



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Determinación de áreas apropiadas para un relleno sanitario mediante
la integración de AHP con GIS en la provincia de Cajabamba

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Carhuachin Haro, Ana Lisett (orcid.org/0000-0002-0341-3391)

Orbegoso Abanto, Fiorella Rosmery (orcid.org/0000-0001-6600-1071)

ASESOR:

Dr. Quezada Alvarez, Medardo Alberto (orcid.org/0000-0002-0215-5175)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

Le dedicamos nuestra tesis a Dios, porque nos dio la vida y nos permitió llegar a este momento tan significativo de nuestra vida profesional. A nuestros familiares, amistades, quienes fueron base fundamental para no rendirnos, en especial a nuestras madres quienes estuvieron en todo momento para brindarnos su apoyo infinito, también a nuestros docentes quienes nos apoyaron en toda la trayectoria de nuestra formación académica.

AGRADECIMIENTO

Plenamente agradecidas con Dios, por permitirnos vivir esta etapa de la carrera universitaria. Con nuestros seres queridos por brindarnos la oportunidad de estudiar y con nuestro asesor Dr. Quezada Álvarez, Medardo Alberto quien nos apoyó constantemente en el desarrollo de nuestra investigación.

Índice de contenidos

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	11
3.1. Tipo y diseño de la Investigación	11
3.2. Variables y Operacionalización	11
3.3. Población, muestra y muestreo.....	12
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	12
3.5. Procedimiento	14
3.6. Método de análisis de datos.....	21
3.7. Aspectos éticos	21
IV. RESULTADOS.....	22
V. DISCUSIÓN	45
VI. CONCLUSIONES	51
VII. RECOMENDACIONES	52
REFERENCIAS	53
ANEXOS	64

Índice de tablas

Tabla 1. Reclasificación de la información cartográfica	13
Tabla 2. Datos del subcriterio de centros poblados	22
Tabla 3. Datos del subcriterio de aguas superficiales.....	24
Tabla 4. Datos del subcriterio de áreas agrícolas	25
Tabla 5. Datos del subcriterio de fallas geológicas	26
Tabla 6. Datos del subcriterio de pendientes	28
Tabla 7. Datos del subcriterio de vías.....	29
Tabla 8. Datos del subcriterio de las áreas naturales protegidas.....	30
Tabla 9. Datos del subcriterio de concesiones mineras.....	32
Tabla 10. Datos del subcriterio de comunidades campesinas	33
Tabla 11. Datos del subcriterio de peligros por inundación	35
Tabla 12. Matriz de comparación por pares del estudio	36
Tabla 13. Matriz de comparación por pares con calificación numérica.....	37
Tabla 14. Matriz de comparación por pares normalizados(MCN)	38
Tabla 15. Vector de prioridad para los subcriterios (donde no se deben ubicar los subcriterios para la selección de áreas para un relleno sanitario).....	39
Tabla 16. Datos de las áreas apropiadas	41
Tabla 17. Número de polígonos cercanos a la capital de Cajabamba	43

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de la metodología	14
Figura 2. Estructura Jerárquica	17
Figura 3. Escala de Juicio	18
Figura 4. Mapa de centros poblados del área de estudio.....	23
Figura 5. Mapa de fuentes de agua superficiales del área de estudio	24
Figura 6. Mapa de áreas agrícolas del área de estudio	25
Figura 7. Mapa de fallas geológicas del área de estudio	27
Figura 8. Mapa de pendientes del área de estudio	28
Figura 9. Mapa de vías del área de estudio	29
Figura 10. Mapa de áreas naturales protegidas del área de estudio.....	31
Figura 11. Mapa de concesiones mineras del área de estudio	32
Figura 12. Mapa de comunidades campesinas del área de estudio.....	34
Figura 13. Mapa de peligros por inundación del área de estudio	35
Figura 14. Mapa de áreas apropiadas en la provincia de Cajabamba	40
Figura 15. Áreas muy apropiadas en los distritos de Condebamba y Sitacocha..	42
Figura 16. Áreas muy apropiadas en el distrito de Cajabamba	43

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo, determinar las características de las áreas apropiadas para un relleno sanitario en la provincia de Cajabamba. Para ello, se identificaron 10 características del área de estudio que se utilizaron para elaborar los mapas de entrada en formato ráster, mediante el sistema de información geográfica. Luego, se aplicó el proceso de jerarquía analítica debido a que es la única técnica con un mecanismo efectivo para verificar la consistencia de ponderación definida por el tomador de decisiones, con ello, se evaluó la importancia de cada característica, siendo la característica más importante la distancia a centros poblados. Finalmente, los pesos obtenidos del AHP con los mapas de entrada del GIS, se sintetizaron usando la herramienta álgebra de mapas del sistema de información geográfico para crear el mapa final con los sitios para la disposición final; en consecuencia, se determinó que el 4% del área de estudio era muy apropiada para un relleno sanitario, con un total de 6984.36 hectáreas de la superficie total; de estas se identificaron 10 áreas para la provincia de Cajabamba. Finalmente, cuatro áreas de 1.05, 22.86, 10.83 y 16.03 hectáreas en el distrito de Cajabamba.

Palabras clave: Áreas apropiadas, proceso de jerarquía analítica, sistema de información geográfica, relleno sanitario.

ABSTRACT

The present investigation had as objective, to determine the characteristics of the appropriate areas for a sanitary landfill in the province of Cajabamba. For this, 10 characteristics of the study area were identified, which were used to prepare the input maps in raster format, through the geographic information system. Then, the analytical hierarchy process was applied because it is the only technique with an effective mechanism to verify the weighting consistency defined by the decision maker, with this, the importance of each characteristic was evaluated, the most important characteristic being the distance to populated centers. Finally, the weights obtained from the AHP with the input maps of the GIS, were synthesized using the map algebra tool of the geographic information system to create the final map with the sites for the final disposal, consequently, it was determined that 4% of the study area was very appropriate for a sanitary landfill, with a total of 6984.36 hectares of the total area of the province of Cajabamba; of these, 10 areas were identified for the province of Cajabamba. Finally, four areas of 1.05, 22.86, 10.83 and 16.03 hectares in the district of Cajabamba.

Keywords: Appropriate areas, analytical hierarchy process, geographic information system, sanitary landfill.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la elección de lugares adecuados para los rellenos sanitarios se considera uno de los temas más relevantes en la gestión de residuos (Güler y Yomrayoğlu, 2017, p. 1). Para lo cual, se debe tener como base criterios para una adecuada evaluación (Mat, Benjamin y Rahman, 2020, p. 127). Por lo tanto, es muy importante seleccionar los criterios correctos como punto de partida de rellenos sanitarios para evitar los efectos negativos a largo plazo. De lo contrario, el proceso de localización tradicional es difícil porque requiere mucho tiempo y es costoso (Omar *et al.*, 2020, p. 1). Del mismo modo, en el estudio de Mohammed *et al.* (2019, p. 2), mencionan que este método es laborioso, complejo y requiere mucho tiempo.

A nivel internacional, en Argelia el método más común de eliminación de residuos sólidos es el relleno sanitario, pero el proceso de localización adecuada es difícil y complejo debido a que depende de muchos criterios; sin embargo, en el estudio de Redjem *et al.* (2021, p. 183) dieron solución a esta problemática mediante la aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) y sistema de información geográfica (GIS), en base a ello, consideraron varios criterios para el establecimiento de las zonas potenciales para un relleno sanitario. Por lo tanto, este al ser un tema complejo requiere de un sistema integrado como el AHP, el cual puede desglosar los factores que afectan en la selección del relleno sanitario (Alrubaiki y Abdulrahman, 2017, p. 93). Por otro lado, algunas herramientas informáticas como los GIS facilitan la toma de decisiones para los sistemas de gestión de desechos sólidos (Tulun *et al.*, 2021, p. 2).

En Perú, también existen algunos problemas ambientales relacionados con la selección de áreas para un relleno sanitario, como lo evidencia el Inventario Nacional de Áreas Degradadas, donde se determinaron la cantidad de 1,585 botaderos, los cuales se encuentran representados como suelos degradados (Defensoría del pueblo, 2019, p. 111), ya que no cumplieron con las consideraciones técnicas para el sitio de disposición final. Por otro lado, existe una cantidad limitada de infraestructuras para la disposición de residuos, ya que existirían 47 rellenos sanitarios en el país, de los cuales se necesitan 344; por lo tanto, las municipalidades deben propiciar la implementación de rellenos sanitarios (Defensoría del pueblo, 2019, p. 10).

Por consiguiente, según Peralta *et al.* (2022, p. 70), los botaderos de Cajabamba no pueden considerarse aptos por carecer de procedimientos y requisitos legales para su implementación. Además, el OEFA (2022, p. 5-6) identificó cuatro botaderos dentro de la provincia de Cajabamba, los cuales se categorizan como áreas para recuperación. Estas son áreas degradadas que no cumplieron previamente con los criterios establecidos por el D.L. 1278 para la disposición final de residuos (OEFA, 2020, p. 37); en consecuencia, se afectan diversos factores económicos, sociales y ambientales. Este incumplimiento se evidenció según la Contraloría General de la República (2020, p. 1) por el botadero municipal, el cual no cumplió con las condiciones de una infraestructura idónea para la disposición final de los residuos, dejando problemas ambientales y de salud a las personas dentro del Caserío de Nuñumabamba. Y en la actualidad, según UGEL Cajabamba (2021, p. 1) cuenta con otro botadero municipal ubicado en el Caserío de Nuñumabamba, esto indica un aumento de botaderos que además de no ser un método que disminuye el impacto en el medio ambiente como un relleno sanitario (Culvert *et al.*, 2019, p. 950), se ubican cerca de la población e incumplen con los requisitos para el sitio de disposición final de residuos. Por lo tanto, es fundamental aplicar un método que integre varios criterios e indique su importancia de cada uno de manera adecuada para la selección del sitio para un relleno sanitario.

Actualmente, existen métodos para la determinación de zonas adecuadas, para disposición final de desechos, como la guía del MINAM donde se establece un modelo espacial, para la cual mediante un equipo técnico se realiza la validación en campo (MINAM, 2021 p. 41); sin embargo, en este modelo no se considera una evaluación del nivel de importancia de los aspectos influyentes. Por el contrario, los métodos relacionados con la toma de decisiones de criterios múltiples basados en GIS, se han utilizado recientemente en lugar de los métodos tradicionales para la selección de sitios (Karacuş *et al.*, 2019, p. 267). Como una de las metodologías se tiene el método AHP, el cual facilita la reflexión y análisis de incertidumbres, además de errores en la toma de decisiones en la ubicación de un relleno sanitario (Duque *et al.*, 2016, p. 108).

Frente a esa situación se planteó el problema general: ¿Cuáles son las características de las áreas apropiadas para un relleno sanitario en la provincia de

Cajabamba? y se establecieron como problemas específicos: ¿Cuáles son las características de las áreas apropiadas para un relleno sanitario respecto a los criterios de restricción y exclusión?, ¿Cuáles son los efectos de aplicar la metodología AHP para las características de las áreas apropiadas para un relleno sanitario? y ¿Cómo se integrará el método AHP y GIS para el mapa final?

Esta investigación se justificó teóricamente, en base a los resultados que servirán como retribución para la gestión de desechos sólidos, los cuales se desarrollaron a través de la aplicación de la evaluación multicriterio donde se empleó la metodología del AHP con el GIS. Como justificación metodológica, se desarrolló para resolver un problema y obtener conocimientos que sean válidos, en relación a la identificación de las mejores zonas para disposición final de residuos, en la provincia de Cajabamba. Como justificación práctica, en base a este proceso se va demostrar cómo establecer la mejor forma de identificar las áreas apropiadas para un relleno sanitario mediante la integración del AHP con GIS. Como justificación social, la información de la investigación va a servir para que se aplique a futuras investigaciones como un modelo que contribuya con el cuidado del medio ambiente.

De acuerdo a ello, se planteó como objetivo general lo siguiente, determinar las características de las áreas apropiadas para un relleno sanitario en la provincia de Cajabamba, acorde a lo establecido se tendrán los siguientes objetivos específicos, identificar las características de las áreas apropiadas para un relleno sanitario respecto a los criterios de restricción y exclusión, desarrollar la metodología AHP para las características de las áreas apropiadas para un relleno sanitario, finalmente determinar el mapa final con la integración del AHP y GIS para la ubicación de un relleno sanitario en la provincia de Cajabamba.

Agregando a lo anterior, se planteó la siguiente hipótesis general, las características que se encontraron en diversas áreas de la provincia de Cajabamba son apropiadas para un relleno sanitario y se planteó como hipótesis específicas, se identificaron las características de la provincia de Cajabamba según los criterios de restricción y exclusión para la ubicación de un relleno sanitario, la metodología AHP determina óptimamente las características de las áreas apropiadas para un relleno sanitario, mediante el álgebra de mapas se logró elaborar el mapa final con las áreas apropiadas para un relleno sanitario.

II. MARCO TEÓRICO

Para la investigación se tuvo como antecedente nacional a Estacio, Tinoco, Díaz y Moore (2021, p. 225), quienes tuvieron como finalidad, encontrar las zonas aptas de disposición final para los desechos sólidos en Cerro de Pasco, con apoyo del análisis multicriterio, el método del proceso de análisis de jerarquía y el sistema de información geográfico; por otro lado, consideraron 14 criterios establecidos por el MINAM. Por último, se obtuvo que existen 6 lugares aptos para rellenos sanitarios, con lo cual determinaron que GIS, el análisis multicriterio y el AHP son suficientes para identificar los problemas de ubicación de áreas.

Por su parte, Becerra (2021, p. 58), en su investigación buscó identificar un espacio idóneo para disposición final de desechos en San Miguel, utilizando SIG y la evaluación multicriterio, con su proceso logró identificar un sitio apto con 182 hectáreas, en base a 9 parámetros establecidos en las normas constituidas por la Guía de Diseño y Construcción de Rellenos Sanitarios del MINAM. En última instancia, esto es lo que muestran las conclusiones, con el apoyo del SIG y la evaluación multicriterio, es posible encontrar las zonas aptas para lugares de disposición final.

Además, Loaiza y Mamani (2021, p. 16), en su estudio realizaron un análisis multicriterio mediante el SIG para la ubicación de áreas óptimas, donde tuvieron en cuenta 8 criterios como: la disponibilidad y propiedad del terreno (concesiones mineras), restricciones de ubicación (centros poblados, redes viales), condiciones hidrológicas (cuerpos de agua) entre otros, adaptados al Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. De los 56 sitios encontrados, con un área total de 70.026507 Km², obtuvieron 15 áreas aptas para rellenos sanitarios en la provincia de San Román, evidenciándose que el método es una herramienta muy eficiente en la identificación de zonas con características específicas.

Entre los antecedentes internacionales, se tiene a Quinteros (2021, p. 16), quien buscó encontrar áreas adecuadas para rellenos sanitarios, mediante el análisis multicriterio y el análisis espacial a partir de datos en SIG, con lo cual se demostró que solo 1 sitio, fue el más adecuado para disposición final de desechos sólidos, ubicado en la parroquia Pano. Finalmente, se concluyó, que el método fue suficiente para decidir y determinar los lugares para rellenos sanitarios.

De igual manera, en su investigación, Ayaim *et al.* (2019, p.7), tuvieron que desarrollar un análisis multicriterio en un entorno GIS, para seleccionar sitios para rellenos sanitarios en Ghana, teniendo en cuenta ciertas características del área de estudio como centros urbanos, comunidades campesinas, cuerpos de agua, geología, pendiente entre otras, como resultado encontraron 6 áreas aptas que cumplen con los estándares locales e internacionales para disposición final; además, este estudio ha demostrado que la metodología es una forma efectiva en la elección de sitios adecuados.

Por otro lado, se menciona a Khodaparast, Rajabi y Edalat (2018, p. 11), en su estudio seleccionaron las zonas adecuadas para un relleno sanitario, utilizando (GIS) y (AHP); para ello, las áreas se clasificaron en muy bueno, suficiente, insuficiente y muy malo, respectivamente con 60, 20, 738, 20, 7137 y 3588 km; para la disposición de residuos, además solo el 7% del área de estudio tenía condiciones óptimas para la ciudad de Qom. Finalmente, concluyeron que el análisis aplicado en el estudio permite obtener áreas ubicadas lejos de las áreas residenciales, caminos, fuentes de agua subterránea y líneas de falla de la región.

Del mismo modo, Sierra (2021, p. 27), en su estudio determinaron la zona adecuada para disposición final en Bucaramanga; para ello, establecieron los siguientes subcriterios: como hidrología, pendientes, zonas de remoción en masa, zonas protegidas y territorios urbanos, dichos subcriterios se priorizaron mediante el AHP para definir su importancia. Después mediante el método de análisis multicriterio con GIS, obtuvieron como resultado un total de 145 ha. Y concluyó que el terreno para relleno sanitario era el 96% de las áreas denominadas como aptas, ubicadas mayormente en el municipio de Girón.

Por su parte, Majid y Ahmed (2021, p. 13), en su investigación tuvieron el propósito de identificar las zonas de disposición final de residuos, en la ciudad de Srinagar, mediante el programa SIG y la evaluación multicriterio, para ello se basaron en 10 parámetros, además dicha ciudad tenía un área total de 34.175 ha, de esta área solo 445 ha fueron disponibles para el proceso de ubicación.

También, se citaron a Tulun, Gürbüz y Arsu (2021, p. 12), cuyo estudio consistió en desarrollar un mapa ideal para la disposición final de los desechos, en la provincia de Aksaray utilizando el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) con SIG; para ello, se combinaron los parámetros con sus valores de peso y el proceso de superposición ponderada, en donde se determinó el criterio ambiental, obtuvo mayor relevancia que el económico. Dando como resultado, de las áreas encontradas, que el 8% no era apta, el 20% era poco apta, el 14% era moderadamente apta, el 51% era apta y el 7% era muy apta. Finalmente, dentro de las áreas muy aptas, se identificaron dos áreas, las cuales cuentan con áreas de 18.351 ha y 13.336 ha, siendo adecuadas para rellenos sanitarios.

Finalmente, Mahmood, Payam y Arash (2020, p. 12) en su trabajo de investigación, buscaron encontrar las mejores zonas para rellenos sanitarios, en la ciudad de Shiraz, mediante el GIS y los métodos de toma de decisiones multicriterio, donde se seleccionaron 13 criterios los cuales fueron la distancia a los ríos, distancia a las áreas agrícolas, distancias a inundaciones, entre otros.

El tema de investigación sobre la ubicación del relleno sanitario, incluye los siguientes conceptos:

En relación a las áreas apropiadas, se menciona en el D.L 1278, donde se encuentra entre las orientaciones de la gestión adecuada de desechos sólidos, que es la identificación de áreas apropiadas para la ubicación de infraestructuras de residuos sólidos (MINAM, 2021, p. 9).

Por otro lado, las infraestructuras para el manejo de residuos sólidos, según MINAM (2021, p. 5) se debe tener en cuenta el D. L N°1278, la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos con su ordenanza, que fue aceptado por el D.S N° 014-2017-MINAM, que tienen al Título IX, el Capítulo V, los artículos 109, 110 y 111, donde se presenta los requisitos para elegir un área de infraestructura de disposición final; como se indica en la guía del MINAM, donde se establecen las exclusiones y restricciones para la determinación de áreas para la disposición final de desechos sólidos, dichos aspectos planteados se encuentran acorde a lo dispuesto en el D. S. N° 1278. Para esta investigación se tuvo en cuenta los criterios de restricción y exclusión, con el fin de determinar las áreas apropiadas, siendo los siguientes:

Los criterios de restricción, se refiere a las limitaciones que se tendrá en cuenta en un estudio; es decir, son requisitos que se deben cumplir en base a los límites (MINAM, 2021, p. 42). Dentro de los cuales se encontraron los siguientes: centros poblados, fuentes de agua superficiales (cauce de ríos, lagos y lagunas), granjas porcinas, aeropuertos, avícolas y animales menores, actividades económicas (áreas agrícolas), pendientes y fallas geológicas (MINAM, 2021, p. 15).

Los criterios de exclusión son aquellos que no pueden estar presentes bajo ninguna circunstancia para el estudio; por lo tanto, son los requisitos que se refieren al hecho o consecuencia de separar una variable en un análisis (MINAM, 2021, p. 41). Dentro de los cuales se encontraron los siguientes: Peligros por inundación y movimientos en masa, áreas naturales protegidas, zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos, franja marino costera, patrimonio cultural, faja marginal, concesiones mineras, petroleras (en explotación) y comunidades campesinas (MINAM, 2021, p. 15).

Después de proporcionar información relacionada con los rellenos sanitarios, se redacta la información de los sistemas de información geográfico y las herramientas utilizadas para la metodología AHP.

En esta investigación se utilizó el análisis espacial, Ayaim et al. (2019, p.7), indican que emplearon la extensión Spatial Analysis dentro del software ArcGIS para el análisis de idoneidad. Además, en el proceso del AHP, se desarrolla el cálculo de los coeficientes y la relación de consistencia con el fin de generar las capas de idoneidad espacial (Bhattacharya, Ghosh y Bhattacharyya, 2021, p. 2). Por otro lado, en el estudio, Helal A. (2022, p. 3), utilizaron herramientas del análisis espacial en GIS, para la elaboración de 10 criterios, los cuales se desarrollan mediante la evaluación multicriterio (MCE).

Los sistemas de información geográfica, según Ding *et al.* (2018, p. 5), indican que la herramienta GIS, es de utilidad para las investigaciones con respecto a la selección de zonas aptas para rellenos sanitarios, teniendo como funciones principales la extracción de datos, que se utiliza para recortar, segmentar y filtrar datos, con el fin de realizar un análisis adecuado; también se tiene al análisis de tampones, el cual en la elección de rellenos sanitarios, ayuda a realizar un análisis

de amortiguamiento para que cumpla con las normativas ambientales de planificación urbana, entre otros; luego se tiene el análisis de superficie, está basado en herramientas de trama para analizar información geológica; finalmente se tiene al análisis de superposición, que puede agregar y tratar dos o más grupos de datos diferentes para generar nuevos datos y nuevas características de atributos.

En relación al elemento gráfico, la cual es definida como la parte fundamental de orden informativa de los datos gráficos, siendo los principales los puntos, líneas (arcos) y polígonos (áreas), debido a que en un GIS los tres elementos representan características o unidades geográficas importantes. Por ello, en un modelo de datos vectoriales la información geográfica en GIS se representa mediante elementos gráficos básicos. Además, estos datos se organizan por capas o temas, como una capa de composición del suelo. Cabe señalar que las capas de los datos espaciales que tiene un GIS sirven para un análisis de datos geográficos, estas capas se dividen en mosaicos además estas capas son una base de datos que componen datos geográficos en un GIS (Howary y Ghrefat, 2021, p. 167).

De acuerdo a la información cartográfica de la investigación, se desarrolló a través del proceso de rasterización, de esta manera se elaboraron los mapas temáticos en formato raster, estos pueden tener la forma de las matrices en píxeles similar al modelo de datos ráster, siendo una imagen digital representada por mallas o cuadrículas, cuya unidad básica es el píxel, los ejemplos incluyen imágenes satelitales, imágenes escaneadas y las que se obtienen mediante el proceso de rasterización (Huizar, Porfirio *et al.*, 2022, p. 158).

Después de la información de los GIS se abordan los siguientes conceptos sobre el método de evaluación multicriterio (EMC), según Chen y Jie (2017, p. 4), es una importante manera de análisis en los sistemas de soporte de decisiones espaciales, ya que permite asignar valores de ponderación a las capas esenciales y la suma de estos valores da como resultado el mapa de idoneidad final. Por otro lado, Zhang *et al.* (2013, p. 742) dice que la EMC también se llama MCDM (métodos de toma de decisiones de criterios múltiples). Además, una de las técnicas del MCDM o EMC, es el proceso de jerarquía analítica (AHP), el cual es ampliamente utilizado por investigadores de diferentes países, distinguiéndose por su versatilidad con

mayor precisión y su simplicidad (Khaira y Dwivedi, 2018, p. 4029). Finalmente, Belalcazar (2019, p. 52) indicó que, dentro de la EMC, se utilizan varios métodos que ayudan en la toma de decisiones, siendo el más notable el AHP.

Por consiguiente, de acuerdo a Khaira y Dwivedi (2018, p. 4030), nos dicen que hay dos maneras de realizar el proceso, que son toma de decisiones individual que involucra a un solo especialista para la clasificación de las alternativas según los criterios; por último, toma de decisiones grupal que involucra a un grupo de especialistas y tiene en cuenta las ponderaciones de cada participante para clasificar las alternativas según los criterios.

Cabe recalcar que, dentro de los sistemas de información geográfico se trabaja mediante capas, de los cuales se deben tener una puntuación de acuerdo al peso de cada uno; por ello, existen cuatro métodos para el desarrollo de estos pesos los cuales son: la clasificación, la calificación, el método de compensación y la comparación por pares; donde el primer método es el más sencillo, el cual se basa en el criterio del autor. En el segundo método, los pesos tendrán una escala preestablecida. Para el método de compensación, se hace el uso de la compensación directa entre pares alternativos. El último método se desarrolla a través de la comparación de por pares con el objetivo de la creación de una matriz de razones (Bertsiou, Theochari y Baltas, 2020, p. 10). Debido a que las capas o características representados en mapas temáticos no tienen la misma importancia, se utilizó el método de comparación por pares de AHP para calcular los pesos de los criterios. (Adewara y Odeyemi, 2019, p. 188). Así mismo, a partir del método AHP, se calcularán las ponderaciones de cada criterio, mediante la comparación por pares (Hamad y Taheer, 2017, p. 47). Finalmente, Cüre *et al.* (2021, p. 494), indican que, AHP es uno de los métodos de toma de decisiones de criterios múltiples que se utilizan para ponderar los criterios de ubicación.

Por consiguiente, la aplicación de la comparación por pares se desarrolla mediante la siguiente forma: ¿Qué importancia tiene el criterio C_i en relación con C_j ?, la cual se utiliza para determinar el peso de diferentes criterios y la priorización de alternativas. El procedimiento para el desarrollo de la técnica AHP, son los siguientes: en primer lugar, se considerará la jerarquía del problema de toma de decisiones, definiendo el objetivo del problema, seguido de los criterios y la

disposición de las alternativas del problema. En segundo lugar, el tomador de decisiones, es el encargado de difundir juicios de valor sobre la importancia de los criterios y las alternativas para reflejar la fuerza relativa de un elemento en términos de importancia, elección o probabilidad. Además, AHP ayuda en el desarrollo las comparaciones por pares basadas en factores cuantitativos y cualitativos, utilizando la escala propuesta por Saaty (Muñoz y Romana, 2016, p. 32-33).

Y en relación a la integración de la información por parte del AHP en el GIS, según Rezaeisabzevar, Bazargán y Zohourian (2020, p. 181), señala que el GIS se utiliza para incorporar el procedimiento del pesaje y el método MCDM, afirmando que en el GIS se pueden analizar datos espaciales como mapas, fotografías aéreas o imágenes satelitales, además permite realizar una combinación con valores y pesos para la selección de una zona adecuada.

En relación a la normativa legal del país, se tuvieron en cuenta las siguientes: Para la elección de áreas para un relleno sanitario, se basó de acuerdo al D.S N° 014-2017-MINAM y los artículos 109, 110. En el artículo 109, se presentan los requisitos para ubicar una infraestructura de disposición final, entre ellos, destaca el uso del suelo, cercanía a la urbanización, hidrología, cobertura vegetal, áreas protegidas, vulnerabilidad a desastres naturales, patrimonio nacional de fauna y flora. En el artículo 110, presenta las condiciones que debe tener una infraestructura de disposición final, como la distancia de las zonas urbanas, aguas superficiales, humedales, fallas, también la lejanía a los asentamientos para prevenir deslizamientos entre otros que establezca la normativa, en este también se establecen las distancias mínimas como a 500 m de la población, a excepción de lo que se establezca en el IGA, donde podía ser admisible su ubicación a una distancia mínima de los posibles riesgos para la salud; tampoco pueden ubicarse a menos de 500 m de fuentes de agua superficial, pero en el IGA también se puede permitir una distancia mínima pero en base a la delimitación de la franja marginal; también no pueden estar ubicados en pantanos, humedales o áreas de recuperación de acuíferos; en zonas de fallas geológicas; en zonas habitadas o de deslizamientos (MINAM, 2017, p. 34).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la Investigación

La investigación se desarrolló de acuerdo a su finalidad, fue del tipo aplicada, Arias (2017, p. 70) establece que la investigación aplicada se refiere a la generación de conocimientos, que se aplicarán a corto o mediano plazo, en la solución de problemas prácticos. Mediante esta tesis se buscó encontrar una solución para una mejor manera de encontrar las áreas adecuadas para disponer los residuos sólidos para la provincia de Cajabamba.

En relación a este estudio, el diseño fue no experimental porque no se manipuló la variable, de igual forma Frey (2018, p. 1150) menciona que los diseños no experimentales son aquellos que carecen de manejo intencionado de variables mediante técnicas experimentales o teóricas. Por lo tanto, para desarrollar la presente investigación, se hizo a través de datos disponibles y confiables de la provincia de Cajabamba, después se analizaron mediante el álgebra de mapas para obtener las áreas apropiadas para un relleno sanitario.

Por su nivel de profundidad, fue del tipo documental, porque la investigación se ha obtenido a través de una base de datos confiables, esto concuerda con la investigación de Ortega (2017, p. 155), donde señala que la investigación documental significa recopilar información de diferentes fuentes confiables, la cual servirá de apoyo para el desarrollo de futuras investigaciones. Los datos para la investigación fueron recolectados del geo portales institucionales, la normativa legal del país, así como bases de datos institucionales.

Además, por su naturaleza fue del tipo cuantitativa, ya que se utilizó el método del AHP. Este se basa en realizar inferencias, es decir está orientado a obtener un resultado a través de datos (Ochoa, Nava y Fusil, 2020, p. 16). En pocas palabras, es una herramienta científica para tratar aspectos que son difíciles de cuantificar.

3.2. Variables y Operacionalización

Desde la perspectiva del desarrollo del presente estudio, se consideró como única variable de investigación, la siguiente:

- Variable de estudio: Áreas apropiadas para un relleno sanitario en la provincia de Cajabamba.

Por lo cual se ha desarrollado la tabla de operacionalización (ver anexo 1).

3.3. Población, muestra y muestreo

La presente investigación se desarrolló en base a toda el área de la provincia de Cajabamba, que se encuentra en el departamento de Cajamarca. Es importante señalar que esta provincia consta de cuatro distritos, que son Cachachi, Condebamba, Cajabamba y Sitacocha (Ver anexo 3).

En relación a la muestra de la investigación, se aplicó la investigación a las áreas de los cuatro distritos, siendo los siguientes: Cachachi (81864 ha), Condebamba (19730 ha), Cajabamba (19045 ha) y Sitacocha (58252 ha).

Por lo tanto, para la investigación el muestreo fue no probabilístico, donde Sheppard (2019, p. 7), define al método no probabilístico como una técnica, donde no se tiene conocimiento de la probabilidad de que una persona o una situación sea elegida para ser parte de la muestra.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para este estudio, se utilizó la técnica de revisión bibliográfica, definida por Dash (2019, p. 2) como una descripción crítica, aunque no fáctica, de sucesos pasados, así como de lo investigado, en su mayoría a partir de fuentes secundarias, pero pueden ser de fuentes primarias. De acuerdo a lo indicado, se realizó la recolección de datos para determinar la variable de estudio para definir los valores límite y las opciones de clasificación, en base al Decreto Supremo 014-2017-MINAM, "Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado", GEOCATMIN y el criterio para la clasificación de los rangos por parte del ingeniero Ronald Rogelio Rupay Yauri (2022), quien de acuerdo a su criterio nos aportó su conocimiento en relación a la toma de decisiones para identificar las zonas para una infraestructura de disposición final, mediante esta información se desarrolló el AHP.

Para la reclasificación de la ponderación de la información de cartográfica en la investigación fue de la siguiente manera:

Tabla 1. Reclasificación de la información cartográfica

Descripción	Ponderación	Explicación
No adecuado	0	Debido a que no cumplieron con los límites establecidos en la guía del MINAM.
Moderadamente adecuado	1	Debido a que representó la distancia de la zona de amortiguamiento.
Adecuado	2	Cercanía a la zona de amortiguamiento.
Muy adecuado	3	Representó las zonas lejanas a la zona de amortiguamiento y cumplió con la mayoría de las características para la ubicación de un relleno sanitario.

Fuente: Elaboración propia y reunión de trabajo Rupay (2022).

Para la información cartográfica de pendientes y áreas inundables contenía su debida clasificación de importancia, por lo que se volvió a reclasificar de acuerdo a este estudio.

La segunda técnica, fue la evaluación multicriterio, este permite asignar valores de ponderación a la información cartográfica y la suma de esta información genera el mapa final con áreas idóneas (Chen y Jie, 2017, p. 4).

Los instrumentos para desarrollar la investigación, fueron los siguientes:

Dentro de los instrumentos que se utilizó para esta investigación, se tiene al sistema de información geográfico, según Howary y Ghrefat (2021, p. 165) es un instrumento para el procesamiento de datos geográficos, que sirve para integrar varios aspectos de datos geográficos del mundo real. Para ello, se utilizó el arcmap 10.8.1 y se realizó el análisis espacial de 10 mapas para la elaboración de los mapas temáticos de centros poblados, aguas superficiales, áreas agrícolas, fallas geológicas, pendientes, vías, áreas naturales protegidas, concesiones mineras, comunidades campesinas y peligros por inundación.

El segundo instrumento, fue el proceso de jerarquía analítica, definido por Tercan *et al.* (2020, p. 18) como una herramienta eficaz para acelerar la toma de decisiones y resolver problemas complejos en un escenario que está influenciado simultáneamente por más de un factor independiente. Además, según Khodaparast *et al.* (2018, p. 2) es un método aritmético matricial simple que permite estimar el coeficiente ponderado de diversas alternativas mediante una estructura jerárquica

apropiada que incluye un procesamiento paso a paso de etapas y su combinación de factores. Por lo tanto, mediante esta información se identificó el peso de cada capa de acuerdo a su impacto en la determinación del objetivo.

El tercer instrumento, fue la ficha de recolección de datos, con el fin de realizar la evaluación multicriterio de los datos geográficos y la matriz de comparación por pares que se utilizó para determinar los pesos de importancia para cada subcriterio. Para ello, se establecieron 5 fichas, siendo las siguientes: Ficha 1: Subcriterios y rangos de ponderación; Ficha 2: Matriz de comparación por pares del estudio; Ficha 3: Matriz de comparación por pares con calificación numérica; Ficha 4: Matriz de comparación por pares normalizados (MCN); Ficha 5: Vector de prioridad para los subcriterios (Ver anexo 2).

3.5. Procedimiento

A continuación, se describen los pasos en el siguiente diagrama:

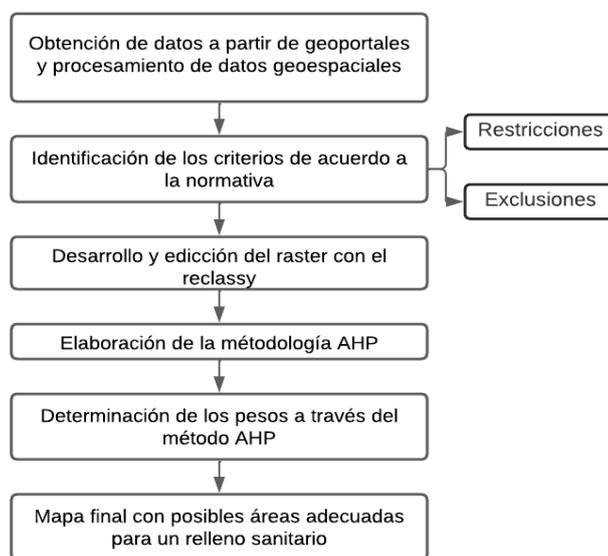


Figura 1. Diagrama de la metodología

Se realizó el procedimiento de la siguiente manera, primero se descargó la base de datos geoespaciales de los geoportales institucionales para la provincia de Cajabamba, de las siguientes páginas: Sistema Geológico Catastral Minero (GEOCATMIN); Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC); Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP); Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico

(INGEMMET), Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Ministerio de Educación (MED); esta información se almacenó en formato raster y shapefile.

Como segundo paso, se seleccionaron los requisitos de selección de los sitios para los rellenos sanitarios en base a la normativa legal del estado y para la reclasificación se realizó con el apoyo de la “Guía para la Identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales” (MINAM, 2011) la “Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Monitoreo de Relleno Sanitario Mecanizado” (MINAM, 2011), la clasificación dada por el GEOCATMIN; asimismo, se estableció los criterios en una reunión de trabajo con el Ingeniero Ronald Rogelio Rupay Yauri (2022).

Para el tercer paso, se utilizó el programa ArcMap 10.8.1, para analizar los datos espaciales. Para ello, se basó en el estudio de Mohammad *et al.* (2018), donde aplicaron en el GIS análisis de distancias, reclasificación y análisis de superposición para encontrar las áreas para un relleno sanitario. Estos análisis se realizaron para este estudio. Para ello, los datos geoespaciales fueron previamente adaptados al área de estudio, para esto se utilizó la herramienta Project que según Cofrep *et al.* (2017, p. 27) sirve para proyectar los datos espaciales de un sistema de coordenadas a otro diferente; de acuerdo a ello, se configuró al sistema de proyección Universal Transversal de Mercator (UTM) para la zona de estudio que es la zona 17 Sur. Luego mediante el mapa base que sirvió para cortar las capas temáticas, mediante la herramienta clip, que según Cofred *et al.* (2017, p. 37), permite recortar una parte del todo en función del perímetro de una capa poligonal, por lo que se obtuvieron los datos del mapa en función al área de estudio. Por otro lado, algunos mapas no presentaron toda la información para elaborar el mapa temático como el mapa de aguas superficiales que es la representación de los ríos, lagos y lagunas; el mapa de vías que se conforma con la información de la red vecinal, departamental y nacional; el mapa de áreas naturales protegidas que se basa en la información de la zona de amortiguamiento, áreas naturales protegidas y la zona de reserva, por lo tanto, se utilizó la herramienta “Merge” es utilizada para fusionar dos o más entidades que deben ser del mismo tipo (puntos, líneas o polígonos), para formar una sola capa.

Luego se realizó el análisis de distancias y en el estudio de Daza *et al.* (2018, p.47), indican que la herramienta distancia euclidiana, se utiliza para calcular la distancia de cada píxel de datos ráster desde un punto, línea o polígono de origen en otra capa. Esta herramienta se utilizó para los mapas de centros poblados, aguas superficiales, áreas agrícolas, fallas geológicas y vías. La aplicación de la herramienta “Euclidean Distance”, se encuentra en el anexo N° 04. Por otro lado, previamente para la elaboración del mapa de pendientes, se elaboró a partir de un modelo de elevación digital (DEM), para este se extrajo un polígono que contenga el área de estudio, después se aplicó la herramienta “Slope”.

A continuación, se han desarrollado mapas de áreas naturales protegidas, concesiones mineras, comunidades campesinas y peligros por inundación, se ingresó los rangos establecidos, en donde se utilizó la herramienta “Múltiple Ring Buffer”, posteriormente se utilizó la herramienta “Polygon to Raster” para la conversión a ráster a una resolución de 50 m, mediante varios pasos (ver anexo N° 06). Como lo indican, Daza *et al.* (2018, p.63), la herramienta Polygon to Raster, desarrolla la conversión de tipo polígono a ráster. Para la elaboración del mapa exclusión de peligros por inundación, obtenida del GEOCATMIN, se utilizó la herramienta “Reclassify”, la cual sirvió para reclasificar los valores de acuerdo a las alternativas establecidas previamente. Es así como, la herramienta “Reclassify”, permite reclasificar diferentes valores guardados en formato raster; es decir, cambia los valores de cada celda por nuevos datos (Cofrep *et al.*, 2017, p.46). De esta manera, se realizó la reclasificación a todas las capas en base a cuatro alternativas que son: no adecuado, adecuado, moderadamente adecuado y muy adecuado, para la clasificación del área total.

Para el cuarto paso, se aplicó el método AHP, que según Fiallos *et al.* (2021, p. 228), tiene tres funciones que son la estructuración de complejidad, para realizar el orden jerárquico de problemas en subproblemas homogéneos; luego está la medición de escalas, donde el AHP realiza las mediciones de factores. Finalmente, la síntesis, donde el método AHP se enfoca en el sistema en general; por lo tanto, la solución da el todo, no lo específico.

Para la investigación se realizó la estructura jerárquica de Saaty, 1998 mediante el método sugerido por Pinzon, 2015.

Objetivo general: Determinar áreas apropiadas para un relleno sanitario en la provincia de Cajabamba.

Criterios: Criterios de restricción y exclusión.

Subcriterios: Centros poblados, aguas superficiales, áreas agrícolas, fallas geológicas, pendientes, vías, áreas naturales protegidas, concesiones mineras, comunidades campesinas y peligros por inundación.

Alternativas: No apropiado, marginalmente apropiado, moderadamente apropiado y muy apropiado.

Para el procedimiento se realizó la estructuración jerárquica, que según Mendoza *et al.* (2019, p. 351) es una representación gráfica de algún problema en forma jerárquica, donde el objetivo general va en la parte superior, las alternativas en la parte inferior y los criterios van en el medio (ver figura 2).

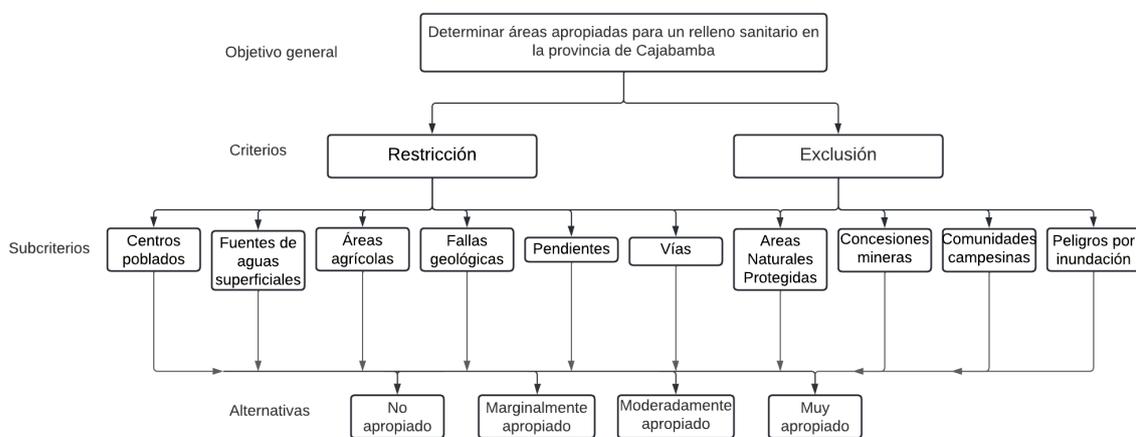


Figura 2. Estructura Jerárquica

Después se presentaron los juicios de valor, que según Mendoza *et al.* (2019, p. 351) dicen que, debido a la existencia de ambigüedad al momento de priorizar entre cada subcriterio, es necesario el uso de una herramienta que posibilite los juicios subjetivos y, al mismo tiempo, reduce la incertidumbre inherente a los juicios personales. Por ello, se utiliza la escala de Saaty (ver figura 3). Esta sirve para establecer la importancia de cada subcriterio con otro en la matriz de comparación

por pares. Después, según Sierra (2021, p. 12) se realiza la misma matriz expresada con su calificación numérica.

Escala numérica	Escala verbal	Descripción
1	Igual importancia.	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	El elemento es moderadamente más importante respecto al otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	El elemento es fuertemente más importante respecto al otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro.	Un elemento domina fuertemente.
9	La importancia del elemento es extrema respecto al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	
Incrementos 0,1	Valores intermedios entre incrementos (utilice esta escala si cree que su valoración necesita un alto grado de precisión).	
Inversos $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}$	Se utiliza cuando el segundo elemento es mayor en el criterio a comparar.	

Figura 3. Escala de Juicio

Fuente: Extraído de la revista chilena titulado “Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos”.

En esta investigación, los subcriterios establecidos se clasificaron utilizando el aporte del decisor en relación con su importancia con los valores de la escala de Saaty, en consecuencia, a un par de elementos con igual prioridad se le asigna el valor "1"; para el caso del subcriterio de centros poblados, se describe de la siguiente manera, los centros poblados en comparación con centros poblados se clasificó con el valor "1"; por consiguiente, se clasificó tres veces más importante que las fuentes de aguas superficiales, 5 veces más importante que las áreas agrícolas, 7 veces más importante que las fallas geológicas, 5 veces más importante que las pendientes, 5 veces más importante que las vías, 5 veces más importante que las áreas naturales protegidas, 7 veces más importante que las concesiones mineras, 3 veces más importante que comunidades campesinas y de igual importancia que los peligros por inundación.

En base al estudio de Pinzon (2015, p. 9) estableció un método para el desarrollo de la estructura de Saaty, dicho método se aplicó para esta investigación, en base a lo mencionado se elaboraron las tablas del método previamente citados (ver anexos 2, 3, 4 y 5), además en este método se evidencia la aplicación a un solo tomador de decisiones, igualmente, en la investigación de Khaira y Dwivedib (2018, p. 4030) señalan que hay dos maneras de realizar el proceso, que son toma de decisiones individual que involucra a un solo especialista para la clasificación de las alternativas según los criterios

Después de tener la importancia de cada subcriterio con los demás mediante la matriz, se realizó la construcción de la matriz normalizada, esto coincide con lo mencionado por Mendoza *et al.* (2019, p. 351), que a su vez dicen que este proceso consiste básicamente en dividir cada elemento que se tiene en cada columna por la suma de la columna.

Luego, de obtenerlo previamente mencionado, se calcularon los vectores de prioridad para cada subcriterio; para ello, de acuerdo a Chabuck *et al.* (2019, p. 10) para obtener los vectores propios, se debe multiplicar el valor de cada subcriterio de una fila y luego saca la raíz por el número de elementos de la fila. Para calcular el vector de prioridad de los subcriterios, se divide cada vector propio por la suma total de la columna de los vectores propios.

Luego, de acuerdo a la investigación de Mendoza *et al.* (2017, p. 352) para el análisis de los resultados se debe evaluar la consistencia de la matriz para determinar el nivel de inconsistencia permisible o aceptable.

Por consiguiente, como primer paso se calculó el cociente de consistencia de la matriz, con los siguientes pasos: para cada fila de la matriz, se calculó la suma ponderada a partir de la suma del producto de cada elemento con cada subcriterio. Luego, para cada elemento del vector resultante, se dividió la suma ponderada por cada criterio. Como segundo paso se determinó la media λ_{max} del resultado y se calculó el índice de consistencia (CI) para cada subcriterio y n es la cantidad de subcriterios, esto de desarrollo con la siguiente ecuación:

$$(1): Ci = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Como tercer paso, se determinó el índice aleatorio (IA), mediante la siguiente ecuación:

$$(2): Rci = \frac{1.98 * (n - 2)}{n}$$

De manera similar la razón de consistencia (CR), se determinó mediante la ecuación:

$$(3): CR = \frac{Ci}{Rci}$$

Finalmente, se ha indicado que cuando el resultado obtenido de la ecuación (3) es menor o igual que 0.1, el nivel de inconsistencia llega a ser aceptable, pero si se obtiene un resultado diferente se debe revisar la evaluación dada por el experto.

Además, según Pinzon (2015, p. 12), en el método AHP para matrices mayores a 5x5, el RC debe ser menor a 0.1, en caso contrario, si el resultado es mayor, se deben modificar los valores de la matriz.

Para el quinto paso, se realizó la metodología AHP y según Sierra (2021, p. 13) después de aplicar la metodología AHP, obtuvo los vectores de prioridad que se representan en pesos o porcentajes a los cuales se le asignó a cada subcriterio, además se convirtieron en variables geográficas con el fin de aplicar el álgebra de mapas.

En el sexto paso, se elaboró el mapa final con las posibles áreas apropiadas para un relleno sanitario, con la herramienta álgebra de mapas o superposición ponderada en ArcGis en el "Spatial Analyst ToolBox", este proceso se realizó mediante la suma lineal de los subcriterios multiplicados por su peso establecido por el AHP, mediante la herramienta "Raster Calculator", representado de la siguiente manera ("centros poblados.tif"*0.26). Del mismo modo Narcia (2022, p. 35) hizo uso de la herramienta "Raster Calculator" para agregar las capas obtenidas. De esta manera, el AHP une los pesos y puntuaciones permitiendo obtener una puntuación final para cada alternativa y una clasificación resultante. Respecto a la puntuación final una alternativa, se dio en base a la suma ponderada de las puntuaciones de todos los subcriterios. Estas alternativas se clasificaron desde el 1 al 4, las áreas "no apropiadas", "marginamente apropiadas", "moderadamente apropiadas" y "muy apropiadas", los resultados de la clasificación

se basaron a la evaluación del valor 0 al 3, de esta manera se clasificó el área de estudio. Finalmente, se identificaron los polígonos que se caracterizaron por ser los más apropiados para un relleno sanitario en la provincia de Cajabamba.

3.6. Método de análisis de datos

El mapa con las áreas apropiadas se elaboró mediante la evaluación multicriterio, donde se integró la metodología AHP con el GIS. En los sistemas de información geográfico se realizó la reclasificación de cada mapa, luego se convirtió a formato ráster; y para el proceso del AHP se aplicó la matriz de comparación por pares para obtener la importancia para cada mapa temático con respecto a otra; a partir de ello, se estableció los pesos para cada uno; después se superpusieron las capas con los pesos generados por el AHP.

3.7. Aspectos éticos

Para esta investigación, con respecto a los aspectos éticos fue metodológicamente sensata, ya que fue producto del esfuerzo propio de las autoras; asimismo, se trabajó con información de fuentes internacionales y nacionales, cuya autoría se respetó y la información obtenida no se modificó, además fue revisado por la plataforma de turnitin para evitar cualquier tipo de plagio.

IV. RESULTADOS

4.1. Identificación de característica apropiadas para RS

Para lograr el primer objetivo específico, se han utilizado los criterios de restricción y exclusión. Para ello, cada criterio se ha dividido en subcriterios, luego mediante la evaluación multicriterio se clasificó sus rangos y se ponderó.

- Criterios de restricción

Mapa de centros poblados

Para la selección de áreas se basó en el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, se tiene en cuenta la distancia mínima de 500 m para centros poblados, mientras que Majid y Ahmed (2021, p. 6) consideraron una distancia de 500 m para la ciudad de Srinagar, ya que, según el autor, se puede prevenir consecuencias fatales; por otro lado, las distancias más largas tuvieron mayor peso en la evaluación multicriterio de su estudio. En ese sentido, para la elaboración del mapa de centros poblados se tomaron los datos en formato shapefile y a la escala 1: 100 000 del geoportal del Ministerio de Educación (MED), mediante lo indicado se logró elaborar la tabla 2 y figura 4.

Tabla 2. Datos del subcriterio de centros poblados

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤500 metros	"No adecuado"	0	31586.37 ha	18%
500 m - 1000 m	"Moderadamente adecuado"	1	51499.27 ha	29%
1000 m - 2000 m	"Adecuado"	2	55328.68 ha	31%
>2000 metros	"Muy adecuado"	3	40476.19 ha	23%

Fuente: Elaboración propia acorde al Decreto Supremo N° 014-2017 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Como se visualiza en la figura 4, las áreas adecuadas representan la mayor extensión con un total de 55328.68 ha, pero el área más pequeña lo ocupa las zonas no adecuadas con el total de 31586.37 ha.

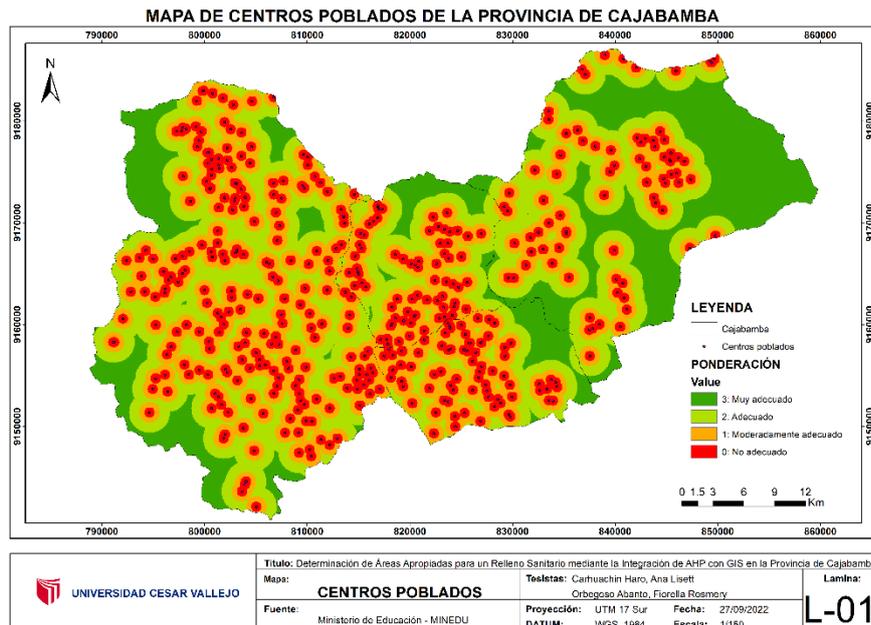


Figura 4. Mapa de centros poblados del área de estudio

En la figura 4, se pueden visualizar 483 centros poblados dentro de la provincia de Cajabamba.

Mapa de aguas superficiales

Para esta característica de la provincia de Cajabamba, también se tiene en cuenta dentro del Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, que establece una distancia mínima de 500 metros a las aguas superficiales, de igual forma en la investigación de Tulun *et al.* (2021, p. 11) consideraron la distancia mínima de 500 metros para aguas superficiales además fue uno de los factores ambientales más dominantes. Además, Majid y Ahmed (2021, p. 5) afirman que los rellenos sanitarios no deben ubicarse cerca de aguas superficiales debido a la posible contaminación por lixiviados.

Para la elaboración del mapa de aguas superficiales, se tomaron los datos en formato shapefile y a la escala 1: 100 000, del geoportal del IGN, del cual se elaboró lo dispuesto en la tabla 3 y figura 5.

Tabla 3. Datos del subcriterio de aguas superficiales

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤500 metros	"No adecuado"	0	98996.66 ha	55%
500 m - 750 m	"Moderadamente adecuado"	1	31521.60 ha	18%
750 m - 1000 m	"Adecuado"	2	21356.30 ha	12%
>1000 metros	"Muy adecuado"	3	27026.46 ha	15%

Fuente: Elaboración propia acorde al Decreto Supremo N° 014-2017 y reunión de trabajo Rupay (2022).

En la figura 5, se puede observar que el área que ocupa más espacio lo representan las áreas no adecuadas con un total de 98996.66 ha, sin embargo, el área más pequeña lo ocupa las áreas adecuadas con un total de 21356.30 ha.

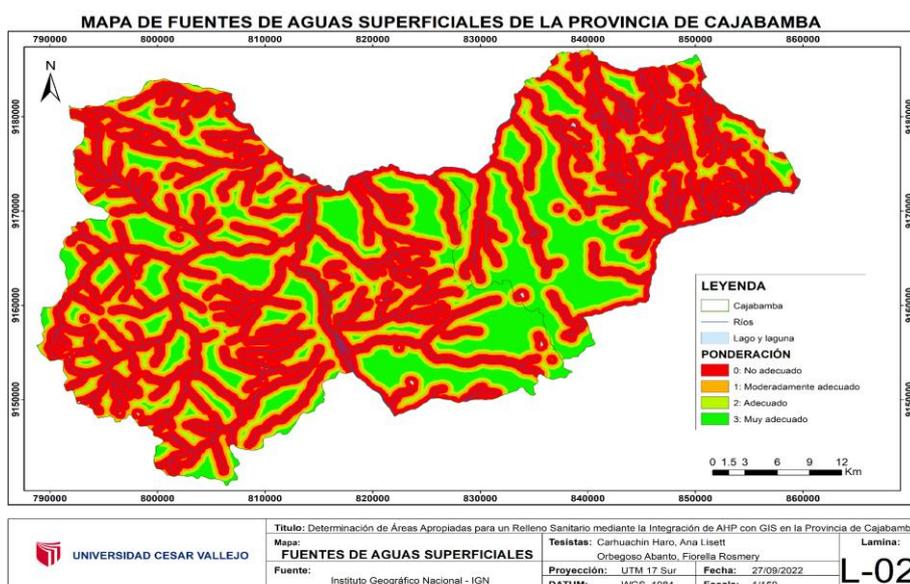


Figura 5. Mapa de fuentes de agua superficiales del área de estudio

De acuerdo a la figura 5, se observa la ubicación de las quebradas, ríos, lagos y lagunas dentro de la provincia de Cajabamba.

Mapa de áreas agrícolas

El Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM considera otro factor, que son las áreas agrícolas, las cuales deben establecerse a una distancia mínima de 500 m. En ese sentido, en la investigación de Majid y Ahmed (2021, p. 8), consideran que los rellenos sanitarios deben mantenerse a una distancia adecuada de las tierras agrícolas, debido a que la cercanía a estos puede ser una amenaza para los

campos y cultivos, además si la contaminación es prolongada, el área puede volverse estéril. También, Adewara y Odeyemi (2019, p. 186), consideraron la distancia de 500 metros como una característica limitante en su estudio, con la finalidad de amortiguar las áreas agrícolas. Además, según Cüre, Zengin y Yılmaz, (2021, p. 507), es importante tener en cuenta la agricultura para la selección del sitio en el área de estudio donde abundan las tierras agrícolas.

Mediante lo indicado, para la creación del mapa de áreas agrícolas, se tomaron los datos en formato shapefile y a la escala de 1:100 000, del geoportal del MIDAGRI, esto sirvió para elaborar lo establecido en la tabla 4 y figura 6.

Tabla 4. Datos del subcriterio de áreas agrícolas

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤500 metros	"No adecuado"	0	131333.80 ha	73%
500 m - 750 m	"Moderadamente adecuado"	1	12039.41 ha	7%
750 m - 1000 m	"Adecuado"	2	8438.93 ha	5%
>1000 metros	"Muy adecuado"	3	27078.33 ha	15%

Fuente: Elaboración propia acorde al Decreto Supremo N° 014-2017 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Como se visualiza en la tabla 4, las áreas no adecuadas ocupan la mayor extensión con 131333.80 ha, aunque las áreas muy adecuadas llegan a ser la segunda más extensa con 8438.93 ha.

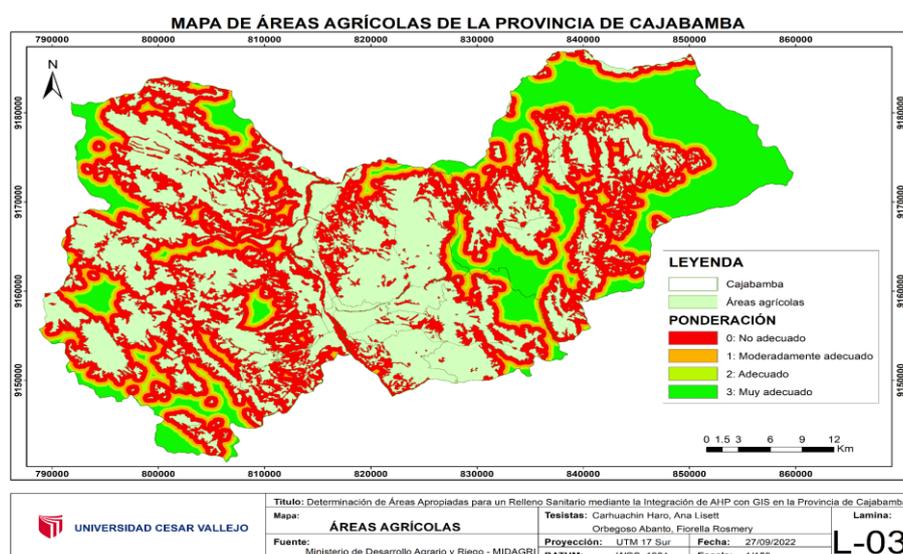


Figura 6. Mapa de áreas agrícolas del área de estudio

Según la figura 6, se visualiza las áreas no adecuadas, las cuales contienen la superficie total de las áreas agrícolas de la provincia de Cajabamba con el total de 67526.25 ha.

Mapa de fallas geológicas

De acuerdo a lo establecido en el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, se debe tener en cuenta la distancia a las fallas geológicas a una distancia de 500 metros; asimismo, en el estudio Estacio *et al.* (2021, p. 221) consideraron para la selección de sitios de eliminación de desechos, una distancia de 500 metros desde las fallas geológicas. Además, según Rezaeisabzevar *et al.* (2020, p. 174) los terremotos y los movimientos del suelo pueden dañar los rellenos sanitarios y liberar contaminantes. Por lo que indican, que es importante evitar la cercanía a las fallas a la hora de elegir el área para un relleno sanitario; de este modo consideraron una distancia mínima de 500 m para su estudio. También Ayaim *et al.* (2019, p. 4) en su área de estudio se caracterizó por tener fallas geológicas.

Para la elaboración del mapa de fallas geológicas, se tomaron los datos del geoportal del INGEMMET, en el formato shapefile y a la escala de 1: 100 000, del cual se elaboró lo establecido en la tabla 5 y figura 7.

Tabla 5. Datos del subcriterio de fallas geológicas

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤1 Kilómetro	"No adecuado"	0	67688.19 ha	38%
1 km – 2 km	"Moderadamente adecuado"	1	40575.88 ha	23%
2 km – 3 km	"Adecuado"	2	23006.57 ha	13%
>3 Kilómetros	"Muy adecuado"	3	47619.84 ha	27%

Fuente: Elaboración propia acorde al Decreto Supremo N° 014-2017 y reunión de trabajo Rupay (2022).

En la figura 7, se observa que la mayor superficie lo representan las áreas no adecuadas con un total de 67688.19 ha. En cambio, la menor superficie lo representan las zonas adecuadas resaltadas con verde claro, siendo el total de 23006.57 ha.

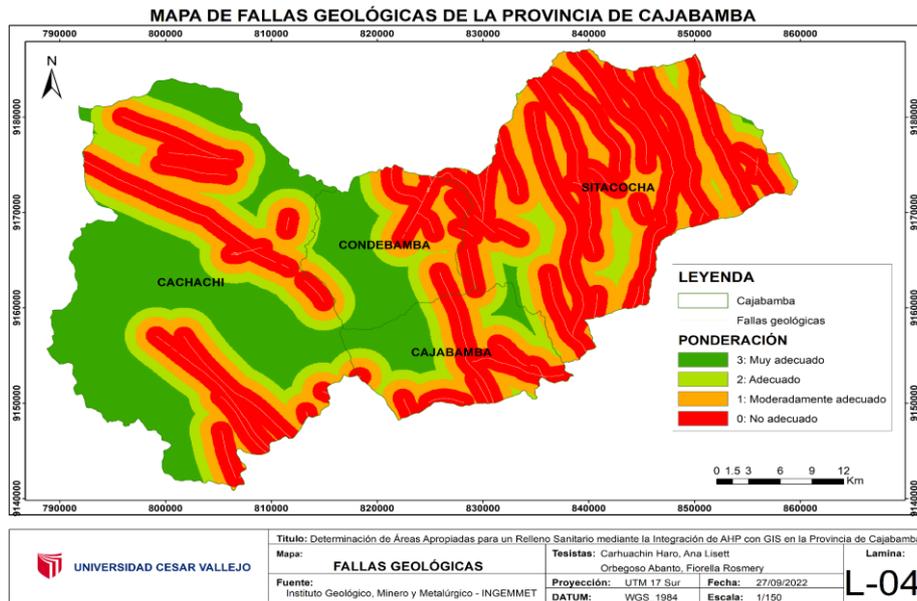


Figura 7. Mapa de fallas geológicas del área de estudio

Como se puede visualizar en la figura 7, existen mayormente áreas de fallas geológicas dentro del distrito de Sitacocha, lo que dificulta la selección de sitio de eliminación de desechos en este distrito de la provincia de Cajabamba.

Mapa de pendientes

Para la elaboración del mapa de restricción, se tomaron los datos del geoportal del INGEMMET, esta se encontró en el formato raster y en la escala de 1: 100 000; para la evaluación multicriterio se clasificó y se ponderó según lo que se establece en la “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual”. Cabe señalar que en la investigación de Khodaparast *et al.* (2018, p. 5), mencionan que los terrenos con poca pendiente son aptos para un relleno sanitario, debido a que minimiza los costos de excavación, también es importante la estabilidad durante la fase de construcción con el riesgo de contaminación del agua en una pendiente alta, por lo que es necesario descartar las pendientes pronunciadas.

Con respecto a la evaluación multicriterio, en el estudio de Sierra (2021, p. 15) la pendiente con menor peso lo representó la pendiente con el grado mayor a 25%. De igual forma, en la presente investigación se estableció la ponderación más baja a la pendiente con el grado mayor a 25%, como se visualiza en la tabla 6 y en la figura 8.

Tabla 6. Datos del subcriterio de pendientes

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
>25%	"No adecuado"	0	116224.65 ha	65%
12% - 25%	"Moderadamente adecuado"	1	40252.58 ha	23%
7% - 12%	"Adecuado"	2	10115.99 ha	6%
0 - 7%	"Muy adecuado"	3	12297.30 ha	7%

Fuente: Elaboración propia acorde a la "Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Monitoreo de Relleno Sanitario Mecanizado", también conforme a la reunión de trabajo Rupay (2022).

Como se presenta en la figura 8, las zonas no adecuadas resaltadas en rojo representan la mayor extensión con un total de 116224.65 ha, pero la menor superficie, lo representan las zonas adecuadas resaltadas con verde claro, siendo el total de 10115.99 ha.

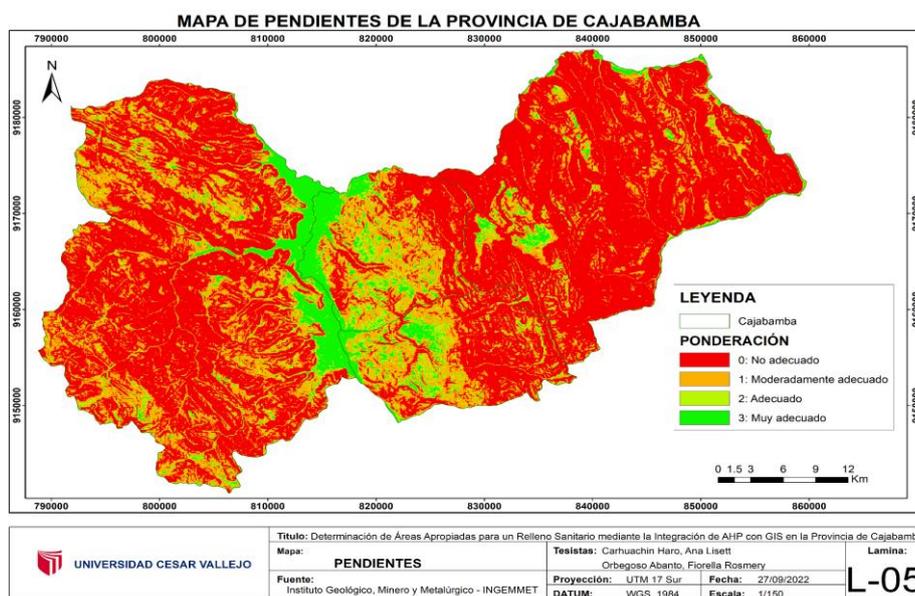


Figura 8. Mapa de pendientes del área de estudio

Como se visualiza en la figura 8, en la provincia contiene áreas con pendientes pronunciadas en la mayoría del territorio.

Mapa de vías

Con respecto a la "Guía para el Diseño Construcción, Operación, Mantenimiento y Monitoreo de Relleno Sanitario Mecanizado" (2011, p. 29), considera entre sus aspectos técnicos más importantes a las vías de acceso. Por su parte, para la zona

de amortiguamiento de las carreteras de Aksaray, en la investigación de Tulun *et al.* (2021, p. 9) se estableció a una distancia de 500 metros con el fin de determinar el área potencial para un relleno sanitario. Además, se encontraron los mismos rangos de clasificación de esta investigación en el estudio de Ayah H. Helal H (2022, p. 5), donde la distancia límite es 500 metros además de que se consideran las áreas adecuadas las mayores a 2000 metros. Para la elaboración del mapa de vías, se tomaron los datos del geoportal del MTC, los cuales se almacenaron en formato shapefile. Mediante lo indicado, se elaboró la tabla 7 y figura 9.

Tabla 7. Datos del subcriterio de vías

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤500 metros	"No adecuado"	0	54136.75 ha	30%
500 m - 1000 m	"Moderadamente adecuado"	1	32064.94 ha	18%
1000 m - 2000 m	"Adecuado"	2	35467.77 ha	20%
>2000 metros	"Muy adecuado"	3	57221.03 ha	32%

Fuente: Elaboración propia acorde al Decreto Supremo N° 014-2017 y reunión de trabajo Rupay (2022).

En la figura 9, se visualizan las zonas muy adecuadas representan la mayor extensión con un total de 57221.03 ha. En cambio, la menor superficie, lo representan las zonas adecuadas con el total de 32064.94 ha.

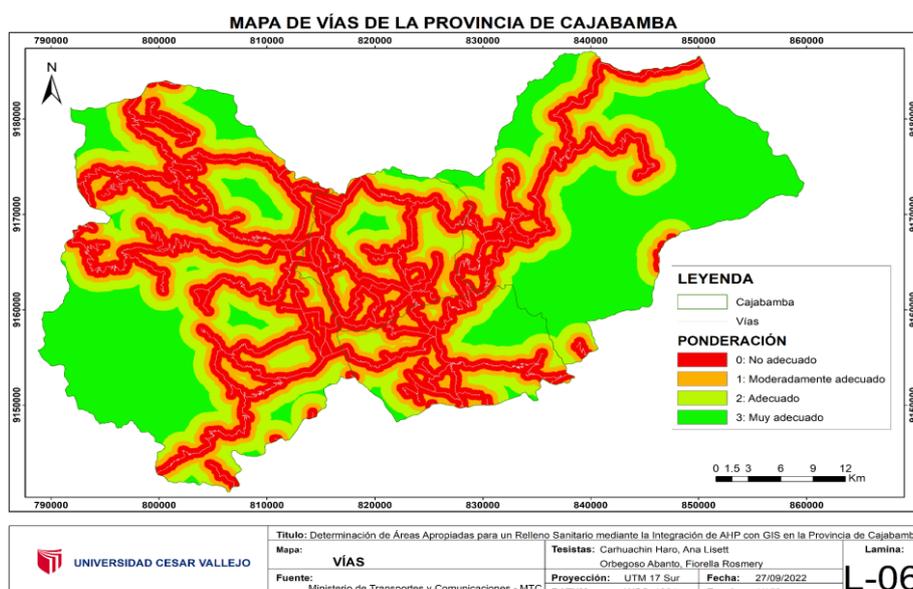


Figura 9. Mapa de vías del área de estudio

En la figura 9, se visualizan las redes viales a nivel vecinal, departamental y nacional dentro de la provincia de Cajabamba.

- Criterios de exclusión

Mapa de Áreas Naturales Protegidas

De lo establecido en el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, para la ubicación de la zona de disposición final de residuos sólidos, se debe tener en cuenta la distancia a las áreas naturales protegidas. Así mismo, según Khodaparast *et al.* (2018, p. 5) consideraron dentro de los criterios sociales a las áreas bajo protección ambiental, protección forestal y protección de humedales, debido a que benefician al desarrollo económico y la estética de distintos lugares. En el artículo de Mahmood *et al.* (2020, p. 4), establecen que se debe prevalecer la distancia de las zonas forestales a las disposiciones finales, para minimizar la contaminación ambiental, además indican que la distancia a tener en cuenta de los bosques debe ser a más de 2000 metros. De igual manera se detalla en la presente investigación, que la distancia mayor a 2000 m, sería la indicada para las zonas adecuadas para disposición final.

De este modo, se adquirió la información del SERNANP en formato shapefile y en la escala 1: 100 000. Para la elaboración del mapa de áreas naturales protegidas, se detalla lo que se encontró en la tabla 8 y se visualiza en la figura 10, que se clasificó en áreas de conservación regional, zonas de amortiguamiento y áreas nacionales definitivas, ubicados en el distrito de Sitacocha y Cachachi.

Tabla 8. Datos del subcriterio de las áreas naturales protegidas

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤500 m	"No adecuado"	0	21564.85 ha	12%
500 m - 1000 m	"Moderadamente adecuado"	1	3910.54 ha	2%
1000 m - 2000 m	"Adecuado"	2	3425.61 ha	2%
>2000 m	"Muy adecuado"	3	149989.01 ha	84%

Fuente: Elaboración propia acorde al Decreto Supremo N° 014-2017 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Como se puede visualizar en la tabla 8, se describen los porcentajes de los rangos establecidos para un relleno sanitario y destaca las áreas muy adecuadas con el 84% del área de estudio de toda la provincia de Cajabamba, le continua las áreas no adecuadas con el 12%, las áreas moderadamente adecuadas con el 2%, las áreas adecuadas con el 2%.

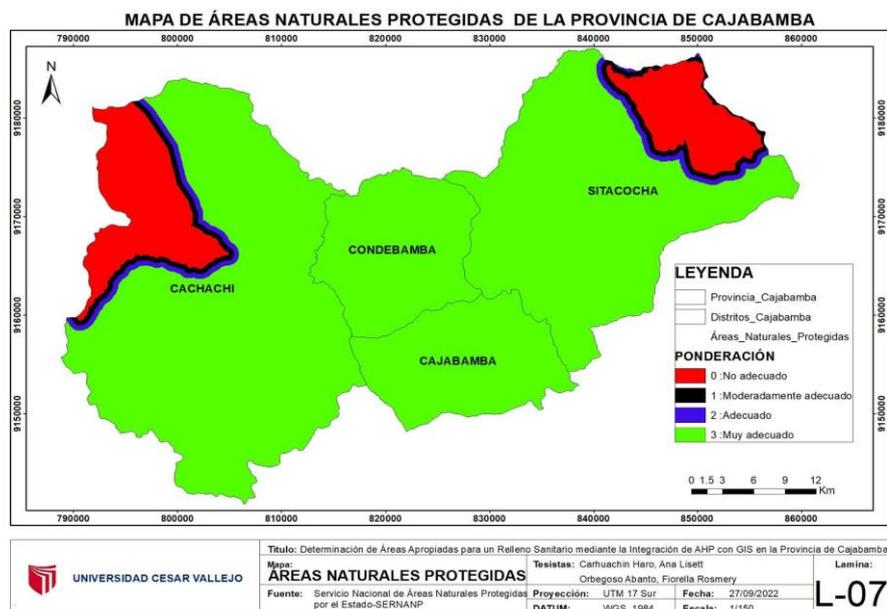


Figura 10. Mapa de áreas naturales protegidas del área de estudio

De acuerdo a la figura 10, se puede observar que los distritos de Cachachi y Sitacocha tienen zonas restringidas, en donde no se consideran áreas posibles para un relleno sanitario.

Mapa de Concesiones Mineras

Otro de los requisitos que fue requerido para la selección de los sitios, fue el de concesiones mineras, que según el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, se debe tener en cuenta la distancia a las concesiones mineras, así como Loayza y Mamani (2021, p.8) tuvieron en cuenta el criterio de concesiones mineras, considerándola como aspecto predominante en su investigación; además, Estacio *et al.* (2021, p. 221-223), consideraron como un criterio a las concesiones mineras, estableciendo como distancia mínima 500 m, del mismo modo, Adewara y Odeyemi (2019, p. 186), determinaron como rango de mínima distancia 500 m, asimismo para el presente estudio, se estableció como distancia límite el mismo rango.

Es así como en la elaboración del mapa de concesiones mineras se hizo uso de la información geográfica del INGEMMET, la cual se almacenó en formato shapefile y en la escala de 1: 100 000, teniendo como resultados la tabla 9 y la visualización de mapa en la figura 11.

Tabla 9. Datos del subcriterio de concesiones mineras

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤500 metros	"No adecuado"	0	42495.03 ha	24%
500 m -1000 m	"Moderadamente adecuado"	1	16444.01 ha	9%
1000 m -2000 m	"Adecuado"	2	12264.36 ha	7%
>2000 m	"Muy adecuado"	3	107681.27 ha	60%

Fuente: Elaboración propia acorde al Decreto Supremo N° 014-2017 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Como se visualiza en la tabla 9, el área no adecuada de color rojo tiene un porcentaje de 24%, 9% moderadamente adecuado de color amarillo, 7% adecuado de color azul y las áreas muy adecuadas de color verde, tienen un porcentaje de 60% de toda el área de Cajabamba.

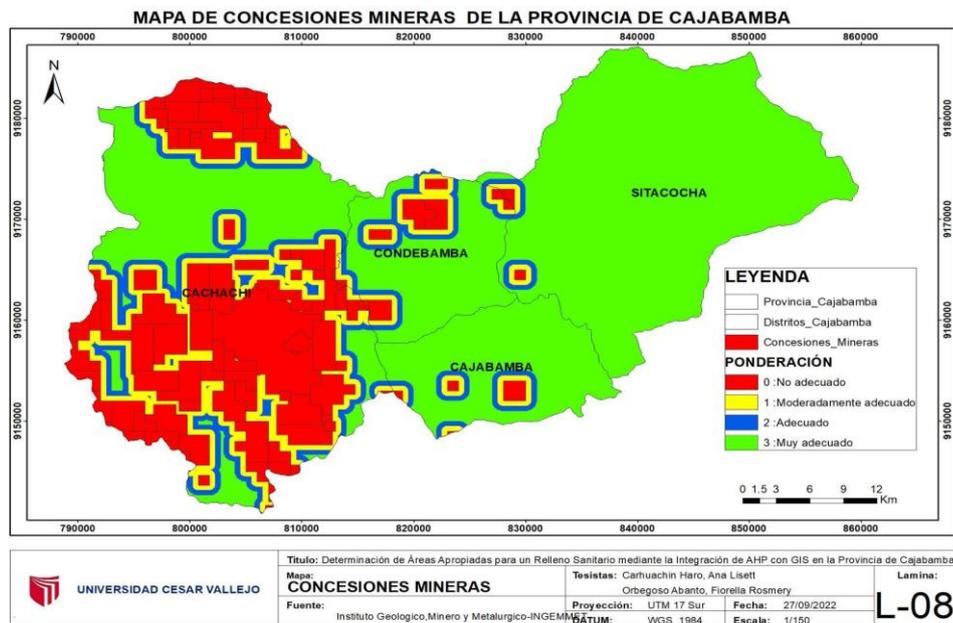


Figura 11. Mapa de concesiones mineras del área de estudio

Observándose en la figura 11, se identificaron 114 concesiones mineras en toda el área de la provincia de Cajabamba, asimismo se visualiza que en el distrito de Sitacocha hay mayor cantidad de área disponible.

Mapa de Comunidades Campesinas

El siguiente mapa de comunidades campesinas, fue considerado debido a que se encontraron áreas importantes de comunidades y según lo establecido en el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, la distancia a las comunidades campesinas se debe tomar en cuenta al momento de determinar el sitio de disposición final de los residuos. Por su parte, Ayaim *et al.* (2019, p.3), tuvieron en cuenta el criterio de comunidades campesinas, además establecieron como distancia más apta a la distancia mayor a 2000 m para las áreas posibles para un relleno sanitario. Del mismo modo, en la presente tesis el rango asignado para las áreas muy adecuadas fue para las distancias mayores a 2000 m.

Para la elaboración del mapa de comunidades campesinas, se hizo uso de la información geográfica del MIDAGRI, la cual se almacenó en formato shapefile y en la escala de 1: 100 000, siendo especificado en la tabla 10 y visualizándose en la figura 12.

Tabla 10. Datos del subcriterio de comunidades campesinas

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤500 metros	"No adecuado"	0	14417.19 ha	8%
500 m -1000 m	"Moderadamente adecuado"	1	5758.31 ha	3%
1000 m -2000 m	"Adecuado"	2	5874.35 ha	3%
>2000 m	"Muy adecuado"	3	152845.25 ha	85%

Fuente: Elaboración propia acorde al Decreto Supremo N° 014-2017 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Mediante lo demostrado en la tabla 10, las áreas no adecuadas de color rojo tienen un porcentaje de 24%, 3% moderadamente adecuado de color amarillo, 7% adecuado de color azul y las áreas muy adecuadas de color verde tienen un porcentaje de 60% de toda el área de Cajabamba.

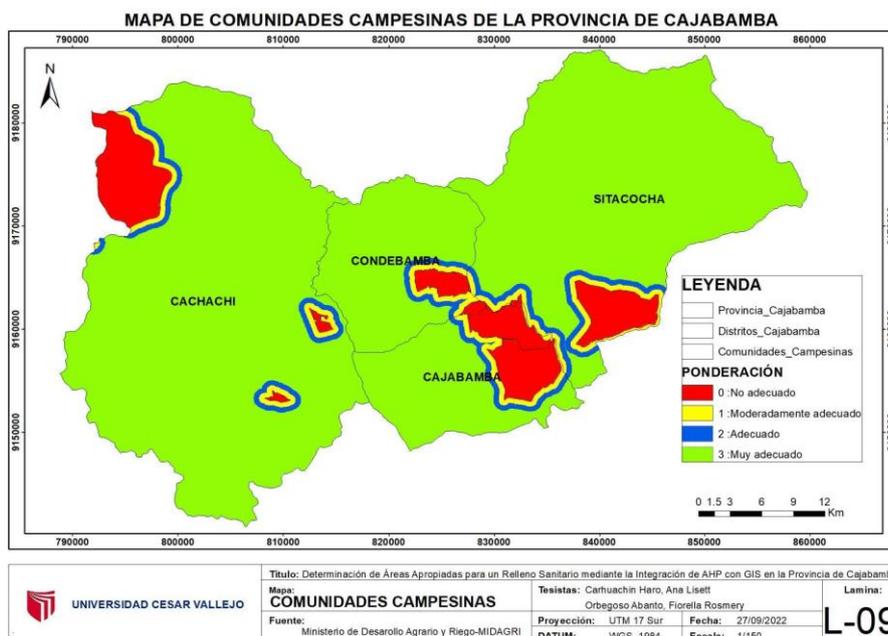


Figura 12. Mapa de comunidades campesinas del área de estudio

En la figura 12, se puede visualizar que hay varias zonas de comunidades campesinas en los distritos de Cajabamba.

Mapa de peligros por inundación

Finalmente, se debe tener en cuenta la distancia a los peligros por inundación, según el Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM, de este modo, Rezaeisabzevar *et al.* (2020, p. 174), indican que las zonas vulnerables a las inundaciones, no son adecuados para los rellenos sanitarios, debido a que los desechos pueden esparcirse y generar contaminación; asimismo, Adewara y Odeyemi (2019, p. 186), indican que las áreas inundables deben estar lejos de la ubicación de disposición final; ya que si se da el caso, esto podría generar el arrastre de los desechos de eliminación hacia aguas subterráneas; por lo tanto, es una amenaza para la salud humana. Además, en el artículo de Mahmood *et al.* (2020, p. 4), indican que un relleno sanitario no debe estar ubicado cerca de vías de agua, vías de inundación y áreas propensas a inundaciones, además indican que la distancia apta debe ser más de 2000 m. De este modo, en este estudio se realizó la reclasificación de la información a partir del GEOCATMIN para los peligros por inundación y se consideró el peso más alto a la distancia mayor a 2000 m.

Mediante los descrito en la elaboración del mapa se hizo uso de la información geográfica del GEOCATMIN, el cual se encontró en formato raster y en la escala de 1: 100 000, teniendo en cuenta lo que se encontró en la tabla 11 y la observación del mapa en la figura 13.

Tabla 11. Datos del subcriterio de peligros por inundación

Rangos	Descripción	Ponderación	Área (ha)	Porcentaje
≤500 m	"No adecuado"	0	3000.13 ha	2%
500 m - 1000 m	"Moderadamente adecuado"	1	4003.36 ha	2%
1000 m - 2000 m	"Adecuado"	2	13111.87 ha	7%
>2000 m	"Muy adecuado"	3	158703.30 ha	89%

Fuente: Adaptado de información GEOCATMIN.

En la tabla 11, las áreas no adecuadas de color rojo tienen un porcentaje de 2% de toda la zona, 2% moderadamente adecuado de color negro, 7% adecuado de color azul y las áreas muy adecuadas de color verde tienen un porcentaje de 89% de toda el área, siendo aptas para el fin buscado.



Figura 13. Mapa de peligros por inundación del área de estudio

Por último, como se puede observar en la figura para los peligros por inundación, se prolongan a lo largo de la provincia, pero con mayor intensidad en los distritos de Condebamba y Cajabamba.

4.2. Aplicación metodología AHP para identificar áreas apropiadas

En el segundo objetivo específico, se realizó aplicación de la metodología del Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), mediante la construcción de la matriz de comparación por pares con los diez subcriterios, establecidos previamente, esta matriz sirve para establecer la importancia de cada subcriterio con otro en base a la escala de Saaty. A continuación, se presentan los siguientes pasos:

Tabla 12. Matriz de comparación por pares del estudio

		Subcriterio Y										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Subcriterio		Centros poblados	Fuentes de aguas superficiales	Áreas agrícolas	Fallas geológicas	Pendientes	Vías	Áreas naturales protegidas	Concesiones mineras	Comunidades campesinas	Peligros por inundación	
Subcriterio X	1	Centros poblados	1	3	5	7	5	5	5	7	3	1
	2	Fuentes de aguas superficiales	1/3	1	3	3	3	3	1	5	3	1/3
	3	Áreas agrícolas	1/5	1/3	1	3	1/3	1	1/3	3	1	1/5
	4	Fallas geológicas	1/7	1/3	1/3	1	1/5	1/3	1/3	1	1/5	1/7
	5	Pendientes	1/5	1/3	3	5	1	5	3	7	5	1
	6	Vías	1/5	1/3	1	3	1/5	1	3	1/3	1/3	1/5
	7	Áreas naturales protegidas	1/5	1	3	3	1/3	1/3	1	3	1	1/5
	8	Concesiones mineras	1/7	1/5	1/3	1	1/7	3	1/3	1	1/3	1/5
	9	Comunidades campesinas	1/3	1/3	1	5	1/5	3	1	3	1	1/5
	10	Peligros por inundación	1	3	5	7	1	5	5	5	5	1

Fuente: Elaboración propia, adaptada de Pinzon, 2015 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Tabla 13. Matriz de comparación por pares con calificación numérica

Subcri terio	Cent ros pobl ados	Fuen tes de agua s supe rficia les	Áreas agríco las	Fallas geoló gicas	Pendi entes	Vías	Áreas natura les proteg idas	Conce siones miner as	Comu nidades campe sinas	Peligr os por inund ación
Cent ros pobla dos	1.00	3.00	5.00	7.00	5.00	5.00	5.00	7.00	3.00	1.00
Aguas supe rficia les	0.33	1.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	5.00	3.00	0.33
Áreas agríco las	0.20	0.33	1.00	3.00	0.33	1.00	0.33	3.00	1.00	0.20
Fallas geoló gicas	0.14	0.33	0.33	1.00	0.20	0.33	0.33	1.00	0.20	0.14
Pendi entes	0.20	0.33	3.00	5.00	1.00	5.00	3.00	7.00	5.00	1.00
Vías	0.20	0.33	1.00	3.00	0.20	1.00	3.00	0.33	0.33	0.20
Áreas natura les proteg idas	0.20	1.00	3.00	3.00	0.33	0.33	1.00	3.00	1.00	0.20
Conce siones miner as	0.14	0.20	0.33	1.00	0.14	3.00	0.33	1.00	0.33	0.20
Comu nidades campe sinas	0.33	0.33	1.00	5.00	0.20	3.00	1.00	3.00	1.00	0.20
Peligr os por inund ación	1.00	3.00	5.00	7.00	1.00	5.00	5.00	5.00	5.00	1.00
Total	3.75	9.87	22.67	38.00	11.41	26.67	20.00	35.33	19.87	4.48

Fuente: Elaboración propia acorde a la metodología AHP, en base a la investigación de Pinzon, 2015 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Luego se realiza la construcción de la matriz normalizada, para ello, se dividió cada elemento que contiene cada columna por la suma de la columna.

Tabla 14. Matriz de comparación por pares normalizados(MCN)

Subcriterio	Centros poblados	Fuentes de aguas superficiales	Áreas agrícolas	Fallas geológicas	Pendientes	Vías	Áreas naturales protegidas	Concesiones mineras	Comunidades campesinas	Peligros por inundación
Centros poblados	0.27	0.30	0.22	0.18	0.44	0.19	0.25	0.20	0.15	0.22
Aguas superficiales	0.09	0.10	0.13	0.08	0.26	0.11	0.05	0.14	0.15	0.07
Áreas agrícolas	0.05	0.03	0.04	0.08	0.03	0.04	0.02	0.08	0.05	0.04
Fallas geológicas	0.04	0.03	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03
Pendientes	0.05	0.03	0.13	0.13	0.09	0.19	0.15	0.20	0.25	0.22
Vías	0.05	0.03	0.04	0.08	0.02	0.04	0.15	0.01	0.02	0.04
Áreas naturales protegidas	0.05	0.10	0.13	0.08	0.03	0.01	0.05	0.08	0.05	0.04
Concesiones mineras	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01	0.11	0.02	0.03	0.02	0.04
Comunidades campesinas	2.42	0.03	0.04	0.13	0.02	0.11	0.05	0.08	0.05	0.04
Peligros por inundación	0.27	0.30	0.22	0.18	0.09	0.19	0.25	0.14	0.25	0.22

Fuente: Elaboración propia acorde a la metodología AHP, en base a la investigación de Pinzon, 2015 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Y realizada la matriz normalizada, se encontraron los vectores prioridad y consistencia.

Tabla 15. Vector de prioridad para los subcriterios (donde no se deben ubicar los subcriterios para la selección de áreas para un relleno sanitario)

Subcriterio	Ponderación	%
Centros poblados	0.26	26%
Aguas superficiales	0.12	12%
Áreas agrícolas	0.05	5%
Fallas geológicas	0.02	2%
Pendientes	0.14	14%
Vías	0.04	4%
Áreas naturales protegidas	0.06	6%
Concesiones mineras	0.03	3%
Comunidades campesinas	0.06	6%
Peligros por inundación	0.22	22%
Total	1	100%

Fuente: Elaboración propia acorde a la metodología AHP, en base a la investigación de Pinzon, 2015 y reunión de trabajo Rupay (2022).

El peso de los subcriterios se encuentra expresado en forma de porcentaje, esto significa que mientras mayor es el porcentaje mayor es la importancia dentro de la identificación de áreas para la ubicación de un relleno sanitario. En la tabla 14, indica que la distancia a centros poblados fue de mayor relevancia en la selección de sitios, con un peso de 0.26 (26%), le siguen los peligros por inundación con un peso 0.22 (22%), las pendientes con un peso de 0.14 (14%), aguas superficiales con un peso de 0.12 (12%), áreas naturales protegidas y comunidades campesinas con un peso de 0.06 (6%), áreas agrícolas con un peso de 0.05 (5%), vías con un peso de 0.04 (4%), concesiones mineras con un peso de 0.03 (3%) y fallas geológicas con un peso de 0.02 (2%)

La investigación estuvo dominada por la distancia a los centros poblados, esto también se observó en el estudio de Quinteros (2021, p. 11), donde el proceso del AHP estableció a los asentamientos humanos con el peso más alto entre los demás.

Para verificar la consistencia de las ponderaciones de los subcriterios como resultado de aplicar la matriz de comparación por pares, se dio mediante la estimación de los valores de la razón de consistencia (**CR**), mediante la división del índice de consistencia (**CI**) por el índice aleatorio (**IA**). Donde el CR debe ser menor a 0.1, para que la matriz indique un nivel razonable de consistencia.

Para la investigación, se obtuvo el valor de índice aleatorio (**IA**= 1.584) y el índice de consistencia (**CI** = 0.135) y la razón de consistencia (**CR** = 0.085). Como resultado, el RC encontrado fue de 0.085 y considerando que es una matriz de

10x10, se determinó que los valores encontrados, son aceptables, de esta manera se validan los resultados obtenidos en el análisis matricial y el vector prioridad.

4.3. Elaboración de mapas de áreas apropiadas RS para la prov. Cajabamba

Para el último objetivo específico, se realizó la elaboración del mapa final para las áreas apropiadas para un relleno sanitario, se utilizó como herramientas los sistemas de información geográfica y el AHP, dando como resultado la figura 14.

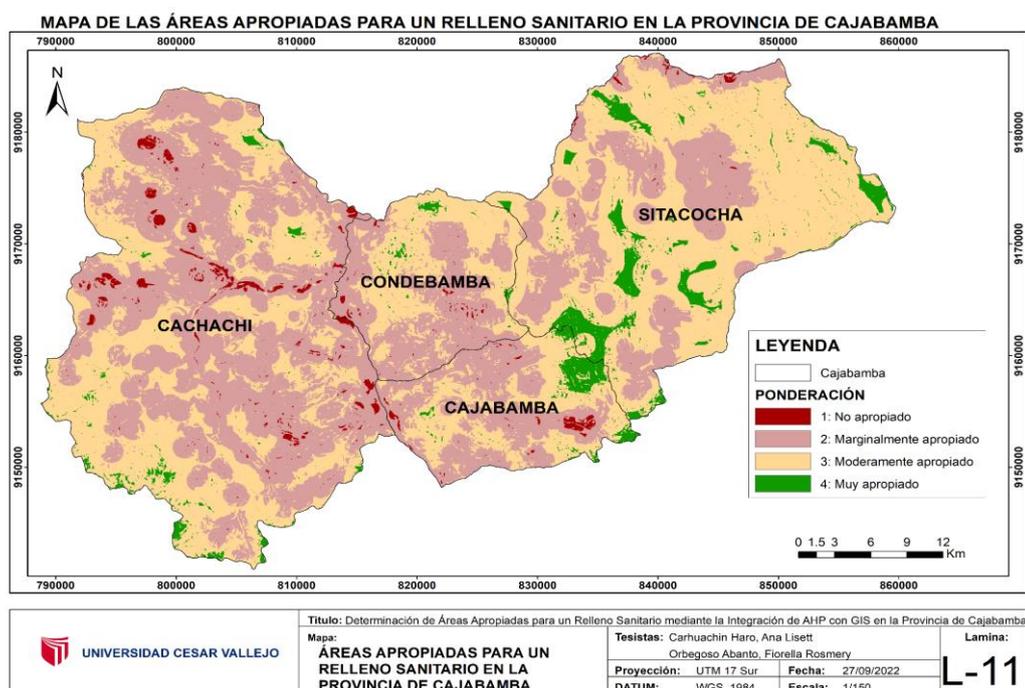


Figura 14. Mapa de áreas apropiadas en la provincia de Cajabamba

La creación del mapa final se obtuvo mediante álgebra de mapas del ArcGis 10. 8. Este proceso se realizó mediante la suma lineal de los subcriterios multiplicados por su peso obtenido por el AHP, de esta manera se determinó la clasificación resultante, la cual se reclasificó de manera equitativa y los rangos para cada uno. Como resultado el área de estudio se dividió en áreas “no apropiadas”, “marginalmente apropiadas”, “moderadamente apropiadas” y “muy apropiadas”.

De manera similar, en la investigación de Ayaim *et al.* (2019, p. 5), encontraron el mapa final mediante la superposición ponderada de los pesos del AHP en función del ArcGis. Con lo que respecta al desarrollo del álgebra de mapas, según la investigación de Paz, Lafayette y Sobral (2020, p. 147), este proceso consiste en crear un archivo raster para cada criterio, luego en la herramienta álgebra de mapas

se multiplican por los pesos de cada criterio para obtener la idoneidad de cada área. Además, en el proceso del álgebra de mapas, se utiliza la herramienta “Raster Calculator”, la cual permite ejecutar expresiones algebraicas utilizando varias herramientas y operadores (Cofrep *et al.* 2017, p. 49).

Tabla 16. Datos de las áreas apropiadas

Rangos	Descripción	Ponderación	Suma de áreas (ha)	Porcentaje (%)
0.36 - 1.015	“No apropiado”	1	2370.93	1%
1.015 - 1.67	“Marginalmente apropiado”	2	81707.06	46%
1.67 - 2.325	“Moderadamente apropiado”	3	87250.46	49%
2.325 - 2.98	“Muy apropiado”	4	6984.36	4%

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 15, se puede visualizar la división del área de estudio en no apropiadas, marginalmente apropiadas, moderadamente apropiadas y muy apropiadas para la ubicación de un relleno sanitario para la provincia de Cajabamba, donde los pesos se clasificaron desde los valores de 0.36 a 2.98, todo se basó en la suma de los mapas temáticos, donde el peso más alto se representó por el peso 3; por lo tanto, los valores cercanos a este son los que cumplen con la mayoría de las características establecidos en el estudio. Como resultado el área total con respecto a las áreas muy apropiadas, las cuales tienen puntajes que van de 2.325 – 2.98, suma un total de 6984.36 ha, lo que representa 4 % del área total. Posteriormente con respecto a la categoría marginalmente apropiadas, con valores que van de 1.015 -1.67, en donde se obtuvo 81707.06 ha, lo que representa el 46%, por otro lado, en la categoría modernamente adecuadas, con valores que van de 1.67 -2.325, obteniendo 87250.46 ha, lo que representa el 49% del área de estudio. Finalmente, las áreas no apropiadas tienen puntajes que van de 0.36 – 1.015, las cuales tuvieron 2370.922 ha, lo que representa el 1% del área de estudio.

En relación a la determinación de las áreas muy apropiadas, se encontraron diversas áreas las cuales se consideraron las más importantes para el estudio, ya que estas cumplieron con gran parte de los subcriterios establecidos en el estudio como se observa en la figura 15 y 16.

Del mismo modo, que el estudio de Loaiza y Mamani (2021, p. 13), como resultado del análisis multicriterio, obtuvieron 56 polígonos con un área total de 70.026507

km², el autor señala que es importante que se consideren para las áreas un dimensionamiento proporcionado y potenciales para la ubicación de un relleno sanitario. De manera similar, para la presente investigación se consideraron los polígonos de mayor superficie, como se visualiza en la figura 15, en donde predominan la cantidad de 10 áreas dentro de las muy apropiadas, siendo ideales para un relleno sanitario. Por otro lado, según el MINAM (2011, p. 29), en lo que respecta a las vías de acceso, el sitio del relleno sanitario debe estar preferentemente ubicado cerca del territorio de la ciudad a servir y conectado a una carretera o camino. Por lo tanto, en este estudio se consideraron las áreas con acceso a las vías.

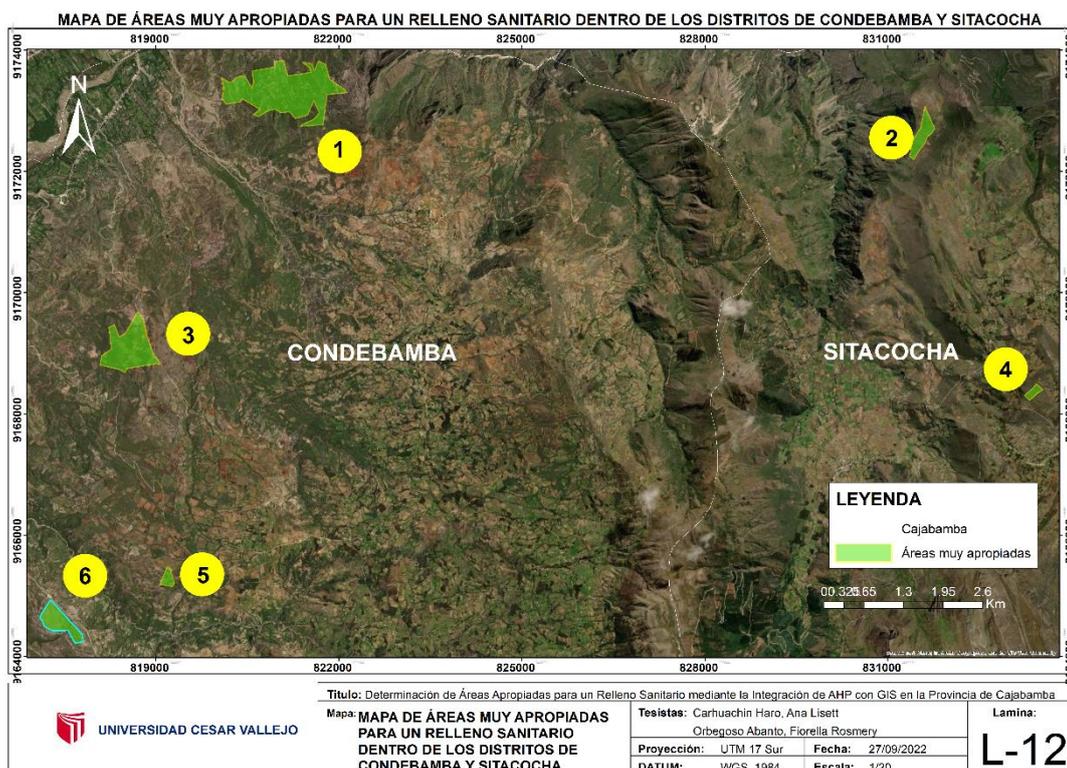


Figura 15. Áreas muy apropiadas en los distritos de Condebamba y Sitacocha
En la figura 15, se visualizan 4 áreas muy apropiadas en el distrito de Condebamba y 2 en el distrito de Sitacocha.

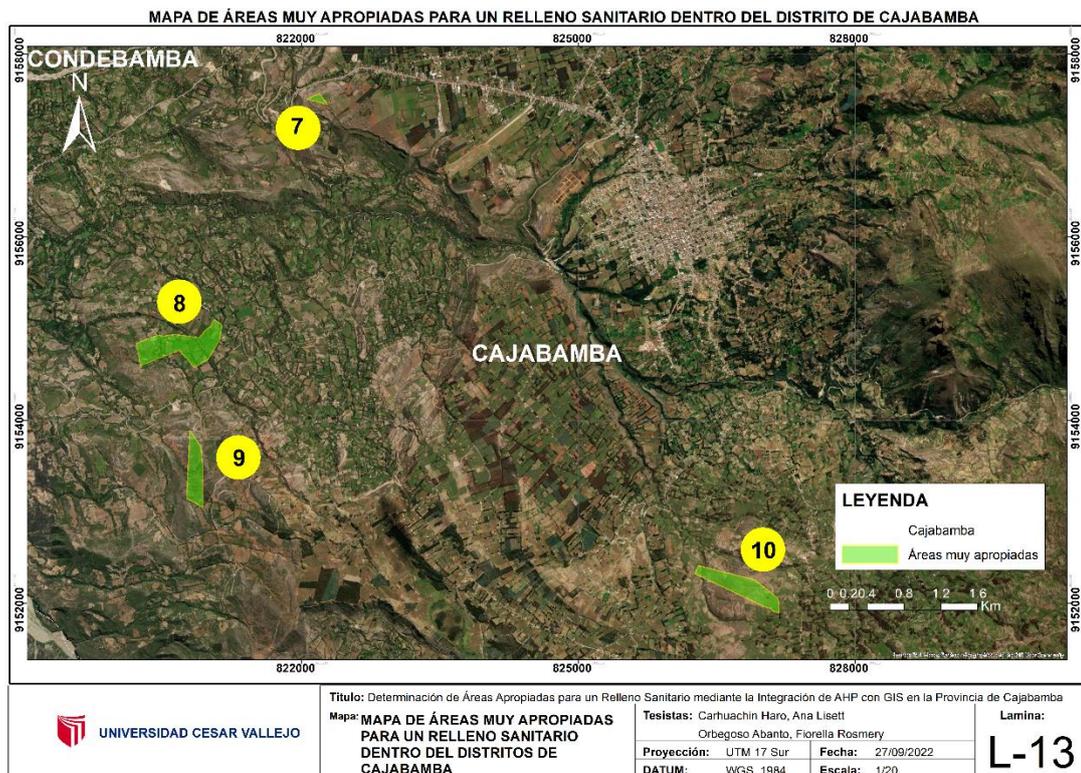


Figura 16. Áreas muy apropiadas en el distrito de Cajabamba

En la figura 16 se visualizan 4 áreas muy apropiadas en el distrito de Cajabamba, donde resalta el área 9, debido a que se encuentra lejos de las áreas agrícolas, está en una zona plana y cuenta con acceso a las redes viales.

En la tabla a continuación, se describió la ubicación de las áreas muy apropiadas.

Tabla 17. Número de polígonos cercanos a la capital de Cajabamba

N° de polígonos	Áreas (ha)	UTM		
		Zona	X	Y
1	113.78	17S	821407	9173200
2	12.91	18S	169270	9172585
3	49.72	17S	818604	9169062
4	3.19	18S	171184	9168387
5	4.36	17S	819166	9165263
6	20.11	17S	817456	9164555
7	1.05	17S	822192	9157518
8	22.86	17S	820993	9154892
9	10.83	17S	820880	9153489
10	16.03	17S	826549	9152272

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 17, se visualizan las áreas más cercanas a la capital de la provincia de Cajabamba, que cumplieron con la mayoría de los requisitos establecidos en el estudio. De los cuales, dentro del distrito de Condebamba se ubicaron cuatro áreas

de 113.78, 49.72, 3.19 y 20.11 hectáreas, en el distrito de Sitacocha se ubicaron dos áreas de 12.91 y 3.19 hectáreas. Finalmente, en el distrito de Cajabamba se ubicaron cuatro áreas de 1.05, 22.86, 10.83 y 16.03 hectáreas.

V. DISCUSIÓN

Con respecto al objetivo general, mediante la integración de las herramientas del AHP con el GIS se encontraron diversas áreas apropiadas, en base a las diez características de restricción y exclusión, con este estudio se determinó que el 1% del área de estudio no era apropiada, el 46% era marginalmente apropiada, el 49% era moderadamente apropiada y el 4% era muy apropiada para un relleno sanitario, siendo las más representativas las áreas “muy apropiadas”, porque cumplieron con la mayoría de las características identificadas en el estudio para la selección de áreas para un relleno sanitario, este se representa con un total de 6984.36 ha, siendo el 3.92% de la superficie total de la provincia de Cajabamba.

De manera similar a lo encontrado en esta investigación, Becerra (2021, p. 58), aplicando la evaluación multicriterio con los sistemas de información geográfico, estableció que para el adecuado desarrollo de la investigación, es necesario basarse de los parámetros según la Guía de Diseño y Construcción de Rellenos Sanitarios del MINAM, lográndose identificar 9 parámetros los cuales sirvieron para ubicar la superficie para un relleno sanitario; el autor menciona en relación a esto, que los sistemas de información geográfico con la evaluación permite identificar las áreas apropiadas para un relleno sanitario.

Igualmente, Majid y Ahmed (2021, p. 9), utilizando la herramienta de superposición de información, lograron obtener el mapa final de las áreas óptimas para disposición final, para ello, demostraron que la selección de varios mapas temáticos de un área de estudio, colocados uno encima de otro permite combinar las características espaciales y la información de los atributos.

De igual manera, Tulun *et al.* (2021, p. 12) combinando los valores del AHP con la superposición, encontraron los porcentajes de la clasificación del área de estudio, las cuales lo calificaron como “no aptas” con el 8%, “no muy aptas” con el 20%, “moderadamente aptas” con el 14 %, “apta” con el 51% y “muy apta” con el 7%, además los autores señalan que mediante la delimitación de esta información identificaron 2 alternativas para ubicar un relleno sanitario.

De acuerdo al primer objetivo específico, se identificaron 10 características para tener en cuenta, en la selección de áreas apropiadas para un relleno sanitario,

acorde a los criterios de restricción y exclusión presentados en la guía del MINAM y dispuesto dentro del D.S N° 014-2017-MINAM, dentro de estas características se encuentran las restricciones para centros poblados, aguas superficiales, áreas agrícolas, fallas geológicas, pendientes y vías, también las exclusiones a las áreas naturales protegidas, concesiones mineras, comunidades campesinas y peligros por inundación, de los cuales se obtuvo su respectivo mapa temático mediante la evaluación multicriterio, donde se ponderaron sus atributos a una escala del 0 al 3, representado el área total como “No adecuado”, “Moderadamente adecuado”, “Adecuado” y “Muy adecuado”, respectivamente.

En relación a esta investigación, Cüre *et al.* (2021, p. 507), consideraron la importancia de tener en cuenta las características del área de estudio, para determinar los criterios de elección de la zona para disposición final.

En relación a esta investigación, Loaiza y Mamani (2021, p. 7), identificaron 8 variables similares a la investigación, como la propiedad del terreno (concesiones mineras), restricciones de ubicación (centros poblados, redes viales), condiciones hidrológicas (cuerpos de agua); entre otros, es así como consideraron 12 características, logrando obtener 15 áreas aptas para la instalación de rellenos sanitarios.

Igualmente, Ayaim *et al.* (2019, p. 4), consideraron algunas variables similares a la investigación, como restricción a sitios de asentamiento urbano y periurbano, fallas, caminos que incluía carreteras secundarias y una autopista, diferentes formaciones rocosas, una vía férrea, diferentes elevaciones y recursos hídricos superficiales, logrando identificar 6 lugares para ubicar un relleno sanitario.

A diferencia de estos resultados, Khodaparast *et al.* (2018, p. 11), seleccionaron el factor de aguas subterráneas para eliminar el riesgo a ser contaminadas dentro de las áreas vulnerables además le dieron mayor distancia para este factor, logrando obtener áreas aptas muy lejanas al factor mencionado previamente. En relación a esto los autores mencionan que la determinación de áreas para un relleno sanitario mediante el método AHP y GIS son significativamente compatibles con el método para el proceso de observación en campo. Este factor no se presenta dentro de la guía del MINAM, por lo tanto, es necesario la inclusión del factor de aguas

subterráneas dentro de los criterios de restricción y exclusión, para encontrar mejores áreas para un relleno sanitario.

Parecido a esta investigación, Mahmood *et al.* (2020, p. 2), aplicaron el GIS para obtener los datos en formato raster que luego fueron reclasificados, obteniendo como resultado los mapas reclasificados conforme con los pesos establecidos para los datos de cada criterio.

Con respecto al segundo objetivo específico, se aplicó la metodología AHP en base a las características que se tienen dentro de los criterios de restricción y exclusión, estas características en el método se llamaron subcriterios y se les determinó su importancia de cada uno con respecto a otro mediante la aplicación del AHP, teniendo como resultado el peso para cada uno expresado en porcentaje. Los resultados indicaron que la distancia a centros poblados fue de mayor relevancia en la determinación de las áreas para la ubicación de un relleno sanitario. Este subcriterio fue seguido por peligros de inundación, pendientes, aguas superficiales, áreas naturales protegidas, comunidades campesinas, fallas geológicas, concesiones mineras, vías y áreas agrícolas, cabe señalar que se midió la consistencia de la matriz, teniendo como resultado el valor de 0.085 que no sobrepasa el valor límite para ser considerado no aceptable, lo indica un nivel razonable de consistencia.

En relación a este estudio, Hamad y Taheer (2017, p. 47), indicaron que el método AHP permite la verificación de la coherencia.

Respecto a lo previamente mencionado, Adewara y Odeyemi (2019, p. 188), aportaron que la matriz de comparación por pares se debe aplicar a los criterios de un estudio, debido a que no existe igual importancia entre ellos, en relación a esto, los autores señalan que se debe aplicar el método de comparación por pares para determinar los pesos de los criterios para un estudio.

Para la investigación se desarrolló en base al juicio de un especialista con respecto a las normativas del país y guías del MINAM, de manera similar a lo establecido en este estudio, Khaira y Dwivedib (2018, p. 4029), indicaron que se puede realizar la

toma de decisiones mediante un especialista para la clasificación de las alternativas del estudio, por lo tanto, para esta investigación si cumple con lo señalado.

De igual manera que la investigación actual, Ayaim *et al.* (2019, p. 4) aplicaron el método del AHP, logrando obtener el mayor peso para los centros poblados siendo los demás menos relevantes, en relación a esto los autores agregan que la población no debe estar cerca de los sitios de disposición final, debido al riesgo para su salud.

Del mismo modo que esta investigación, Quinteros (2021, p. 11), aplicaron el método AHP, determinando que las fallas geológicas como una de las características menos importante en el desarrollo de su estudio. Pero, es primordial mencionar que esta se considera para prevenir posibles movimientos de masa en el sector donde se puede ubicar un relleno sanitario.

Así mismo, Majid y Ahmed (2021, p. 5), tuvieron en cuenta, que el relleno sanitario no debe estar demasiado lejos de las redes viales, para evitar los altos costos de construcción de nuevas carreteras y reduciendo los costos del transporte, por otro lado, es necesaria una distancia mínima con respecto a las carreteras para evitar el impacto visual con los residuos y olores desagradables.

Agregando a lo indicado en el presente estudio, Khodaparast, Rajabi y Edalat (2018, p. 5), indican que las áreas con una ligera pendiente son más adecuadas para el relleno sanitario, ya que los costos de excavación y formación de terrenos se minimizaran en dichos terrenos.

De acuerdo al tercer objetivo específico, se obtuvo el mapa final mediante la superposición de los mapas temáticos con los valores de ponderación generados por el AHP y se clasificó en 4 categorías, como áreas no apropiadas, marginalmente apropiadas, moderadamente apropiadas y muy apropiadas. Teniendo como resultados que el 4% del área de estudio es muy apropiada; en consecuencia, se identificaron 10 sitios para un relleno sanitario dentro de los distritos de Condebamba, Sitacocha y Cajabamba.

Sobre lo mencionado anteriormente, Chen y Jie (2017, p. 4) aportaron que la evaluación multicriterio en los sistemas de información geográfico permite asignar valores de pesos a diferentes capas y la suma de estos, generó como resultado un

mapa idóneo, con respecto a esto el autor agrega que la evaluación multicriterio es un el método importa en los sistemas de soporte de decisiones espaciales. Además, esto coincide con la investigación de Rezaeisabzevar *et al.* (2020, p. 181).

Similar a la presente investigación, Sierra (2021, p. 22), aplicó el álgebra de mapas con los mapas en formato raster, obteniendo un gráfico con las áreas que se clasificaron en áreas “no aptas”, “muy poco aptas”, “moderadamente aptas” y “aptas”, para la selección de áreas de disposición final de desechos.

De manera similar al presente estudio, Estacio *et al.* (2021, p. 224), optaron por buscar aquellas áreas que se encuentren cerca de la ciudad, con el fin de reducir los gastos operativos referente al traslado de los residuos sólidos, con lo cual encontraron 6 áreas aptas.

Tal como este estudio, (MINAM, 2011, p. 29), establece que es preferible ubicar el sitio alejado de centros poblados, previendo que la vida útil del relleno, este se pueda usar como área verde. Así mismo en relación a las vías de acceso, el sitio debe estar de preferencia a corta distancia del área urbana a servir y bien comunicado por carretera o vías.

De manera similar a esta investigación, Paz, Lafayette y Sobral (2020, p. 147), utilizaron el álgebra de mapas el cual consiste en crear un archivo raster para cada criterio, en donde se multiplican los pesos de cada criterio para obtener la idoneidad de cada área. Asimismo, Ayaim *et al.* (2019, p. 5), encontraron el mapa final mediante la superposición ponderada de los pesos del AHP en función del ArcGis.

Similar a la presente investigación, Loaiza y Mamani (2021, p. 13), determinaron mediante el análisis multicriterio, de las cuales se clasificaron y obtuvieron como resultado la cantidad de 56 polígonos con un área total de 70.026507 km², por lo tanto, el autor menciona que es importante que se consideren para las áreas un dimensionamiento proporcionado, de esta manera destacaron 14 zonas potenciales para disposición final de desechos sólidos en San Román.

En relación a la implicancia de los resultados, esta metodología servirá para buscar una solución a varios problemas de la vida cotidiana para determinar las mejores

áreas para un relleno sanitario, por ello, esta investigación prevalece la importancia de los pasos que se aplican en el sistema de información geográfico y el método del proceso de jerarquía analítica, para encontrar el mapa final que cumpla con las condiciones para determinar las áreas apropiadas para un relleno sanitario. Además, se resaltó la importancia de basarse en las condiciones que se encuentran en el D.S N° 014-2017 y la guía del MINAM, para los cuales se han seleccionado para el estudio.

Con respecto a las limitaciones, la falta de información de la cantidad de residuos municipales por el distrito de Condebamba de acuerdo a la plataforma del SIGERSOL, no se logró calcular la capacidad útil requerida para una infraestructura de disposición final; por ello, sólo se determinaron la suma de la clasificación de las áreas desde el menos al más apropiado. De igual manera, esta investigación que se basó en la normativa del MINAM, es importante que se logre actualizar los requisitos de localización, así como las condiciones para disposición final, debido a que las limitantes como pendientes fueron del año 2011.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinaron diversos sitios para un relleno sanitario en base a la aplicación del AHP y GIS; de este modo, el área de estudio se clasificó en áreas no apropiadas, marginalmente apropiadas, moderadamente apropiadas y muy apropiadas, donde se determinó que el 4% del área de estudio era muy apropiada para un relleno sanitario, con un total de 6984.36 hectáreas del área de la provincia de Cajabamba.
2. Se identificaron 10 características para el resultado de los mapas temáticos que corresponden a las restricciones de centros poblados, aguas superficiales, áreas agrícolas, fallas geológicas, pendientes y vías, también las exclusiones de áreas naturales protegidas, concesiones mineras, comunidades campesinas y peligros por inundación.
3. Se logró aplicar el método AHP, que tuvo la finalidad de priorizar los subcriterios establecidos en el estudio y definir su importancia en la superposición para la elaboración del mapa final; en consecuencia, el peso más alto se le asignó a la distancia a centros poblados debido a que tiene mayor impacto en la determinación de la ubicación de un relleno sanitario, le siguen los peligros por inundación, las pendientes y aguas superficiales, las áreas agrícolas, las vías, las concesiones mineras, finalmente las fallas geológicas; adicionalmente, se determinó que el RC es menor a 0.1, esto significa que los valores obtenidos son aceptables.
4. Se logró elaborar el mapa final usando el álgebra de mapas o superposición, donde el peso calculado por AHP para cada subcriterio y las diez capas de entrada obtenido por la herramienta GIS, se integraron para producir el mapa final, dando como resultado que, dentro de las áreas muy apropiadas, se encontró cuatro áreas de 113.78, 49.72, 3.19 y 20.11 hectáreas ubicadas en el distrito de Condebamba, seguido de 12.91 y 3.19 hectáreas en el distrito de Sitacocha. Finalmente, cuatro áreas de 1.05, 22.86, 10.83 y 16.03 hectáreas en el distrito de Cajabamba, son apropiadas para la ubicación de un relleno sanitario. Por lo tanto, la herramienta GIS es muy efectiva para el análisis en los sistemas de apoyo de decisiones espaciales.

VII. RECOMENDACIONES

- En Guía del MINAM se encuentran 15 variables dentro de las restricciones y exclusiones, de los cuales se consideraron 10, por lo tanto, se sugiere que se cumplan con todas estas para una mejor determinación de las áreas.
- Por otro lado, se encontró información sobre nuevos subcriterios para determinar sitios para la disposición final de los rellenos sanitarios como la profundidad de las aguas subterráneas y la geología del área de estudio; las cuales son relevantes en varias investigaciones; por lo tanto, se sugiere que también se trabajen estas variables para determinar las áreas para un relleno sanitario.
- Se deberían desarrollar más estudios, con respecto a la metodología empleada en la presente investigación; es decir, mediante la integración de análisis del proceso de jerarquía y sistema de información geográfica; ya que es una técnica eficiente, para la determinación de áreas que cumplan con varios factores preestablecidos, además este método reduce gastos que puede llevar un trabajo en campo.
- Para delimitar las áreas disponibles para rellenos sanitarios, se debe tener en cuenta la información de la cantidad de residuos de toda la población, ya que para la presente investigación no se obtuvo esta información referente a la cantidad de residuos que se generan dentro de la provincia.

REFERENCIAS

ADEWARA, M. y ODEYEMI, K. Searching for a suitable landfill site. Journal of Environmental Research & Development. [en línea].2019. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en:<https://fpisesjournal.federalpolyilaro.edu.ng/administrator/docs/7531139.pdf>.

ISSN: 2736-0814

ALRUKAIBI, Duaj y ALSULAILI, Abdalrahman. GIS-based modeling for proper landfill selection. Engineering Research Journal. [en línea]. Junio 2017, vol. 5, nº 2.7. págs. 87-109. [Fecha de consulta:23 de mayo de 2022

ARIAS, Fidias. Efectividad y eficiencia de la investigación tecnológica en la universidad. Revista Electrónica de Ciencia y Tecnología del Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo. [en línea], Julio 2017, vol. 3, no 1. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/320130761>.

AYAIM *et al.* Potential Sites for Landfill Development in a Developing Country: A Case Study of Ga South Municipality, Ghana. Heliyon. [en línea]. Septiembre 2019. [Fecha de consulta: 30 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02537>

ISSN 2405-8440

BECERRA, Yuly. Identificación de un área apta para la instalación de un relleno sanitario, utilizando sistemas de información geográfica en el distrito de Catillac-San Miguel. [en línea].2021. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4745>

BELALCAZAR, Ivan. Identificación de áreas óptimas para la localización de un relleno sanitario en las subregiones norte y oriente del Valle del Cauca. Entorno Geográfico. [en línea]. Julio 2019. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022].Disponible en: DOI: 10.25100/eg.v0i18. 8626

ISSN:2382-3518

BERTSIUO, María; THEOCHARI, Aimilia y BALTAS, Evangelios. Multi-criteria analysis and Geographic Information Systems methods for wind turbine siting in a North Aegean island. [en línea]. *Energy science and Engineering*. Agosto 2020.vol. 9, nº 1, pág. 4-18. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022] Disponible en: DOI: 10.1002/ese3.809

BHATTACHARYA, Soham; GHOSH, Surajit y BHATTACHARYYA, Soumya. Analytical Hierarchy Process Tool in Google Earth Engine Platform: A Suitability Case Study of a Tropical Landfill. Research Square. [en línea]. Noviembre 2021. [Fecha de consulta 26 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-795406/v1>

BLANCO *et al.* MCE–GIS evaluation for the potential location of RO membrane recycling plant in the Segura River Basin, Spain. *Environmental Earth Sciences*. [en línea]. Septiembre 2021. [Fecha de consulta:20 de mayo de 2022]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09564-z>

CHABUK, Ali, *et al.* Landfill sites selection using MCDM and comparing method of change detection for Babylon Governorate. *Environmental Science and Pollution Research*. [en línea]. Vol. 26. nº 35. Mayo del 2019. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05064-7>.

ISSN: 1614-7499

CHEN Y JIE. Assessing the impact of future urban growth on landscape pattern using cellular automation model: A case study from Xuzhou city, China. [en línea]. Marzo 2017. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3846/16486897.2016.11876260>

Contraloría General de la República. Disposición final de residuos sólidos en el botadero municipal ubicado en el Caserío de Nuñumabamba. [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.cajabambaperu.com/wp-content/uploads/2020/05/reporte.pdf>

COFREP, Franz, *et al.* Fundamentos de SIG: aplicaciones con ArcGIS. Franz Pucha Cofrep. [en línea].2017. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022].

ISBN: 9789942289018

CULVERT, Lee. The Gale Encyclopedia of Environmental Health. [en línea]. Farmington Hills, MI. The Gale Encyclopedia of Environmental Health , 2ª ed. 2019. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. "Waste management". Disponible en: <https://link.gale.com/apps/doc/CX2491100281/GVRL?u=univcv&sid=bookmark-GVRL&xid=d9334372>.

ISBN: 9781410388261 Cüre *et al.* Selección del sitio basada en el proceso de jerarquía analítica en la planificación Pavo Proceso para Rellenos Sanitarios de Residuos Sólidos: El Caso de la Ciudad de Denizli. Revista de la Facultad de Silvicultura de Bartın. [en línea]. Agosto 2021. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2022]. Disponible en: DOI: 10.24011/barofd.903639

ISSN-1308-5875

DASH, P. Analysis of literature review in cases of exploratory research. SSRN Electronic Journal [en línea]. Diciembre 2019. [Fecha de consulta: 16 octubre de 2022]. Disponible en: DOI 10.2139/ssrn.3555628.

ISSN 1556-5068.

DAZA Ómar, *et al.* Análisis espacial y modelos cartográficos: metodología implementada en ArcGIS para la planificación minera. [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3891>

ISBN 9789586602792

Defensoría del pueblo. Informe Defensorial N°181. ¿Dónde va nuestra basura? Recomendaciones para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales. [en línea]. Noviembre 2019. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.defensoria.gob.pe/wp-content/uploads/2019/11/INFORME-DEFENSORIAL-181.pdf>

DING Zhikum, *et al.* Combining AHP-Entropy Approach with GIS for Construction Waste Landfill Selection—A Case Study of Shenzhen. [en línea]. Octubre 2018.

[Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2022]. Disponible en:
<https://www.mdpi.com/1660-4601/15/10/2254/htm>

DUQUE, DURANGO Y CARVAJAL. Propuesta de un método de evaluación multicriterio como herramienta para determinar zonas óptimas de ubicación de rellenos sanitarios utilizando sistemas de información geográfica. *Investigación en Ingeniería de Software*.2016. [en línea]. [Fecha de consulta:18 de mayo de 2022].

ISBN 978-958-8628-65-3

ESTACIO, TINOCO, DÍAZ Y MOORE. 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*, 2021, vol. 24, no 48, p. 217-227. [en línea]. [Fecha de consulta: 23 de agosto del 2022]. Disponible: <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21774>

ISSN:1561-0888

FIALLOS, Santiago *et al.* Proceso de análisis jerárquico para el estudio de la situación laboral de los pueblos étnicos. [en línea]. *Revista Universidad y Sociedad*.Julio 2021, vol. 13, no 4, p. 226-233. [Fecha de consulta: 08 de septiembre de 2022].

ISSN 2218-3620

FREY, Bruce. *The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation*. [en línea]. SAGE Publications. 5 de junio del 2018. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4135/9781506326139>.

ISBN: 9781506326139

GÜLER, Doğuş y YOMRALIOĞLU, Tahsin. Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*. [en línea]. Vol 76. n°20. 12 de octubre 2017. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7039-1>.

ISSN: 1866-6299

HAMAD, S. y TAHEER, K. Landfill Site Selection Using GIS and (AHP): Case Study of Ranya City. *Academic journal of the University of Nawroz*. 2021. [en línea]. Vol 10 (4), 39–49. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.25007/ajnu.v10n4a1289>

ISSN: 2520-789X

HELAL, Ayah. Multicriteria Evaluation-GIS Integration Framework for Landfill Site Selection in Limited Space Regions: A Case Study in the West Bank. *Advances in Civil Engineering*. [en línea]. Julio 2022. [Fecha de consulta: 18 de julio]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2022/9367256>

HOWARY, Fares y GHREFAT, Ghrefat. Pollution Assessment for Sustainable Practices in Applied Sciences and Engineering. [en línea]. Arabia. Butterworth-Heinemann. 2021. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. Chapter 4 - Geographic Information System: Spatial Data Structures, Models, and Case Studies. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809582-9.00004-9>.

ISBN 9780128095829

HUIZAR, Porfirio, *et al.* Los sistemas de información geográfica y su aplicación en el análisis espacial. [en línea]. *TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS Y SU IMPACTO EN LA VIDA SOCIAL*. Marzo 2021. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/35908132>

KARAKUŞ, Can Bülent, *et al.* Evaluation of GIS-based multi-criteria decision-making methods for sanitary landfill site selection: the case of Sivas city, Turkey. *Noviembre de 2019*. [en línea]. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00935-0>.

ISSN: 1611-8227

KHAIRA, Ashish y DWIVEDIB, R.K. A State of the. *Analytical Hierarchy Process, Materials Today: Proceedings*. [en línea]. 2018. Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.663>.

ISSN 2214-7853

KHODAPARAST, Mahdi, RAJABI, Ali y EDALAT, Ali. Municipal solid waste landfill siting by using GIS and analytical hierarchy process (AHP): a case study in Qom city, Iran. *Environmental Earth Sciences*. [en línea]. Vol 77. n°2. 20 de enero del 2018. *Ciencias Ambientales de la Tierra*. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7215-3>.

ISSN: 1866-6299

LOAIZA, Victor y MAMANI, Gerly. Análisis multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) para la ubicación de un relleno sanitario en la provincia de San Román-Puno. [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12840/5134>

MAHMOOD, E., PAYAM, A. y ARASH, B. An integrated approach to the selection of municipal solid waste landfills through GIS, K-Means and multi-criteria decision analysis. *Environmental Research*. [en línea]. Junio 2020. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109348>.

MAJID, Muheeb y AHMED, Bashir. Landfill site selection using GIS based multi criteria evaluation technique. A case study of Srinagar city, India. *Environmental Challenges*. [en línea]. Vol. 3. 16 de enero del 2021. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100031>.

ISSN: 2667-0100

MAT, BENJAMIN y RAHMAN. "Nearest Greedy Algorithm for Solving a Single Landfill Site Selection with Resource Requirements." *Journal of Sustainability Science and Management*. [en línea], p. 127-139. 2020. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en: [doi:10.46754/JSSM.2020.07.011](https://doi.org/10.46754/JSSM.2020.07.011).

MENDOZA, et al. Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 27, no 3, p. 348-360. [en línea]. Septiembre 2019. [Fecha de consulta: 10 de

septiembre de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000300348>

ISSN 0718-3305

Ministerio del medio ambiente (MINAM). Guía para la Identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales. [en línea]. Lima. 2021. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022].

Ministerio del Ambiente(MINAM). Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM. Aprueban Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278, Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. [en línea]. Diciembre 2017. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2022]. Disponible en: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf

Ministerio del Ambiente (MINAM). Guía / Manual: Guía para el Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Monitoreo de Relleno Sanitario Mecanizado. [en línea]. 2011. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/residuos>

MOHAMMAD, A., MOHANAD, Y., y NADHIR, A. Landfill Site Selection by Weighted Overlay Technique: Case Study of Al-Kufa, Iraq. [en línea]. Marzo 2018. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su10040999>

MOHAMMED, *et al.* Gis-Based Landfill Suitability Analysis for Sustainable Solid Waste Disposal. Earth and Environmental Sciences. [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en: [doi:10.1088/1755-1315/220/1/012056](https://doi.org/10.1088/1755-1315/220/1/012056)

MUÑOZ, Belén y ROMANA, Manuel. Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte. *Pensamiento matemático*. [en línea]. Octubre 2016, vol. 6, no 2, p. 27-45. [Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2022].

ISSN- 2174-0410

NARCIA CRUZ, Jorge. Macrolocalización de áreas óptimas para sitios de disposición final en Chiapa de Corzo, Chiapas. [en línea]. Febrero 2022. [Fecha de consulta: 10 de septiembre]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12753/4207>

OCHOA, Roselva, NAVA, Ninoska y FUSIL, Damaris. Comprensión epistemológica del tesista sobre investigaciones cuantitativas, cualitativas y mixtas. *Orbis: revista de Ciencias Humanas*, [en línea]. Vol. 15. n° 45. 2020. [Fecha de consulta: 24 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7407375>

ISSN:1856-1594

OMAR, *et al.* Selection of Suitable Site for Solid Waste Landfill: a case study in Kirkuk City, Iraq. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. [en línea]. Vol 737. n° 1. Febrero del 2020. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/737/1/012216/pdf>.

Organismo de Evaluación Y Fiscalización Ambiental(OEFA). Inventario nacional de áreas degradadas por residuos sólidos. [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 7 de septiembre de 2022].

Organismo de Evaluación y Fiscalización ambiental. OEFA. “Reglamento para la elaboración, administración y actualización del Inventario Nacional de Áreas Degradadas por Residuos Sólidos Municipales” y modifican la Resolución del Consejo Directivo N° 026-2018-OEFA/CD-RESOLUCIÓN-N°00015-2020-OEFA/CD. [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 16 septiembre 2022]. Disponible en: <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-el-reglamento-para-la-elaboracion-administracion-resolucion-no-00015-2020-oefacd-1884036-1/>.

ORTEGA, Julio. Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación. *Journal of the Selva Andina Research Society*. [en línea]. Agosto 2017, vol. 8, N° 2, p. 155-156. [Fecha de consulta: 06 de septiembre de 2022].

ISSN 2072-9294

PAZ, LAFAYETTE y SOBRAL. Management Treatment and Environmental Assessment. [en línea]. Advances in Construction and Demolition. Waste Recycling. 2020. [Fecha de consulta: 03 de septiembre de 2022]. Chapter 8 - Management of construction and demolition waste using GIS tools. Págs. 121-156. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819055-5.00008-5>.

PERALTA, Alicia; SOPLAPUCO, Jorge y RAMÍREZ, Mirko. Gestión de residuos sólidos de las Municipalidades Provinciales de la Región Cajamarca, Perú. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*. [en línea]. Marzo 2022, vol. 3, no 2, p. 57-73. [Fecha de consulta: 7 de septiembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i2.307>

ISSN:2675-9780

PINZON OSPINA, Esteban. Determinación de zonas aptas para la construcción de colegios distritales en la localidad de Suba, partiendo de métodos de análisis multicriterio y herramientas SIG. [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 03 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/6305>

QUINTEROS CEVALLOS, Raúl. Selección del sitio para la instalación de un relleno sanitario en la Amazonía Ecuatoriana utilizando sistemas de información geográfica y análisis multicriterio. [en línea]. Diciembre 2021. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: http://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/574

REDJEM et al. Combinar el proceso de jerarquía analítica con GIS para elección del sitio del relleno sanitario:El caso del municipio de Sila,Argelia.[en línea].2021.[Fecha de consulta:17 de mayo de 2022].

REZAEISABZEVAR Yashar, BAZARGÁN, Alireza y ZOHOURIAN, Behzad. Landfill Site Selection Using Multicriteria Decision Making: influencing factors for comparing locations. *Journal of Environmental Sciences*. [en línea].2020. [Fecha de consulta:15 de septiembre de 2022]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.02.030>

RUPAY YAURI, Ronald Rogelio, Reunión de trabajo sobre la clasificación de los subcriterios y la elaboración de la matriz de comparación por pares, vía zoom, 20 de septiembre de 2022.

SHEPPARD, V.A. Probabilistic and non-probabilistic sampling techniques. An Introduction to Research Methods in Sociology. S.I. Justice Institute of British Columbia. 2019

SIERRA MUÑOZ, Juan Camilo. Localización de áreas potencialmente adecuadas para el desarrollo de un relleno sanitario para el Área Metropolitana de Bucaramanga. [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/38947>

TERCAN, *et al.* A GIS-based multi-criteria evaluation for MSW landfill site selection in Antalya, Burdur, Isparta planning zone in Turkey. Environmental Earth Sciences. [en línea]. Vol. 79. n° 10. 19 de mayo del 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08974-9>.

ISSN: 1866-6299

TULUN Şevket, GürBüz Esra y ARSU Talip. Developing a GIS-based landfill site suitability map for the Aksaray province, Turkey. Environmental Earth Sciences. [en línea]. Vol. 80. n° 8. 7 de abril del 2021. [Fecha de consulta: 2 de junio de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09598-3>.

ISSN: 1866-6299

Unidad de Gestión Educativa Local de Cajabamba. Participamos en la inauguración del área de disposición final de residuos sólidos. [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2022]. Disponible en: www.ugelcajabamba.gob.pe/portal/noticias/det/2144

ZHANG *et al.* Urban Construction Land Suitability Evaluation Based on Improved Multi-Criteria Evaluation Based on GIS (MCE-GIS) : Case of New Hefei City, China. Chinese Geographical Science, no. 6: 740. .2013. [en línea]. [Fecha de consulta 12 de octubre de 2022]. Disponible

en:<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edscqv&AN=edscqv.48039658&lang=es&site=eds-live>.

ANEXOS

Anexo 1: Tabla de Operacionalización de variables

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Áreas apropiadas para un relleno sanitario en la provincia de Cajabamba	Son aquellas áreas para las infraestructura de disposición final de residuos sólidos (MINAM, 2021).	Se identificaron las áreas para un relleno sanitario mediante la técnica de la evaluación multicriterio, donde se integró la metodología AHP junto al GIS, de esta manera se determinaron las áreas apropiadas para un relleno sanitario en la provincia de Cajabamba.	Criterios de restricción	Centros poblados	Ordinal
				Fuentes de aguas superficiales	
				Áreas agrícolas	
				Fallas geológicas	
				Pendientes	
				Vías	
			Criterios de exclusión	Áreas naturales protegidas	
				Peligros por inundación	
				Concesiones mineras	
				Comunidades campesinas	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Instrumentos de recolección de datos

Ficha 1: Subcriterios y rangos de ponderación

Subcriterios	Rangos	Ponderación
Centros poblados	≤500 metros*	0
	500 - 1000**	1
	1000 - 2000**	2
	>2000**	3
Aguas superficiales	≤500 metros*	0
	500 - 750**	1
	750 - 1000**	2
	>1000**	3
Áreas agrícolas	≤500 metros*	0
	500 - 750**	1
	750 - 1000**	2
	>1000**	3
Fallas geológicas	≤1 Km**	0
	1 - 2 km**	1
	2- 3 km**	2
	>3 Km**	3
Pendientes (MINAM, 2011)	>25%	0
	12%-25%	1
	7%-12%	2
	0-7%	3
Redes viales	≤500 metros**	0
	500 - 1000**	1
	1000 - 2000**	2
	>2000**	3
Áreas Naturales Protegidas	≤500 metros*	0
	500 - 1000**	1
	1000 - 2000**	2

r i o X	7	Áreas naturales protegidas										
	8	Concesiones mineras										
	9	Comunidades campesinas										
	10	Peligros por inundación										

Fuente: Adaptado del instrumento de Pinzón, 2015 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Ficha 3: Matriz de comparación por pares con calificación numérica.

Subcriterio	Centros poblados	Fuentes de aguas superficiales	Áreas agrícolas	Fallas geológicas	Pendientes	Vías	Áreas naturales protegidas	Concesiones mineras	Comunidades campesinas	Peligros por inundación
Centros poblados	1.00	3.00								
Fuentes de aguas superficiales	0.33	1.00								
Áreas agrícolas										
Fallas geológicas										
Pendientes										
Vías										
Áreas naturales protegidas										
Concesiones mineras										
Comunidades campesinas										
Peligros por inundación										

Fuente: Adaptado del instrumento de Pinzón, 2015 y reunión de trabajo Rupay (2022).

Ficha 4: Matriz de comparación por pares normalizados (MCN).

Subcriterio	Centr	Fue	Áre	Fall	Pe	Vías	Áreas	Conce	Com	Peligro
-------------	-------	-----	-----	------	----	------	-------	-------	-----	---------

	os poblados	ntes de aguas superficiales	as agrícolas	as geológicas	ndientes		naturales protegidas	siones mineras	unidades campesinas	s por inundación
Centros poblados	0.27	0.30								
Fuentes de aguas superficiales	0.09	0.10								
Áreas agrícolas										
Fallas geológicas										
Pendientes										
Vías										
Áreas naturales protegidas										
Concesiones mineras										
Comunidades campesinas										
Peligros por inundación										

Fuente: Adaptado del instrumento de Pinzón, 2015 y reunión de trabajo Rupay (2022).

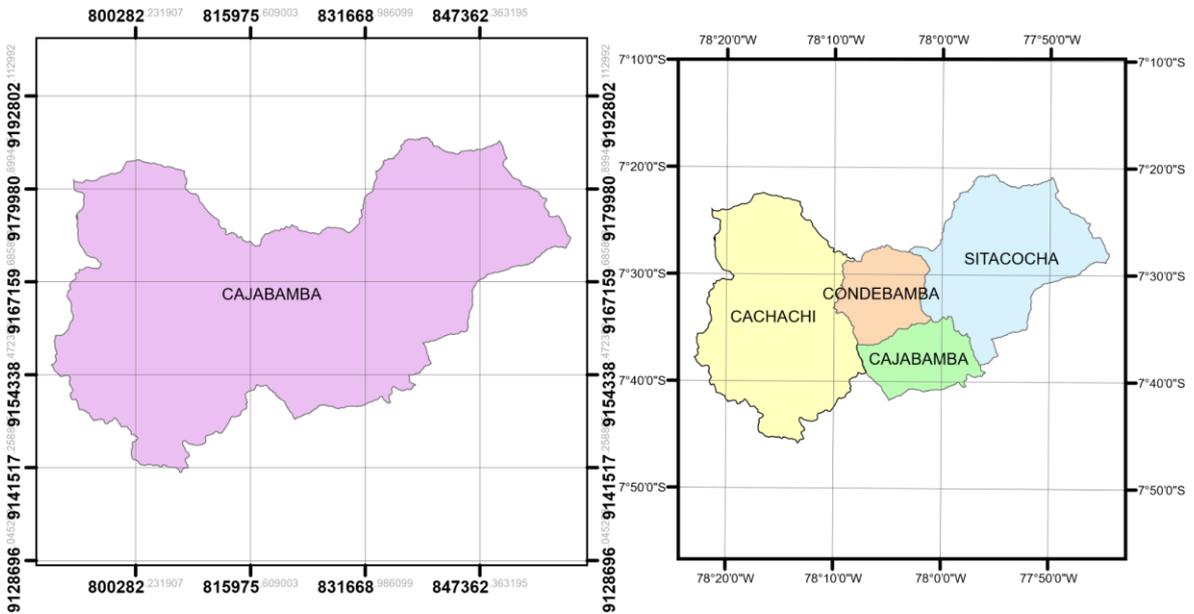
Ficha 5: Vector de prioridad para los subcriterios.

Subcriterio	Ponderación	%
Centros poblados	0.26	26%
Fuentes de aguas superficiales	0.12	12%
Áreas agrícolas		
Fallas geológicas		
Pendientes		

Vías		
Áreas naturales protegidas		
Concesiones mineras		
Comunidades campesinas		
Peligros por inundación		

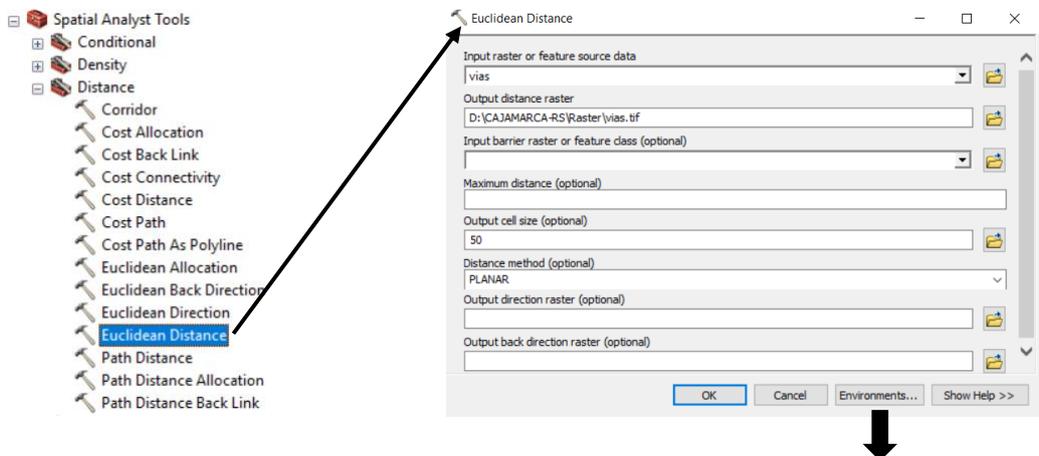
Fuente: Adaptado del instrumento de Pinzón, 2015 y reunión de trabajo Rupay (2022).

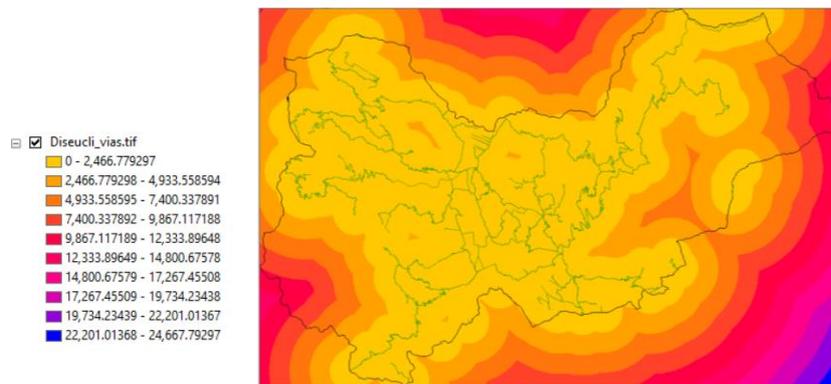
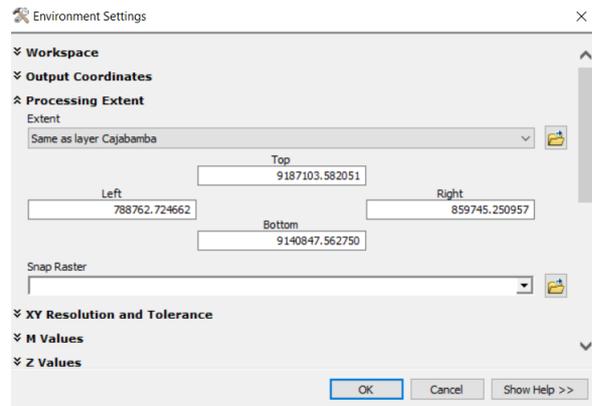
Anexo 3. División política de la provincia de Cajabamba



Fuente: Elaboración propia.

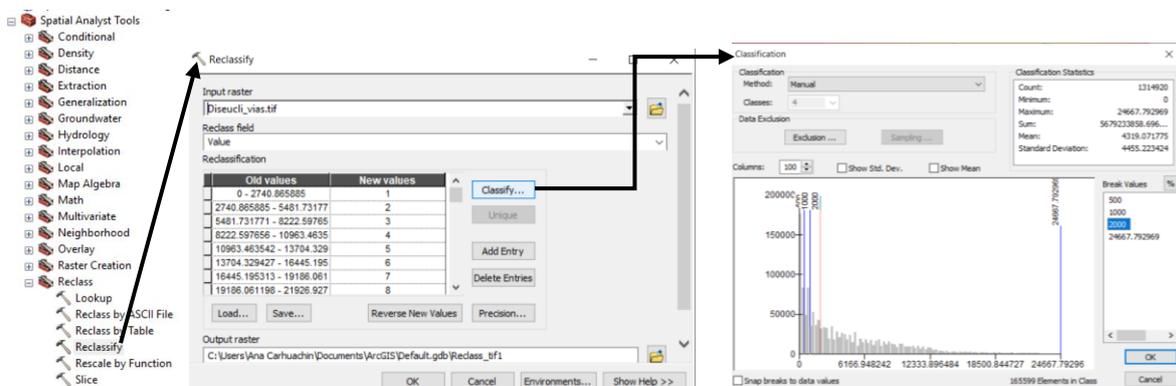
Anexo 4. Aplicación de la herramienta Euclidean Distance para realizar el raster para el mapa de vías (Mapa de restricción).

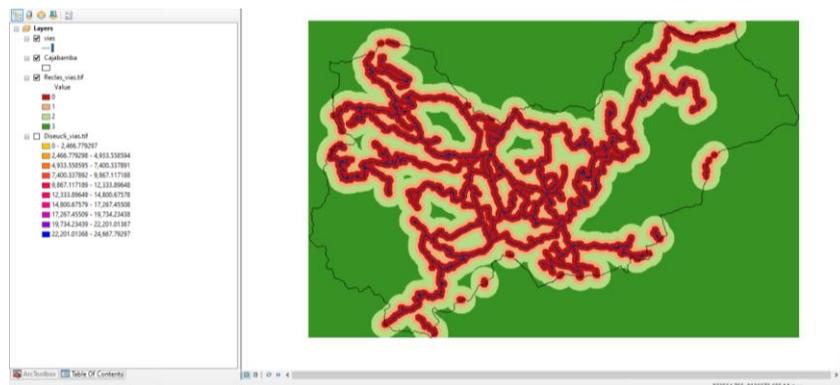
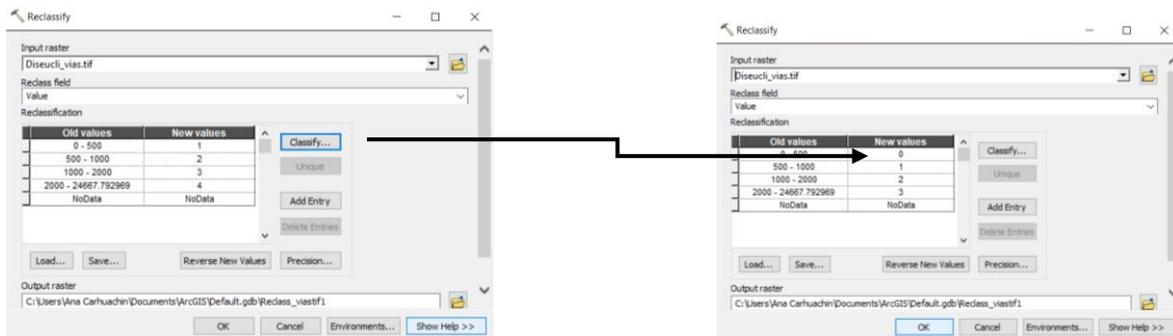




Se agrega en input raster or feature source data la capa de vías, en output distance raster se guarda la información y en output cell size se coloca el tamaño del pixel, para este estudio se desarrolló con el pixel de 50 metros para una escala de 1:100000. En environment settings, en la opción processing extent se coloca como base la provincia de Cajabamba, después se obtiene el mapa clasificado.

Anexo 5. Aplicación de la herramienta Reclassify para colocar la puntuación para el mapa vías (Mapa de restricción).



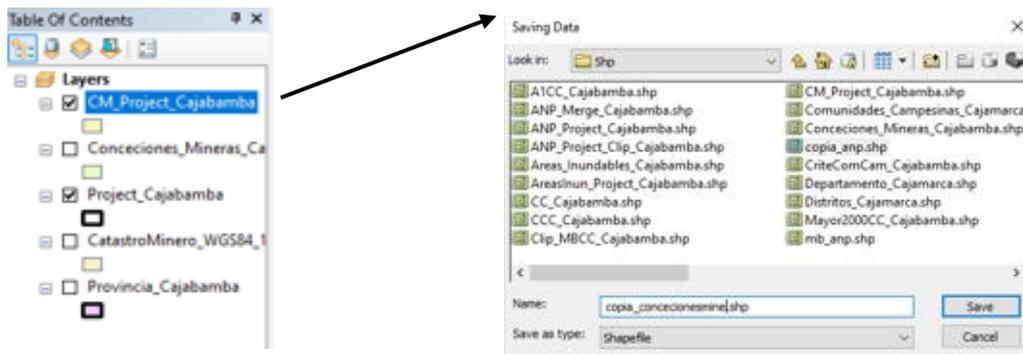


El resultado previo se agrega a reclassify, en classify la cantidad de clases y los metros de distancias establecidas, después en la tabla se coloca la puntuación que se considera para las distancias, luego en output raster se guarda el nuevo raster reclasificado, todo el proceso da como resultado el mapa de vías con las distancias y las puntuaciones establecidas.

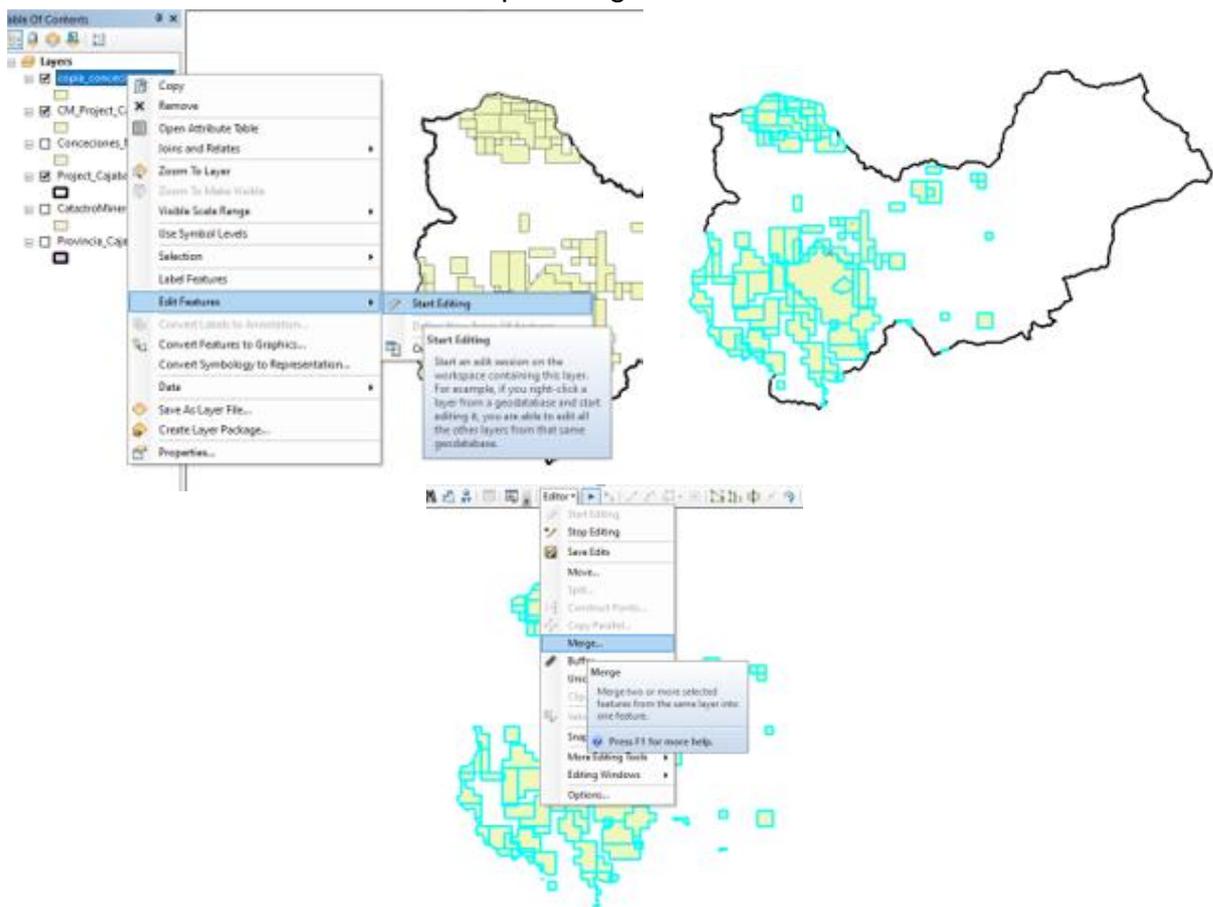
Anexo 6. Procedimiento para el desarrollo de los mapas de Exclusión (Se toma como ejemplo el mapa de concesiones mineras de la provincia de Cajabamba).

Para este caso se utilizará principalmente las herramientas (Merge, Multiple Ring Buffer, Polygon to raster).

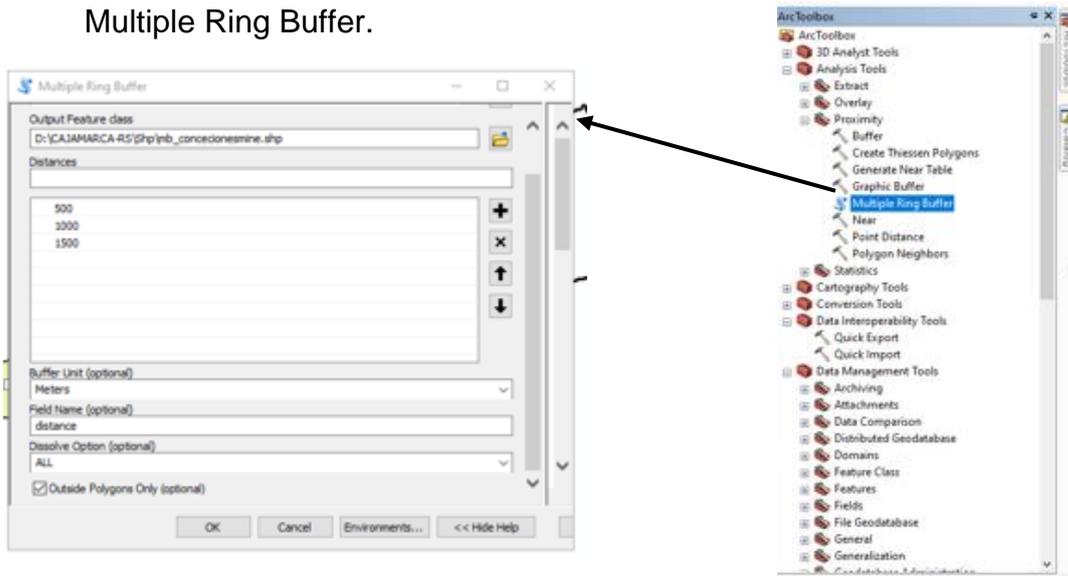
1. Como primer paso se creó una copia de las concesiones mineras, mediante Data<Export Data luego se guardó en la carpeta Shp.



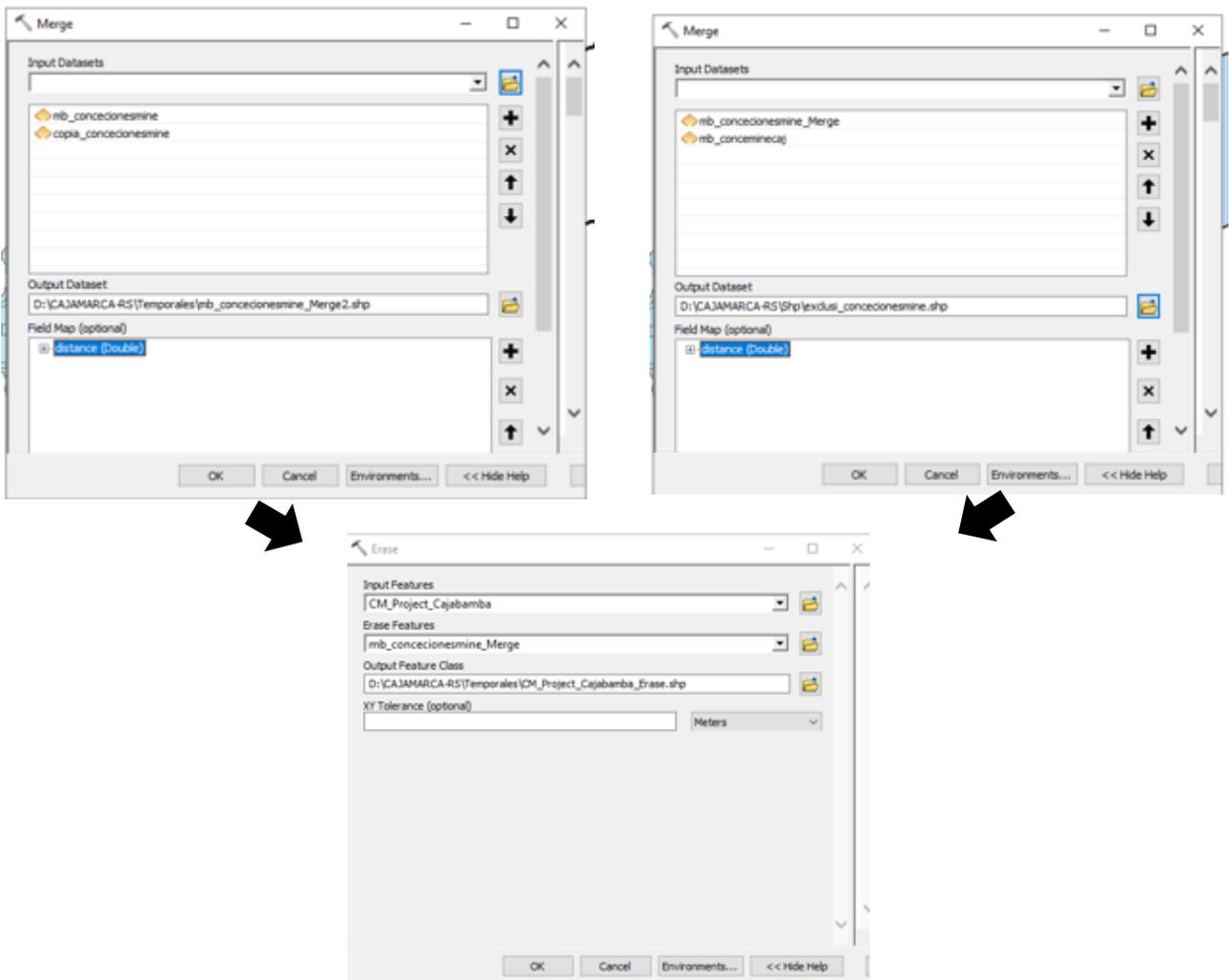
2. Como segundo paso editamos la capa que hemos creado, copia_concesionesmine.shp, mediante Edit Features<Start Editing, luego se fusionará con la herramienta merge como un polígono y detenemos la edición mediante Editor<Stop Editing.



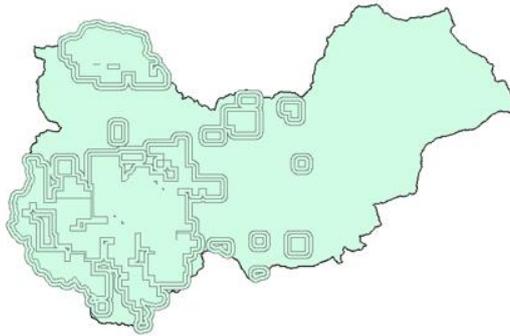
3. Se insertan los valores de ponderación y se procede a usar la herramienta Multiple Ring Buffer.



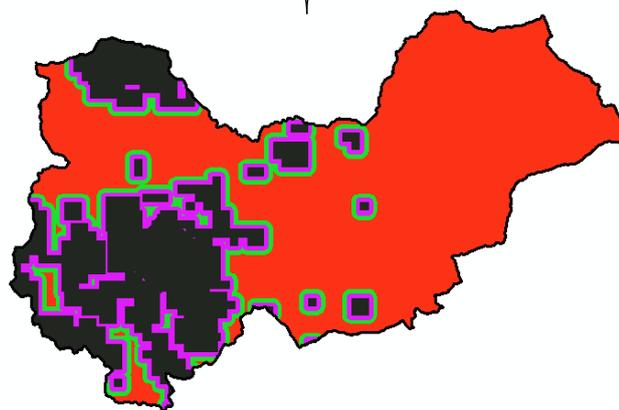
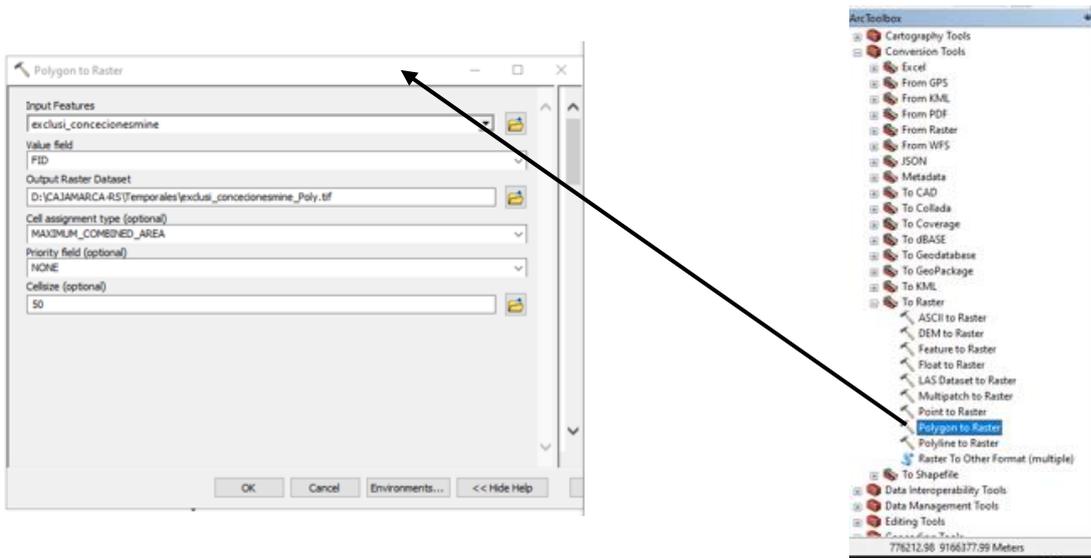
4. Se procede a utilizar la herramienta Geoprocessing < Merge dos veces para unir dos capas creadas anteriormente, luego se procede a borrar con la herramienta Erase.



5. En el mapa se sobresale el área de Cajabamba y se procede a recortar con Clip y finalmente pasarlo a raster.



6. Para crear el mapa raster se utiliza la herramienta Artoolbox<To Raster<Polygon to Raster y finalmente se observa el mapa raster.





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Determinación de Áreas Apropriadas para un Relleno Sanitario mediante la Integración de AHP con GIS en la Provincia de Cajabamba", cuyos autores son CARHUACHIN HARO ANA LISETT, ORBEGOSO ABANTO FIORELLA ROSMERY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 9.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 21 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
QUEZADA ALVAREZ MEDARDO ALBERTO DNI: 18110481 ORCID: 0000000202155175	Firmado electrónicamente por: MAQUEZADAA el 20- 12-2022 19:48:30

Código documento Trilce: TRI - 0449018