



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL
RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO
2024”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingenieros Ambientales

Autores:

Mendaño Ullco Mario Danilo
Socasi Andrango Dayana Liseth

Tutor:

Velastegui Tapia Vincent Benjamín

LATACUNGA – ECUADOR
Agosto 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Mendaño Ullco Mario Danilo, con cédula de ciudadanía No. 1751587211 y Socasi Andrango Dayana Liseth, con cédula de ciudadanía No. 1753549441, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO 2024”**, siendo el Ingeniero Mg. Vincent Benjamín Velastegui Tapia, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 15 de agosto del 2024



Mario Danilo Mendaño Ullco
C.C: 1751587211
ESTUDIANTE



Dayana Liseth Socasi Andrango
C.C: 1753549441
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **MENDAÑO ULLCO MARIO DANILO**, identificado con cédula de ciudadanía **1751587211** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO 2024”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia Mg.

Tema: **“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO 2024”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 15 días del mes de agosto del 2024.


Mario Danilo Mendaño Ullco
EL CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **SOCASI ANDRANGO DAYANA LISETH**, identificada con cédula de ciudadanía **1753549441** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO 2024”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia Mg.

Tema: **“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO 2024”**

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que LA CESIONARIA no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido LA CEDENTE declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de LA CESIONARIA el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo LA CEDENTE podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de LA CEDENTE en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 15 días del mes de agosto del 2024.



Dayana Liseth Socasi Andrango

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO 2024”, de Mendaño Ullco Mario Danilo y Socasi Andrango Dayana Liseth, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 15 de agosto del 2024



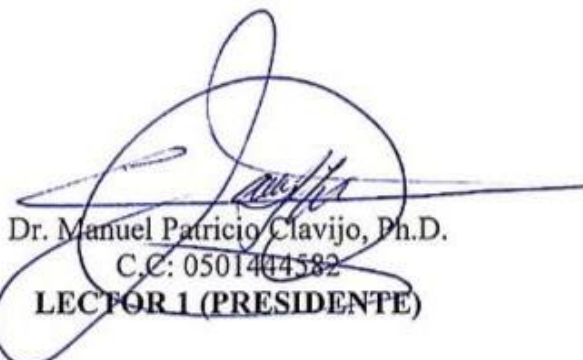
Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia, Mg.
C.C: 0502547649
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Mendaño Ulloa Mario Danilo y Socasi Andrango Dayana Liseth, con el título de Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO 2024”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 15 de agosto del 2024



Dr. Manuel Patricio Clavijo, Ph.D.
C.C: 0501404582
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Dr. José Antonio Andrade, Ph.D.
C.C: 0502524481
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. José Luis Agreda Mg.
C.C: 040133210
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Ante todo, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios por haberme guiado y otorgado la fortaleza necesaria para superar cada uno de mis desafíos que se presentó a lo largo de este camino académico, su presencia constante me brindó la fuerza, el coraje y la sabiduría para mantenerme firme en mis objetivos, lo que me permitió finalmente concluir este proyecto.

Con profunda gratitud y amor, agradezco este logro a mis padres por su inquebrantable apoyo, sacrificio, su amor incondicional y el apoyo constante han sido la base de todo lo que he logrado. Cada éxito que alcanzo también será suyo, ya que su constante ejemplo han sido mi mayor fuente de inspiración.

A la universidad Técnica de Cotopaxi, por ofrecer una formación de alta calidad y proporcionarme las herramientas necesarias para mi desarrollo profesional.

A mi tutor de tesis el Ing. Benjamín Velastegui Tapia, quiero agradecer profundamente por su invaluable apoyo, su experiencia y paciencia han sido fundamental para superar los desafíos y avanzar en el proceso de investigación.

Mario Danilo Mendaño Ullco

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por guiar mis pasos y brindarme a fortaleza necesaria para completar mi carrera. Agradezco profundamente a mi familia, en especial a mis padres Alfredo Socasi y Martha Andrango, a mis hermanos Wladimir y Erika Socasi y a mis amigos en general por todo su apoyo incondicional a lo largo de esta travesía. Su constante presencia y sus valiosos consejos han sido el pilar que me ha sostenido, formando de mí una persona de principios y valores.

A mi querida Alma Mater, la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme sus puertas y ofrecerme una educación de calidad. Estoy convencida de que con todas sus enseñanzas impartidas podre desenvolverme en mi vida profesional favorablemente.

Como no agradecer también a mi tutor, al Ing. Vincent Benjamín Velastegui que con todo su conocimiento ha hecho posible la culminación de mi proyecto de tesis.

Dayana Liseth Socasi Andrango

DEDICATORIA

Este Proyecto de titulación está dedicado a las personas más importantes de mi vida y a quienes amo y admiro.

A mis padres Juan Mendaño y María Ullco, quienes con su amor y apoyo incondicional han sido mi constante fuente de fuerza en los momentos más difíciles, gracias por enseñarme el verdadero valor de la vida y por inculcarme los principios que han orientado mi camino, ustedes han sido el pilar de cada uno de mis logros, agradezco también por enseñarme a luchar contra las adversidades y no dar nunca por vencido, los amo profundamente.

A mis hermanos Diego, Nelson y Jessica Mendaño, quienes a pesar de vivir en diferentes países siempre han sido mi apoyo constante, gracias por su paciencia, sus palabras de aliento y su inquebrantable confianza en mí, Gracias a toda mi familia por su valioso apoyo, que ha sido crucial para alcanzar esta importante meta en mi vida profesional.

Mario Danilo Mendaño Ullco

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de titulación con todo mi corazón a toda mi familia, pero en especial a mi madre Martha Andrango por todo el sacrificio que ha hecho por mí para que pueda terminar mis estudios de manera favorable, por haber sido mi ejemplo de fortaleza y perseverancia en momentos difíciles y por haber estado para mí siempre que lo necesitaba.

A mis sobrinos que han sido mi mayor fuente de inspiración en cada paso de esta travesía académica. Verlos crecer y aprender me ha inspirado a nunca rendirme y a siempre buscar lo mejor.

Por último, a mis mascotas “Roxana” y “Cooper” quienes han estado conmigo en cada noche de desvelo, su compañía silenciosa y su ternura han sido mi refugio y mi aliento constante. Esta tesis también es un tributo a su amor incondicional y a la calidez que han aportado a mis días.

Dayana Liseth Socasi Andrango

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: “ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA LOCALIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA PICHINCHA, AÑO 2024”

AUTORES: Mario Danilo Mendaño Ullco

Dayana Liseth Socasi Andrango

RESUMEN

En la presente investigación se realizó el análisis espacial multicriterio para la localización de sitios adecuados para la implementación del relleno sanitario para el cantón Mejía. Sus objetivos fueron Identificar áreas donde exista factibilidad para el diseño y construcción de un relleno sanitario, el área requerida tomando en cuenta la población per cápita y capacidad máxima para la acogida de residuos sólidos y escoger el sitio idóneo para la construcción del mismo. Se estableció un enfoque cualitativo acompañado del método de análisis multicriterio mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) para determinar sitios óptimos para su construcción. Se tomaron en cuenta los criterios establecidos en el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA para el manejo de residuos sólidos no peligrosos donde se mencionan los parámetros requeridos para su disposición final. Los shapefiles se obtuvieron de Geoportales públicos y fueron procesados mediante ArcGIS 10.8 utilizando herramientas como; *Múltiple Ring Buffer*, *Intersec (Geoprocessing)*, *Polygon to Raster*, *Reclassify* y *Weighted Overlay*. Como resultado se obtuvieron 5 sitios que cuentan con las características adecuadas para su construcción basados en la proyección de la población futura a 15 años que es de 148.207 hab, siendo este importante para calcular el número de hectáreas necesarias para la construcción del relleno sanitario, dando como resultado un total de 15 ha., las requeridas. El Sitio N°1 se encuentra ubicado en la parroquia de Aloasí, sector Aychapicho y el sitio N°2 está ubicado en la parroquia de Machachi, sector Puichig, estos sitios fueron considerados esencialmente por que cuentan con un área mayor a 15 hectáreas lo cual es fundamental para la viabilidad del proyecto, excluyéndose a los otros tres sitios ya que cuentan con un área de 8 hectáreas siendo estos insuficientes para los requerimientos del mismo. Se concluye que el sistema de información geográfica no solo optimiza la selección del sitio al integrar diversas variables en un solo análisis, sino que también contribuye a una planificación más eficiente y sostenible para la gestión de residuos en el cantón.

Palabras claves: Disposición final, Gestión de residuos sólidos, Geoportal, Shapefile, Sistemas de información Geográfica, Sostenibilidad.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES FACULTY

TOPIC: "MULTICRITERIA SPATIAL ANALYSIS FOR THE SANITARY LANDFILL LOCALIZATION IN THE MEJÍA CANTON, PICHINCHA PROVINCE, 2024 YEAR".

Authors:

Mendaño Ullco Mario Danilo

Socasi Andrango Dayana Liseth

ABSTRACT

In the current research, it was made a multi-criteria spatial analysis to locate suitable sites for the implementation a sanitary landfill for the Mejía canton. Its aims were to identify areas, where there are feasible the design and construction a sanitary landfill, the required area taking into account the per capita population and maximum capacity for the solid waste reception, and for selecting the ideal site for the same construction. It was established an accompanied qualitative approach by the multi-criteria analysis method using Geographic Information Systems (GIS) to determine optimal sites for construction. It was taken into account the established criteria in VI Book, 6 Annex from TULSMA for the non-hazardous solid waste management, where are mentioned the parameters required for its final disposal. The shapefiles were got from public Geoportals and were processed by means ArcGIS 10.8 by using tools such as: Multiple Ring Buffer, Intersec (Geoprocessing), Plygon to Raster, Reclassify and Weighted Overlay. As a result, it was got five optimal sites, three from sites have with an 8 hectares area and the two remaining with a greater area than 15 ha, the got result in the made calculations for the projection from the future population to 15 years, it was 148,207 inhabitants, which was taken into consideration to calculate the hectares number for the sanitary landfill, giving in a total 15 hectares, after a more detailed analysis was identified two optimal sites, what meet the necessary conditions for a sanitary landfill implementation, site No. 1 is located in the Aloasí parish, Aychapicho sector, and site No. 2 is located in the Machachi parish, Puichig sector. These sites were considered essentially, because they have with a great area than 15 hectares, which is essential for the project viability, for this reason, what was excluded the other three sites, since they have an 8 hectares area, what made them unsuitable for establishing an efficient and sustainable waste management solution. It can be concluded, what the geographic information system does not only optimizes site selection by integrating diverse variables into a single analysis, but also contributes to more efficient and sustainable planning for waste management in the canton.

Keywords: Final disposal, solid waste management, geoportal, sustainability, geographic information systems, shapefile.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	v
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	viii
<i>AGRADECIMIENTO</i>	ix
<i>AGRADECIMIENTO</i>	x
<i>DEDICATORIA</i>	xi
<i>DEDICATORIA</i>	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
ÍNDICE DE CONTENIDO	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xix
ÍNDICE DE FIGURAS	xx
1 INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2 JUSTIFICACIÓN DE PROYECTO	3
3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	4
4 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
5 OBJETIVOS.....	5
5.1 Objetivo General.....	5
5.2 Objetivos Específicos	5
6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA	7
7.1 Fundamentación teórica.....	7
7.1.1 Gestión de residuos sólidos	7

7.1.2	Manejo de residuos sólidos	7
7.1.3	Residuos sólidos	7
7.1.4	Lixiviados	7
7.1.5	Disposición final.....	7
7.1.6	Botadero	8
7.1.7	Relleno sanitario	8
7.1.8	Tipos de relleno sanitario	8
7.1.9	Ubicación para el relleno sanitario	9
7.1.10	Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	10
7.1.11	Análisis espacial multicriterio	11
8	Marco legal.....	12
8.1	Constitución del Ecuador.....	12
8.2	Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía Descentralización	13
8.3	Reglamento al Código Orgánico del Ambiente	13
8.4	Ordenanza para la gestión integral de residuos sólidos en el cantón Mejía.....	14
8.5	Libro VI, Anexo 6 del TULSMA	16
	Capítulo VI	17
	Gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, y desechos peligrosos y/o especiales...	17
9	PREGUNTA CIENTÍFICA	17
10	METODOLOGÍA.....	19
10.1	Tipo de investigación.....	19
10.2	Métodos de investigación	19
10.2.1	Exploratorio	19
10.2.2	Descriptivo	19
10.2.3	Aplicado	19
10.3	Técnicas de investigación.	20

10.3.1	Sistema para calcular el área requerida para la localización del relleno sanitario	21
10.3.2	Sistema para identificar áreas potenciales para la localización del relleno sanitario	24
10.4	Instrumentos.....	29
10.4.1	Herramienta de sistema de información geográfico ArcGIS 10.8.....	29
10.4.2	Imagen DEM (Modelo digital de elevación).....	29
10.4.3	Cuestionario.....	30
11	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	30
11.1	Localización del área de estudio	30
11.2	Área requerida para la localización del relleno sanitario.....	32
11.2.1	Proyección de la población.....	32
11.2.2	Cantidad de residuos generados	33
11.2.3	Volumen total de residuos sólidos.....	34
11.2.4	Volumen del relleno sanitario.....	35
11.2.5	Cálculo del área requerida	35
11.2.6	Área total requerida	36
11.3	Análisis multicriterio	39
11.3.1	Definición y estandarización de criterios	39
11.3.2	Análisis de las capas temáticas	41
11.3.3	Ponderación de los criterios utilizando el método del proceso analítico jerárquico (AHP)	54
11.3.4	Mapa de sitios óptimos (idoneidad)	58
11.4	Encuestas a la población	59
11.5	Identificación de sitios potenciales óptimos para el relleno sanitario	69
12	IMPACTOS	78
12.1	Ambientales	78

12.2	Sociales	79
12.3	Económicos.....	79
13	CONCLUSIONES.....	80
14	RECOMENDACIONES	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto el proyecto de investigación	4
Tabla 2. Actividades y tareas.....	6
Tabla 3. Definición de criterios de Selección para la localización de un relleno sanitario	24
Tabla 4. Valores de estandarización de criterios	26
Tabla 5. Escala fundamental de comparaciones por pares	26
Tabla 6. Escala de comparaciones de criterios por partes	27
Tabla 7. Proyección de la población del cantón Mejía para el año 2024 – 2039	32
Tabla 8. Generación de residuos sólidos por año del 2024-2039	33
Tabla 9. Resumen del cálculo del área requería del relleno sanitario	38
Tabla 10. Criterios para determinar la localización del área para el relleno sanitario.....	39
Tabla 11. Categoría de permeabilidad	48
Tabla 12. Leyendas temáticas para el análisis de uso de tierra	51
Tabla 13. Matriz de comparación por pares	54
Tabla 14. Resultado de la matriz normalizada y ponderación de los criterios	55
Tabla 15. Ocupación territorial de acuerdo con el valor de idoneidad.....	59
Tabla 16. Coordenadas de los sitios óptimos para el relleno sanitario en UTM	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio	31
Figura 2. Capa de distancia a vías	41
Figura 3. Capa de distancia a los asentamientos	43
Figura 4. Distancia a recursos hídricos.....	44
Figura 5. Capa de pendiente	46
Figura 6. Capa de permeabilidad.....	47
Figura 7. Capa de susceptibles de inundación.....	49
Figura 8. Capa de uso de suelo	50
Figura 9. Capa de precipitación.....	52
Figura 10. Capa de áreas protegidas.....	53
Figura 11. Mapa final de idoneidad para el relleno sanitario en el cantón Mejía	58
Figura 12. Porcentaje de la población que conoce que es un relleno sanitario y cuál es su función.....	60
Figura 13. Porcentaje de la población que considera importante la implementación de otro relleno sanitario en el cantón Mejía.....	61
Figura 14. Porcentaje de la población que conoce el destino final de los residuos sólidos generados en el cantón Mejía	62
Figura 15. Porcentaje de la población que conoce la cantidad de residuos sólidos que se genera día a día en el cantón Mejía	63
Figura 16. Porcentaje de la población que está de acuerdo en la implementación de otro relleno sanitario	64
Figura 17. Porcentaje de la población que conoce sobre la implementación de un nuevo relleno sanitario	65
Figura 18. Opinión de la población sobre qué entidad genera más residuos sólidos	66
Figura 19. Población que considera que la contaminación por la contaminación por desechos sólidos afecta a la salud de las personas y al medio ambiente	67
Figura 20. Población que se encuentra preocupada por la gestión de residuos en su comunidad	68
Figura 21. Población que considera que la ubicación de un relleno sanitario afecta a la calidad de vida de los residentes cercanos.....	69
Figura 22. Sitios alternativos con idoneidad de 3 puntos para instalar el relleno sanitario en el cantón Mejía	70

Figura 23. Sitio N°1 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía	72
Figura 24. Sitio N°2 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía	73
Figura 25. Sitio N°3 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía	74
Figura 26. Sitio N°4 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía	75
Figura 27. Sitio N°5 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía	76
Figura 28. Sitios recomendados para el relleno sanitario en el cantón Mejía	77

Título del proyecto

Análisis espacial multicriterio para la localización del relleno sanitario en el cantón Mejía, Provincia de Pichincha, año 2024.

1 INFORMACIÓN GENERAL**Título del Proyecto:**

Análisis espacial multicriterio para la localización del relleno sanitario en el cantón Mejía, Provincia de Pichincha, año 2024

Fecha de inicio: Abril del 2024

Fecha de finalización: Agosto del 2024

Lugar de ejecución

Provincia de Pichincha, Cantón Mejía, Parroquia de Machachi

Zona: 3

Institución:

Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia:

Carrera de Ingeniería Ambiental

Equipo de trabajo

- **Tutor de Titulación:** Ing. Mg. Velastegui Tapia Vicent Benjamín
- **Investigador 1:** Mendaño Ullco Mario Danilo
- **Investigador 2:** Socasi Andrango Dayana Liseth
- **Lector 1:** Ing. Patricio Clavijo, Mg
- **Lector 2:** Ing. José Andrade, Mg
- **Lector 3:** Ing., José Luis Agreda, Mg

Área de conocimiento:

Ciencias Naturales, Ciencias Ambientales, Medio ambiente

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiente energética y protección ambiental.

Sub línea de investigación:

Sostenibilidad ambiental.

Línea de la vinculación de la carrera:

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

2 JUSTIFICACIÓN DE PROYECTO

En los últimos años, el incremento acelerado de la colectividad mundial ha dado lugar a una serie de problemas ecológicos. Uno de los desafíos más relevante es el incremento significativo de la porción de residuos sólidos que al ser depositados en un relleno sanitario generan lixiviados, un contaminante líquido formado por la disgregación de las sustancias orgánicas e intensificado por factores como las precipitaciones, la escorrentía de agua, la humedad de la suciedad y la disgregación de los residuos (MAE; TULSMA, 2015). En 2005, debido a la falta de fondos para la edificación de un relleno sanitario, la comunidad de Romerillos se enfrentaba a graves problemas con un vertedero que se encontraba al aire libre, generando peligros para la vitalidad y el entorno (Llamatumbi, 2019).

La gestión integral de los residuos sólidos es una responsabilidad de las autoridades locales en la mayoría de los países, incluido Ecuador. En este caso, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía (GADMCM), es responsable de la gestión integral de los residuos producidos en su territorio a través de la formulación de planes de gestión integral de residuos (centeno, 2020). Además, en el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Aescentralización (COOTAD), en el artículo 55 se menciona claramente que los gobiernos autónomos descentralizados municipales tienen la responsabilidad directa de gestionar los residuos sólidos dentro de su competencia.

“Art. 55.- Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal. - Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley; d) Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ecológica y aquellos que establezca la ley;”

En este contexto y considerando que la población del cantón Mejía, según datos estadísticos del último censo que desarrolló el INEC, (2022), es de aproximadamente 101. 894 habitantes, quienes producen alrededor de 70 Tn/día de residuos, se planteó realizar una indagación mediante Sistemas de Información Geográfico (SIG) para disponer los lugares óptimos para la construcción de un nuevo relleno sanitario, lo cual es fundamental para garantizar una adecuada gestión de los residuos y minimizar su impacto negativo en el entorno. El análisis espacial multicriterio permite resolver este problema de manera integral y eficiente, tomando en cuenta diversos principios como geología, hidrología, ecología y proximidad a zonas residenciales, entre otros factores, para la ubicación de un relleno sanitario en el cantón Mejía.

3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los primordiales beneficiarios de este proyecto incluyen tanto el cantón Mejía como la Provincia de Pichincha en su conjunto. Este proyecto está diseñado para proporcionar mejoras y ventajas que impactarán positivamente en la calidad de existencia y el progreso económico de estas zonas, favoreciendo así a sus residentes y contribuyendo al bienestar general de la región.

Tabla 1. Beneficiarios del proyecto el proyecto de investigación

BENEFICIARIOS	
Directos	Indirectos
Cantón Mejía: 101.864 habitantes	Provincia de Pichincha: 3.089.473 habitantes

Fuente: INEC, (2022).

4 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En Ecuador, la gestión integral de residuos sólidos es un problema que debe abordarse de diferentes maneras, el país ha venido desarrollando planes de manejo para los residuos sólidos. Según datos encontrados en diferentes fuentes bibliográficas, la producción de residuos sólidos aumenta entre un 2% y un 3% cada año debido al consumo diario en la sociedad. Considerando este problema y el hecho de que en unos años el tema del manejo idóneo de los residuos podía considerarse un tabú, nuestro país ha intentado solucionarlo, y una de las formas es a través del progreso del sistema nacional integrado de residuos sólidos (hidalgo, 2018).

En la provincia de pichincha solo un 28% de los residuos sólidos son depositados en un relleno sanitario, mientras que el 72% de los residuos restantes son depositados en botaderos a cielo abierto, esto se debe a que no todos los GADs municipales cuentan con un relleno sanitario en donde puedan depositar los residuos sólidos, además solo un 77% de las personas entregan sus residuos sólidos a los camiones de recolección y el 23% restante los arroja a terrenos baldíos, quebradas, acequias o canales, generando inconvenientes como el taponamiento de alcantarillas y cauces de agua lo cual puede provocar grandes deslaves o la aparición de insectos y roedores que causan problemas ecológicos y a la vitalidad de la colectividad (núñez, 2018).

En 2005 el sector de Romerillos perteneciente a la parroquia de Aloasí contaba con un botadero a cielo abierto el cual generaba problemas al entorno y al medio circundante, no obstante hasta el año 2007 en el que se comenzó a controlar ese dilema, para el año 2009 se obtuvo la licencia

para la activación del relleno sanitario que cuenta con una extensión a aproximadamente 2 ha en el sector de Romerillos, sin embargo, para el 2020 el relleno sanitario estaba llegando al final de su vida útil debido a varios factores como, la mala administración de residuos y el crecimiento constante de la colectividad en el Cantón Mejía, lo cual ha incrementado la porción de desechos sólidos generados (Llamatumbi, 2019). Además, la pandemia que afectó al país ha contribuido a esta situación, aumentando aún más la producción de residuos. Estos factores combinados han acelerado el desgaste y llenado del depósito, subrayando el requerimiento de considerar nuevos puntos estratégicos para la ubicación de un nuevo relleno sanitario para la administración de residuos sólidos a largo plazo.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

- Determinar zonas óptimas para la localización de un nuevo relleno sanitario mediante el análisis espacial multicriterio en el cantón Mejía, Provincia de Pichincha.

5.2 Objetivos Específicos

- Identificar áreas donde exista factibilidad para el diseño y construcción de un relleno sanitario mediante el uso de herramientas con Sistemas de Información Geográfico (SIG).
- Determinar el área requerida tomando en cuenta la población per cápita y capacidad máxima para la acogida de residuos sólidos que garantice la gestión adecuada a largo plazo.
- Escoger el sitio idóneo para la construcción de un relleno sanitario mediante las herramientas SIG, el cual cumpla con las mejores condiciones climáticas, geográficas y socioeconómicas.

6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Las actividades se realizaron en base al alcance del objetivo señalado, midiendo resultados como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. *Actividades y tareas*

OBJETIVO	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Identificar áreas donde exista factibilidad para el diseño y construcción de un relleno sanitario mediante el uso de herramientas con Sistemas de Información Geográfico (SIG)	Realización de mapas temáticos mediante el software ArcGIS 10.8 según los criterios establecidos por el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA	Software ArcGIS 10.8	Mapas temáticos de acuerdo a los criterios establecidos en el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA
Determinar el área requerida tomando en cuenta la población per cápita y capacidad máxima para la acogida de residuos sólidos que garantice la gestión adecuada a largo plazo	Encuestas a la población del cantón Mejía Cálculo de la población futura del cantón Mejía	Encuestas Formadas para calcular la población futura	Valor estimado de la población en el cantón Mejía dentro de 10 años
Escoger el sitio idóneo para la construcción de un relleno sanitario mediante las herramientas SIG, el cual cumpla con las mejores condiciones climáticas, geográficas y socioeconómico	Comparación de los mapas temáticos con los criterios establecidos por el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA	Software ArcGIS 10.8 TULSMA	Sitios óptimos para la construcción de un relleno sanitario los cuales tienen una idoneidad de 1 a 3.

Fuente: *Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).*

7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

7.1 Fundamentación teórica

7.1.1 Gestión de residuos sólidos

Según Higua, (2024), la administración de los residuos sólidos presenta una serie de desafíos no solo en el manejo de los impactos socioecológicos asociados, sino también en la disposición concluida y reciclaje de los residuos (pág. 64).

7.1.2 Manejo de residuos sólidos

Se trata de cualquier acción técnica relacionada con la gestión de residuos sólidos, que incluya la manipulación, el acondicionamiento, el transporte, la transferencia, el tratamiento, la disposición concluida o cualquier otro proceso técnico desde su generación hasta su disposición concluida (Miranda, 2022).

7.1.3 Residuos sólidos

Son sustancias sólidas y semisólidas creadas por actividades sociales humanas; además, son descartados por sus propietarios porque se consideran inútiles, no deseados o sin valor para el almacenamiento (Villavicencio, 2022).

7.1.4 Lixiviados

Líquido que resulta de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene disueltos en suspensión componentes o sustancias que se encuentren en los mismos residuos (Miranda, 2022).

7.1.5 Disposición final

De acuerdo con Méndez, (2021) menciona que la disposición final de residuos sólidos, donde se lleva a cabo el depósito permanente de los residuos sólidos en un lugar designado. Esta área debe cumplir con estándares técnicos establecidos en la norma vigente, así como contar con la infraestructura adecuada para garantizar un manejo invulnerable de desechos. Así mismo, es fundamental que los residuos sean organizados y aislados adecuadamente para prevenir la contaminación ecológica y los peligros en la vitalidad pública.

7.1.6 Botadero

Son lugares donde se depositan residuos sólidos sin ningún tipo de gestión adecuada, los residuos sólidos no son compactados ni cubiertos diariamente, lo cual provoca la generación de olores fuertes, líquidos contaminantes y gases que afectan la calidad del aire. (Cristhyan, 2022).

7.1.6.1 Celda emergente

De acuerdo con Barahona, (2022), considera que la celda emergente de un relleno sanitario es una sección específica destinada para recibir residuos en situaciones de emergencia o cuando las celdas ordinarias se encuentran en su máxima de su capacidad de residuos, además están diseñados para ser velozmente accesibles y operativos, permitiendo una propuesta oportuna o en situaciones inesperadas en la generación de desechos.

7.1.7 Relleno sanitario

El relleno sanitario es un sistema diseñado como última elección para eliminar los residuos sólidos en el suelo. Por tal razón, deben estar técnicamente diseñados para eludir la proliferación de olores ofensivos, el incremento de los vectores y la contaminación a los bienes naturales (Valdivieso, 2023).

7.1.7.1 Tiempo de vida útil

Para seleccionar el lugar idóneo para construir un relleno sanitario, es crucial considerar varios requisitos. Uno de los aspectos relevantes es asegurar que la vida útil del relleno sanitario sea al menos 10 años (MAE; TULSMA, 2015).

7.1.8 Tipos de relleno sanitario

7.1.8.1 Relleno sanitario mecanizado

Se utiliza para las inmensas ciudades que generan residuos más de 4,2 kilotoneladas al día, para la ejecución de relleno sanitario es necesario una maquinaria compactadora para el sustancial sólido, así como, una retroexcavadora, volqueta, tractor de oruga, entre otros, para la movilización de la tierra (Tixe & Ruiz, 2018).

7.1.8.2 Relleno sanitario semi-mecanizado

Los rellenos sanitarios semi-mecanizados pueden manejar hasta un máximo de 50 toneladas diarias de residuos sólidos. Las labores de distribución, compactación y cobertura se realizan

con maquinaria especializada, complementada con utensilios manuales para simplificar el confinamiento idóneo de los residuos (Ricaldi et al., 2021).

7.1.8.3 *Relleno sanitario manual*

Se trata de un sistema diseñado para pequeñas comunidades, ajustado según la porción y el tipo de residuos producidos. El término "manual" indica que la compactación y confinamiento de los residuos son realizados por un equipo de trabajadores utilizando herramientas adecuadas (Grandez, 2023).

7.1.9 Ubicación para el relleno sanitario

Para establecer la ubicación del relleno sanitario se debe considerar algunos principios como:

a) Criterio Ambiental

- Separación de recurso hídrico
- Separación a la zona segura
- Influencia en la flora y fauna (Amangandi & Rivera, 2022).

b) Criterio Técnico

- Medida de área
- Vida útil mínima
- Facilidad de acceso
- Pendiente de suelo
- Tipo de suelo
- Coeficiente de permeabilidad del suelo
- Uso y ocupación del suelo (Giménez & Carrera, 2012).

c) Criterio Social

- Separación de vivienda más cerca
- Separación de pozos de abastecimientos de agua

- Separación a centros educativos
- Distancia a centros de salud
- Acceso al área (Giménez & Carrera, 2012).

d) Criterio Económico

- Costo de edificación
- Costos de las propiedades en la zona para el relleno sanitario
- Separación al centro de recolección (Giménez & Carrera, 2012).

7.1.10 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son herramientas transcendentales en la evaluación y en el análisis de datos espaciales. Estos sistemas están particularmente previstos para calcular, almacenar, procesar, analizar y visualizar información geográfica, todo ello de manera eficiente y fiable. Además, los SIG tienen la capacidad de reconocer y correlacionar el espacio con relación a los datos mapeados, así como establecer enlaces entre distintas bases de información (Estacio et al., 2021).

Generalmente, un sistema de información es la combinación sinérgica de datos digitales y tecnología informática, diseñada para capacitar y simplificar la administración de los bienes en una identidad dada, ya sea una agencia, una empresa o cualquier otra identidad. El SIG desempeña un papel muy crucial en el estudio de datos a gran escala para evaluar la vulnerabilidad de las infraestructuras cuando se integran la información georreferenciada con sistemas de coordenadas (UTM), lo que permite la ubicación instantánea de los resoluciones y los procedimientos de evaluación. Estos sistemas acceden correlacionar estadísticas de diversos parámetros, lo que simplifica la identificación de zonas de riegos y la toma de resoluciones informada en la administración de territorio (Cervera et al., 2023).

7.1.10.1 Ráster

El modelo ráster son imágenes digitales que representa datos en aspecto de cuadrícula, la cual consiste en píxeles organizados en fila y columna, cada uno describiendo datos de una variable geoespacial (Bracho-Estévez et al., 2023).

7.1.10.2 Vector

El modelo vectorial se centra en la precisión de la ubicación y la forma de la interpretación de datos. Este enfoque permite prologar la indagación utilizando primitivas geométricas como puntos, líneas y polígonos (Estrada et al., 2022).

7.1.10.3 Superposición (Overlay)

Es el procedimiento de comprender las diferentes relaciones de aspectos geográficos al sobreponer presentaciones digitales, lo que simplifica la toma de resoluciones informadas en zonas como la planificación urbana o la administración ecológica (Bolaños-Chavarría et al., 2022).

7.1.10.4 Teledetección

Como plantea Sierra, (2023), la teledetección utiliza sensores remotos con la finalidad de recopilar datos sobre la superficie terrestre sin contacto directo, además esta tecnología se aplica a la gestión de los residuos para identificar áreas de acumulación, permitiendo la gestión más precisa.

7.1.10.5 Cartografía

La cartografía es una ciencia que se dedica al estudio y creación de mapas (criterio) para representar extensas zonas del territorio, o incluso su totalidad, buscando establecer una relación matemática que permita identificar las deformaciones (Becerra, 2021).

7.1.11 Análisis espacial multicriterio

El análisis espacial multicriterio es un cúmulo de métodos en los que se identifican y comparan alternativas de objetivos y soluciones según varios principios, modelando en función de las ponderaciones asignadas por expertos para seleccionar la mejor alternativa (Estacio et al., 2021, pág 217-227).

7.1.11.1 Evaluación multicriterio

La evaluación multicriterio es una técnica altamente efectiva para abordar integralmente fenómenos públicos, ya que permite un análisis holístico de las inclinaciones sociales del territorio, la cual permite considerar numerosos componentes o variables de principios, ya sean cuantificables o no. Además, esta práctica forma parte de una inclinación academia e

institucional que examinan los fenómenos sociales de forma cultivable, superando la linealidad de un único criterio y simplificando la convivencia entre alternativas (Fajardo & Pava, 2021).

7.1.11.2 Análisis multicriterio basado en SIG (Álgebra de Mapas)

El análisis multicriterio se destaca por su capacidad para establecer principios metodológicos rigurosos en la cartografía de servicios económicos. Esta técnica se caracteriza por su flexibilidad al incorporar la retroalimentación de expertos y actores sociales, cuyas opiniones se integran de manera especializada a través de una plataforma SIG especializada (Pramnauth et al., 2020).

8 Marco legal

El marco jurídico del proyecto consistió en leyes, reglamentos y textos legislativos creados para garantizar que el relleno sanitario se construya y controle adecuadamente.

8.1 Constitución del Ecuador

Título II: Derechos

Capítulo segundo Derechos del buen vivir

Sección segunda: Ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o

los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

8.2 Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía Descentralización

Art. 4.- Fines de los gobiernos autónomos descentralizados. - Dentro de sus respectivas circunscripciones territoriales son fines de los gobiernos autónomos descentralizados:

- e) La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medio ambiente sostenible y sustentable
- f) La protección y promoción de la diversidad cultural y el respeto a sus espacios de generación e intercambio; la recuperación, preservación y desarrollo de la memoria social y el patrimonio cultural
- g) La obtención de un hábitat seguro y saludable para los ciudadanos y la garantía de su derecho a la vivienda en el ámbito de sus respectivas competencias

Art. 41.- Funciones. - Son funciones del gobierno autónomo descentralizado provincial las siguientes:

- a) Promover el desarrollo sustentable de su circunscripción territorial provincial, para garantizar la realización del buen vivir a través de la implementación de políticas públicas provinciales en el marco de sus competencias constitucionales y legales

Art. 55.- Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal. - Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley.

- d) 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.

8.3 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente

Sección 3

Generación y fases de la gestión integral de residuos y desechos peligrosos.

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.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y Metropolitanos deberán cerrar los botaderos existentes en el cantón, mediante proyectos de cierre técnico autorizados por la Autoridad Ambiental Nacional. Se prohíbe la disposición final de desechos sólidos no peligrosos sin la autorización administrativa ambiental correspondiente.

Así mismo, 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.

8.4 Ordenanza para la gestión integral de residuos sólidos en el cantón Mejía

Capítulo VII

De la disposición final de los residuos sólidos urbanos

Art. 32.- La Autoridad Municipal correspondiente asignará los recursos necesarios para el funcionamiento y operación adecuada del relleno sanitario Municipal en función de los requerimientos técnicos establecidos en esta ordenanza.

Art. 33.- En los lugares considerados como rellenos sanitarios no se recibirán aquellos residuos con características diferentes a aquellas debidamente aprobadas y aceptadas en la licencia ambiental respectiva.

Art. 36.- Las iniciativas comunitarias, sean en barrios o parroquias, sobre la disposición final y el procesamiento de los residuos sólidos, deberán cumplir con la aprobación de la Dirección de Servicios Públicos e Higiene y deberán cumplir con los requerimientos especificados en el Anexo 6 del Libro IV del Texto Unificado de Legislación Ambiental los cuales se registran conforme se detalla a continuación:

- a) El relleno sanitario contará con un diseño y manejo técnico para evitar problemas de contaminación de las aguas subterráneas, superficiales, del aire, los alimentos y del suelo mismo.
- b) No se ubicará en zonas donde se ocasionen 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 escogerá áreas donde se afecten bienes culturales (monumentos históricos, ruinas arqueológicas, etc.).
- c) El relleno sanitario estará ubicado a una distancia mínima de 200 m de la fuente superficial del recurso hídrico más próximo.
- d) Para la ubicación del relleno no se escogerá zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, cauces de quebradas, zonas propensas a deslaves, a agrietamientos, desprendimientos, inundaciones, que pongan en riesgo la seguridad del personal o la operación del relleno.
- e) El relleno sanitario no se ubicará en áreas incompatibles con el plan de desarrollo urbano de la ciudad. La distancia del relleno a las viviendas más cercanas no podrá ser menos de 500 m. Tampoco se utilizarán áreas previstas para proyectos de desarrollo regional o nacional (hidroeléctricas, aeropuertos, represas).
- f) El relleno sanitario debe estar cerca de vías de fácil acceso para las unidades de recolección y transporte de los desechos sólidos.
- g) Se deberá estimar un tiempo de vida útil del relleno sanitario de por lo menos 10 años.

8.5 Libro VI, Anexo 6 del TULSMA

Normas generales para la disposición de desechos sólidos no peligrosos, empleando la técnica de relleno mecanizado.

4.12.2 El relleno sanitario deberá contar con un diseño y manejo técnico para evitar problemas de contaminación de las aguas subterráneas, superficiales, del aire, los alimentos y del suelo mismo.

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.

Capítulo VI

Gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, y desechos peligrosos y/o especiales

Sección I. Gestión integral de residuos y/o desechos sólidos no peligrosos

Art. 57.- Responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales.- Garantizarán el manejo integral de residuos y/o desechos sólidos generados en el área de su competencia, ya sea por administración o mediante contratos con empresas públicas o privadas; promoviendo la minimización en la generación de residuos y/o desechos sólidos, la separación en la fuente, procedimientos adecuados para barrido y recolección, transporte, almacenamiento temporal de ser el caso, acopio y/o transferencia; fomentar su aprovechamiento, dar adecuado tratamiento y correcta disposición final de los desechos que no pueden ingresar nuevamente a un ciclo de vida productivo; además dar seguimiento para que los residuos peligrosos y/o especiales sean dispuestos, luego de su tratamiento, bajo parámetros que garanticen la sanidad y preservación del ambiente.

9 PREGUNTA CIENTÍFICA

¿El análisis espacial multicriterio permite realizar la selección de sitios adecuados para la implementación de un relleno sanitario en el Cantón Mejía?

El análisis espacial multicriterio es una herramienta fundamental que ayuda a evaluar varios factores al mismo tiempo para concluir las ubicaciones óptimas para la edificación de un nuevo relleno sanitario en el cantón Mejía considerando los principios ambientales, sociales y económicos. Este método considera varios factores relevantes, como la cercanía a zonas habitadas, la geología del suelo, la facilidad de acceso por carretera y el impacto ecológico. Al combinar estos aspectos de manera organizada, se puede encontrar lugares que minimicen problemas y maximicen la eficiencia del relleno sanitario, asegurando una resolución bien fundamentada que beneficie tanto a la comunidad como al entorno local.

En la indagación, el uso del análisis espacial multicriterio ha sido fundamental para equiparar lugares óptimos para la activación de un nuevo relleno sanitario en el cantón Mejía. Este

enfoque metodológico permitió una evaluación detallada de múltiples variables y principios, lo que resultó en la identificación de ubicaciones con diferentes perfiles de idoneidad. En particular, se equipararon lugares óptimos de 2 puntos y 3 puntos, los cuales cumplen rigurosamente con los principios establecidos en el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA, que regula los requisitos y normativas para la selección de lugares para un relleno sanitario de manera integral.

A pesar de la existencia de algunos lugares de 2 puntos, estos no fueron considerados para la selección concluida. La razón principal para esta exclusión fue que dichos lugares se encontraban en zonas prohibidas, identificadas a través del análisis espacial multicriterio. En particular, algunos de estos lugares se interceptaban con el Sistema Nacional de Áreas protegidas (SNAP), lo que los hace inapropiados debido al requerimiento de preservar estos ecosistemas valiosos y eludir cualquier impacto ecológico negativo. Además, otros lugares identificados con datos de 2 puntos estaban ubicados en zonas agrícolas y ganaderas, lo que podría haber generado conflictos con las actividades económicas locales y afectado la sostenibilidad de las prácticas agrícolas y ganaderas en la región.

La herramienta ArcGIS 10.8 fue crucial en este proceso, ya que permitió una evaluación exhaustiva de diversos factores y principios mediante la ponderación adecuada de cada uno. Esta herramienta geoespacial facilitó la visualización y el análisis de datos complejos, lo que permitió equiparar con precisión las zonas que no cumplían con los requisitos de idoneidad necesarios para la edificación de un relleno sanitario. La capacidad de ArcGIS para integrar y analizar datos espaciales, junto con su funcionalidad para superponer capas de información, fue esencial para equiparar las ubicaciones que se alineaban con los principios técnicos y normativos.

Por lo tanto, se eligieron las opciones más adecuadas aquellos lugares óptimos de 3 puntos. Estos lugares se destacaron por su alta conformidad con los principios establecidos, lo que indica que son muy aptos para la realización de un nuevo relleno sanitario. Los lugares de 3 puntos cumplen con los requisitos ecológicos, técnicos y normativos necesarios, ofreciendo una solución viable y sostenible para la gestión de residuos en el cantón Mejía.

Este enfoque analítico no solo garantiza una selección precisa de lugares, sino que también optimiza la viabilidad y sostenibilidad del proyecto de manera integral. Al basarse en un análisis multicriterio riguroso y en herramientas avanzadas como ArcGIS, el proceso de selección

asegura que se elijan ubicaciones que no solo cumplen con las normativas vigentes, sino que también minimizan el impacto ecológico y promueven la sostenibilidad a largo plazo. Así, el análisis espacial multicriterio proporciona una base densa para la toma de resoluciones efectivas en la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura como los rellenos sanitarios.

10 METODOLOGÍA

La metodología empleada en este proyecto de indagación mediante el análisis espacial multicriterio para la localización de un relleno sanitario en el cantón Mejía, Provincia de Pichincha están relacionados con el cumplimiento de los objetivos propuestos en la misma.

10.1 Tipo de investigación

La presente indagación es de tipo cualitativa, orientada a explorar las percepciones y criterios relevantes para la localización de un relleno sanitario en el cantón Mejía, lo que permite abordar aspectos cualitativos que no pueden ser captados completamente por otros enfoques, además, se contempla con el análisis espacial multicriterio mediante ArcGIS 10.8 con la recopilación de datos estadísticos para una evaluación integral.

10.2 Métodos de investigación

10.2.1 Exploratorio

En el enfoque exploratorio, se determinó el requerimiento de encontrar un lugar para un nuevo relleno sanitario debido a su novedad en el cantón Mejía, además se desarrolló una revisión de literatura existente y se tomaron en cuenta estudios semejantes hechos en otros países.

10.2.2 Descriptivo

Se desarrolló un análisis multicriterio que se tradujo en la generación de mapas y comparaciones con los cálculos de zonas adecuadas para un relleno sanitario en el cantón, esto permitió una visualización exhaustiva de las opciones disponibles.

10.2.3 Aplicado

Se empleó un enfoque aplicado al llevar a cabo simulaciones de posibles escenarios futuras, con el fin de analizar la viabilidad y sostenibilidad de la propuesta de localización de un relleno sanitario en el cantón, por ende, esto implica aplicar las resoluciones de la investigación a la toma de decisiones específicas sobre la localización de un relleno sanitario.

10.3 Técnicas de investigación.

- a) **Revisión bibliográfica:** Para desarrollar el modelo propuesto, se desarrolló una indagación exhaustiva que incluyó una variedad de diversas fuentes bibliográficas relacionadas con la localización de un relleno sanitario, con el fin de equiparar los parámetros relevantes y esenciales que se requerían para el diseño y progreso del modelo propuesto.
- b) **Definición del área de estudio:** Se llevó a cabo un análisis exhausto de múltiples principios durante la limitación del territorio del cantón Mejía para asegurar que no se incluyan zonas de municipio cercanos durante la evaluación. Este método tomo en cuenta una variedad de factores, incluidos límites geográficos, características topográficas, zonas protegidas y requisitos legales, con el fin de definir con precisión el área de estudio y eludir cualquier imparto.
- c) **Definición del área requerida en el relleno sanitario:** Después de analizar las resoluciones de los cálculos, en los que se tomaron en cuenta tanto el volumen anual de desechos como el incremento demográfico, las extensiones requeridas, así mismo este progreso se llevó a cabo para asegurar de que estas zonas no afectaran negativamente en las comunidades adyacentes.
- d) **Selección de sitios potenciales:** Se llevó a cabo un análisis completo mediante el uso de SIG, se emplearon técnicas avanzadas de estudio multicriterio para disponer las ubicaciones más adecuadas para la construcción de un nuevo relleno sanitario utilizando técnicas avanzadas de análisis multicriterio. Además, este método ayuda a tomar resoluciones en el contexto geoespacial más informadas y eficientes al integrar múltiples variables y priorizar opciones.
- e) **Verificación de campo:** Se desarrolló una verificación de campo utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS) para confirmar con exactitud de las ubicaciones identificadas como resolución del análisis previo, la cual garantiza una validación adicional de la precisión de los datos conseguidos.
- f) **Elección de sitio óptimo:** Después de realizar una evaluación geológica detallada en el área del cantón Mejía, se determinó la ubicación ideal para el relleno de acuerdo con las normativas actuales para el manejo de relleno sanitario. Por lo tanto, se hizo esta elección con base a los principios técnicos con el fin de reducir cualquier posible impacto negativo en zonas urbanas, zonas rurales, cuerpos de agua, bosques y otros entornos sensibles de acuerdo con las regulaciones ecológicas pertinentes.

g) **Encuestas:** Se creó una encuesta con diez preguntas las cuales fueron validadas por la universidad, en el que se examina varios temas, incluidos los conocimientos generales acerca de un relleno sanitario, las percepciones de la comunidad sobre la administración de desechos efectuada por el GAD Municipal del cantón Mejía.

10.3.1 Sistema para calcular el área requerida para la localización del relleno sanitario

Para estipular el cálculo de la zona requerida para un relleno sanitario, se empleó la ecuación basada en los estudios realizados por el Programa de Administración Urbana, (2003).

Para lo cual se requerirá la siguiente información:

- La producción per cápita (Fuente: GADM del cantón Mejía)
- Número de habitantes del cantón (Fuente: INEC, 2022)
- La tasa de crecimiento poblacional (Fuente: INEC, 2022)

10.3.1.1 Proyección de la población

Es necesario realizar la proyección de la población futura para estimar la porción de residuos generados, la cual serán dispuestos cada día y anualmente en el relleno sanitario a largo de su vida útil. Posteriormente para calcular la proyección de la población del cantón se empleó la ecuación [1].

[1]

$$pf = pi \times (1 + r)^n$$

Donde:

pf = Población futura

pi = Población inicial

r = Tasa de crecimiento poblacional

n = Numero de años (año inicial – año concluido)

10.3.1.2 Cantidad de residuos totales generados diariamente

Para disponer la porción de residuos confección a diario, se empleó la ecuación [2], en la que se multiplica por la resolución de la confección per cápita por la cifra total de habitantes del cantón.

[2]

$$CRD = ppc \times Pob$$

Donde:

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

ppc = Producción per cápita

Pob = Población total

10.3.1.3 Volumen de residuos solidos

Para obtener el volumen diario de residuos sólidos, se calcula dividiendo la porción de residuos sólidos generados diariamente ($Tn/día$) por la consistencia de residuos (kg/m^3) y ese resolución luego se multiplica por 365 días para obtener el volumen anual de los residuos sólidos según la ecuación [3] y la ecuación [4].

[3]

$$V_{diario} = \frac{CRD}{D_{rs}}$$

[4]

$$V_{anual} = V_{diario} * 365$$

Donde:

V_{diario} = Volumen de residuos sólidos diarios ($m^3/día$)

V_{anual} = Volumen de residuos sólidos anuales ($m^3/año$)

CRD = Generación de residuos solidos (kg)

D_{rs} = Densidad de compactación de residuos sólidos (kg/m^3) (Programa de Gestión Urbana, 2003).

10.3.1.4 Volumen del relleno sanitario

Para conocer el valor total del volumen del relleno sanitario, se empleó la ecuación [5]. Es decir se multiplica el volumen anual por el factor de sustancial de cobertura. Este cálculo ayuda a entender el volumen de los desechos del relleno sanitario.

[5]

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

Donde:

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

Vol_{anual} = Volumen anual (m³)

MC = Factor de material de cobertura (1.2 – 1.25) (Programa de Gestión Urbana, 2003).

10.3.1.5 Área requerida

Utilizando la resolución del volumen del relleno sanitario, se determina el área requerida. Para ello, se emplea la ecuación [6] que divide el volumen del relleno sanitario por la altura media del relleno.

[6]

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

Donde:

A_{rs} = Área requerida (m²)

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

h = Profundidad del relleno sanitario (m) (Molina, 2013).

10.3.1.6 Área total requerida

Para obtener el área total requerida para el RELLENO SANITARIO, se empleó la ecuación [7], que considera el factor de incremento y el área requerida para el relleno (Programa de Administración Urbana, 2003).

[7]

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

Donde:

A_{total} = Área total requerida (m)

Fa = Factor de aumento de área (Programa de Gestión Urbana, 2003).

A_{rs} = Área a rellenar (m^2)

10.3.2 Sistema para identificar áreas potenciales para la localización del relleno sanitario

En esta indagación se empleó un análisis multicriterio mediante SIG para elegir las zonas apropiadas para la ubicación de un nuevo relleno sanitario en el Cantón Mejía. Los métodos utilizados se describen de manera detallada a continuación.

10.3.2.1 Definición de criterios

Mediante una revisión exhaustiva de la literatura, se reconocieron los principios más relevantes delineados en el cuadro 3 con los lineamientos del libro VI del Anexo 6 del TULSMA, específicamente en el literal 4.12.4 de la Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de residuos no peligrosos (MAE; TULSMA, 2015).

Tabla 3. Definición de criterios de Selección para la localización de un relleno sanitario

Ítem	Criterio de selección	Descripción
1	Recursos hídricos	Distancia mínima de 200 m.
2	Aeropuerto	Distancia superior a 13 km.
3	Distancia de vías	La normativa no establece una distancia mínima, sin embargo, se debe considerar vías que sean factibles de ingreso con un rango de 200 a 400 m distancia.
4	Uso de suelo	El relleno no debe ubicarse en zonas boscosas que habiten especies nativas, además se debe evitar escoger zonas agrícolas.
5	Asentamientos humanos	Distancia mayor a 500 m.
6	Pendiente	Valor aceptable del 2 al 12 %.
7	Precipitación	Se toma en cuenta la precipitación anual del área de estudio 100 a 1500 mm el valor aceptable.
8	Permeabilidad	Menor o igual a 1×10^{-7} cm/seg, aunque si es mayor podría utilizar alternativas impermeabilizantes.
9	Zonas de inundación	Evitar zonas a inundaciones.

10	Áreas protegidas	No debe ubicar dentro de las áreas protegidas para evitar daños a los ecosistemas y a la biodiversidad
----	------------------	--

Nota. Los criterios de selección fueron tomados de las fuentes: (Quinga & Vilema, 2022; MAE; TULSMA, 2015 y Peña, 2021).

10.3.2.2 Obtención de datos

Del Sistema Nacional de Información (SIN), se obtuvieron los archivos shapefile de recursos hídricos, mientras que del Instituto Geográfico Militar (IGM), se consiguió los archivos de red vial, inundaciones, asentamientos humanos, pendiente y permeabilidad y del MAATE, se consiguió el archivo de cobertura y uso de suelo y áreas protegidas.

10.3.2.3 Integración de criterios al sistema de información geográfico (SIG)

Las resoluciones adquiridas fueron implementadas para crear las capas de los principios anteriormente mencionadas en la tabla 4, se empleó el software ArcGIS 10.8, lo que permitió el almacenamiento, la integración, el análisis, la manipulación y visualización de datos (Sánchez-Gómez, 2021). Utilizando la herramienta Múltiple Ring Buffer (*ArcToolBox / Analysis Tools / Proximity*), se crearon áreas de influencia (Buffers) para principios como recursos hídricos, aeropuertos, separación de vías, asentamientos humanos. Luego con la herramienta intersect (*Geoprocessing*) se cortaron estas zonas de influencia para incluir solo zonas que se encuentren dentro del cantón Mejía. Posteriormente para los principios como: zonas de inundación, pendientes, permeabilidad, uso de suelo y precipitación fueron reclasificados o estandarizados asignándoles datos específicos.

10.3.2.4 Estandarización de criterios

Teniendo en cuenta a Sánchez-Gómez, (2021), menciona que la estandarización de principios basados en SIG es proporcionar una escala uniforme de clasificación de lo lugar óptimos para todos los principios transformando los datos originales. Para la estandarización de capas (principios), se empleó la herramienta Polygon to Raster (*ArcToolbox / Spatial Analyst Tools / Overlay*) en formato raster, cabe recalcar que solo funciona con archivo ráster. Seguidamente, para asignar datos de idoneidad a cada capa se empleó la herramienta Reclassify (*ArcToolbox / spatial Analyst Tools / Reclass*). En esta indagación se asignaron datos de relevancia relativa en una escala de 1 a 9, donde 1 representa la mejor elección y el 9 representa la peor elección, la cual se encuentra expresado en la tabla 4.

Tabla 4. Valores de estandarización de criterios

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

Nota. Fuente: Chida, (2020).

10.3.2.5 Cálculo de ponderación de criterios

Empleando el proceso analítico jerárquico conocido así mismo como AHP (*Analytical Hierarchy Process*), se determinó las ponderaciones de cada criterio. De acuerdo con Cargua et al., (2024), el proceso AHP fue realizado por Saaty, (1990), es un método semicuantitativo basado en la evaluación de toma de resoluciones multicriterio para tratar problemas complejos y múltiples características. Sin embargo, el método consiste en crear una matriz comparativa en la que asignamos datos que van desde el 1 al 9 para identificar la relevancia relativa de cada criterio, la cual se determinó el peso antes mencionado definido en la tabla 5 (Bravo et al., 2021).

Tabla 5. Escala fundamental de comparaciones por pares

Escala numérica	Escala verbal
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia grande
7	Importancia muy grande
9	Importancia extrema
2,4,6,8	Valores intermedios entre los anteriores

Nota. Fuente: Saaty, (2008).

La matriz de comparación por pares compara cada fila con cada columna de acuerdo con su relevancia relativa (Tabla 5). Por ejemplo, cuando se comparan los mismos principios, como el criterio 1 con criterio 1, se le asigna una cantidad de 1, lo mismo ocurre con el criterio menos relevante, lo que también recibe el valor de 1. Sin embargo, cuando se comparan diferentes principios, es necesario disponer cual tiene mayor relevancia; por ejemplo, al comparar el criterio 1 con el criterio 2 se le asigna el valor de acuerdo con la tabla 6. Además, es fundamental que la matriz de comparación preserve la reciprocidad, lo que significa que el criterio 1 respecto al criterio 2 es $x/1$ entonces el valor del criterio 2 respecto al criterio 1 debe ser $1/x$ (Romero-Fernández et al., 2020).

Tabla 6. Escala de comparaciones de criterios por partes

		Denominador				
		Criterio	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Numerador	C ₁		C _{1/1}	C _{1/2}	C _{1/3}	C _{1/4}
	C ₂		C _{2/1}	C _{2/2}	C _{2/3}	C _{2/4}
	C ₃		C _{3/1}	C _{3/2}	C _{3/3}	C _{3/4}
	C ₄		C _{4/1}	C _{4/2}	C _{4/3}	C _{4/4}
	Total	C _m	C _{m1}	C _{m2}	C _{m3}	C _{m4}

Nota. Fuente: modificado de Romero-Fernández et al., (2020).

Después de crear la matriz de comparación por pares, sumamos los datos de cada columna, seguidamente se divide cada componente de la matriz por el total de su columna correspondiente. Posteriormente, para disponer el peso de cada criterio, se calcula el promedio de cada componente en cada fila, la cual se denomina matriz normalizada, dando como resolución una matriz de pesos para los principios establecidos (Saaty, 2008). Para convertir en pesos a porcentajes s , simplemente se multiplica por 100, además, para asegurar de que los datos asignados sean coherentes se calcula el índice de consistencia. El índice de consistencia aleatoria y razón de consistencia.

10.3.2.6 Comprobación del método jerárquico AHP

Para la verificación del método jerárquico AHP se basó en las ecuaciones del estudio realizado por Cargua et al., (2024).

10.3.2.6.1 Índice de consistencia

Para conocer la resolución del índice de consistencia se aplicó la ecuación [8].

[8]

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Donde:

CI = índice de Consistencia

λ_{max} = Máximo autovalor

n = Dimensión de la matriz de decisión

10.3.2.6.2 Índice de consistencia aleatoria

Para asegurar que las evaluaciones sean coherentes, se procedió a calcular el índice de consistencia aleatoria utilizando la ecuación [9]. Esta ecuación garantiza que los datos asignados a los criterios fueran consistentes y confiables.

[9]

$$IA = \frac{1.98 - (n - 2)}{n}$$

Donde:

IA = Índice de consistencia aleatoria

n = Dimensión de la matriz de decisión (Cargua et al., 2024).

10.3.2.6.3 Razón de consistencia

Para obtener la razón de consistencia se empleó la ecuación [10]. Esta fórmula permite evaluar la coherencia de las comparaciones.

[10]

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Donde:

CR = Razón de consistencia

CI = Índice de consistencia

RI = Índice de consistencia aleatoria

Para obtener el valor del λ_{max-n} se multiplica la matriz de equiparación por pares con la matriz normalizada utilizando la función del Excel MMULT (matriz 1, matriz 2). Para lo cual la cifra de columnas de la matriz 1 debe ser igual al número de filas de la matriz 2, posteriormente se dividió cada componente de la resolución por el componente de la matriz, la cual el promedio de resolución representa el λ_{max-n} . Además, para los pesos conseguidos de cada criterio Saaty, (1990), menciona que la matriz de congruencia debe ser menor al 0,1.

10.3.2.7 Identificación de las áreas para el relleno sanitario

Después de disponer las ponderaciones de cada criterio, se empleó la herramienta *Weighted Overlay* (*ArcToolbox / Spatial Analyst Tool / Overlay*) para crear el mapa de idoneidad e identificar la ubicación de los lugares óptimos para el relleno sanitario (Soler-Velasco, 2023). Las resoluciones fueron convertidas en formato vectorial utilizando la herramienta *Raster to Polygon* (*ArcToolbox / Conversion Tools / From Raster*), con la finalidad que sea más fácil al momento de calcular el área de cada punto identificado. Para calcular el área, se creó una nueva columna con el nombre de “área” a la tabla de características del vector con los datos de idoneidad, luego con la herramienta *Calculate Geometry*, y la unidad de medida fue elegida como hectáreas. Tras calcular las zonas, se seleccionaron aquellas que cumplían con el área requerida para el relleno sanitario. Finalmente, se desarrolló una revisión exhaustiva de las zonas ya seleccionadas, recomendando las más adecuadas para el proyecto de indagación,

10.4 Instrumentos

10.4.1 Herramienta de sistema de información geográfico ArcGIS 10.8

El proyecto se examina en la obtención de encontrar zonas apropiadas para ubicar un relleno sanitario en el cantón Mejía, en la Provincia de Pichincha. Se empleó la herramienta de Sistema de Información Geográfica ArcGIS 10.8 para recopilar los datos necesarios para un análisis multicriterio teniendo en cuenta la situación actual del cantón.

10.4.2 Imagen DEM (Modelo digital de elevación)

Las imágenes DEM se empleó para crear pendientes de la zona de estudio, la cual representa una variación en la elevación de la superficie terrestre, además, estas imágenes son cruciales en diversas disciplinas como la geografía, la planificación urbana y la administración de bienes naturales tierra y la planificación de infraestructuras.

10.4.3 Cuestionario

El cuestionario se empleó a 384 personas, mismas que fueron distribuidos en las 8 parroquias que tiene el cantón Mejía, según la cantidad de población en cada parroquia.

10.4.3.1 Población

Según los resultados del INEC, (2022), el cantón Mejía cuenta con una población de 101.894 personas, además, para comprobar la fiabilidad de las preguntas de encuestas a la población del cantón, se utilizó la matriz del método alfa Cronbach. El alfa Cronbach es una formula global que ayuda en la estimación de la fiabilidad en el que las respuestas a los ítems son dicotómicas, es decir que tiene más de dos valores (Rodríguez-Rodríguez & Reguant-Álvarez, 2020).

10.4.3.2 Muestra

Para asegurar que los resultados obtenidos de las encuestas sean confiables se aplicó la ecuación [11] del tamaño de muestra para identificar la cifra exacta de personas a encuestar.

[11]

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 \times (N - 1) + Z^2 \sigma^2}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra poblacional a obtener

N = Tamaño de la población actual

σ = Desviación estándar 5

Z = Nivel de confianza (95%)

e = Limite aceptable de error muestra 5% (0.5)

11 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

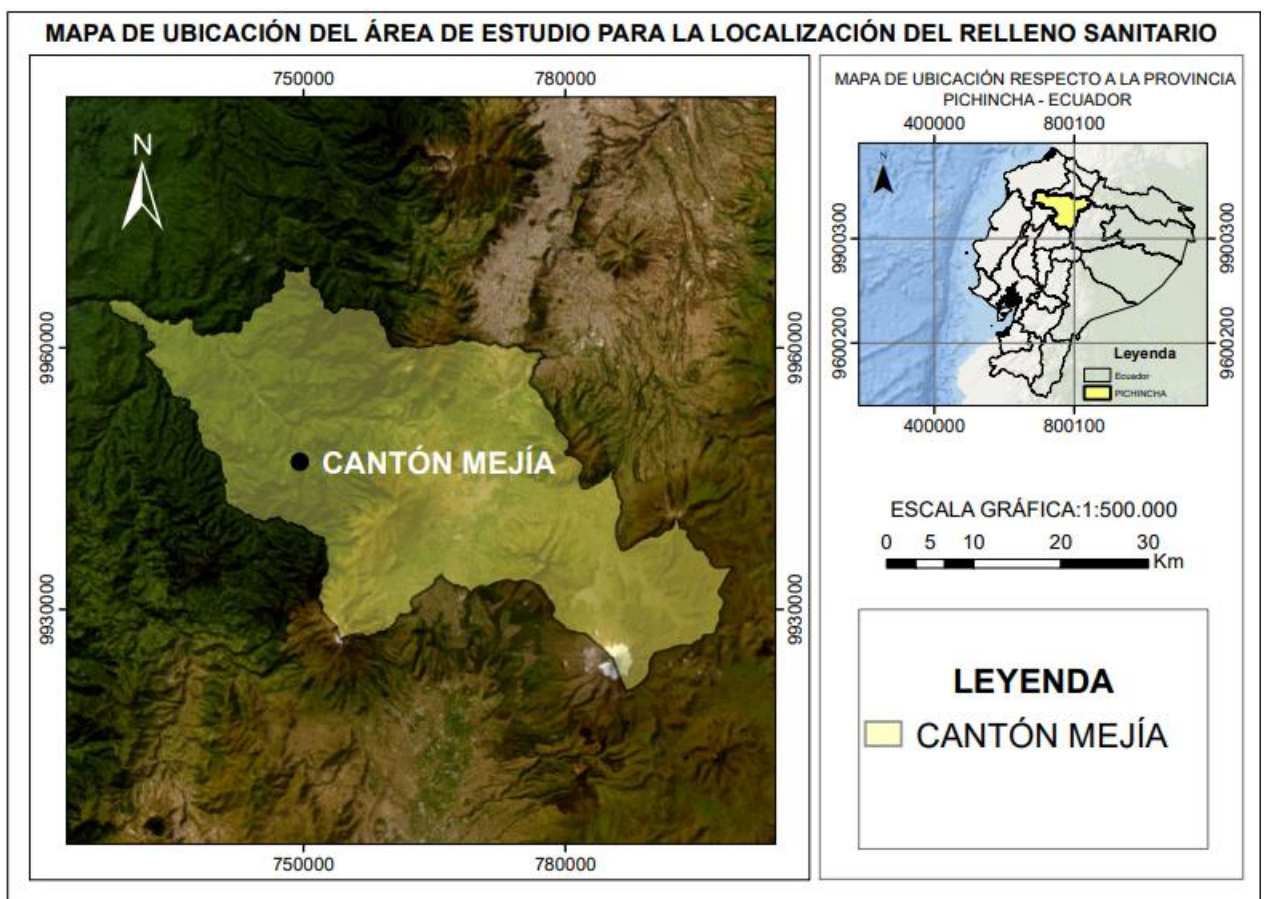
11.1 Localización del área de estudio

El Cantón Mejía se encuentra ubicado en la región Sierra del Ecuador en la Provincia de Pichincha, con las coordenadas UTM latitud: 9956467.1 y longitud: 770925.58 con un rango de altitud que varía desde 1200 a 5126 msnm (Villota-Vásquez, 2021). El territorio se encuentra limitada según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Mejía 2020, al norte: Distrito Metropolitano de Quito, Cantón Rumiñahui y Santo Domingo de los Colorados;

al sur: provincia Cotopaxi; al este: provincia de Napo y al oeste: Santo Domingo de los Tsáchilas, ubicada en las coordenadas, además cuenta con una superficie de 1, 410,82 km². Teniendo en cuenta a las proyecciones del INEC, (2010), la población del Cantón Mejía es de aproximadamente 108.167 habitantes al 2020 y se espera que la colectividad para el año 2030 sea de 133.467 debido a que el territorio está experimentando un raudo crecimiento de población.

Seguidamente, se muestra la figura 1, donde se visualiza el mapa de ubicación de la zona de estudio del cantón Mejía, el cual está conformado por 8 parroquias, 1 urbana (Machachi) y 7 parroquias rurales que son: Alóag, Aloasí, Manuel cornejo Astorga (Tandapi), Cutuglagua, Tambillo y Uyumbicho.

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio



Fuente. Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

11.2 Área requerida para la localización del relleno sanitario

11.2.1 Proyección de la población

Se realizó una proyección poblacional del año 2024 hasta el año 2039, utilizando la ecuación [1] para disponer el tipo de relleno sanitario a implementarse en el cantón Mejía, cumpliendo con lo establecido en el libro VI anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015). En este proyecto de indagación se estimó como año base los datos colectivos realizado en el 2022 del último censo (INEC, 2022). Considerando los datos iniciales a continuación.

Población inicial: 101.894 habitantes

Tasa de crecimiento poblacional (TDC): 1.51%

Número de años: 15 años

En la tabla 7 se muestra la proyección de la población del cantón Mejía siendo 148.207 habitantes que corresponde para el año 2039, población base para lo cual se diseña el relleno sanitario.

Tabla 7. Proyección de la población del cantón Mejía para el año 2024 – 2039

Año	TDC	n (número de años)	Población proyectada (habitantes)
2024	0,0151	10	118369
2025	0,0151	11	120156
2026	0,0151	12	121970
2027	0,0151	13	123812
2028	0,0151	14	125682
2029	0,0151	15	127580
2030	0,0151	16	129506
2031	0,0151	17	131462
2032	0,0151	18	133447
2033	0,0151	19	135462
2034	0,0151	20	137507
2035	0,0151	21	139583
2036	0,0151	22	141691
2037	0,0151	23	143831

2038	0,0151	24	146003
2039	0,0151	25	148207

Nota. Elaborado por: Mendaño M. & Socasi D. (2024).

11.2.2 Cantidad de residuos generados

En base a los datos adquiridos del GAD Municipal del cantón Mejía, se estimó que el área de estudio (cantón Mejía) tiene una producción per cápita (ppc) de 0,70 kg/Hab*día con una recolección de 77 toneladas diarias. Con esta información y la cifra de habitantes proyectado para el año 2039, se empleó la ecuación [2], para disponer la cantidad de residuos totales diarios generados en el cantón (Lazo et al., 2020).

A partir del análisis para el año 2024, se determinó que el cantón Mejía genera 82858,09 kg de residuos sólidos diariamente, lo cual es primordial para mejorar las infraestructuras de recolección y tratamiento. En la tabla 8, se muestra los resultados proyectados para el año 2039, considerando que este será el último año de operación del relleno sanitario, lo que permite anticipar desafíos futuros y planificar estrategias sostenibles.

Tabla 8. Generación de residuos sólidos por año del 2024-2039

Año	Ppc (kg/habitantes*día)	Número de habitantes	Generación de residuos (kg/día)
2024	0,70	118369	82858,09
2025	0,70	120156	84109,25
2026	0,70	121970	85379,30
2027	0,70	123812	86668,53
2028	0,70	125682	87972,22
2029	0,70	127580	89305,68
2030	0,70	129506	90654,19
2031	0,70	131462	92023,07
2032	0,70	133447	93412,62
2033	0,70	135462	94823,15
2034	0,70	137507	96254,98
2035	0,70	139583	97708,43
2036	0,70	141691	99183,83
2037	0,70	143831	100681,50

2038	0,70	146003	102201,79
2039	0,70	148207	103745,04

Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024)

11.2.3 Volumen total de residuos sólidos

Mediante la ecuación [3] y [4] se determinó el volumen total de los residuos sólidos. Según el Programa de Gestión Urbana, (2003), para calcular y dimensionar la celda diaria y el volumen del relleno, la consistencia de la basura recién compactada varía entre 400-500 kg/m³, mientras que la consistencia de la basura estabilizada oscila entre 500-600 kg/m³. En este estudio, se empleó una densidad de compactación de 590 kg/m³, aunque este valor podría variar dependiendo el tipo de maquinaria empleada para la compactación de los residuos sólidos en el relleno sanitario.

[3]

$$V_{diario} = \frac{CRD}{D_{rs}}$$

Donde:

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

D_{rs} = Densidad de los residuos sólidos (kg/m³)

A partir de la ecuación [3], se estimó el volumen diario de residuos sólidos recolectados en el año 2024, al dividir la cantidad de residuos sólidos por la consistencia de los mismos.

$$V_{diario\ 2024} = \frac{82858,09\ kg/día}{590\ kg/m^3}$$

$$V_{diario\ 2024} = 140,44\ m^3/día$$

Aplicando la ecuación [4], se calculó el volumen anual de residuos sólidos recolectados para el año 2024. Este proceso incluyó multiplicar el resultado obtenido de la ecuación [3] por 365 días, lo que proporcionó una estimación precisa. Seguidamente, esta operación se llevó a cabo hasta el año 2039, señalando este como último año de funcionamiento del relleno sanitario. Los resultados se encuentran detallados en la tabla 9, donde se muestran las proyecciones efectuadas.

[4]

$$V_{anual\ 2024} = V_{diario\ 2024} * 365$$

$$V_{anual\ 2024} = 140,44\ m^3/día * 365$$

$$V_{anual\ 2024} = 51259,67\ m^3/año$$

11.2.4 Volumen del relleno sanitario

Una vez obtenido el resultado del volumen anual de residuos sólidos, se empleó la ecuación [5] para disponer el volumen del relleno sanitario, multiplicando el volumen anual de residuos sólidos por el factor de material de cobertura. Según el Programa de Gestión Urbana, (2003), el factor de material de cobertura generalmente varía entre 1,2 a 1,25. Posteriormente, en este estudio se optó por un valor de 1,23. A continuación, dicha operación se desarrolló a cabo hasta el año 2039 y los resultados se muestran en la tabla 9.

[5]

$$V_{rs} = V_{anual\ 2024} \times m.c.$$

Donde:

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

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

$m.c.$ = Factor de materia de cobertura (1,23)

$$V_{rs} = 51259,67 \frac{m^3}{año} * 1,23\ m.c.$$

$$V_{rs} = 63049,39\ m^3/año$$

11.2.5 Cálculo del área requerida

Después de obtener la resolución del volumen del RELLENO SANITARIO mediante la aplicación de la ecuación [5], se empleó la ecuación [6] para disponer el área requerida específicamente para la construcción del relleno sanitario, considerando que en este estudio se optó un relleno sanitario por el método de zanjas y zonas. Según Molina, (2013), el método de zanjas consiste en excavar periódicamente zanjas hasta de 7 metros de hondura utilizando

maquinarias como retroexcavadora o tractor de oruga, no obstante, la hondura depende del perfil freático de la zona en donde vaya a instalar el relleno sanitario.

[6]

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

Donde:

A_{rs} = Área requerida (m)

V_{rs} = Volumen del relleno sanitario (m/año)

h = Altura o profundidad medida del relleno sanitario

Debido a que el GAD Municipal del cantón Mejía no cuenta la con la información sobre la hondura del perfil freático, en este estudio se optó por una hondura de 10 metros, dividida en 7 metros de hondura y 3 metros de altura, con una distribución de 40 cm de residuos sólidos y 10 cm de cobertura. A pesar de la poca disponibilidad de información, se cumple con lo establecidos en el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), que indica que los residuos sólidos compactados no deben exceder una hondura de 60 cm. Además, la operación está proyectada hasta en el año 2039, misma que se encuentra detallada en la tabla 9.

$$A_{rs\ 2024} = \frac{63049,39\ m^3/año}{10\ m}$$

$$A_{rs\ 2024} = 6304,94\ m^2/año$$

11.2.6 Área total requerida

Para conocer el área total requerida en donde se va a ubicar el relleno sanitario, se empleó la ecuación [7], en donde se multiplico el valor de la zona necesitada por el factor del incremento de la zona adicional.

[7]

$$A_T = (A_{rs} * F) + A_{rs}$$

Donde:

A_T = Área total requerida

A_{rS} = Área requerida

F = Factor de aumento de área adicional

Según el Programa de Gestión Urbana, (2003), el factor de aumento de área adicional para las vías de penetración, zonas de aislamiento, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patios de maniobras, entre otros, se considera entre un 20% o 40% de la zona a rellenar. Por lo tanto, en este estudio se optó un factor de aumento de 30 %.

$$A_{T\ 2024} = \left(6304,94\ m^2/año * 0,3\right) + 6304,94\ m^2/año$$

$$A_{T\ 2024} = 8196,42\ m^2$$

A partir de análisis para el año 2024, se determinó el área total requerida es de 8196,57 m². Esta operación se prolongó hasta el año 2039, señalando este como último año de funcionamiento del relleno sanitario, como se detalla en la tabla 9.

La tabla 9 presenta un desglose detallado de los resultados obtenidos, que incluye cálculos de la generación de residuos sólidos, volumen diario, volumen anual, volumen del relleno sanitario, área requerida y el área total requerida. Estos datos son esenciales para comprender la escala del desafío y planificar la infraestructura adecuada. Finalmente, el área total requerida para el cantón Mejía para el año 2039 es de 14,7 ha, pero para simplificar, se redondeó a 15 ha en el estudio.

Tabla 9. Resumen del cálculo del área requería del relleno sanitario

Año	Generación de residuos (kg/día)	Volumen diario de RS (m ³ /día)	Volumen anual de RS (m ³ /año)	Volumen del relleno sanitario (m ³ /año)	Altura o profundidad media del relleno sanitario (m)	Área requerida (m ²)	Área total requerida (m ²)
2024	82858,09	140,44	51.259,67	63.049,39	10	6304,94	8196,42
2025	84109,25	142,56	52.033,69	64.001,44	10	6400,14	8320,19
2026	85379,30	144,71	52.819,40	64.967,86	10	6496,79	8445,82
2027	86668,53	146,90	53.616,97	65.948,87	10	6594,89	8573,35
2028	87972,22	149,11	54.426,59	66.944,70	10	6694,47	8702,81
2029	89305,68	151,37	55.248,43	67.955,57	10	6795,56	8834,22
2030	90654,19	153,65	56.082,68	68.981,69	10	6898,17	8967,62
2031	92023,07	155,97	56.929,53	70.023,32	10	7002,33	9103,03
2032	93412,62	158,33	57.789,16	71.080,67	10	7108,07	9240,49
2033	94823,15	160,72	58.661,78	72.153,99	10	7215,40	9380,02
2034	96254,98	163,14	59.547,57	73.243,51	10	7324,35	9521,66
2035	97708,43	165,61	60.446,74	74.349,49	10	7434,95	9665,43
2026	99183,83	168,11	61.359,49	75.472,17	10	7547,22	9811,38
2037	100681,50	170,65	62.286,01	76.611,80	10	7661,18	9959,53
2038	102201,79	173,22	63.226,53	77.768,64	10	7776,86	10109,92
2039	103745,04	175,84	64.181,25	78.942,94	10	7894,29	10262,58
Total (m²)							147,094
Total (ha)							15

Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

11.3 Análisis multicriterio

11.3.1 Definición y estandarización de criterios

Basando en la revisión de la literatura y siguiendo los lineamientos de la normativa del Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), se estableció los principios para determinar la ubicación de la zona para el relleno sanitario, misma que se encuentran detallados en la tabla 10, donde también se muestran sus respectivos valores de estandarización.

Tabla 10. Criterios para determinar la localización del área para el relleno sanitario

Criterios	Sub – criterios	Valores de estandarización
Distancia a vías (m)	0 – 200	9
	200 – 400	1
	400 – 600	2
	600 – 800	3
	800 – 1000	4
	1000 – 1200	5
	1200 – 1400	6
	1400 – 1600	7
	>1600	9
Distancia a los asentamientos humanos (m)	<1000	9
	1000-1500	8
	1500-2000	7
	2000-2500	5
	2500-3000	2
	3000-3500	1
	3500-4000	2
	4000-4500	5
>5000	9	
Distancia a recursos hídricos (m)	0 – 200	9
	200 – 300	9
	300 – 400	7
	400 – 500	6
	500 – 600	5

	600 – 700	1
	700 – 800	5
	800 – 1000	7
	>1000	9
Pendiente (%)	0 – 2	9
	2 – 12	1
	12 – 25	5
	25 – 50	9
Permeabilidad	Muy lenta	1
	Moderada	5
	Moderadamente rápida	8
	No aplicable	9
Susceptibilidad de inundación	Sin susceptibilidad	1
	Zonas propensas a inundaciones	9
Uso de suelo	Bosques (Tierra forestal)	9
	Vegetación Arbustiva y Herbácea	1
	Tierras agropecuarias	5
	Cuerpo de agua	9
	Zonas Antrópicas	9
	Otras tierras	9
Precipitación (mm)	900 – 1000	1
	1000 – 1500	1
	1500 – 2000	3
	2000 – 3000	5
Áreas protegidas	Zonas sin SNAP	1
	Zonas SNAP	9

Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024)

11.3.2 Análisis de las capas temáticas

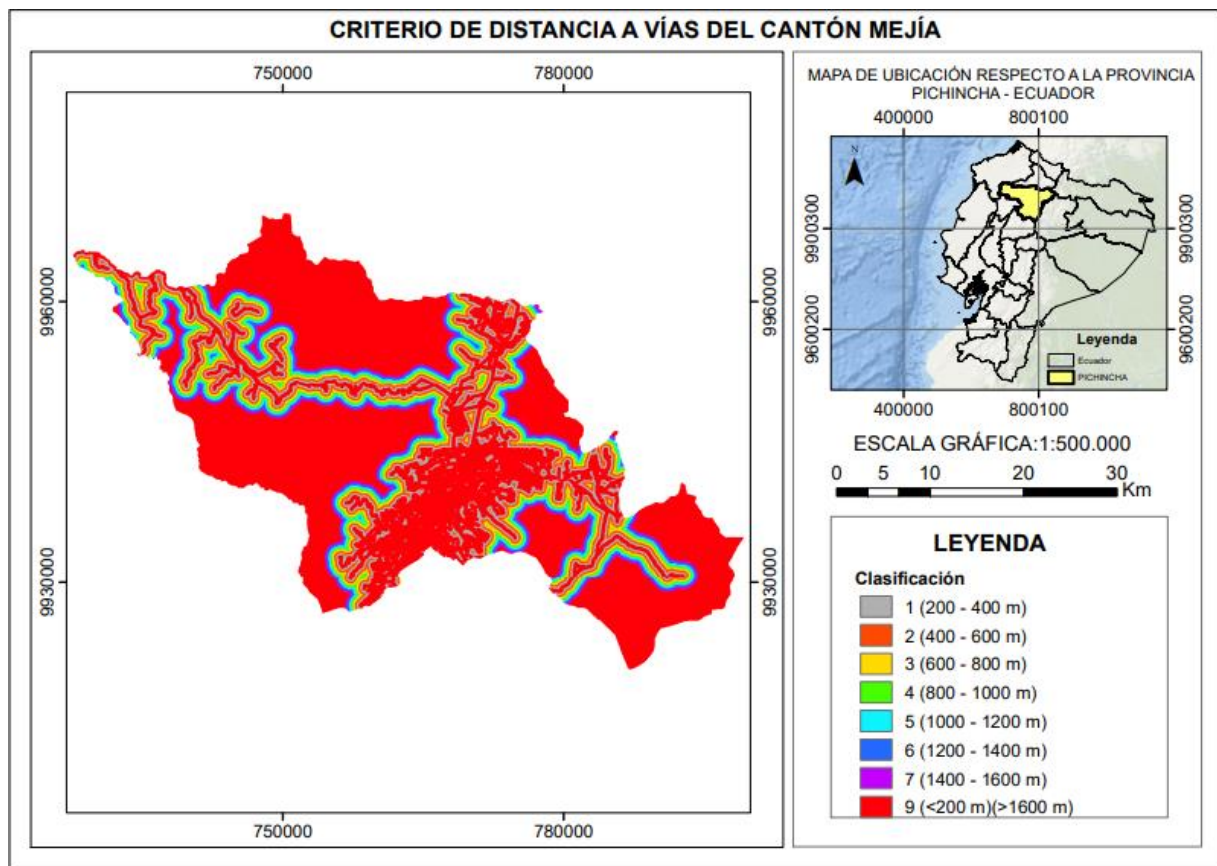
11.3.2.1 Distancia al aeropuerto

De acuerdo con Ospitia, (2020), indica la presencia de aves en un relleno sanitario de los desechos orgánicos es un factor crítico a considerar en el campo de la aviación, ya que la acumulación de los desechos orgánicos atrae a las aves, lo que puede presentar un riesgo significativo para la operación de un aeropuerto debido a posibles colisiones con aeronaves.

En este estudio una de las capas de principios a considerar es la separación al aeropuerto. Sin embargo, en el cantón Mejía no hay ningún aeropuerto; el aeropuerto más próximo es el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, ubicado en Tababela a aproximadamente 80 km de separación de la zona de estudio (Colmenares, 2024). Debido a la ausencia de un aeropuerto dentro del cantón, no se incluyó este criterio en el análisis ni se creó ningún mapa.

11.3.2.2 Distancia a vías

Figura 2. Capa de distancia a vías



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

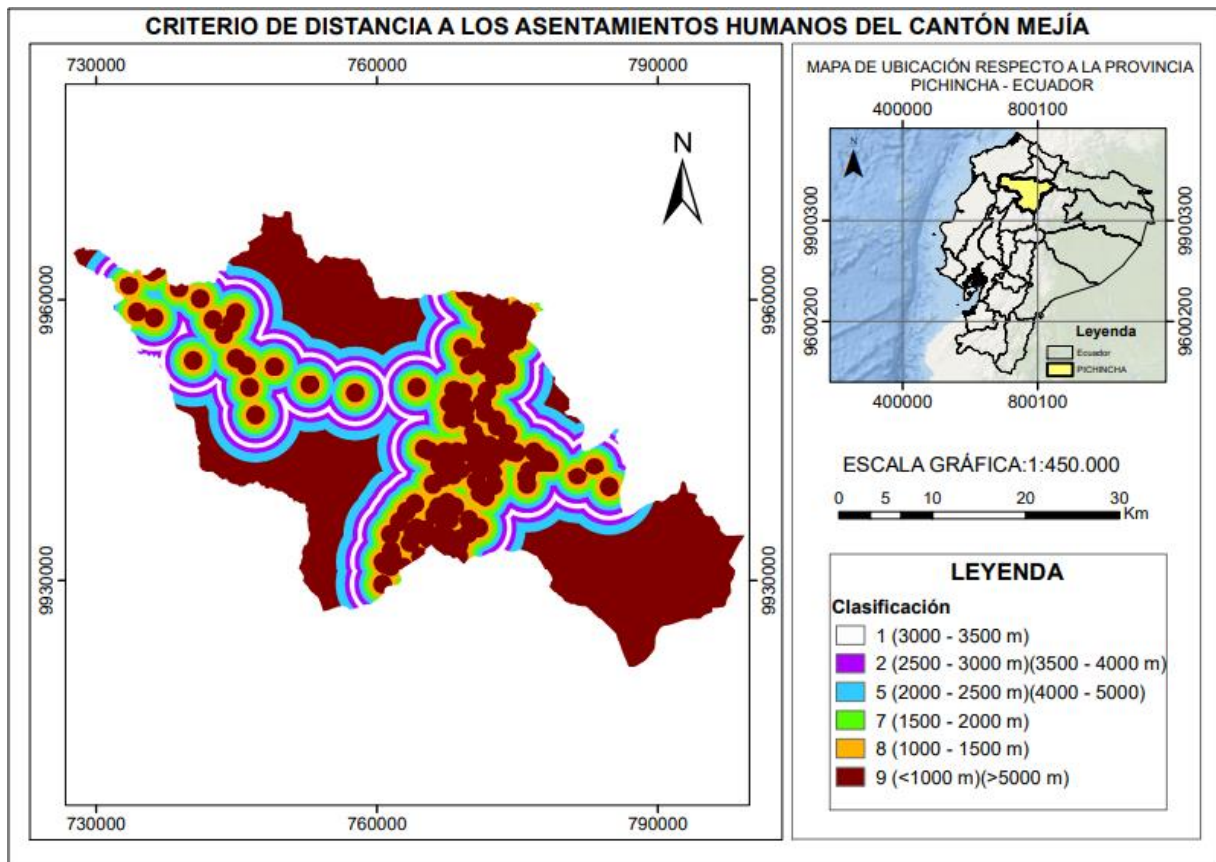
Según Charpentier et al., (2018), mencionaron que un factor relevante que se debe considerar para la localización del relleno sanitario es la cercanía de vías, además, todo relleno sanitario nuevo o existente, no debe situarse a una separación mayor a 500 m de una vía de primer orden o a separaciones no mayores de 600 m de caminos de segundo y tercer orden

En el Libro VI anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), menciona que los rellenos sanatorios deber estar situados cerca de vías que brinden fácil acceso a los vehículos que se encargan de la recolección de los residuos. De acuerdo con Sureshkumar et al., (2017), mencionaron que los rellenos sanitarios no deben ser construidos dentro de los 200 m de separación de alguna vía. La finalidad de eludir el impacto visual u otro problema que pueda presentar la activación del relleno sanitario, contribuyendo así al bienestar de la comunidad.

De acuerdo a los antecedentes dichos en este estudio, se asignó una idoneidad de 9 puntos a las separaciones de 0-200 metros y >1600 metros considerándolas como las peores opciones para la construcción del relleno sanitario, posteriormente a las separaciones intermedias recibieron datos de idoneidad más bajos, que aumentan conforme las separaciones, según las resoluciones obtenidas (figura 2) el 66,97% de la zona de estudio tiene a la idoneidad de 9 puntos, lo que significa que no son aptas para el montaje del relleno sanitario, además, solo el 7,93% de la zona representa una cantidad de idoneidad de 1 punto, siendo la mejor elección, finalmente, las zonas con datos de idoneidad de 2, 3, 4, 5, 6 y 7 puntos representan 5,74%, 4,91%, 4,25%, 3,73%, 3,40% y 3,05% respectivamente.

11.3.2.3 Distancia de los asentamientos humanos

Figura 3. Capa de distancia a los asentamientos



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

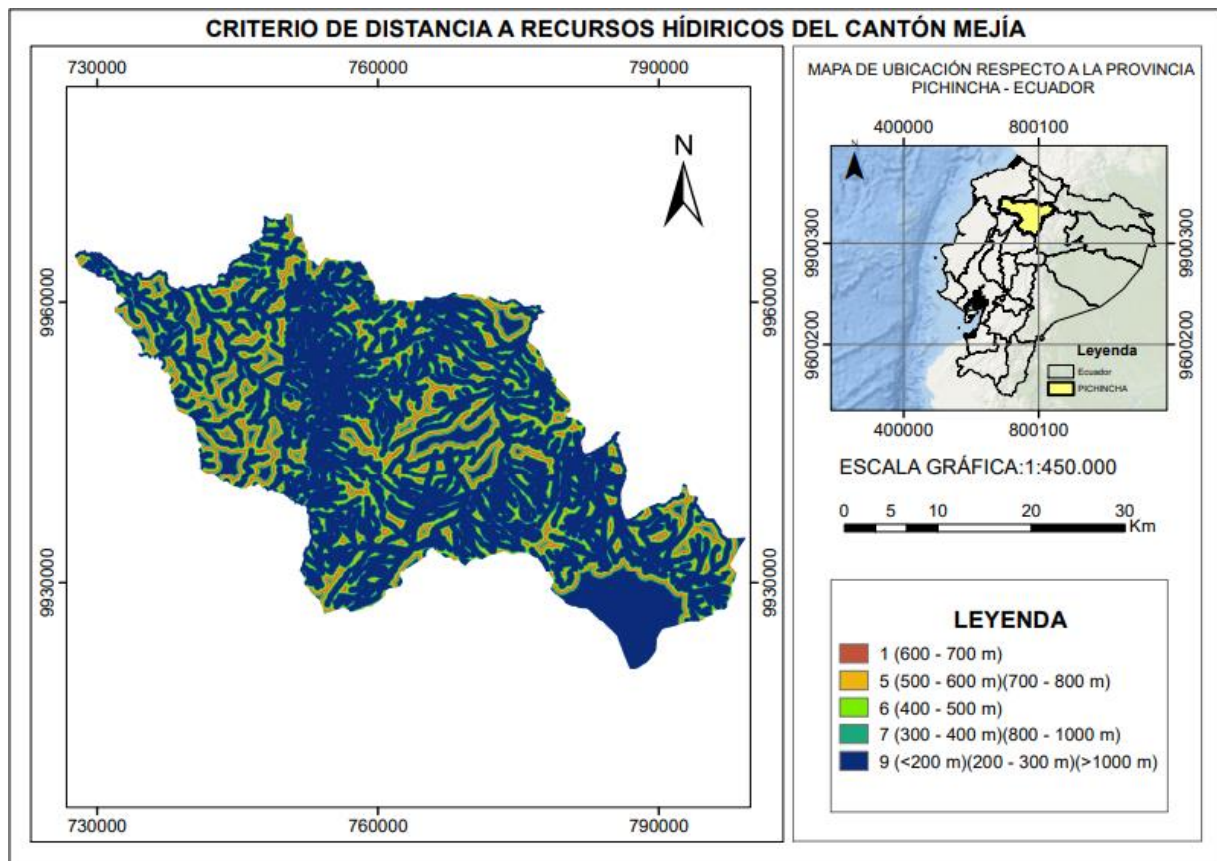
En el libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), menciona que la ubicación del relleno sanitario debe encontrarse a una separación mayor a 500 m de las viviendas más cercanas. Por otra parte Chida, (2020), menciona que la activación de un nuevo relleno sanitario debe encontrarse lo apropiadamente cerca de la ciudad para eludir que los costos del transporte sean menos costosos, pero también mencionan que debe estar lo apropiadamente a una separación adecuada para así eludir problemas a la vitalidad de la comunidad y el entorno. Para poder realizar este mapa temático de asentamientos humanos se tomó en cuenta zonas urbanas y zonas rurales.

En este estudio, se estableció que las separaciones entre 3000 y 3500 metros fueron consideradas con el valor de idoneidad de 1 punto, siendo la mejor elección. Para las separaciones mayores a 5000 metros se les asignó una cantidad de idoneidad de 9 puntos, al igual que las separaciones menores a 1000 metros, lo que les convierte en la peor elección para la construcción del relleno sanitario. El resultado obtenido (Figura 3) muestra que el 59,2% de

la zona de estudio con una idoneidad de 9 puntos, lo que limita considerablemente las zonas aptas para la construcción del relleno sanitario, además la idoneidad del 1 punto obtuvo una proporción de 4,3%. Por otro lado, la idoneidad de 2 puntos obtuvo una proporción de 8,8%, considerado como una elección excelente alternativa para el montaje del relleno sanitario. La idoneidad de 5 puntos cubre un 12,7% de la zona de estudio, finalmente las idoneidades de 7 y 8 puntos obtuvieron una proporción de 7% y 8,4% del territorio, la cual se considera no aptas para la decisión final.

11.3.2.4 Distancia a recursos hídricos

Figura 4. Distancia a recursos hídricos



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

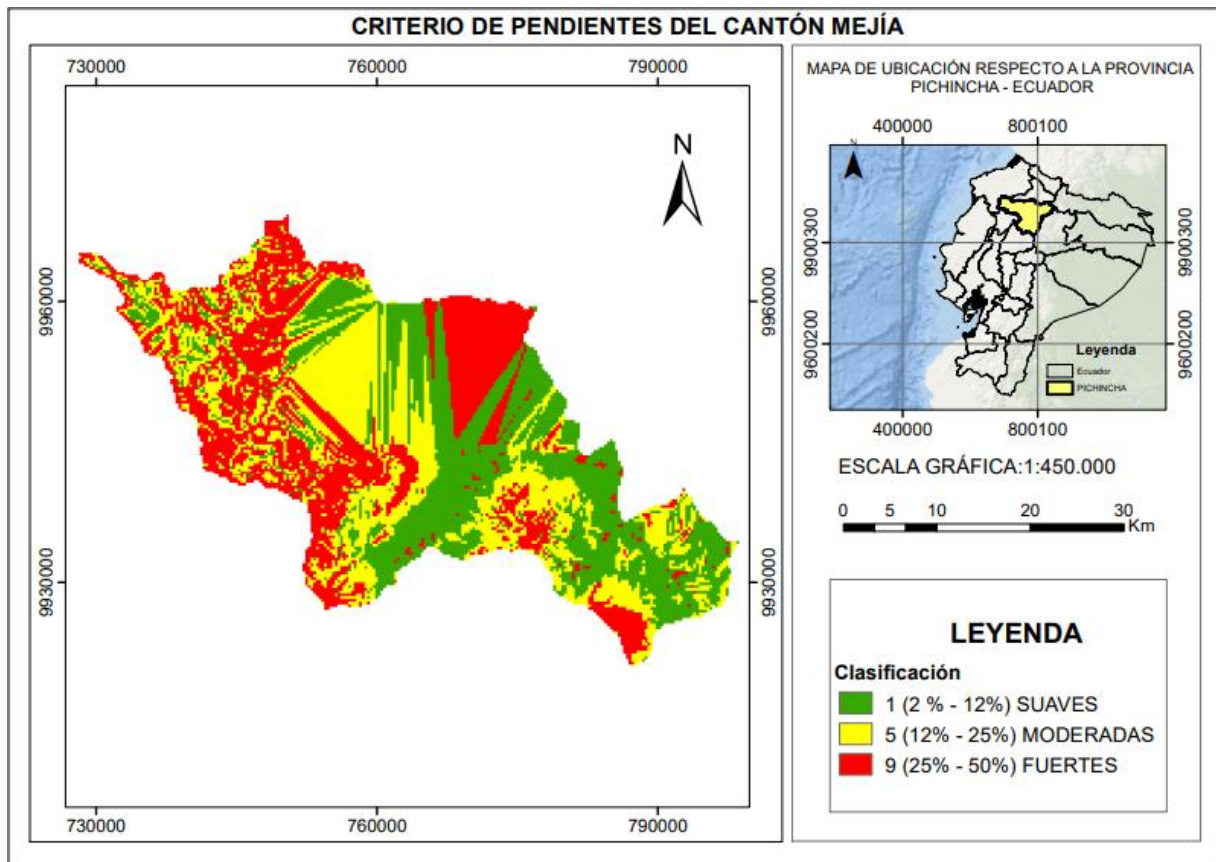
De acuerdo con lo establecido en el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), señala que el relleno sanitario no debe ubicarse a una distancia menor a los 200 metros, puesto que es una distancia susceptible a los ríos o fuentes hídricas, lo que podría causar un impacto ambiental significativo en caso de derrames de los lixiviados del relleno sanitario y la erosión de los residuos sólidos. Según Ávila, (2022), indica que el lixiviado se produce en los poros del aire del relleno sanitario, interfiriendo así en la migración de los gases, razón por la cual

Gutiérrez & Martínez, (2023), mencionan que la relación a la proximidad a cuerpos de agua, se recomienda que la distancia sea superior a 2 km siempre que sea posible. Posteriormente, tomando en cuenta con los autores y la normativa establecida en el Libro VI, se consideró una distancia mínima de 200 metros ya que es una distancia muy cercana a las fuentes hídricas y podría presentar riesgos ambientales.

En esta investigación, las distancias inferiores a 300 m de un cuerpo de agua obtienen un valor de idoneidad de 9, este valor es considerado con la opción menos apta para escoger el sitio final, por otra parte, a las distancias superiores a 1000 m de igual manera se les otorgo un valor de 9, esto es porque en los vertederos los lixiviados deben ser tratados antes de ser liberados en el cuerpo de agua más cercano. Obteniendo como resultado (Figura 4) que el 69.04% del área de estudio pertenece a una valoración de 9 puntos, el 12.76% parece a una valoración de 7 puntos, el 7.49% a una valoración de 6 puntos, el 7.42% como un valor de 5 puntos considerado un valor medianamente apto y finalmente el 3.26% con la valoración de 1 punto, se puede considerar las áreas aptas para la construcción de un nuevo relleno sanitario en el cantón Mejía.

11.3.2.5 Pendiente

Figura 5. Capa de pendiente



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

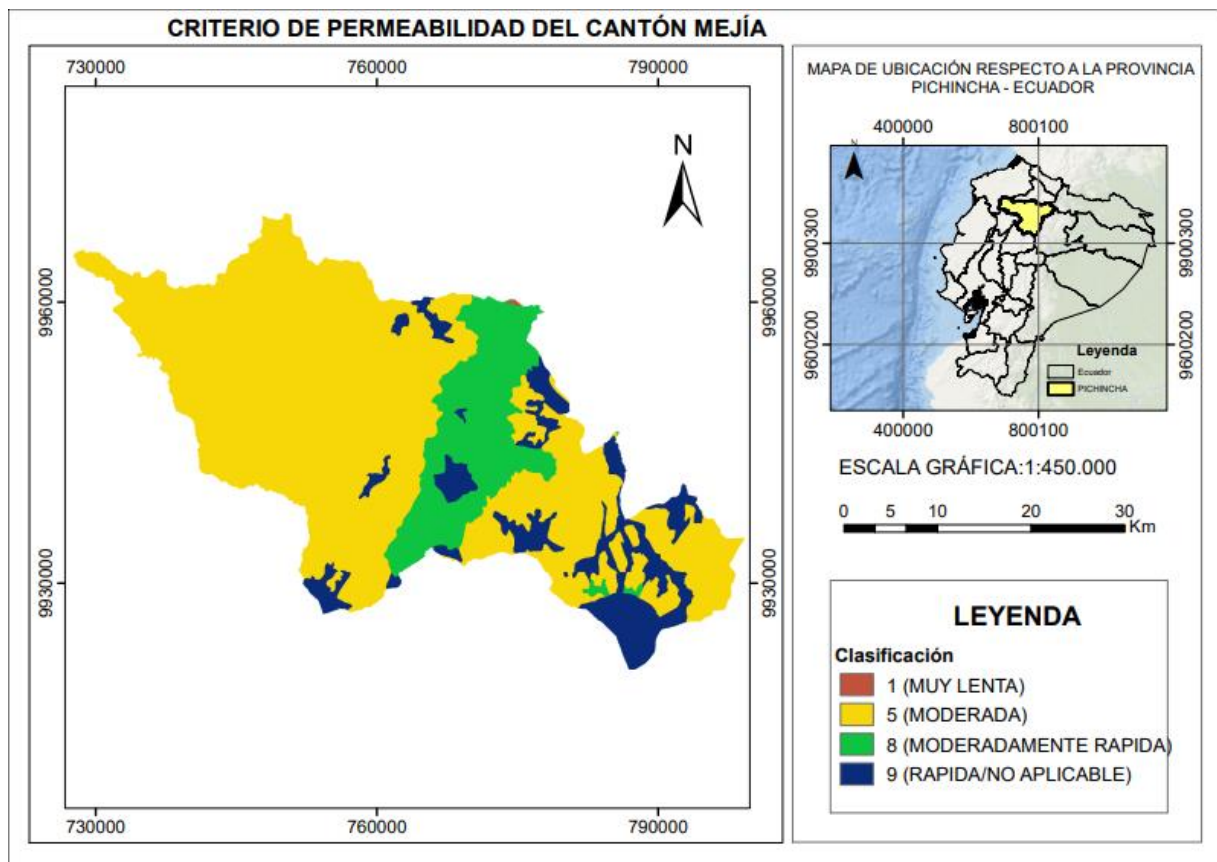
El criterio de pendiente no se encuentra establecido en el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), pero es fundamental ya que abarca aspectos cruciales de la ingeniería, como la estabilidad del terreno, el control de la erosión y la eficacia del drenaje en el lugar del relleno sanitario. Según el MAATE, (2012), el mapa de pendientes se clasifica como las pendientes suaves en un rango de 2% al 12%, las pendientes moderadas se encuentran entre el 12% al 25%, asimismo, las pendientes fuertes están en un rango de 25% al 50%. Esta clasificación es crucial para la toma de resoluciones, ya que permite una valoración más precisa de las características del lugar, simplificando equiparar zonas adecuadas para diferentes usos y garantizando una administración más eficiente de la zona de estudio.

Teniendo en cuenta la información obtenida anteriormente, en este análisis se asignaron datos de idoneidad de 1 punto para aquellas pendientes con rango de 2% al 12%, considerándolas la mejor elección. Además, se asignó una cantidad de idoneidad de 5 puntos a las pendientes en el rango 12% al 25% representando una cantidad decente. Por último, se asignó una cantidad

de idoneidad de 9 puntos a las pendientes menores al 2% y mayores al 25% como la peor elección, obteniendo como resolución (Figura 5), se muestra que el 28% del territorio del cantón Mejía puede ser utilizado para el montaje del relleno sanitario. Igualmente, la idoneidad de 5 puntos representa el 31% del territorio que se le puede sumar a la idoneidad de 1 punto, sin embargo, el 41% del territorio de cantón no es apto para el montaje del destino final.

11.3.2.6 Permeabilidad

Figura 6. Capa de permeabilidad



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

El Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), indica que para la construcción un relleno sanitario los suelos deben ser apto, con una cantidad de permeabilidad menor o igual a 1×10^{-7} cm/s, asegurando así que los lixiviados se muevan adecuadamente hacia las aguas subterráneas. Posteriormente, el valor de la permeabilidad no es un factor limitante, ya que en la actualidad los rellenos sanitarios se encuentran equipados con sistema de revestimiento en el fondo para recoger el lixiviado, con la finalidad de minimizar las fugas hacia el subsuelo. Además, en la misma normativa menciona que en caso de que el valor de permeabilidad se mayor se podría emplear alternativas de impermeabilización.

Según Briones, (2021), menciona que los suelos muy permeables o muy impermeables, es decir aquellos con conductividad hidráulica mayor 1×10^{-2} cm/s o menor a aproximadamente 1×10^{-6} cm/s, se debe considerar las medidas adicionales para asegurar la eficacia y la seguridad del relleno sanitario. De acuerdo con Jaramillo, (2021), la clasificación de la permeabilidad del suelo se fundamenta en la velocidad de infiltración del agua, la cual se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 11. Categoría de permeabilidad

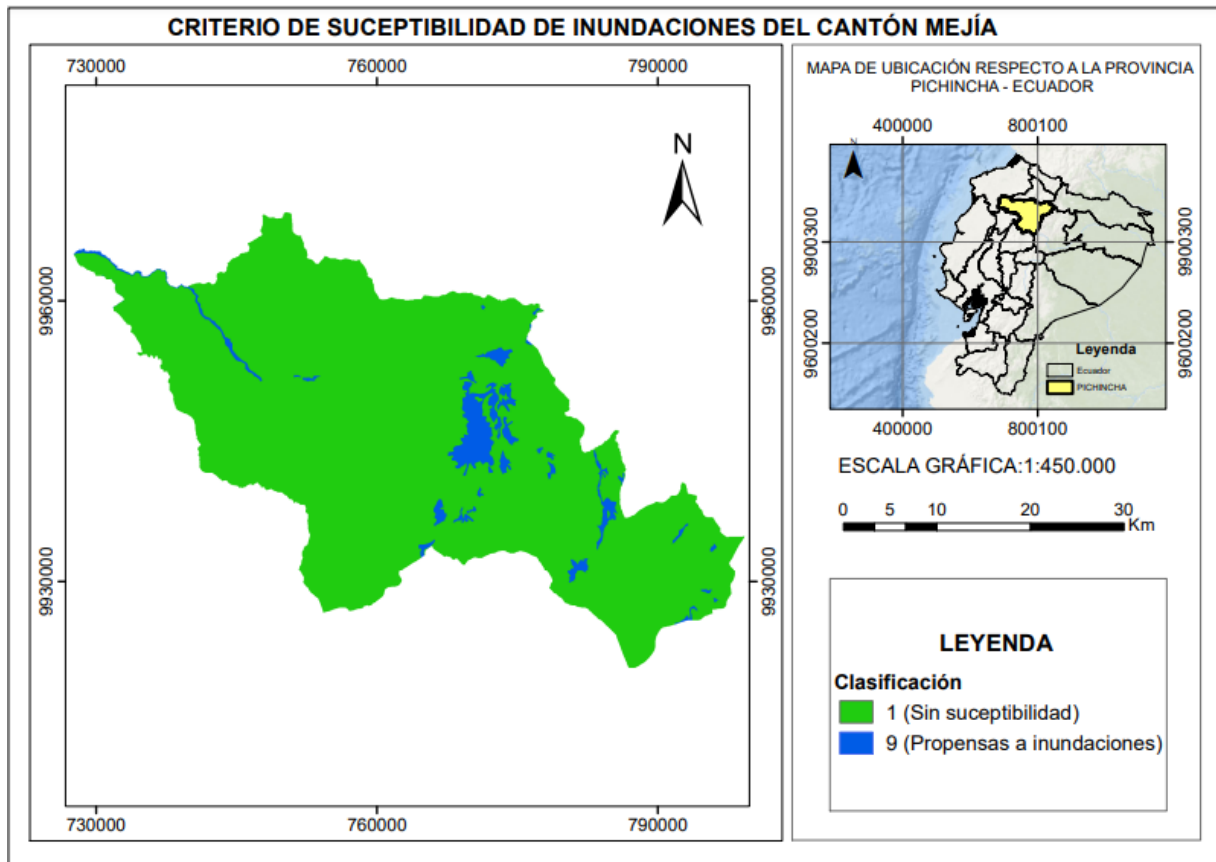
Ítems	Categoría de permeabilidad	Rango (mm/h)
1	Muy rápida	>250
2	Rápida	150 – 250
3	Modernamente rápida	65 – 150
4	Moderada	20 – 65
5	Moderadamente lenta	5 – 20
6	Lenta	1,5 – 5
7	Muy lenta	<1,5

Fuente: Jaramillo, (2021).

Considerando lo antes mencionado, en esta indagación el rango de velocidad de 20-65 mm/h fue considerado como una posible alternativa para la edificación de un nuevo relleno sanitario en el Cantón Mejía con una cantidad de idoneidad de 5 puntos, consecutivamente las velocidades más bajas resultaron en una idoneidad deficiente, mientras que las velocidades más altas obtuvieron una valoración alta, indicando que estas últimas representaban las opciones más desfavorables. Adquiriendo como resultado (Figura 6) que el 14,92% y el 12,23% correspondientes a una idoneidad de 8 y 9 puntos no son aptos para un nuevo relleno sanitario, por otro lado, el 72,8% con una idoneidad de 5 puntos se consideró como un área medianamente apta y por último el 0,038% con una idoneidad de 1 punto, la cual se considera como la mejor elección para instalar un nuevo relleno sanitario.

11.3.2.7 Susceptibilidad de inundaciones

Figura 7. Capa de susceptibles de inundación

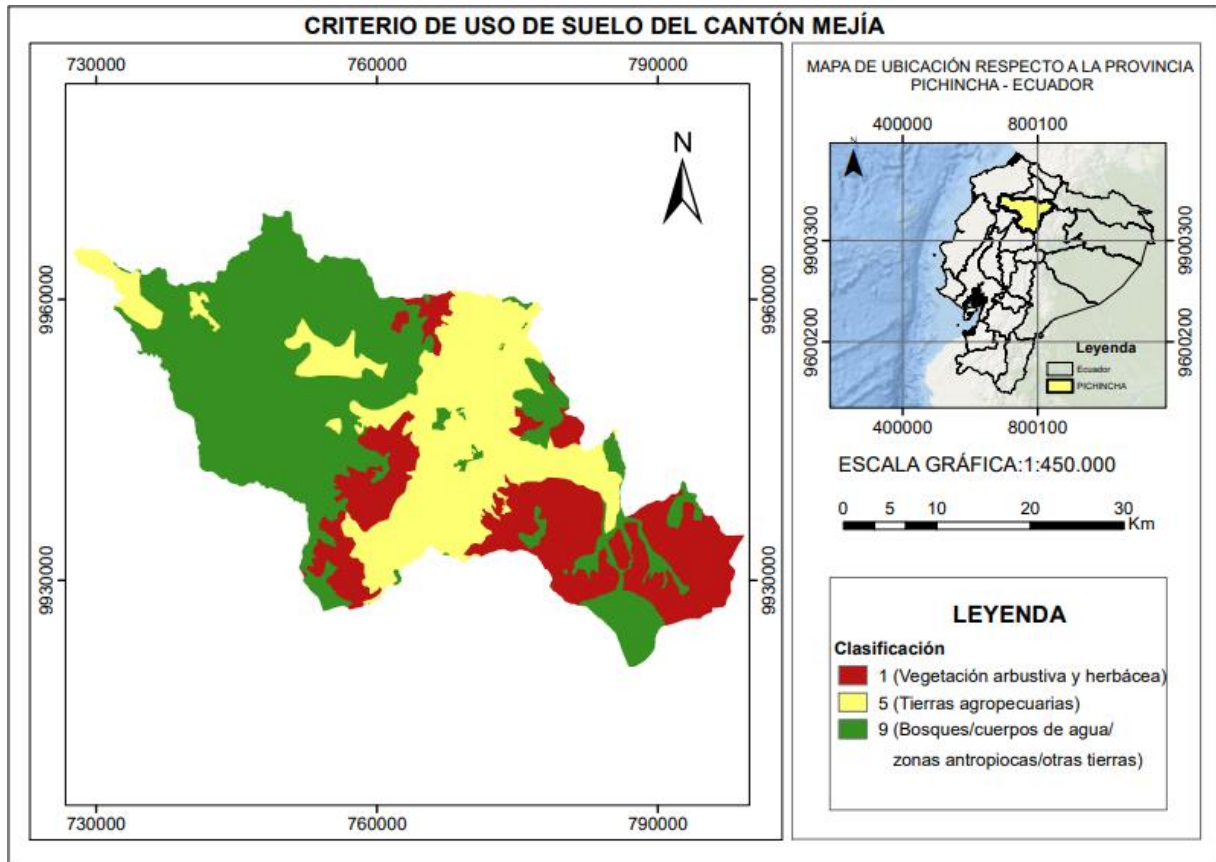


Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

De acuerdo con el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), se establece que un relleno sanitario no debe ubicarse en zonas propensas a inundaciones, ya que esto puede comprometer la operación del relleno sanitario y poner en peligro la seguridad del personal, además de aumentar la posibilidad de polución ecológica. Por otro lado, las zonas susceptibles a inundaciones deben detectarse no solo para activar estrategias adecuadas de administración de territorio, sino también para garantizar medidas de emergencia efectivas en la ubicación del relleno sanitario (Anchelía & Mori, 2020). Adquiriendo como resultado (Figura 7) que el 4.24% perteneciente a una idoneidad de 5 puntos puede tener zonas con riesgo de inundaciones, mientras que el 95.75% con una idoneidad de 1 punto simboliza zonas aptas para el montaje de un nuevo relleno sanitario.

11.3.2.8 Uso de suelo

Figura 8. Capa de uso de suelo



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Siguiendo las directrices del Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), es relevante que los rellenos sanitarios no se deben ubicar en zonas agrícolas ni en componentes de paisaje natural, es decir en zonas sin intervención humana como agricultura, bosques, y humedales. El criterio está diseñado para proteger el entorno y eludir posibles conflictos con la comunidad contra la ubicación del relleno sanitario de residuos sólidos. De acuerdo con Camargo & Baque, (2023), el criterio de uso de suelo presenta muchas clasificaciones, por ende, se optó por reclasificarlas empleando la clasificación que se presenta en la tabla 12.

Tabla 12. Leyendas temáticas para el análisis de uso de tierra

Nivel I	Nivel II	Nivel III
Tierra Agropecuaria	Cultivo anual	Cereales
	Semipermanentes	Tallo
	Mosaico agrícola y ganadero	Mosaico de cultivos
Zonas Antrópicas	Artificializado no agrícola	Zonas verdes
	zonas verdes artificiales	
Bosque (Tierra forestales)	Extracción minera	Eliminación de residuos
	Plantaciones forestales	
	Bosque nativo	Denso bosque natural
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Cobertura no vegetal	Zonas arenosas naturales
	Páramo	
	Vegetación arbustiva	Matorrales abiertos
	Vegetación herbácea	Densos matorrales
Cuerpos de agua	Superficie de agua	Agua continental
Otras tierras	Área sin cobertura vegetal	
	Glaciar	

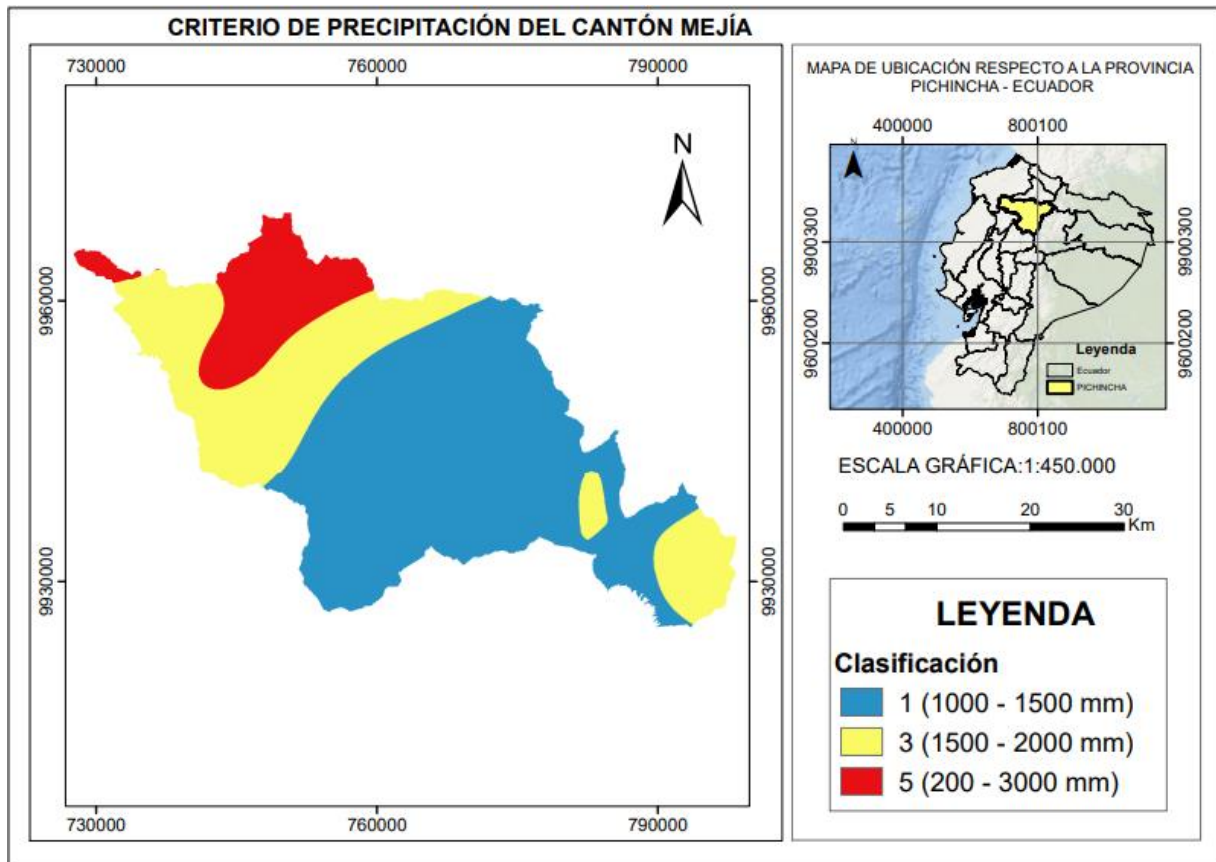
Fuente: Camargo & Baque, (2023).

Nota. Para clasificar el uso de suelo, se empleó el nivel superior de clasificación, resultando en la identificación de 6 clases de uso de suelo (Nivel I).

En esta indagación se determinó que las categorías de bosque, cuerpos de agua, zonas antrópicas y otras tierras (depósito de arena) no son aptas para el montaje de un relleno sanitario, por lo que se les asignó una idoneidad de 9 puntos. En contraste, las tierras agropecuarias recibieron una puntuación de 5 puntos, mientras que las zonas de vegetación arbustiva y herbácea obtuvieron el valor más alto de 1 punto, siendo consideradas las opciones más adecuadas para la resolución concluida, obteniendo como resolución (Figura 8) que el 47% representa la peor elección para la edificación de un relleno sanitario, el 30% se considera un área medianamente apta y solo el 23% se considera apta la edificación de un relleno sanitario.

11.3.2.9 Precipitación

Figura 9. Capa de precipitación

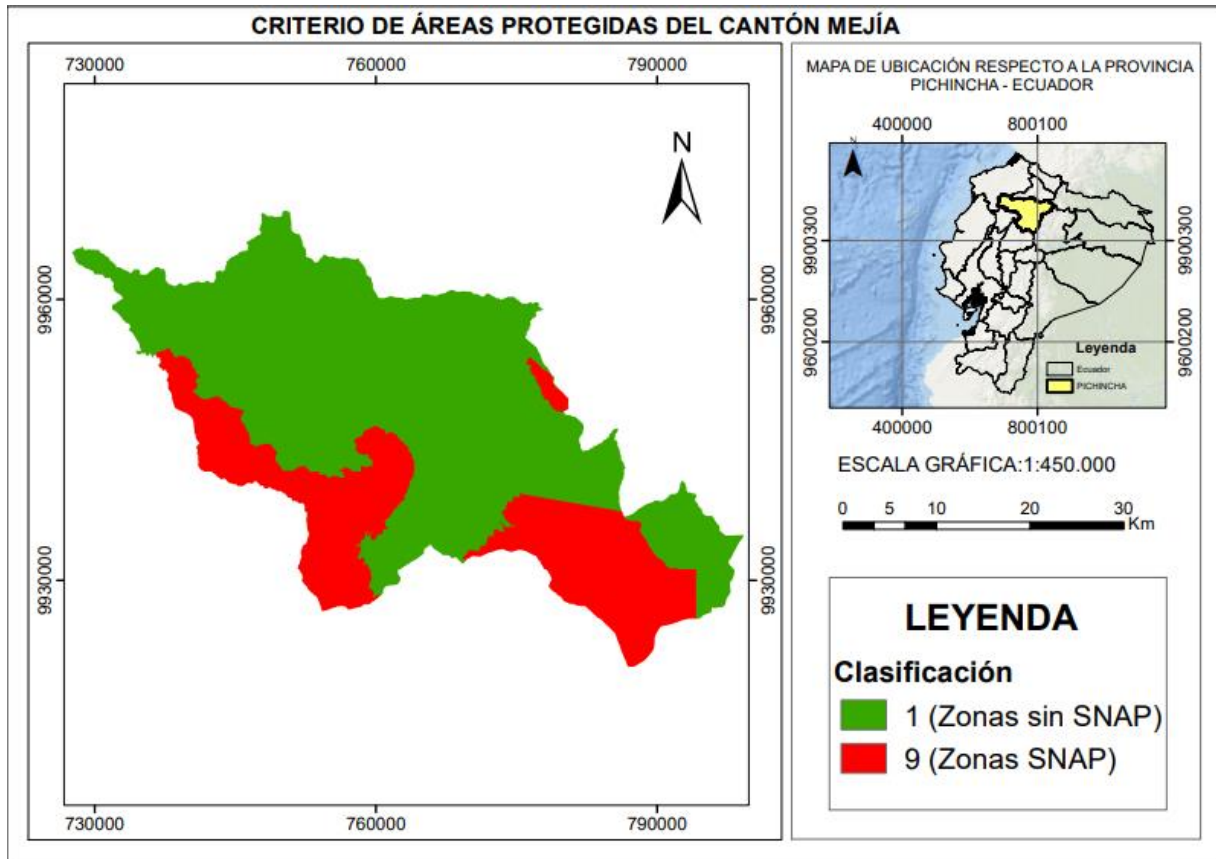


Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

En la normativa ecológica vigente la precipitación no está establecida como un criterio, pero es relevante considerar ya que los rellenos sanitarios no se pueden construir si existe precipitaciones ya que a mayor precipitación es mayor la porción de lixiviados que se generará. Por tal motivo Cobos et al., (2017), contemplaron que la precipitación para la edificación de un relleno sanitario debe ser de 0 a 99 mm la más adecuada y hasta 2499 mm se considera un área admisible. Por ello, en esta indagación se asignó una cantidad de idoneidad de 1 a las zonas con una precipitación entre 1000 mm y 1500 mm, considerándolas como las más adecuadas para el montaje del relleno sanitario. En cambio, a medida que la precipitación aumenta, también lo hace la idoneidad de las zonas. Adquiriendo como resolución (Figura 9) que el 57.56% con una idoneidad de 1 punto son consideradas zonas óptimas para instalar un relleno sanitario, mientras que el 29.72% con una idoneidad de 3 puntos, se considera como zonas medianamente aptas, pero si a este se le suma el 12.70% con una idoneidad de 5 puntos aumentan la posibilidad de encontrar una zona favorable para el montaje de un relleno sanitario.

11.3.2.10 Áreas protegidas

Figura 10. Capa de áreas protegidas



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

El criterio de zonas protegida no se encuentra establecido en el TULSMA, pero es fundamental para garantizar que la selección de lugares no interfiera con zonas de alto valor ecológico o que desempeñan funciones ecológicas. Según Ministerio del Ambiente, (2020), se prohíbe ubicar el relleno sanitario en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), debido a que incluye bosques y vegetación protegidos, patrimonio forestal del Estado, zonas intangibles y zonas de amortiguamiento. Al eludir la proximidad a zonas protegidas, se busca proteger estos espacios naturales y reducir peligros ecológicos, promoviendo una administración adecuada y sostenible de los residuos mientras se respeta la integridad de los ecosistemas circundantes y el bienestar de las comunidades vecinas.

En este estudio (Figura 10), se asignó el valor de idoneidad de 9 puntos a las zonas dentro del SNAP, considerándolas como no aptas para la edificación del relleno sanitario, mientras que en

las zonas fuera del SNAP, se signó el valor de idoneidad de 1 punto, considerándolas como la más aptas para dicha edificación, obteniendo como resolución que el 71% de la zona es apta para el progreso del relleno sanitario, mientras que el 29% considerando como no apta para dicha edificación de esta.

11.3.3 Ponderación de los criterios utilizando el método del proceso analítico jerárquico (AHP)

Para la ponderación de los principios en este estudio, se elaboró una matriz de equiparación por pares basándose en la revisión exhausta de la literatura relacionada con el tema de indagación, la cual se recopiló datos pertinentes (Tabla 13). Es fundamental recordar que los principios enumerados en la primera columna de la matriz son los numeradores, mientras que los principios en la primera fila funcionan como denominadores, garantizando una evaluación precisa y fundamentada.

Tabla 13. Matriz de comparación por pares

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Distancia a vías (1)	1	1	3/1	6/1	9/1	1	7/1	1	6/1
Distancia a los asentamientos humanos (2)	1/3	1	1/3	5/1	7/1	3/1	1	6/1	1/7
Distancia a recursos hídricos (3)	5/1	7/1	1	3/1	3/1	1	6/1	1	1
Pendientes (4)	1/9	1/5	5/1	1	3/1	4/1	1/3	1	1/3
Permeabilidad (5)	1/5	1/7	1/2	1/3	1	5/1	1	3/1	7/1
Susceptibilidad a inundaciones (6)	1/5	1/3	1	1/3	5/1	1	5/1	1/3	1/6
Uso de suelo (7)	1	1	1/3	5/1	1	1/3	1	5/1	6/1
Precipitación (8)	4/1	3/1	1	5/1	5/1	1	6/1	1	1/3
Áreas protegidas (9)	1/3	1/8	1/3	3/1	1/5	1/8	7/1	3/1	1
Total	12,18	13,80	12,50	28,67	34,20	16,46	34,33	21,33	21,98

Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Una vez realizo la matriz de ponderación de los principios, se calculó la matriz normalizada (Tabla 14), aplicando la metodología previamente empleada, obtenido así una matriz que muestre las proporciones relativas de cada criterio en relación con los demás.

Tabla 14. Resultado de la matriz normalizada y ponderación de los criterios

Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Ponderación
Distancia a vías	0,08	0,07	0,24	0,21	0,26	0,06	0,20	0,05	0,27	16,13 %
Distancia a los asentamientos humanos	0,03	0,07	0,03	0,17	0,20	0,18	0,03	0,28	0,01	11,16 %
Distancia a recursos hídricos	0,41	0,51	0,08	0,10	0,09	0,06	0,17	0,05	0,05	16,87 %
Pendientes	0,01	0,01	0,40	0,03	0,09	0,24	0,01	0,05	0,02	9,57 %
Permeabilidad	0,02	0,01	0,04	0,01	0,03	0,30	0,03	0,14	0,32	10 %
Susceptibilidad a inundaciones	0,02	0,02	0,08	0,01	0,15	0,06	0,15	0,02	0,01	5,64 %
Uso de suelo	0,08	0,07	0,03	0,17	0,03	0,02	0,03	0,23	0,27	10,46 %
Precipitación	0,33	0,22	0,08	0,17	0,15	0,06	0,17	0,05	0,02	13,82 %
Áreas protegidas	0,03	0,01	0,03	0,10	0,01	0,01	0,20	0,14	0,05	6,35 %
Total										100%

Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024)

A partir del enfoque del AHP, las resoluciones de equiparación por pares fueron utilizados para obtener las prioridades entre los principios; separación de vías (1), separación a los asentamientos humanos (2), separación a bienes hídricos (3), pendiente (4), permeabilidad (5), susceptibilidad a inundaciones (6), uso suelo (7), precipitación (8) y zonas protegidas (9). El criterio de separación a bienes hídricos emerge como el más relevante con una ponderación de 16,87 %, dado que es fundamental que el relleno sanitario se ubique a una separación mínima de 200 m de cuerpos de agua, para permitir la descargar de los lixiviados tratados, y al mismo tiempo eludir la polución en caso de inundaciones o precipitaciones intensas.

Separaciones a vías también recibió una ponderación de 16,13 %, considerando que resulta crucial para garantizar el acceso idóneo al relleno sanitario, lo que simplifica el transporte eficiente de desechos y ayuda a reducir los costos operativos, al estar cerca de las vías primordiales se optimiza en la logística del transporte minimizando los gastos relacionados con los residuos sólidos.

Considerando la relevancia de ubicar el relleno sanitario a una separación mayor a 500 metros de los asentamientos humanos, se le asignó una ponderación de 11,16 %. Por lo tanto, esta separación es fundamental para mínima el impacto negativo en la vitalidad y la calidad de existencia de las comunidades aledañas.

El criterio de la susceptibilidad a inundaciones se consideró una ponderación un poco baja, debido a que en este estudio solo se ocupó únicamente las zonas claramente propensas a inundación como no aptas para el montaje del relleno sanitario, la cual se le asignó la ponderación de 5,64 %. Esto se debe a que en el enfoque principal fue eludir la ubicación del relleno sanitario en zonas con alto riesgo de inundación.

Según información proporcionada por el GAD Municipal del cantón Mejía, la precipitación anual promedio del cantón Mejía es de aproximadamente 900 a 3000 mm, la cual varía según las diferentes parroquias y la altitud. Además, a este criterio se le proporcionó la ponderación de 13,82 %.

Considerando los lineamientos del Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015), la permeabilidad debe ser menor o igual a 1×10^{-7} cm/seg, aunque si es mayor podría emplear alternativas impermeabilizantes. Posteriormente a este criterio se le consideró una ponderación de 10 %, debido a que, si el relleno sanitario se ubica en terrenos que contengan una permeabilidad moderada se podrá emplear sistemas de impermeabilización con la finalidad de eludir la filtración de los lixiviados.

Para disponer la siguiente etapa del proceso de asignación de los pesos, se calculó la señal de congruencia (CR), puesto que el cálculo es fundamental para garantizar la coherencia y la fiabilidad de los pesos asignados a cada criterio en el análisis.

Índice de consistencia

[8]

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$CI = \frac{10,08 - 9}{9 - 1}$$

$$CI = 0,135$$

Índice de consistencia aleatoria

[9]

$$RI = \frac{198(n - 2)}{n}$$

$$RI = \frac{198(9 - 2)}{9}$$

$$RI = 1,54$$

Razón de consistencia

[10]

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CR = \frac{0,135}{1,54}$$

$$CR = 0,08$$

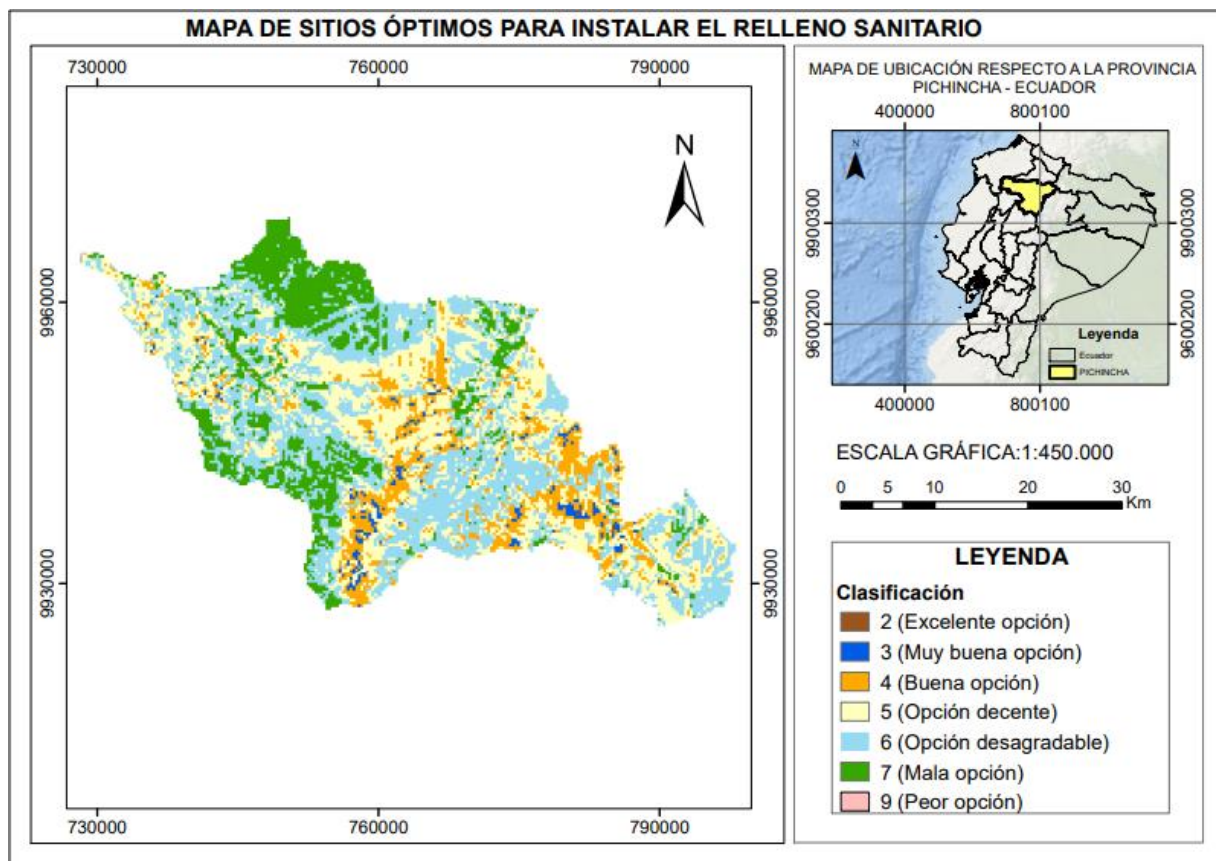
Al introducir los datos a la ecuación [9] y en la ecuación [10], se determinó que la señal de congruencia (CR) es 0,08, lo cual está por debajo del límite de 0,1. Además, esto demuestra que la matriz es consistente y fiable, lo que significa que los pesos calculados son válidos y

pueden ser reutilizados de manera confiable en el análisis, garantizando así que las resoluciones sean precisas y sólidos para fundamentar decisiones.

11.3.4 Mapa de sitios óptimos (idoneidad)

Para realizar el mapa de idoneidad que muestre los lugares más idóneos para el montaje del relleno sanitario en el cantón Mejía (Figura 11), se empleó el utensilio *Weighted Overlay*, combinando diversas capas de principios, como separación a vías, separación a los asentamientos humanos, separación a bienes hídricos, pendiente, permeabilidad, susceptibilidad de inundaciones, uso de suelo, precipitación y zonas protegidas. Estas capas fueron generadas en ArcGIS 10.8 y ponderadas mediante el método de Saaty o también conocido como AHP, este proceso permite visualizar claramente las zonas más y menos aptas, simplificando una toma de decisiones más precisas.

Figura 11. Mapa final de idoneidad para el relleno sanitario en el cantón Mejía



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

El mapa final de idoneidad reveló que dentro del cantón Mejía no existen lugares que alcancen el perfil más alto, presentando por el valor de 1. Sin embargo, se identificaron diferentes zonas

adecuadas para el montaje del relleno sanitario, las cuales presentan diferentes perfiles de lugares óptimos. Las resoluciones obtenidas muestran el 54,25 % de la zona de estudio no es adecuada para el montaje del relleno sanitario, mientras que el 31,98 % tiene una idoneidad moderada para dicho propósito, apenas el 1,66 % de la zona estudiada se clasifica como óptima para la ubicación de un relleno sanitario (Tabla 15).

Tabla 15. Ocupación territorial de acuerdo con el valor de idoneidad

Idoneidad	Porcentaje ocupacional territorial	Área (ha)	Área (km²)
2	0,03 %	46,93	4,6
3	1,66 %	2246,72	22,46
4	12,07 %	16309,38	163,09
5	31,98 %	43205,24	432,05
6	37,11 %	50132,29	501,32
7	17,06 %	23054,31	230,54
9	0,08 %	112,98	1,12

Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Dado que no se encontraron lugares óptimos de 2 puntos debido a que las zonas se encontraban dentro de las zonas agrícolas y ganaderas, se optó por considerar a los lugares con valores de 3 puntos, lo que representa una muy buena elección para el montaje del relleno sanitario en el cantón Mejía.

11.4 Encuestas a la población

Mediante la fórmula para calcular el tamaño de muestra, se obtuvo como resultado un total de 384 personas para realizar la encuesta, con un nivel de confianza de 95% y con un margen de error del 5%.

Las encuestas se distribuyeron entre las 8 parroquias que tiene el cantón Mejía, según la cantidad de población en cada parroquia; Machachi conto con 125 personas encuestadas, Cutuglagua con 65 personas encuestadas, Alóg con 40 personas encuestadas, Tambillo con 35 personas encuestadas, Uyumbicho con 35 personas encuestadas, Aloasí con 35 personas encuestas, Tandapi con 25 personas encuestadas y finalmente el Chaupi con 24 personas encuestadas. Mediante la fórmula para calcular la medida de muestra, se obtuvo como

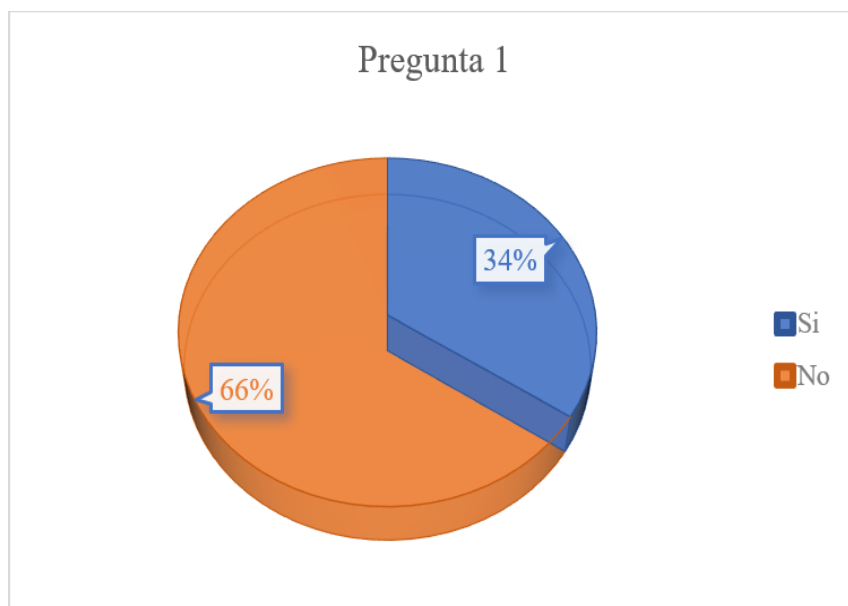
resolución un total de 384 personas para realizar la encuesta, con un perfil de confianza de 95% y con un margen de error del 5%.

Las encuestas se distribuyeron entre las 8 parroquias que tiene el cantón Mejía, según la cantidad de población en cada parroquia; Machachi conto con 125 personas encuestadas, Cutuglagua con 65 personas encuestadas, Alóag con 40 personas encuestadas, Tambillo con 35 personas encuestadas, Uyumbicho con 35 personas encuestadas, Aloasí con 35 personas encuestas, Tandapi con 25 personas encuestadas y finalmente el Chaupi con 24 personas encuestadas.

Pregunta 1. ¿Sabe usted que es un relleno sanitario y cuál es su función?

En la figura 12 se da a conocer los resultados obtenidos de la pregunta 1, tras realizar las encuestas a la población del cantón Mejía.

Figura 12. Porcentaje de la población que conoce que es un relleno sanitario y cuál es su función



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

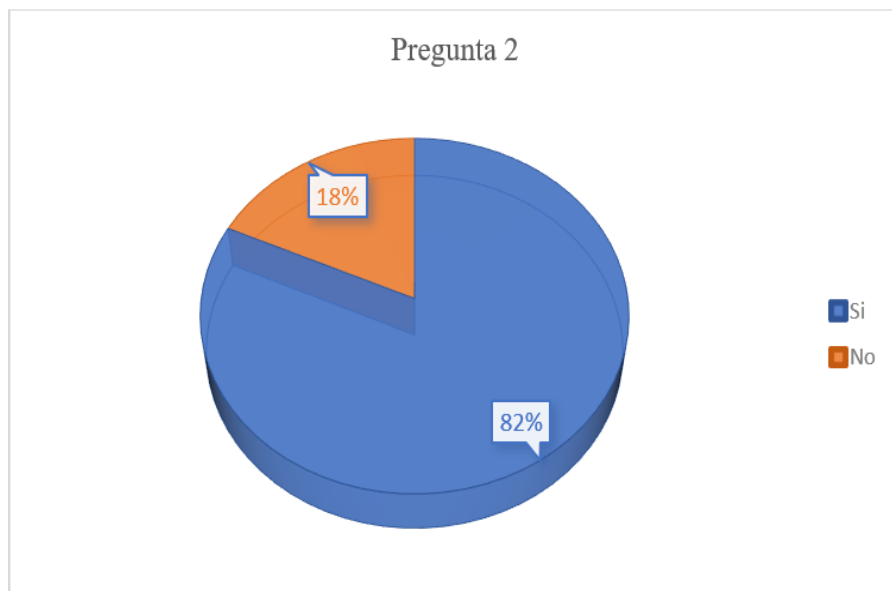
Según los datos conseguidos en la encuesta efectuada a la colectividad del cantón Mejía, se indica que el 66% de la colectividad equivalente a 253 personas desconocen que es un relleno sanitario y cuál es su función y solo un 34% que equivale a 131 personas conocen como funciona un relleno sanitario. La falta de educación o la falta de información son algunos factores por la cual las personas desconocen que es un relleno sanitario, cuál es su función y su

relevancia. Además, Castillo, (2018), menciona que la mayoría de las personas que desconocen que es un relleno sanitario se encuentra en una zona rural donde no llega información acerca de temas ecológicos.

Pregunta 2. ¿Considera usted importante la implementación de otro relleno sanitario en el cantón Mejía?

En la figura 13, se dan a conocer los resultados obtenidos en la pregunta 2, tras realizar la encuesta a la población del cantón Mejía.

Figura 13. Porcentaje de la población que considera importante la implementación de otro relleno sanitario en el cantón Mejía



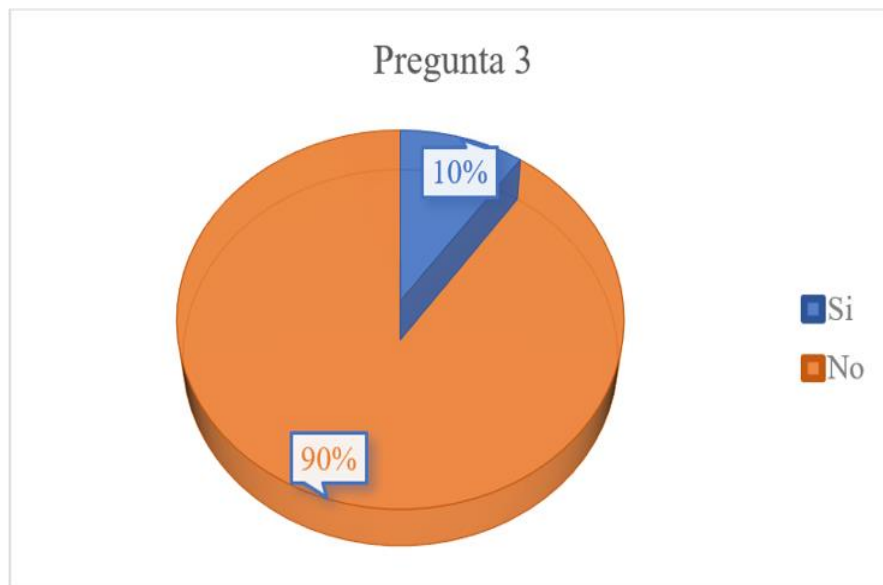
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Según los datos conseguidos en la encuesta efectuada a la colectividad del cantón Mejía, se indica que el 82% de la población equivalente a 315 personas están de acuerdo en que se implemente un nuevo relleno sanitario, mientras que el 18% que equivale a 69 personas no está de acuerdo que se implemente otro relleno sanitario. El 82% de las personas encuestadas tienen conocimiento a leve rasgo de la relevancia de un relleno sanitario, y cuáles son los beneficios ecológicos. Aunque esta proporción indica que la mayoría tiene al menos un conocimiento básico sobre el tema, el perfil de comprensión de cómo los rellenos sanitarios contribuyen a la gestión efectiva de residuos y la protección del entorno puede ser limitado.

Pregunta 3. ¿Está usted al tanto de cuál es el destino final de los residuos sólidos generados en el cantón Mejía?

En la figura 14, se dan a conocer los resultados obtenidos de la pregunta 3, después de realizar las encuestas a la población del cantón Mejía.

Figura 14. Porcentaje de la población que conoce el destino final de los residuos sólidos generados en el cantón Mejía



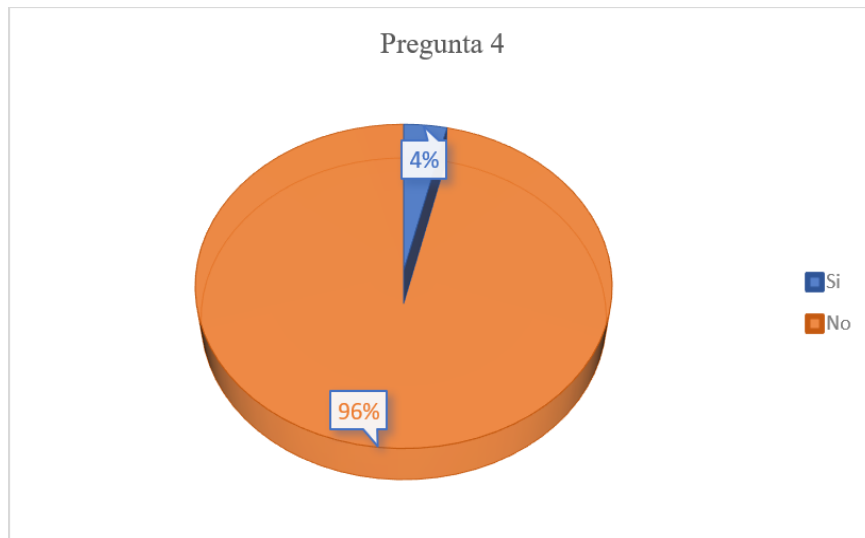
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Según los datos conseguidos en la encuesta efectuada a la población del cantón Mejía, se indica que el 90% de la colectividad equivalente a 346 personas desconocen cuál es la disposición concluida que se da a sus residuos sólidos, mientras que solo el 10% que equivale a 38 personas tienen conocimiento cuál es la disposición final de sus residuos sólidos. Castillo, (2018), menciona que la falta de información adecuada ha originado que las personas no se familiaricen con el procedimiento y destino final de los residuos sólidos, esta carencia de conocimiento impide que la colectividad comprenda plenamente cómo se gestionan y procesan los RESIDUOS que generan en su existencia cotidiana.

Pregunta 4. ¿Conoce usted la cantidad de los residuos sólidos que se generan día a día en el cantón Mejía?

En la figura 15 se dan a conocer los resultados obtenidos de la pregunta 4 después de realizar la encuesta a la población del cantón Mejía.

Figura 15. Porcentaje de la población que conoce la cantidad de residuos sólidos que se genera día a día en el cantón Mejía



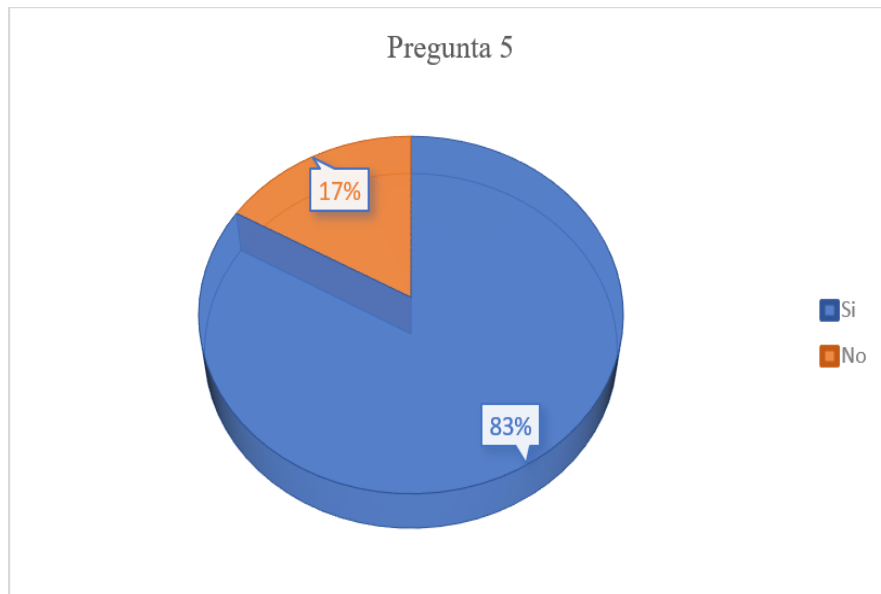
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Según los datos conseguidos en la encuesta efectuada a la población del cantón Mejía, se indica que el 4% de la población equivalente a 15 personas dicen conocer cuál es la porción de residuos sólidos que se generan día a día en el Cantón Mejía, mientras que el 96% que equivale a 369 personas manifiesta no conocer la porción de residuos sólidos que se genera, esto puede deberse a la falta de información accesible y datos relacionados con la generación de residuo, lo cual ha contribuido a que las personas desconozcan totalmente la porción de residuos que se generan día a día en el cantón.

Pregunta 5. ¿Cree usted que la implementación de otro relleno sanitario en el cantón Mejía se beneficioso?

Posteriormente, en la figura 16 se dan a conocer los resultados obtenidos de la pregunta 5 después de realizar la encuesta a la población del cantón Mejía.

Figura 16. Porcentaje de la población que está de acuerdo en la implementación de otro relleno sanitario



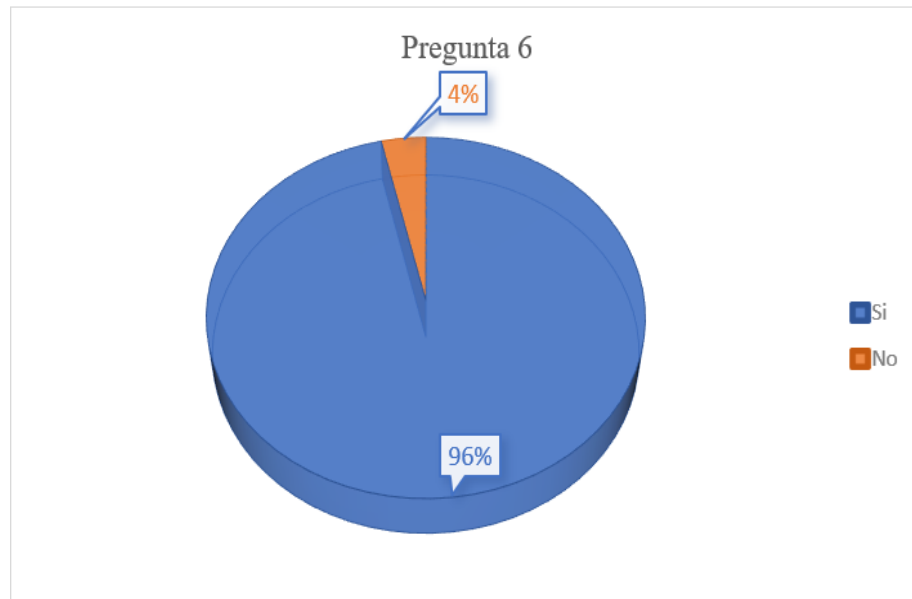
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Según los datos conseguidos en la encuesta efectuada a la población del cantón Mejía, se indica que el 83% de la población equivalente a 319 personas cree que la activación de otro relleno sanitario puede ser beneficioso para el cantón, mientras que el 17% que equivale a 65 personas está en desacuerdo que sea beneficioso. La mayoría de las personas tienen conciencia de los beneficios que tiene un relleno sanitario para la administración de residuos razón por la cual están de acuerdo en que se construya uno nuevo, mientras que el resto de las personas no pueden estar de acuerdo debido a los impactos que puede generar un relleno sanitario.

Pregunta 6. ¿Conoce usted si el GAD Municipal del cantón Mejía tiene previsto implementar otro relleno sanitario?

A continuación, en la figura 17 se dan a conocer los resultados obtenidos de la pregunta 6 luego de realizar la encuesta a la población del cantón Mejía.

Figura 17. Porcentaje de la población que conoce sobre la implementación de un nuevo relleno sanitario



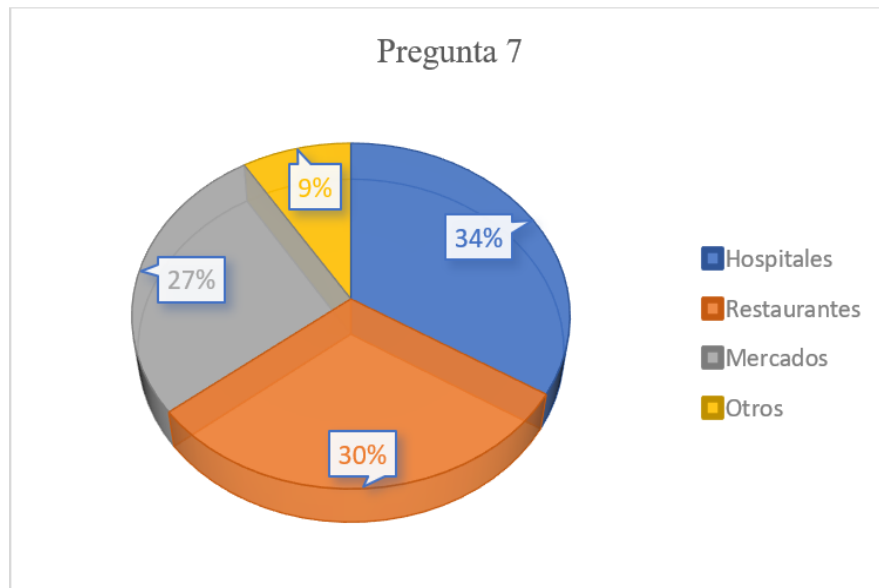
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Según los datos conseguidos en la encuesta efectuada a la población del cantón Mejía, se indica que el 4% de la colectividad equivalente a 15 personas dice conocer que el GAD Municipal tiene previsto la activación de otro relleno sanitario en el cantón, mientras que el 96% que equivale a 369 personas no tienen conocimiento de la edificación de un nuevo relleno sanitario por parte del GAD Municipal, esto se debe a la falta de información o la falta de reuniones con la población lo que ha originado que las personas desconozcan a cerca de la activación de un nuevo relleno sanitario en el cantón.

Pregunta 7. ¿Qué entidad cree usted que genera más residuos sólidos en el cantón Mejía?

Posteriormente, en la figura 18, se dan a conocer los resultados obtenidos de la pregunta 7 luego de realizar la encuesta a la población del cantón Mejía.

Figura 18. Opinión de la población sobre qué entidad genera más residuos sólidos



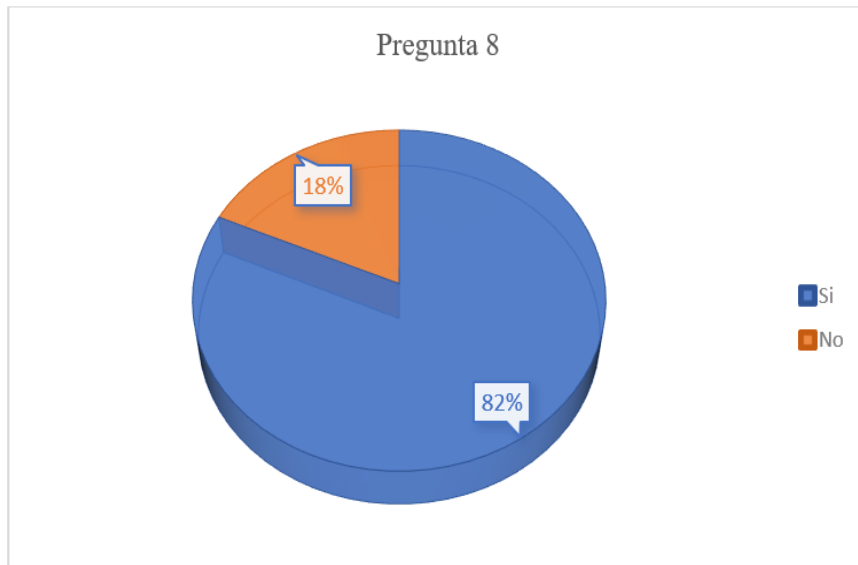
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

De acuerdo con los datos conseguidos en la encuesta efectuada en el cantón Mejía, se obtuvo que el 34 % de la población equivalente a 131 personas manifiesta que los hospitales son los mayores generadores de residuos sólidos. Seguido del 30% que equivale a 115 personas expresaron que los restaurantes son la entidad que más residuos genera. Luego está el 27% que corresponde a 104 personas las cuales expresaron que los mercados generan la mayor porción de residuos. Finalmente, algunas personas con una proporción del 9% que corresponde a 34 personas indicaron que hay otras identidades que generan mayor porción de residuos sólidos en el cantón Mejía.

Pregunta 8. ¿Considera usted que la contaminación por desechos sólidos afecta a la salud de las personas y al medio ambiente?

En la figura 19, se dan a conocer los resultados obtenidos de la pregunta 8 luego de realizar la encuesta a la población del cantón Mejía.

Figura 19. Población que considera que la contaminación por la contaminación por desechos sólidos afecta a la salud de las personas y al medio ambiente



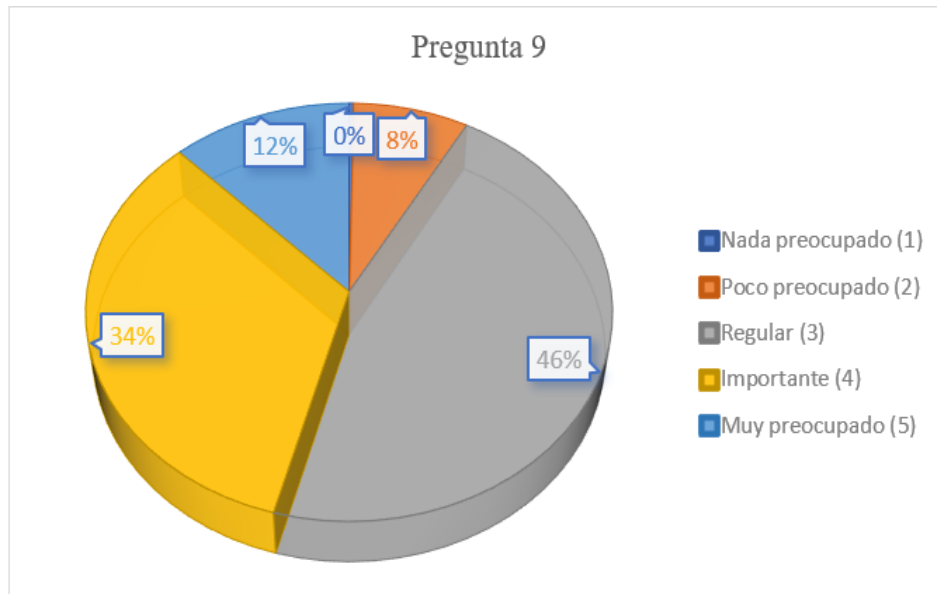
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

En las resoluciones obtenidas en la encuesta efectuada a la población del cantón Mejía, se indica que el 18% de la población equivalente a 69 personas considera que la polución por residuos sólidos no afecta a la vitalidad de las personas y tampoco al entorno, mientras que el 82% que equivale a 315 personas indica que la contaminación por residuos sólidos afecta a la vitalidad de las personas y al entorno, también manifiestan que los residuos pueden provocar la aparición de insectos y roedores. Además, la mayoría de las personas aseguran haber tenido problemas de vitalidad debido a la contaminación por residuos sólidos, además también afirman que los residuos que se encuentran en las calles dan mal aspecto al medio circundante.

Pregunta 9. En la escala del 1 al 5 (donde 1 es nada preocupado), y 5 (muy preocupado) ¿Qué tan preocupado está por la gestión de residuos en su comunidad?

En la figura 20, se da a conocer los resultados obtenidos de la pregunta 8 luego de realizar la encuesta a la población del cantón Mejía.

Figura 20. Población que se encuentra preocupada por la gestión de residuos en su comunidad



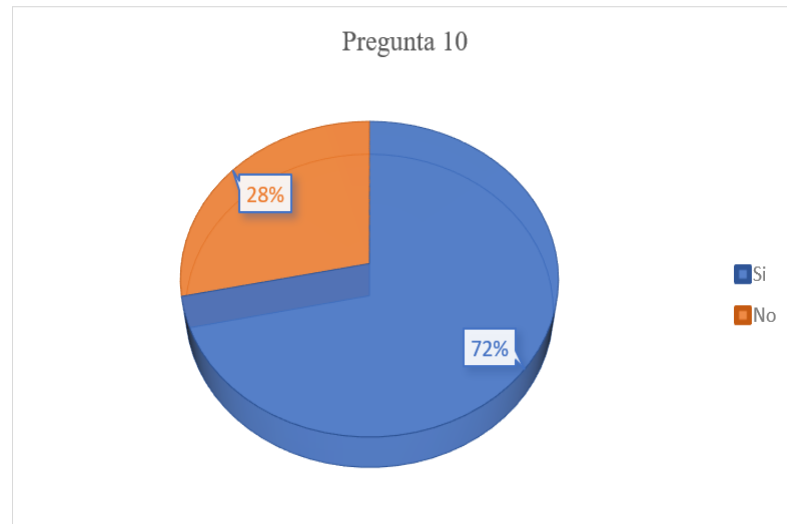
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Luego de realizar la encuesta a la población del cantón Mejía, se obtuvieron las siguientes resoluciones: el 46,1 % de los encuestados que corresponde a 177 personas mostraron una preocupación regular por la gestión de residuos en el cantón, el 33,6 % correspondiente a 129 personas considera relevante la gestión de los residuos sólidos y creen que la administración de residuos es fundamental para conservar el entorno. por otro lado, un 12,2 % de la colectividad correspondiente a 47 personas indico estar muy preocupada por la gestión de residuos, seguido del 7.8% de la población correspondiente a 30 personas se mostró muy preocupada sobre la gestión de residuos y finalmente un 0,3 % que corresponde a 1 persona manifestó no tener interés en este aspecto.

Pregunta 10. ¿Cree que la ubicación de un relleno sanitario pueda afectar a la calidad de vida de los residentes cercanos?

En la figura 21, se presenta los resultados obtenidos de la pregunta 10, después de encuestar a la población del cantón Mejía. Además, esta figura ilustra de manera clara y detallada las opiniones de los residentes sobre la ubicación de un relleno sanitario.

Figura 21. Población que considera que la ubicación de un relleno sanitario afecta a la calidad de vida de los residentes cercanos



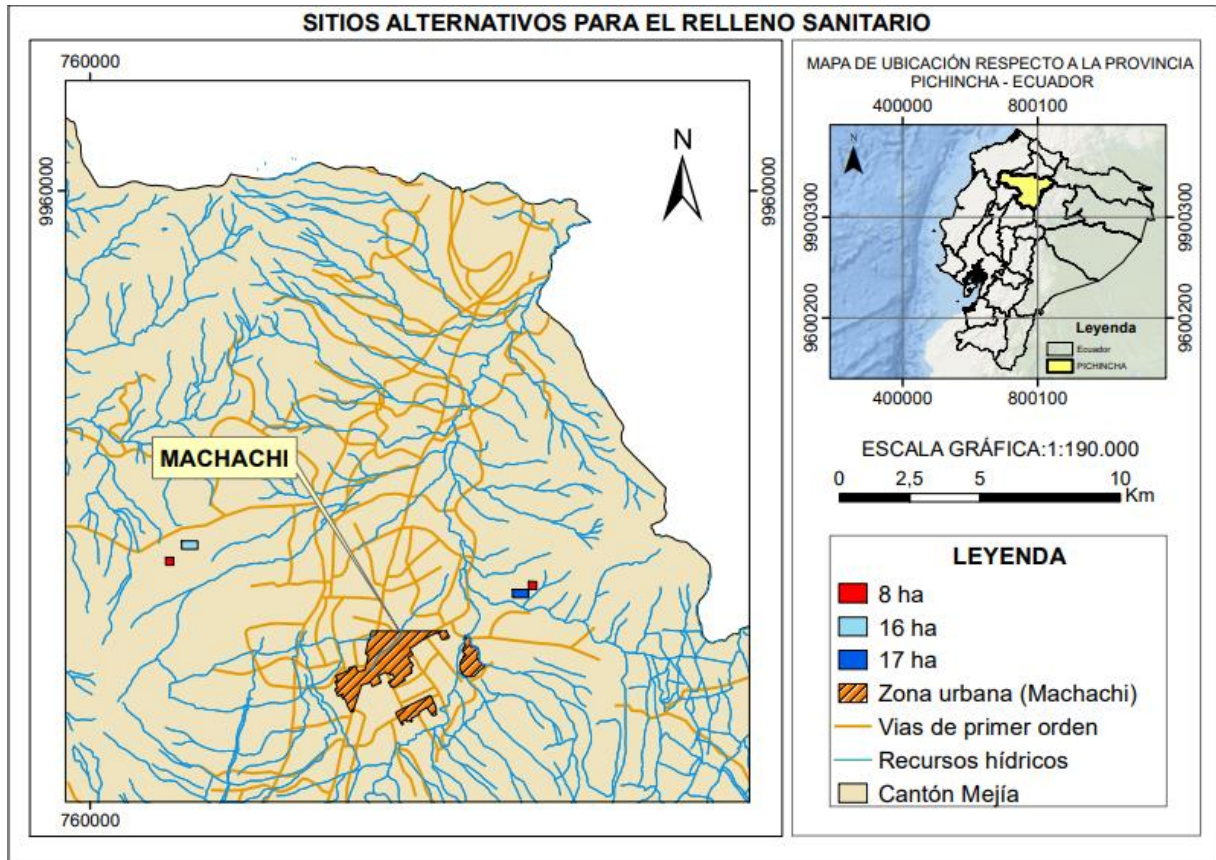
Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

En las resoluciones obtenidas en la encuesta efectuada a la población del cantón Mejía, se indica que el 72% de la población equivalente a 276 personas considera que la ubicación de un relleno sanitario afecta a la calidad de existencia de los residentes cercanos, mientras que el 28% que equivale a 108 personas indicaron que la ubicación de un relleno sanitario puede afectar significadamente la calidad de existencia de los residentes cercanos debido a los impactos negativos que puede generar la edificación de un nuevo relleno sanitario.

11.5 Identificación de sitios potenciales óptimos para el relleno sanitario

Para identificar los lugares idóneos para el RELLENO SANITARIO, se empleó el utensilio *Calcultate Geometry* para computar el área en hectáreas (ha) de cada ubicación potencial, asegurando que todas cumplieran con el área requerida de 15 hectáreas requeridas para garantizar la viabilidad durante de su vida útil, como resolución de este análisis (Figura 22), se seleccionó 5 lugares posibles con zonas entre 8 ha, 16 ha y 17 ha.

Figura 22. Sitios alternativos con idoneidad de 3 puntos para instalar el relleno sanitario en el cantón Mejía



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 16), se identificaron 5 lugares como posibles ubicaciones para el montaje del RELLENO SANITARIO en el cantón Mejía. Sin embargo, después de un análisis más profundo, se determinó que el lugar N°1 y el lugar N°5 cumplen con los requisitos necesarios, principalmente porque ambos tienen más de 15 hectáreas. Por otro lado, se estableció que los lugares n°2, 3 y 4 no son opciones viables, ya que no cumplen con la extensión de la zona, lo que los hace inidóneos para montar un nuevo relleno sanitario en el cantón Mejía.

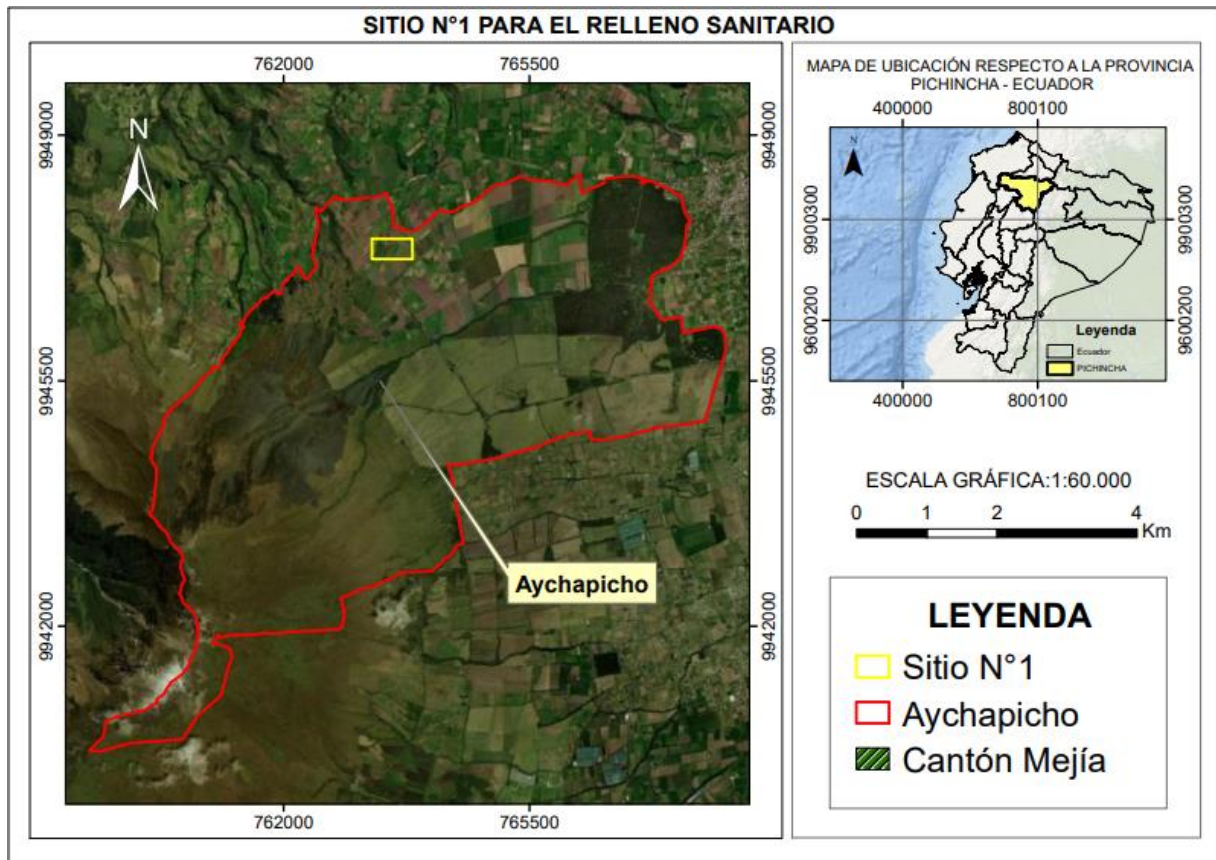
Tabla 16. *Coordenadas de los sitios óptimos para el relleno sanitario en UTM*

Sitios Óptimos	Coordenadas UTM	
	X	Y
Sitio 1	762829,05	9946805,94
Sitio 2	763547,09	9947381,01
Sitio 3	764265,39	9943358,23
Sitio 4	775327,13	9945657,48
Sitio 5	775757,43	9945944,78

Fuente: *Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).*

De acuerdo con los resultados obtenidos el lugar N°1 (Figura 23) tiene una superficie aproximada de 17 hectáreas, la cual se encuentra ubicado en la parroquia de Aloasí en el sector Aychapicho, donde el uso del suelo es principalmente vegetación arbustiva y herbácea, además el lugar cuenta con una precipitación que varía entre 900 a 1500 mm anuales. La pendiente es de 2% al 12%.

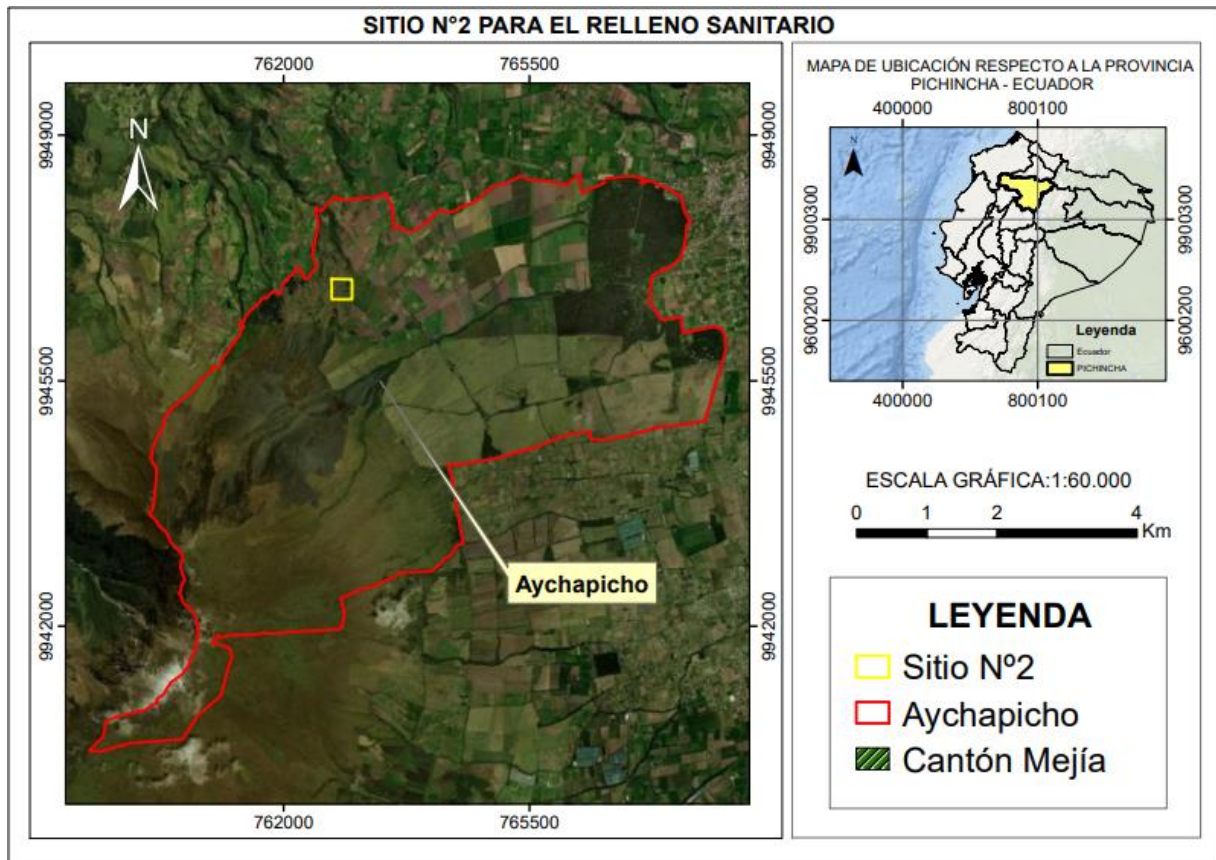
Figura 23. Sitio N°1 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

El lugar N°2 (Figura 24) cuenta con una superficie aproximada de 8 hectáreas, la cual se ubica en la parroquia de Aloasí sector Aychapicho, además el uso de suelo en esta zona es de vegetación arbustiva y herbácea, la cual cuenta con una precipitación que varía entre 900 a 1500 mm anuales, la pendiente en el lugar es de 12% al 25%.

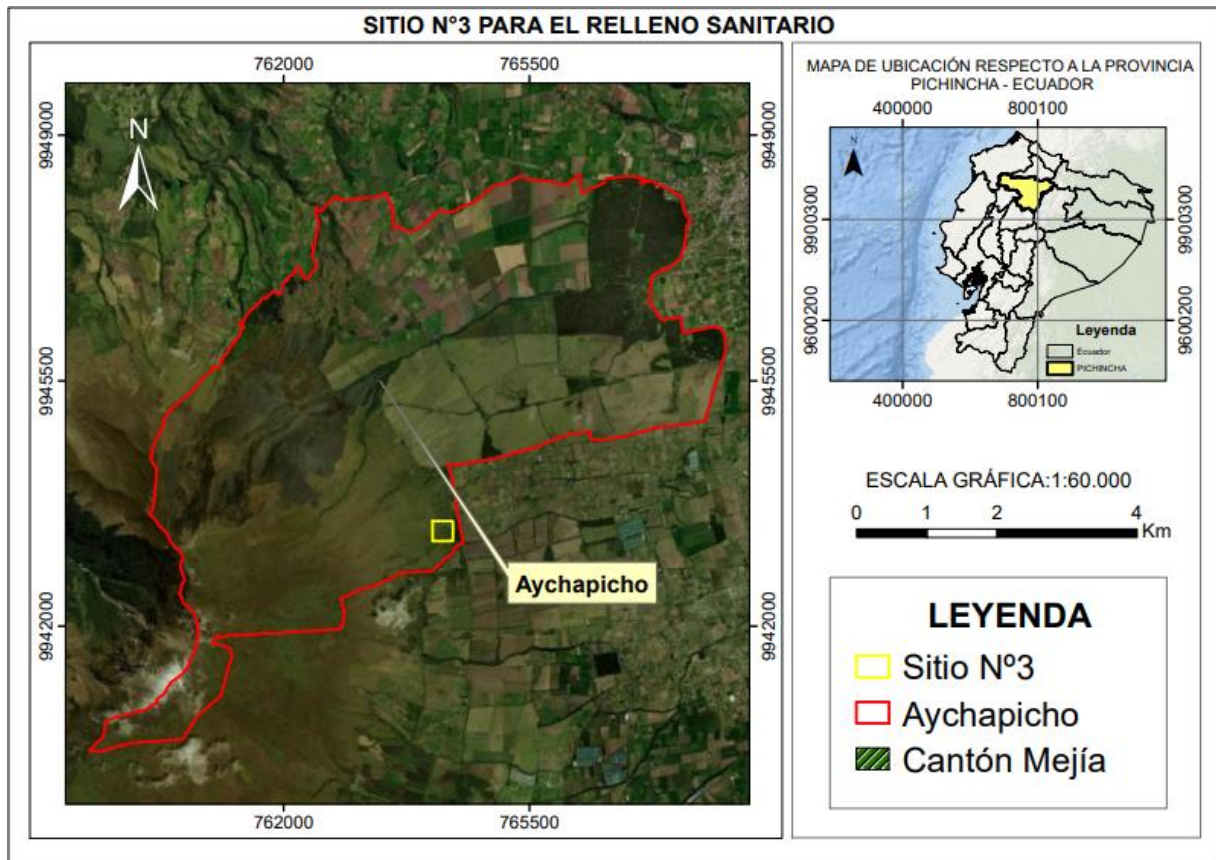
Figura 24. Sitio N°2 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Según los resultados obtenidos el lugar N°3 (Figura 25) cuenta con una superficie de 8 hectáreas, la cual se encuentra ubicada en la parroquia de Aloasí, sector Aychapicho, donde el uso de suelo es principalmente vegetación arbustiva y herbácea, la cual cumple con los lineamientos para el montaje del relleno sanitario. Además, la precipitación en este sitio es de 900 a 1500 mm anuales, la permeabilidad es moderada, lo que significa que permite el paso del agua de forma intermedia y la pendiente es de 12% al 25%, lo cual es esencial para el manejo efectivo de los lixiviados y para mantener la estabilidad del relleno sanitario.

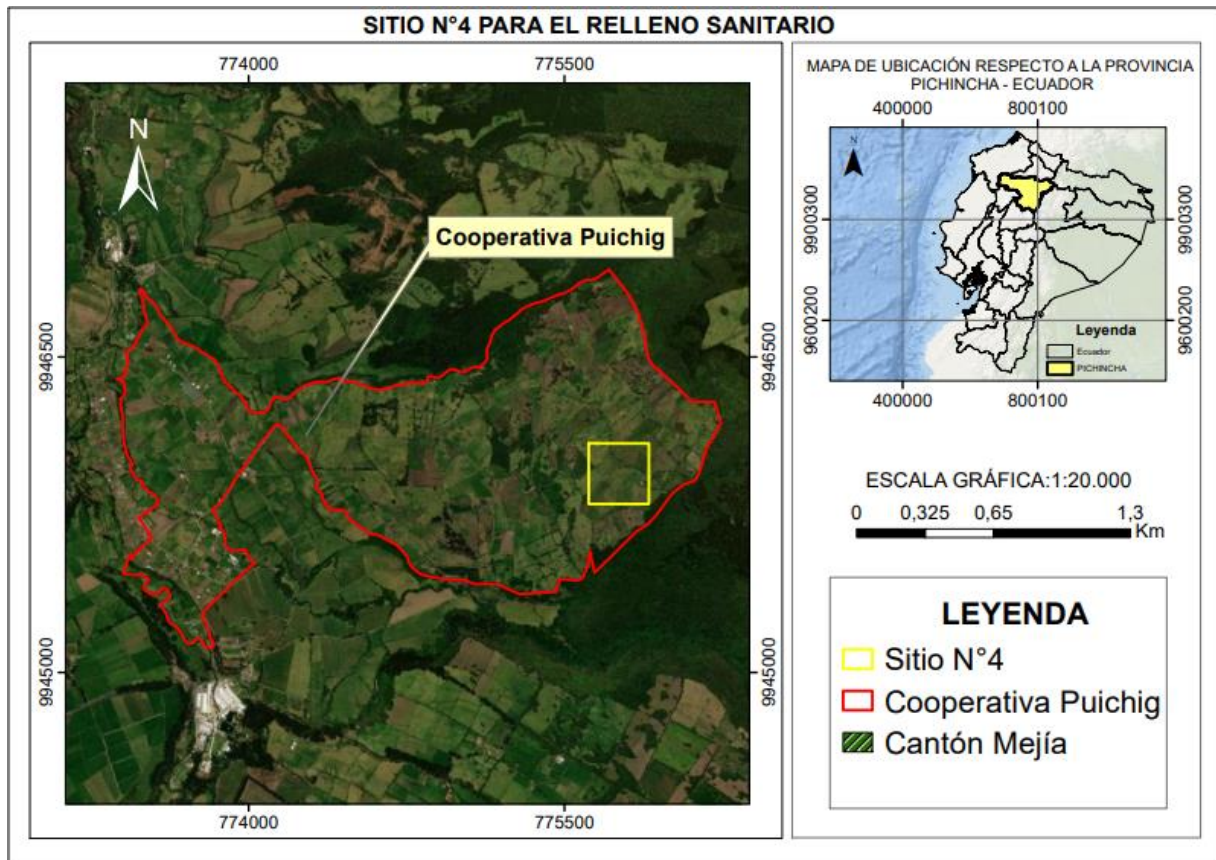
Figura 25. Sitio N°3 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

El lugar N°4 (Figura 26) cuenta con una superficie de 8 hectáreas, la cual se ubica en la parroquia de Machachi, sector Cooperativa Puichig, además, el uso del suelo en este sitio es predominantemente de vegetación arbustiva y herbácea, con precipitaciones que fluctúan entre 900 a 1500 mm anuales. Posteriormente, la pendiente de 2% al 12%, lo cual es crucial para el manejo eficiente de lixiviados.

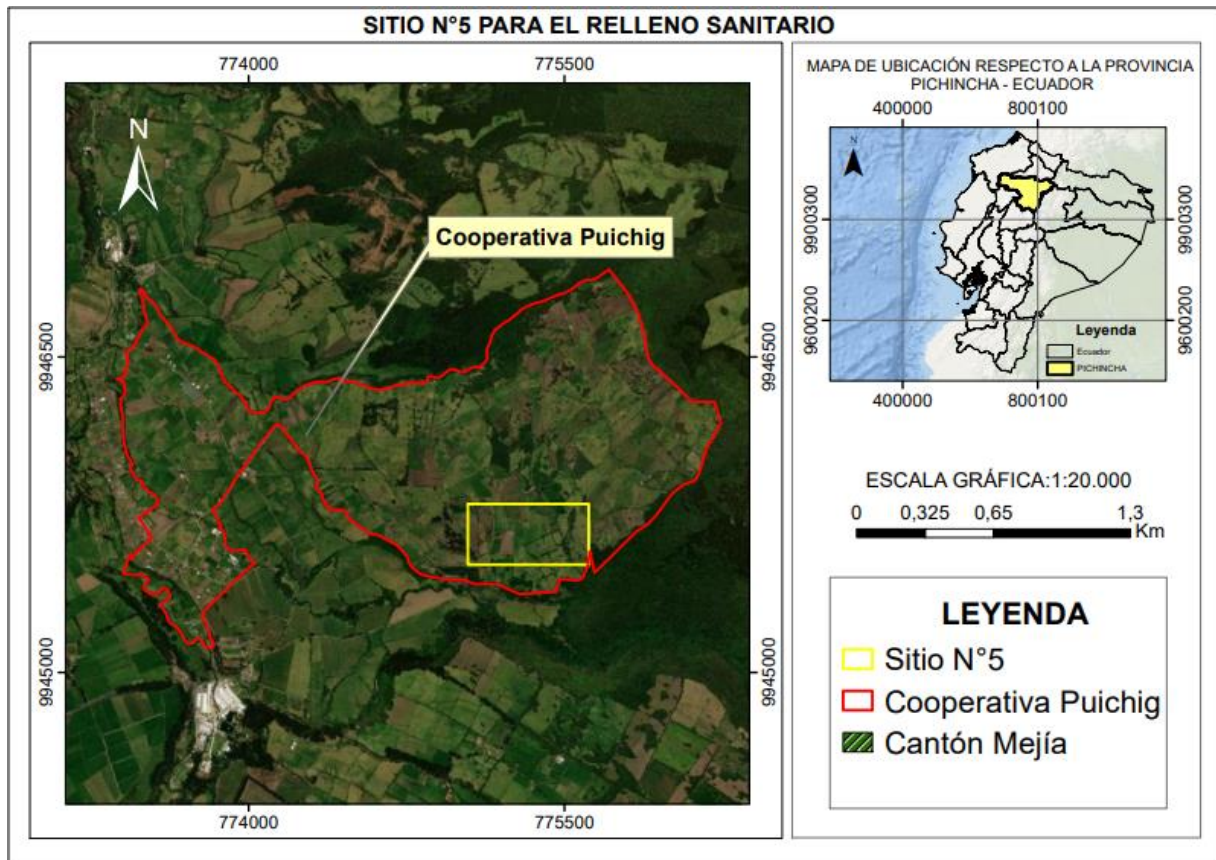
Figura 26. Sitio N°4 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Finalmente, el lugar N°5 (Figura 27) tiene una superficie aproximada de 16 hectáreas, la cual se encuentra en la parroquia de Machachi, sector Cooperativa Puichig. Este lugar presenta características semejantes en cuanto al uso del suelo, la precipitación y la pendiente, garantizando un manejo idóneo de lixiviados y otros procesos relacionados con el relleno sanitario.

Figura 27. Sitio N°5 para el desarrollo del relleno sanitario en el cantón Mejía

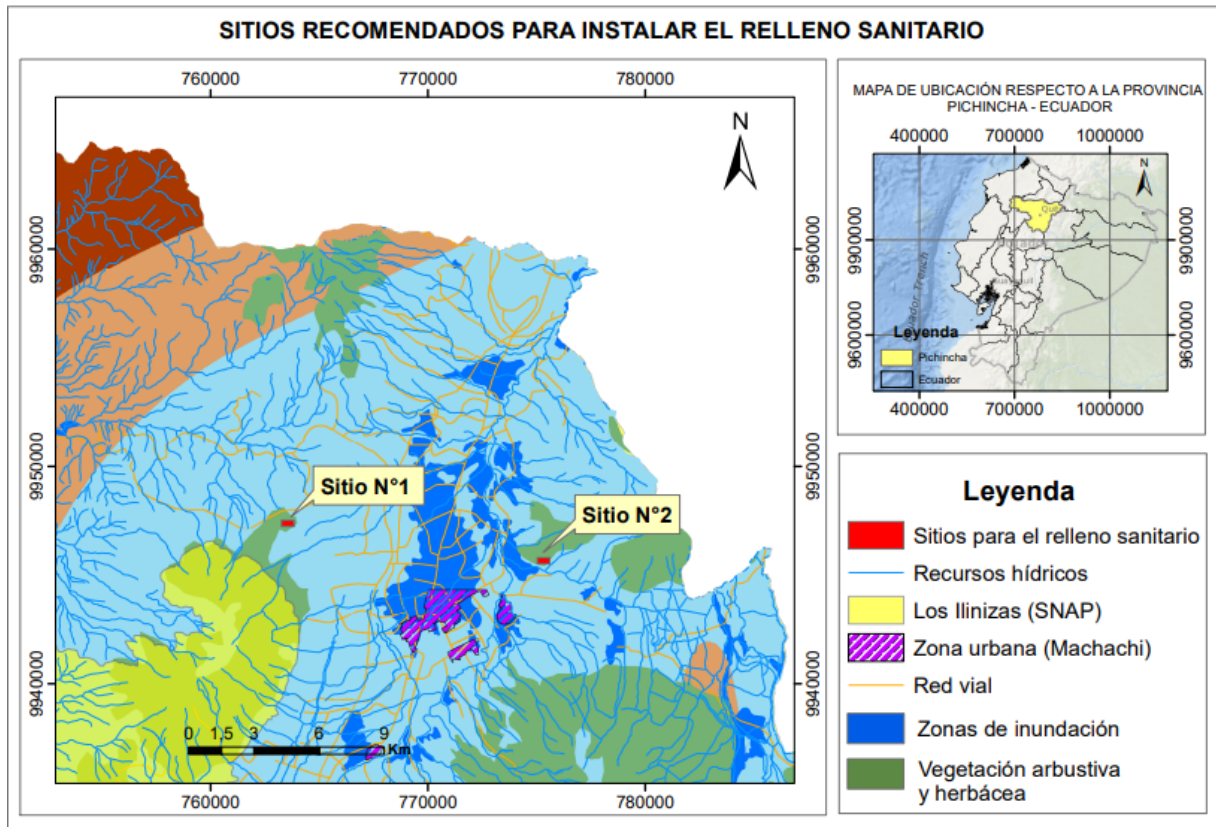


Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

Considerando los antecedentes mencionados y evaluando las condiciones geográficas, climáticas y socioeconómicas desde múltiples perspectivas (económico, social y ambiental), se recomienda 2 lugares como los más idóneos para el montaje del relleno sanitario (Figura 28). Posteriormente, estos lugares fueron elegidos por su proximidad a las vías, lo que simplifica el acceso y la minimización de costos de transporte, además, presenta una separación adecuada a los asentamientos humano, a los recursos hídricos, así como una baja pendiente y una permeabilidad del suelo favorable. Los datos de permeabilidad conseguidos para los sectores Cooperativa Puichig ($3,33 \times 10^{-4}$ cm/s) y Aychapicho ($2,08 \times 10^{-4}$ cm/s) ubicados en el cantón Mejía (ver anexo 6 y 7), indican una permeabilidad moderada, que es significativamente superior al valor recomendado que debe ser menos de 1×10^{-7} cm/s para la edificación de un relleno sanitario, según el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA. Esta permeabilidad moderada indica que estos suelos no cumplen con los requisitos ideales para prevenir la filtración de lixiviados y proteger las aguas subterráneas. Sin embargo, la normativa, se menciona que se pueden implementar soluciones técnicas, como el uso de barreras de impermeabilización

adicionales (membranas sintéticas o capas de arcilla compactada), para mantener la permeabilidad del suelo en perfiles admisibles y asegurar una adecuada contención en el relleno sanitario.

Figura 28. Sitios recomendados para el relleno sanitario en el cantón Mejía



Fuente: Elaborado por Mendaño M. & Socasi D. (2024).

De los 2 lugares seleccionados como muy buena elección, el primer sitio óptimo se encuentra a aproximadamente 6 km de separación en el sector Aychapicho, mientras que el segundo lugar se encuentra en el sector Cooperativa Puichig a una separación de 2,5 km de la zona rural de Machachi, diferente a la separación del actual relleno sanitario ubicado en el sector Romerillos, a aproximadamente 13 km de separación. Los posibles lugares para el relleno sanitario del cantón mejían estarían más cerca del actual relleno sanitario, lo que minimiza costos de transportación de desechos.

Al realizar el cálculo de la zona total requerida para el relleno sanitario, se optó por la vida útil de 15 años según lo detallado por Susunaga et al., (2023), obteniendo como resolución de 15 hectáreas requeridas para su instalación. Esta estimación coincidió con las zonas potenciales identificadas en el análisis multicriterio, alineando con los lineamientos que se encuentran

establecidos en el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA (MAE; TULSMA, 2015). Actualmente, la administración de los desechos sólidos en los municipios está a cargo de según el Ministerio del Ambiente, (2010).

La permeabilidad del suelo es un factor crucial al considerar la ubicación del relleno sanitario. Por lo tanto, Giménez & Cardozo, (2012), menciona que el suelo elegido posee una cierta impermeabilidad natural para minimizar el riesgo de polución de aguas subterráneas, lo que es fundamental al emplear un área como lugar de disposición concluida de residuos sólidos. Dicho esto, las 15 hectáreas calculadas coincidieron con el área total requerida para el relleno sanitario del cantón Mejía para una vida útil de 15 años, de acuerdo con las resoluciones obtenidas el cantón cuenta con 5 lugares óptimos, de lo cual solo dos sitios cumplen para el relleno sanitario.

Si durante los próximos 15 años de proyección la colectividad aumenta significadamente o existen cambios en la generación de residuos, se pueden implementar medidas para prolongar la vida útil del relleno sanitario. Los factores que podrían incrementar la vida útil del relleno sanitario es el uso de maquinaria que compactación de los residuos sólidos, logrando una consistencia de hasta 1,01 Ton/m, la cual esto ayuda a reduciría un 50% de la zona requerida para el relleno sanitario (Rodas et al., 2018).

12 IMPACTOS

12.1 Ambientales

El análisis multicriterio para la ubicación de lugares óptimos para la edificación de un relleno sanitario tiene un impacto ambiental positivo al identificar las ubicaciones que minimizan los efectos adversos sobre el entorno. A través de este enfoque, se lleva a cabo una evaluación exhaustiva y una ponderación de diversos factores y principios ecológicos que incluyen, la proximidad a fuentes de agua, la calidad del suelo, uso actual del terreno, entre otros. Al considerar estos componentes, se asegura que el relleno sanitario se ubique en una ubicación en la que los impactos ecológicos puedan ser gestionados y controlados de manera efectiva, minimizando así los peligros potenciales para el ecosistema circundante y las comunidades locales. De este modo, el análisis multicriterio no solo simplifica una planificación más sostenible y responsable en la gestión de residuos, sino que también refuerza el compromiso hacia la sostenibilidad y la responsabilidad ecológica a largo plazo.

12.2 Sociales

El análisis multicriterio para la ubicación de lugares óptimos para la edificación de un relleno sanitario tiene un impacto social significativo al promover una toma de resoluciones más equitativa y transparente. Este método se distingue por su capacidad para evaluar un amplio campo de factores y principios que afectan directamente a las comunidades locales, garantizando que se consideren múltiples perspectivas y necesidades. Al integrar estos diversos aspectos en el proceso de evaluación, el análisis multicriterio ayudo a equiparar ubicaciones que no solo cumplen con los requisitos técnicos y ecológicos, sino que también abordan de manera proactiva las preocupaciones y los intereses de los residentes. Esto significa que se pueden seleccionar lugares que minimicen los conflictos y las inquietudes de la colectividad, lo que a su vez promueve una mayor aceptación y colaboración de la comunidad.

12.3 Económicos

El análisis multicriterio para la ubicación de lugares óptimos para la edificación de un relleno sanitario genera un impacto económico positivo al optimizar la asignación de bienes y reducir costos a largo plazo. Este enfoque integral permite evaluar una variedad de factores económicos esenciales, como la proximidad a infraestructuras ya existentes, lo que puede reducir significativamente los gastos asociados con la edificación de nuevas instalaciones y el requerimiento de desarrollar redes adicionales. Además, al considerar los costos de transporte y logística asociados con la operación del relleno sanitario, el análisis multicriterio ayuda a equiparar ubicaciones que minimizan estos gastos operativos continuos. Al seleccionar ubicaciones que optimicen estos aspectos, el análisis multicriterio no solo mejora la eficiencia económica del proyecto, sino que también maximiza gastos de inversiones extras a lo largo de la vida útil del relleno sanitario. Esto resulta un impacto económico positivo para los gestores del proyecto y la comunidad en general, al reducir la presión sobre los presupuestos públicos y promover una administración financiera más sostenible.

13 CONCLUSIONES

- La identificación de zonas factibles para la construcción de un nuevo relleno sanitario, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el cual se evaluaron 8 criterios: Separación al aeropuerto, separación de vías, asentamientos humanos, bienes hídricos, pendiente, permeabilidad, uso de suelo y precipitación, ha simplificado disponer 5 zonas que cumplen con los principios técnicos, ecológicos y sociales los cuales son necesarios para la edificación de un nuevo relleno sanitario en el cantón Mejía, el Sistema de Información Geográfica no solo optimiza la selección del lugar al integrar diversas variables en un solo análisis, sino que también contribuye a una planificación más eficiente y sostenible para la gestión de Residuos en el cantón.
- Para disponer el área requerida se tomó en cuenta la colectividad per cápita y el incremento anual de RESIDUOS SÓLIDOS en el cantón Mejía, además se asumió una consistencia de 600 kg/m^3 y una hondura de 10 metros para lograr obtener la superficie mínima para el montaje de un nuevo relleno sanitario la cual fue de 15 hectáreas, no obstante, la consistencia del relleno puede variar en función de la calidad de la maquinaria utilizada para la compactación.
- Mediante el análisis espacial multicriterio, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se concluye que no existen lugares óptimos de 1 punto, además, se decidió no considerar los lugares de 2 puntos debido a que se encuentran en zonas agrícolas y ganaderas. Por lo tanto, se consideró los lugares con calificación 3 puntos, identificando dos lugares idóneos; el primero se encuentran en la parroquia de Aloasí en el sector Aychapicho y el segundo en la parroquia de Machachi, sector La Cooperativa Puichig. Ambos lugares se consideran como muy favorables, ya que cumplen con los principios establecidos en el Libro VI, Anexo 6 del TULSMA.

14 RECOMENDACIONES

- Es fundamental que el GAD Municipal del cantón Mejía recopile datos geoespaciales actualizados y precisos, además de realizar encuestas y consultas con la comunidad, autoridades locales y expertos en gestión ambiental. Esto asegurará que el análisis refleje adecuadamente las condiciones específicas del área.
- Así mismo, se sugiere llevar a cabo una evaluación detallada de los impactos ambientales potenciales en cada uno de los lugares óptimos para la edificación del relleno sanitario. Este enfoque permitirá equiparar y mitigar posibles peligros de manera efectiva.
- Por último, se aconseja realizar un análisis profundo de los efectos socioeconómicos en los lugares potenciales, considerando aspectos como la generación de empleo local, los efectos en la propiedad y el valor de las tierras circundantes.

REFERENCIAS

- Amangandi, M., & Rivera, A. (2022). *Propuesta de ubicación de un Relleno Sanitario bajo mancomunidad para los cantones Penipe y Chambo*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9693>
- Anchelía, D. R., & Mori, ximena. (2020). Determinación de zonas susceptibles a inundaciones y análisis comparativo del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y Random Forest (RF). Caso estudio: cuenca baja del río Chancay Lambayeque. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/15868>
- Ávila, E. (2022). *Características generales de tecnologías para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4331>
- Barahona, S. C. (2022). *Análisis de estabilidad del talud oeste para la ampliación de la celda emergente del relleno sanitario yurak kasha (cañar)*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/28488>
- Becerra, Y. (2021). *IDENTIFICACIÓN DE UN AREA APTA PARA LA INSTALACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL DISTRITO DE CATILLUC – SAN MIGUEL*. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4745>
- Bolaños-Chavarría, S., Betancur-Vargas, T., Salazar-Villegas, J. F., & Werner, M. (2022). Consideraciones sobre la oferta hídrica de los sistemas acuífero-humedal en la cuenca Magdalena-Cauca, Colombia, a partir de la interpretación de datos de los satélites GRACE. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(1), 1–24. <https://doi.org/10.15359/rca.57-1.6>
- Bracho-Estévez, C., Acevedo-Limón, L., Rumeu, B., & González-Varo, J. P. (2023). *Pisos bioclimáticos para la Cuenca Mediterránea como capas SIG de acceso abierto*. <https://doi.org/10.7818/ECOS>
- Bravo, E., Schulz, K., Romero, O., López, E., Güereca, L., & Amarante, B. (2021). *MULTICRITERIO EN LA INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS DE LA ECONOMÍA ECOLÓGICA*. 13, 4.

- Briones, E. (2021). *ANÁLISIS HIDROMÉTRICO DE INFILTRACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO JIPIJAPA CANTÓN JIPIJAPA*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3341>
- Camargo, M. G., & Baque, B. S. (2023). Cambios del uso de la tierra y propuesta de zonificación para el cantón de Montecristi, Ecuador (2010-2017). *AXIOMA*, 1(29), 5–12. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i29.845>
- Cargua, C. J., Espin, R., Valencia, B. G., Simbaña, M., Araujo, S., Cornejo, C., & Ocampos, A. (2024). LANDSLIDES SUSCEPTIBILITY ANALYSIS EMPLOYING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS ON AN AMAZONIAN ROADWAY IN ECUADOR. *Granja*, 39(1). <https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.07>
- Castillo, M. (2018). Pueblo Mapuche y sufrimiento ambiental en el caso de Boyeco. La dimensión socioecológica de la desigualdad en Chile contemporáneo. *Revista Antropologías Del Sur*, 5, 34. <https://doi.org/10.25074/rantros.v5i9.938>
- Cervera, O., Lorrén, Á., & Ruiz, Á. (2023). Seismic Vulnerability Index Method Using the Geographic Information System, An Application on an Urban Scale. *Revista Politecnica*, 52(1), 95–103. <https://doi.org/10.33333/rp.vol52n1.10>
- Charpentier, A., Freire, J., Carrera, D., & Haro, M. (2018). *Spatial modeling in the location of a sanitary landfill for the Intag area, Cotacachi canton, Ecuador*. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.1607>
- Chida, K. L. (2020). *ANÁLISIS MULTICRITERIO BASADO EN SIG PARA IDENTIFICAR POTENCIALES ÁREAS PARA ESTABLECER UN RELLENO SANITARIO EN EL CANTÓN TENA DE LA PROVINCIA NAPO, ECUADOR*. <https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/810>
- Cobos, S., Solano, J., Vera, A., & Monge, J. (2017). Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay. *Recursos Naturales, Ambiente y Cambio Climático*.
- Colmenares, M. A. (2024). *La gestión integral del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito, Ecuador: un estudio de la responsabilidad social y ambiental de la Corporación Quiport S.A. y su estatus frente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2018-2022*. <http://hdl.handle.net/10469/20750>

- Cristhyan, A. (2022). *Residuos sólidos biocontaminados durante la pandemia y la percepción de los pobladores aledaños al botadero del Hospital de apoyo de Yunguyo, 2022*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/386>
- Estacio, J. M., Tinoco, O. R., Díaz, J., & Moore, R. K. (2021). Sistemas de Información Geográfica y Localización de un Relleno Sanitario en Cerro de Pasco. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 24(48), 217–227. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21774>
- Estrada, A. C., Rodriguez, J. C., Saya, J. V. B., & Vásquez, J. Ñ. (2022). Biomass estimation of a high Andean plant community with multispectral images acquired using UAV remote sensing and Multiple Linear Regression, Support Vector Machine and Random Forests models. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 301–310. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.027>
- Fajardo, L. F., & Pava, A. F. (2021). *La evaluación multicriterio en la ubicación de las ventas ambulantes en Tibasosa, Boyacá, Colombia*. 14, 151–179. <https://orcid.org/0000-0001-6743-5074>.
- Giménez, M., & Cardozo, C. R. C. (2012). *Optimal location of sanitary landfill applying multicriteria techniques in geographic information systems (GIS) in the metropolitan area of the Alto Paraná*. <https://core.ac.uk/download/pdf/15783467.pdf>
- Giménez, M., & Carrera, R. (2012). *Optimal location of sanitary landfill applying multicriteria techniques in geographic information systems (GIS) in the metropolitan area of the Alto Paraná*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26832>
- Grandez, E. (2023). *CRITERIOS SOCIOAMBIENTALES PARA DETERMINAR LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO, EN EL DISTRITO DE TACNA, 2023*. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/8102>
- Gutiérrez, C., & Martínez, A. (2023). *Ubicación De Rellenos Sanitarios*.
- Hidalgo, C. D. (2018). *ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS SÓLIDOS EN EL CENTRO DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL ROMERILLOS, CANTÓN MEJÍA, PROVINCIA DE PICHINCHA, PERÍODO 2017 – 2018*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8496>

- Higua, B. (2024). La gestión de residuos sólidos en Boyacá: un análisis ambiental del caso del relleno sanitario Carapacho. *Maestría En Política, Derecho y Gestión Ambiental [4]*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62810>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Resultados del censo 2010 de población y viviendo en el Ecuador*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manual/Resultados-provinciales/pichincha.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2022). *VIII Censo de Población y VII de Vivienda Resultados del censo 2022 de población y vivienda en el Ecuador*. <https://www.censoecuador.gob.ec/resultados-censo/>
- Jaramillo, J. J. (2021). Diagnóstico de la erosión hídrica del suelo aplicando modelo U.S.L.E mediante herramientas SIG. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, 6(4), 609–631. <https://orcid.org/0000-0001-8715-0789>
- Lazo, R. S., Cotrado, D. M., Sequeiros, D. A., Apaza, V., Mamani, A. J. P., & Mamani, R. (2020). Caracterización de residuos sólidos y diseño de un relleno sanitario manual para del distrito La Yarada Los Palos. *INGENIERÍA INVESTIGA*, 2(2), 431–443. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i2.416>
- Llamatumbi, J. (2019). *Fotocatálisis heterogénea como método de tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario Romerillos Del Cantón Mejía*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19443>
- MAE; TULSMA. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente Libro VI, Anexo 6: Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de desechos Sólidos no peligrosos*.
- Méndez, A. E. (2021). *Propuesta de Modelo de gestión para la clasificación, movilización, tratamiento, bodegaje y destino final de los desechos hospitalarios de la Clínica Veterinaria de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Central del Ecuador que contribuya a disminuir la contaminación ambiental*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24395>
- Ministerio del Ambiente. (2010). *Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/5.PROYECTO-PNGIDS.pdf>

- Ministerio del Ambiente, agua y T. E. (2020). *REQUISITOS PARA LA UBICACIÓN, DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, CIERRE Y ABANDONO DE UN RELLENO DE SEGURIDAD*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/09/Propuesta-Nom-Relleno-seguridad-Grupo-Socilizacio%CC%81n-110920.pdf>
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf
- Miranda, S. N. (2022). *Identificación de zonas en la provincia de Huancavelica para la ubicación de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica y el método de Análisis Multicriterio*. <https://hdl.handle.net/20.500.12640/3182>
- Molina, E. (2013). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE RELLENOS SANITARIOS ARTESANALES EN EL ÁREA RURAL*. 30–32. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3513_C.pdf
- Núñez, A. (2018). *Propuesta de plan de gestión integral de residuos sólidos para la parroquia Quitumbe, provincia Pichincha cantón Quito*. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/23323>
- Peña, S. (2021). *Propuesta de un relleno sanitario para el cantón Sígsig*. *Universidad Católica de Cuenca*. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10949>
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Mejía. (2020). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Mejía 2019-2023*.
- Praimnauth, T., Oudho, H., & Pastor, A. (2020). *Multicriteria geospatial analysis of the risk of occurrence of highly pathogenic avian influenza in Guyana Análisis multicriterio geoespacial del riesgo de ocurrencia de influenza aviar altamente patógena en Guyana*. <https://eqrcode.co/a/13OpxO>
- Programa de Gestión Urbana. (2003). *Guías Practicas N°4. Para la construcción de rellenos sanitarios manuales*. *Cuaderno de Trabajo*, 12–13. <https://rfd.org.ec/biblioteca/pdfs/LG-057.pdf>

- Quinga, M. P., & Vilema, L. D. (2022). *PROPUESTA DE UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO PARA EL CANTÓN GUANO*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8542>
- Ricaldi, J., Soledad, M., & Callupe, N. (2021). *Diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de El Tambo - Huancayo 2021*. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10203>
- Rodas, M., Freire, P., Castañeda, S., Sempértegui, J., & Suarez, C. (2018). *ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL STAFF ADMINISTRATIVO 2018*. <http://emgirs.gob.ec/phocadownload/informe-rendicioncuentas/2018/rendicion-de-cuentas-2018.pdf>
- Rodríguez, J., & Reguant, M. (2020). Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach. *REIRE Revista d Innovació i Recerca En Educació*, 13(2). <https://doi.org/10.1344/reire2020.13.230048>
- Romero-Fernández, A., Meléndez-Carballido, R., & Herrera, A. A. (2020). *NÚMEROS NEUTROSÓFICOS DE VALOR ÚNICO Y PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO PARA LA DISCRIMINACIÓN DE PROYECTOS* (Vol. 41, Issue 5).
- Saaty, R. W. (1990). *THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS-WHAT IT IS AND HOW IT IS USED* (Vol. 9, Issue 5).
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. In *Int. J. Services Sciences* (Vol. 1, Issue 1).
- Sánchez-Gómez, J. E. (2021). Diseño de rutas para la recolección de residuos sólidos implementando herramientas computacionales del sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS en un municipio colombiano. 2021. <http://hdl.handle.net/1992/55649>
- Sierra, L. (2023). Integrando sistemas de teledetección y georreferenciación en la gestión de los residuos. *Innovare: Revista de Ciencia y Tecnología*, 12(1-1), 38-40. <https://doi.org/10.5377/innovare.v12i1-1.16013>
- Soler-Velasco, D. F. (2023). *Diseño y aplicación de una metodología para la identificación de sitios potenciales destinados a la gestión de residuos especiales de tipo RCD en Bogotá y consolidación de información mediante sistemas de información geográfica (sig)*. <http://hdl.handle.net/11349/35474>

- Sureshkumar, M., Sivakumar, R., & Nagarajan, M. (2017). Selection of alternative landfill site in Kanchipuram, India by using gis and multicriteria decision analysis. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(1), 627–636. https://doi.org/10.15666/aeer/1501_627636
- Susunaga, M. A., Ortiz, B., Estévez, B. M., Susunaga, R. M., Díaz, M., & Castellanos, O. P. (2023). Greenhouse gas emissions by the biogas from the Abandoned Solid Waste Final Disposal Site in City of Veracruz, Mexico. *Enfoque UTE*, 14(4), 1–8. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.988>
- Tixe, M., & Ruiz, B. (2018). *EFECTO DEL PORCENTAJE DE PODA SOBRE EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (FORSU) DEL RELLENO SANITARIO DE PORLÓN*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10549/1/236T0408.pdf>
- Valdivieso, A. G. (2023). *Evaluación ambiental de olores y vectores por la presencia del relleno sanitario El Inga en el barrio El Calvario de la parroquia de Pintag*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/30629>
- Villavicencio, Z. E. (2022). *ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO PARA LA UBICACIÓN DE UN RELLENO SANITARIO, EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO, PASCO*. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22792>
- Villota-Vásquez, B. D. (2021). *“EVALUACIÓN DE TRES TÉCNICAS ANCESTRALES DE ALMACENAMIENTO CON DOS VARIEDADES DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM SPP) EN TAMBILLO, MEJÍA PICHINCHA 2020*. <http://repositorio.utC.edu.ec/handle/27000/10166>