 (Cando, 2016). Para la gestión de los residuos sólidos están a cargo los GADs metropolitanos y municipales de cada provincia según Art. 264 numeral 4) de la Constitución del Ecuador (Asamblea Constituyente, 2008) y Art. 55 del COOTAD literal d) referente a la prestación de

servicios públicos (Asamblea Nacional, 2010), Art. 27 literal 6 del Código Orgánico del Ambiente (COA) gestión de los residuos sólidos (Asamblea Nacional, 2017), Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria Art.57 (Ministerio del Ambiente, 2003), los mismos que se deben encargarse de realizar la consultoría para la adecuada ubicación de los rellenos sanitarios y su manejo basándose en los criterios ambientales de restricción según el AM-061 (Ministerio del Ambiente, 2015).

Según el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS-MAE) en Pichincha actualmente existen ocho cantones que se encargan de la gestión integral de los desechos sólidos, dos cantones disponen sus desechos en botaderos, un cantón en una celda emergente, y cinco disponen en rellenos sanitarios (Tabla 9, anexo 1), sin embargo, el cantón Quito recibe los desechos del cantón Rumiñahui, es decir que el cantón Rumiñahui necesita de un relleno sanitario propio ya que el relleno sanitario en Quito está a punto de cerrar.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Debido al crecimiento poblacional dentro de la provincia de Pichincha y consecuentemente del Cantón Rumiñahui ha incrementado la generación de residuos sólidos municipales reduciendo la vida útil del actual relleno sanitario, ubicado en el sector Inga del Cantón Quito, ya que el cubeto que se encuentra en funcionamiento es el último, para lo cual urge la búsqueda de un sitio potencial para establecer un nuevo relleno sanitario.

1.3. HIPÓTESIS

En base al análisis multicriterio y cumpliendo con la normativa encontrar por lo menos un área potencial para el emplazamiento de un relleno sanitario que coincida con el cálculo de área requerida para el relleno sanitario del cantón Rumiñahui.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar áreas potenciales para el establecimiento de un relleno sanitario para la comunidad del cantón Rumiñahui en la provincia de Pichincha.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer criterios para un análisis multicriterio.

- Determinar el área requerida para el futuro sitio del relleno sanitario.
- Generar mapas con los diferentes criterios seleccionados.
- Modelar las áreas potenciales mediante el uso de ArcMap.
- Seleccionar el sitio que posea las mejores condiciones geográficas, climáticas y geofísicas.

2. CAPÍTULO II

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES

La práctica de disposición final para los residuos sólidos viene desde el siglo V antes de Cristo en el cual las personas llevaban sus residuos y/o desechos a un botadero que tenían en la ciudad, luego en la época del Imperio Romano implementaron el primer servicio de recolección y disposición de los residuos en un botadero, en 1910 se crean por primera vez métodos para la utilización de un relleno sanitario y evitar los botaderos a cielo abierto, entre 1930 y 1950 se hace uso de un relleno sanitario pero aun no existía en ese entonces participación de ingenieros y no se daba importancia a la colocación de una barrera o capa que evite que se derramen los lixiviados (Benítez, 2012).

La selección de un sitio para construir un relleno sanitario es uno de los aspectos más críticos dentro de los proyectos de ingeniería moderna, donde los residuos sólidos municipales necesitan o merecen una atención especial ya que en varios lugares del mundo aún existen vertederos que no poseen tratamiento alguno o no poseen un tratamiento adecuado y ocasionan más problemas de contaminación a suelo, agua y aire; ya existen estudios (Akoteyon, Mbata, & Olalude, 2011) en donde se puede constatar varios problemas de contaminación resultando de la incorrecta selección de sitio, mal diseño e inadecuado manejo de los residuos sólidos municipales (Yıldırım & Güler, 2016).

Se convierte en un proceso difícil encontrar un sitio adecuado para el emplazamiento de un relleno sanitario debido a que se deben tomar en cuenta varios criterios, parámetros y regulaciones los cuales previenen o impiden que se generen problemas de contaminación, y la idea principal es mitigar la contaminación (Djokanović, Abolmasov, & Jevremović, 2016).

Los Sistemas de Información Geográfica se han utilizado para resolver varias cuestiones medioambientales, y para probar su capacidad de análisis se realiza un modelo dinámico que proporciona un análisis más rápido y preciso mediante la facilidad que brinda SIG para trabajar con grandes volúmenes de datos espaciales (Güler & Yomralıoğlu, 2017).

Se debe adecuar los criterios para el análisis colocando valores de importancia jerárquica según experiencia de ingeniería (Djokanović et al., 2016) y/o basándose en la legislación para la ubicación de un relleno sanitario, que en este caso sería el anexo 6 del acuerdo ministerial 061 (Ministerio del Ambiente, 2003).

En Ecuador en el Art. 264 numeral 4) de la Constitución del Ecuador (Asamblea Constituyente, 2008) se manifiesta que los GADs serán los encargados de la gestión de los residuos sólidos y por consiguiente de la disposición final de los mismos, por otro lado, en el Art. 243 dice que dos o más regiones, provincias, cantones o parroquias contiguas pueden agruparse y formar mancomunidades, con la finalidad de mejorar la gestión, sin embargo, muchos prefieren independizarse.

Por el momento en la provincia de Pichincha el Cantón Quito comparte el relleno sanitario con el Cantón Rumiñahui (Tabla 1), pero su tiempo de vida útil está a punto de caducar y es necesario buscar un sitio para la construcción de un nuevo relleno sanitario para Rumiñahui.

2.1.2. BASES TEÓRICAS

Ambiente: Se entiende al ambiente como un sistema global integrado por componentes naturales y sociales, constituidos a su vez por elementos biofísicos, en su interacción dinámica con el ser humano, incluidas sus relaciones socioeconómicas y socioculturales (Asamblea Nacional, 2017).

La contaminación ambiental: Es la presencia de un contaminante o varios contaminantes en el medio ambiente en distintas concentraciones que a largo plazo causan daños a los seres humanos, la salud, el bienestar, la flora, la fauna, ecosistemas o que produzcan un deterioro significativo en suelos, aire, agua, paisajes o los recursos naturales de manera general (Ministerio del Ambiente, 2003).

La contaminación es la alteración negativa de un ecosistema por la presencia de uno o más contaminantes, o la combinación de ellos, en ciertas concentraciones o tiempos de permanencia (Asamblea Nacional, 2017). Es decir que es la alteración de las condiciones naturales de agua, suelo, aire, entre otros recursos, por la presencia de cualquier material o sustancia contaminante ajena a los mismos que a largo plazo afecta la salud de los humanos y seres vivos.

Desechos: Materiales que no son productos primarios, a los que su productor no tiene ya más usos que dar en función de sus propios objetivos de producción, transformación o consumo, y que desea eliminar. Se pueden generar desechos durante la extracción de materias primas, durante la transformación de éstas en productos intermedios o finales, durante el consumo de productos finales y durante otras actividades humanas (Argüello, 2018). Son las sustancias (sólidas, semi-sólidas, líquidas, o gaseosas), o materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, cuya eliminación o disposición final procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional e internacional aplicable (Ministerio del Ambiente, 2003).

Residuo: Todo material que no posee un valor de uso directo y que es descartado por su propietario (Argüello, 2018).

Residuo Urbano: Son los que se originan en las actividades cotidianas de zonas residenciales y comerciales (Argüello, 2018).

Residuos sólidos: Los residuos sólidos, son cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido los cuales resultan del consumo o uso de los mismos en actividades domésticas, comerciales, industriales o de servicios, que ha perdido su valor para quien lo genera, pero que puede de cierto modo ser aprovechado y transformado en un nuevo bien con un valor económico agregado (Ministerio del Ambiente, 2003).

Gestión de Residuos Sólidos Municipales: Para realizar un plan para un sistema de gestión de residuos sólidos municipales para cualquier gobierno local, es necesario que se lleve a cabo una evaluación del flujo de residuos, esto brindara la información necesaria sobre la cantidad de basura que genera una persona, la composición de la basura o residuo, y sus fuentes. Realizando periódicamente la evaluación ayudara a planear e implementar un sistema adecuado de manejo de desechos sólidos, ya que la composición y volumen de los desechos generados varía mucho dependiendo del lugar y de la población (Kumar, s.f.).

Gestión Integrada de Residuos Sólidos (GIRS): La gestión de residuos sólidos se basa en las siguientes consideraciones: reducción en origen, reciclado, transformación de residuos y vertido, organizados según orden jerárquico. El control sistemático y determinado de los elementos funcionales: generación; manipulación de residuos, separación, y procesamiento en origen; recogida; separación y procesamiento y

transformación de residuos sólidos; transferencia y transporte, y vertido asociado a la gestión de residuos sólidos desde el punto de generación al vertido final (Tchobanoglous, 1994). El adecuado manejo y cumplimiento de las primeras fases de la gestión de los residuos sólidos, facilitara el tratamiento disposición final de los residuos que es su última fase.

Modelo de Gestión: Se refiere a la forma en la cual se presta el servicio de gestión de residuos sólidos. Este servicio es competencia exclusiva del 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. En los municipios de Ecuador del año 2015 al 2017 en valores porcentuales la gestión directa disminuye casi en un 10% de 83,3% a 73,2% y la empresa municipal en aproximadamente un 3% de 9% a 6,4%, mientras que la mancomunidad aumenta significativamente con aproximadamente un 13% de 7,7% a 20,5%, lo que indica que la gestión en mancomunidad es la preferencia de muchos municipios en Ecuador (Argüello, 2018).

Sistema funcional de los residuos sólidos: El sistema funcional de los residuos sólidos municipales involucra el manejo de los desechos desde el punto de generación, manejo de desechos, clasificación, almacenamiento, y procesamiento en el origen junto con la transferencia, transporte, y disposición. Siendo complicado el control desde el origen se debe realizar un buen tratamiento de disposición final para lo cual existen métodos de disposición final para lo cual hoy en día el más usado y uno de los mejores es el relleno sanitario o en algunos textos conocido como vertedero (Kumar, s.f.).

Disposición final: La disposición final es la última fase dentro del manejo de los residuos sólidos, donde los desechos se disponen de forma definitiva y sanitaria mediante procesos de aislamiento y confinación de manera definitiva, los desechos peligrosos, aprovechables y especiales son sometidos a tratamientos previos evitando contaminación, daños y riesgos a la salud humana o al ambiente. La disposición final, se realiza cuando técnicamente se ha descartado todo tipo de tratamiento, tanto dentro como fuera del territorio ecuatoriano (Ministerio del Ambiente, 2003).

Referente al destino final que tienen los residuos y desechos generalmente luego de un proceso de tratamiento, es decir la parte final de la gestión y manejo de los residuos sólidos (Argüello, 2018).

Hay distintos tipos de disposición final, y en Ecuador los más usados son:

- **Botadero de Residuos Sólidos:** Sitio donde se depositan los residuos sólidos, sin preparación previa y sin parámetros técnicos o mediante técnicas muy rudimentarias y en el que no se ejerce un control adecuado (Argüello, 2018) (Ministerio del Ambiente, 2003), se lo conoce también como vertederos incorrectamente gestionados (Tchobanoglous, 1994).
- **Celda Emergente:** Es una celda técnicamente diseñada donde se depositan temporalmente los desechos sólidos no peligrosos, los mismos que deberán tener una compactación y cobertura diaria con material adecuado, poseer los sistemas de: evacuación de biogás, recolección de lixiviados, desviación de las aguas de escorrentía; hasta la habilitación del sitio de disposición final, técnica y ambientalmente regularizado (Argüello, 2018). Adicionalmente, consta de las siguientes obras complementarias: conducción, almacenamiento y tratamiento de lixiviados. Dicha celda tendrá un periodo de diseño no mayor a 2 años y es también considerada como la primera fase del relleno sanitario (Ministerio del Ambiente, 2003).
- **Relleno Sanitario:** Es una técnica de ingeniería para el adecuado confinamiento de los desechos y/o residuos sólidos; consiste en disponerlos en celdas debidamente acondicionadas para ello y en un área del menor tamaño posible, sin causar perjuicio al ambiente, especialmente por contaminación a cuerpos de agua, suelos, atmosfera y sin causar molestia o peligro a la salud y seguridad pública. Comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los desechos, reduciendo su volumen al mínimo aplicable, para luego cubrirlos con una capa de tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente y efectuando el control de los gases, lixiviados y la proliferación de vectores (Ministerio del Ambiente, 2003).

En la Tabla 1 (Anexo 1) se clasifica el mecanismo de disposición final en Pichincha, Ecuador.

Ubicación para establecer un relleno sanitario: Determinar la correcta ubicación para establecer un relleno sanitario es complejo y difícil, ya que requiere de la combinación de varios parámetros sociales, ambientales y técnicos además dependen de una multitud de regulaciones, por esta razón los métodos espaciales para la identificación de un sitio adecuado se desarrollan mediante recursos geo tecnológicos, este enfoque ha sido analizado ya durante varios años. Varias de las características involucradas en la selección

de un sitio son de ámbito geográfico y la mejor manera de analizarlas es mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Fernandez & Silva, 2014).

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG): Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son diseñados para almacenar, recuperar, manipular, analizar, y mapear datos geográficos. El elemento central de un SIG es el uso de un sistema de referencia de ubicación para que de esta manera los datos sobre un área específica puedan ser analizados en su relación con otros sitios o áreas (Church, 2002).

En general, un sistema de información consiste en la unión de información en formato digital y herramientas informáticas para su análisis con unos objetos concretos dentro de una organización (empresa, administración, etc.). Un SIG es un caso particular de sistema de información en el que la información aparece georreferenciada es decir incluye su posición en el espacio utilizando un sistema de coordenadas estandarizado resultado de una proyección cartográfica (generalmente UTM). Las funciones básicas, y más habitualmente utilizadas, de un SIG son el almacenamiento, visualización, consulta y análisis de datos espaciales. Un uso algo más avanzado es la utilización de un SIG para la toma de decisiones en ordenación territorial o para modelización de procesos ambientales (Serría, 2017).

Raster: El modelo raster divide el área de estudio en una cuadrícula regular de celdas (píxeles), cada una de las celdas contiene un solo valor. Un conjunto de celdas y valores asociados es una capa y una base de datos generalmente contiene muchas capas (Church, 2002).

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 (Serría, 2017).

Vector: En SIG un vector implica la utilización o representación de tres tipos de elementos espaciales, de carácter geométrico, donde pueden ser interpretados los elementos geográficos: puntos, líneas y polígonos (Santos Preciado, 2008).

Superposición (Overlay): Es el proceso que consiste en superponer representaciones digitales de varios conjuntos de datos espaciales, uno sobre otro, con el objetivo de que

cada posición del área cubierta pueda ser analizada en términos de dichos datos (Gómez & Barredo, 2005).

Evaluación multicriterio: La evaluación multicriterio se ha desarrollado para implementarla en raster, para esto se comienza con información básica que consta de variables en forma de mapas o capas, las cuales permiten concebir criterios que serán las materias para realizar los procedimientos de evaluación. Los criterios presentan distribuciones espaciales de aptitud que se pueden transformar en dos variantes: factores discretos cuando las aptitudes se presentan dicotómicas (si/no) y factores continuos cuando las aptitudes se presentan dentro de un amplio rango de posibilidades (Juárez et al., 2014).

Análisis multicriterio basado en SIG (Algebra de Mapas): Mas allá de utilidades básicas, uno de los usos fundamentales de los Sistemas de Información Geográfica es la obtención de nuevas capas de información a partir de otras previamente disponibles. Para ello se dispone de un conjunto de herramientas de cálculo con matrices de datos que reciben el nombre genérico de algebra de mapas el cual incluye un amplio conjunto de operadores que se ejecutan sobre una o varias capas raster de entrada para producir una o varias capas raster de salida. Por operador se entiende un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdillas de una capa raster (Serría, 2017).

2.1.3. MARCO LEGAL

A continuación, se coloca la normativa vigente en temas ambientales y gestión de residuos sólidos.

Constitución del Ecuador (Asamblea Constituyente del Ecuador, 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

desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos (Constitución, Asamblea Constituyente 2008).

Código Orgánico Organización Territorial Autonomía Descentralización (COOTAD) (Asamblea Nacional, 2010)

Código del Ambiente (Asamblea Nacional, 2017)

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.

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA) (Ministerio del Ambiente, 2003)

Art 1.- (literal 15) Reconociendo que se han identificado los principales problemas ambientales, a, los cuales conviene dar una atención especial en la gestión ambiental, a través de soluciones oportunas y efectivas.

El Estado Ecuatoriano, sin perjuicio de atender todos los asuntos relativos a la gestión ambiental en el país, dará prioridad al tratamiento y solución de los siguientes aspectos reconocidos como problemas ambientales prioritarios del país:

- La generación y manejo deficiente de desechos, incluyendo tóxicos y peligrosos.
- Entre otros.

Acuerdo Ministerial 061 (Ministerio del Ambiente, 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 1×10^{-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.

Ordenanzas municipales

Ordenanza 12

Art 11.- La disposición final de los residuos sólidos urbanos no peligrosos solo podrá efectuarse en rellenos sanitarios manejados técnicamente y con respeto al medio ambiente, en su defecto en los sitios que la Municipalidad disponga previo los estudios técnicos y económicos correspondientes. Al efecto se deberá contar con un estudio de impacto ambiental aprobado y la correspondiente licencia, previo a su instalación y funcionamiento y su control periódico a través de auditorías ambientales.

Creación del PNGIDS

El Gobierno Nacional a través del Ministerio del Ambiente, en abril del año 2010, creó el Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS), con la finalidad de contribuir a la minimización del impacto ambiental generado por el inadecuado manejo de los residuos sólidos urbanos y mejorar la calidad de vida de la población del país, mediante la implementación de procesos de gestión integral de los desechos sólidos en los municipios del Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2010).

3. CAPÍTULO III

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra en el Cantón Rumiñahui (0°20'04"S 78°26'51"O) al sureste de la Provincia de Pichincha en la región sierra de Ecuador, es el cantón más pequeño de Pichincha, posee una extensión de 139 kilómetros cuadrados. El último censo de población y vivienda realizado en el 2010 señala que actualmente su población es de 85.852 habitantes (INEC, 2010), su temperatura promedio es de 25,4°C y una precipitación de 1000 a 2000 mm datos publicados por el Gobierno Autónomo Descentralizado de Rumiñahui (GADMR). La Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos Rumiñahui-Aseo (EPM) se encarga de operar el sistema de aseo del Cantón Rumiñahui, dentro de las actividades de recolección, transporte, barrido, disposición final, almacenamiento, tratamiento y comercialización de los residuos sólidos del Cantón Rumiñahui. Existen 701 contenedores distribuidos en el Cantón, para su recolección se usan vehículos especializados para estos contenedores los cuales son camiones compactadores de carga lateral equipados con un sistema de levanta contenedores y con este sistema se recolectan 3.000 toneladas de basura municipal diarias todos los días del año, además se recolecta 400 toneladas más diarias mediante la recolección con otros vehículos que son camiones compactadores de carga posterior los cuales recolectan la basura que no se encuentra dentro de los contenedores pasando por zonas rurales y urbanas todos los días del año. La disposición de los residuos sólidos municipales del cantón se los dispone en el relleno sanitario gestionado para el cantón Quito mediante convenio.

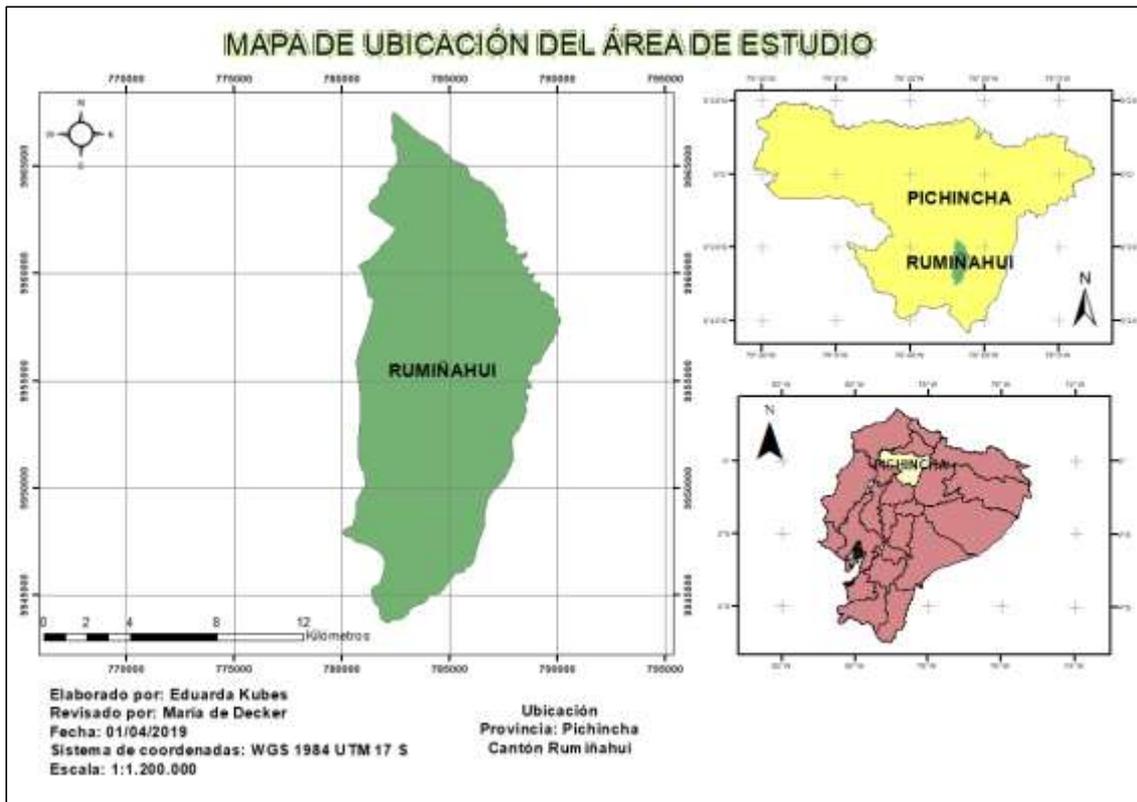


Grafico 1. Mapa de ubicación del área de estudio

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación de este proyecto es exploratoria ya que se realizó revisión bibliográfica en base a proyectos similares en otros países y muy pocos estudios similares se han realizado en Ecuador, es también descriptiva ya que se elaboraron mapas obtenidos de una base de datos espaciales públicos para poder describir los resultados y compararlos con otros estudios.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El proyecto consiste en la identificación de áreas potenciales para el establecimiento de un relleno sanitario para la comunidad del cantón Rumiñahui en la provincia de Pichincha.

Para cumplir con los objetivos del proyecto se realizó primero la obtención de datos para un análisis multicriterio con la herramienta ArcMap y la determinación del área necesaria para la población.

3.3.1. Cálculo del área para el relleno sanitario

Para realizar el cálculo para la estimación del área del Relleno Sanitario se utilizó la ecuación basados en los estudios de (Merat, 2015):

[5]

$$A_{total} = (Fa \times A_{rs}) + A_{rs}$$

Donde,

A_{total} = Área total requerida (m^2)

Fa = Factor de aumento de área

A_{rs} = Área a rellenar (m^2)

El factor de aumento del área adicional requerida para las instalaciones de operación. Se considera de un 20 a un 40% (Merat, 2015).

Con esta ecuación [5] se obtuvo el área requerida para el relleno sanitario, para lo cual ARS se calcula en la ecuación [4].

[4]

$$A_{rs} = \frac{Vol_{rs}}{h}$$

Donde,

A_{rs} = Área a rellenar (m^2)

Vol_{rs} = Volumen para el relleno sanitario (m^3)

h = Profundidad del relleno sanitario (m)

La ecuación [4] ayudará a calcular el valor del área a rellenar sin contar el porcentaje de la demás construcción de infraestructura de operación y administración del relleno sanitario. Para reemplazar el valor de VRS será necesario resolver la ecuación [3].

[3]

$$Vol_{rs} = Vol_{anual} \times MC$$

Donde,

Vol_{rs} = Volumen para el relleno sanitario (m^3)

$Vol_{anual} = \text{Volumen anual (m}^3\text{)}$

MC= Factor de material de cobertura (1.2 – 1.25)

El volumen anual se calcula con la cantidad de residuos sólidos que se producen diariamente (Tn/día) dividida para la densidad de los residuos (kg/m³) y el resultado de ambos multiplicado por 365 días (ecuación [2]).

[2]

$$Vol_{anual} = m/\rho$$

Dónde,

$Vol_{anual} = \text{Volumen anual (m}^3\text{)}$

$m = \text{Generación de residuos sólidos (kg)}$

$\rho = \text{Densidad de compactación de residuos sólidos (kg/m}^3\text{)}$

Para obtener la generación diaria de residuos será necesario calcular la ppc (producción per cápita) que equivale al peso total de residuos (kg) dividido para el número de habitantes (ecuación [1]) del cantón Rumiñahui, una vez obtenido el valor de ppc (kg/hab/día) se lo multiplica por el número de habitantes del cantón (Cantanhede, Monge, Alvarado, & Chumpitaz, 2005).

[1]

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

Donde,

$Pf = \text{Población futura}$

$Pi = \text{Población inicial}$

$r = \text{Tasa de crecimiento poblacional}$

$n = \text{Número de años (año inicial – año final)}$

3.3.2. Análisis multicriterio

Los datos en su mayoría representan criterios que se dividieron en geográficos, geofísicos y meteorológicos, cada criterio consta de una capa, sea raster o vector (shapefile), se clasificó en una sola carpeta para abrir todas las capas en el programa ArcMap. Para la

obtención de datos se consultó en la página del Sistema Nacional de Información, en el caso de las que no se pudieron descargar, se solicitó en las entidades que indica la fuente de las paginas, y alguna información se consiguió en los GADs del sector seleccionado.

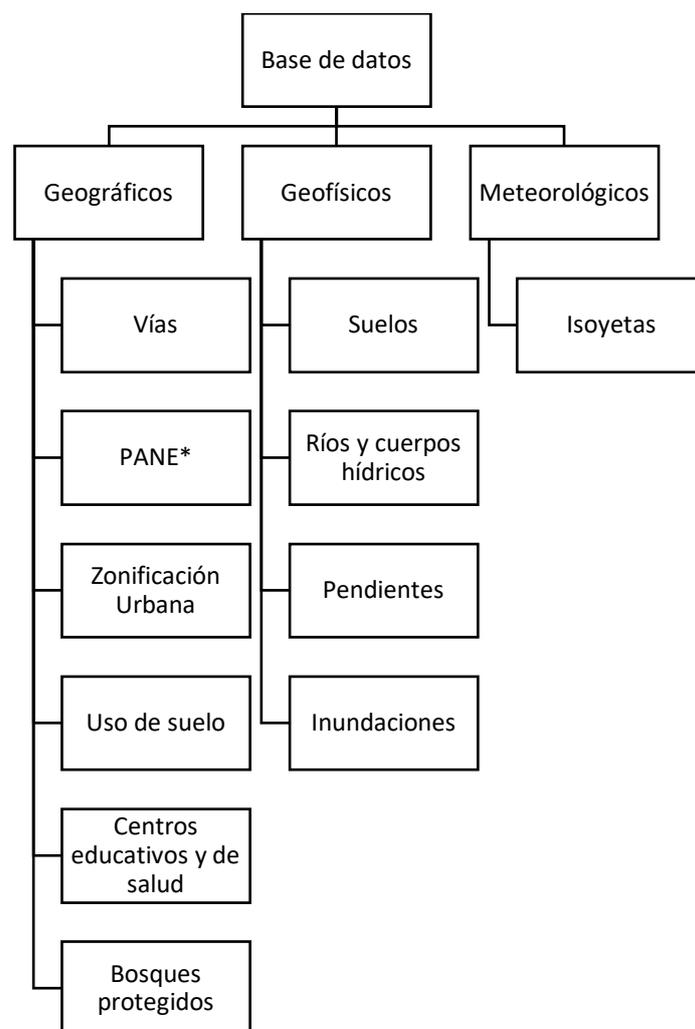


Grafico 2. Clasificación de la base de datos espaciales

*Patrimonio de Áreas Nacionales del Estado

Tabla 1. Capas en formato shapefile que conforman la base de datos para usar en el programa ArcMap

Capas	Fuente	Año
Vías	IGM (Instituto Geográfico Militar) y MAGAP	2019
Zonificación Urbana	IGM	2019
Limites Cantonales	IGM	2019
Ríos y cuerpos hídricos	IGM	2019
Uso de suelo	MAGAP	2019

Centros Educativos	MINEDUC	2014
Centros de Salud	MSP	2014
Elevaciones (Pendientes)	SENPLADES	2019
Isoyetas	INAMHI	2008
PANE y bosques protegidos	MAE	2015
Suelos	MAGAP	2019
Inundaciones	MAGAP	2019

Una vez obtenidas las capas y la información de las mismas, se procedió a colocarlas en el programa ArcMap, luego se realizó un corte de cada criterio (capas) con la capa de la zona de estudio, posteriormente se transformó todas las capas a formato raster (Arkoc, 2014; Djokanović et al., 2016; Güler & Yomralıoğlu, 2017; Mohammed, Majid, Yusof, & Yamusa, 2019; Subhrajyoti, 2012), luego se realizó la reclasificación; para esto se colocó valores de ponderación similar al método WLC por sus siglas en inglés Weighted Linear Combination, que consiste en estandarizar los mapas de idoneidad asignando a cada uno valores de importancia relativa en una escala de 1 a 9 (Al-Hanbali, Alsaideh, & Kondoh, 2011) para luego combinar los mapas y obtener un puntaje de idoneidad general (Malczewski, 2004).

Tabla 2. Explicación de los valores jerárquicos para el análisis multicriterio

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)

Los criterios se evaluaron y reclasificaron según lo que está establecido en el Libro VI Anexo 6 del Acuerdo Ministerial 061 numeral 4.12.4 literal del a) al h) (Ministerio del Ambiente, 2003) para la ubicación de un relleno sanitario,

- a) Distancia a aeropuertos (no menos de 13 km). Se verificó si dentro del área de estudio se encuentra un aeropuerto o zona de aterrizaje.
- b) Restricción en zonas agrícolas o culturales. Se utilizó las capas de zona urbana y usos de suelos para evitar que el área de relleno sanitario ocupe alguna de las áreas mencionadas.
- c) Distancia a fuentes hídricas (mínimo 200 m). Para realizar la reclasificación de esta capa se utilizó primero la herramienta *multiring buffer* para colocar distintas distancias; al revisar otros estudios se considera que 200 m aún es inadecuado para la ubicación de un relleno sanitario y se consideró una distancia mínima de 500 m (Djokanović et al., 2016).
- d) Restricción en fallas geológicas o zonas propensas a inundaciones. Se utilizó las capas de fallas geológicas, zonas de posible inundación y peligro volcánico.
- e) Distancia a la zona urbana (500 m). Se utilizó la capa de zonificación urbana, primero se aplicó la herramienta *multiring buffer* para colocar las distancias y luego reclasificarlas.
- f) Distancia a vías. Se podría considerar un factor económico (Güler & Yomralıoğlu, 2017), ya que mientras más cerca esté de las vías de fácil acceso, no será necesario construir vías y gastar recursos económicos. Para la reclasificación de vías se debe utilizar la herramienta *multiring buffer* colocando un rango de distancias para luego reclasificarlas.
- g) Permeabilidad. (igual o menor que 1×10^{-7} cm/seg) Se utilizó la capa de suelos con sus características de permeabilidad para reclasificarla.

En el caso de las restricciones se aplicó la herramienta *erase* el mapa de resultado final.

Luego de colocar los valores a cada criterio (Tabla 6) se utilizó la herramienta Superposición Ponderada (WO, Weighted Overlay por sus siglas en inglés) (Zeeshan, Shahid, Khan, & Shaikh, 2018) en el software ArcMap, que consiste en agregar las capas una vez transformadas a raster, secuencialmente; se establecieron los valores de escala (Tabla 2) de cada raster de entrada, luego se colocaron los pesos a cada raster según su importancia en una escala porcentual para que al final se represente el 100%. Finalmente, para producir el raster de salida final con las áreas potenciales para el establecimiento de

un relleno sanitario de entrada se multiplicaron por el peso del raster (%) dando valores de celda resultantes y generando un mapa final (ESRI, 2019). Para comprobar el área adecuada en hectáreas se transformó el raster a formato vector, con la herramienta Raster to Polygon (R. Faisal & MFA-D, 2018) para generar polígonos y realizar los cálculos en la tabla de atributos de cada polígono con la opción “Calculate Geometry”, finalmente se observó mediante una ortofoto las áreas potenciales.

En el caso de las restricciones, que son criterios donde no se puede emplazar un relleno sanitario, se aplicó la herramienta *erase* el mapa de resultado final.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para elaborar la investigación de este proyecto primero se realizó una revisión bibliográfica sobre la situación de rellenos sanitarios en el mundo. Se identificó la necesidad de encontrar un sitio en Rumiñahui para un relleno sanitario, por lo que la investigación es de tipo exploratorio ya que es algo novedoso para el cantón Rumiñahui, tomando en cuenta los estudios similares realizados en otros países, también se podría decir que es experimental ya que se realiza un análisis multicriterio y cálculos para encontrar un área idónea ya que los resultados de ambos métodos deben relacionarse, la descripción de los mapas resultantes del análisis multicriterio y su comparación con los cálculos del área idónea para un relleno en Rumiñahui hace de este proyecto una investigación descriptiva.

3.5. RECURSOS HUMANOS Y MATERIALES

Recursos Humanos:

- 1 Directora de Proyecto
- 1 técnico del Municipio de Rumiñahui
- 1 técnico de la Empresa Pública Municipal de Residuos Sólidos Rumiñahui-Aseo (EPM)
- 1 Geólogo de SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo)
- Personal administrativo del IGM (Instituto Geográfico Militar)
- 2 Geógrafos de MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca)
- 1 técnico de PNGIDS (Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos)

Recursos Materiales:

- 1 Laptop
- 1 Calculadora
- 1 libreta de anotaciones
- 1 disco duro externo
- ArcMap 10.4.1
- Datos espaciales (vector y raster)

4. CAPÍTULO IV

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1. Área requerida para el relleno sanitario de Rumiñahui

Para determinar el área del relleno sanitario se consideró la población desde el 2020 al 2029 lo que presentarían 10 años de vida útil cumpliendo con lo que dice el Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003) que señala que el relleno sanitario debe tener una vida útil mínima de 10 años.

Para conocer los habitantes de los 10 años contando desde el 2020 al 2029, se consideró la siguiente fórmula utilizada por (Cantanhede et al., 2005; Cobos, Solano, Vera, & Monge, 2017):

[1]

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

Donde,

Pf = Población futura

Pi = Población inicial

r = Tasa de crecimiento poblacional

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

La población inicial (Pi) son 85.852 habitantes según el último censo realizado en el 2010 con una tasa de crecimiento poblacional (r) del 2,96% (INEC, 2019). Se utilizó la tasa de crecimiento poblacional de los últimos censos como constante (Jaramillo, 1991; Rondón Toro, Szanto Narea, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016). El número de años (n) es igual al intervalo de años entre el 2010 hasta el año de población futura a saber.

Tabla 3. Habitantes del año 2020 al 2029 de Rumiñahui

Años	tasa de crecimiento INEC	n (intervalo de años desde el 2010)	Habitantes (Pf)
2020	0,0296	10	114930,62
2021	0,0296	11	118332,57
2022	0,0296	12	121835,21
2023	0,0296	13	125441,53
2024	0,0296	14	129154,6

2025	0,0296	15	132977,58
2026	0,0296	16	136913,72
2027	0,0296	17	140966,36
2028	0,0296	18	145138,97
2029	0,0296	19	149435,08

Se reemplazaron los valores en la ecuación [1] y se obtuvieron los resultados en la Tabla 3, donde se estima que habrá aproximadamente 149.435 habitantes para el 2029 en Rumiñahui.

Para obtener la generación anual de residuos se obtuvo la ppc (producción per cápita) que equivale al peso total de residuos (kg) dividido por el número de habitantes del cantón Rumiñahui del año 2018 a febrero del 2019 (Rumiñahui - Aseo,EPM, 2018). El valor de ppc fue 1,105 kg/hab/día; el mismo supera el promedio de ppc a nivel de la región sierra del Ecuador (INEC, 2018). El valor de ppc se lo multiplica por el número de habitantes del cantón obtenidos en la ecuación [1] (Tabla 3) y multiplicado por 365 días (Cantanhede et al., 2005).

Tabla 4. Resultado de la generación de residuos sólidos por año del 2020 al 2029

Año	ppc (kg/habitantes/días)	#habitantes	año (día)	GR (kg)
2020	1,105	114930,62	365	46354392,99
2021	1,105	118332,57	365	47726483,02
2022	1,105	121835,21	365	49139186,92
2023	1,105	125441,53	365	50593706,85
2024	1,105	129154,6	365	52091280,57
2025	1,105	132977,58	365	53633182,48
2026	1,105	136913,72	365	55220724,68
2027	1,105	140966,36	365	56855258,13
2028	1,105	145138,97	365	58538173,77
2029	1,105	149435,08	365	60270903,71
			Total	530423293,1 kg

Luego de obtener la generación de residuos de cada año (Tabla 4), se sumó la generación de residuos de todos los años (10 años), para lo cual se obtuvo como resultado 530.423.293,1 kg.

Con el resultado de la generación de residuos, se procedió a calcular el volumen anual con la ecuación [2].

[2]

$$Vol_{anual} = m/\rho$$

Dónde,

Vol_{anual} = Volumen anual (m^3)

m = Generación de residuos sólidos (kg)

ρ = Densidad de compactación de residuos sólidos (kg/m^3)

Para la densidad (ρ) se ocupó el valor de $590 kg/m^3$ el cual podría variar según el tipo de maquinaria que se vaya a utilizar para la compactación de residuos en el relleno sanitario (Rondón Toro et al., 2016).

$$Vol_{anual} = 530423293,1 / 590$$

$$Vol_{anual} = 899022,5307m^3$$

Reemplazando los valores en la ecuación [2] se obtuvo que el valor del volumen anual es $899.022,5307m^3$ el mismo que se utilizó para calcular el volumen para el relleno sanitario en la ecuación [3].

[3]

$$Vol_{rs} = Vol_{anual} \times MC$$

Donde,

Vol_{rs} = Volumen para el relleno sanitario (m^3)

Vol_{anual} = Volumen anual (m^3)

MC = Factor de material de cobertura

Para el factor de material de cobertura se utilizó el valor de 1,25 del rango posible de (1,2 – 1,25) (Merat, 2015; Rondón Toro et al., 2016).

$$Vol_{rs} = 899022,5307 \times 1,25$$

$$Vol_{rs} = 1123778,163 m^3$$

Reemplazando los valores en la ecuación [3] se obtuvo que el volumen para el relleno sanitario es $1.123.778,163m^3$, el cual se reemplazó en la ecuación [4] para hallar el área a rellenar.

[4]

$$A_{rs} = \frac{Vol_{rs}}{h}$$

Donde,

A_{rs} = Área a rellenar (m²)

Vol_{rs} = Volumen para el relleno sanitario (m³)

h = Profundidad del relleno sanitario (m)

Se utilizó el valor de 15 m para la altura total dividiendo 8 m de profundidad y 7 m de altura (Cobos et al., 2017), repartiendo 40 cm de residuos sólidos y 10 cm de cobertura sucesivamente cumpliendo con la relación ¼ (Rondón Toro et al., 2016) y cumpliendo con lo que dice Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003) donde señala que los residuos compactados no pueden exceder una profundidad de 60 cm.

La profundidad de 15 m se consideró en base a otro estudio realizado en la región sierra (Cobos et al., 2017), sin embargo el diseño del relleno sanitario que se encuentra ahora en funcionamiento tiene una profundidad de 37 metros (Sempértegui, Sosa, Bonifaz, & Suarez, 2018), lo que indica que es posible aumentar la profundidad del relleno en base a una posible similitud de terreno, sin embargo, es necesario realizar estudios más técnicos y especializados en el área para determinar con exactitud su profundidad (Arkoc, 2014).

Tabla 5. Estudio de los horizontes geoelectricos para la excavación de pozos

Sector	Horizonte Geoelectrico	Profundidad (m)	Característica
Mushuñán	1	0	Material de resistividad media, corresponde a suelo superficial con material grueso por mejoramiento del terreno.
	2	0.60 – 0.80	Resistividad baja, material de granulometría de fina a muy fina.
	3	16.60 – 20.80	Resistividad media, material de granulometría media a gruesa.
	4	25	Material de resistividad baja, material de granulometría fina a muy fina.
San Agustín	1	0	Resistividad media a alta, material grueso para mejoramiento del terreno.
	2	0.4 – 1.30	Resistividad baja, material de granulometría de fina a muy fina.
	3	8.70 – 10.90	Resistividad media, granulometría de media a gruesa (arena, grava, etc.).

	4	28.07 – 40.58	Resistividad baja, material de granulometría fina a muy fina.
	5	60 - 98	Resistividad media, material de granulometría media (arena, grava, fragmentos de roca, etc.)
Loreto	1	0	Resistividad media a alta, material grueso por mejoramiento de terreno.
	2	0.60 – 0.90	Resistividad baja, corresponde a material de granulometría fina a muy fina.
	3	11 – 15	Resistividad media, material de granulometría media a gruesa.
	4	42 – 52	Resistividad baja, material de granulometría fina a muy fina (arena, cenizas, arcilla, etc.)
Leticia	1	0	Resistividad media a alta, presencia de material grueso por mejoramiento del terreno.
	2	0.80 – 0.90	Resistividad baja, material de granulometría de fina a muy fina.
	3	18.50 – 59	Resistividad media, material de granulometría de media a gruesa.
	4	50 – 55	Resistividad baja, corresponde a material de granulometría fina a muy fina (arena, cenizas, arcilla, etc.)
	5	55	Resistividad media, material de granulometría media a gruesa (arena, grava, fragmentos de roca, etc.)
Salgado	Se encuentra un pozo en funcionamiento para captación de aguas subterráneas con una profundidad total de 124,28 metros.		
San Fernando	1	0	Resistividad media a alta, presencia de material grueso por mejoramiento del terreno.
	2	1.20 – 4.50	Resistividad baja, material de granulometría fina a muy fina.
	3	2.70 – 15.30	Resistividad media, material de granulometría media a gruesa (arena, grava, fragmentos de roca, etc.).
	4	6.95 – 15.10	Resistividad baja, material de granulometría fina a muy fina (arena, cenizas, arcilla, etc.).

Fuente: (Layedra, 2015).

El estudio de perforación de pozos en los distintos sectores de Rumiñahui indica que las aguas subterráneas se encuentran a más de 100 m aproximadamente de profundidad (Layedra, 2015); lo que indica que al realizar un relleno con 15 m de profundidad (Cobos

et al., 2017) disminuye la posibilidad de que el relleno sanitario se encuentre muy cercano al manto freático, además, los horizontes (Tabla 5) contienen material impermeable cumpliendo con lo que dice la normativa de un índice de 1×10^{-7} cm/seg. En el caso de que el material no sea en su totalidad impermeable, se deben utilizar mecanismos y/o técnicas de impermeabilización (Ministerio del Ambiente, 2003) para asegurar que los lixiviados no contaminen las fuentes hídricas subterráneas (Rondón Toro et al., 2016). Una vez definida el área para la disposición final de los residuos sólidos no peligrosos será necesario realizar un estudio de impacto ambiental, donde se toma en cuenta la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas (Subsecretaría de Calidad Ambiental, 2015), lo que puede definir con mayor exactitud a que límites de profundidad puede construirse el relleno sanitario.

$$A_{rs} = \frac{1123778,163}{15}$$

$$A_{rs} = 74918,54422 \text{ m}^2$$

Reemplazando los valores en la ecuación [4] se obtuvo que el área a rellenar es de $74.918,54422 \text{ m}^2$ la misma que se reemplazó en la ecuación [5] donde se multiplica por un factor de aumento del 30% tomando en cuenta que debe ser del 20% al 40% donde se incluye el área necesaria para obras de operación del relleno y aumento del área en caso de algún cambio en la generación de residuos sólidos según lo que dicen los autores (Cobos et al., 2017; Merat, 2015; Rondón Toro et al., 2016)

[5]

$$A_{total} = (Fa \times A_{rs}) + A_{rs}$$

Donde,

A_{total} = Área total requerida (m^2)

Fa = Factor de aumento de área

A_{rs} = Área a rellenar (m^2)

$$A_{total} = (0,30 \times 74918,54422) + 74918,54422$$

$$A_{total} = 97394,10749 \text{ m}^2$$

Finalmente, el área total para Rumiñahui con una vida útil de 10 años es de 9,73 ha lo que se redondeó a 10 ha en el estudio.

4.1.2. Análisis multicriterio

Según el Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003) se establecieron los criterios mostrados en la Tabla 6 con sus valores de categorización según la Tabla 2.

De los cuales se presenta la distancia a las vías de acceso, distancia a ríos, distancia a la zona urbana, pendientes, permeabilidad de suelos, uso de suelo, susceptibilidad a inundaciones y precipitación.

Para verificar la distancia a aeropuertos se colocó una capa con las áreas correspondientes a los aeropuertos resultando que dentro de Rumiñahui no existe ningún aeropuerto o pista de aterrizaje lo que hizo que se excluya el análisis de este criterio.

Tabla 6. Clasificación de los criterios evaluados para la ubicación de un relleno sanitario basado en el Anexo 6 (Ministerio del Ambiente, 2003)

CRITERIOS	RANGOS	PONDERACION (VALORES DE RECLASIFICACIÓN)
Distancia vías (m)	0-200	1
	200-400	2
	400-600	3
	600-800	4
	800-1000	5
	1000-1200	6
	1200-1600	7
	1600-2000	8
	>2000	9
Distancia zona urbana (m)	0-500	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 ríos (m)	0-200	9
	200-300	9
	300-400	7
	400-500	5
	500-600	3
	600-700	1
	700-800	7
	800-1000	9
	>1000	9
Pendientes (%)	0 – 20	1
	20-40	7
	>40	9
Permeabilidad	IMPERMEABLE	1
	POCO PERMEABLE	5
	SIN INFORMACIÓN	7
	PERMEABLE	9
	NO APLICABLE	9
Susceptibilidad a inundaciones	SIN SUSCEPTIBILIDAD	1
	BAJA	5
	MEDIA	9
Uso de suelo	VEGETACIÓN HERBÁCEA/ PASTIZAL	1
	CULTIVO/ VEGETACIÓN ARBUSTIVA	5
	PLANTACIÓN FORESTAL	7
	CUERPO DE AGUA/ÁREA POBLADA/ INFRAESTRUCTURA ATRÓPICA /MOSAICO AGROPECUARIO/	9

	PÁRAMO/ BOSQUE NATIVO	
Precipitación (mm)	1000-1500	1
	1500-2000	5

Fuente: (Autor)

Además de los criterios antes mencionados, también se tomaron en cuenta criterios que forman parte de restricciones, que en este estudio fueron los bosques protectores, el Patrimonio de Áreas Nacionales del Estado y la zona urbana. Sin embargo, la única restricción que se tomó en cuenta es la de bosques protectores y zona urbana, porque Rumiñahui no coincidió con ningún Área Nacional del Estado.

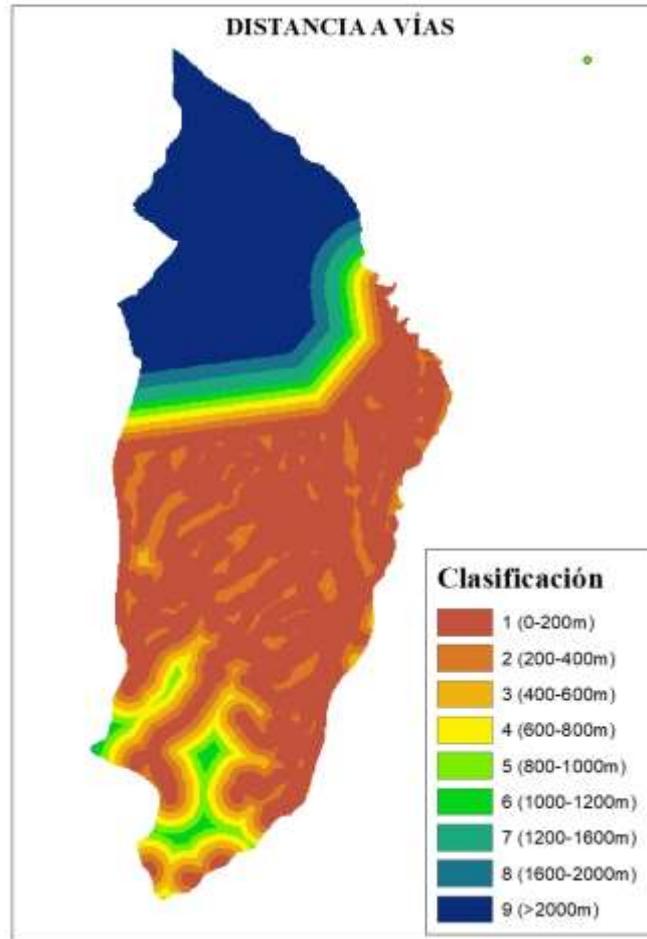


Grafico 4. Distancia a vías con la clasificación de valores de ponderación

Se puede observar en el Gráfico 3 los valores de reclasificación (Tabla 6) de las distintas distancias dentro del área del Cantón Rumiñahui, donde se obtuvo que el porcentaje más alto es 43,42 % del territorio el cual ocupa la ponderación con valor 1 representando el área idónea (Tabla 6) cumpliendo con la normativa del Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003), que dice que el relleno debe ubicarse lo más cerca posible de las vías de fácil acceso. Sin embargo, el porcentaje que le sigue de 24,81% del total del territorio, es para la ponderación de 9, representando la peor opción posible para la ubicación del relleno sanitario, que cubre las distancias más lejanas a las vías y el sector donde se concentra la zona urbana. Esto quiere decir que el 43,42% del territorio evaluando el criterio de distancia a vías es la mejor decisión posible para el emplazamiento del relleno sanitario. Es importante que el relleno sanitario se encuentre 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 et al., 2017; Güler & Yomralioğlu, 2017; Zapata Muñoz & Zapata Sanchez, 2013).

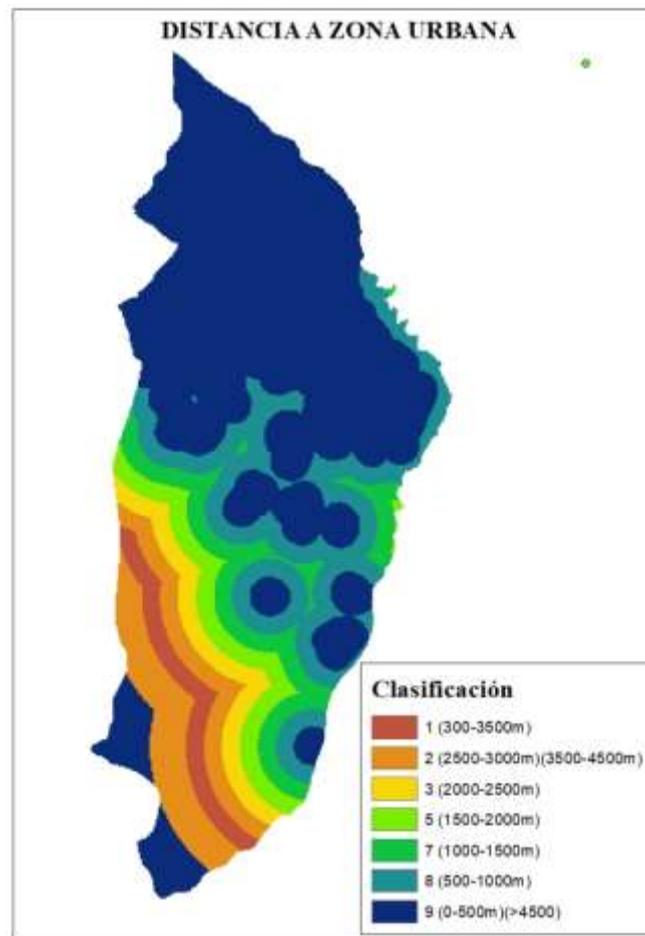


Grafico 5. Distancia a zona urbana con la clasificación de los valores de ponderación

Se consideró en el estudio que, según el Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003) el relleno sanitario debe estar a no menos de 500 m de zonas edificadas o zonas urbanas, dentro de las mismas se consideraron los centros de salud y centros educativos. Pero así mismo no debería ubicarse demasiado lejos de la zona urbana ya que se alargarían los tiempos de traslado y recolección de los desechos convirtiéndose también en problemas económicos. Cabe recalcar, que hay otros factores tanto ambientales como sociales que influyen en que el relleno se encuentre muy cerca de la zona urbana, como por ejemplo que los vientos irregulares lleven el mal olor al sector urbano causando molestias a las personas y contaminación, por esta razón no deben estar muy cerca de la zona urbana (Arkoc, 2014; Djokanović et al., 2016); por esta razón a las distancias entre 0 a 1000 metros se les colocó ponderaciones altas representando la peor decisión para el emplazamiento del relleno, pero así mismo se colocó valores altos a las

distancias muy lejanas ya que influyen en los costos de traslado afectando el factor económico (Cobos et al., 2017). Del análisis de este criterio resultó que el porcentaje más alto lo obtuvo la ponderación de 9 representando el 54,17% del territorio lo que disminuye bastante la cantidad de área que podría ser apta para el emplazamiento del relleno sanitario ya que la ponderación de 1 obtuvo un 3,74% del territorio, que representa la franja naranja oscura en el Gráfico 4. Sin embargo, la ponderación de 2 que es una excelente opción para el emplazamiento del relleno ocupando un 10,16% del territorio sumándose a la ponderación 1 para que se pueda ubicar un relleno sanitario, además de las ponderaciones 3 y 4 que aún son aptos.

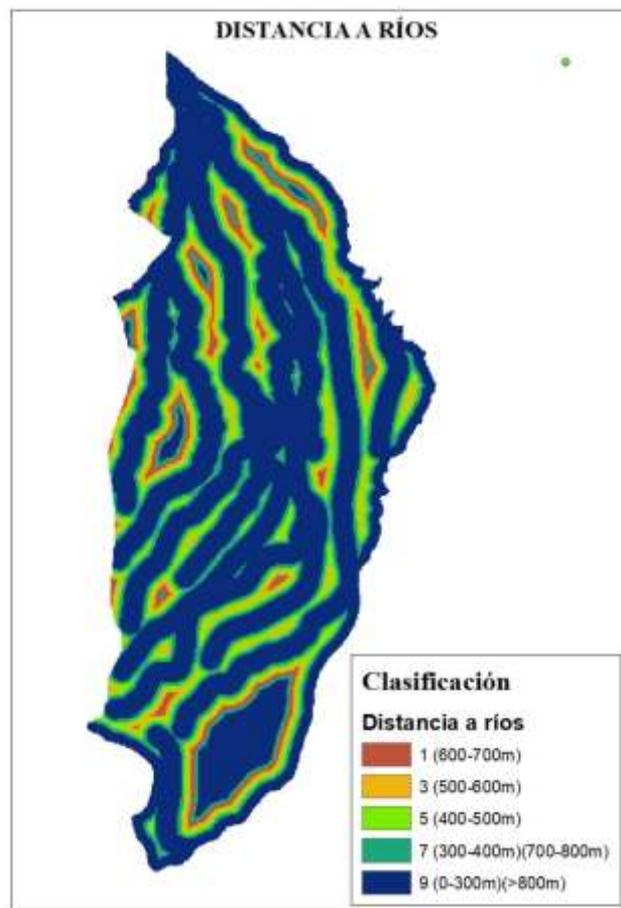


Grafico 6. Distancia a ríos con la clasificación de los valores de ponderación

El Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003) señala que la distancia a los ríos o fuentes hídricas no debe ser menor a los 200 m, sin embargo, en el estudio se consideró que 200 m es una distancia muy cercana a las fuentes hídricas y que podría causar un impacto ambiental si por alguna razón se derraman los lixiviados del relleno sanitario. Según (Djokanović et al., 2016) la distancia mínima que se debe considerar es de 500 m al igual que indica (Güler & Yomralıoğlu, 2017), estos autores

señalan que lo ideal es que las distancias sean mayores a dos kilómetros. Sin embargo, en este estudio se consideró que las distancias tampoco deberían ser tan grandes debido a que se realiza un tratamiento de lixiviados donde el agua tratada se dirige a los ríos, según la explicación de los técnicos encargados del relleno sanitario del Cantón Quito en una visita realizada por la autora de este proyecto. En el caso de que se encuentre muy lejos de los ríos, el costo de evacuar las aguas tratadas se elevaría, por esta razón en el estudio se colocó distancias intermedias como optimas con la ponderación de 1 la mejor opción posible y 3 una muy buena opción, y valores altos a distancias muy cortas o muy largas. El 62,60% del territorio corresponde a la ponderación 9 reduciendo la disponibilidad de área para el sitio ideal para un relleno sanitario donde el valor de 1 corresponde al 3,62% sin embargo, los valores de 3 y 5 sumarían el porcentaje del territorio como posible para la ubicación de un relleno.

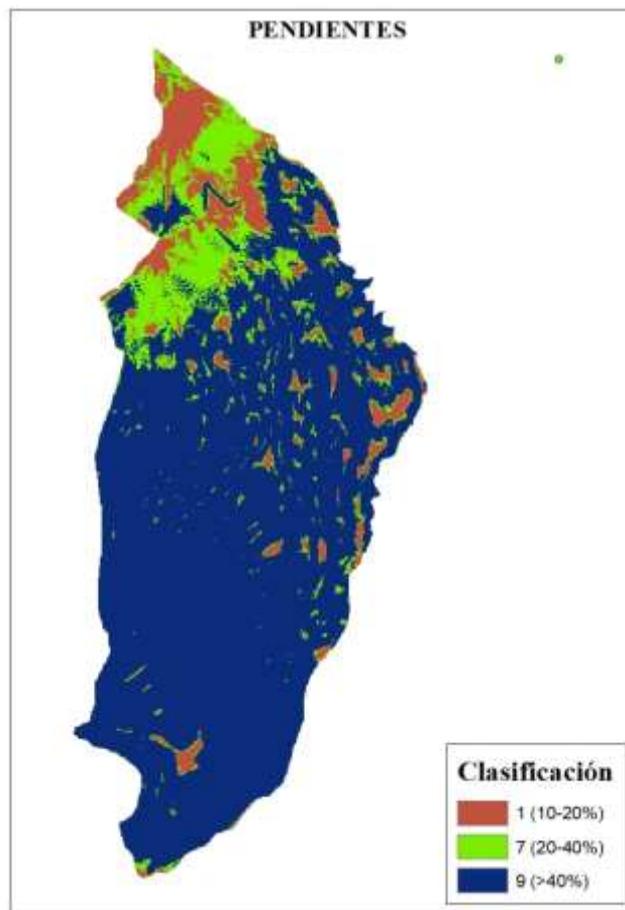


Grafico 7. Pendientes con la clasificación de los valores de ponderación

El criterio de pendientes no menciona el Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003), pero es un aspecto de ingeniería y económico importante. La pendiente que se puede considerar ideal es menor al 25% y hasta el 40% como un rango intermedio (Arkoc, 2014; Güler & Yomralıođlu, 2017), a esto se suma que si la pendiente tiene un porcentaje muy alto los lixiviados pueden contaminar sectores más bajos por derrame (Cobos et al., 2017). En el estudio las pendientes se dividieron en 3 partes (Tabla 6), donde predominan las pendientes mayores al 40% ocupando el 77,98% del territorio (Gráfico 6) que posee ponderación 9 indicando que la mayoría del territorio en base a las pendientes no es apta para la ubicación de un relleno sanitario y la ponderación 1 posee un porcentaje de 9,43% y la mayoría se encuentra dentro de la zona urbana.

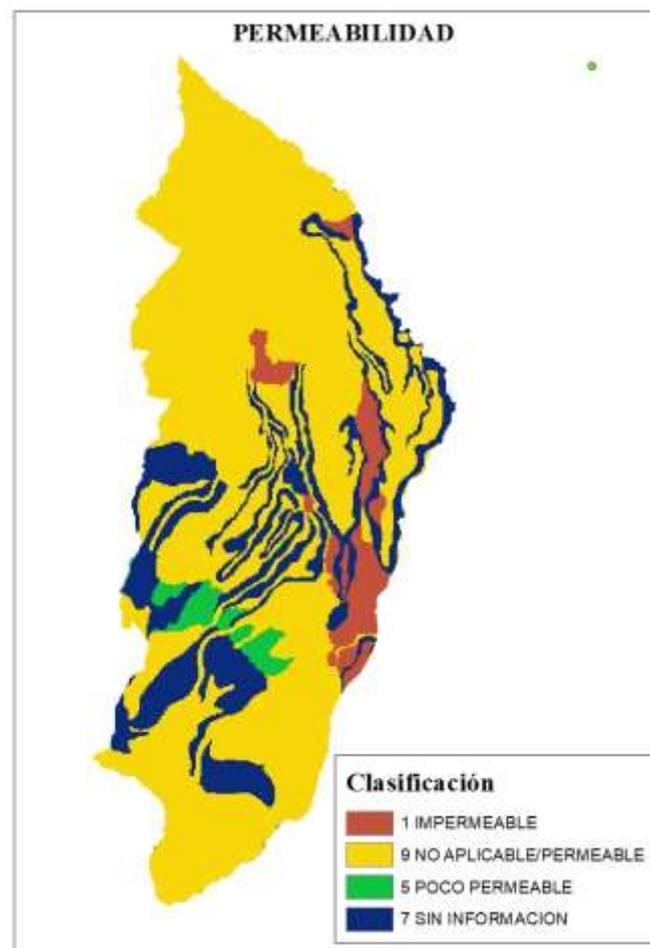


Gráfico 8. Permeabilidad de suelos con la clasificación de los valores de ponderación. El Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003) indica que el valor de permeabilidad debe ser igual o menor a 1×10^{-7} cm/s considerando como suelo permeable (Tabla 7), sin embargo no es una limitante ya que se puede utilizar algún material que suplante la función impermeabilizante. Por otro lado (Demesouka,

Vavatsikos, & Anagnostopoulos, 2014) señalan, que aun si se coloca un material impermeabilizante o un tratamiento para captar todos los lixiviados y tratarlos para evitar que se infiltren estos lixiviados y posteriormente contaminen las aguas subterráneas, es importante prevenir cualquier posible falla y buscar un suelo que sea lo suficientemente impermeable. Hoy en día hay varias herramientas para evitar la filtración de lixiviados hacia las aguas subterráneas (Cobos et al., 2017). En base a estos antecedentes y a la normativa ecuatoriana, en la Tabla 4 se colocaron los valores de ponderación en base a la importancia que tiene cada criterio de permeabilidad dando como resultado (Gráfico 7), que el 72,25% del territorio corresponde al valor 9 (Tabla 6) representando la peor opción posible para el emplazamiento de un relleno sanitario según la permeabilidad del suelo, ya que son suelos permeables y el resto con la misma ponderación corresponde a zonas con presencia de infraestructura antrópica; el valor 1 como mejor opción ocupa únicamente el 5,38% del territorio reduciendo el mejor área para un relleno, pero el valor de 5 (2,31% del territorio) que corresponde a los suelos poco permeables se considera como un sitio decente (Tabla 2) para un relleno ya que se podría utilizar otras herramientas para impermeabilizar y evitar que se filtren lixiviados. Los suelos sin información no son una buena opción porque no se sabe que coeficiente de permeabilidad tienen.

Tabla 7. Valores de permeabilidad

PERMEABILIDAD	VALOR (CM/S)
IMPERMEABLE	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$
POCO PERMEABLE	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-5}$
PERMEABLE	$1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-3}$
SIN INFORMACIÓN	Sin Información
NO APLICABLE	No aplicable (Zonas con infraestructura antrópica, bosques protegidos, entre otros.)

Fuente (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador)

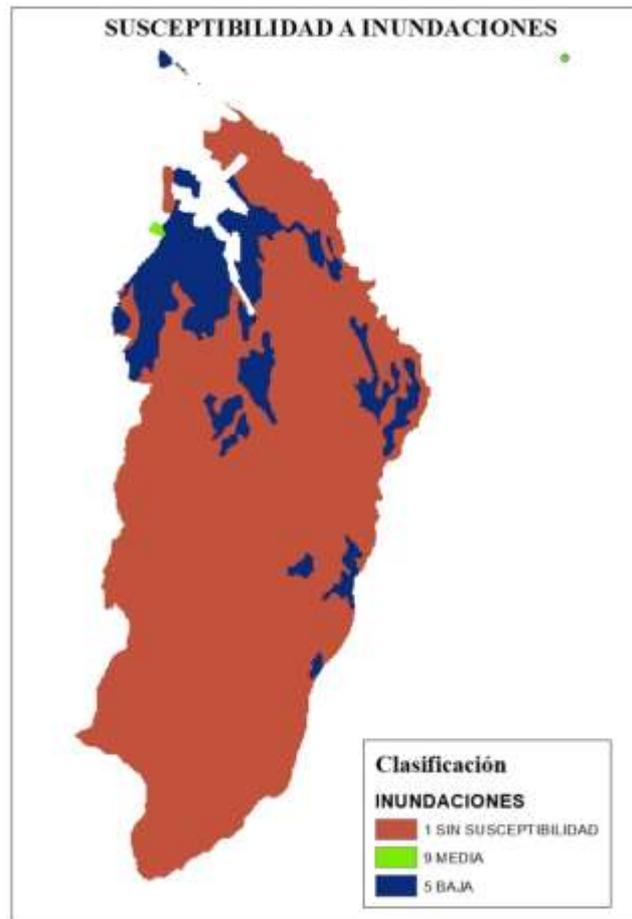


Gráfico 9. Susceptibilidad de inundaciones con la clasificación de los valores de ponderación

La susceptibilidad a inundaciones debe ser nula, ya que el relleno no debe ubicarse en zonas susceptibles o propensas a inundaciones según el Libro Sexto, Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003). Los resultados muestran en el Gráfico 8 que la mayoría del territorio posee el valor 1 ocupando el 85,5% del territorio y representa la mejor opción posible (Tabla 2) para el emplazamiento del relleno sanitario, y el valor más alto representando la peor opción ocupa apenas el 0,1% del territorio, lo que quiere decir que prácticamente todo el territorio en base a posibles inundaciones es adecuado para la ubicación de un relleno sanitario. Las zonas más bajas son propensas a inundaciones (Gráfico 7) (Demesouka et al., 2014), y por lo general la zonas cerca de ríos también son propensas a inundaciones (Demesouka, Vavatsikos, & Anagnostopoulos, 2013).

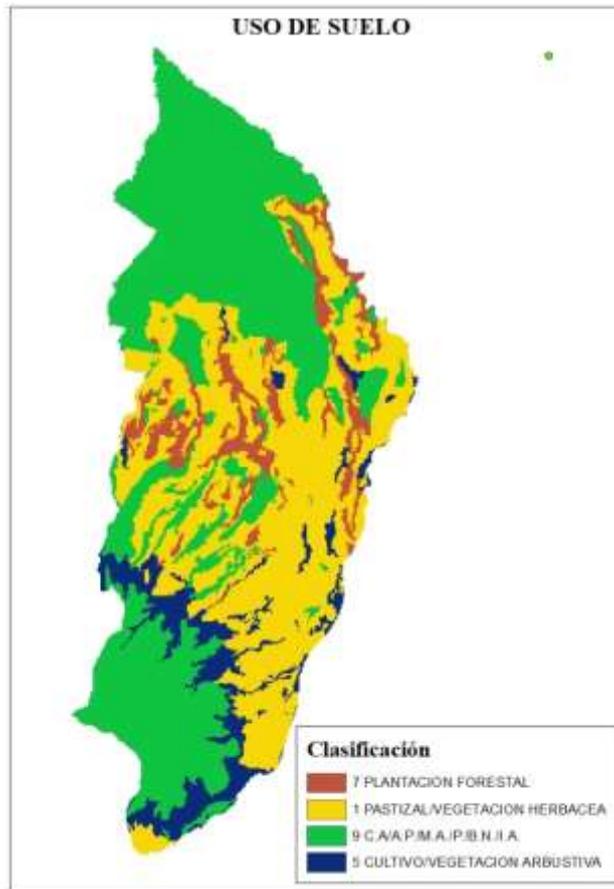


Grafico 10. Uso de suelo con la clasificación de los valores de ponderación
*9= (Tabla 7)

El relleno sanitario no puede ubicarse dentro de áreas agrícolas o dentro de la zona urbana (Ministerio del Ambiente, 2003). Este criterio tiene un enfoque ambiental debido a los impactos que podrían causar el emplazamiento de un relleno sanitario, además de ciertos conflictos sociales (Arkoc, 2014; Cobos et al., 2017). En el Grafico 9 (resultado de la reclasificación de usos de suelo) el valor 1 (Tabla 2) que es para pastizales y vegetación herbácea ocupan el 38,1% del territorio y el valor de 9 ocupa el 46,12%, lo que quiere decir que en este mapa existe una amplia área catalogada como la mejor decisión posible, aun si la peor decisión para colocar un relleno sanitario ocupa la mayor parte del territorio, ya que parte del área que ocupa el valor 9 se elimina con las restricciones (Grafico 11) por formar parte del área poblada y parte de bosques nativos.

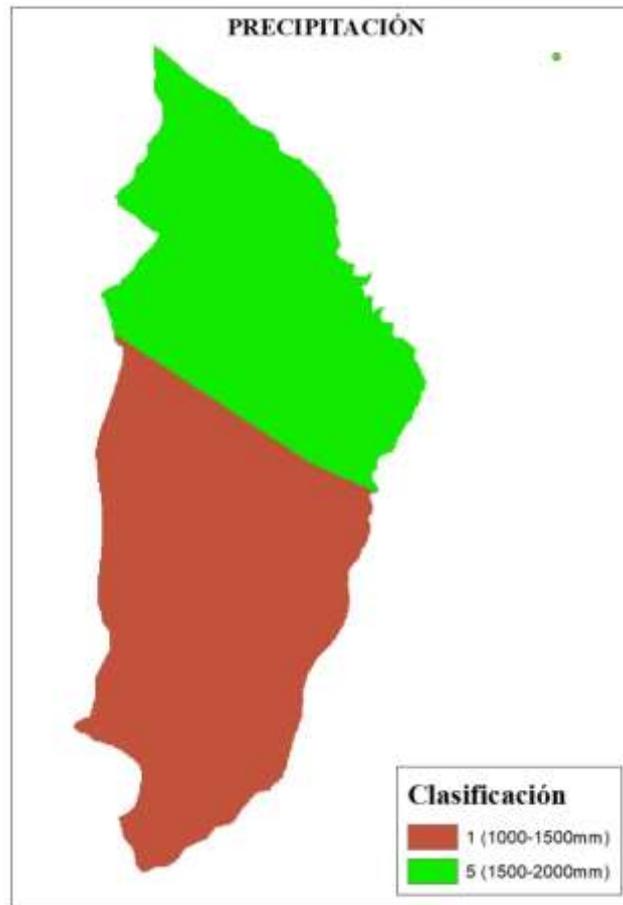


Grafico 11. Precipitación con la clasificación de los valores de ponderación

El criterio de precipitación tiene importancia dentro del emplazamiento de un relleno sanitario porque por lo general los sitios caracterizados con un índice de precipitación muy alto, se consideran inadecuados para situar un relleno sanitario, ya que el riesgo de que estas transporten agua contaminada es alto, lo que conlleva a gastar en la construcción de un sistema eficiente de drenaje ya que no debe acumularse agua en la superficie del relleno (Demesouka et al., 2014). La reclasificación del mapa de isoyetas (Grafico 10) muestra dos rangos de precipitación que siguen representando un valor aceptable (Cobos et al., 2017). El valor de 1 corresponde a las precipitaciones más bajas y ocupa el 56,31% del territorio, y el resto con una precipitación un poco más alta está representada con un valor intermedio de 5 (Tabla 2) que sigue siendo aceptable para el emplazamiento del relleno sanitario y corresponde al 43,69% del territorio cubriendo la parte urbana.

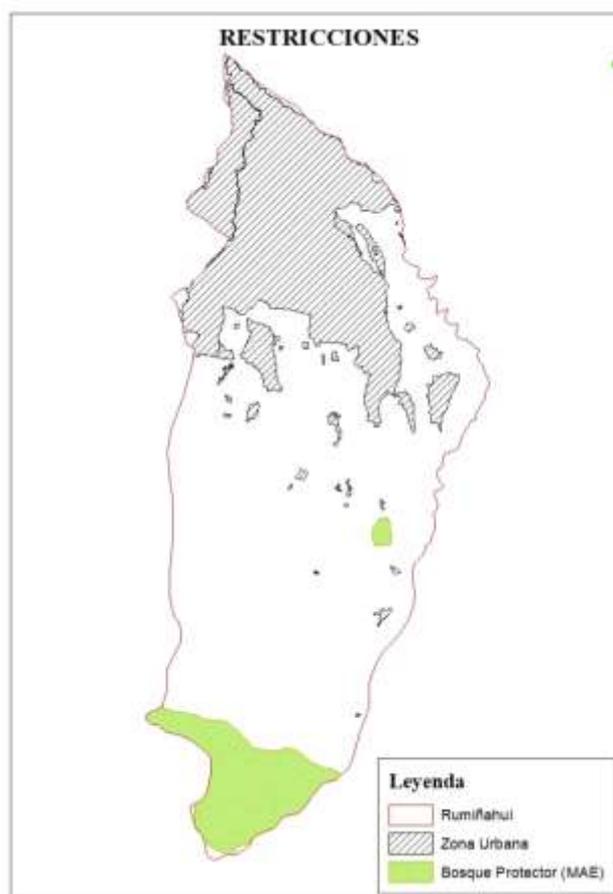


Grafico 12. Restricciones

Las restricciones en este estudio fueron la zona urbana donde se incluyen unidades educativas, centros de salud y bosques protectores; dentro del cantón Rumiñahui no se encuentra ningún Área Nacional del Estado y por eso no se tomó en cuenta esa restricción. Las restricciones se eliminaron del mapa final, luego de realizar el proceso de Superposición Ponderada (WO). A cada capa raster (Gráficos 3-10) se le colocó pesos que sumando representen el 100%, para lo cual se colocaron a todos los raster el mismo porcentaje 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. Al contrario, (Cobos et al., 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 (Grafico 12), se seleccionaron los polígonos con los valores más bajos (2 y 3) que

representaban las áreas con la mejor opción posible para el emplazamiento del relleno sanitario (Grafico 13).

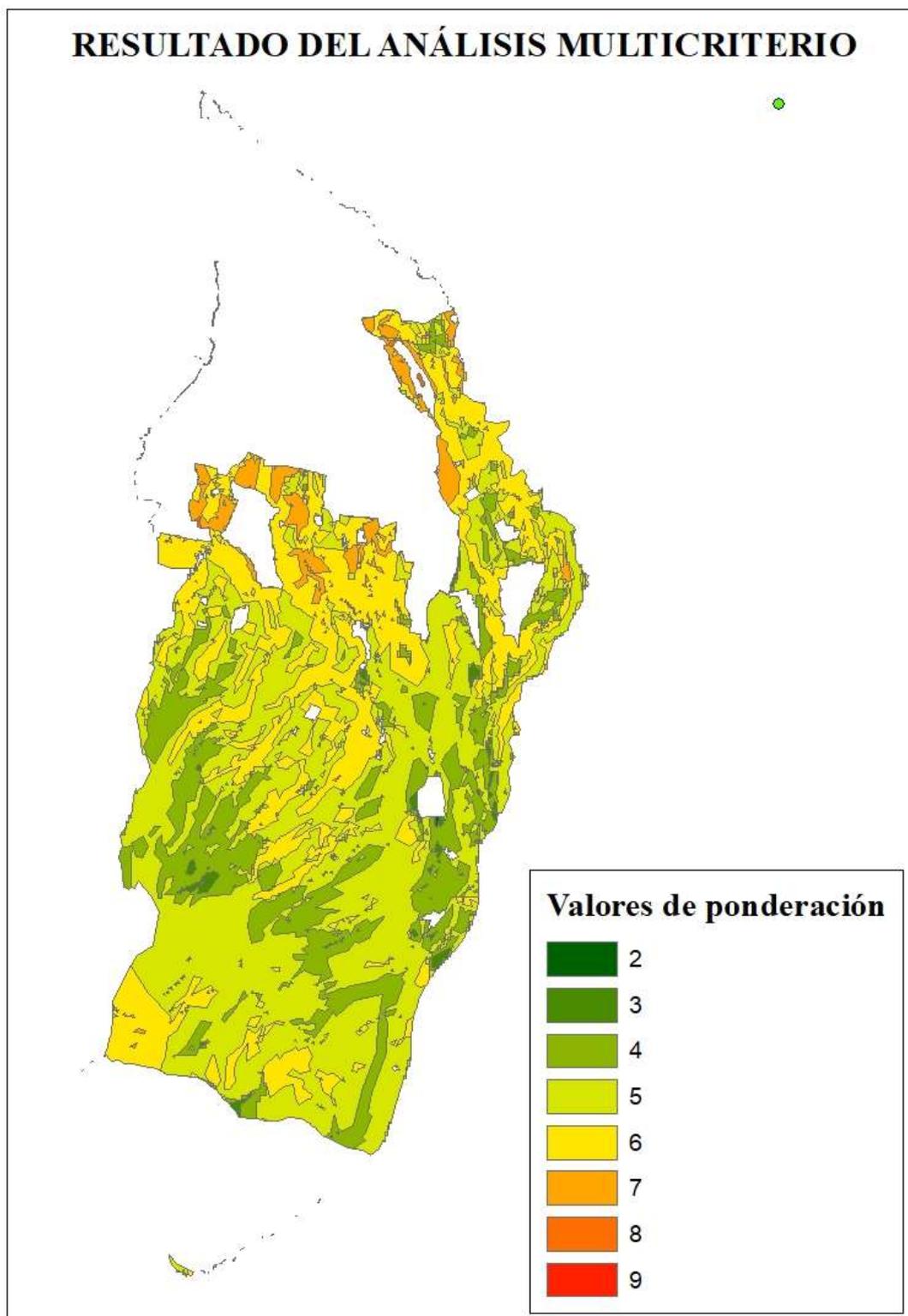


Grafico 13. Mapa resultado del análisis multicriterio con las áreas ponderadas

En el resultado final (Gráfico 12) se constató que el valor de 5 ocupa el mayor porcentaje del territorio con el 33,10% (Tabla 8), lo que quiere decir que la mayoría del territorio para el emplazamiento de un relleno sanitario en Rumiñahui ocupa un valor intermedio siendo una opción decente para la decisión final, sin embargo, el valor más bajo que fue 2 (Gráfico 12) representa el 0,09 del territorio siendo una excelente opción para la decisión. Sin embargo, no se obtuvieron áreas con valor 1, lo que quiere decir que dentro del territorio no hay un área potencial con la mejor opción posible para colocar un relleno sanitario.

Tabla 8. Descripción porcentual del resultado final de la superposición ponderada

Valores Jerárquicos	Ocupación del territorio (%)	Descripción
2	0,09	Es una excelente opción para la decisión final
3	5,29	Es una muy buena opción para la decisión final
4	22,10	Es una buena opción para la decisión final
5	33,10	Es una opción decente para la decisión final
6	26,78	Es una opción desagradable para la decisión final
7	10,31	Es una mala opción para la decisión final
8	2,25	Es una opción no viable para la decisión final
9	0,09	La peor opción posible para la decisión

Fuente: (Autor)

Una vez que se obtuvieron las áreas con ponderaciones de 2 y 3, se realizó el cálculo del área en hectáreas de cada una con la herramienta *Calculate Geometry*. En el Gráfico 14 se eliminaron las áreas menores o iguales a 1 hectárea, obteniendo como resultado 3 áreas de 2 ha, 2 áreas de 3 ha, 2 áreas de 4 ha, 2 áreas de 5 ha, 1 área de 8 ha y 1 área de 10 ha. Todas las áreas con una ponderación de 3 ya que el área con ponderación 2 fue menor a 1 ha.

Es así, que en base al análisis multicriterio se seleccionaron dos posibles áreas observadas en una ortofoto: la de 8 ha se encuentra cerca de vías, en un lugar plano con muy poca vegetación y un suelo impermeable, sin embargo, se encuentra a menos de 100 metros de distancia a un río, además de que es una zona de peligro volcánico; la de 10 ha se encuentra cerca de vías de fácil acceso, lejos de fuentes hídricas, pero su suelo es poco permeable.

Comparando con el resultado del área requerida de 9,73 hectáreas para 10 años de vida útil, el área de 10 hectáreas, resultado del análisis multicriterio con SIG (Grafico 15) sería apta para la ubicación del relleno sanitario, ya que la precipitación en ese sector es baja, el lugar es plano a pesar de ubicarse en zonas de pendientes altas, se encuentra muy cerca de vías de fácil acceso, lo que reduce costos de construcción de vías, el uso de suelo es pastizal, está a aproximadamente 10 km de la zona urbana y su suelo es poco permeable.

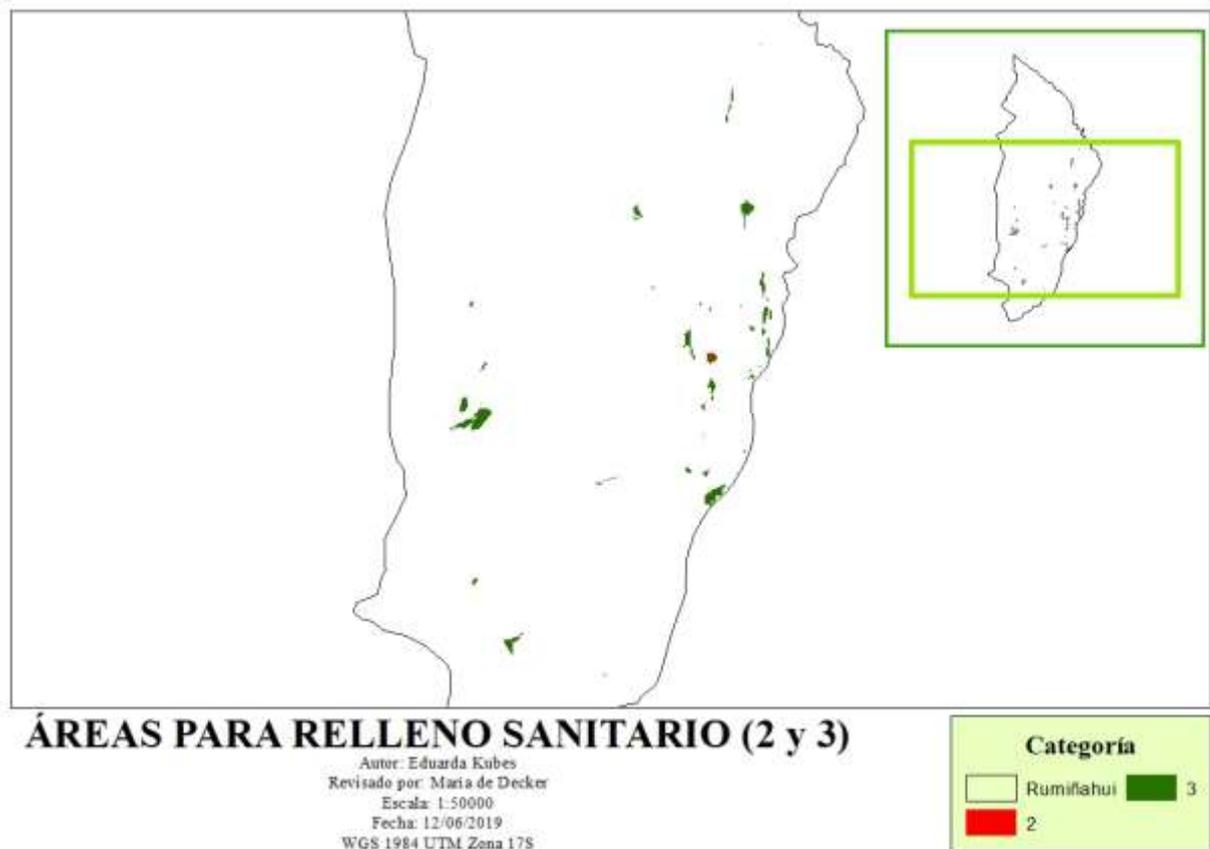


Grafico 14. Áreas resultantes para emplazamiento con valores 2 y 3.

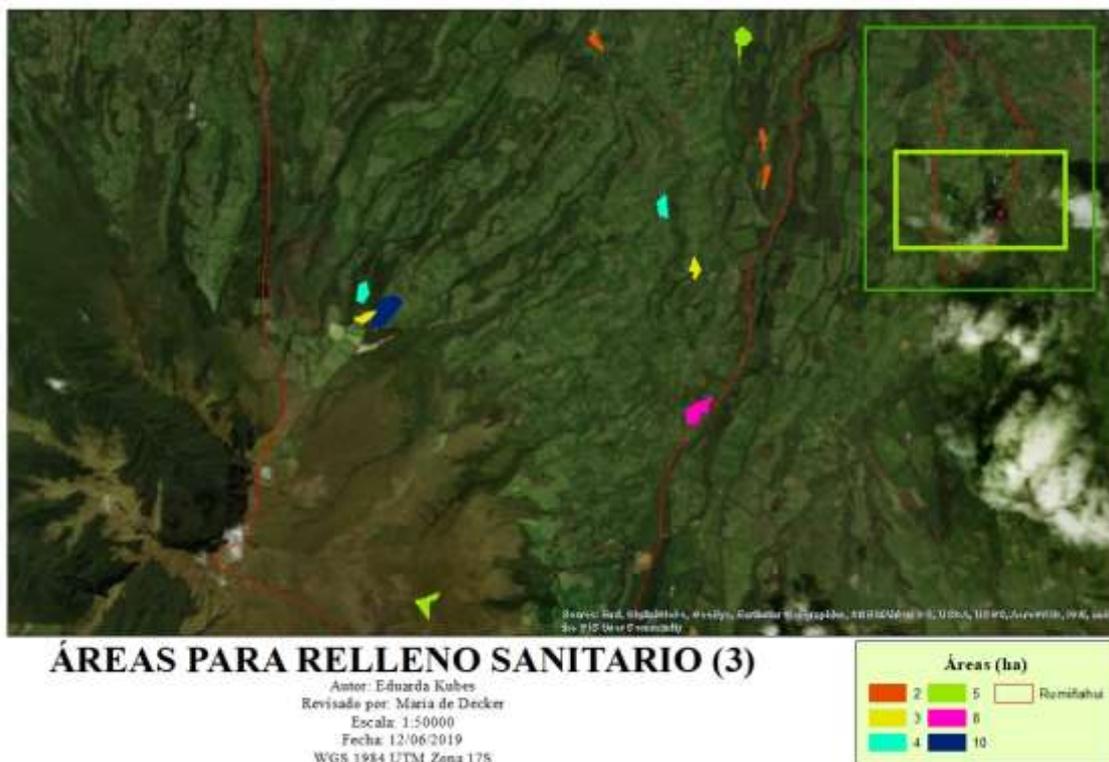


Grafico 15. Áreas para emplazamiento de relleno sanitario iguales o mayores a 2 ha.



Grafico 16. Área para emplazamiento de relleno sanitario

El área seleccionada como muy buena opción se encuentra a aproximadamente 10 kilómetros de distancia, similar a la distancia del actual sitio de disposición final

ubicado en el sector del Inga, a aproximadamente 12 kilómetros de distancia. El posible sitio para el relleno sanitario de Rumiñahui estaría más cerca del actual relleno sanitario lo que disminuye costos de transportación de residuos. La permeabilidad del suelo no es un problema grave ya que se utilizaría mecanismos de impermeabilización como lo explica (Rondón Toro et al., 2016) citado también por el proyecto para la ubicación de un relleno sanitario en la provincia de Azuay (Merat, 2015) y lo que indica el Libro VI Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003). El porcentaje que ocupa el área idónea en relación al territorio evaluado resultó ser bajo lo cual es un factor común según varios estudios similares realizados en Ecuador y en otros países. (Merat, 2015) obtuvo un porcentaje de área idónea de 0.1% para la provincia de Azuay, (Subhrajyoti, 2012) señala que es común que el crecimiento de zona urbana y la influencia de otros factores ambientales reducen al máximo la cantidad de territorio adecuado para la ubicación de un relleno sanitario obteniendo en su estudio un área idónea que ocupa el 3,05% del territorio evaluado, así también los estudios de (R. M. Faisal & Ahmed, 2018; Güler & Yomralioğlu, 2017). En el territorio de Rumiñahui se obtuvieron porcentajes bajos para el territorio considerado como mejor opción, pero no se obtuvieron áreas con la mejor opción posible debido a la cantidad de criterios que deben ser analizados y al tamaño de todo el territorio en relación a los demás estudios, lo que reduce las posibilidades para la mejor opción posible en Rumiñahui. Al realizar el cálculo del área requerida para el relleno sanitario se consideró una vida útil de 15 años obteniendo como resultado alrededor de 28 hectáreas necesarias para el relleno sanitario, la misma que no coincidió con las áreas posibles resultantes del análisis multicriterio, por lo tanto se realizó el cálculo para 10 años cumpliendo con la normativa técnica del Libro VI Anexo 6 del TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2003) utilizada actualmente por PNGIDS empresa encargada de los procesos de gestión integral de los desechos sólidos en los municipios del Ecuador (Ministerio del Ambiente, 2010), a diferencia de la legislación en otros países que permiten una vida útil menor a 10 años como el caso de (R. M. Faisal & Ahmed, 2018) que obtiene un área con una vida útil de 8 años. Las 10 hectáreas coincidieron con el área requerida para el relleno sanitario de Rumiñahui para una vida útil de 10 años, sin embargo, en el caso de que se quiera considerar una vida útil de 15 años, Rumiñahui, según el análisis multicriterio, no cuenta con el área necesaria para un relleno sanitario. En el caso de que durante los 10 años existan cambios en la población y/o en la generación de residuos sólidos para

disponerlos en el relleno sanitario, es posible aumentar la vida útil del mismo. Factores que podrían aumentar la vida útil son por ejemplo usar maquinaria que compacte la cantidad de residuos sólidos que se disponen en el relleno lo máximo posible a 1,01 Ton/m³ lo que reduciría en un 50% el área necesaria para el relleno de Rumiñahui o también que se motive el reciclaje disminuyendo la cantidad de residuos sólidos, como lo que se realiza en relleno sanitario del Inga optimizando también la vida útil del relleno (Sempértegui et al., 2018).

5. CAPITULO V

5.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1. CONCLUSIONES

- Se cumple la hipótesis del proyecto, ya que se encontró un área potencial de 10 hectáreas la cual es apta con el cálculo del área total requerida según la generación de residuos para 10 años y producción per cápita, sin embargo, cualquiera de las dos puede variar en base a cómo evolucione la tasa de crecimiento poblacional y a la producción per cápita.
- Se identificaron áreas potenciales con las ponderaciones 2 y 3 indicando una excelente opción y una muy buena opción respectivamente para el emplazamiento de un relleno sanitario para Rumiñahui representando el 5,38% del territorio del cantón Rumiñahui en la provincia de Pichincha.
- Se establecieron los criterios para el análisis multicriterio: distancia a vías, zona urbana, fuentes hídricas, permeabilidad de suelos, uso de suelos, precipitación, susceptibilidad de inundaciones, elevaciones y restricciones a PANE, bosques protectores y zona urbana; colocándoles valores de ponderación del 1 al 9 que representaron la mejor opción posible y la peor opción posible respectivamente.
- El área requerida se calculó en base a los desechos generados en 10 años desde el 2020 al 2029, resultando 9,73 hectáreas.
- Se utilizó la herramienta *Weighted Overlay* y se obtuvo como resultado un mapa raster con las potenciales áreas ponderadas del 1 al 9 y se seleccionó únicamente las áreas con ponderaciones bajas representando buenas opciones para el emplazamiento de un relleno sanitario que sumaron 18 hectáreas en total descartando las áreas pequeñas menores a 8 hectáreas.
- Se seleccionó el área resultante del análisis multicriterio de 10 hectáreas ya que fue la mejor opción posible en base a los criterios climatológicos, geográficos y geofísicos, además que se relacionó con el cálculo del área requerida para el relleno sanitario.
- En conclusión, la herramienta de SIG y ésta metodología no fue ni costosa ni demandó tanto tiempo en comparación a las largas y costosas consultorías para encontrar un sitio adecuado para un relleno sanitario espacialmente.

5.1.2. RECOMENDACIONES

- Los resultados del uso de SIG en el análisis multicriterio para hallar potenciales áreas para el emplazamiento de un relleno sanitario no suplantando o reemplazan el trabajo en campo, reducen el tiempo del proceso de búsqueda, pero se recomienda realizar estudios más específicos en campo antes de empezar con el diseño general del relleno sanitario para evitar posibles impactos ambientales, evaluando en el terreno factores más detallados como la topografía del terreno para evitar complicaciones en la ingeniería de construcción y además verificar detalladamente la viabilidad del mismo en base a factores económicos y sociales.
- Se recomienda al GAD municipal de Rumiñahui que se realicen las investigaciones necesarias en campo, una vez seleccionada esta área para asegurarse en base a una evaluación de impacto ambiental si la misma es adecuada para empezar a funcionar como un relleno sanitario para los próximos 10 años a partir del 2020.
- Un estudio más específico en el terreno para localizar exactamente la distancia a la que se encuentra el manto freático, es recomendable, ya que se podría aumentar la profundidad del relleno sanitario aumentando de igual manera su vida útil.
- Es posible variar las ponderaciones de los criterios por cada capa y los diferentes pesos dentro de la herramienta *Weighted Overlay* en el programa SIG dependiendo del criterio del ingeniero cumpliendo la normativa técnica, lo que varía de cierto modo la ubicación para emplazar un relleno sanitario.

6. CAPÍTULO VI

6.1. BIBLIOGRAFIA

- Akoteyon, I. S., Mbata, U. A., & Olalude, G. A. (2011). INVESTIGATION OF HEAVY METAL CONTAMINATION IN GROUNDWATER AROUND LANDFILL SITE IN A TYPICAL SUB-URBAN SETTLEMENT IN ALIMOSHO, LAGOS-NIGERIA. . *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 6, p155-163.
- Al-Hanbali, A., Alsaaidh, 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. *Journal of geographic information system*, 3(04), 267.
- Antao, M. (2015). *The Use Of Analytical Hierarchy Process In Spatial Decision Support System For Land Use Management*. (Master of Science in Geospatial Technologies), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. Retrieved from http://www.rampao.org/IMG/pdf/master_geospatial_technology.pdf
- Argüello, J. (2018). *Boletín Técnico, GAD Municipales. Gestión de Residuos Sólidos* (INEC Ed.).
- Arkoc, O. (2014). Municipal solid waste landfill site selection using geographical information systems: a case study from Çorlu, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(11), 4975-4985. doi:10.1007/s12517-013-1107-y
- Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Montecristi: Registro Oficial No. 449.
- 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 Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Registro Oficial No. 507.
- Benítez, J. (2012). *Estudio de Factibilidad Técnica de Ubicación de un Relleno Sanitario Regional para los Cantones de Santo Domingo de los Tsáchilas, El Carmen y La Concordia*. (Ingeniero en Ciencias Geográficas y Desarrollo Sustentable con

- Mención en Ordenamiento Territorial), Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. Retrieved from <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/7090/6.H07.001289.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Cando, C. (2016). Estadísticas de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*.
- Cantanhede, A., Monge, G., Alvarado, L. S., & Chumpitaz, C. C. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, 1(1).
- Church, R. (2002). Geographical information systems and location science. *Computers Operations Research*
- CLIMATE-DATA.ORG. (20 de 04 de 2019). Obtenido de Clima Rumiñahui: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-el-oro/ruminahui-719670/>
- 29(6), 541-562.
- Cobos, S., Solano, J., Vera, A., & Monge, J. (2017). Análisis multicriterio basado en SIG para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay. *Con Fib SIG*.
- Demesouka, O. E., Vavatsikos, A. P., & Anagnostopoulos, K. P. (2013). Suitability analysis for siting MSW landfills and its multicriteria spatial decision support system: Method, implementation and case study. *Waste Management*, 33(5), 1190-1206. doi:10.1016/j.wasman.2013.01.030
- 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 and Research*, 32(4), 270-296. doi:10.1177/0734242X14526632
- Djokanović, S., Abolmasov, B., & Jevremović, D. (2016). GIS application for landfill site selection: a case study in Pančevo, Serbia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 75(3), 1273-1299. doi:10.1007/s10064-016-0888-0

- Espinoza, P. T., Arce, E. M., Daza, D., Faure, M. S., & Terraza, H. (2010). Informe de la evaluación regional del manejo de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe 2010.
- ESRI. (2019). How Weighted Overlay works.
- Faisal, R., & MFA-D, A. (2018). GIS and AHP based modeling for landfill site selection (case study: west side of Mosul city). *Przeгляд Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 27(4 [82]).
- Faisal, R. M., & Ahmed, M. F. A. D. (2018). GIS and AHP based modeling for landfill site selection (case study: West side of Mosul city). *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences*, 27(4), 425-437. doi:10.22630/PNIKS.2018.27.4.41
- Fernandez, V. N., & Silva, A. d. (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.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Rumiñahui. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial Cantón Rumiñahui*. Quito.
- Gómez, M., & Barredo, J. (2005). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio* (Ra-Ma Ed. 2 ed.). Madrid, España.: Ra-Ma.
- Güler, D., & Yomralıoğlu, T. (2017). Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, 76(20). doi:10.1007/s12665-017-7039-1
- INEC. (2018). Según la última estadística de información ambiental. Retrieved from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/segun-la-ultima-estadistica-de-informacion-ambiental-cada-ecuatoriano-produce-058-kilogramos-de-residuos-solidos-al-dia/>
- INEC. (20 de Abril de 2019). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Jaramillo, J. (1991). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales* (F. Zepeda Ed.). Washington, D.C.: CEPIS.
- Juárez, M. V. S., Mendoza, M. G. G., Lima, S. D. C., Castañeda, G. S., Servin, C. C., Pickenhayn, J. A., & Rivera, I. C. (2014). Geografía de la Salud sin fronteras, desde Iberoamérica.

- Kabite, G., Suryabagavan, K., Argaw, M., Sulaiman, H. J. I. j. o. E., & sciences, e. (2012). GIS-Based Solid Waste Landfill Site Selection in Addis Ababa, Ethiopia. *38(2-3)*, 59-72.
- Kumar, S. (s.f.). *Municipal Solid Waste Management in Developing Countries*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Layedra, H. (2015). *Términos de referencia para contratar la prestación de maquinaria, mano de obra y otros para la perforación de pozos profundos para la captación y explotación de agua subterránea para abastecimiento de agua potable del cantón Rumiñahui. Provincia de Pichincha*. Retrieved from Rumiñahui, Pichincha.:
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, *62(1)*, 3-65.
- Merat, C. (2015). Desarrollo de un manual de construcción de un relleno sanitario piloto de residuos sólidos urbanos con sistemas naturales de alta velocidad.
- Ministerio del Ambiente. (2010). *INFORME DE GESTIÓN MAE-PNGIDS 2010-2013; Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos*. Quito: MAE.
- Ministerio del Ambiente. (2003). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador (TULSMA)*. Quito: Registro Oficial No. 2.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria*. Quito: Registro Oficial No. 316.
- Mohammed, H. I., Majid, Z., Yusof, N. B., & Yamusa, Y. B. (2019). A review of gis-based and multi-criteria evaluation method for sustainable landfill site selection model. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 9, pp. 741-751).
- Rondón Toro, E., Szanto Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios* (CEPAL Ed.). Chile.
- Santos Preciado, J. M. (2008). Los sistemas de información geográfica vectoriales: al funcionamiento de ArcGis. *UNED*.
- Sempértegui, J., Sosa, A., Bonifaz, J., & Suarez, J. C. (2018). *Informe de Gestión 2018*. Retrieved from Quito: <http://emgirs.gob.ec/phocadownload/informe-rendicion-cuentas/2018/rendicion-de-cuentas-2018.pdf>
- Serría, F. A. (2017). Sistemas de Información Geográfica. *Cartografía y Geodesia*, 239.

- Subhrajyoti, C. (2012). GIS and Remote Sensing For Landfill Site Selection-A Case Study on Dharmanagar Nagar Panchayet.
- Subsecretaría de Calidad Ambiental. (2015). *Terminos de referencia para estudios de impacto ambiental de proyectos gestión integral de residuos sólidos no peligrosos y desechos sanitarios*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos* (Vol. 1). Mexico.
- 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. *Environmental Earth Sciences*, 75(2), 1-16. doi:10.1007/s12665-015-4948-8
- Zapata Muñoz, A., & Zapata Sanchez, C. (2013). Un método de gestión ambiental para evaluar rellenos sanitarios. *Gestión y Ambiente*.
- Zeeshan, S., Shahid, Z., Khan, S., & Shaikh, F. A. (2018). *Solid Waste Management in Korangi District of Karachi using GPS and GIS: A Case study*.

7. CAPÍTULO VII

7.1. ANEXOS

7.1.1. Anexo 1.

Tabla 9: Disposición final de los desechos sólidos en Pichincha

DATOS GENERALES		TIPO DE DISPOSICIÓN FINAL	
PROVINCIA	GAD MUNICIPAL	COMO OPERA ACTUALMENTE 2019	DISPONE EN O RECIBE DE?
PICHINCHA	QUITO	RELLENO COMPARTIDO CABECERA	RECIBE DE RUMIÑAHUI
PICHINCHA	CAYAMBE	BOTADERO	
PICHINCHA	MEJÍA	RELLENO SANITARIO	
PICHINCHA	RUMIÑAHUI	RELLENO COMPARTIDO	DISPONE EN QUITO
PICHINCHA	PEDRO MONCAYO	RELLENO SANITARIO	
PICHINCHA	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	BOTADERO	
PICHINCHA	PUERTO QUITO	RELLENO SANITARIO	
PICHINCHA	PEDRO VICENTE MALDONADO	CELDA EMERGENTE	

Fuente: PNGIDS-MAE, editado por autor.