

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
HUANTA**
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL



TESIS

**Identificación de áreas óptimas para la instalación de relleno sanitario
mediante el SIG, en el distrito de Pichari – provincia La Convención,
Cusco**

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

Ingeniero en Gestión Ambiental

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ciencias del medio ambiente

PRESENTADO POR:

Luján Vargas, Juan Manuel

ASESOR:

Dr. Santos Clemente Herrera Diaz

HUANTA – PERÚ

2025

NOMBRE DEL TRABAJO

**Informe final de tesis_Juan Manuel Luján
Vargas.pdf**

RECuento DE PALABRAS

23306 Words

RECuento DE CARACTERES

134824 Characters

RECuento DE PÁGINAS

131 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

14.4MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 27, 2026 7:36 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 27, 2026 7:38 PM GMT-5

● **15% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA
Creada por Ley N° 29658

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

"AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

En ciudad de Luricocha, en el auditorio del pabellón de la E.P de IGA – campus universitario de Intay de la Universidad Nacional Autónoma de Huanta, ubicado en la autopista Carlos Ch. Hiraoka, desvió a Ccollana, a los 19 días del mes de diciembre de 2025, siendo las 12:00 horas se dio inicio al acto académico de sustentación de tesis con la presencia de los miembros del jurado calificador:

Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz	Presidente
Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez	Primer miembro
Dr. Jorge Luis Lozano Rodríguez	Segundo miembro

Acto seguido se procedió a dar lectura la Resolución de Vicepresidencia Académica N° 119-2025-CO-UNAH, en la que señala fecha, hora y designación de jurado evaluador para la sustentación de tesis del **Bach. Juan Manuel Luján Vargas**, con la tesis titulada: **"IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS ÓPTIMAS PARA LA INSTALACIÓN DE RELLENO SANITARIO, MEDIANTE EL SIG, EN EL DISTRITO DE PICHARI - PROVINCIA LA CONVENCION - CUSCO"**, asesorado por el Dr. Santos Clemente Herrera Díaz, para optar el Título profesional de: Ingeniero en Gestión Ambiental.

Observaciones:

.....
.....
.....

Terminada la sustentación se procedió a la formulación de preguntas por los miembros del jurado evaluador, los mismos que fueron defendidos y absueltos por el tesista. Acto seguido se procedió a calificar con el resultado siguiente:

No aprueba	()
Aprobado	(X)
Bueno	()
Cum Laude	()

Con la calificación de catorce (14)

Siendo las 13:22 se da por finalizada el acto académico de sustentación de tesis pasando a firmar los miembros del jurado evaluador.


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

 Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz
 DOCENTE ORDINARIO - PRINCIPAL

Dra. Karina Milagros Ordoñez Ruiz
Presidente


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

 Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez

Dr. Tulio Celestino Paytan Montañez
Primer miembro


 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA

 Dr. Jorge Luis Lozano Rodríguez
 DOCENTE ORDINARIO - ASOCIADO

Dr. Jorge Luis Lozano Rodríguez
Segundo miembro

DEDICATORIA

Con inmensa gratitud y amor, dedico este trabajo de investigación a mis padres, hermanos, mi enamorada y a mis seres queridos quienes han sido una pieza clave en mi formación profesional.

A mis padres Diomedes Mucha y Sulma Vargas por su amor incondicional, por ser mi ejemplo de perseverancia en mi etapa universitaria, quienes me impartieron valores y me enseñaron que con dedicación y esfuerzo los sueños se alcanzan.

A mis hermanos Omar, Sharon, Mayra y cielo, quienes con su apoyo y alegría han llenado de vida mi recorrido, recordándome siempre la importancia de la unión familiar.

A mi enamorada Blanca Jheleyny por brindarme amor, lealtad, confianza y sobre todo apoyo incondicional.

Y, especialmente, a la familia Vargas mis abuelos Clotilde y feliciano mis tíos(as), por su confianza infinita, su ayuda y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Ustedes han sido una base sólida en mi desarrollo profesional y personal, y este logro también les pertenece a ustedes.

Este trabajo es un reflejo del esfuerzo colectivo, del amor que me han brindado y de la fe que han depositado en mí. Gracias por ser mi impulso para alcanzar mis metas y realizar mis sueños.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo identificar áreas óptimas para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Pichari mediante la aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El estudio fue de tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño no experimental–transversal. La población correspondió a la totalidad del territorio distrital, mientras que la muestra estuvo conformada por las áreas evaluadas mediante criterios técnicos establecidos en la normativa del Ministerio del Ambiente (MINAM). Los instrumentos empleados incluyeron imágenes satelitales, cartografía temática oficial, GPS de campo, bases de datos geoespaciales y matrices de evaluación procesadas en ArcGIS 10.8. Se aplicó la evaluación multicriterio utilizando criterios de restricción y exclusión relacionados con pendiente, fallas geológicas, hidrografía, uso actual del suelo, áreas protegidas, centros poblados, vías de acceso y aeródromos. Como resultado, se identificaron inicialmente 15 áreas potenciales para albergar un relleno sanitario. Asimismo, se estimó un horizonte de planificación de 10 años (2026–2035), con una proyección de incremento en la generación de residuos sólidos desde 19.56 t/día en 2026 hasta 27.18 t/día en 2035, lo que exige un área mínima operativa de 9.48 ha para un relleno sanitario de tipo semi-mecanizado. Tras la validación en campo, las alternativas se redujeron a dos áreas óptimas que suman 66.38 ha; sin embargo, ambas se encuentran entre 46 y 48 km del área urbana de Pichari, lo que limita su viabilidad operativa debido a los altos costos de transporte, consumo de combustible y tiempos logísticos. En conclusión, si bien se identificaron zonas técnicamente aptas, su ubicación distante impide considerar estos sitios como alternativas sostenibles para la implementación de un relleno sanitario distrital.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica (SIG), evaluación multicriterio, áreas óptimas, relleno sanitario.

ABSTRACT

This research aimed to identify optimal areas for the installation of a sanitary landfill in the district of Pichari through the application of Geographic Information Systems (GIS). The study was applied in nature, descriptive in scope, and carried out using a non-experimental and cross-sectional design. The population corresponded to the entire territorial extent of the district, while the sample consisted of the areas evaluated according to technical criteria established by the Ministry of the Environment (MINAM). The instruments used included satellite imagery, official thematic cartography, field GPS data, geospatial databases, and evaluation matrices processed in ArcGIS 10.8. A multicriteria analysis was applied using restriction and exclusion criteria related to slope, geological faults, hydrology, current land use, protected areas, population centers, road accessibility, and proximity to aerodromes. As a result, fifteen potential areas were initially identified for a sanitary landfill. A 10-year planning horizon (2026–2035) was estimated, projecting an increase in waste generation from 19.56 t/day in 2026 to 27.18 t/day in 2035, requiring a minimum operational area of 9.48 ha for a semi-mechanized landfill. Field validation reduced the alternatives to two optimal areas totaling 66.38 ha; however, both are located 46–48 km from Pichari's urban center, which limits their operational feasibility due to increased transportation and logistical costs. In conclusion, although technically suitable areas were identified, their distant location prevents considering these sites as feasible alternatives for implementing a sanitary landfill in the district.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), multicriteria evaluation, optimal areas, sanitary landfill.

ÍNDICE

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	x
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1. Descripción y formulación del problema.	12
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo General	14
1.3. Justificación e importancia.....	14
1.4. Hipótesis.....	16
1.5. Identificación de variables	16
II. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Bases teóricas	23
2.3 Definición de términos básicos	33
III. METODOLOGÍA	37
3.1. Enfoque	37
3.2. Tipo, nivel y diseño de investigación.....	37
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	38
3.3. Población y muestra	40
3.4. Instrumentos	40
3.5. Procedimientos	43
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	51
4.1. Resultados.	51
4.2 Discusiones	81
V. CONCLUSIONES	85
VI. RECOMENDACIONES	87
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
VIII. ANEXOS	94

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Relleno sanitario manual	24
<i>Figura 2</i> Relleno sanitario semi-mecanizado.....	25
<i>Figura 3</i> Relleno sanitario mecanizado.....	25
<i>Figura 04</i> Dimensión de datos geográficos.....	34
<i>Figura 05</i> Representación vectorial (a) y ráster	35
<i>Figura 6</i> Mapa de ubicación de zona de estudio	39
<i>Figura 7</i> Procedimientos realizados en el proyecto de investigación.....	43
<i>Figura 8</i> Criterios de selección utilizados para la elaboración de mapas temáticos	52
<i>Figura 9</i> Mapa de espacialización de pendientes	54
<i>Figura 10</i> Mapa de ubicación y ámbito de influencia de fallas geológicas.....	55
<i>Figura 11</i> Mapa de ámbito de influencia de red hídrica.....	56
<i>Figura 12</i> Mapa de espacialización de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.....	57
<i>Figura 13</i> Mapa de influencia de vías de acceso.....	58
<i>Figura 14</i> Ámbito de influencia de áreas urbanas.....	59
<i>Figura 15</i> Ubicación de influencia de aeródromo.....	60
<i>Figura 16</i> Ubicación de ámbito de influencia de áreas agrícolas.....	61
<i>Figura 17</i> Distribución porcentual de áreas aptas y no aptas	62
<i>Figura 18</i> Proyección poblacional del distrito de Pichari	64
<i>Figura 19</i> Generación diaria de residuos sólidos	67
<i>Figura 20</i> Volumen diario y anual de residuos compactados.....	68
<i>Figura 21</i> Volumen anual estabilizado de residuos sólidos	70
<i>Figura 22</i> Área proyectada para relleno sanitario	73
<i>Figura 23</i> Mapas de áreas potenciales para la instalación de los rellenos sanitarios	74
<i>Figura 24</i> Mapa de áreas óptimas para relleno sanitario.....	75
<i>Figura 25</i> Áreas potenciales identificadas	77
<i>Figura 26</i> Áreas con potencial para la instalación relleno sanitario visualizados en campo.....	79
<i>Figura 27</i> Áreas seleccionadas y validadas en campo.....	80
<i>Figura 28</i> Áreas óptimas identificadas.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operalización de variables	17
Tabla 2 Superficies de terrenos para rellenos sanitarios.....	26
Tabla 3 Criterios de selección para la instalación de relleno sanitario	32
Tabla 4 Información geoespacial de entidades publicas.....	45
Tabla 5 restricciones y exclusiones establecidas en los criterios de ubicación para infraestructuras de residuos sólidos municipales	46
Tabla 6 Criterios seleccionados para elaborar mapas temáticos.....	51
Tabla 7 Ponderación de criterios evaluados basados en la técnica de evaluación multicriterio.....	53
Tabla 8 Proyección de población en el distrito de Pichari de 2026 al 2035.....	64
Tabla 9 Producción per cápita.....	65
Tabla 10 Generación de residuos sólidos diaria y anual en el distrito de Pichari.....	66
Tabla 11 Volúmenes de residuos compactados.....	68
Tabla 12 Volumen de material de cobertura y volumen de residuos anual estabilizados	70
Tabla 13 Calculo del área requerida y área total para relleno sanitario.....	72
Tabla 14 Área identificadas potenciales mayores a 5 Ha.....	76
Tabla 15 Ubicación de áreas identificadas	81

INTRODUCCIÓN

La presente investigación “Identificación de Áreas Optimas para la Instalación de Relleno Sanitario, mediante SIG, en el Distrito de Pichari- provincia La Convención, Cusco”, proporciona información para la toma de decisiones en la gestión del ordenamiento territorial para la disposición final de los residuos sólidos. En los últimos años la generación de los residuos sólidos esta aun ritmo alarmante a nivel internacional que atañe a todo habitante del planeta, ya que el 90% de los desechos se vierten o queman a cielo abierto y los pobres son los más vulnerables quienes son los más afectados, se estima que por la rápida urbanización, el crecimiento de la población y el desarrollo económico harán que la cantidad de desechos a nivel mundial aumente a 70% y en los próximos 30 años a un volumen asombroso de 3400 millones de toneladas de desechos generados anualmente. (Banco Mundial, 2018, 2024)

Según el periódico Gestión (2024) en el plano ambiental “Gestión de residuos sólidos en el Perú: su avance y lo que plantea MINAM”, proporciona información, que en el Perú se generan 8,455,615 toneladas de residuos sólidos al año, lo que equivale a 23,166 toneladas por día. De la cifra diaria, un 61.75% tiene como destino final los rellenos sanitarios y plantas de tratamiento, mientras que el resto termina en los llamados botaderos. Según el último Inventario Nacional de Áreas Degradadas del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), existen 1,813 áreas degradadas por residuos sólidos conocidos como botaderos y en total de 77 rellenos sanitarios.

El distrito de Pichari enfrenta una grave problemática relacionada con la gestión de residuos sólidos, ya que carece de un relleno sanitario adecuado. Este déficit se debe al incumplimiento de las normativas establecidas en la “Guía de identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales” del Ministerio del Ambiente (MINAM). En la actualidad, el distrito dispone de un botadero controlado en la comunidad de San Martín, que, aunque ha servido como punto de recepción de residuos sólidos municipales, se encuentra en la fase final de su vida útil. Este escenario es particularmente preocupante dado que el distrito ha experimentado un crecimiento poblacional significativo en los últimos años

Los sistemas de información geográfica y la evaluación multicriterio permiten llevar a cabo estudios de mayor complejidad acorde a la realidad de los territorios. La aplicación de estos instrumentos y métodos facilitan la identificación de las problemáticas y por ende un acercamiento a las soluciones (Almonacid et al., 2023). Los SIG, pueden sintetizar

variables que determina la ubicación de los sitios óptimos para relleno sanitario teniendo en cuenta los criterios establecidos en la norma los cuales son los siguientes : distancia a la población, distancia a aeropuertos, distancia a fuentes de agua superficiales , distancia a vías de acceso, uso actual del suelo, compatibilidad con la capacidad de uso mayor del suelo, propiedad del terreno, pendiente del terreno, barrera sanitaria natural, material de cobertura, distancia a instituciones educativas y centros de salud, drenaje del suelo ,geología, pasivos ambientales, área natural protegida por el estado, área con restos arqueológicos, y vulnerabilidad por peligro geológico.(Ichpas & Sanchez , 2021; Supo, 2024).

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema.

El aumento acelerado de la población a nivel mundial, ha generado que los residuos municipales aumenten, lo cual ha provocado que el manejo de los residuos sólidos se convierta en un problema (Ricaldi et al., 2021). En el documento “What a Waste 2.0: A Global Snapshot Of Solid Waste Management To 2050” publicado por (Kasa et al., 2018) en la revista de World Bank Group , que hasta el 2016 se tenía registrado que a nivel mundial se generaba 2010 millones de toneladas y se predice que en los próximos 30 años este aumente a 3400 millones de toneladas de residuos sólidos al año.

El mal manejo de los residuos sólidos en las municipalidades, representa un peligro para la salud de las personas y al mismo tiempo trae consecuencias e impactos negativos al ambiente ocasionando el cambio climático, el riesgo es mayor si los residuos son dispuestos en zonas inoportunos como los botaderos informales (Kasa et al., 2018). En el Perú el 83 % de total de los residuos sólidos generados es destinado en zonas inadecuados, ocasionando daño al ambiente y salud de los seres humanos, el problema del manejo de residuos sólidos es la escasez de zonas óptimos que cumplan los criterios técnicos para construcción de relleno sanitario (MINAM, 2016).

El Distrito de Pichari no cuenta con un relleno sanitario debido al incumplimiento de las normativas establecidas en la “Guía de Identificación de Zonas Potenciales para Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales”, emitida por el Ministerio del Ambiente (MINAM). Actualmente, la gestión de residuos sólidos se realiza mediante su disposición en un botadero controlado, ubicado en el centro poblado de Otari de San Martín, el cual se encuentra en la fase final de su vida útil.

El acelerado crecimiento poblacional del distrito ha generado que se intensifique la problemática de los residuos sólidos, evidenciada en la generación indiscriminada y el inadecuado manejo de estos. A ello se suma la limitada cultura ambiental de la población, así como el incremento en el consumo de productos de un solo uso, tales como plásticos, botellas PET, latas, cartón, vidrio y entre otros, lo que ha generado un aumento significativo en la cantidad de residuos dispuestos en el botadero controlado. Además, el sistema de recolección abarca tanto los centros poblados como las comunidades aledañas, lo que contribuye al incremento del volumen de residuos gestionados en la zona.

El inadecuado manejo de los residuos sólidos en el distrito de Pichari genera serias implicancias ambientales, sanitarias y sociales. Esta deficiencia impacta directamente en los componentes ambientales, provocando emisiones de gases, infiltración de lixiviados y la proliferación de vectores como moscas y roedores, además de la generación de olores ofensivos que deterioran la calidad de vida de la población del centro poblado de Otari San Martín., Pese a que la Municipalidad Distrital de Pichari percibe un importante monto del canon gasífero, recurso que debería garantizar la implementación de infraestructuras y sistemas de gestión ambientalmente adecuados.

Como consecuencia, muchos pobladores recurren a la disposición inadecuada de sus residuos en puntos críticos como riberas de ríos, márgenes de carreteras y quebradas, lo que incrementa el riesgo de contaminación de cuerpos hídricos, degradación del paisaje, proliferación de enfermedades. Esta situación refleja no solo una problemática de salud pública y deterioro ambiental, sino también una falta de alineamiento entre la disponibilidad de recursos financieros municipales y la gestión técnica requerida para la instalación de un relleno sanitario.

En este sentido, la parte medular de la situación problemática precisa la elaboración de un trabajo asertivo de identificar áreas óptimas que cumplan con los criterios y las normas establecidos para la implementación de relleno sanitario en el Distrito de Pichari.

1.1.1. Formulación del problema General

¿Cuáles son los sitios que cumplan las condiciones óptimas para la instalación de un relleno sanitario, mediante SIG, en el distrito de Pichari, provincia la convención - Cusco?

1.1.2. Formulación de Problemas Específicos

- PE1. ¿Cuáles son los criterios de selección que nos permita elaborar mapas temáticos para fijar zonas apropiadas para la instalación del relleno sanitario?
- PE2. ¿Qué datos de ponderación se le otorgará según la técnica de evaluación multicriterio?
- PE3. ¿Cuál es el tipo de relleno sanitario a instalar en el distrito de Pichari?
- PE4. ¿Cuáles son los sitios óptimos para la instalación de un relleno sanitario mediante el SIG?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Identificar áreas óptimas para la instalación de relleno sanitario utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG), en el distrito de Pichari - Provincia La Convención-Cusco.

1.2.2. Objetivos específicos

- OE1 Utilizar los criterios de selección que nos permita elaborar mapas temáticos para fijar áreas óptimas para la instalación de un relleno.
- OE2 Generar base de datos y ponderación basadas en técnica de evaluación multicriterio.
- OE3 Identificar los tipos de relleno sanitario a instalar.
- OE4 Localizar sitios óptimos para la instalación de rellenos sanitarios mediante el SIG.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. justificación teórica

El presente trabajo permite evaluar y descubrir sitios para la localización de áreas óptimas para la instalación de rellenos sanitario, el sistema de información geográfica (SIG) y técnicas de evaluación, que nos permite descubrir localizaciones superiores para identificar los diversos usos del suelo que queremos hacer en una zona (Ichpas y Sanchez, 2021).

El enfoque de este estudio es la revisión de diferentes investigaciones nacionales e internacionales que permite entender que existen tres posiciones fundamentales: la sostenibilidad ecológica, económica y social, lo que se conoce como asegurar el equilibrio del ecosistema. Asimismo, este estudio sirve como referencia para otros estudios y como complemento para estudios de proyecto de inversión, de esta manera esta investigación se basa en criterios y teorías que brindarán nuevos productos que teóricamente serán una guía para la ubicación de sitios óptimos para la instalación de relleno sanitario en el distrito Pichari, provincia La Convención-Cusco.

1.3.2. Justificación práctica

El desarrollo de un modelo espacial para la identificación de áreas óptimas de relleno sanitario para la disposición final de residuos sólidos, puede ser utilizado como una herramienta de apoyo verificable y complementaria para futuras investigaciones (Loyaga, 2019).

Esta investigación nos permite a través del sistema de información geográfica (SIG), la identificación de sitios óptimos para la construcción de relleno sanitario en el Distrito Pichari. esto implica que el sistema de información geográfica (SIG-ArcGIS), se convierten en una herramienta fundamental que puede ser utilizado en diversos trabajos y mejorar los procesos de identificación y selección, mejorando la toma de decisiones según los criterios de selección en la "Guía para el diseño y construcción de infraestructura para la disposición final de residuos sólidos municipales"; así afrontar la problemática y poder dar la respuesta adecuada y la mejor ubicación adecuada del sitio para la instalación de un relleno sanitario.

1.3.3. Justificación social.

Uno de los motivos que sobrelleva a esta investigación es que el distrito de Pichari solo cuenta con un área para la disposición final de los residuos sólidos de carácter municipal, que en un futuro muy próximo no abastecerá por el aumento poblacional y generando otra dificultad en el manejo de residuos sólidos.

Esta investigación ayudara a identificar sitios adecuados para la disposición final de los residuos de manera óptima basado en los sistemas de información geográfica (SIG), que al utilizar brindaría una solución a la población, asimismo, de esta manera se busca una alternativa que permita establecer un nuevo ordenamiento territorial. Con este trabajo se reduciría la contaminación de los componentes ambientales (seres vivos, suelo, agua y aire), siempre que signifique también promover una cultura ambiental en la que los habitantes de la zona comprendan el daño que se hace al medio ambiente por los residuos sólidos en sitios inadecuados que no cumplen los criterios establecidos en la guía.

Asimismo, este estudio es necesario porque es de beneficio directo para la municipalidad de Pichari para la formulación de proyectos de inversión de relleno sanitario.

1.4. Hipótesis

- **Hipótesis nula (H0).** No existirá alguna área potencial que reúna las condiciones adecuadas para la instalación de relleno sanitario
- **Hipótesis alternativa (H1).** Existirán sitios potenciales que reúnan las condiciones adecuadas para la instalación de un relleno sanitario.

1.5. Identificación de variables

1.5.1 Variable 1

Sistema de información geográfica.

1.5.2 Variable 2

Identificación de áreas óptimas para la instalación de relleno sanitario.

Tabla 1*Operalización de variables*

Variable dependiente	Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones		Indicadores	Criterios	Instrumentos (Geoprocesamiento ArcGIS 10.8)
				Campos	Aspectos			
Identificación de áreas óptimas para la instalación de relleno sanitario	Sistema de información geográfica	La identificación de áreas óptimas se define como un procedimiento de evaluación espacial basado en la integración multicriterio de variables físicas, ambientales y socioeconómicas, cuyo propósito es determinar zonas del territorio que presentan las condiciones adecuadas y suficientes para la instalación de una infraestructura, conforme a criterios de aptitud, restricción y normativa técnica vigente.	Para la identificación de sitios óptimos se utilizó como herramienta de recolección de datos geo portales públicos y local (ZEE-Pichari), que contienen capas de información cartográfica de medios (físicos, biológicos y socioeconómicos), y a través de la técnica de evaluación multicriterio (ponderación) y el análisis espacial a través del software ArcMap del ArcGIS Desktop, se realizó las mapas temáticos de acuerdo a lo establecidos en la guía para el Diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos Municipales	Aspectos del medio físico	Ámbito territorial	Ubicación geográfica	Ausencia de infraestructura de rellenos sanitarios	INEI (limites)
						Rango de pendiente	< 25 %	Shapefile de ZEE-Pchari e IGN
						Distancia a las fallas geológicas	< 1000 metros	IGN – ZEE Pichari
						Distancia a fuente de agua	< 500 metros	ANA - ZEE-
						Presencia de A.N.P.	Ponderación binaria (0,1)	SERNAMP - ZEE Pichari
						Distancia a las vías de acceso	Distancia a vía de acceso principal km	ZEE Pichari
						Presencia de sitios arqueológicos	Ponderación binaria (0,1)	MINCUL
						Distancia a las áreas urbanas	≥ 500 m	ZEE Pichari - INEI
						Distancia a aeropuertos	≥ 13km	ZEE Pichari
						Uso actual de suelo (agrícola)	≥ 500 m	Shapefile de ZEE-Pchari

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Flores (2013) en su tesis titulada “Identificación de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos en los municipios Atlacomulco, Ixtlahuaca y Jocotitlán, estado de México” concluye que: Para la ubicación de sitios potenciales la mayoría utilizan los criterios de selección para determinar la distancia a ciertos factores y los límites de las normas oficiales mexicanas (083.SEMARNAT-2003), ubicado a varios metros de distancia, lo que crea incertidumbre, evaluándolo como un lugar que podría ser adecuado para la selección del sitio candidato, los resultados obtenidos por SIG se aproximan a la situación real en algunos lugares, y utilizando otros criterios y en base a variables específicas ponderadas en un mejor manera.

Según Erazo (2016) realizó un relevamiento con el objetivo de identificar sitios adecuados para la implementación de rellenos sanitarios en el municipio de Pupiales-Nariño, utilizando el software ArcGIS versión 10.2 para la obtención de capas espaciales (polígonos) que ayuden en el marco de la ordenación territorial, luego de aplicar la metodología se logró identificar áreas potencialmente aptas para la implementación de un relleno sanitario.

Hailu et al., (2019) menciona que el área de disposición de residuos sólidos es un asunto de preocupación de salud pública, se tiene que hacer la selección de un sitio apropiado minimizando el impacto ambiental, para ubicar un sitio de relleno sanitario adecuado para el caso de la ciudad de Wolkite se debió tener en cuenta múltiples aspectos, tales como como uso del suelo, cobertura del suelo, se utilizaron como factores el suelo y la pendiente. Además, la proximidad de aguas superficiales como: ríos, arroyos, pozos de suministro de aguas subterráneas, carreteras, instalaciones públicas como: escuelas, centros de salud, oficinas administrativas, iglesias, mezquitas, otras áreas construidas y sitios culturales se consideraron como rellenos sanitarios. Restricciones, el análisis de datos se llevó a cabo a través del software GIS, finalmente se identificó el sitio de relleno sanitario candidato.

Por otro lado, Kareem et al. (2021), evaluó el sitio de relleno sanitario óptimo para la ciudad de An-Najaf utilizando el método GIS y criterios, para ello se seleccionaron ocho criterios apropiados, que son: área urbana, ríos, caminos, tipos de suelo, elevación,

viento, pendiente y sitios arqueológicos, históricos y religiosos. Además, la ponderación de los criterios utilizando la opinión de expertos y literatura similar previa.

Según Ali et al., (2023) menciona que para la selección adecuada del sitio de relleno sanitario requiere la consideración de varios criterios ambientales, sociales y económicos en un sofisticado análisis de decisiones de criterios múltiples dentro del sistema de información geográfica (SIG) y tuvo como objetivo proporcionar una base científica para la identificación de vertederos.

En Grecia, los investigadores Parastatidou et al., (2024), utilizaron la lógica booleana y el sistema de información geográfica para excluir áreas no adecuadas para el establecimiento de un relleno sanitario y para seleccionar áreas con la mayor idoneidad para la disposición final de los residuos sólidos, las áreas adecuadas se les dio un valor de uno (1), mientras que a las áreas no adecuadas se les dio un valor de cero (0), obteniendo como resultado según las mapas temáticas un 12.7% del área de estudio es adecuado para la instalación de los rellenos sanitarios

En Ecuador, los investigadores Bello et al., (2025) utilizaron los herramientas de análisis espacial y evaluación multicriterio para identificar áreas óptimas para la instalación de un relleno sanitario en el cantón Chone, la metodología empleada incluyó el cálculo de la dimensión requerida del relleno sanitario proyectado al año 2040, en base a una población estimada de 130,696 habitantes y una generación per cápita de residuos sólidos de 0.58 kg/hab/día, lo que determinó una necesidad de 12.34 hectáreas de superficie. Se definieron y evaluaron nueve criterios ambientales mediante el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), lo que permitió establecer una matriz de ponderaciones única. Los criterios con mayor influencia fueron la distancia a áreas protegidas (29%) y la pendiente del terreno (21%). Con estos valores, se ejecutó un modelo de evaluación multicriterio en un entorno SIG, que permitió identificar 20 áreas óptimas que en conjunto abarcan 18,196.04 hectáreas, equivalentes al 5.36% del territorio del cantón.

2.1.2 Antecedentes nacionales

El tratamiento integral de los residuos sólidos comprende diferentes etapas desde el origen, clasificación y disposición adecuada, a esto se agrega las múltiples brechas que condicionan la gestión integral de los residuos sólido. Por lo tanto, es importante estudiar y brindar información sistemática que ayude a seleccionar las superficies óptimas para su disposición final con el fin de reducir los conflictos sociales y ambientales. (MINAM, 2017; Ichpas y Sanchez , 2021)

Javier (2015) desarrollo un modelo para la identificación y localización de un área óptima para la instalación de un relleno sanitario, realizando análisis mediante técnicas multicriterio en un SIG, abarcando los doce distritos de la provincia de Huánuco, implemento criterios para la selección de áreas que inciden en la disposición final de residuos sólidos en rellenos sanitarios, localizando áreas factibles para la instalación de residuos sólidos.

Romero (2017) en su tesis titulada “identificación de las áreas óptimas para la planta de tratamiento y disposición final de residuos sólidos del distrito de san Ignacio, utilizando sistemas de información geográfica – SIG” concluye que para identificar áreas potenciales para la instalación de una planta de tratamiento y disposición final se utilizó el sistema de información geográfica (SIG). Para ello se establecieron nueve criterios técnicos de evaluación (distancia a carreteras, distancia a zonas urbanas, fallas geológicas, geología, hidrología, infraestructura existente, pendiente, uso de suelo forestal y zonas arqueológicas), empleando la evaluación multicriterio que consistió en superponer cada criterios respectivo y dando valor de “0” (áreas no óptimas de color rojo) y “1” (áreas óptimas de color azul); obteniendo como resultado un mapa que cumple con todo los criterios y siendo superior a 5 ha, por lo que en total existen 17 áreas donde se pueden construir plantas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

Espejo (2018) utilizó el SIG para localizar un área adecuado para la construcción de un relleno sanitario en el distrito de Chachapoyas, departamento de Amazonas, Perú,, aplicando los siete criterios de selección teniendo los variables de pendiente, geología, distancia a carreteras, bosques, distancia a la población (urbana y rural), distancia al aeropuerto y el volumen de almacenamiento, estos criterios fueron evaluados mediante la evaluación multicriterio, los resultados obtenidos en este estudio, demuestra que utilizando los sistemas de información geográfica (SIG) y sus diversas herramientas, determinaron ubicar las áreas óptimas para la ubicación del relleno sanitario para el distrito de Chachapoyas y que tenga menor impacto sobre el ambiente.

Perez (2019) realizó un asertivo proyecto de investigación que implicó identificar las áreas más adecuadas para la instalación de un relleno sanitario en Santa Rosa, Jaén, departamento de Cajamarca. La evaluación utilizó 'un sistema de información geográfica' como apoyo para la toma de decisiones, teniendo en cuenta la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios manuales' publicada en el MINAM, que identificó siete sitios adecuados para la instalación de

rellenos sanitarios con base en criterios y variables.

En un trabajo de investigación Loyaga (2019) identifico 2 áreas optimas y 13 áreas aceptables para la instalación de un relleno sanitario utilizando herramientas de sistema de información geográfica (SIG), en el distrito de Las Parias - provincia de Jaén, utilizo los criterios establecidos en la “Guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre del Relleno Sanitario Manual del MINAM”, empleando la evaluación multicriterio, “0” para áreas que no son consideradas para la instalación del relleno sanitario, “1” para áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario y “2” para áreas admisibles que de igual manera si cumplen con las condiciones para la construcción del relleno sanitario.

Mamani (2020) realizo un estudio orientado a “identificar de áreas óptimas para la disposición final de residuos sólidos en el distrito y provincia de Sandia, departamento de Puno”, a una altitud de 2180 msnm; el estudio se llevó a cabo con tres alternativas Challapata, Alicato y que neque, y se realizó la superposición de capas en el ArcGIS 10.3, mediante el análisis espacial. se concluyó que la alternativa 2 (Alicato) es la mejor alternativa para un relleno sanitario: tiene buen acceso vial, buena distancia a fuentes de agua superficial, dirección opuesta del viento, presencia de material de cobertura, topografía (32-44%), la precipitación es de (1000 – 1050 mm de precipitación media anual), y mejor estabilidad física del suelo, lo cual es favorable porque presenta un drenaje favorable sin riesgo de inundaciones y erosión hídrica.

Por otro lado, Ito (2020) realizo una investigación para identificar sitios aptos para la instalación de relleno sanitario en la Municipalidad Distrital de Coata del departamento de Puno, que actualmente no cuenta con un relleno sanitario pero si con un botadero, a causa de ello genera problemas ambientales., Se empleó el software ArcGIS 10.5, con el análisis multicriterio fijando valores de 0 y 1, para áreas no aptas y aptas, utilizando las variables de pendiente, distancias a centro poblado y ríos., por lo que se identificaron tres áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario con un superficie de 39.76, 93.09, y 491.71 hectáreas.

En el distrito de Huayrapata, provincia de Moho, Puno, se identificó sitios potenciales para la construcción de un relleno sanitario mediante el sistema de información geográfica, software ArcGIS 10.5, utilizando los siguientes criterios: pendiente, fallas geológicas, hidrología y vías de acceso establecidos en la guía de diseño,

construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitarios. Como resultado se identificaron cuatro áreas potenciales con superficies 766,247, 154 y 161 ha, para la ubicación de relleno sanitario, utilizando la aplicación del sistema de información geográfica mediante la evaluación multicriterio. (Mamani, 2020)

Rodríguez (2020) diseñó un modelo geoespacial para la ubicación óptima de instalaciones para la disposición final de residuos sólidos, mediante la aplicación de SIG en la provincia de Jaén – Cajamarca, dentro de sus conclusiones se detalla que 2% del área total son consideradas potenciales para el establecimiento de rellenos sanitarios en la provincia de Jaén, todo esto mediante el uso de mapas en Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se realizó el proceso de interpretación del espacio mediante ponderaciones binarias de varias variables analizadas, donde “1” son áreas descartados para la instalación de relleno sanitario “0” son áreas potencialmente aptas para la ubicación de la propuesta, también se realizó la evaluación multicriterio de varias variables teniendo en cuenta los criterios físico, biológico y sociales, para lo cual se tuvo en consideración la “ Guía de diseño construcción, operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario manual y el D.S. 014-2017 –MINAM.

Ichpas y Sánchez (2021) localizó siete sitios para la instalación de rellenos sanitarios en la ciudad de Huancavelica utilizando el sistema de información geográfico, donde se evaluaron 19 parámetros que permiten la ponderación final de sitios para rellenos sanitarios tales como la “distancia a la población, distancia a cobertizos, distancia a aeropuertos, distancia a fuentes de agua superficiales, distancia con respecto a la ciudad, distancia a vías de acceso, uso actual del suelo, compatibilidad con la capacidad de uso mayor del suelo, propiedad del terreno, pendiente del terreno, cuenta con barrera sanitaria natural, material de cobertura, distancia a instituciones educativas y centros de salud, drenaje del suelo, geología, pasivos ambientales, área natural protegida por el estado, área con restos arqueológicos, y vulnerabilidad por peligro geológico”.

Becerra (2021) identificó área apta para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel, Cajamarca, utilizando el sistema de información geográfica, teniendo como resultado un área apta de aproximada de 182.24 ha, que cumple con todos los parámetros establecidos en la guía de diseño y construcción de un Relleno Sanitario del MINAM.

En el departamento de Puno- provincia Collao, el investigador Supo (2024),

justifica su investigación de identificar áreas potenciales para la instalación mencionando la problemática de contaminación ambiental de los componentes (agua, aire, y suelo), incluida la salud pública al no contar con relleno sanitario en la provincia, para ello utilizo la metodología de geolocalización utilizando la Evaluación Multicriterio y el software ArcGIS, como resultado logró identificar 187844.66 ha de superficie que cumplen con los criterios establecidos en la guía.

2.1.3. Antecedentes locales

En el entorno local encontramos que en la provincia de Cusco, Uscamayta (2021), tuvo como objetivo determinar áreas aptas para la instalación de rellenos sanitarios, donde utilizó la técnica de evaluación Multicriterio y el sistema de información Geográfica (SIG) software ArcMap versión 10.2, la investigación procedió mediante dos etapas pre - campo que consistió realizar el análisis espacial con la herramienta de ArcGIS, en la etapa de campo ya se define las zonas aptas, como resultado arrojó 4 áreas con potencial media para la instalación de relleno sanitario.

En el distrito de Santa Ana- Cusco, la investigadora Paz (2023), describe que las zonas óptimas para relleno sanitaria son muy escasas debido al cumplimiento de los parámetros establecidos en la guía y normativas vigentes, para ello planteo como objetivo determinar zonas óptimas para relleno sanitario, cuyos instrumentos de recolección de datos fueron los portales de organismos públicos nacionales e internacionales, realizando el procesamiento en el software Arcmap10.3. como resultado final se obtuvo 79 ha de zona potencial para la instalación de rellenos sanitarios.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Rellenos sanitarios

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de residuos sólidos en el suelo, mediante el uso de principios de ingeniería para confinar la basura en un área previamente implementada con los dispositivos para el control y manejo de las emisiones (líquidos y gases), con la finalidad de prevenir los riesgos a la salud pública y deterioro de la calidad ambiental (MINAM, 2020).

2.2.2. clasificación de rellenos sanitarios

2.2.2.1. Relleno Sanitario Manual. El relleno sanitario manual es una tecnología que se aplica cuando la mano de obra está más disponible que la maquinaria que haría el mismo

trabajo. Asimismo, está diseñado para dar disposición final a los residuos sólidos de poblaciones que producen hasta seis (6) toneladas diarias (t/día) de residuos sólidos. sólo se requiere equipo pesado para la adecuación del sitio y la construcción de vías internas y excavación de zanjas o material de cobertura. En cuanto a los demás trabajos, todos pueden realizarse manualmente, como el esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realiza mediante el uso de herramientas simples como rastrillos, piones manuales, entre otros (MINAM, 2020; Delgado y Zavaleta, 2021).

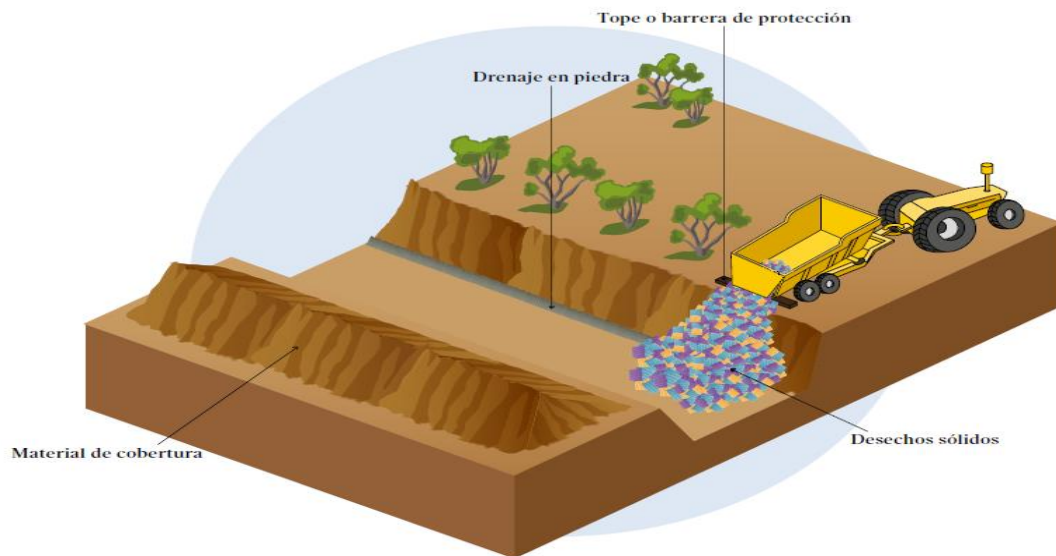
Figura 1

Relleño sanitario manual



Fuente: MINAM, (2020). *Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos municipales.*

2.2.2.2 Relleno Sanitario Semi-mecanizado. Incorpora todos los elementos fundamentales de un relleno sanitario, construido y administrado con principios de ingeniería civil y sanitaria para áreas urbanas, que se aplica para dar disposición final de los residuos sólidos de poblaciones que producen de seis (6) t/día hasta los cincuenta (50) t/día., la característica principal de este tipo de relleno, es que las operaciones diarias se requiere de equipo pesado para los trabajos de esparcido, compactación y cobertura de los residuos se realizan con el apoyo de equipo mecánico, siendo posible también el empleo de herramientas manuales para complementar los trabajos de confinamiento de residuos (MINAM, 2020; Delgado y Zavaleta, 2021).

Figura 2*Relleno sanitario semi-mecanizado*

Fuente: MINAM, (2020). *Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos municipales.*

2.2.2.3 Relleno Sanitario mecanizado. Las operaciones en el relleno sanitario se realizan íntegramente a través de equipo pesado, ya sea en forma parcial o permanente, la utilización de estos equipos se realiza cuando la producción diaria de residuos sólidos es de 50 o más toneladas (MINAM, 2020).

Figura 3*Relleno sanitario mecanizado*

Fuente: MINAM, (2020). *Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos municipales.*

2.2.3. Métodos de Rellenos Sanitarios

- ❖ **El método de área.** Es adecuado para áreas planas o con pendientes suaves donde pueden existir algunas depresiones de tierra, los residuos se esparcen, compactan y luego se cubren con material de cobertura que pueden ser transportados desde zonas aledañas a la zona (Ricaldi et al., 2021).
- ❖ **El método de zanja.** Los residuos sólidos se esparcen, compactan y cubren cavando una zanja, este método es efectivo para zonas casi nivelados donde el nivel freático no está cerca de la superficie, normalmente, el suelo excavado de la zanja se utiliza como material de cobertura (Ricaldi et al., 2021).
- ❖ **El método de pendiente o rampa.** Se utiliza a veces en combinación con los dos métodos anteriormente mencionadas, los residuos se esparcen sobre un talud existente, se compactan y se cubren y los materiales de cobertura generalmente vienen de delante de la cara de trabajo (Ricaldi et al., 2021).

2.2.4. superficie de terreno y vida útil

Según la Guía de Instalación y Construcción de Rellenos Sanitarios de Residuos Municipales del (MINAM, 2020), considera que la planificación de la infraestructura destinada a la disposición final de residuos sólidos debe considerar una vida útil mínima de diez (10) años. La proyección del área del terreno se calcula en función de la cantidad diaria de residuos sólidos generados, aplicando criterios específicos para rellenos sanitarios de tipo (manual, semi-mecanizado y mecanizado).

Tabla 2

Superficies de terrenos para rellenos sanitarios

	R. S. manual (6tn/día)	R. S. semi- mecanizado (50tn/día)	R. S. mecanizado (100tn/día) (800tn/día)
Celda transitoria, vida útil 3 (tres) años.	0,25 ha	1,45 ha	3,00 a 15,00 ha
Relleno sanitario vida útil 10 (diez) años.	0,75 ha	3,30 ha	10,00 a 25,00 ha
Vías, campamento, áreas libres, infraestructuras diversas.	4,00 ha	5,25 ha	10,00 ha
superficie min. Recomendable.	5,00 ha	10, 00 ha	23,00 a 50,00 ha

Fuente: MINAM, (2020). Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para

disposición final de residuos municipales.

2.2.5 Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales.

El objetivo de la guía es orientar en la identificación de áreas que tienen potencial para implementación de infraestructuras para la disposición final de residuos sólidos municipales, acordes a las potencialidades y limitaciones del territorio. Asimismo, muestra los pasos, fases y criterios técnicos y normativos para la identificación de las infraestructuras de disposición final de residuos sólidos municipales (MINAM, 2020).

2.2.5.1 contenidos mínimos para la selección de áreas.

a) Relación del área propuesta con infraestructura existente

No se podrán seleccionar áreas que se encuentren dentro de las áreas de influencia de obras de infraestructura tales como embalses, represas, refinerías, obras hidroeléctricas, entre otros; la distancia de la infraestructura para disposición final de residuos incluyendo una celda transitoria no será menor de 13 000 m. (MINAM, 2020).

b) Extensión del terreno y vida útil

La adecuada selección del terreno hará posible la construcción de una celda transitoria y la posterior dotación de infraestructura para disposición final de residuos con la mayor vida útil posible, los periodos de vida útil a considerar son: Infraestructura para disposición final de residuos sólido, vida útil no menor a diez (10) años; celda transitoria, vida útil máxima de tres (03) años y por último Nave para pretratamiento y relleno seco, vida útil recomendable no menor a quince (15) años. (MINAM, 2020)

c) Factores climáticos, suelo y relieve de la superficie, aspectos geológicos, geomorfológico, hidrogeología, entre otros.

- **Climáticos:** El factor importante es la dirección del viento predominante ya que el polvo, el tráfico deficiente y los malos olores pueden causar fatiga en la operación. Además, es importante estar atento a las siguientes condiciones climáticas: precipitación, temperatura y humedad relativa, que facilitarán la biodegradación de los residuos. (MINAM, 2021)
- **Relieve de la superficie:** Uno de los factores importantes es tener terrenos

llanos a ondulados (Hasta 30° de inclinación son aptas para la adecuación de infraestructura para disposición final de residuos), terrenos accidentados y elevaciones rocosas son inadecuadas” (MINAM, 2020, 2021).

- **La geología y geotecnia:** Es importante conocer el tipo y las características mecánicas del suelo para la instalación de un relleno sanitario. En este caso se podría recomendar las características areno arcilloso debido a que son suelos poco permeables, y eso nos permite que la infiltración de líquido contaminante se reduce considerablemente (MINAM, 2020).
- **Geomorfología:** Las condiciones climáticas o antrópicas, podrían generar riesgos de erosión y deslizamientos en el terreno, causados por la gravedad y otros factores naturales como litológicos, climáticos antrópicos, entre otros” (MINAM, 2020, 2021).
- **Hidrogeología:** Para la selección del sitio y uno de los factores importantes es evitar la contaminación de los acuíferos. Para lo cual es recomendable realizar estudios de geohidrológicos para identificar la posibilidad de existencia de acuíferos sub superficiales, la profundidad a la que se encuentran, la dirección y la velocidad del escurrimiento o flujo (MINAM, 2020).
- **Hidrología superficial:** En este caso es recomendable que el área seleccionada este ubicada a una distancia considerable de las corrientes superficiales de los cuerpos de agua; la mayor parte de los problemas ocasionados es por el escurrimiento de aguas; partiendo de ese problema es muy importante que el sitio seleccionado esté a una distancia considerable para evitar escurrimientos dentro del relleno sanitario (MINAM, 2020).

d) Material para cobertura

El lugar seleccionado debe contener material de cobertura (tierra), y con cantidad suficiente de tierra que pueda ser extraída sin dificultad y a costos razonables, para cubrir la demanda necesaria para la conformación de diques, cobertura y sellado de la celda transitoria, relleno sanitario y relleno seco, a lo largo de la vida útil de la infraestructura., los estratos areno limosos y areno arcillosos son los adecuados. (MINAM, 2020, 2021)

e) Barrera sanitaria y aislamiento paisajístico

El lugar destinado a una celda transitoria y/o infraestructura para disposición final de residuos sólidos este con cerco perimetral, se complementará con un cerco vivo interior y paralelo, de preferencia con especies nativas de la zona, complementados con la dirección de los vientos, evitarán que las partículas y polvo que inevitablemente se genera en la actividad, lleguen a la población más cercana. (MINAM, 2020)

f) Vías de acceso

Las vías de acceso son de mucha importancia para la instalación de un relleno sanitario, por lo tanto, el sitio debe estar de preferencia a corta distancia del área urbana para no afectar el costo global del sistema, retardando los viajes y daños vehiculares; Se priorizarán conexiones existentes y que la distancia referencial máxima de aprox. De treinta (30) km desde el centro de la ciudad (rellenos sanitarios mecanizados y semimecanizados) y distancia referencial máxima de aproximadamente 10 kilómetros desde el centro de la ciudad para rellenos sanitarios manual. (MINAM, 2021)

g) El uso de suelo y planes de expansión urbana

El lugar destinado a un proyecto de celda transitoria, relleno sanitario y relleno seco, se debe tener en cuenta la proyección de expansión poblacional planificada por la municipalidad involucrada, para tal sentido se debe realizar un estudio de suelo, que este detallado mayormente en el plan de desarrollo urbano distrital (MINAM, 2020).

h) Opinión pública

Es importante que el lugar seleccionado tenga la aprobación de la población beneficiaria, así como de la población colindante al terreno, para evitar posibles conflictos sociales a (corto y largo plazo), tipificado en la Ley N.º 29785, ley de derecho a la consulta previa. (MINAM, 2020, 2021)

i) Áreas naturales protegidas por el estado

El área para la instalación de relleno sanitario no debe estar ubicado en un área natural protegida por el estado, por ello, se deberá contar con el certificado de no afectación de áreas naturales protegidas emitido por el SERNANP

(MINAM, 2020).

j) Preservación del patrimonio cultural

El área no debe estar ubicado en zona arqueológica, arquitectónica, histórica o patrimonial, de ser así, es un criterio de restricción de ubicación; el sitio proyectado para la infraestructura de disposición final debe contar con el certificado de inexistencia de restos arqueológicos (CIRA) (MINAM, 2020).

2.2.5.2 Aspectos legales

a. Saneamiento físico legal del terreno

El área utilizada para el relleno sanitario debe estar debidamente saneado y tener título de propiedad, así como documentos legales que le autoricen a construir un relleno sanitario y todas sus obras anexas en el terreno, y un representante registrado en el Servicio Nacional de Registros Públicos (SUNARP) a nombre de gobiernos locales que implementará la infraestructura de disposición final para rellenos sanitarios. (MINAM, 2020, 2021)

b. Reglas legales del Perú para la implementación de infraestructura de residuos sólidos

- **Ley General del Ambiente - Ley N° 28611**

La tarea especial del Ministerio del Ambiente (MINAM), es promover y coordinar el manejo adecuado de los residuos sólidos, la calidad del aire y el control del ruido y las radiaciones no ionizantes como indica de en su art. 7, literal k) y, sanciones por su incumplimiento, en su art. 67, sugiere sobre saneamiento básico que también señalan que las autoridades públicas de a nivel nacional, sectorial, regional y local dan prioridad a las medidas de saneamiento básico, incluyendo la construcción y gestión de infraestructura de residuos sólidos en las zonas urbanas y rurales.

- **Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, Ley N° 28245.**

Según el art. 6, el MINAM proporciona herramientas de gestión y planificación ambiental, las cuales son responsables de asegurar la coordinación intersectorial y el uso adecuado de estas herramientas a través del desarrollo de políticas, estándares o metodologías. Según el artículo 9, inciso d, la función del MINAM es desarrollar políticas ambientales y normas de regulación.

- **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, aprobada por Decreto Legislativo N.º 1278.**

En el art. N.º 6 de los Lineamientos para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, coordinan la secuencia territorial y la política de manejo de residuos sólidos para asegurar una gestión efectiva de la infraestructura de residuos sólidos. También identifican áreas apropiadas para la disposición final de los residuos sólidos, teniendo en cuenta las necesidades actuales y futuras, y establecen planes, programas, estrategias, medidas transversales, teniendo en cuenta el seguimiento económico, social, cultural, tecnológico, sanitario y prácticas sostenibles.

- **Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE), aprobado mediante Decreto Supremo N.º 087-2004-PCM.**

La ZEE es un enfoque adaptativo y dinámico que considera el potencial de uso sostenible de regiones específicas, basándose en la consideración de factores físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales. Entre sus objetivos se destacan: lineamientos para la elaboración, aprobación y aplicación de políticas para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y territorios a nivel nacional, sectorial, regional y local y para la gestión ambiental de acuerdo con sus características y potencialidades. Ecosistemas, protección ambiental y bienestar humano; proporcionar información técnica y sistemas de referencia para facilitar la inversión tanto pública y privada

- **Reglamento de Organización y Funciones del MINAM, aprobado por Decreto Supremo N.º 002-2017-MINAM.**

En el art. 5 establece que la función del Ministerio del Ambiente (MINAM) es desarrollar las políticas, normas, instrumentos y procedimientos generales para la ordenación territorial ambiental y ejecutar el proceso en mutua coordinación con los tres niveles de gobierno. Asimismo, el artículo 74 establece que es tarea de la Dirección General de Gestión de Residuos Sólidos en el ámbito de su competencia, con las autoridades competentes, en caso de ser necesario, proponer instrumentos técnicos normativos para la gestión de residuos sólidos.

2.2.5.3. Variables Temáticas y los Criterios de Selección

Para identificar las variables temáticas se tiene que tomar como base la información cartográfica existente y los requisitos y condiciones establecidas en la

normatividad vigente, las cuales formarán parte de las restricciones y exclusiones (Rodríguez, 2020). A continuación, detalla las siguientes variables.

Tabla 3

Criterios de selección para la instalación de relleno sanitario

ITEM	CRITERIOS DE SELECCIÓN	LIMITES PERMISIBLES
1	Distancia a centros poblados o viviendas (m)	≥ 500
2	Distancia a granja (avícolas, porcinos y animales menores	5 a 10 km
3	Distancia a fuentes de agua superficiales (lagos, lagunas y cauce de río)	≥ 500 m
4	Fallas geológicas	≥ 1 km
5	Vulnerabilidad a desastres naturales	
6	Infraestructuras existentes (obras hidroeléctricas, represas, embalses, etc.)	≥ 500
7	Distancia a aeropuertos(m)	$>13\ 000$
8	Área del terreno (m ²)	
9	Vida útil	Mínimo 15 años
10	Pendiente del área	< 25 %
11	Dirección del viento	
12	Profundidad de la capa freática (m)	
13	Geología del suelo- permeabilidad (m)	
14	Cantidad de material de cobertura	
15	Cuenta con barrera sanitaria natural	
16	Opinión pública	
17	Uso actual del suelo	
18	Accesibilidad de tránsito o vía de acceso	
19	Área natural protegida por el Estado	
20	Área arqueológica	
21	Propiedad del terreno	
22	Distancia a áreas agrícolas	≥ 500 m

Fuente. MINAM, (2021). Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Zonas óptimas

Son áreas delimitadas que cumplen las condiciones propicias e idóneo para un relleno sanitario, que contiene los criterios mínimos y características de sus medios físicos, biológicos y socioeconómicos, conforme a la normativa vigente de residuos sólidos (MINAM, 2021; Paz, 2023).

2.3.2 Sistemas de Información Geográfica-SIG

Se define como Sistemas de Información Geográfica al sistema de hardware, software y procedimientos diseñados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos geoespaciales para resolver problemas complejos de planificación y gestión (Mancebo et al., 2008).

Para entender mejor (Olaya, 2014), hace la descripción de subsistemas de SIG, cada uno cumpliendo una función:

Subsistema de datos: Este subsistema es responsable de la gestión de la información dentro del sistema de información geográfica (SIG), realizando operaciones de entrada y salida de datos. Además, administra el acceso a los datos para permitir que otros subsistemas los utilicen en sus respectivas funciones.

Subsistema de visualización y creación cartográfica: Encargado de la representación gráfica de los datos, este subsistema permite generar mapas, leyendas y otros elementos visuales que facilitan la interacción con la información geográfica. También incluye funcionalidades de edición para modificar los elementos visuales según sea necesario.

Subsistema de análisis: Este subsistema alberga los métodos y procesos necesarios para el análisis de datos geográficos, permitiendo extraer conclusiones y realizar evaluaciones espaciales detalladas.

2.3.2.1 los componentes de la Información geográfica

Componente espacial: La componente espacial se refiere a la ubicación en un sistema de referencia definido. Esta es la característica que permite clasificar la información como geográfica, ya que sin esta referencia de localización no se puede situar la información en un contexto espacial específico (Olaya, 2014) .

Componente temática: Se refiere al contenido específico de los datos que describen las características o atributos del componente espacial, que permite agregar información numérica y alfanumérica (Olaya, 2014).

2.3.2.2. *Dimensión de datos Geográficos.*

Olaya (2014) define que la dimensión de datos geográficos, son las características y estructuras de información dentro de un sistema de información geográfica (SIG), que incluye los tres componentes (espacial, temática y temporal).

Figura 04:

Dimensión de datos geográficos



Nota. Figura obtenido del libro Olaya (2014)

2.3.2.3. *Proyecciones Cartográficas*

Ráster

Organiza el área de estudio dividiéndola en una serie de unidades pequeñas o celdas, en las cuales se recolecta información específica para describirlas. Existe una relación directa entre la resolución y la precisión en este modelo: a mayor resolución, se obtiene una mayor precisión en los datos recolectados. Una ventaja notable del modelo ráster es su capacidad para realizar tanto análisis gráficos como estadísticos sobre los datos (ESRI, 2016).

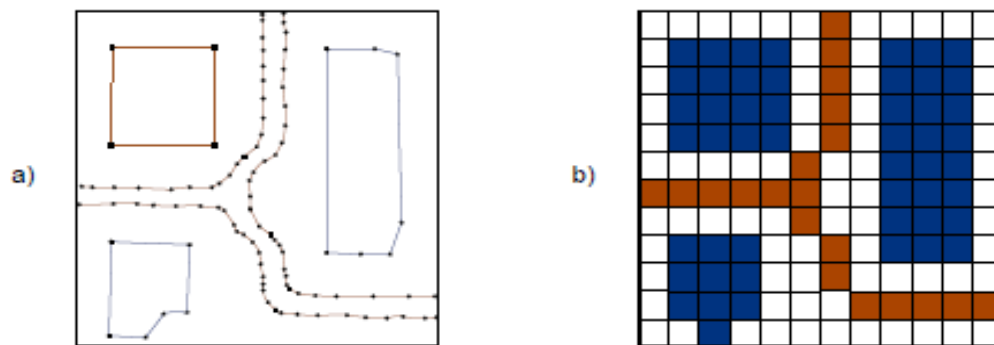
vectorial (Shapefile)

En el modelo vectorial o Shapefile, las áreas no se segmentan en unidades discretas; en su lugar, se representan mediante entidades geométricas que capturan su variabilidad y sus características específicas. Este modelo describe el espacio geográfico usando elementos geométricos como puntos, líneas y polígonos, los cuales representan con detalle las características de la superficie terrestre. Cada entidad vectorial, como un punto para una estación meteorológica o un polígono para una reserva natural, se define por coordenadas espaciales que ubican con exactitud la posición en el entorno real. En el ámbito de la ingeniería ambiental, el modelo vectorial es altamente valorado, ya que

facilita el análisis espacial, la planificación de uso de suelo, la gestión de recursos y la toma de decisiones ambientales informadas, al permitir una representación detallada y una manipulación precisa de datos geográficos en sistemas de información geográfica (SIG).

Figura 05

Representación vectorial (a) y ráster (b)



Nota. Comparación entre los esquemas del modelo vectorial y ráster

3.3.3. cartografía

La cartografía es una ciencia encargada del estudio y de la elaboración de mapas para poder representar grandes extensiones del territorio o su totalidad, buscando una relación matemática en la que las deformaciones sean reconocibles (Sastre, 2010).

3.3.4. Proyección cartográfica

Mancebo et al. (2008) establece que la proyección cartográfica son métodos que se emplean para transmitir rangos de la superficie del terreno al papel, es un plano de acuerdo con la técnica y metodología.

3.3.5. Georreferenciación

Uscamayta (2021) define la Georreferenciación como el método de establecer la ubicación de objetos espaciales en un sistema de coordenadas mediante el uso de puntos, líneas o polígonos. Al establecer relaciones entre imágenes rasterizadas y vectoriales en un sistema de coordenadas geográficas común, la georreferenciación se aplica a la realidad física de las cosas.

3.3.6. Software ArcGIS

Con una interfaz gráfica de usuario que se puede utilizar con facilidad, este sistema de información geográfica proporciona fácil acceso a datos espaciales y tabulares para

mostrarlos en mapas, tablas o gráficos. También ofrece herramientas para el análisis/consulta de los datos y la presentación de sus resultados como gráficos tipo mapa de calidad de presentación. Se puede obtener es cartografía temática, creación y edición de datos, análisis espacial, geocodificación de direcciones, etc. ArcGIS se compone de tres aplicaciones que están incluidas en ArcInfo, ArcEditor y ArcView, las cuales son ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox. (Collado y Navarro, 2013)

3.3.7. Evaluación Multicriterio

Uscamayta (2021) detalla la evaluación multicriterio como un conjunto de técnicas orientadas a ayudar en los procesos de toma de decisiones, que permite estructurar, diseñar, evaluar y priorizar alternativas de solución a los problemas mediante la evaluación de un conjunto de criterios (cualitativos y cuantitativos), que puede trabajar en sinergia con la asignación de valores ordinales o continuos comparables.

3.3.7.1 Técnicas para realizar el análisis multicriterio

Existen tres técnicas para realizar el análisis multicriterio según valladares (2022) citado por Paz (2023), el cual describe los siguientes:

Boolean Overlay (superposición booleana): Es una operación que utiliza mapas ráster binarios, donde las capas se representan con valores booleanos: 1 para áreas de interés y 0 para las que no lo son.

Combinación lineal directa: Este método realiza una evaluación cuantitativa, asignando un valor a cada criterio, conocido como "factor," que indica su importancia en la toma de decisiones. Para aplicarlo, es necesario estandarizar los factores, ya que pueden tener diferentes escalas

Fuzzy overlay (superposición difusa): Esta herramienta Permite evaluar la pertenencia de criterios en términos de probabilidad, siendo útil cuando los límites entre categorías no son claros. Esto es útil en situaciones donde los elementos pueden pertenecer parcialmente a varias categorías.

III. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque

El enfoque de la investigación es cuantitativo, debido a que se recolectarán datos, para ser analizados en forma numérica. Según Sánchez (2020) define a la investigación cuantitativo aquel que se basa en los aspectos numéricos para investigar, analizar y comprobar información de datos. Por ende, la investigación se basa en recolectar datos cartográficos para luego ser llevados a un programa de ArcGIS y, analizados mediante la evaluación multicriterio para obtener mapas temáticos de sitios óptimos para la instalación de los rellenos sanitarios.

3.2. Tipo, nivel y diseño de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

El tipo de la investigación es aplicada, porque tiene como propósito de dar solución a problemas concretos e identificables. La investigación parte del conocimiento generado por la investigación básica, tanto para identificar problemas sobre lo que se debe intervenir como para definir estrategias de solución. (Huaire, 2019)

3.2.2. Nivel de investigación

El estudio es de nivel descriptivo, dado que los datos fueron recolectados y analizados mediante herramientas de análisis geoespacial en el distrito de Pichari, considerando criterios para la identificación de sitios óptimos para la instalación de los rellenos sanitarios. Hernández y Mendoza (2018) considera al nivel descriptivo como un propósito que busca medir o recopilar información y presentarla dentro de un marco definido por conceptos y operacionalizaciones vinculadas con la fenomenología del fenómeno bajo estudio.

3.2.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, corte transversal. Ya que los datos fueron recolectados una sola vez y no se manipularon no se controló los variables. El diseño de corte transversal se clasifica como un estudio observacional de base individual que suele tener un doble propósito (descriptivo y analítico), este diseño permite examinar y describir cómo se presentan ciertas variables o características en una población específica en un instante particular, sin hacer seguimiento a lo largo del tiempo. (Hernández y Mendoza, 2018).

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Ámbito temporal

La presente investigación se desarrolló durante 1 año, iniciando en julio de 2024 y finalizando en agosto de 2025, tiempo durante el cual se realizaron las etapas de recolección y análisis de datos geoespaciales, así como la identificación, evaluación de áreas potenciales para la instalación del relleno sanitario y validación en campo.

3.2.2. Ámbito espacial

3.2.2.1. Ubicación Política

Región : cusco

Provincia : La Convención

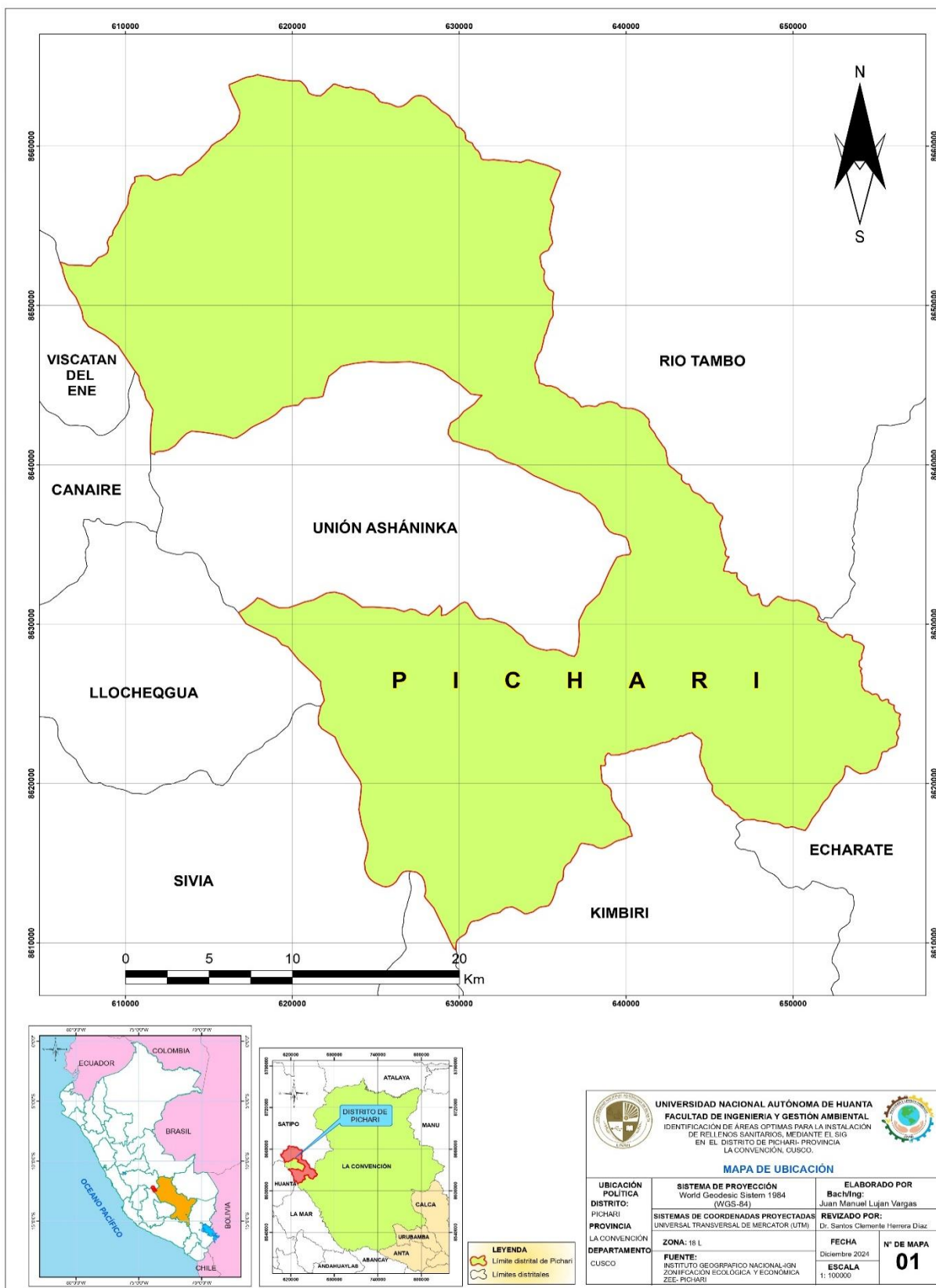
Distrito : Pichari

3.3.2.2. Ubicación geográfica

El distrito de Pichari, está situada en la parte sur y el flanco oriental de los andes peruana y la selva alta. Ubicada en las vertientes montañosas del Valle de los Ríos Apurímac Ene y Mantaro (VRAEM), con coordenadas geográficas de 12°34'26.63" latitud sur/ Este 74°33'35.75" longitud oeste/Norte, coordenadas UTM 18L 656440 mE 8994478 mN y, con altitudes que varían desde los 475 msnm hasta 4200 msnm.

Figura 6

Mapa de ubicación de zona de estudio



3.3.2.3. Límites

El distrito de Pichari presenta límites con distritos de los departamentos de Ayacucho y Junín, los cuales son:

Norte: Distrito de rio tambo, provincia Satipo departamento de Junín.

Sur: Distrito de Kimbiri, provincia La Convención, departamento Cusco

Este: Distrito de Echarate, provincia La Convención, departamento Cusco

Oeste: Distritos de Llohegua, Sivia y Canayre, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho; Vizcatan del Ene, provincia Satipo departamento de Junín.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Por la peculiaridad de la investigación la población se considera al espacio geográfico del distrito de Pichari, provincia la convención, departamento cusco, cuya capital del distrito se ubica en una altitud de promedio de 600 m.s.n.m.

3.3.2. Muestra

Con la finalidad de identificar áreas óptimas para la instalación de un relleno sanitario, se tomó como muestra el área de la población, que tiene una superficie de 116417.292 ha., el cual posee 11 centros poblados (Catarata, Puerto Mayo, Omayá, Tambo del Ene, Nuevo Progreso, Natividad, Nuevo San Cristóbal, Quisto central, Pichari Colonos, Otari San Martin y Ccatun Rumi).

3.4. Instrumentos

Consiste en abordar la técnica de manejo del ArcGIS 10.8, para ello se aplicó el método de análisis de superposición y la técnica de evolución multicriterio que permitió la asignación de ponderación del contenido cartográfico obtenidos del (Ministerio del Ambiente (MINAM), el Instituto Geográfico Nacional del Perú-IGN, ANA, INEI, SERNANP, MINCUL, MTC, MIDAGRI, INDECI Y ZEE de la Municipalidad de Pichari), de acuerdo a los criterios establecidos en la norma y la Guía para la “Identificación de Zonas Potenciales para Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales, 2021-MINAM”.

Para el trabajo de investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

- ❖ **Software ArcGIS 10.8:** Se utilizó ArcGIS 10.8 para realizar diferentes procesos de geoprocésamiento y análisis espacial, aplicando el método de análisis de superposición y la técnica de evaluación multicriterio. Los pasos realizados incluyeron:
 1. **Procesamiento de datos:** una vez realizado la descarga del contenido cartográfico se realiza la preparación de capas temáticas que consiste en la generación de base de datos.
 2. **Conversión de Formato:** Con la herramienta *Feature to Raster*, se transformaron datos en formato vectorial (shape) a formato raster, permitiendo el procesamiento de los datos en celdas y facilitando el análisis.
 3. **Booleano Overlay (superposición booleana)** consistió en codificar cada uno de los criterios evaluados con los valores de 1 y 0, donde 1 representa las áreas aptas y 0 áreas no aptas, el producto resultante será un mapa de salida codificado.
 4. **Mapa de Restricciones:** Utilizando la herramienta de buffers, se generaron zonas de influencia alrededor de áreas sensibles, tales como fuentes de agua y zonas urbanas, de acuerdo con la normativa vigente, para delimitar áreas no aptas para rellenos sanitarios.
 5. **Superposición de Mapas Temáticos:** Finalmente, se superpusieron de los mapas de exclusiones y restricciones para identificar las áreas potenciales de instalación de rellenos sanitarios en función de los criterios establecidos.
- ❖ **Google Earth Pro:** Este software de visualización satelital fue empleado como una herramienta de apoyo para el análisis preliminar de accesibilidad y proximidad a centros poblados e infraestructuras principales. Google Earth Pro permitió visualizar las ubicaciones propuestas en contexto y realizar mediciones de distancias para validar la viabilidad de acceso, complementando así el análisis espacial detallado de ArcGIS. La capacidad de importar y trabajar con archivos KML y KMZ facilitó la comparación de datos entre plataformas y la verificación de accesibilidad en zonas potenciales.
- ❖ **Sistema de Posicionamiento Global (GPS):** Para la etapa de trabajo de campo, se utilizó un GPS de navegador para validar las coordenadas de las áreas óptimas identificadas en el análisis SIG. Este dispositivo permitió obtener ubicaciones

precisas y confirmar en el terreno la factibilidad de las áreas seleccionadas, asegurando que las zonas aptas en el análisis de ArcGIS correspondieran a lugares accesibles y adecuados para la disposición de residuos sólidos.

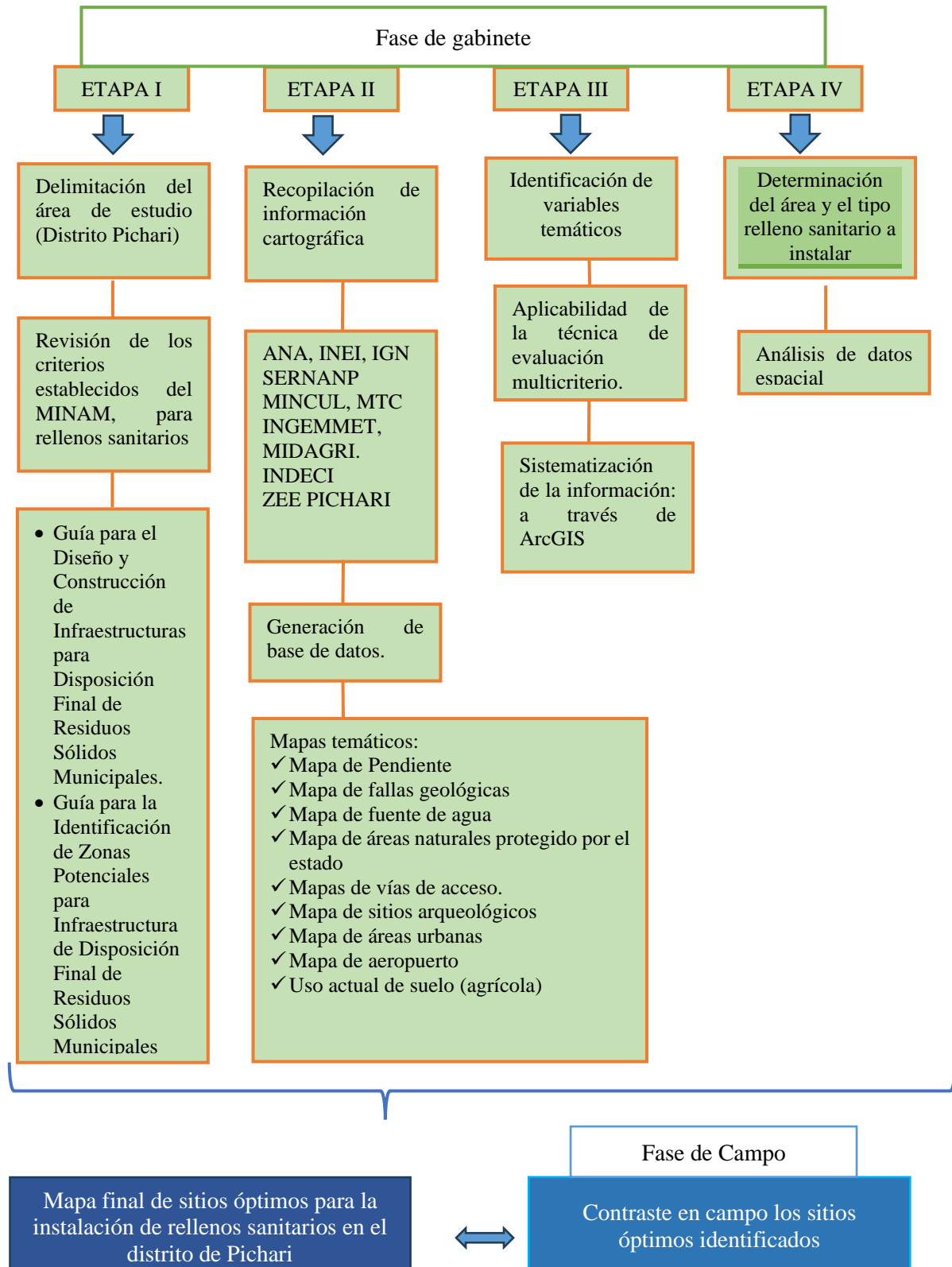
- ❖ **Fuentes de Datos y Mapas Temáticos:** La información de entrada para el análisis se obtuvo de entidades públicas y privadas, tales como el Ministerio del Ambiente (MINAM), el Instituto Geográfico Nacional del Perú-IGN, ANA, INEI, SERNANP, MINCUL, MTC, MIDAGRI, INDECI Y ZEE de la Municipalidad de Pichari, utilizando datos en formatos vectorial (shape) y PDF. La recolección de información y la revisión de estudios previos en bibliografía relacionada permitieron enriquecer el análisis con información actualizada y específica del área de estudio.

3.5. Procedimientos

El procedimiento de la investigación consistió en 2 fases gabinete y campo

Figura 7

Procedimientos realizados en el proyecto de investigación



3.5.1 Fase de gabinete

La Fase de gabinete consistió en recopilar contenido cartográfico en formato vectorial (shapefile), de los diferentes geos servidores nacionales y del ZEE de Pichari, revisión de las guías para la instalación de rellenos sanitarios, libros y artículos. Asimismo, se instaló el software ArcGIS 10.8.

Etapa I:

Delimitación de área de estudio.

Se realizó la delimitación del área de estudio del proyecto de investigación, elaborándose un mapa base del distrito de Pichari a escala 1:100,000. Esta delimitación permitió establecer los límites espaciales y temáticos donde se enfocó el análisis, garantizando que los recursos y esfuerzos se dirigieran específicamente a los aspectos más relevantes.

Revisión de los criterios establecidos del MINAM, para rellenos sanitarios.

Para identificar los sitios óptimos para la instalación de los rellenos sanitarios, es necesario revisar y seleccionar los criterios técnicos establecidos en la “Guía para la Identificación de Zonas Potenciales para Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales, 2021-MINAM” y “Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructuras para Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales”.

Etapa II

La recolección de información cartográfico y satelital se recolecto de diferentes fuentes de geo servidores de a nivel nacional (Ministerio del Ambiente (MINAM), el Instituto Geográfico Nacional del Perú-IGN, ANA, INEI, SERNANP, MINCUL, MTC, MIDAGRI, INDECI) y local (ZEE PICHARI), en formatos de PDF y shape. De acuerdo con los criterios seleccionados de la guía.

Tabla 4*Información geoespacial de entidades publicas*

FACTORES	DETALLE	FUENTE
Limites	Limite político del distrito	INEI
Áreas urbanas	Centro poblados y ciudades	INEI, ZEE Pichari
Vías de acceso	Nacional, departamental y vecinal	ZEE Pichari, MTC
Pendientes	Pendientes de distrito	IGN
Fallas geológicas	Distancia a fallas geológicas	IGN
Hidrografía	Ríos, quebradas y riachuelos	ANA
Áreas Naturales Protegidas por el Estado-ANP	ANP, ACR y zonas reservas	SERNAMP
Sitios arqueológicos	Patrimonio cultural	MINCUL
Aeropuerto	Aeródromos y pistas de aterrizaje	Imagen satelital ZEE Pichari
Uso actual de suelo	agricultura	ZEE Pichari.

La Tabla 4 presenta las entidades oficiales de las cuales se obtuvo la información geoespacial utilizada para el análisis territorial. Estos datos provienen de instituciones reconocidas como INEI, IGN, ANA, SERNAMP, MINCUL, MTC y la ZEE Pichari, lo que garantiza que la base cartográfica empleada sea confiable y actualizada. La selección de estos factores (pendientes, hidrografía, fallas, áreas urbanas, ANP, entre otros)

Generación de base de datos

Para el Procesamiento de datos en formato (shapefile) los criterios seleccionados centros poblados, vías de acceso, pendientes, fallas geológicas, ríos, áreas naturales protegida por el estado, sitios arqueológicos y aeropuerto fueron recortados de acuerdo con el límite del área del distrito de Pichari para el momento de superponer las capas temáticas.

Etapa III

Identificación de variables temáticos

Para identificar las variables temáticas se tuvo que tomar como base la información cartográfica existente y los requisitos y condiciones establecidas en la normatividad vigente, las cuales formarán parte de las restricciones y exclusiones

Tabla 5

Restricciones y exclusiones establecidos en los criterios de ubicación para infraestructura de residuos sólidos municipales.

Requisitos para identificar áreas aptas para relleno sanitario	Variables	Limites permisibles
Restricciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Centros poblados ▪ Aeropuerto ▪ Fuentes de aguas superficiales ▪ áreas agrícolas ▪ Fallas geológicas ▪ Pendientes ○ Áreas Naturales Protegidas por el estado ○ Peligros por desastres naturales (deslizamientos) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ≥ 500 m ▪ ≥ 13 km ▪ ≥ 500 m ▪ ≥ 500 m ▪ ≥ 1 km ▪ <25 %
Exclusiones	<ul style="list-style-type: none"> ○ Zonas de turberas, pantanos, humedales o recarga de acuíferos ○ Faja marginal de río. ○ Preservación de patrimonio cultural ○ Concesiones mineras, petroleras (en explotación) ○ Propiedad de comunidades campesinas 	

Fuente. MINAM, (2021). Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales.

Aplicabilidad de la técnica de Evaluación Multicriterio

Para la identificación de un sitio óptimo para el relleno sanitario, se utilizó la técnica de evaluación multicriterio, la cual permitió analizar diversos factores en función de su relevancia y adecuación. Para ello, se asignaron valores de ponderación a cada factor de selección como "apto" con un valor de 1 y "no apto" con un valor de 0. Esta asignación se llevó a cabo considerando la descripción detallada de cada una de las características que definen la idoneidad del terreno como indica la Guía “Para el Diseño y Construcción de Infraestructura para Disposición final de Residuos Sólidos Municipales” y “Guía para la Identificación de Zonas Potenciales para Infraestructura de Disposición Final de Residuos sólidos Municipales”.

Sistematización de la información: a través de ArcGIS 10.8 superposición booleana

En esta etapa, se llevó a cabo la sistematización de la información utilizando el software ArcGIS 10.8, aplicando el método Boolean Overlay (superposición booleana) para el análisis multicriterio. Este método permitió procesar los datos obtenidos de manera eficiente y estructurada, facilitando la integración y evaluación de los diferentes criterios de selección previamente definidos. Asignando valores de aptas (1) o no aptas (0) de acuerdo con los valores asignados de los factores restricciones y exclusiones (población, vías de acceso, pendientes, fallas geológicas, hidrografía, áreas naturales protegidas por el Estado, sitios arqueológicos y aeropuerto).

Etapa IV

Determinación del área para relleno sanitario y el tipo de relleno a instalar

La estimación del área requerida para un relleno sanitario se realiza mediante cálculos matemáticos, considerando el volumen de residuos sólidos generado y el periodo de vida útil proyectado para la infraestructura, conforme a los lineamientos establecidos en la guía para el diseño, construcción, operación, mantenimiento y clausura de rellenos sanitarios.

a. Proyección de Crecimiento poblacional

Formula 1:

$$Pf = p_0(1 + r)^n$$

Donde:

Pf= Población futura

P_0 = población actual

r = Tasa de crecimiento poblacional

$n = T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}$

b. Producción per cápita de residuos solidos

La producción per cápita en el distrito de Pichari es de 0.657 kg/hab/día (ECCRSM, 2022).

c. Producción diaria y anual de residuos solidos

Formula 2:

Donde:

DSd = Residuos generados diariamente (kg/día)

Pob = población

PPC = Producción per cápita (kg/hab/día)

DSA = Residuos generados anual (Tn/año)

Producción diaria

$$DSd = pob * ppc$$

Producción anual

$$DSA = \frac{DSd}{kg/día} * \frac{AÑO}{365 días} * \frac{Tn}{1000kg}$$

d. Volumen de los residuos sólidos compactados

Formula 3

Donde:

$Drsm$ = densidad de los residuos sólidos recién compactados (238.17 kg/m³)

$VRCd$ = Volumen de residuos compactado diario(m³/día)

$VRCa$ = Volumen de residuos compactado anual (m³/año)

Volumen de residuos compactado diario

$$VRCd = \frac{DSd}{Drsm}$$

Volumen de residuos compactado diario

$$VRCa = VRCd * 365$$

e. Volumen de material de cobertura y volumen de residuos anual estabilizados

Formula 4:

Donde:

m.c.= Material de cobertura, que representa el 20% de residuos sólidos compactados

Drsm_e= densidad de los residuos sólidos estabilizados, que es equivalente a 289.44 kg/m³

Ve: Volumen anual estabilizado de residuos solidos

Material de cobertura

$$m.c. = VRSCa * 0.20\%$$

Volumen anual estabilizado

$$Ve = \frac{DSd}{Drsm_e} * 365 \text{días}$$

f. Volumen de material de cobertura y volumen de residuos anual estabilizados

Formula 4:

Donde:

m.c.= Material de cobertura, que representa el 20% de residuos sólidos compactados

Drsm_e= densidad de los residuos sólidos estabilizados, que es equivalente a 289.44 kg/m³

Ve: Volumen anual estabilizado de residuos solidos

Material de cobertura

$$m.c. = VRSCa * 0.20\%$$

Volumen anual estabilizado

$$Ve = \frac{DSd}{Drsm_e} * 365 \text{días}$$

g. Cálculo de área requerida y cálculo del área total

Formula 5

Donde:

Ar = Área requerida (m²)

Hrs = profundidad promedio del relleno sanitario

AT = Área Total requerida

F = Factor de aumento de las áreas adicionales se asume el 30% del área a llenar

VRS = Volumen de relleno sanitario (m³/año)

Volumen de relleno sanitario

$$VRS = Ve + m.c$$

Área requerida

$$Ar = \frac{VRS}{Hrs}$$

Área total requerida

$$A_T = \sum_{2026}^{2035} + (F * Ar)$$

Fase de análisis espacial

Se utilizó el software ArcGIS 10.8, en el cual se realizó el análisis espacial aplicando la técnica de superposición ponderada que se basó en la integración de múltiples criterios de los criterios considerados, Para ello se utilizó la herramienta EUCLIDEAN DISTANCE (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance), se calcularon las distancias desde cada píxel hasta el punto de origen para cada uno de los criterios definidos como restricciones. Posteriormente, mediante RASTER CALCULATOR (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra), se procedió a ponderar las distintas variables correspondientes a dichos criterios.

El análisis se efectuó considerando las particularidades de cada criterio, según lo establecido en la normativa vigente, para asignar los pesos correspondientes. Posteriormente, mediante herramientas de análisis espacial, se superpusieron los mapas generados para crear un mapa de criterios de selección. obteniendo como resultado final un mapa que identifica las áreas aptas para la instalación de rellenos sanitarios en el distrito de Pichari.

Fase de campo

Para contrastar y visualizar las áreas identificados mediante el sistema de información Geográfica (SIG), se realizó las visitas a campo teniendo en cuenta las distancias y los criterios utilizados, con el objetivo de validar los resultados obtenidos en el gabinete.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados.

OE1. Utilizar los criterios de selección que nos permita elaborar mapas temáticos para fijar áreas óptimas para la instalación de un relleno.

Para el cumplimiento de este objetivo se seleccionaron nueve criterios de evaluación: pendiente, áreas naturales protegidas por el estado (ANP), fallas geológicas, vías de acceso, áreas arqueológicas, población, áreas urbanas, aeródromo, áreas agrícolas e hidrografía. La selección de estos criterios se basó en las disposiciones técnicas del MINAM, la “Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructuras para Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales” y la propuesta de “Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales”, además del marco legal del D. Leg. N.º 1278 y su reglamento.

Tabla 6

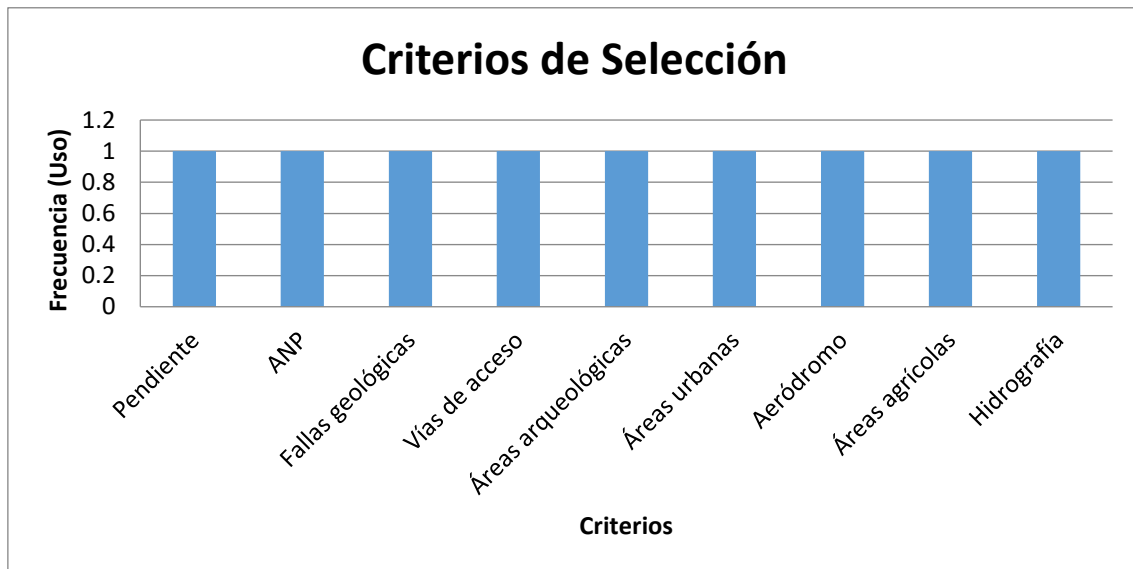
Criterios seleccionados para elaborar mapas temáticos

Ítem	Criterios de selección	Restricciones y exclusiones
C1	pendiente	Pendientes menores a 25%
C2	ANPs	El terreno no debe estar ubicado en un área natural protegido por el estado.
C3	Fallas geológicas	No estar ubicada en zonas con presencia de fallas geológicas, para lo cual considerar el terreno a mayor de un 1km.
C4	Vías de acceso	Ubicarse a una distancia considerable de vías principales para no generar gastos a la municipalidad.
C5	Áreas arqueológicas	El área de terreno no debe estar ubicada en zonas arqueológicas, a fin de conservar el patrimonio cultural.
C6	Áreas urbanas	Ubicarse a una distancia no menor a 500 metros de poblaciones.
C7	Aeródromo	Se debe considerar 13 km de radio con centro de punto de referencia de la pista de aterrizajes.
C8	Áreas agrícolas	Distancia a áreas donde se desarrollan actividades económicas (áreas agrícolas) mayor o igual a 500 metros.
C9	Hidrografía	No estar ubicadas a distancias menores de 500 metros de fuentes de aguas superficiales.

Nota. Los criterios fueron considerados de acuerdo con la Guía de Diseño y Construcción de Infraestructuras para Disposición Final de residuos sólidos Municipales.

Figura 8

Criterios de selección utilizados para la elaboración de mapas temáticos.



La figura 8 muestra los nueve criterios utilizados para la elaboración de los mapas temáticos ver anexo 2, Cada criterio presenta una frecuencia de uso igual a uno, lo cual confirma que ninguno fue excluido y que todos los elementos definidos en la Tabla 6 fueron considerados íntegramente en el análisis. Esta representación permite observar que los criterios de pendiente, ANP, fallas geológicas, vías de acceso, área arqueológica, población, distancia a pistas de aterrizaje, áreas agrícolas e hidrografía fueron empleados como insumos fundamentales para la identificación preliminar de áreas óptimas.

OE2. Generar base de datos y ponderación basadas en técnica de evaluación multicriterio.

A partir de los criterios seleccionados, se construyó una base de datos espacial donde cada criterio fue reclasificado en dos categorías: **apta (valor 1)** y **no apta (valor 0)**, empleando la técnica de evaluación multicriterio y superposición booleana en ArcGIS.

- **Categoría Apta (valor = 1):** Representa áreas que cumplen con los requisitos mínimos dentro de los rangos óptimos definidos para la instalación de un relleno sanitario, asegurando condiciones que priorizan la protección de la salud pública y la preservación del ambiente.
- **Categoría No Apta (valor = 0):** Corresponde a áreas que no cumplen con los requisitos mínimos establecidos en la guía, consideradas inadecuadas para la ubicación de rellenos sanitarios debido a los riesgos potenciales y los impactos

negativos que puede afectar a la sociedad y las fuentes de recursos hídricos.

Una vez realizado la ponderación de acuerdo con la técnica de evaluación multicriterio (tabla 7), los variables fueron llevados al sistema de información geográfica - SIG a través de software ArcGIS 10.8. realizando una operación de valorización multicriterio de boolean overlay, que consistió en codificar cada uno de los criterios evaluados con los valores de 1 y 0, donde 1 representa las áreas aptas y 0 áreas no aptas.

Tabla 7

Ponderación de criterios evaluados basadas en la técnica de evaluación multicriterio

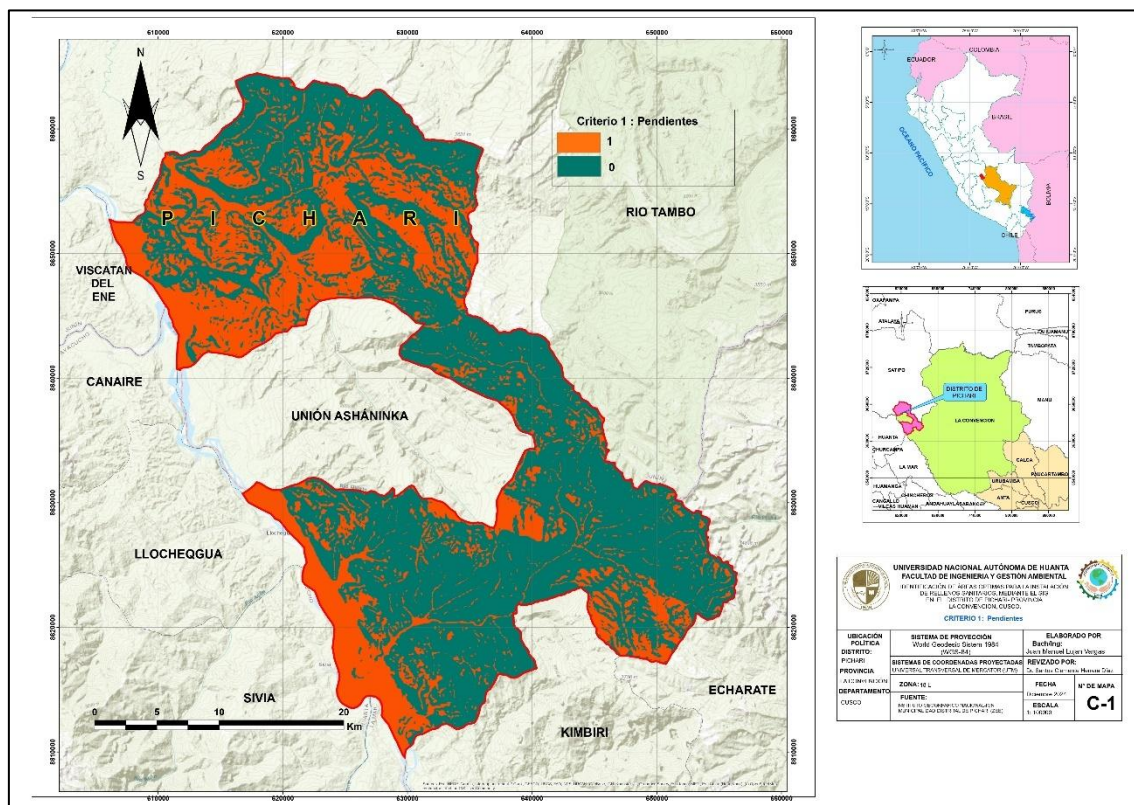
Criterio	Categoría	Limites permisibles	Valor
pendiente	Apta	<25%	1
	No apta	>25%	0
Distancia a fuentes de agua	Apta	≥ 500 m	1
	No apta	< 500 m	0
Fallas geológicas	Apta	≥1 Km	1
	No apta	<1 Km	0
Áreas agrícolas	Apta	≥ 500 m	1
	No apta	< 500 m	0
Distancia a población	Apta	≥ 500 m	1
	No apta	< 500 m	0
Distancias a pistas de aterrizaje	Apta	≥ 13 Km	1
	No apta	< 13 km	0
Área arqueológica	Apta	Sin presencia de sitios arqueológicos	1
	No apta	Existencia de restos arqueológicos	0
	Apta	Distancia de vías acceso mayor a 500 metros.	1
Vías de acceso	No apta	Distancia de vías de acceso menor a 500 metros.	0
	Apta	sin presencia de áreas naturales protegidas por el estado ANPS	1
ANPs	No apta	Presencia de áreas naturales protegidas por el estado ANPS	0

Nota. Esta tabla muestra la ponderación de los criterios establecidos para la ubicación de un relleno sanitario asignado valores de apto “1” no apto “0”.

Criterio 1: Pendiente

Figura 9

Mapa de espacialización de pendientes

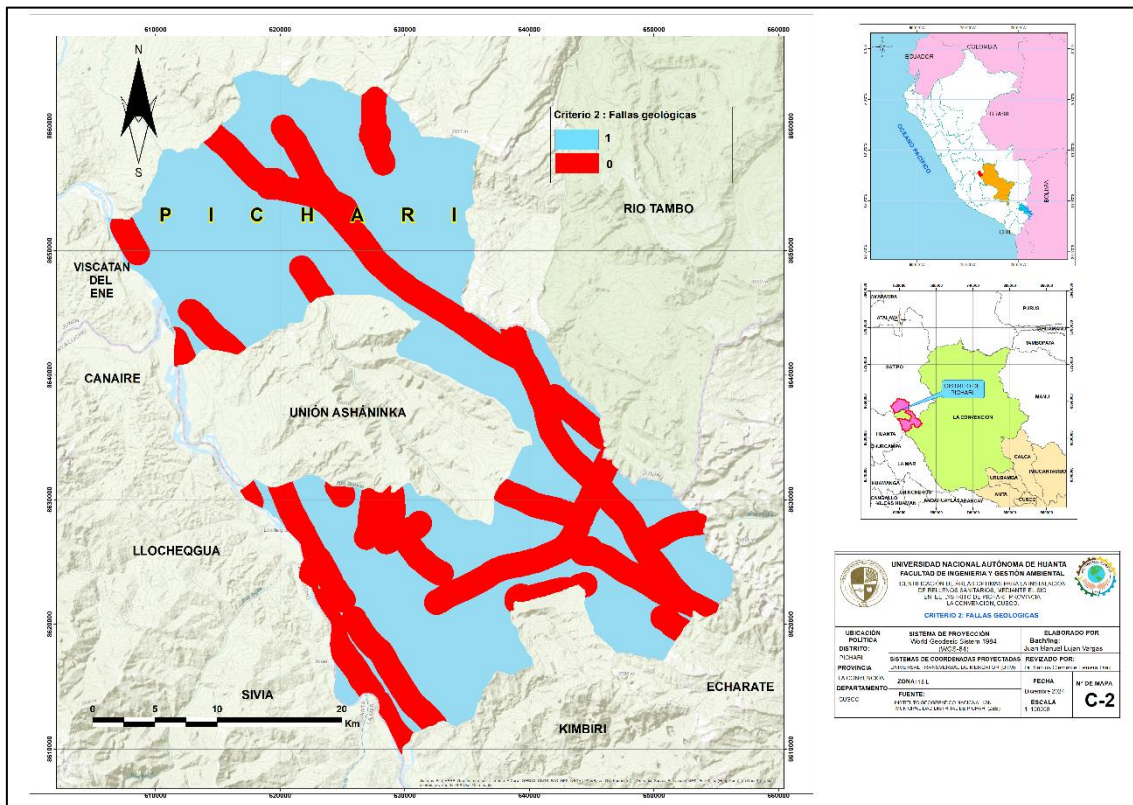


La figura 9 muestra el mapa que representa al análisis de criterio de pendiente para la identificación de sitios óptimos para la instalación de un relleno sanitario, el color naranja corresponde áreas aptas con pendientes menor de 25%, el cual es favorable para la implementación de un relleno sanitario debido a su estabilidad topográfica, menor susceptibilidad a la erosión y facilidad para la compactación y manejo de residuos. El color verde oscuro representa pendientes superiores al 25%, las cuales son inadecuadas para este tipo de infraestructura, estas áreas, incrementa el riesgo de erosión, deslizamientos de tierra y filtración de lixiviados, lo que podría comprometer la estabilidad estructural del relleno sanitario y generar impactos ambientales adversos.

Criterio 2: Fallas geológicas

Figura 10

Mapa de ubicación y ámbito de influencia de fallas geológicas

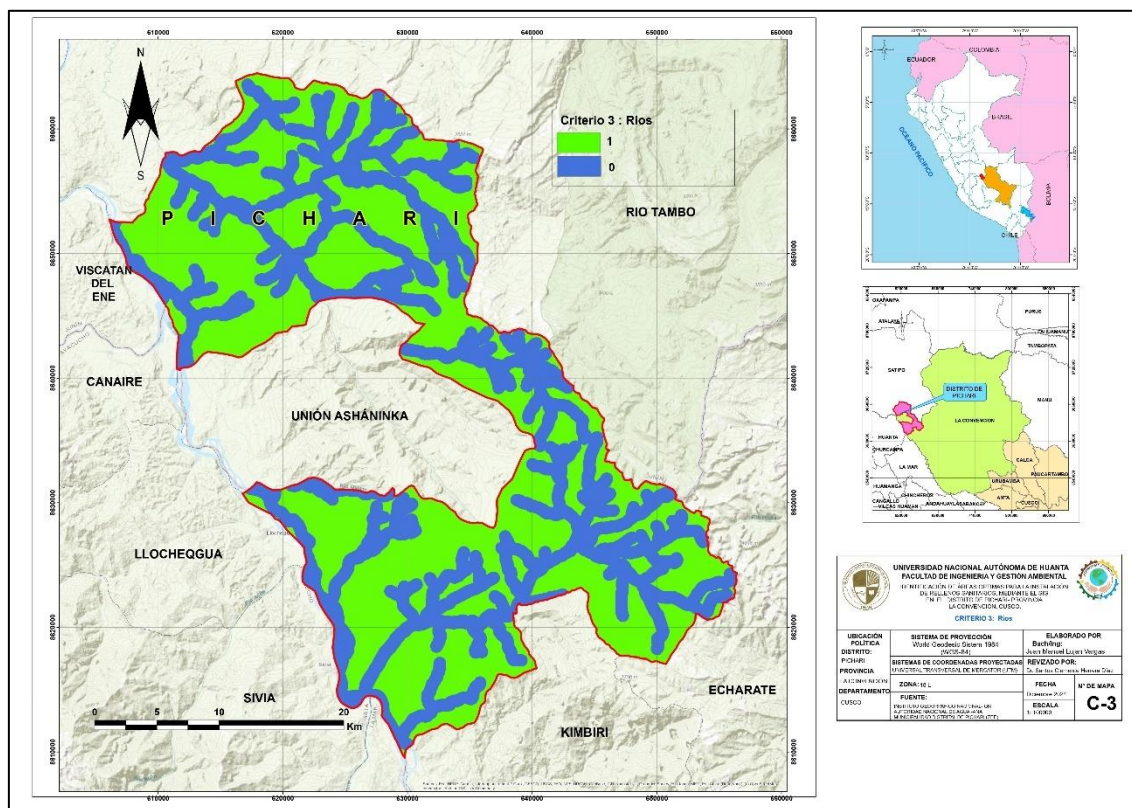


La figura 10 representa el mapa de distancia de fallas geológicas que constituye un criterio clave en la determinación de la idoneidad del terreno para la ubicación de un relleno sanitario de acuerdo con los valores asignados. El área celeste con asignación de valor uno (1) representa a áreas que se encuentran mayor a 1 km, clasificadas como potencialmente “aptas” para un relleno sanitario. las áreas de color rojo con asignación de valor (0) representa a áreas menores a 1 km, consideradas “no aptas” para la instalación de un relleno sanitario.

Criterio 3: Red hídrica

Figura 11

Mapa de ámbito de influencia de red hídrica

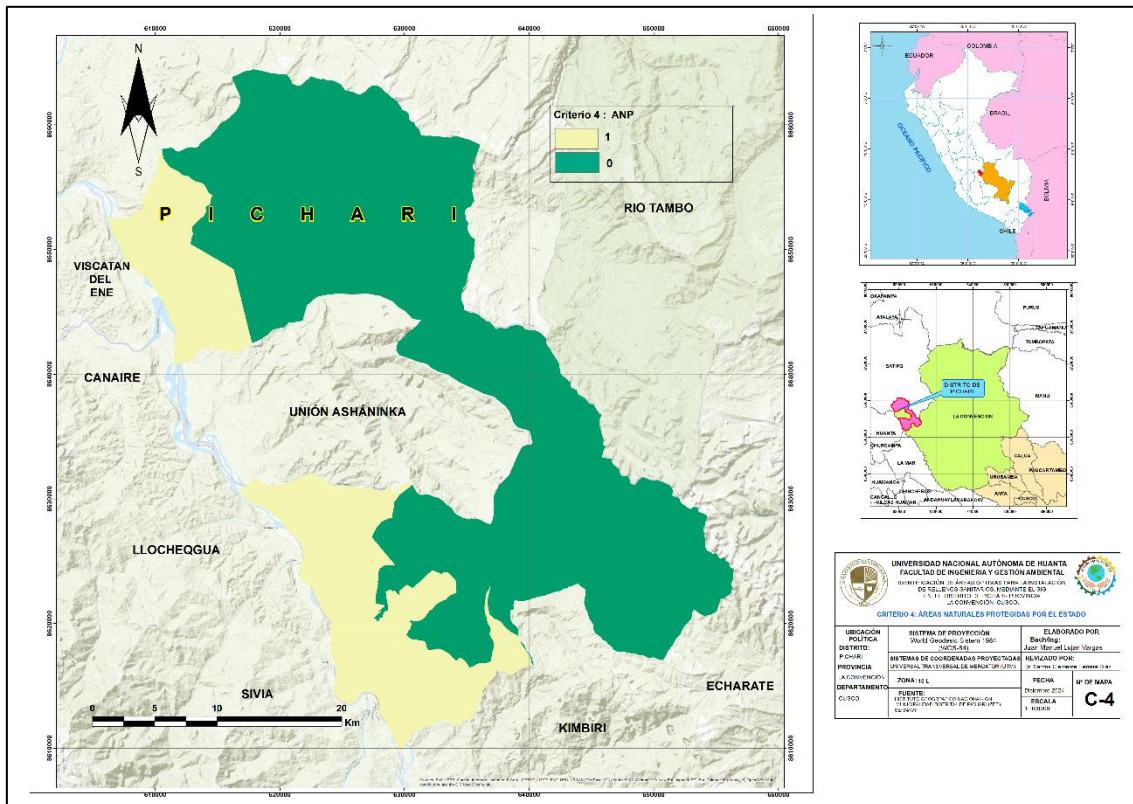


La figura 11 se muestra la distancia a la red hídrica como criterio de selección de un sitio óptimo para un relleno sanitario en el distrito de Pichari. Las áreas representadas en color azul corresponden a sitios “no aptas” para la instalación de un relleno sanitario, ya que se encuentran a una distancia menor a 500 metros de una fuente de agua., esta restricción busca prevenir la contaminación de los cuerpos hídricos tanto por escorrentía superficial como infiltración de lixiviados procedentes de los residuos sólidos. Por otro lado, las áreas de color verde son “aptas”, al encontrarse a más de 500 m de la fuente de agua, el cual garantiza que la disposición final de los residuos sólidos no genere impactos.

Criterio 4: Áreas Naturales protegidos por el Estado – ANPs

Figura 12

Mapa de espacialización de Áreas Naturales Protegido por estado

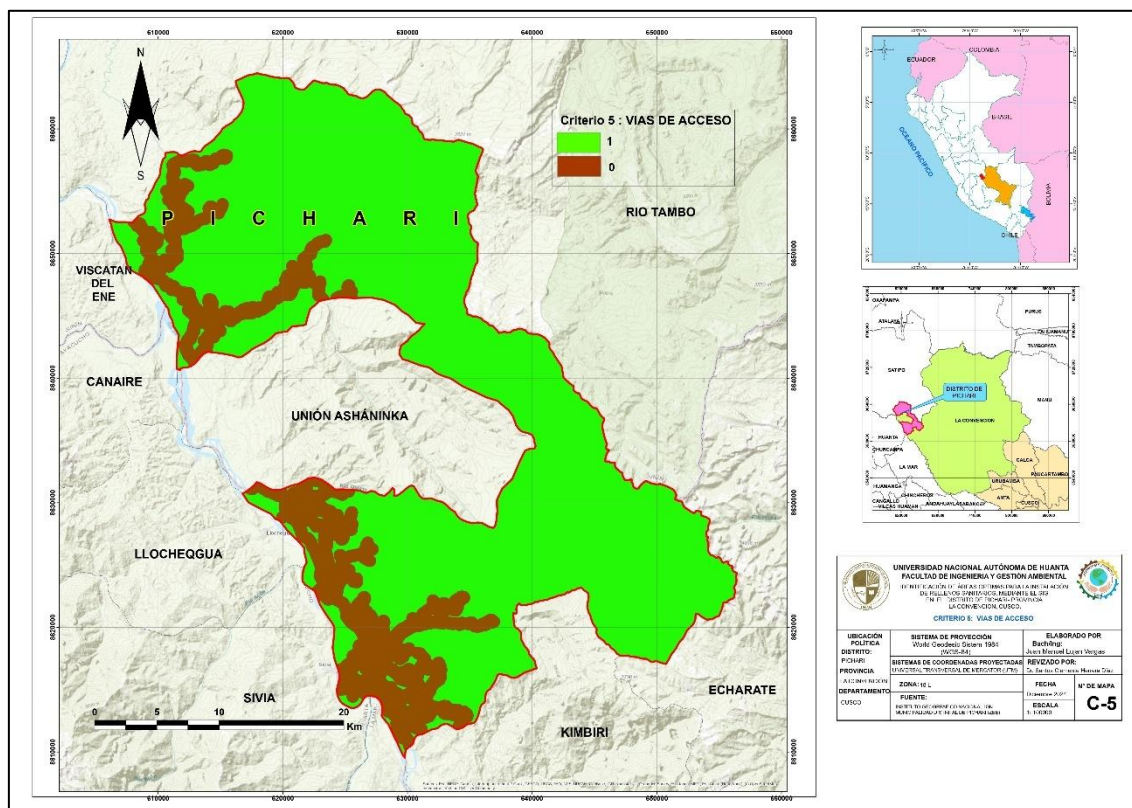


La figura 12 representa la distribución de las Áreas Naturales Protegidas por el estado (ANP) dentro del distrito de Pichari, constituyendo un criterio fundamental en la identificación de sitios óptimos en la instalación de un relleno sanitario. Las áreas de color verde “no aptas” representan a zonas categorizadas como Áreas Protegidas por el Estado, las cuales están sujetas a regulaciones estrictas de conservación ambiental, por ello, la instalación de un relleno sanitario en estas áreas está completamente excluido para ello se deberá contar con el certificado de no afectación de áreas naturales protegidas emitido por el SERNANP., De ser inevitable que el terreno a seleccionar se ubique en área natural protegida o su área de amortiguamiento, se debe contar con la opinión técnica favorable del SERNANP. Por otro lado, el área de color amarillo “aptas” representa a zonas fuera de la delimitación de las ANP, donde es viable la instalación de un relleno sanitario.

Criterio 5: Vías de acceso

Figura 13

Mapa de influencia de vías de acceso

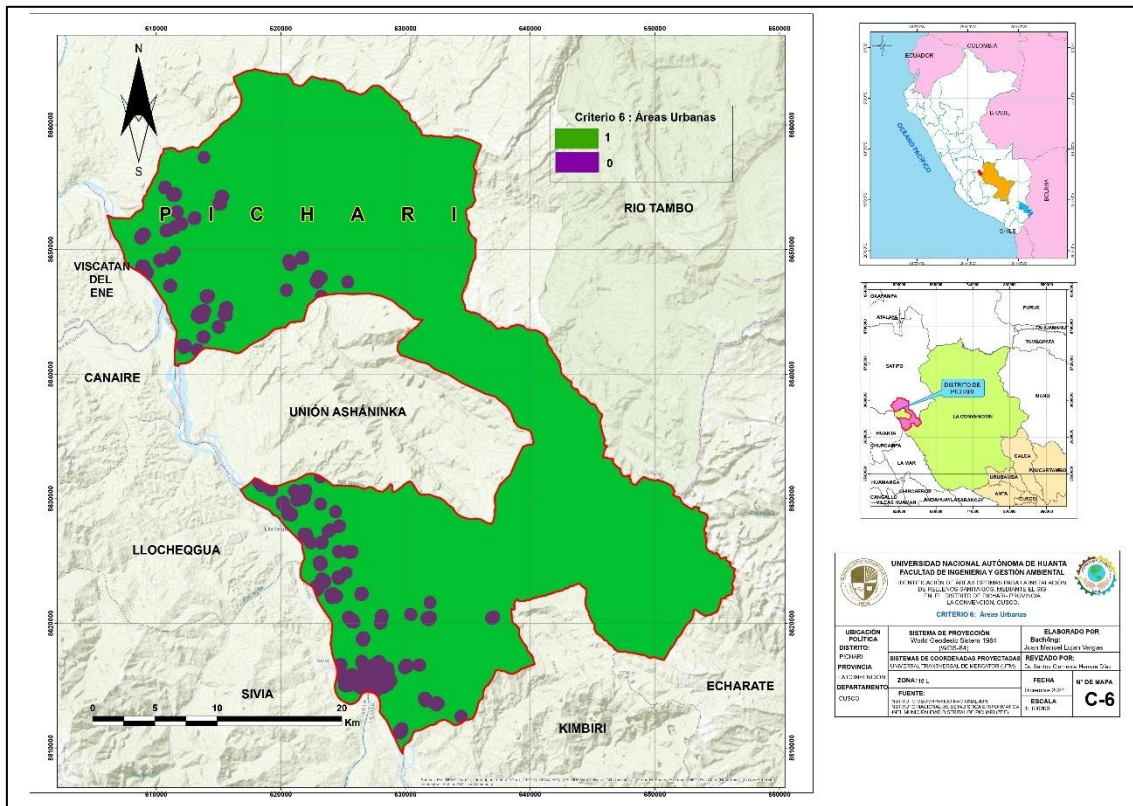


La figura 13 Se observa el mapa de factor de vías de acceso en función al requisito para determinar la idoneidad de un sitio óptimo para un relleno sanitario. Las áreas en color verde con asignación de valor “1”, representan a zonas óptimas que cumplen con los criterios de planificación, mientras que áreas de marrón con asignación de valor “0” son consideradas no aptas por ubicarse a menos de 500 metros de las vías, lo que se busca con este criterio minimizar los impactos negativos como la visibilidad del sitio y dispersión de olores a los visitantes y transeúntes.

Criterio 6: Áreas Urbanas

Figura 14

Ámbito de influencia de áreas urbanas

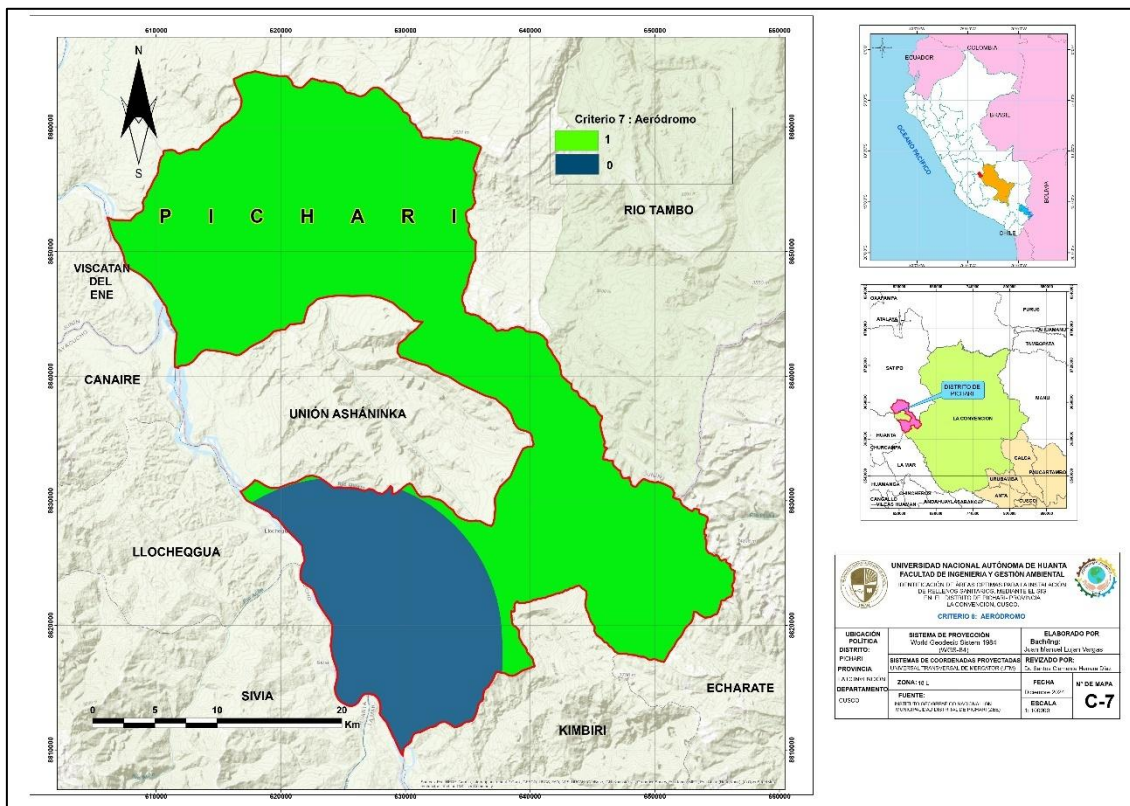


La figura 14 se muestra la distribución de áreas urbanas en el distrito de Pichari como criterio clave para la ubicación de un sitio óptimo para la disposición final de residuos sólidos. Las zonas en color morado representan áreas urbanas y son consideradas "no aptas" (valor 0) debido a su proximidad menor a 500 metros de las poblaciones, lo que busca prevenir impactos negativos como contaminación ambiental, riesgos sanitarios y conflictos sociales. Por otro lado, las zonas en verde son consideradas "aptas" (valor 1) para la instalación del relleno sanitario, cumpliendo con la distancia mínima establecida. No obstante, el Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) puede permitir ubicaciones a distancias menores si se justifica técnicamente que los riesgos para la salud y la seguridad de la población son controlables, lo que implica un análisis detallado de los factores ambientales y socioeconómicos antes de la toma de decisiones.

Criterio 7: Aeródromo

Figura 15

Ubicación y ámbito de influencia de aeródromo

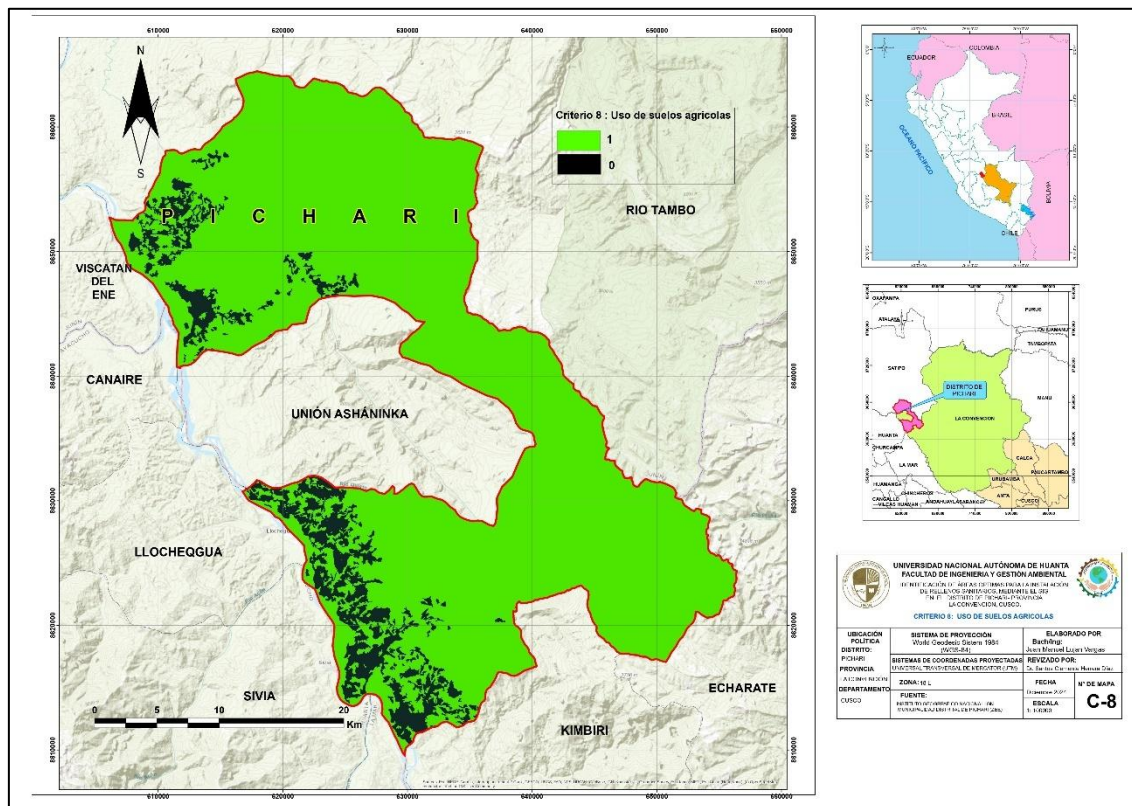


La figura 15 se evidencia el mapa en función al requisito de localización de acuerdo con la distancia de un "Aeródromo"; donde se establece un área de restricción de 13 km de radio desde el punto medio del aeródromo considerado no apta (valor 0). Fuera de esta área, en color verde, el territorio es "apta" (valor 1) para la instalación del relleno sanitario. La restricción se debe a la presencia de aves carroñeras atraídas por los residuos, lo que aumenta el riesgo de colisiones con aeronaves y posibles accidentes. Este criterio sigue normativo de seguridad aeroportuaria para evitar impactos en la aviación y minimizar conflictos ambientales en la zona.

Criterio 8: Uso de suelos agrícolas

Figura 16

Ubicación y ámbito de influencia de áreas agrícolas



La figura 16 representa el mapa de uso de suelos agrícolas en el distrito de Pichari para la identificación de un sitio óptimo para un relleno sanitario. Las áreas en negro (valor 0), ubicadas a menos de 500 metros de cultivos como piña, cacao, café, arroz y coca, se consideran no aptas debido a la posible contaminación del suelo y el agua, además del impacto socioeconómico negativo en la producción agrícola. En contraste, las áreas en verde (valor 1), que están a más de 500 metros de cualquier zona de cultivo, se consideran aptas, ya que no presentan riesgo de afectar la producción agrícola ni generar conflictos con los agricultores locales.

Tabla 7

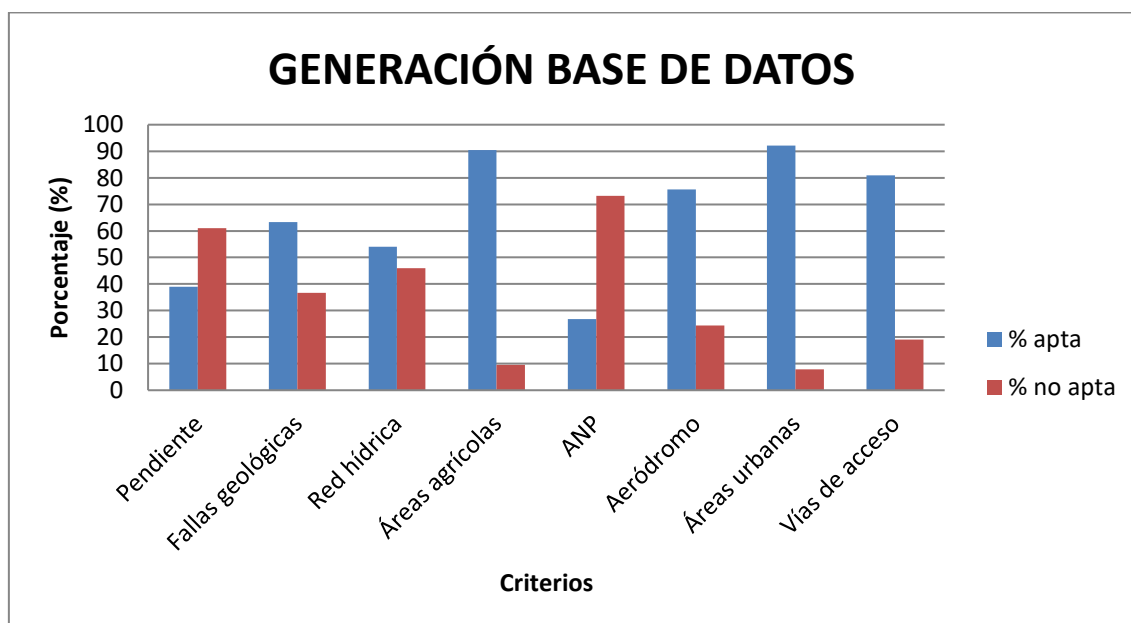
Análisis estadístico descriptivo de los criterios evaluados

Criterio	Área apta (1)	Área no apta (0)	Área total	% apta	% no apta
Pendiente	45,399.75	71,017.54	116,417.29	39.00%	61.00%
Fallas geológicas	73,655.75	42,761.54	116,417.29	63.27%	36.73%
Red hídrica	62,940.23	53,477.06	116,417.29	54.06%	45.94%
Áreas agrícolas	105,287.63	11,129.66	116,417.29	90.44%	9.56%
ANP	31,225.14	85,192.15	116,417.29	26.82%	73.18%
Aeródromo	87,993.49	28,423.80	116,417.29	75.58%	24.42%
Áreas urbanas	107,288.39	9,128.90	116,417.29	92.16%	7.84%
Vías de acceso	94,269.83	22,147.46	116,417.29	80.98%	19.02%

Con base en los criterios temáticos evaluados, se cuantificaron las superficies aptas y no aptas dentro del ámbito distrital, expresándolas además como porcentaje del área total 116,417.292.

Figura 17

Distribución porcentual de áreas aptas y no aptas generadas en la base de datos del análisis multicriterio



La figura 17 permite visualizar la distribución porcentual de área apta y no apta para cada criterio considerado en la evaluación multicriterio, lo que constituye la base fundamental para generar la matriz de datos utilizada en el modelo. La variación de los porcentajes obtenidos evidencia qué criterios restringen en mayor medida el territorio (como las Áreas Naturales Protegidas con 26.82% de aptitud y la pendiente con 39%) y cuáles permiten

una mayor disponibilidad de superficie apta (como las áreas urbanas con 92.16% y las áreas agrícolas con 90.44%). Esta diferenciación cuantitativa es esencial para generar correctamente la base de datos del modelo, que permitió asignar valores binarios de aptitud (1 = apto, 0 = no apto) de manera objetiva y sustentada. Asimismo, los porcentajes obtenidos sirven como insumo para la posterior ponderación de criterios dentro del análisis multicriterio, garantizando que el modelo represente con precisión la influencia de cada factor en el territorio.

OE3 Identificar los métodos de relleno sanitario a instalar.

Cálculo del área y el método de relleno sanitario a instalar en el distrito de Pichari-provincia La Convención Cusco

Para el cálculo del área requerida para un relleno sanitario del distrito de Pichari, los datos fueron obtenidos de la caracterización de residuos sólidos de la Municipalidad de Pichari (2022) y el INEI del censo del año 2017.

Los datos obtenidos son:

Población actual: 22961 hab (INEI-2017).

Tasa de crecimiento promedio anual: 2.34% (INEI-2017).

Producción per cápita (ppc): 0.657 kg/hab/día (ECCRSM-2022)

Densidad compactada: 222.99 kg/m³ (ECCRSM-2022)

a. Proyección de crecimiento poblacional en el distrito de Pichari

Formula 1:

$$Pf = p0(1 + r)^n$$

Pf= Población futura

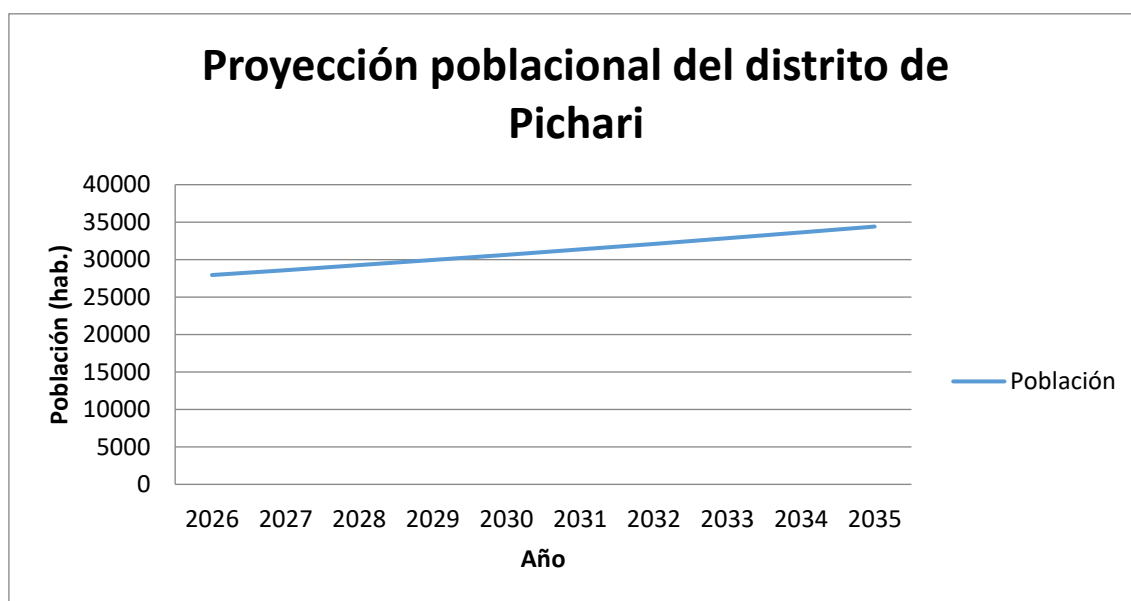
P0= población actual

r= Tasa de crecimiento poblacional

n= T_{final}- T_{inicial}

Tabla 8*Proyección de población en el distrito de Pichari de 2026 al 2035*

N°	Año	Formula	Población (Hab)
1	2026	$22691(1+0.0234)^9$	27942
2	2027	$22691(1+0.0234)^{10}$	28596
3	2028	$22691(1+0.0234)^{11}$	29265
4	2029	$22691(1+0.0234)^{12}$	29950
5	2030	$22691(1+0.0234)^{13}$	30651
6	2031	$22691(1+0.0234)^{14}$	31368
7	2032	$22691(1+0.0234)^{15}$	32102
8	2033	$22691(1+0.0234)^{16}$	32853
9	2034	$22691(1+0.0234)^{17}$	33622
10	2035	$22691(1+0.0234)^{18}$	34409

Figura 18*Proyección poblacional del distrito de Pichari*

La figura 18 muestra la tendencia creciente de la población proyectada en el distrito de Pichari para el periodo 2026–2035, permitiendo identificar un incremento

continúo asociado a una tasa anual de crecimiento del 2.34 %. Se observa que la población aumenta de 27,942 habitantes en 2026 a 34,409 habitantes en 2035, lo que representa un crecimiento absoluto de 6,467 habitantes en diez años.

b. Producción per cápita

La producción per cápita en el distrito de Pichari es de 0.657 kg/hab/día (ECCRSM-2022). Por lo cual la proyección de la PPC para cada año se incrementa en 1%, por lo tanto, este incremento se adopta al crecimiento económico distrito impulsado por el canon gasífero, junto con la continua migración interna atraída por oportunidades laborales y el aumento en el consumo de bienes, contribuyen al incremento progresivo de la generación de residuos por habitante.

Tabla 9

Producción per cápita

Año	Formula	ppc
PPC-2026	0.69 +1%	0.70
PPC-2027	0.70 + 1%	0.71
PPC-2028	0.71 +1%	0.72
PPC-2029	0.72 +1%	0.73
PPC-2030	0.73 + 1%	0.74
PPC-2031	0.74 +1%	0.75
PPC-2032	0.75 +1%	0.76
PPC-2033	0.76 + 1%	0.77
PPC-2034	0.77 +1%	0.78
PPC-2035	0.78 +1%	0.79

c. Producción diaria y anual de residuos solidos

Formula 2:

Donde:

DSd= Residuos generados diariamente (kg/día)

Pob= población

Ppc= Producción per cápita (kg/hab/día)

DSa= Residuos generados anual (Tn/año)

Producción diaria

$$DSd = pob * ppc$$

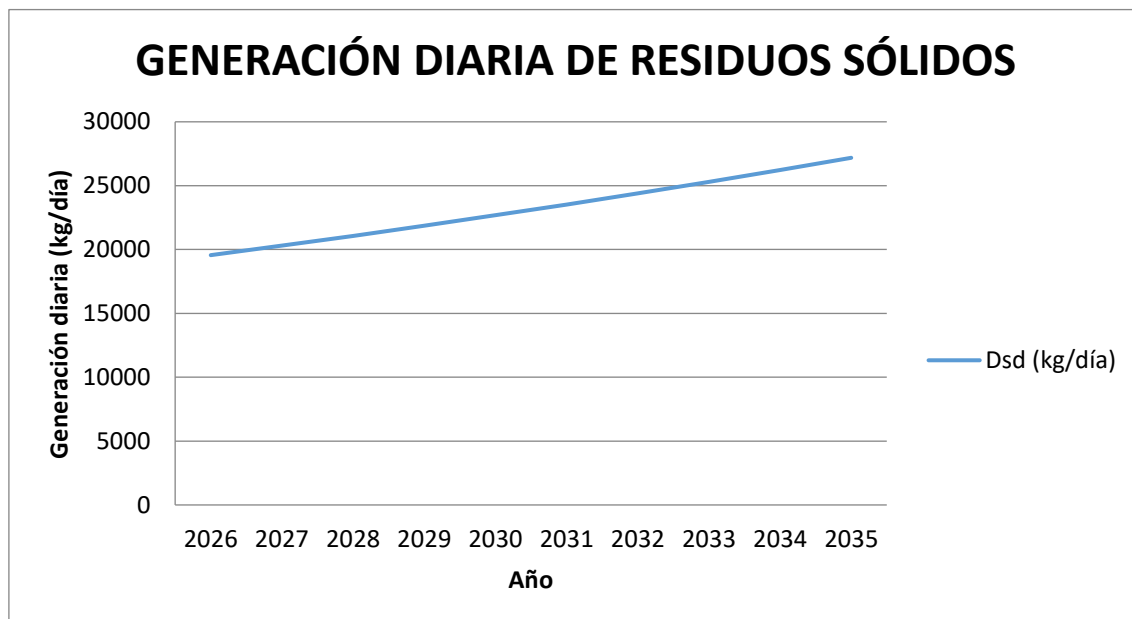
Producción anual

$$DSa = \frac{DSd}{kg/día} * \frac{AÑO}{365 días} * \frac{Tn}{1000kg}$$

Tabla 10

Generación de residuos sólidos diaria y anual en el distrito de Pichari

Año	Población (Hab)	ppc kg/Hab*día	DSd (kg/día)	DSa (ton/año)
PPC-2026	27942	0.70	19559.62	7139.26
PPC-2027	28596	0.71	20303.28	7410.70
PPC-2028	29265	0.72	21071.03	7690.92
PPC-2029	29950	0.73	21863.59	7980.21
PPC-2030	30651	0.74	22681.71	8278.82
PPC-2031	31368	0.75	23526.14	8587.04
PPC-2032	32102	0.76	24397.67	8905.15
PPC-2033	32853	0.77	25297.11	9233.45
PPC-2034	33622	0.78	26225.29	9572.23
PPC-2035	34409	0.79	27183.05	9921.81

Figura 19*Generación diaria de residuos sólidos*

La figura 19 se muestra la tendencia creciente de la generación diaria de residuos sólidos en el distrito de Pichari durante el periodo 2026–2035. Se identifica un incremento progresivo desde 19,559.62 kg/día en el año 2026 hasta 27,183.05 kg/día en 2035, lo que representa un aumento total de 7,623.43 kg/día en diez años. Esta tendencia ascendente está asociada al crecimiento poblacional proyectado y al incremento gradual del PPC (kg/hab*día).

d. Volumen de los residuos sólidos compactados

Formula 3

Donde:

Drsm= densidad de los residuos sólidos recién compactados (238.17 kg/m³)

VRCd= Volumen de residuos compactado diario(m³/día)

VRCa= Volumen de residuos compactado anual (m³/año)

Volumen de residuos compactado diario

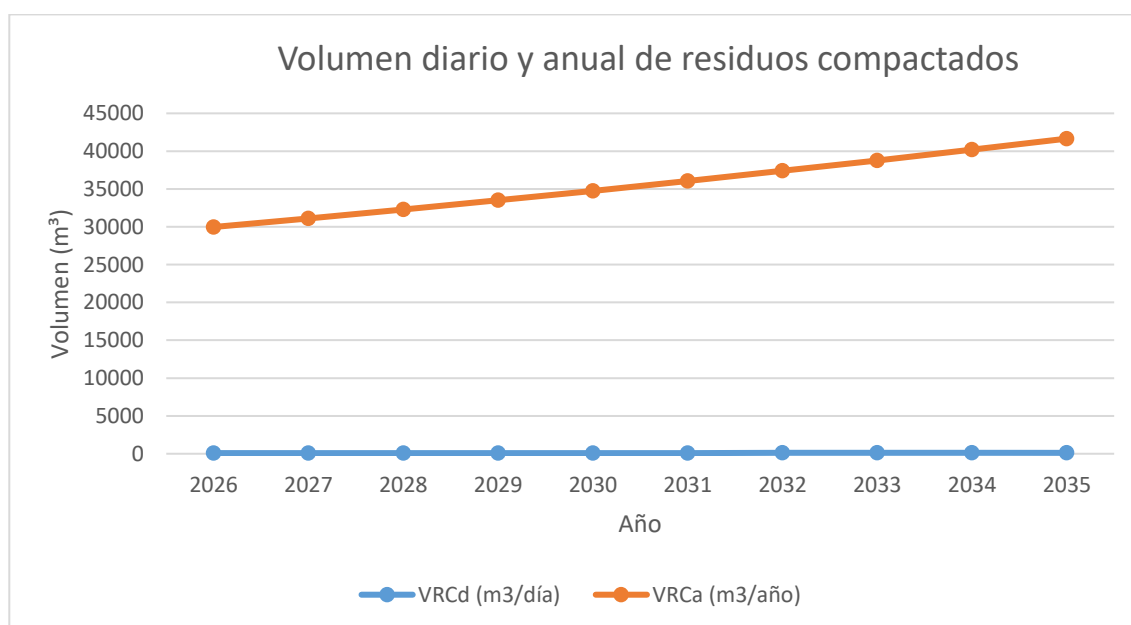
$$VRCd = \frac{DSd}{Drsm}$$

Volumen de residuos compactado diario

$$VRCa = VRCd * 365$$

Tabla 11*Volúmenes de residuos compactados*

Año	DSd (kg/día)	DSa (ton/año)	Drsm (kg/m ³)	VRCd (m ³ /día)	VRCa (m ³ /año)
PPC-2026	19559.62	7139.26	238.17	82.12	29975.48
PPC-2027	20303.28	7410.70	238.17	85.25	31115.15
PPC-2028	21071.03	7690.92	238.17	88.47	32291.74
PPC-2029	21863.59	7980.21	238.17	91.80	33506.36
PPC-2030	22681.71	8278.82	238.17	95.23	34760.14
PPC-2031	23526.14	8587.04	238.17	98.78	36054.25
PPC-2032	24397.67	8905.15	238.17	102.44	37389.89
PPC-2033	25297.11	9233.45	238.17	106.21	38768.30
PPC-2034	26225.29	9572.23	238.17	110.11	40190.75
PPC-2035	27183.05	9921.81	238.17	114.13	41658.53

Figura 20*Volumen diario y anual de residuos compactados*

La figura 20 permite identificar la tendencia de incremento del volumen diario (VRCd) y anual (VRCa) de residuos compactados en el distrito de Pichari durante el periodo 2026–2035. Se observa un crecimiento sostenido, pasando de 82.12 m³/día y 29,975.48 m³/año en 2026 a 114.13 m³/día y 41,658.53 m³/año en 2035. Este aumento está directamente relacionado con el incremento de la población y

la generación diaria de residuos sólidos.

e. Volumen de material de cobertura y volumen de residuos anual estabilizados

El material de cobertura se consideró el 20% del volumen total de residuos sólidos, el cual se consideró para cada año y, para determinar volumen anual de residuos sólidos estabilizados se dividió los residuos generados diariamente con la densidad de los residuos sólidos estabilizados que es de 289.44 según ECCRSM-2022 del distrito de Pichari.

Formula 4:

Donde:

m.c.= Material de cobertura, que representa el 20% de residuos sólidos compactados

Drsmc= densidad de los residuos sólidos estabilizados, que es equivalente a 289.44 kg/m³

Ve: Volumen anual estabilizado de residuos sólidos.

Material de cobertura

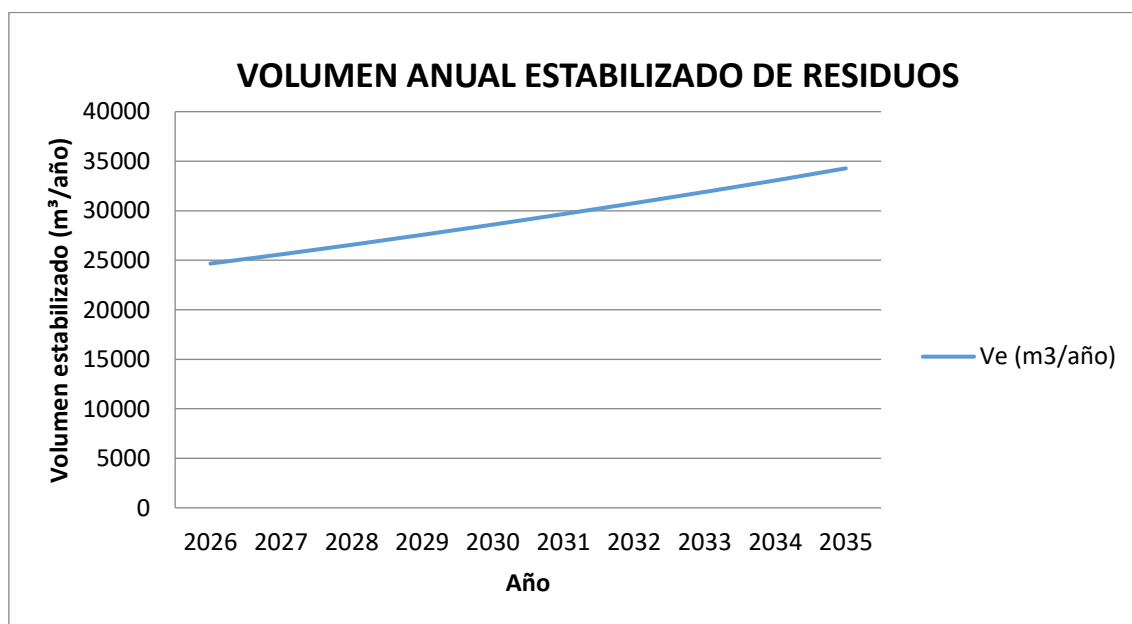
$$m.c. = VRSCa * 0.20\%$$

Volumen anual estabilizado

$$Ve = \frac{DSd}{Drsmc} * 365 \text{días}$$

Tabla 12*Volumen de material de cobertura y volumen de residuos anual estabilizados*

Año	DSd (kg/día)	VRCa (m3/año)	20% de volumen	mc (m3/año)	Drsme (kg/m3)	Ve (m3/año)
PPC-2026	19559.62	29975.48	0.2	5995.10	289.44	24665.77
PPC-2027	20303.27	31115.15	0.2	6223.03	289.44	25603.56
PPC-2028	21071.03	32291.74	0.2	6458.35	289.44	26571.74
PPC-2029	21863.59	33506.36	0.2	6701.27	289.44	27571.21
PPC-2030	22681.70	34760.14	0.2	6952.03	289.44	28602.90
PPC-2031	23526.14	36054.25	0.2	7210.85	289.44	29667.78
PPC-2032	24397.67	37389.89	0.2	7477.98	289.44	30766.83
PPC-2033	25297.12	38768.30	0.2	7753.66	289.44	31901.07
PPC-2034	26225.28	40190.75	0.2	8038.15	289.44	33071.55
PPC-2035	27183.05	41658.53	0.2	8331.71	289.44	34279.34

Figura 21*Volumen anual estabilizado de residuos solidos*

La figura 21 permite identificar la tendencia creciente del volumen anual estabilizado de residuos sólidos (Ve) en el distrito de Pichari para el periodo 2026–2035. Se observa que

el volumen estabilizado aumenta de 24,665.77 m³/año en 2026 a 34,279.34 m³/año en 2035, lo que representa un incremento acumulado de 9,613.57 m³/año en diez años. Esta tendencia refleja el crecimiento progresivo de los residuos generados y compactados, sumados al volumen adicional de material de cobertura requerido para la operación del relleno sanitario.

f. Cálculo de área requerida y cálculo del área total

Formula 5

Donde:

Ar= Área requerida (m²)

Hrs= profundidad promedio del relleno sanitario

AT= Área Total requerida

F= Factor de aumento de las áreas adicionales se asume el 40% del área a llenar

VRS= Volumen de relleno sanitario (m³/año)

Volumen de relleno sanitario

$$VRS = Ve + m.c$$

Área requerida

$$Ar = \frac{VRS}{Hrs}$$

Área total requerida

$$AT = \sum_{2026}^{2045} + (F * Ar)$$

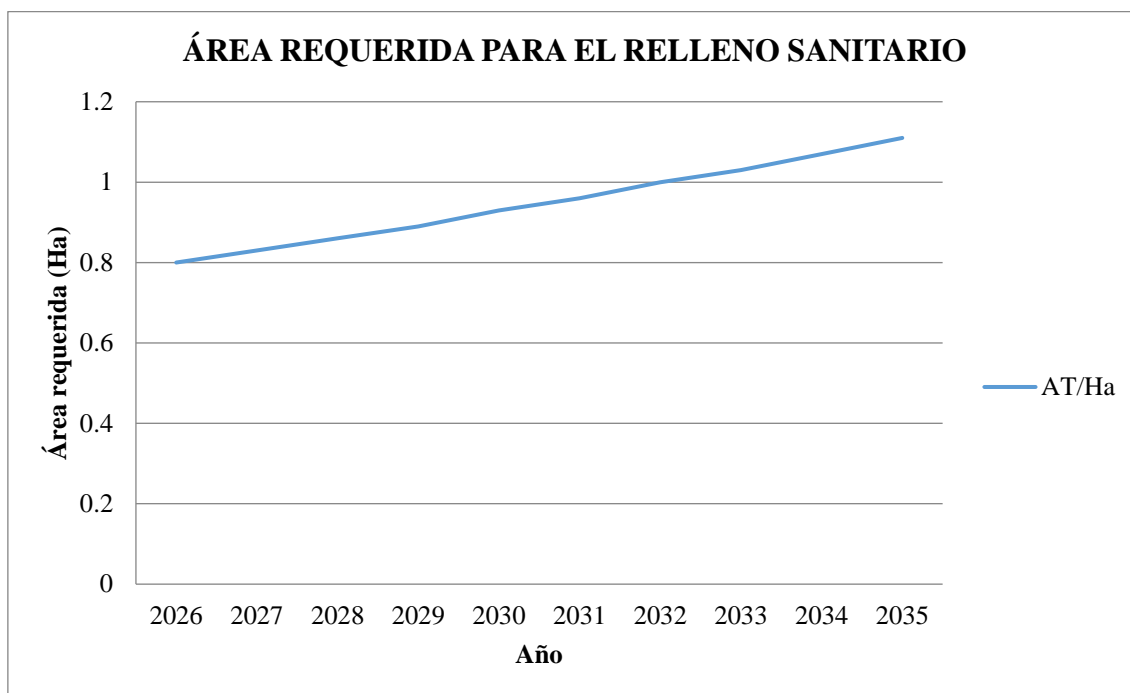
Se considero para el área total agregar el factor de 30% para los espacios complementarios que no están directamente destinados a la disposición de residuos, pero que son indispensables: vías de acceso, oficinas, servicios higiénicos, almacenes, sistema de drenaje de lixiviados, franjas perimétricas, áreas verdes entre otros. Asimismo, se consideró la profundidad de relleno 5 m.

Tabla 13*Cálculo del área requerida y el método de relleno sanitario a instalar*

Año	mc (m3/año)	Ve (m3/año)	VRS (m3/año)	Hrs (m)	Ar (m2)	FACTOR	AT	AT/Ha
PPC-2026	5995.10	24665.77	30660.87	5	6132.17	1.3	7991.8	0.80
PPC-2027	6223.03	25603.56	31826.59	5	6365.32	1.3	8294.9	0.83
PPC-2028	6458.35	26571.74	33030.09	5	6606.02	1.3	8607.8	0.86
PPC-2029	6701.27	27571.21	34272.48	5	6854.50	1.3	8930.8	0.89
PPC-2030	6952.03	28602.90	35554.93	5	7110.99	1.3	9264.3	0.93
PPC-2031	7210.85	29667.78	36878.63	5	7375.73	1.3	9608.4	0.96
PPC-2032	7477.98	30766.83	38244.81	5	7648.96	1.3	9963.6	1.00
PPC-2033	7753.66	31901.07	39654.73	5	7930.95	1.3	10330.2	1.03
PPC-2034	8038.15	33071.55	41109.70	5	8221.94	1.3	10708.5	1.07
PPC-2035	8331.71	34279.34	42611.05	5	8522.21	1.3	11098.9	1.11
Área requerida total								9.48 Ha

Figura 22

Área proyectada para relleno sanitario



La figura 22 permite identificar la tendencia de crecimiento del área necesaria para la disposición final de residuos sólidos durante el horizonte de diseño 2026–2035. Se observa un incremento progresivo desde 0.80 ha en 2026 hasta 1.11 ha en 2035, producto del aumento del volumen estabilizado de residuos y del material de cobertura requerido. Esta evolución evidencia que la demanda espacial del sistema se incrementa de manera constante conforme crece la población y la generación de residuos. A partir de los valores anuales, se determina un área acumulada mínima de 9.48 hectáreas para garantizar la operación del relleno sanitario durante todo el periodo evaluado. Estos resultados permiten identificar que los volúmenes proyectados son consistentes con un sistema de disposición final de tipo semi–mecanizado, cumpliéndose el OE3 al determinar el área técnica necesaria para el diseño del relleno sanitario.

OE4 Localizar sitios óptimos para la instalación de relleno sanitario.

Una vez realizado la operación de multiplicación de mapas binarios a través de la metodología de la técnica de análisis multicriterio boolean overlay se realizó la ponderación de las capas ráster de los 9 criterios, obteniendo como resultado localización de sitios óptimos, a continuación, se detalla las áreas aptas y no aptas en el espacio geográfico del distrito de Pichari.

Figura 23

Mapa de áreas potenciales para la instalación de los rellenos sanitarios

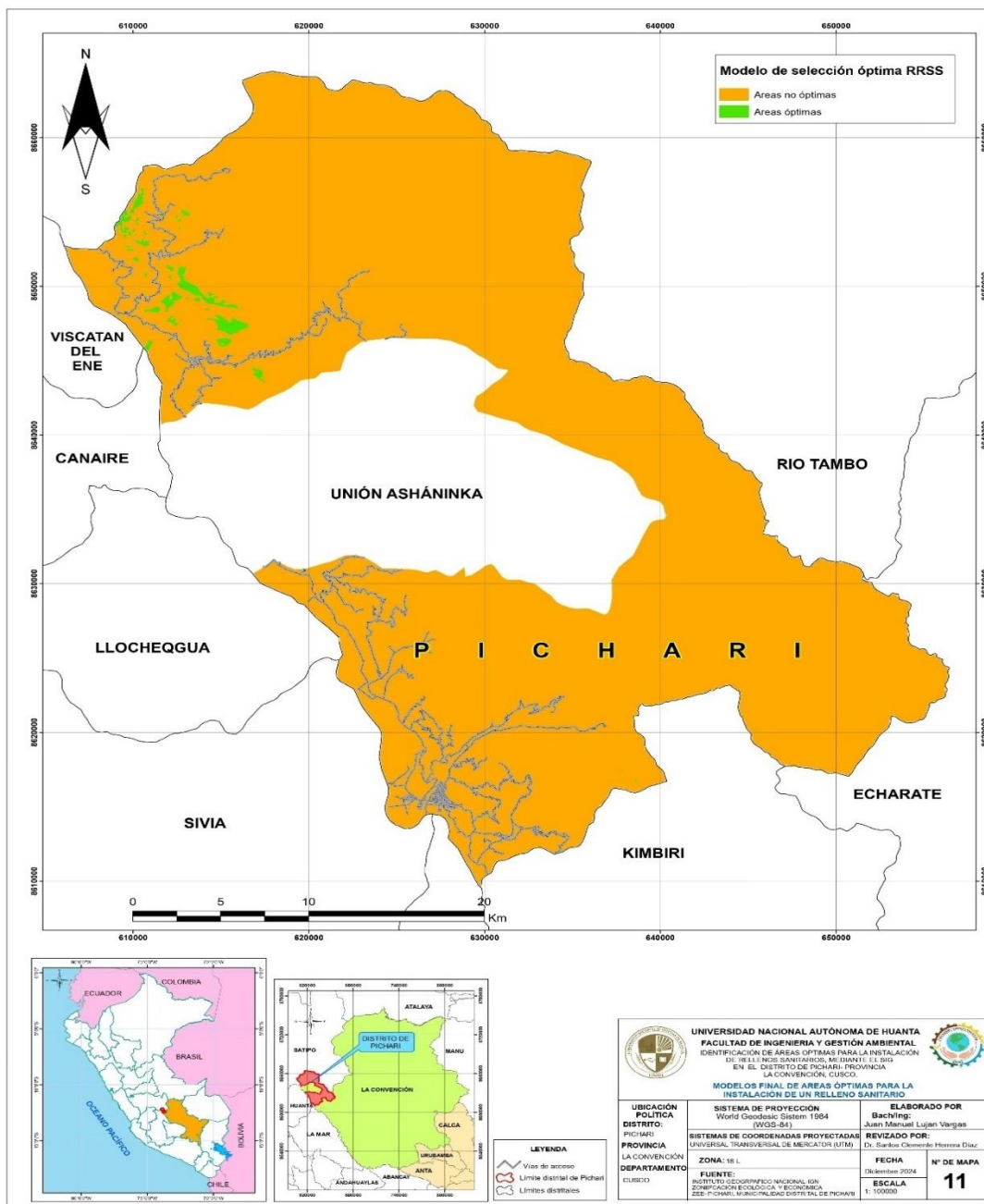
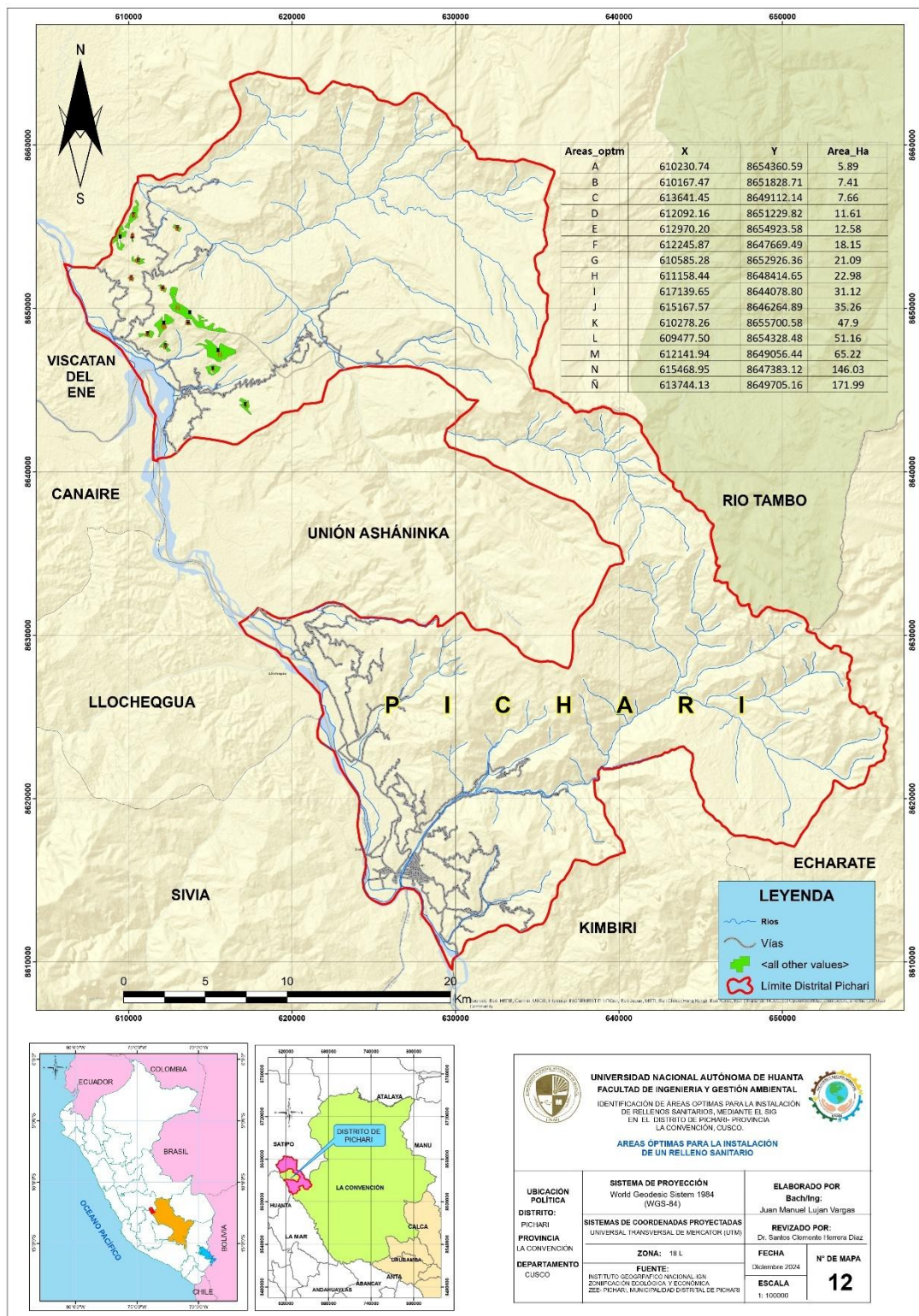


Figura 24

Mapa de Áreas óptimas para relleno sanitario



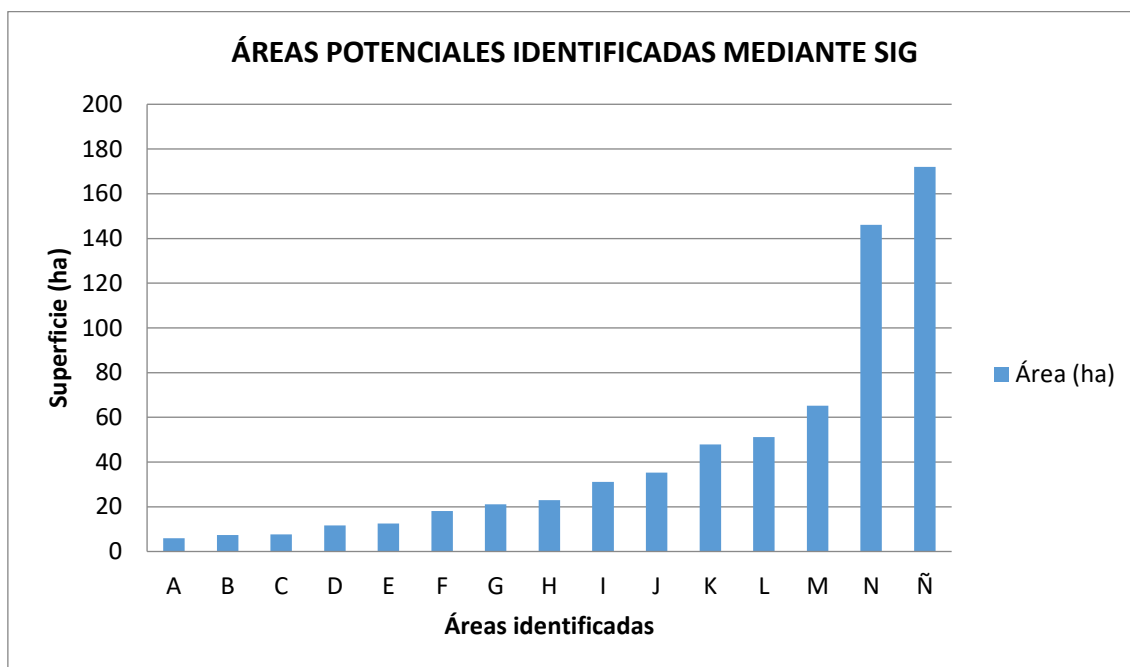
En la figura 24 representa un mapa que visualiza las áreas identificadas preliminarmente como potencialmente aptas para la ubicación de un relleno sanitario mediante el Sistema

de Información Geográfica (SIG). Este mapa destaca, de manera gráfica, las zonas geográficas que han sido evaluadas y clasificadas como adecuadas para la instalación de un relleno, de acuerdo con los criterios establecidos en la *Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructuras para Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales*.

Tabla 14

Áreas identificadas potenciales mediante SIG.

ÁREAS POTENCIALES PARA LA INSTALACIÓN DE LOS RELLENOS SANITARIOS			
ÁREAS IDENTIFICADAS	ÁREA (ha)	COORDENADAS UTM	
		X	Y
A	5.89	610230.74	8654360.59
B	7.41	610167.47	8651828.71
C	7.66	613641.45	8649112.14
D	11.61	612092.16	8651229.82
E	12.58	612970.20	8654923.58
F	18.15	612245.87	8647669.49
G	21.09	610585.28	8652926.36
H	22.98	611158.44	8648414.65
I	31.12	617139.65	8644078.80
J	35.26	615167.57	8646264.89
K	47.9	610278.26	8655700.58
L	51.16	609477.50	8654328.48
M	65.22	612141.94	8649056.44
N	146.03	615468.95	8647383.12
Ñ	171.99	613744.13	8649705.16

Figura 25*Áreas potenciales identificadas*

La figura 25 muestra la superficie de las quince áreas potenciales identificadas mediante el análisis SIG. Se observa que la mayoría de las áreas presentan superficies menores a 60 ha; sin embargo, destacan las áreas N (146.03 ha) y Ñ (171.99 ha) por su mayor extensión. La identificación de estas superficies permite localizar de manera preliminar los sectores con mayor disponibilidad territorial que podrían albergar un relleno sanitario. Esta distribución evidencia que, si bien existen varias alternativas posibles, solo algunas cumplen con la superficie mínima necesaria de acuerdo con el contraste en el campo.

Detalle de las áreas seleccionadas como óptimas según el área requerida, contraste en campo

Se identificaron 15 sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos municipales en el distrito de Pichari, mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el software ArcMap 10.8. Esta evaluación se basó en criterio de exclusión y restricciones de las distancias establecidas en la guía. Sin embargo, se observó en la salida de campo que solo dos de los sitios evaluados (áreas I y J) presentan para la ubicación de infraestructura de disposición final.

Esta limitación espacial se explica, en gran medida, por las características del territorio: aproximadamente el 31 % del distrito de Pichari está cubierto por la Reserva Comunal Asháninka y el Parque Nacional Otishi, mientras que un 42 % adicional

corresponde a zonas de amortiguamiento, las cuales presentan pendientes elevadas, alta biodiversidad y presencia de importantes recursos hídricos, condiciones que restringen severamente el uso del suelo para fines de disposición de residuos sólidos.

Durante el trabajo de campo, se inspeccionaron las áreas codificadas como A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M, N y Ñ, las cuales fueron descartadas por incumplir con los criterios técnicos establecidos en la Guía para el Diseño y Selección de Sitios de Rellenos Sanitarios del Ministerio del Ambiente y otras normas. Entre las principales restricciones observadas se incluyen la proximidad a fuentes de agua temporal, presencia de bosques primarios, superposición con zonas de conservación regional (vinculadas al proyecto IMA), existencia de patrimonio forestal y fauna silvestre, territorios de comunidades de etnia Asháninka y la superposición entre región Cusco y Junín, tal como se observa en el (anexo 3 y 4).

Por el contrario, los sitios I y J cumplen con los requerimientos mínimos establecidos para la instalación de un relleno sanitario de tipo semi - mecanizado, tanto en términos establecidas en la guía, resultando ser las opciones óptimas para su implementación de un relleno sanitario. Sin embargo las áreas identificadas como aptas para la instalación de un relleno sanitario se encuentran a una distancia considerable del centro urbano de Pichari, entre 46 y 48 km, lo que genera una gran limitación para su implementación, ya que el traslado diario de los residuos sólidos implicaría un alto costo económico para la municipalidad, además de mayores tiempos de transporte, mayor consumo de combustible y desgaste vehicular, lo cual hace inviable su operación desde el punto de vista técnico y financiero.

Figura 26

Áreas con potencial para la instalación de un relleno sanitario visualizados en campo

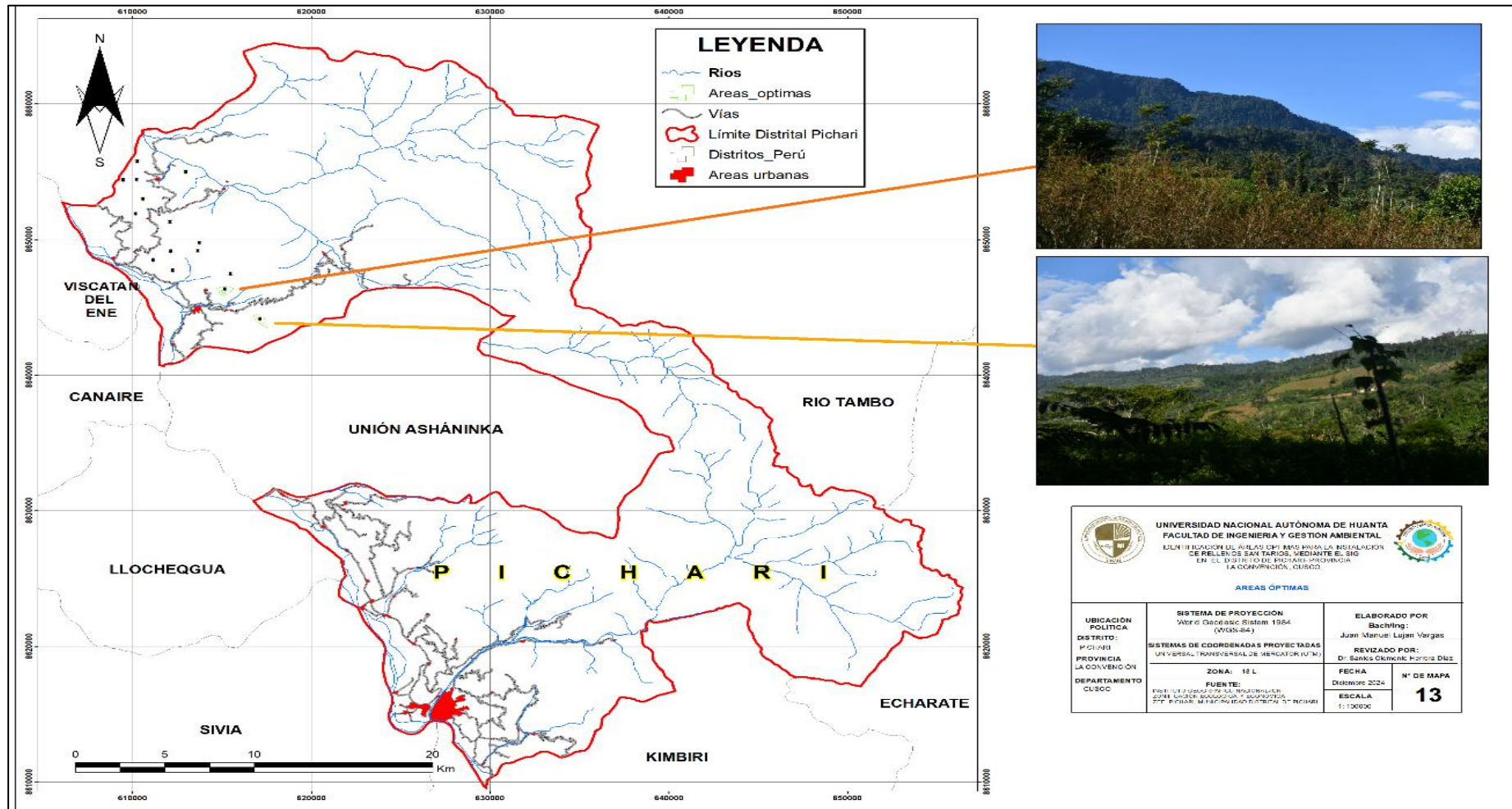


Figura 27

Áreas seleccionadas y validadas en campo como sitios óptimos para relleno sanitario

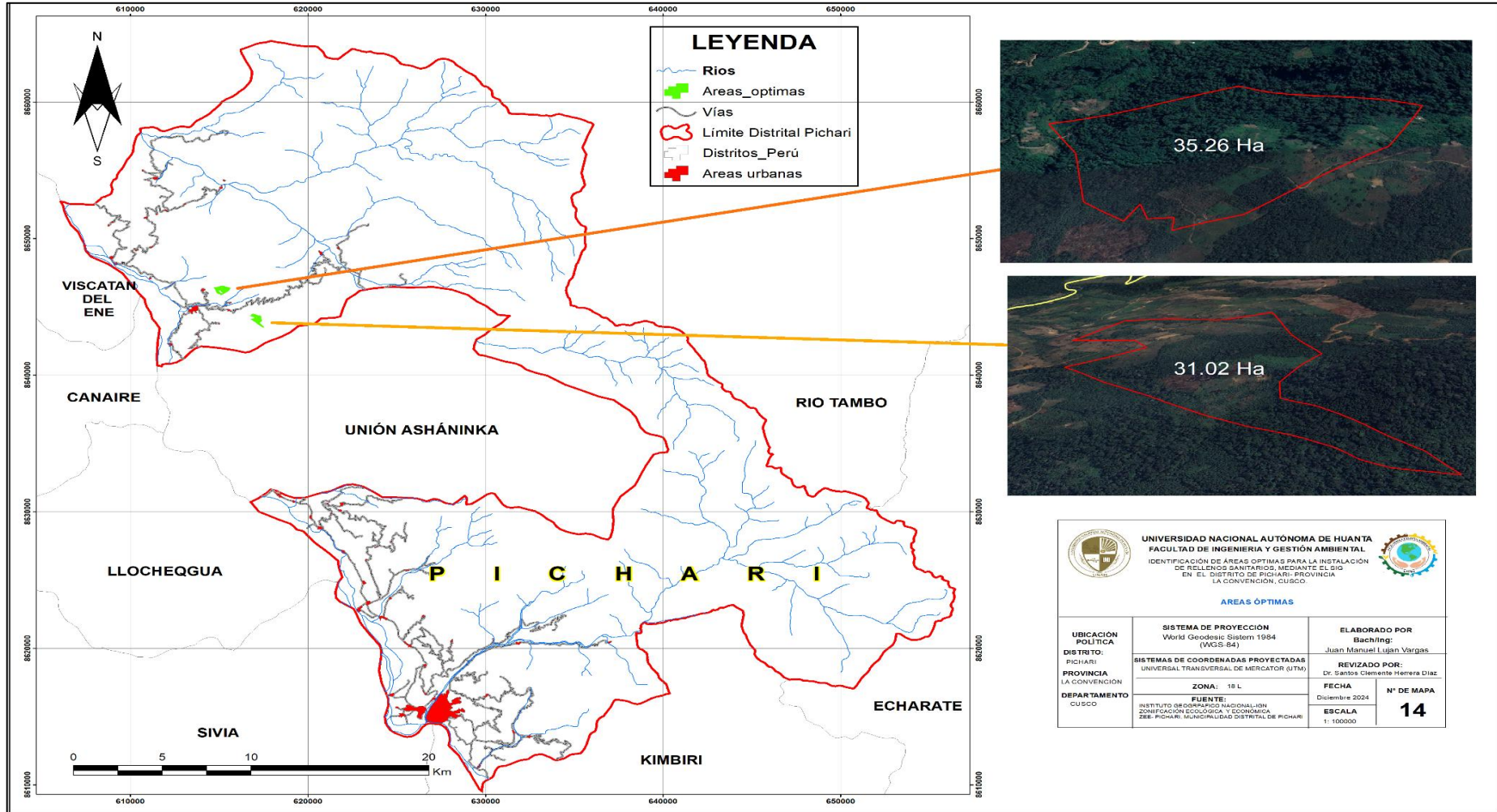


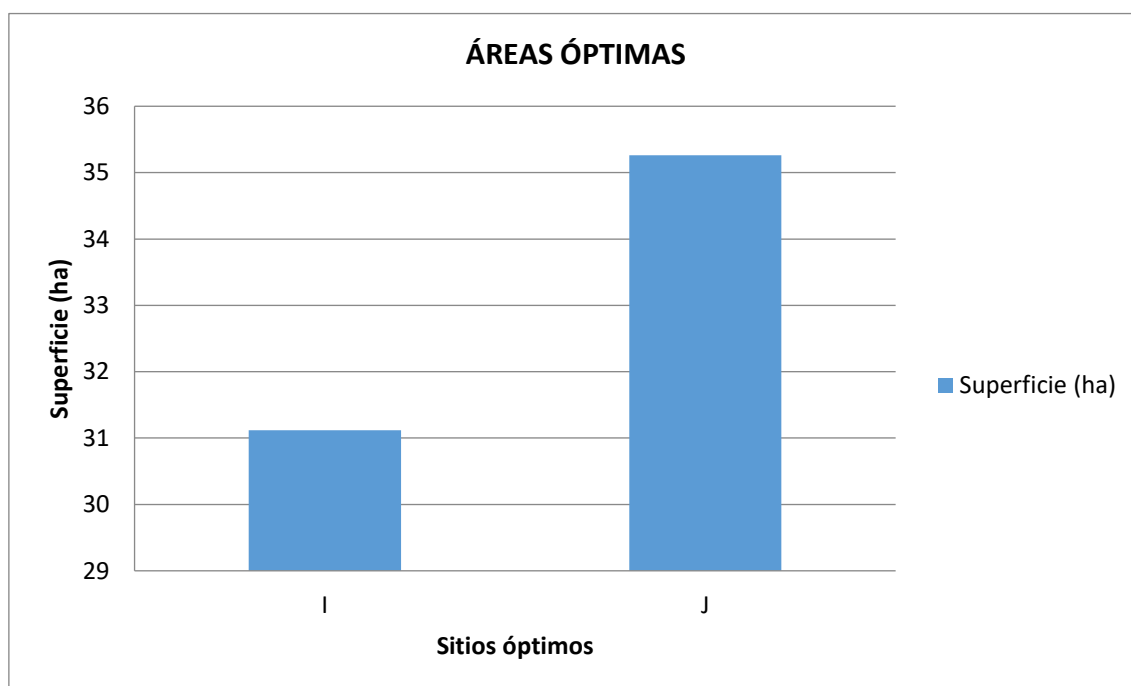
Tabla 15*Ubicación de áreas identificadas*

ID	Coordenadas		Distancia de la ciudad	Área (ha)
I	617139.65	8644078.80	48 km	31.12
J	615167.57	8646264.89	46 km	35.26
Total				66.38

Se observa en la tabla 15 las áreas identificadas como óptimas para la implementación de un relleno sanitario semi - mecanizado en el distrito de Pichari con respecto a las distancias significativas respecto al núcleo urbano, siendo de 48 km para el área “I” y 46 km para el área “J” lo que constituye una limitación crítica para su viabilidad operativa y económica.

Figura 28

Área óptimas identificadas



La figura 28 muestra las dos áreas óptimas identificadas mediante el análisis SIG, con superficies de 31.12 ha para el sitio I y 35.26 ha para el sitio J, sumando un total de 66.38 ha. Estos sitios cumplen con todos los criterios de la guía para la Identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos establecidos por el MINAM, lo que confirma el logro del objetivo general al identificar zonas

técnicamente aptas para la instalación del relleno sanitario. Sin embargo, si bien ambos sitios presentan condiciones físicas favorables, también se observa una limitación crítica asociada a su ubicación geográfica: el sitio I se encuentra a 48 km del área urbana de Pichari y el sitio J a 46 km. Esta distancia incrementa significativamente los costos operativos, el consumo de combustible, el desgaste vehicular y los tiempos de traslado, reduciendo su viabilidad práctica para la gestión municipal. Por lo tanto, aunque el análisis multicriterio permitió localizar áreas óptimas desde el punto de vista técnico, estos sitios no pueden considerarse plenamente viables para la implementación de un relleno sanitario debido a sus implicancias logísticas y económicas.

4.2 Discusiones

En el presente estudio se determinó la localización óptima para la implementación de un relleno sanitario mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), tomando como referencia los criterios técnicos establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), la Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructuras para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales, así como la Propuesta de Guía para la Identificación de Zonas Potenciales para Infraestructura de Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales. El análisis se basó en la aplicación de una metodología de evaluación multicriterio, considerando nueve variables fundamentales: fuentes hídricas, pendiente, fallas geológicas, áreas naturales protegidas por el estado, zonas arqueológicas, áreas urbanas, vías de acceso, pistas de aterrizaje y el uso actual del suelo (agrícola). Esta evaluación fue complementada con una verificación en campo, lo que permitió contrastar los resultados obtenidos en gabinete. Como resultado, de los quince sitios inicialmente identificados, solo dos fueron considerados viables, debido a que la mayoría de las ubicaciones propuestas se encuentran en zonas de superposición (conflicto territorial), principalmente hacia el sector norte del área urbana de Pichari.

Es pertinente comparar los estudios realizados por Loyaga (2019) y Uscamayta (2021), quienes seleccionaron los criterios de acuerdo con la Guía de Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Manual - mecanizado, estas guías, si bien se centra a cada tipo de diseño a implementar, pero la diferencia con la guía actual es que tiene un enfoque más integral, no solo en rellenos sanitarios, sino en toda la infraestructura de disposición final incluyendo criterios para toda infraestructura de disposición final (rellenos, celdas transitorias, ampliaciones etc.).

Cabe mencionar que la evaluación de las zonas potenciales varía significativamente entre regiones, tanto en extensión como en el número de zonas identificadas, debido a los variables utilizados, el contexto territorial y la aplicabilidad específica de los criterios técnicos definidos por el MINAM. En comparación con Supo (2024), en un estudio realizado en la provincia de La Convención, identificó un mayor número de zonas aptas, atribuyendo este resultado a una menor densidad de restricciones geográficas y a una distribución más homogénea del territorio. Sin embargo, al igual que en el presente estudio, se reconoció la importancia de la validación en campo, ya que varios sitios seleccionados inicialmente fueron descartados por incompatibilidad con el uso actual del suelo o por conflictos con actores locales.

De manera similar, la investigación de Uscamayta (2021) en la provincia de Cusco utilizó la técnica de evaluación multicriterio utilizando los criterios similares, pero encontró solo cuatro zonas aptas dentro de un territorio amplio, debido a la alta presencia de áreas agrícolas, pendientes pronunciadas y zonas arqueológicas. En su estudio se destacó que, aunque el modelo técnico señalaba zonas óptimas, su implementación real estaba condicionada por factores socioambientales no cuantificables en el análisis espacial, debido algunas limitaciones que no se puede observar en ArcGIS, lo cual hizo la validación en campo.

En comparación con la investigación de Mamani (2020) en el distrito de Huayrapata, Puno, donde se utilizaron solo cuatro criterios (pendiente, cuerpos de agua y fallas geológicas) procesados en ArcGIS 10.5, el presente estudio en Pichari incorporó nueve variables, incluyendo zonas arqueológicas, áreas protegidas, uso agrícola y pistas de aterrizaje, lo que hizo más rigurosa la evaluación. Mamani priorizó la cercanía a vías de acceso para reducir costos logísticos, logrando identificar cuatro áreas potenciales de gran extensión; mientras que, en Pichari, pese a que se identificaron inicialmente quince sitios, solo dos fueron viables tras la validación en campo, debido a las mayores restricciones territoriales y la superposición de las regiones de Junín y Cusco. Esta comparación evidencia que la cantidad y tipo de variables influyen directamente en los resultados, y que una mayor exigencia técnica puede reducir el número de zonas óptimas.

En estudios previos sobre identificación de sitios para la instalación de relleno sanitario mediante técnicas de análisis espacial, se han obtenido diversos resultados que destacan por su rigor técnico, aunque presentan limitaciones en cuanto a la consideración de variables logísticas. Vasquez (2023) identificó cinco sitios óptimos para un relleno

sanitario en el distrito de Chota, denominados “Área 3”, “Área 4”, “Área 5” y “Área 6”, siendo esta última subdividida en dos zonas validadas (6A y 6B). Por su parte, Paz (2023) localizó tres zonas óptimas clasificadas según su grado de idoneidad (regular, aceptable y óptima) en el distrito de Santa Ana. Asimismo, Uscamayta (2021) logró delimitar cuatro áreas con potencial para un relleno sanitario en la provincia del Cusco. Si bien estos trabajos aportan información valiosa para la planificación territorial y la gestión ambiental, se observa que ninguno de ellos hace mención explícita a la distancia que existe entre las áreas seleccionadas y la ciudad (núcleo urbano), aspecto clave para la viabilidad operativa y económica de un sistema de disposición final de residuos sólidos. A diferencia de dichos estudios, la presente investigación demuestra que, si bien existen áreas técnicamente aptas para la instalación de un relleno sanitario, estas se encuentran a una distancia considerable (46 a 48 km) del núcleo urbano de Pichari, lo que representa una barrera significativa en términos de sostenibilidad financiera para la gestión municipal.

V. CONCLUSIONES

- 5.1** Se considero nueve criterios claves para la identificación de zonas potenciales destinadas a la implementación de un relleno sanitario, considerando variables como fuentes hídricas, pendiente, fallas geológicas, áreas naturales protegidas, zonas arqueológicas, zonas urbanas, vías de acceso, pistas de aterrizaje y uso actual del suelo agrícola. La selección de dichos criterios se desarrolló en base a los lineamientos técnicos establecidos por el Ministerio del Ambiente, contenidos en la Guía para el Diseño y Construcción de Infraestructuras para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales.
- 5.2** La aplicación del análisis multicriterio permitió, en una primera etapa, realizar la superposición de las capas temáticas correspondientes a los criterios de restricción, considerando los límites establecidos para las variables de centros poblados, pistas de aterrizaje, cuerpos de agua (fuentes hídricas), fallas geológicas, pendiente del terreno y uso del suelo agrícola. Asimismo, se integraron las capas de exclusión correspondientes a áreas naturales protegidas por el estado y zonas arqueológicas. Todos estos criterios fueron previamente estandarizados mediante una codificación binaria del análisis multicriterio, asignando el valor “1” a las áreas aptas y “0” a las no aptas, lo que permitió estructurar una matriz espacial que sirvió de base de datos para la identificación de zonas con potencial para la ubicación de un relleno sanitario.
- 5.3** Para identificar los métodos de relleno a instalar se obtuvo datos de la caracterización de residuos sólidos de la Municipalidad de Pichari (2022) y el INEI del censo del año 2017., se proyectó el crecimiento poblacional para el periodo 2026–2035, estimando que la población alcanzará aproximadamente los 34409 habitantes al año 2035, generando un incremento en la producción anual de residuos sólidos municipales desde 7139.26 toneladas en 2026 hasta 9921 toneladas en 2035. Con base en dichas proyecciones y considerando los parámetros técnicos establecidos para el diseño de infraestructura de disposición final, se calculó que el área requerida para la implementación de un relleno sanitario con horizonte de planificación de 10 años asciende a 9,48 hectáreas. En función de esta dimensión, se concluye que el tipo de tecnología para su construcción corresponde a tipo de relleno semi - mecanizado, que garantice una adecuada operatividad, eficiencia y sostenibilidad ambiental en la gestión de los residuos sólidos municipales del distrito

de Pichari.

5.4 Mediante el análisis espacial en gabinete, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG), se identificaron quince (15) áreas preliminares con superficies superiores a 5 hectáreas para la localización de un relleno sanitario en el distrito de Pichari; sin embargo, la validación en campo permitió descartar la mayoría de estos sitios por no cumplir con los criterios técnicos establecidos en la normativa nacional, tales como la proximidad a fuentes hídricas, presencia de bosques primarios, superposición con áreas de conservación regional (IMA), limitaciones de accesibilidad vial, ubicación en territorios de comunidades Asháninka y la superposición territorial entre las regiones Cusco y Junín, determinándose que únicamente los sitios I (31.12 ha) y J (35.26 ha) reúnen los requerimientos mínimos para considerarse alternativas viables. No obstante, la distancia entre estas áreas y el centro urbano de Pichari (46 a 48 km) representa una limitación crítica para su implementación, ya que el traslado diario de residuos sólidos implicaría elevados costos económicos, mayores tiempos operativos, un significativo consumo de combustible y desgaste vehicular, factores que en conjunto comprometen la viabilidad técnica y financiera del proyecto. En este contexto, al considerar que el distrito posee una extensión territorial de 116,417.292 hectáreas, se identificó que únicamente el 0.057 % del área total presenta condiciones óptimas para la instalación de un relleno sanitario semi-mecanizado, lo que evidencia la reducida disponibilidad de suelos adecuados y refuerza la necesidad de una evaluación rigurosa que integre criterios ambientales, normativos y de planificación territorial, a fin de garantizar la sostenibilidad y viabilidad de este tipo de infraestructura en el largo plazo.

VI. RECOMENDACIONES

- 6.1 Para la planificación de la ubicación de un relleno sanitario en el distrito de Pichari, resulta fundamental considerar que los sitios identificados como óptimos (sitio I con 31,12 ha y sitio J con 35,26 ha) se encuentran en áreas alejadas de la ciudad (núcleo urbano), lo que implica mayores costos logísticos y operativos en el transporte de residuos hasta el centro poblado de Natividad. Frente a esta condición, se recomienda a la Municipalidad Distrital de Pichari gestione la opinión técnica vinculante de las entidades competentes y, de manera excepcional, solicite a la autoridad ambiental la evaluación de posibles alternativas de localización que contemplen distancias menores a las establecidas en la Guía Técnica, siempre que se garantice el cumplimiento de los lineamientos del Instrumento de Gestión Ambiental (IGA) y las medidas de seguridad en relación con las áreas de amortiguamiento de las Áreas Naturales Protegidas (ANP), cuerpos de agua, aeródromos y áreas urbanas.
- 6.2 Una vez obtenidos los resultados preliminares del modelo de identificación de zonas potenciales mediante análisis en gabinete, es necesaria una evaluación complementaria en campo para validar y seleccionar la mejor alternativa de localización para la infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales. Asimismo, se recomienda que la institución pública, antes de definir el sitio final, realice estudios sobre condiciones climáticas, análisis de suelo, flora y fauna, así como estudios sociales, con el propósito de prevenir conflictos posteriores.
- 6.3 Se recomienda que el presente estudio sea considerado como un insumo técnico de referencia para la futura implementación de un relleno sanitario en el distrito de Pichari, dado que proporciona una base geoespacial validada mediante análisis SIG. Asimismo, los resultados obtenidos pueden ser utilizados en procesos de planificación territorial relacionados con el centro poblado de Natividad, el cual se encuentra en proceso de distritalización bajo la denominación de “distrito Tambo del Ene”, contribuyendo así a una gestión anticipada y sostenible de los residuos sólidos en dicha jurisdicción emergente.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, I., Islam, A., Ali, S. M., & Adnan, S. (2023). Identification and selection of suitable landfill sites using GIS-based multi-criteria decision analysis in the Peshawar District, Pakistan. *Waste Management and Research*, 41(3), 608–619. <https://doi.org/10.1177/0734242X221124069>
- Almonacid, F., Maturana, F., Peña, F., & Roman, A. (2023). Rellenos sanitarios en contextos insulares. Desafíos en el archipiélago de Chiloé, desde una aproximación espacial y normativa. *Investigaciones Geograficas*, 2(1), 14–31. <https://investigacionesgeograficas.uchile.cl/index.php/IG/article/view/70981/75191>
- Banco Mundial. (2024). *Global Waste Management*. ISWA. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44939>
- Becerra Garcia, Y. (2021). *Identificación de un área apta para la instalación de un relleno sanitario, utilizando sistemas de información geográfica en el distrito de Catilluc – San Miguel* [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4087>
- Bello, M., Cepeda, M., Burgos, C., & Lara-basantes, C. (2025). Análisis multicriterio de las Areas óptimas mediante SIG para la ubicacion de un relleno sanitario en el cantón Chone, provincia de Manabí. *Polo del conocimiento*, 10 (2), 1042 -1082. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/pc.v10i2.8930>
- Collado Latorre, J. C., & Navarro Jover, J. M. (2013). *Argis 10 practicas paso a paso*. Universitat Politècnica de València.
- Delgado, D.D., y Zavaleta, M.L. (2021). *Estudio de pre factibilidad para la instalación de un relleno sanitario para el beneficio de la población de Chepén* [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/23841>
- Erazo Tapia, N. R. (2016). *Identificación de sitios potenciales para la construcción de un relleno sanitario a partir de un SIG en el municipio de Pupiales- Nariño* [Tesis

- para optar el título profesional. Universidad de Manizales].
<https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/2695>
- Espejo Pingus, W. (2018). Localización óptima de un relleno sanitario empleando sistemas de información geográfica distrito de Chachapoyas Amazonas- 2017. *Revista de investigación científica UNTRM. Ciencias naturales e ingeniería*, 1(3), 71–77. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v1i3.429>
- Eudaldo, E., & Espinoza, F. (2018). La hipótesis de la investigación. *Mendive*, 16(1), 122–139. <https://doi.org/10.1093/acref/9780192803511.013.0454>
- Flores Salazar, J. A. (2020). *Identificación de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos en los municipios Atlacomulco, Ixtlahuaca y Jocotitlán, estado de México* [tesis para optar el título profesional. Universidad autónoma del estado de México facultad de humanidades]. <https://core.ac.uk/reader/55524277>
- García, M., & Fernández, R. (2018). *Metodologías de investigación social*. Editorial Académica Española.
- Hailu, Y., Hanchiso, T., & Bereta, A. (2019). Municipal Solid Waste Suitable Disposal Site Selection, Case Study, Wolkite Town, Ethiopia. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 20(4). <https://doi.org/10.19080/ijesnr.2019.20.556044>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Universidad de Celaya
- Hernández Sampieri, R., FernándezCollado, C., & BaptistaLucio, M. del P. (2022). *Metodología de la investigación* (7ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Huaire inacio, J. (2019). Método de investigación. <https://www.academica.org/edson.jorge.huaire.inacio/78>
- Ichpas Curaca, Y. A., & Sanchez Huaman, J. (2021). *Sitios óptimos para rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica para la ciudad de Huancavelica* [Tesis para optar el título profesional. Universidad César Vallejo].

http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ito Capacoila, Y. (2020). *Identificación de áreas potenciales para relleno sanitario aplicando Sistemas de Información Geográfica en el Distrito de Coata – Puno* [Tesis para optar e el bachiller. Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2038/Gloria_Trabajo_Academico_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Javier Silva, L. A. (2015). *Sistemas de información geográfica y la localización óptima de instalaciones para residuos sólidos: propuesta para la provincia de Huánuco* [Tesis para optar título profesional de Geógrafa. Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. - UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/4809>

Kareem, S., Al-Mamoori, S. K., Al-Maliki, L. A., Al-Dulaimi, M. Q., & Al-Ansari, N. (2021). Optimum location for landfills landfill site selection using GIS technique: Al-Naja city as a case study. *Cogent Engineering*, 8(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1863171>

Kasa, S., Yao, L., Perinaz Bhada, T., & van woerden, F. (2018). what a waste 2.0 a global snapshot of solid waste management to 2050. *World Bank Group*. <http://hdl.handle.net/10986/30317>

Loyaga Rivera, F. (2019). *Identificación de áreas óptimas para instalar un relleno sanitario utilizando sistema de información geográfica en el distrito Las Pirias - Provincia de Jáen* [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional de Jaen]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/149>

Mamani Quiroz, V. (2020). *Identificación de áreas potenciales para la instalación del relleno sanitario aplicando sistemas de información geográfica, en el distrito de Huayrapata, Provincia de Moho, Puno-2020* [Tesis para optar el título profesional. Universidad Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3760/Vanessa_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mancebo Quintana, S., Ortega Pérez, E., Valentin Criado, A. C., Ramos, B. M., &

- Fernández, L. M. (2008). *LibroSIG : aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental*. Madrid- España.
- MINAM. (2016). Plan Nacional De Gestión Integral de Residuos Sólidos. *MINAM*, 80. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2013/10/IMPRIMIR-PLANRES-2016-2024-25-07-16.pdf>
- Decreto Supremo N° 014-2017: Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. *El Peruano*, 32.
- MINAM. (2020). *Guia para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de los residuos solidos municipales*.
- MINAM. (2021). Guia para la identificacion de zonas potenciales para infraestructura de disposicion final de residuos solidos municipales. *Diario Oficial el Peruano*.
- Olaya, V. (2014). *sistema de información geografica*. <http://volaya.es/writing>.
- Parastatidou, E., Voudouris, K., & Kazakis, N. (2024). Determination of Site Suitability for a Sanitary Landfill Using GIS and Boolean Logic: The Case of the Regional Unit of Chalkidiki, Northern Greece †. *Environments - MDPI*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/environments11080175>
- Paredes Paredes, E. (2019). Identificación de áreas óptimas para relleno sanitario de residuos sólidos de la ciudad de Sandia – Puno [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional Del Altiplano]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3278723>
- Paz Atauchi, G. Y. N. (2023). “ *Determinación de las zonas óptimas para relleno sanitario en el distrito de santa ana - cusco , utilizando* [Tesis para optar el titulo profesional. Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/37278>
- Perez Oclocho, N. A. (2019). *Identificación de áreas óptimas para la instalación de un relleno sanitario, utilizando sistemas de información geográfica en el distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén* [Tesis para optar el titulo profesional. Universidad Nacional de Cjamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4087>

- Pinedo Araujo, J. L., & Ramos Hernandez, C. A. (2014). *Propuesta de diseño de un relleno sanitario semi-mecanizado en el distrito moche* [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional de Trujillo]. <https://dspace.unitru.edu.pe/items/d66a44da-2eac-4bb9-bcf9-0fff0004e4f0>
- Ricaldi Atahuaman, J. A., Huaman Asto, M. S., & Callupe Cordova, N. G. (2021). *Diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de El Tambo - Huancayo 2021* [Tesis para optar el título profesional. Universidad Continental]. https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4039/1/TL_GarateDavilaCarlita.pdf
- Rodríguez Larreátegui, R. E. (2020). *Sistemas De Información Geográfica Aplicado a La Localización Óptima De Instalaciones Para Residuos Sólidos En La Provincia De Jaén – Cajamarca* [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional Federico Villareal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/4545>
- Romero Julca, W. (2017). *Identificación de las áreas óptimas para la planta de tratamiento y disposición final de residuos sólidos del distrito de san ignacio, utilizando sistemas de información geográfica - sig* [Tesis para optar el título profesional. Universidad Nacional de Cajamarca].
- Sastre Olmos, P. (2010). *Sistemas de Información Geográfica*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Supo Quispe, E. (2024). *Identificación de áreas potenciales para un relleno sanitario de residuos sólidos municipales, aplicando el SIG, en la provincia el Collao - 2023* [tesis para optar el título profesional. Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/839>
- Uscamayta Maqqe, G. V. (2021). *Determinación de áreas aptas para la instalación de rellenos sanitarios mediante los sistemas de información geográfica, apoyado en la técnica de evaluación multicriterio en la provincia del Cusco* [Tesis para obtener el título profesional. Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61053>

Vasquez Oblitas, J. D. (2023). Identificación de áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario aplicando evaluación multicriterio en el distrito de Chota-Cajamarca-2023 [Tesis para optar el título profesional. Universidad Autónoma de Chota]. <https://repositorio.unach.edu.pe/server/api/core/bitstreams/edfc23ca-ae1e-4683-9a0e-7777fdd8d7da/content>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
Interrogante general	Objetivo general		Variable dependiente	
¿Cuáles son los sitios que cumplan las condiciones óptimas para la instalación de un relleno sanitario, mediante SIG, en el distrito de Pichari, provincia la convención - Cusco?	Identificar áreas óptimas para la instalación de relleno sanitario utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG), en el distrito de Pichari - Provincia La Convención- Cusco.	Hipótesis nula (H0). No existirá alguna área potencial que reúna las condiciones adecuadas para la instalación de relleno sanitario. Hipótesis alternativa (H1). Existirán sitios potenciales que reúnan las condiciones adecuadas para la instalación de un relleno sanitario.	Identificación de áreas óptimas para la instalación de relleno sanitario. Variable independiente Sistema de información geográfica	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN Cuantitativo TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo DISEÑO DE INVESTIGACIÓN No experimental, transversal. INSTRUMENTOS - Software ArcGIS 10.8. - Google Earth Pro. - Sistema de Posicionamiento Global (GPS). - Fuentes de Datos y Mapas Temáticos.
Interrogantes específicos	Objetivos específicos			
1.¿Cuáles son los criterios de selección que nos permita elaborar mapas temáticos para fijar zonas apropiadas para la instalación del relleno sanitario?	1.Utilizar los criterios de selección que nos permita elaborar mapas temáticos para fijar áreas óptimas para la instalación de un relleno.			
2.¿Qué datos de ponderación se le otorgará según la técnica de evaluación multicriterio?	2.Generar base de datos y ponderación basadas en técnica de evaluación multicriterio.			
3.¿Cuál es el tipo de relleno sanitario a instalar en el distrito de Pichari?	3.Identificar el tipo de relleno sanitario a instalar.			
4.¿Cuáles serán los sitios óptimos para la instalación de un relleno sanitario mediante el SIG?	4.Localizar sitios óptimos para la instalación de rellenos sanitarios mediante el SIG.			

Anexo 2: Datos obtenidos del geo servidores del estado

Figura 29

Información cartográfica de pendientes del distrito de Pichari

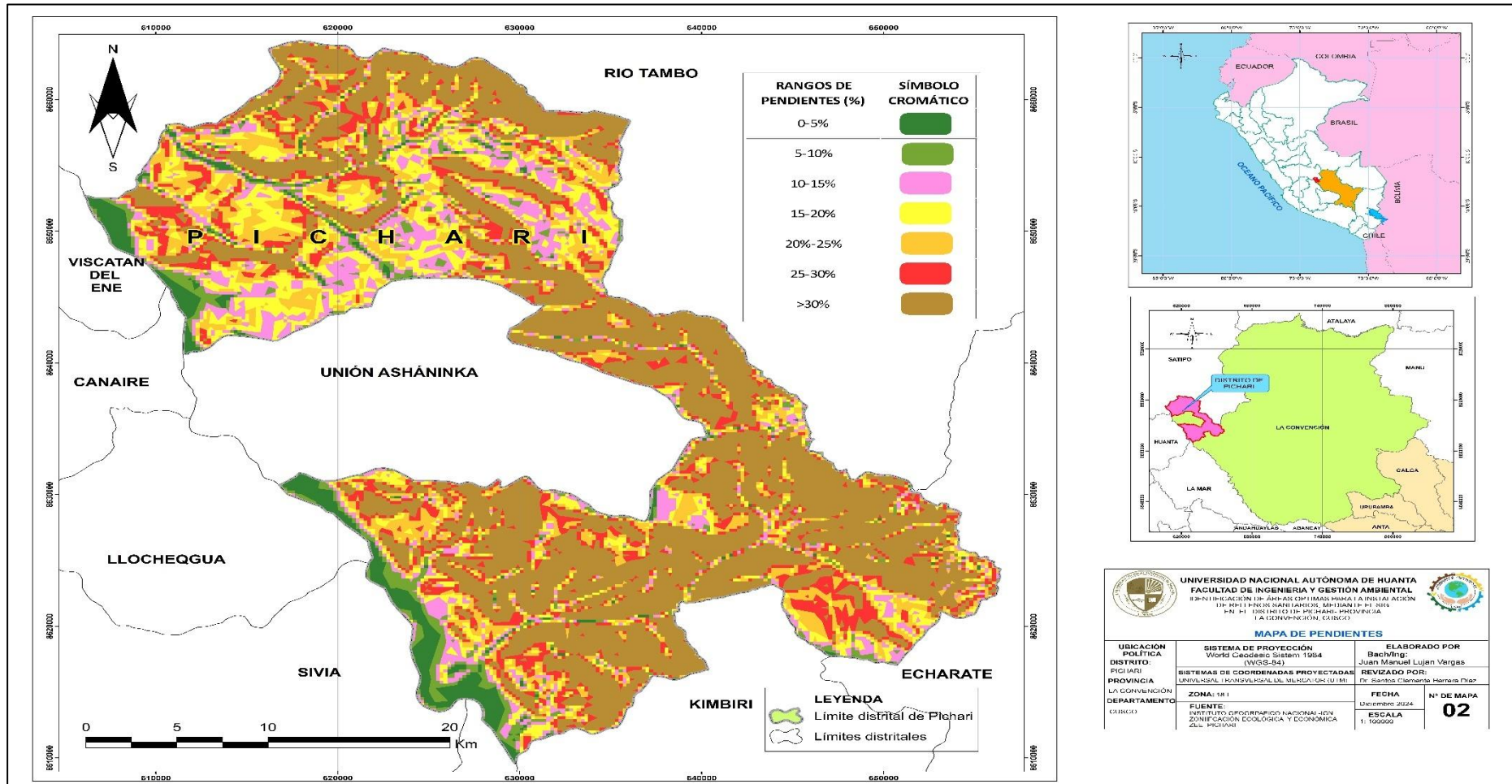


Figura 30

Información geográfica de fallas geológicas del distrito de Pichari

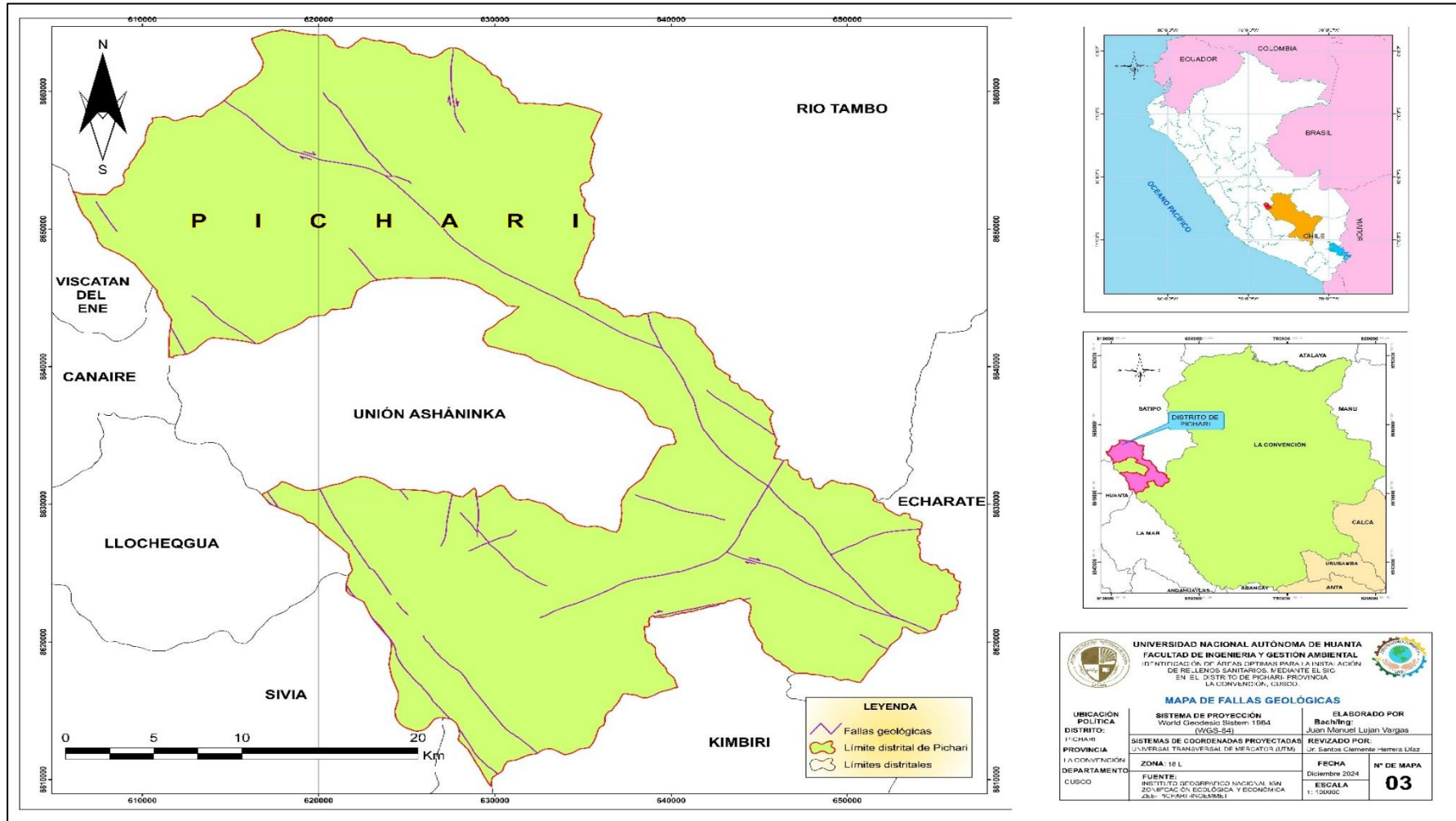


Figura 31

Información geográfica de red hídrica del distrito de Pichari

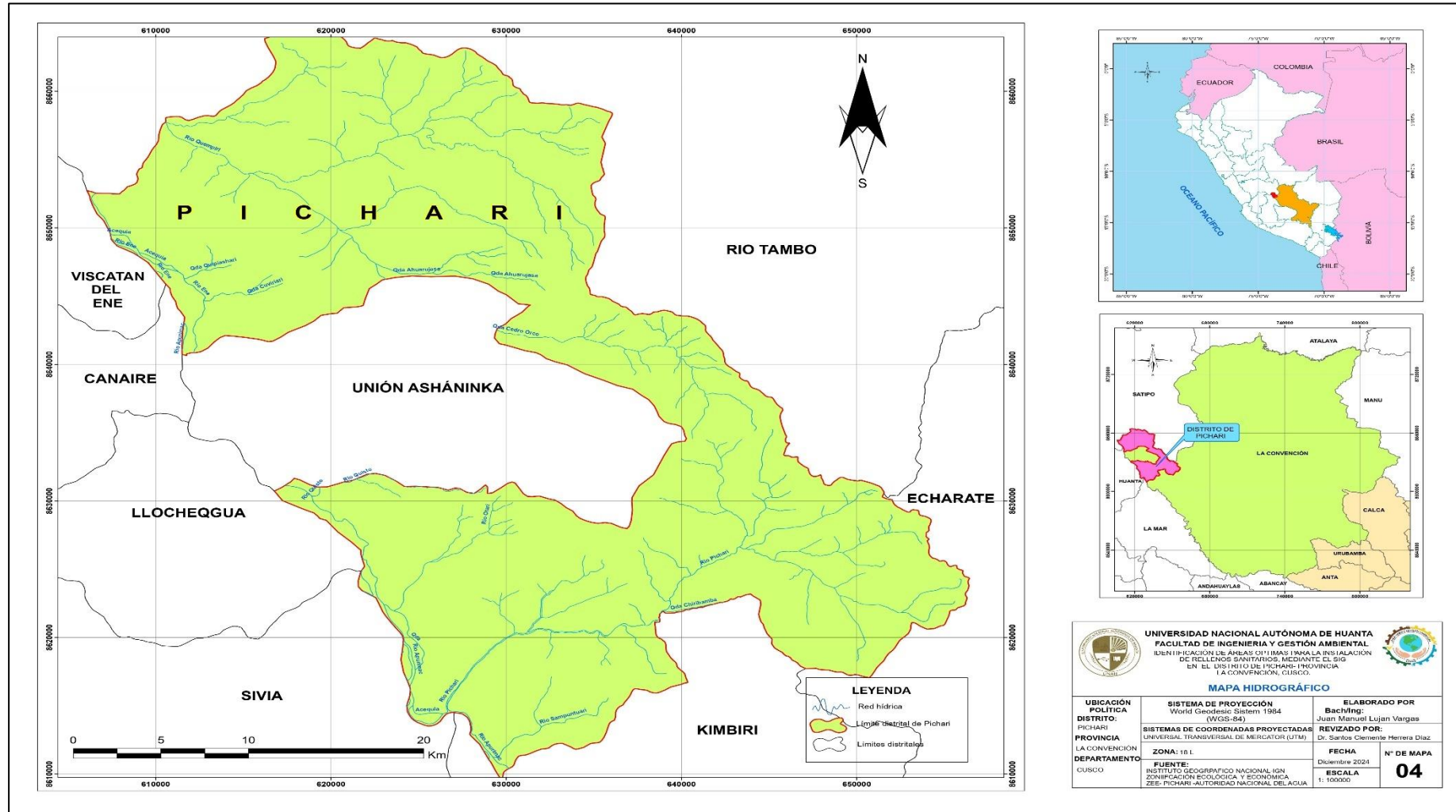


Figura 32

Información geográfica de Áreas Naturales protegidas por el estado (ANP), en el distrito de Pichari

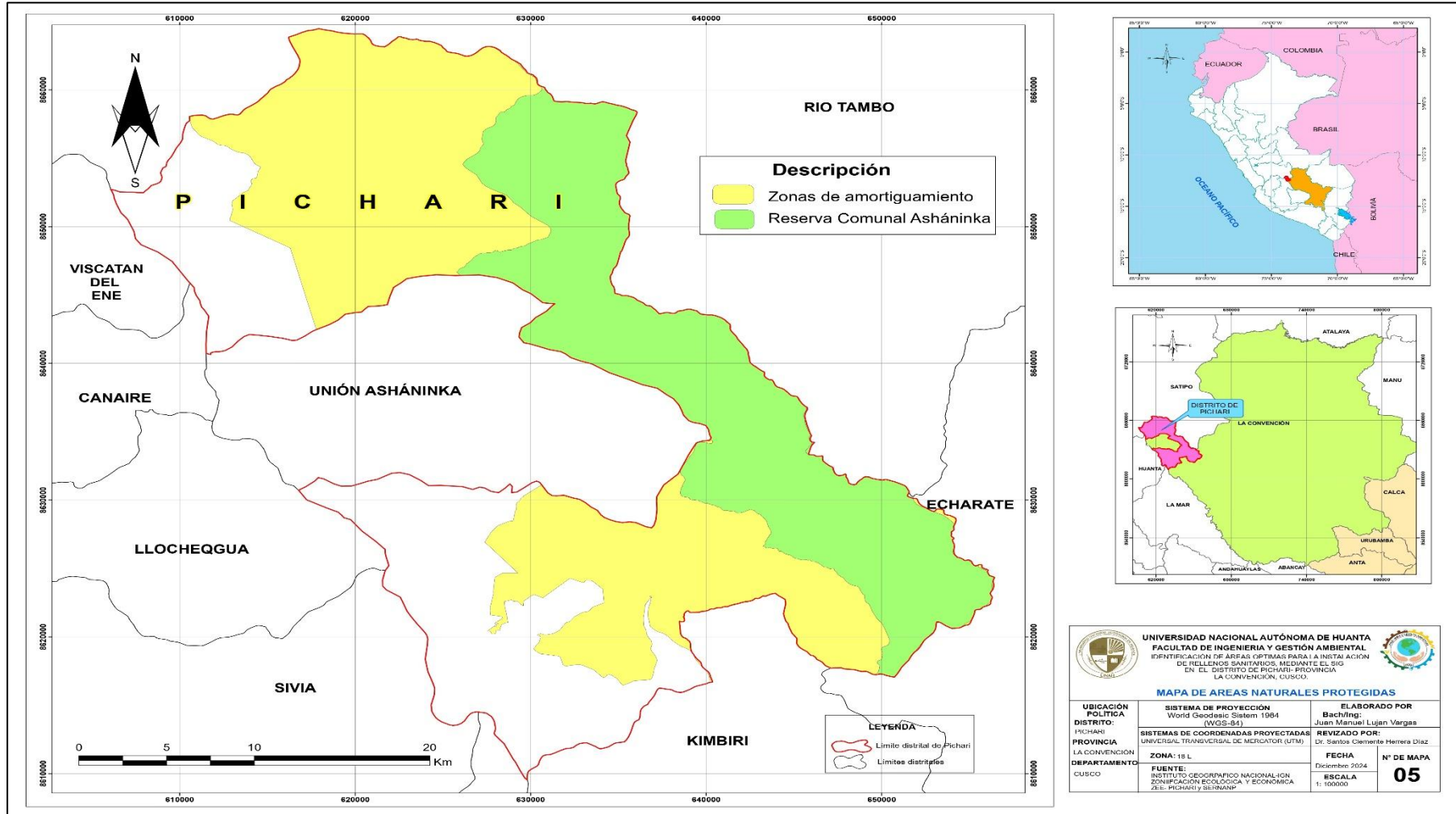


Figura 33

Información geográfica de vías de acceso del distrito de Pichari

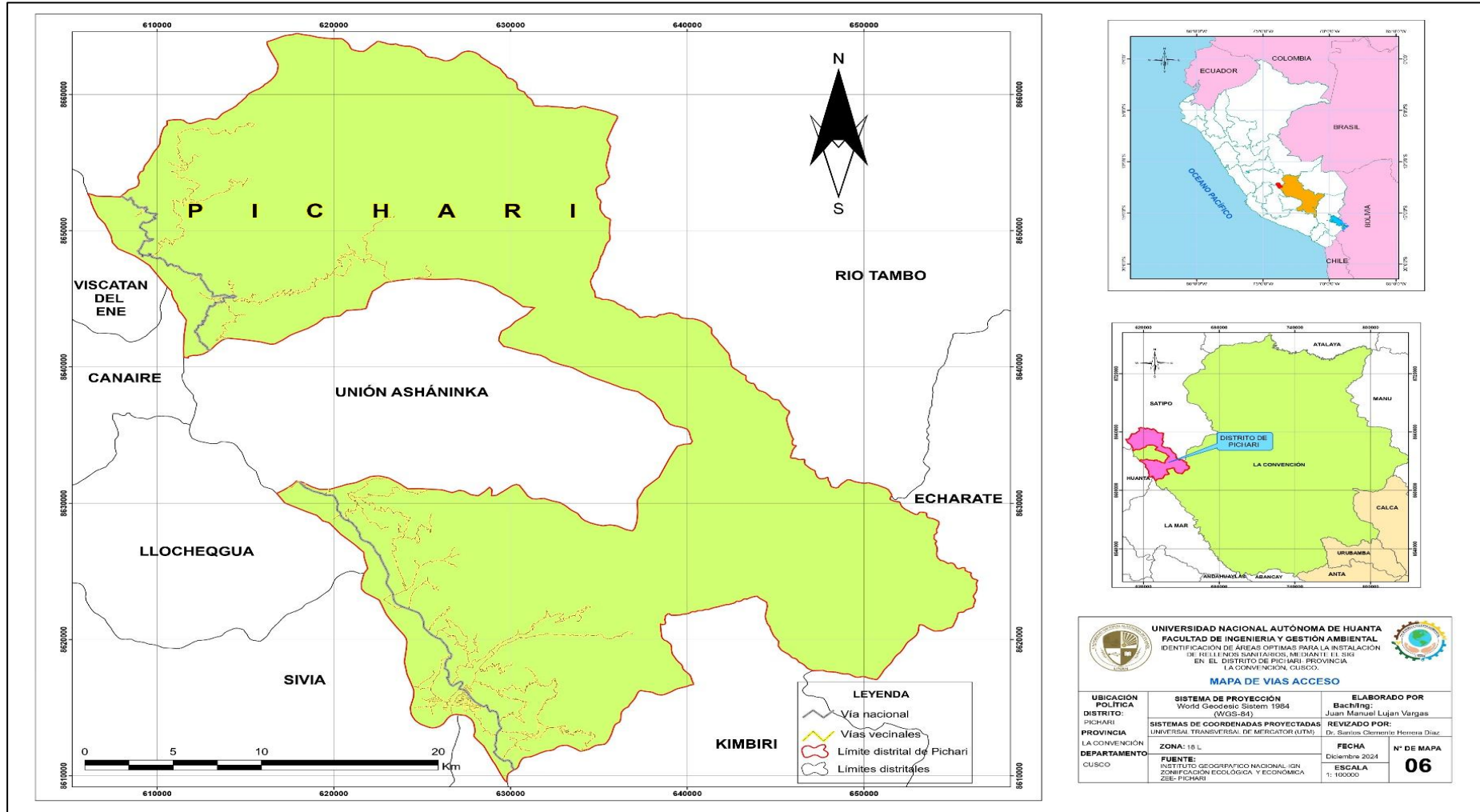


Figura 34

Información geográfica de sitios arqueológicos en el distrito de Pichari

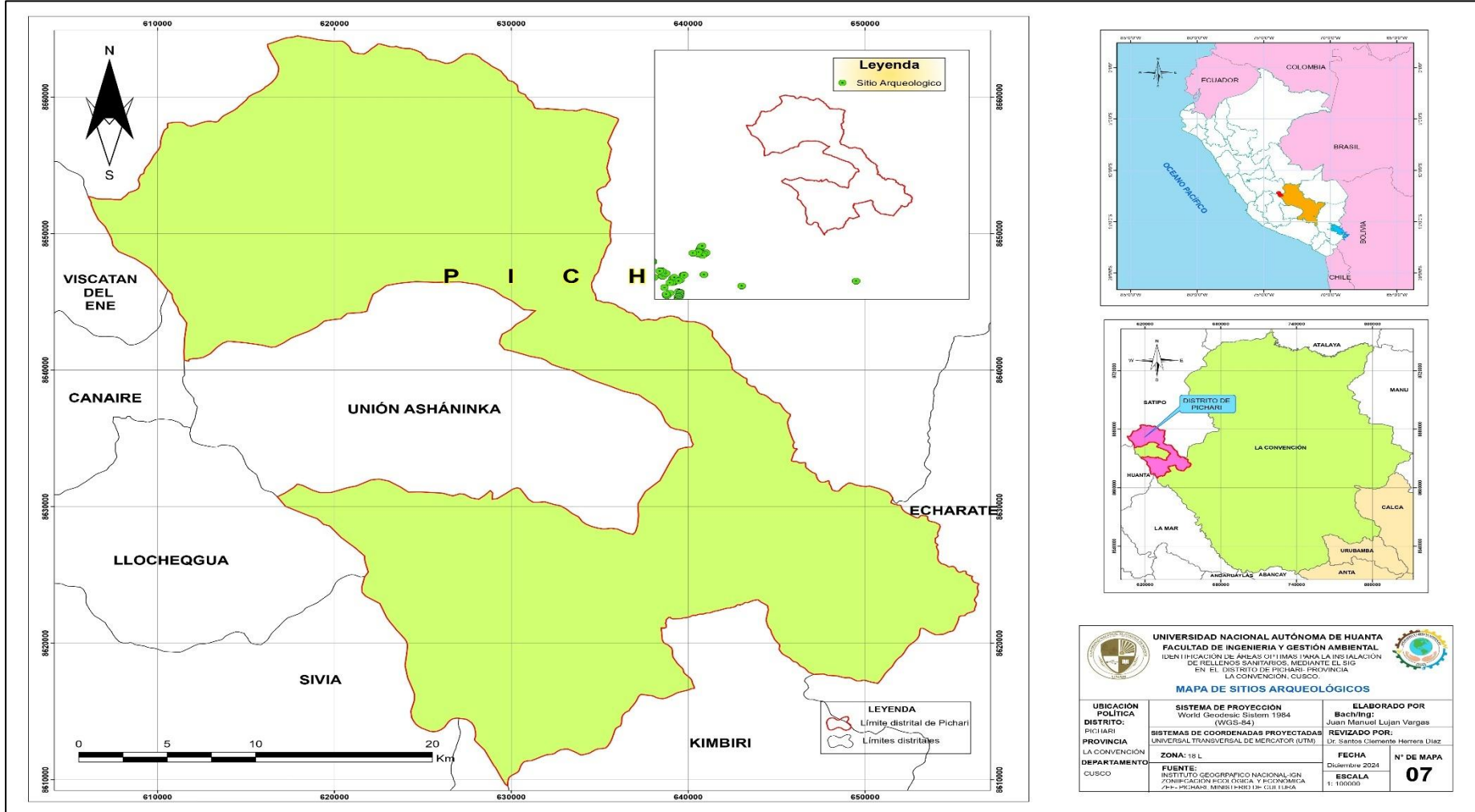


Figura 35

Información geográfica de áreas urbanas

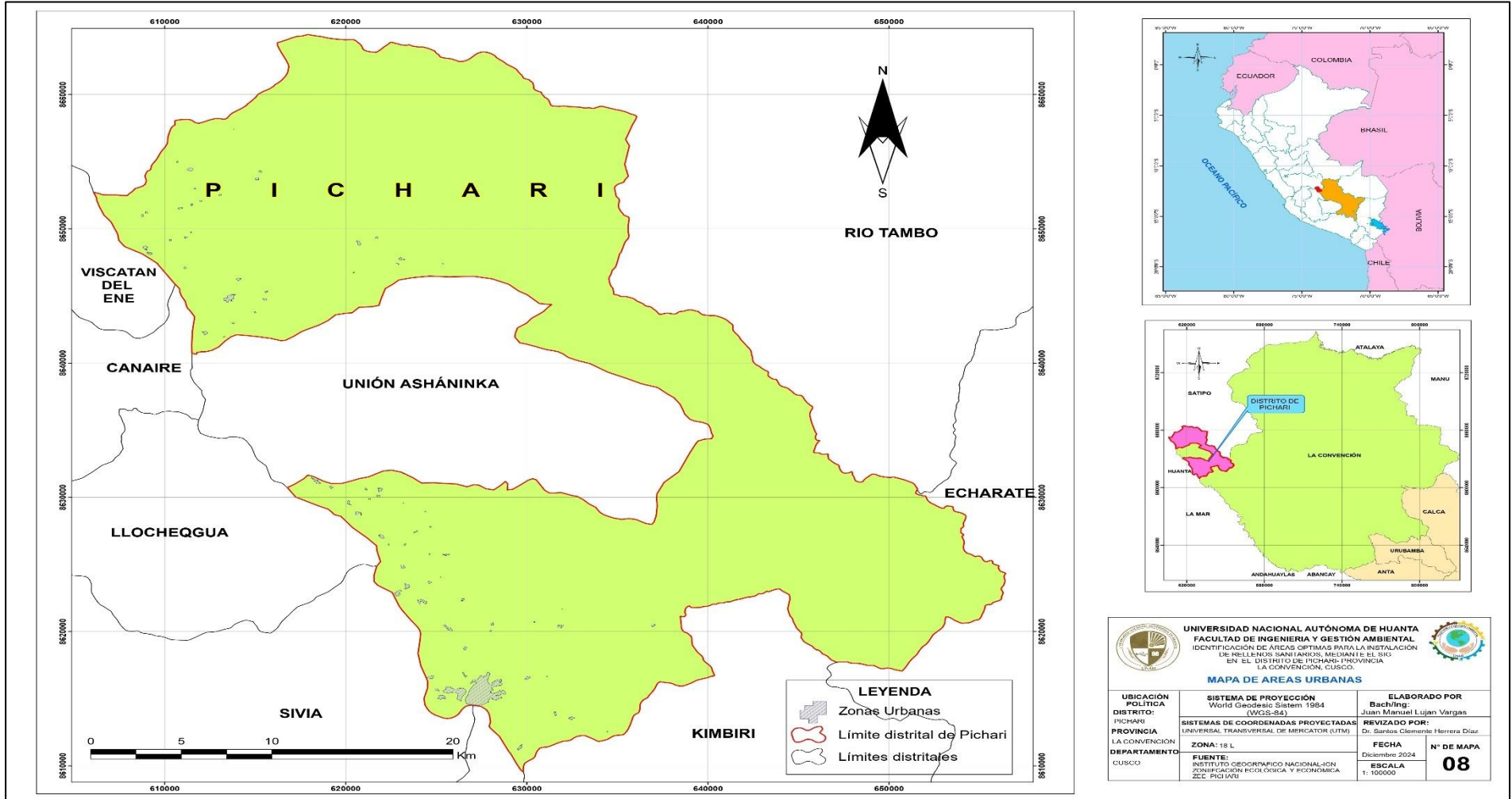
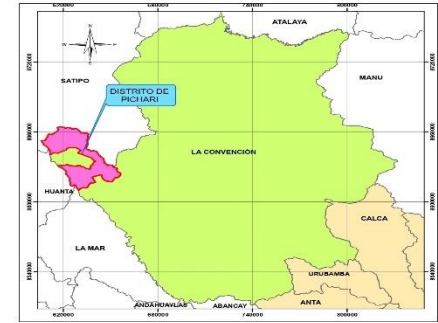
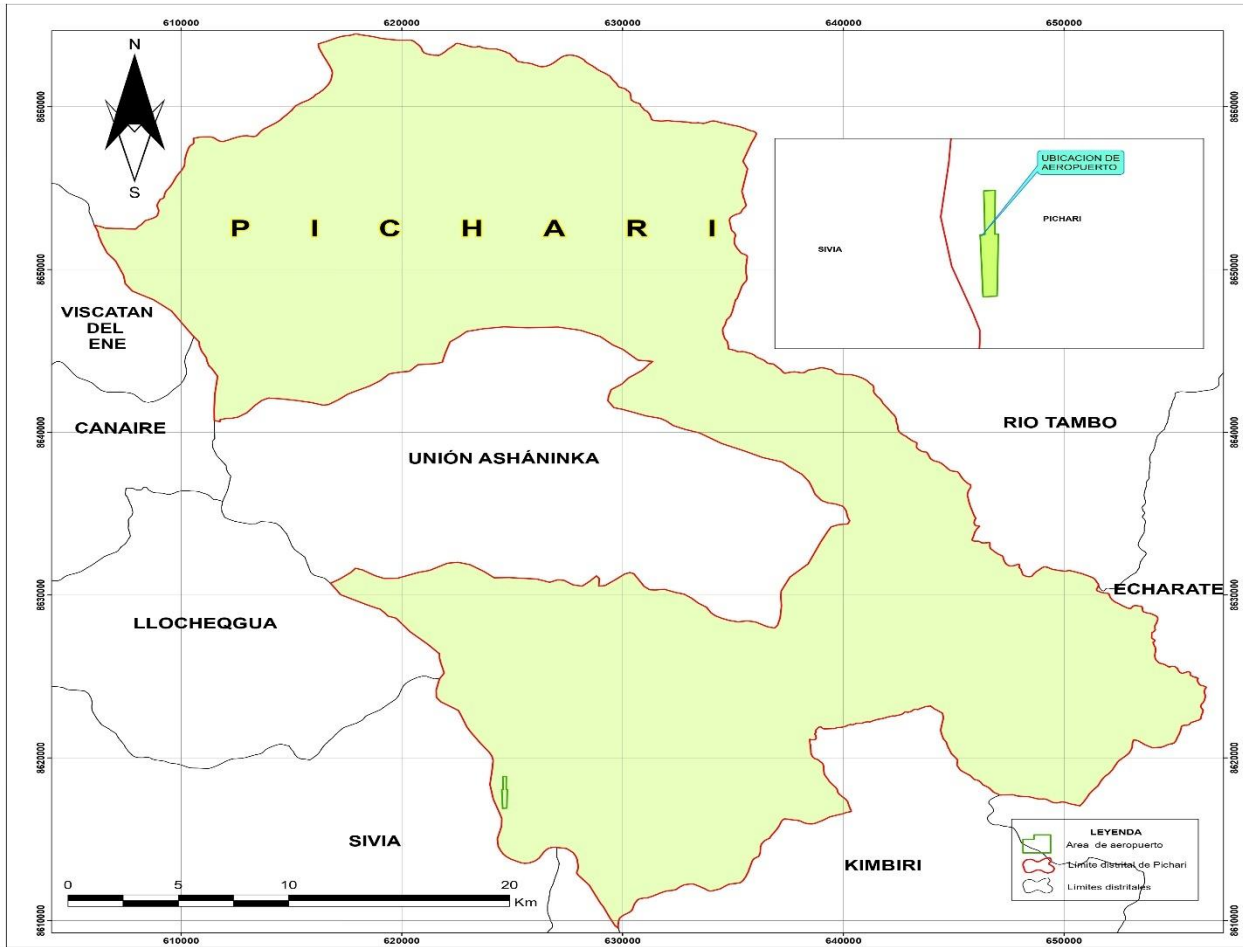


Figura 36

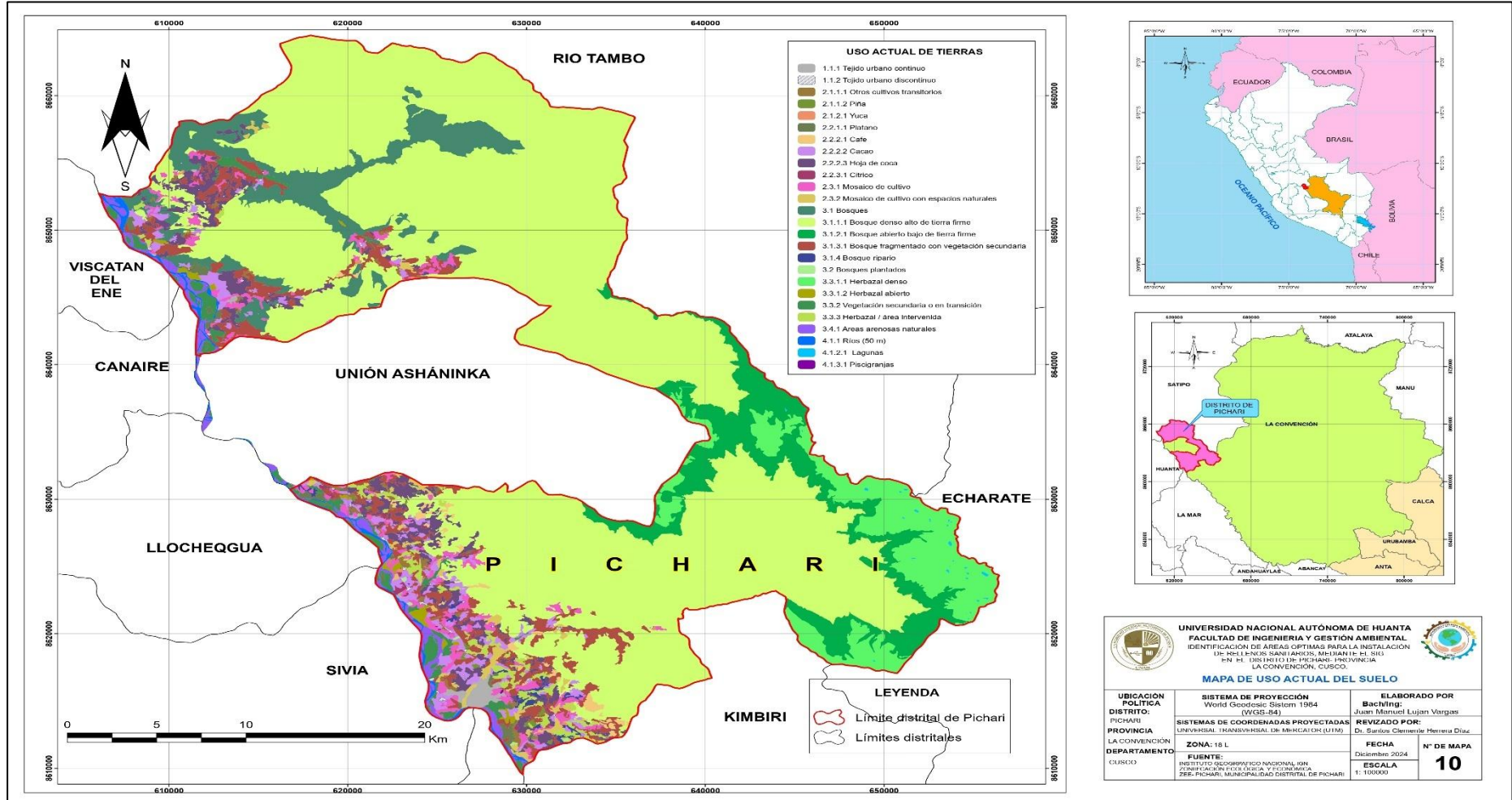
Información geográfica de mapa del aeródromo del distrito de Pichari



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HUANTA FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS OPTIMAS PARA LA INSTALACIÓN DE PEQUEÑOS AEROPUERTOS, MEDIANTE DEL SIG EN EL DISTRITO DE PICHARI- PROVINCIA LA CONVENCION, CUSCO</p> <p align="center">MAPA DE UBICACIÓN DE AEROPUERTO</p>			
UBICACIÓN POLÍTICA: DISTRITO: PICHARI PROVINCIA: LA CONVENCION DEPARTAMENTO: CUSCO	SISTEMA DE PROYECCIÓN: World Geodesic System 1984 (WGS-84) SISTEMAS DE COORDENADAS PROYECTADAS: UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (UTM) ZONA: 18 E FUENTE: INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL CON ZONIFICACIÓN GEOGRÁFICA Y DEMOGRÁFICA ZED: PICHARI, MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PICHARI	ELABORADO POR: Bach/Ing: Juan Manuel Lujan Vargas REVISADO POR: Dr. Santos Clemente Herrero Diaz FECHA: Diciembre 2024 ESCALA: 1: 100000	N° DE MAPA: 09

Figura 37

Información geográfica de uso actual de suelo en el distrito de Pichari



Anexo 3: Panel fotográfico (validación en campo).

Figura 38

Validación de campo del área Ñ, comunidad nativa Gran Shinungari.



Figura 39

Validación de campo del área C



Figura 40

Presencia de diversidad especímenes de fauna silvestre en áreas N, C, F, M y H, territorios de comunidad asháninca Catungo Quimpiri y Gran Shinungari

**Figura 41**

Validación de campo en el área N, presencia de fuentes hídricas



Figura 42

Validación de campo de área Ñ, diversidad de flora.

**Figura 43**

Validación de campo de área B



Figura 44

Validación de campo del área F, territorio de CC. NN Gran Shinungari

**Figura 45**

Área F, presencia de variedades de flora y fauna (bosque primario)



Figura 46

validación de campo en zona fronterizo entre el distrito de Pichari (cusco) y Rio Tambo (Junín).

**Figura 47**

Validación de campo área D, zona de conflicto territorial entre las regiones Cusco y Junín



Figura 48

Validación de campo del área L, zona de alta densidad de bosque

**Figura 49**

Validación de campo de área A, G, L, K y E, zona de fronterizo con conflicto territorial entre las regiones de Junín y Cusco.



Figura 50

Vía de acceso principal a centro Poblado de Natividad

**Figura 51**

Puesto de Salud de Natividad



Figura 52

Fuente hídrica ubicado fuera del polígono de las áreas I y J a más de 1000 m.

**Fotografía 53**

Vista panorámica del centro poblado de Natividad



Figura 54

Validación de campo del área j

**Figura 55**

Validación de campo área I, existencias de vías de acceso



Figura 56

Vista panorámica del área I, desde otro extremo del lugar

**Figura 57**

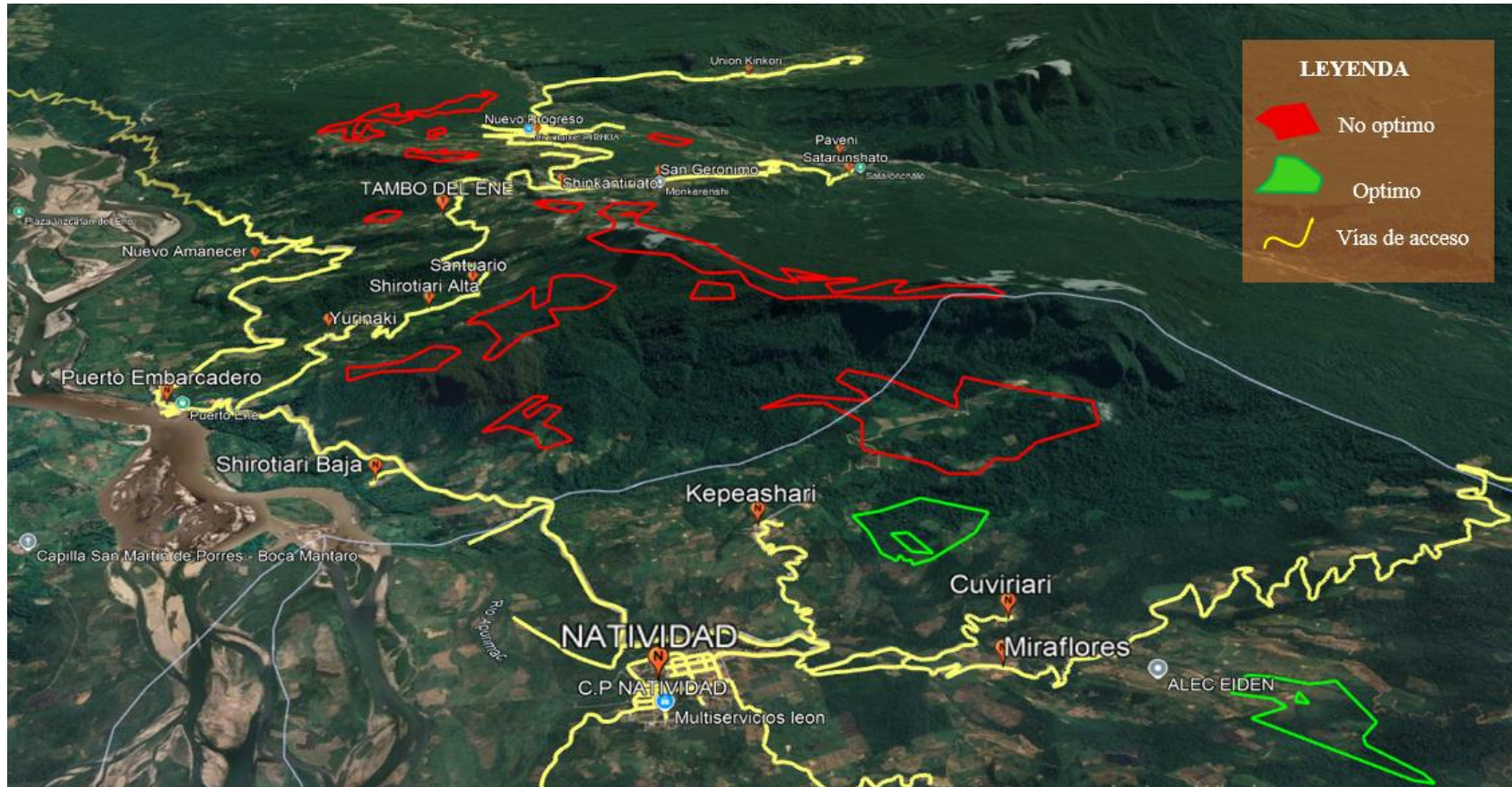
Validación de campo área j



Anexo 4: Imágenes satelitales desde Google Earth

Figura 58

Vista desde Google Earth de los sitios localizados para la ubicación de un relleno sanitario



Anexo 5: Figuras que muestran el procedimiento de la evaluación multicriterio en el software ArcGIS 10.8

Criterio 1: Pendientes

Figura 59

Curvas de nivel en formato vectorial

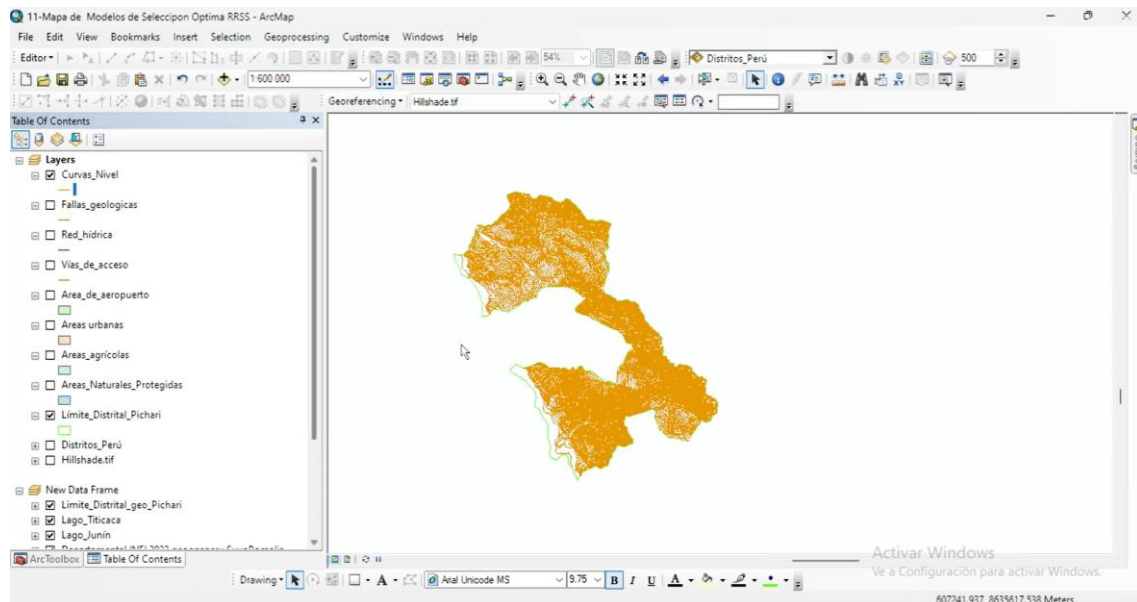
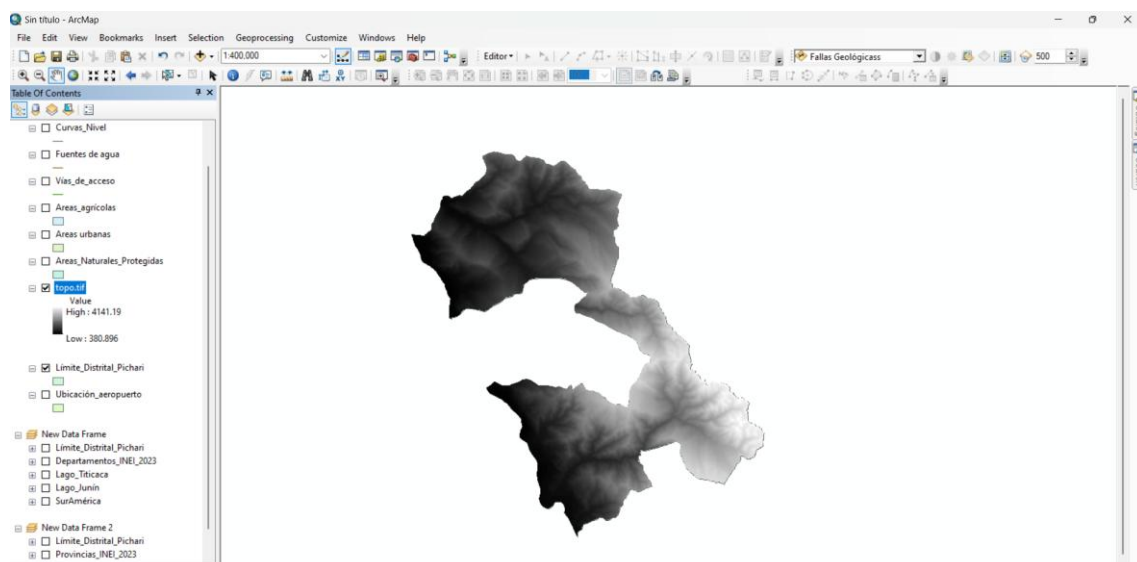


Figura 60

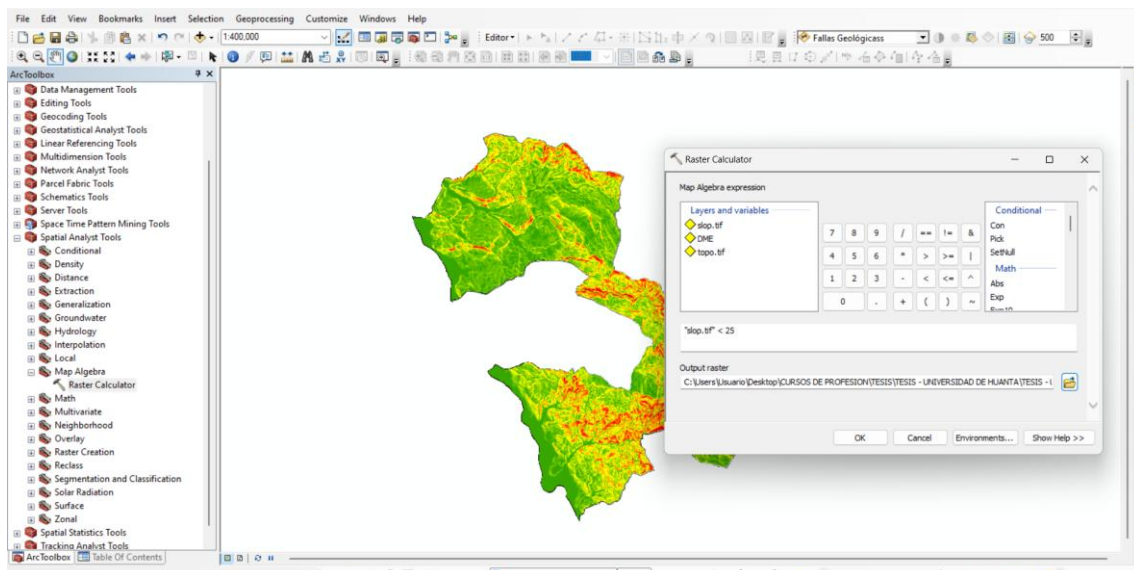
Modelo Digital de Elevación (MDE) generado mediante interpolación Topo to Raster a partir de curvas de nivel



Nota. Procesos utilizados en ArcMap: ArcToolbox → 3D Analyst Tools → Raster Interpolación → Topo to Raster; se utilizó la capa de curvas de nivel (formato vectorial) con el campo de elevación como variable de entrada para generar el MDE en formato ráster, representando la variación altitudinal del terreno.

Figura 61

Ponderación binaria (0,1) del criterio de pendientes

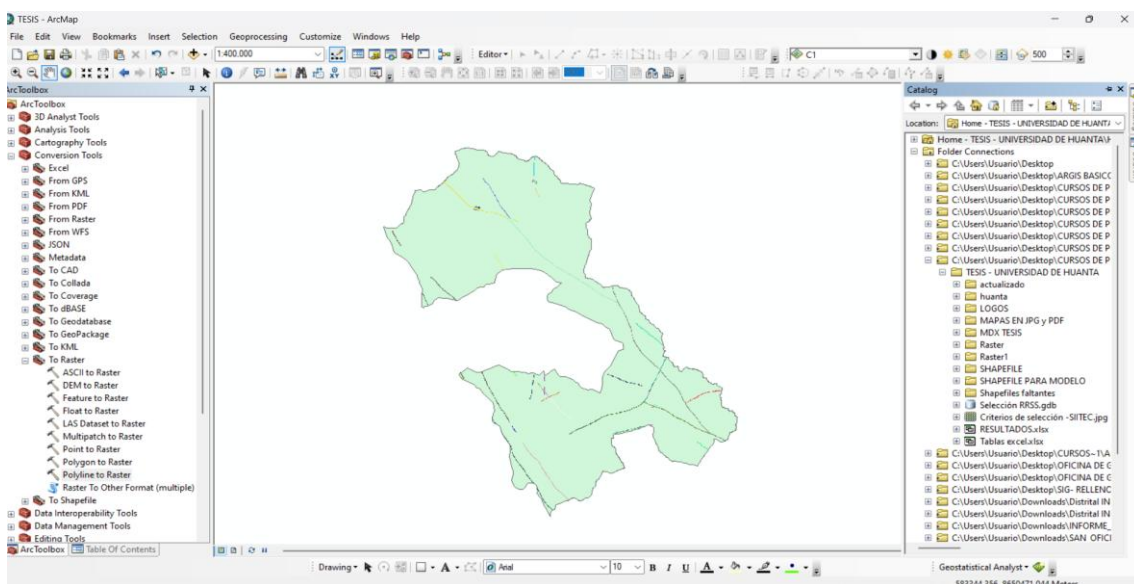


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Surface → Slope, para generar el mapa de pendientes a partir del modelo digital de elevación (MDE). Posteriormente, se aplicó ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator, utilizando la expresión Con ("slop.tif" < 25, 1, 0) para reclasificar el ráster y obtener las áreas aptas (1) y no aptas (0) según el umbral de pendiente establecido (<25 %).

Criterio 2: Fallas geológicas

Figura 62

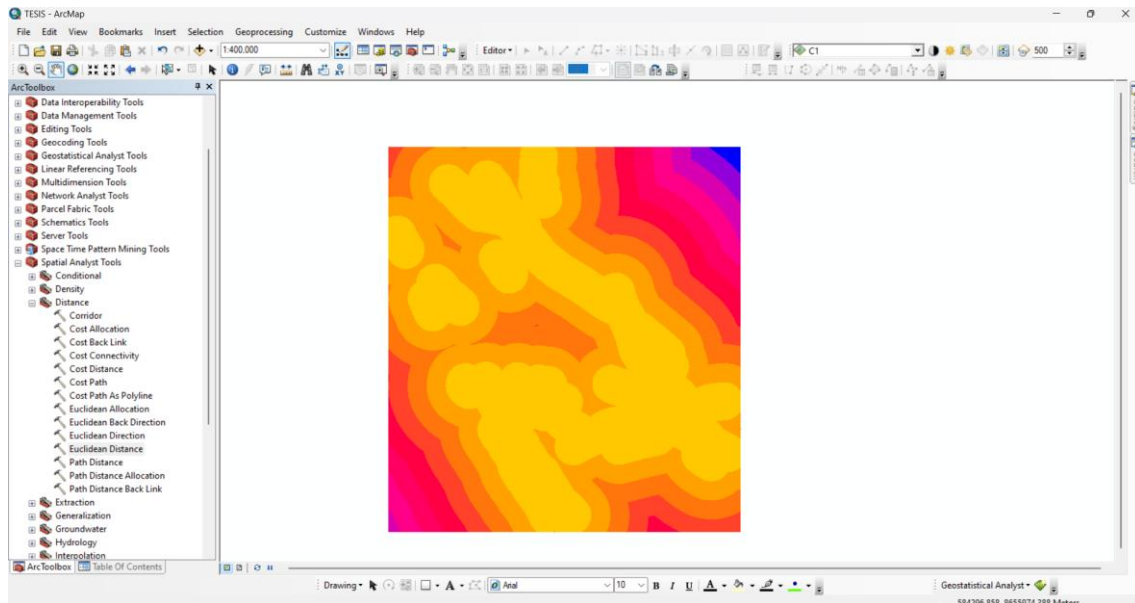
Conversión de la capa de fallas geológicas a formato ráster mediante Polyline to Raster



Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Polyline to Raster; se empleó la capa vectorial de fallas geológicas como entrada, asignando el campo de identificación correspondiente para generar un ráster de líneas, necesario para la aplicación de análisis de distancia y la ponderación binaria (0,1) en la evaluación multicriterio.

Figura 63

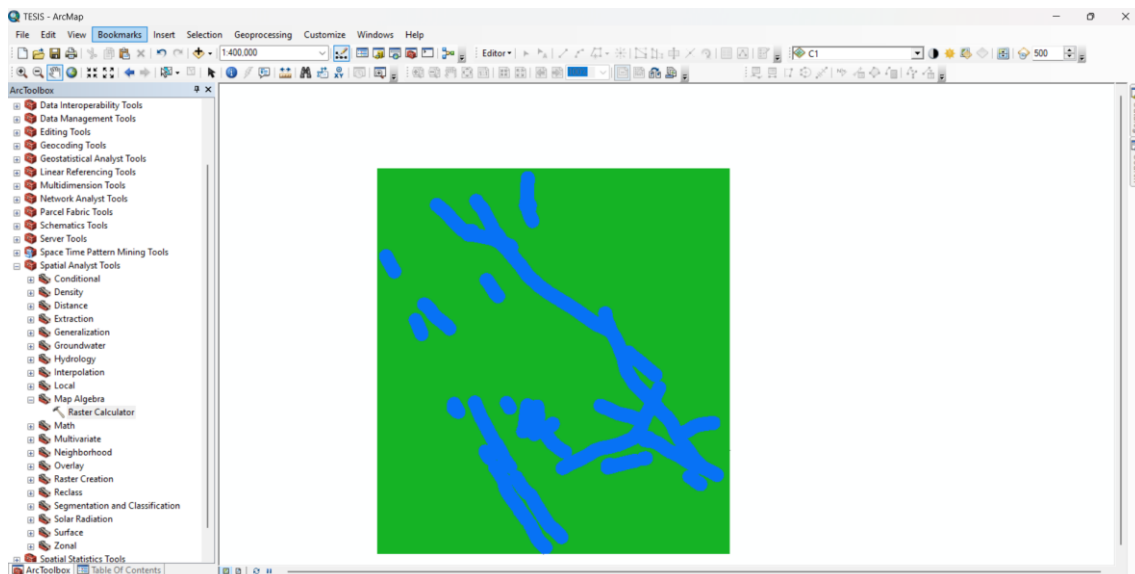
Cálculo de la distancia euclidiana a fallas geológicas.



Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance; se empleó el ráster de fallas geológicas como entrada para calcular la distancia en metros desde cada celda hacia la falla más cercana.

Figura 64

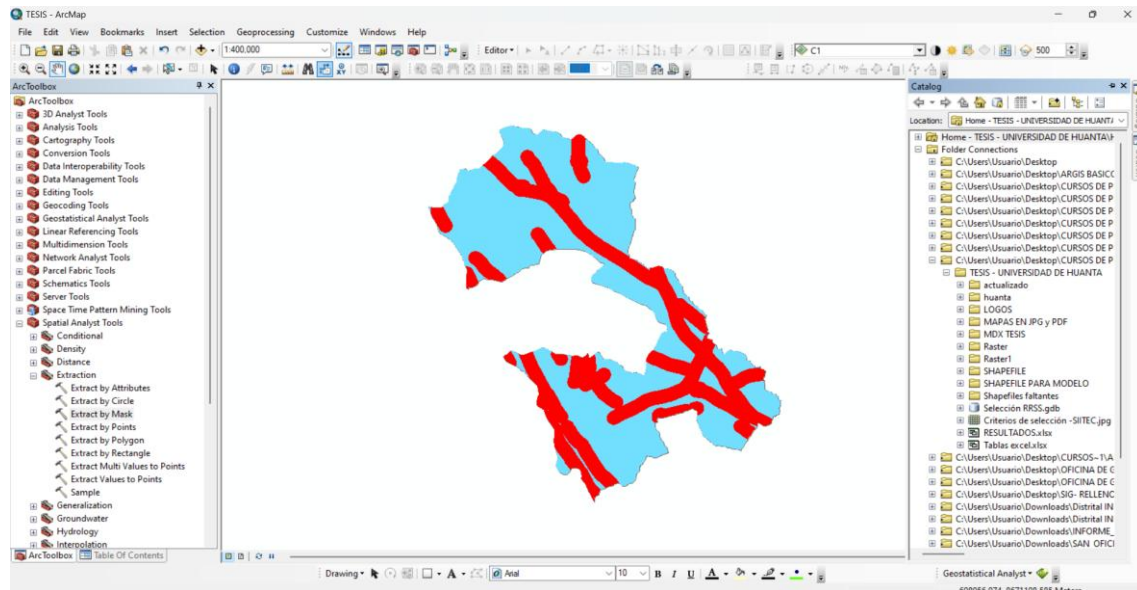
Ponderación binaria (0,1) del criterio de fallas geológicas mediante Map Algebra (Raster Calculator)



Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator; se reclasificó el ráster de distancia euclidiana a fallas con la expresión tipo Con ("Fallas_distance" > 1000 mts,1,0)

Figura 65

Recorte del ráster de distancia a fallas geológicas mediante la herramienta Extract by Mask.

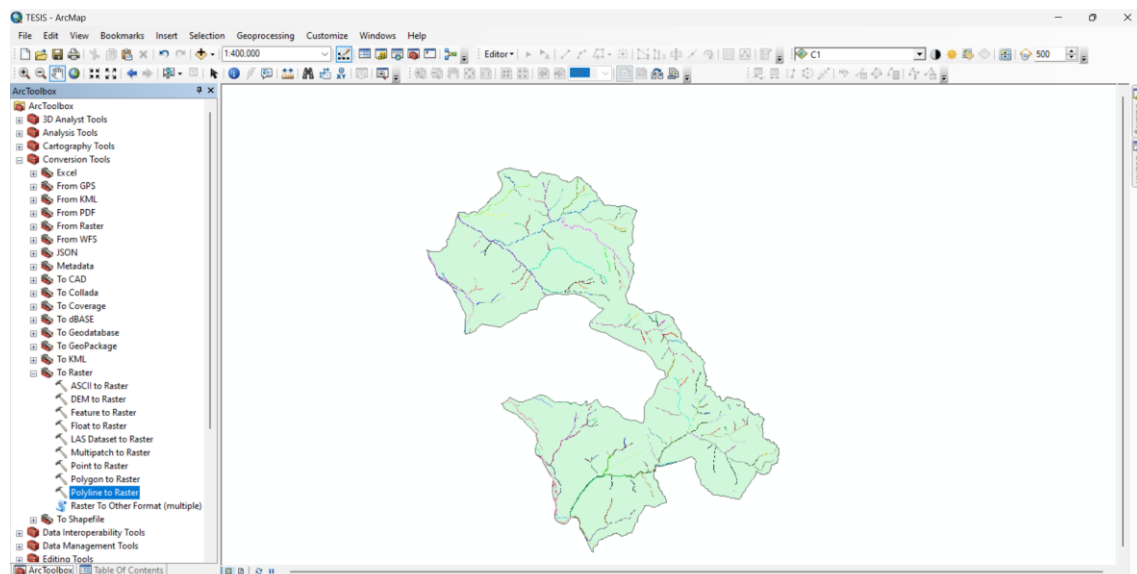


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask (CC2- límite distrital pichari); se utilizó el límite distrital de Pichari como máscara para delimitar el área de análisis, extrayendo únicamente la zona correspondiente al ámbito de estudio y optimizando los resultados del criterio de fallas geológicas en la evaluación multicriterio.

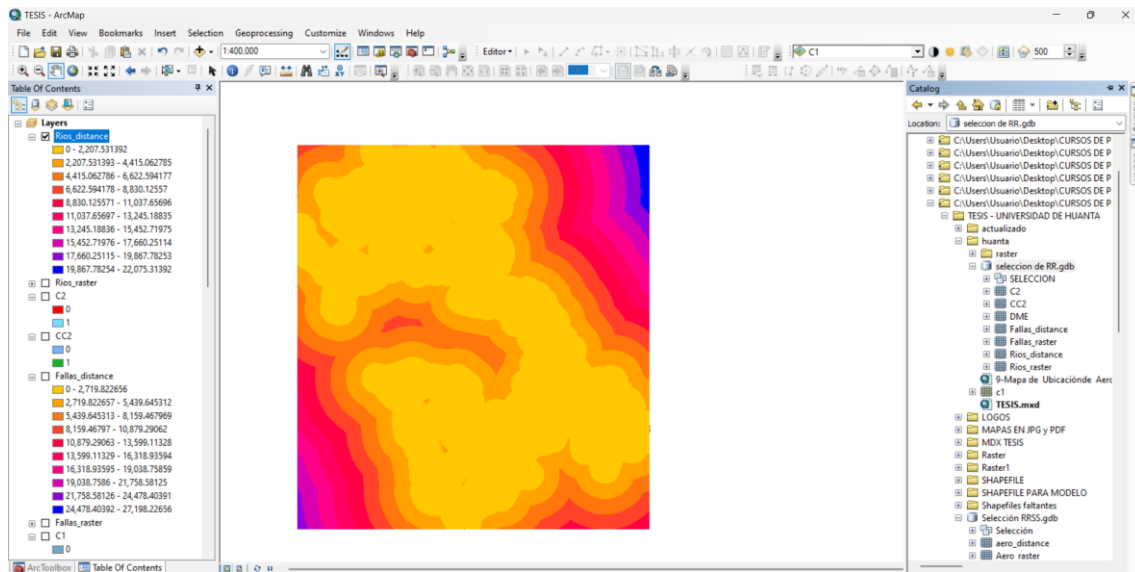
Criterio 3: Fuentes hídricas

Figura 66

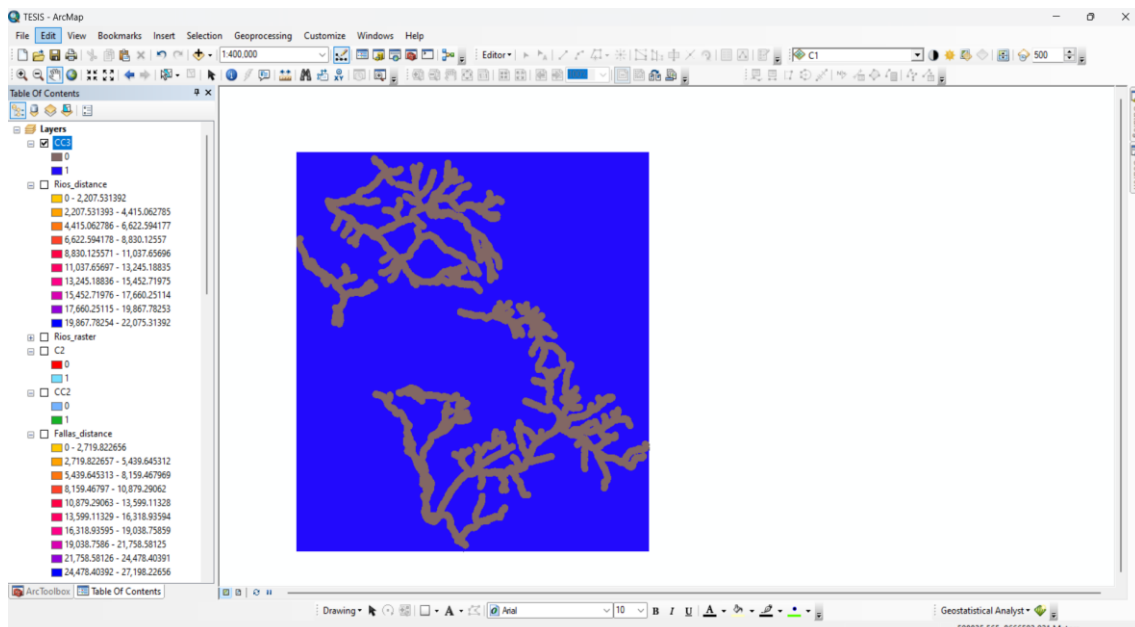
Conversión de la red hídrica a formato ráster mediante la herramienta Polyline to Raster.



Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Polyline to Raster; se utilizó la capa vectorial de red hídrica (ríos y quebradas) como entrada, asignando el campo de identificación correspondiente para generar un ráster de líneas hidrológicas

Figura 67*Cálculo de la distancia euclidiana de fuentes hídricas*

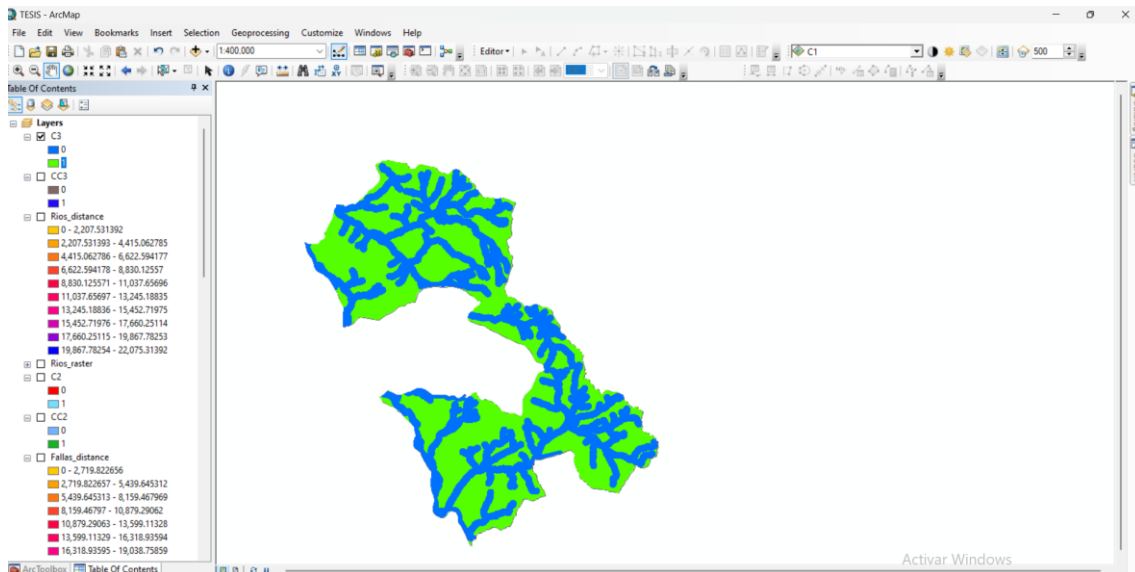
Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance; se empleó el río_ ráster como entrada para calcular la distancia en metros desde cada celda hacia las fuentes hídricas más cercana.

Figura 68*Ponderación binaria (0,1) del criterio de fuentes hídricas mediante Map Algebra (Raster Calculator)*

Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator; se reclasificó el raster de distancia euclidiana con la expresión tipo Con ("Rios_ distance" > 500 mts,1,0). para obtener áreas aptas (1) y no aptas (0) según el umbral definido.

Figura 69

Recorte del ráster de distancia hídrica y el limite distrital

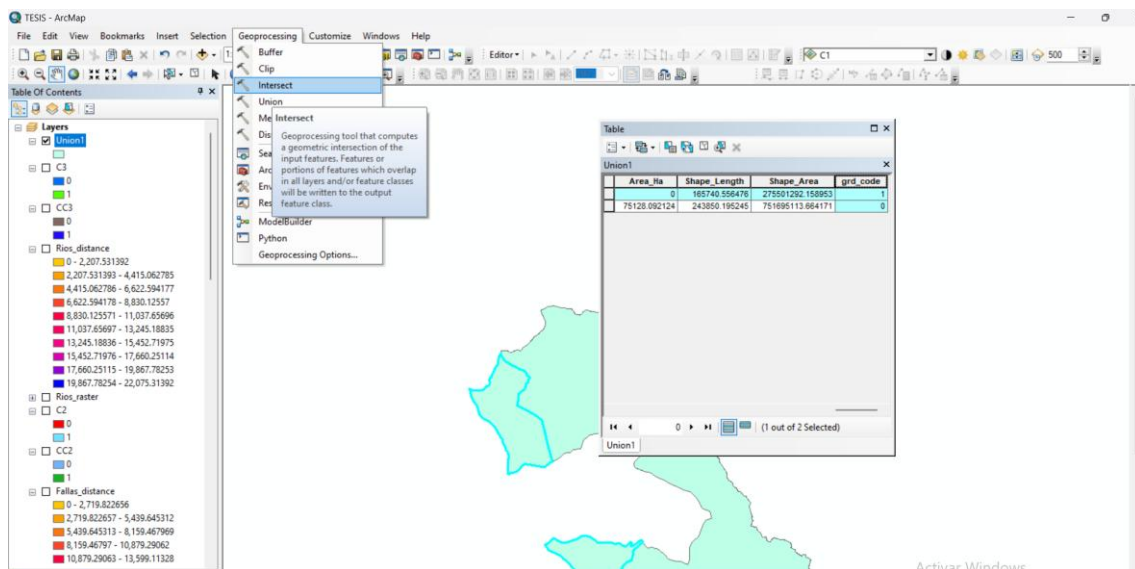


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask (CC3- límite distrital pichari); se utilizó el límite distrital de Pichari como máscara para delimitar el área de análisis, extrayendo únicamente la zona correspondiente al ámbito de estudio y optimizando los resultados del criterio de red hídrica en la evaluación multicriterio.

Criterio 4: Áreas Naturales Protegidas por el Estado (ANPs)

Figura 70

Análisis del criterio de Áreas Naturales Protegidas (ANP).

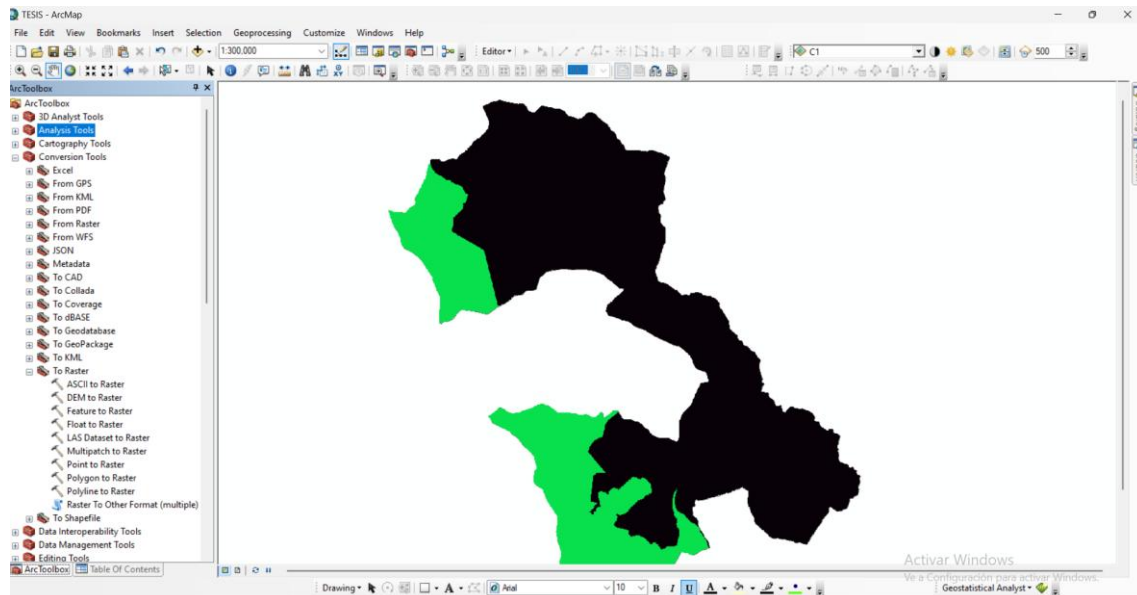


Nota. Procesos realizados: Geoprocessing → Union; se integraron las capas Áreas Naturales Protegidas (ANP) y Límite Distrital, generando una capa combinada que permitió identificar las zonas de superposición. Posteriormente, se codificó el campo `grd_code`, asignando el valor 0 para áreas no aptas (dentro de las ANP) y 1 para áreas

aptas (fuera de las ANP).

Figura 71

Conversión del criterio de Áreas Naturales Protegidas (ANP) a formato ráster.

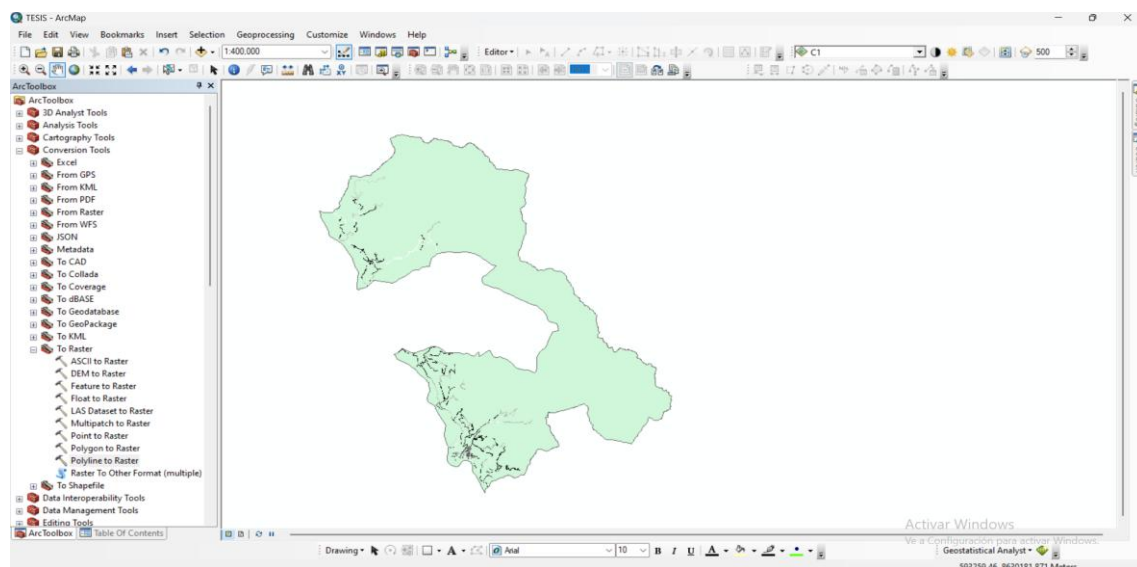


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Polygon to Raster; se utilizó la capa resultante del proceso Union (ANP - Límite Distrital) como entrada, tomando el campo `grd_code` como atributo de conversión. Se generó un raster binario donde el valor 0 representa áreas no aptas (dentro de las ANP) y el valor 1 áreas aptas (fuera de las ANP), dentro del análisis de ponderación binaria (0,1) de la evaluación multicriterio.

Criterio 5: Vías de acceso

Figura 72

Conversión de la capa de vías de acceso a formato ráster.

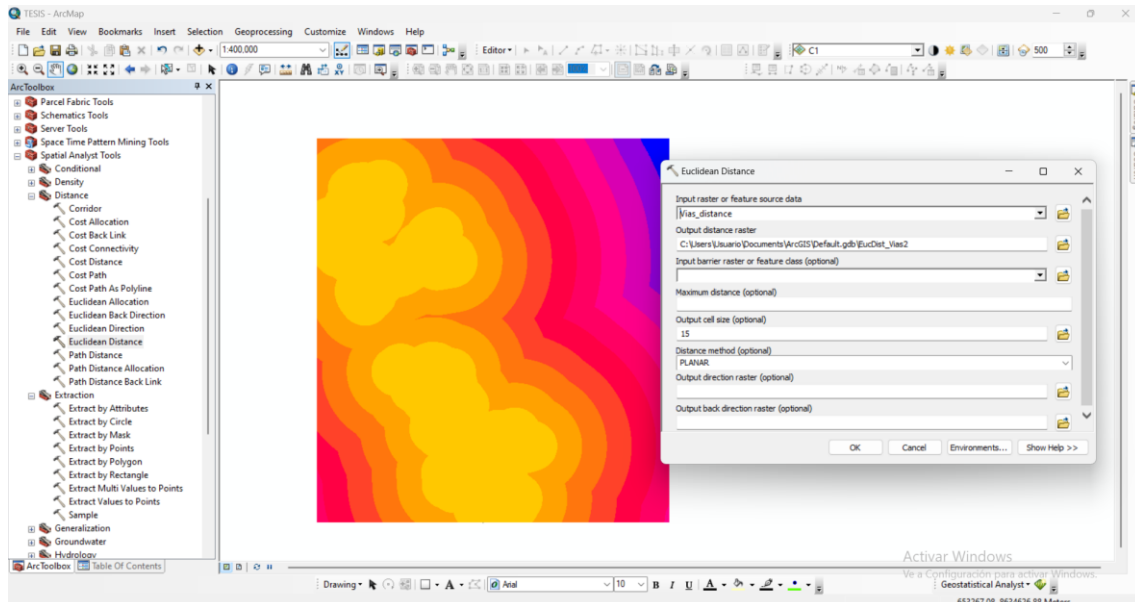


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Polyline to Raster; se utilizó la capa vectorial de vías de acceso (carreteras) como entrada, asignando

el campo de identificación correspondiente para generar un ráster lineal.

Figura 73

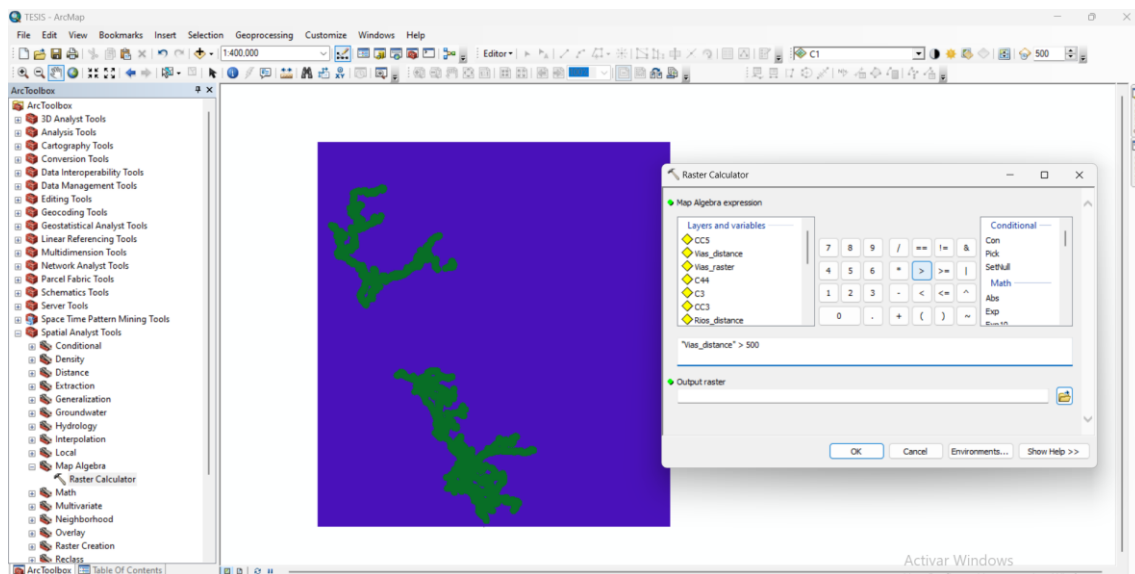
Cálculo de la distancia euclidiana de vías de acceso



Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance; se empleó el ráster de vías de acceso (Vías_raster) como capa de entrada para generar un mapa continuo de distancias en metros desde cada celda hacia la vía más cercana.

Figura 74

Ponderación binaria (0,1) del criterio de vías de acceso

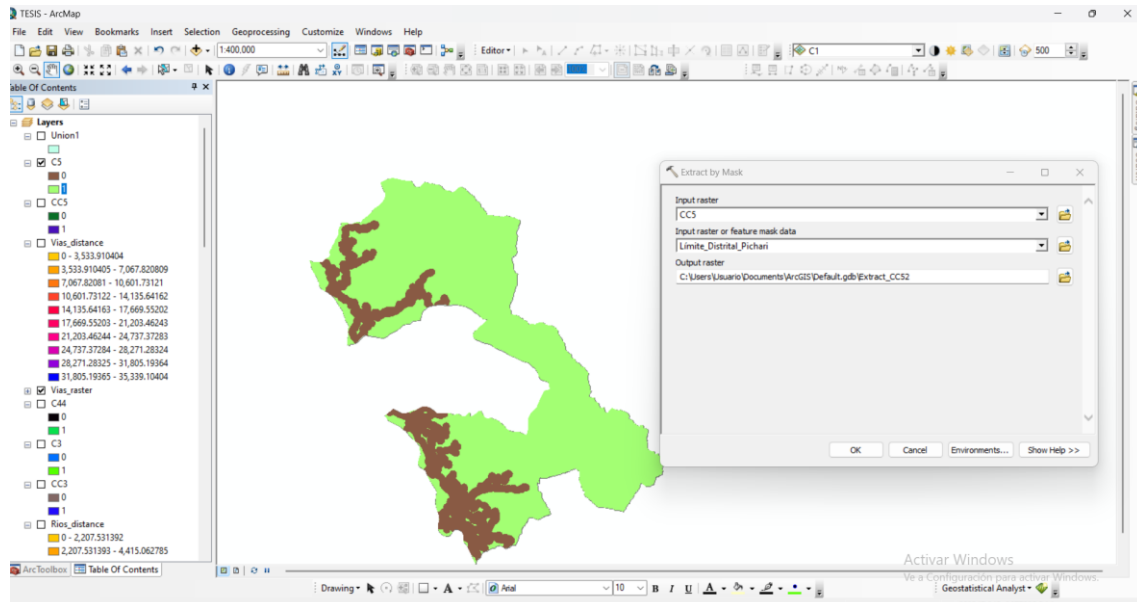


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator; se utilizó el ráster de distancia euclidiana a vías de acceso (**Vías_distance**) como capa de entrada, aplicando la expresión Con ("**Vías_distance**" > 500, 1, 0) para reclasificar las celdas según su proximidad a las vías. El valor **1** representa

áreas aptas (mayor a 500 m de distancia) y 0 áreas no aptas (menor o igual a 500 m), de acuerdo con el criterio de accesibilidad dentro de la evaluación multicriterio.

Figura 75

Recorte del ráster ponderado del criterio de vías de acceso

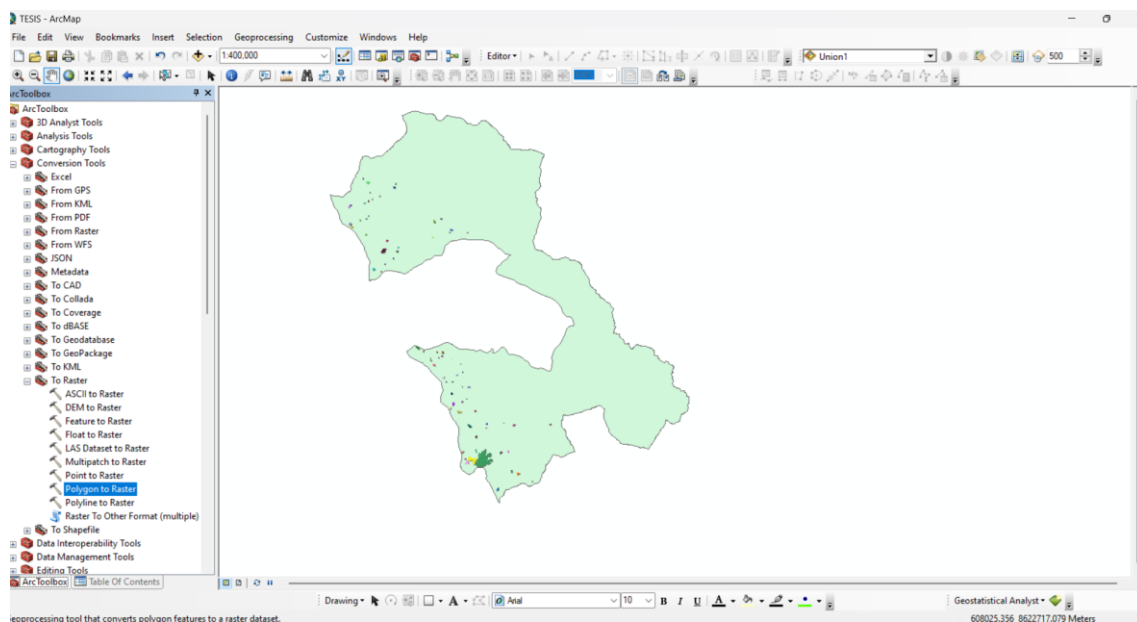


Nota. Elaboración propia. Proceso: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask; se utilizó el ráster ponderado de vías de acceso como capa de entrada y el Límite Distrital de Pichari como máscara de recorte, con el fin de delimitar el análisis al ámbito territorial del distrito.

Criterio 6: Áreas urbanas

Figura 76

Conversión de la capa de centros urbanos a formato ráster

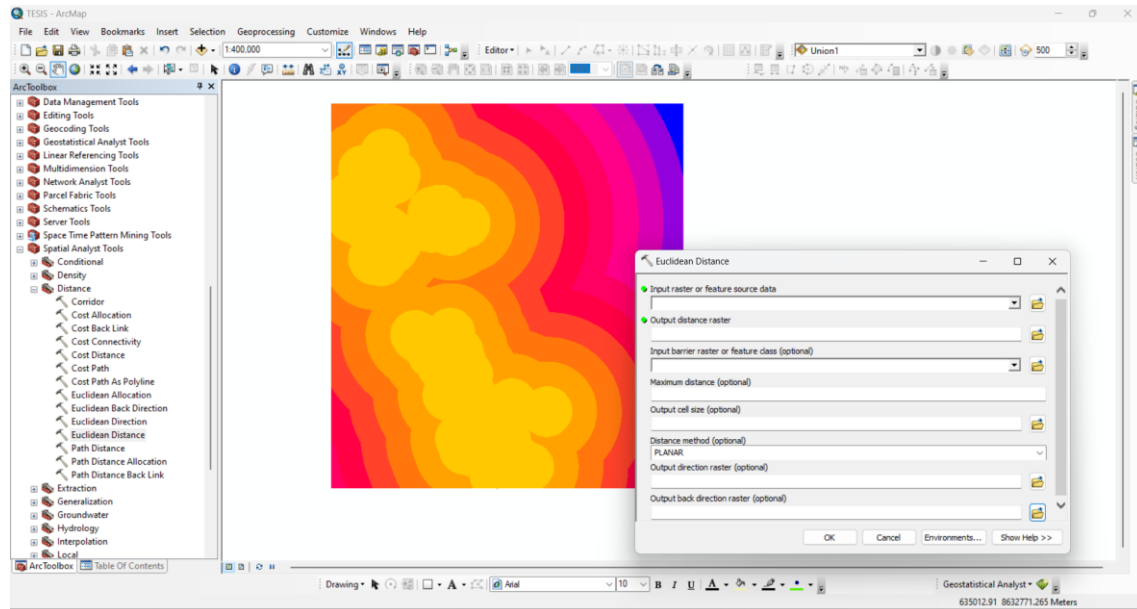


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Point to Raster; se utilizó la capa vectorial de centros urbanos (puntos representativos de

asentamientos poblados) como entrada, tomando el campo de identificación correspondiente para generar un ráster.

Figura 77

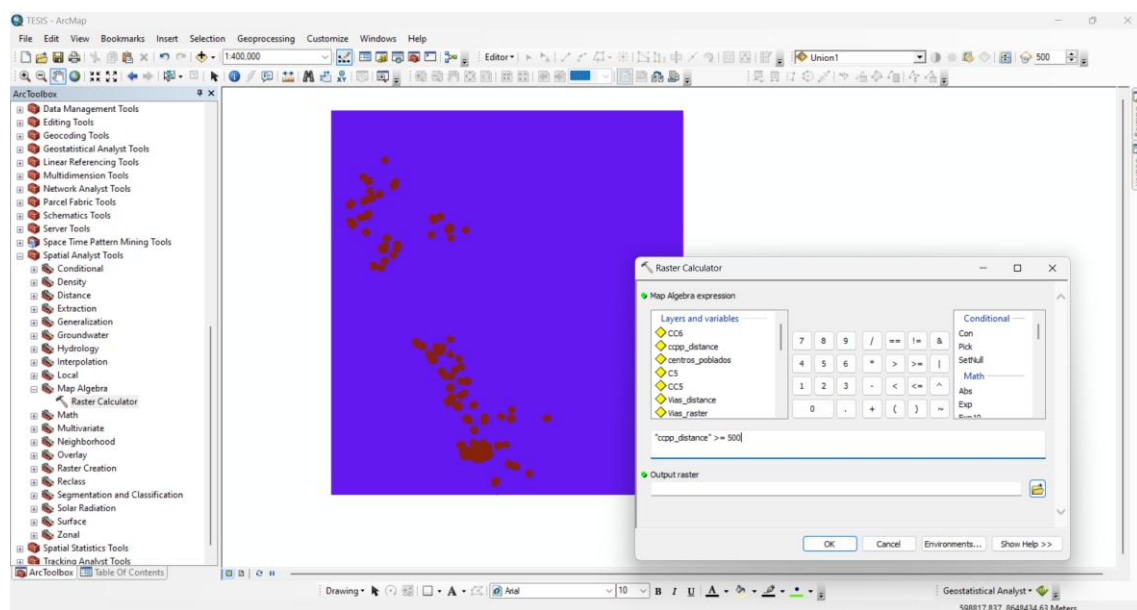
Cálculo de la distancia euclidiana a centros urbanos



Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance; se empleó el ráster de centros urbanos como capa de entrada para generar un mapa de distancias en metros desde cada celda hacia el centro urbano más cercano.

Figura 78

Ponderación binaria (0,1) del criterio de centros urbanos

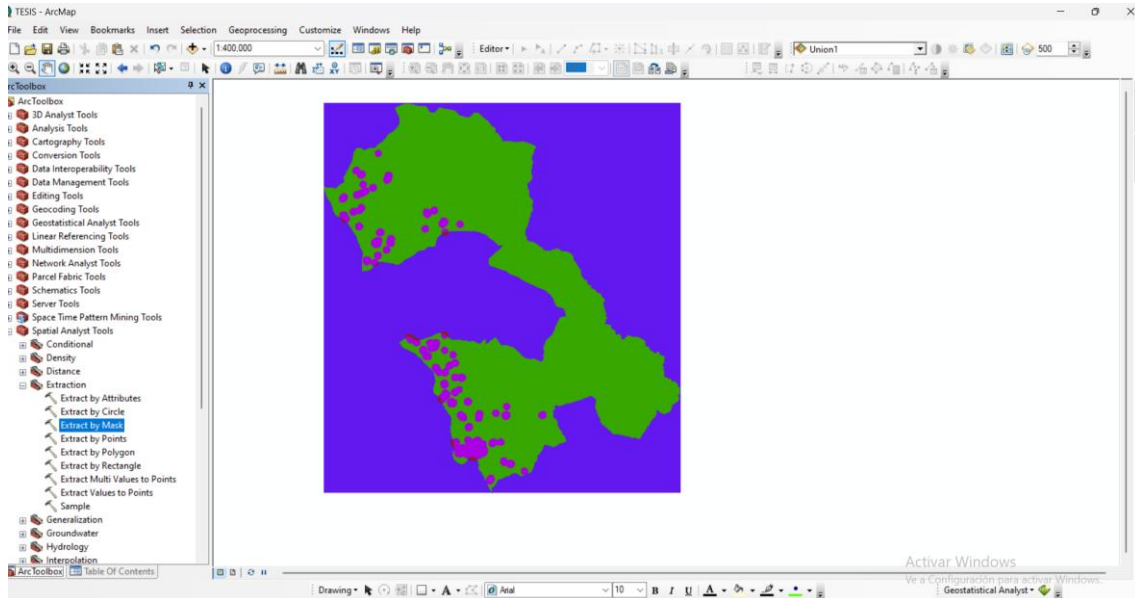


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator; se utilizó el ráster de distancia euclidiana a centros poblados

(ccpp_distance) como capa de entrada, aplicando la expresión con (" $ccpp_distance >= 500, 1, 0$ ") para reclasificar las áreas según su proximidad a los centros urbanos.

Figura 79

Recorte del ráster ponderado del criterio de centros urbanos.



Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask; se utilizó el ráster resultante del análisis de distancia a centros urbanos como capa de entrada y el Límite Distrital de Pichari como máscara de recorte. Este paso permitió delimitar las zonas clasificadas como aptas (valor 1) y no aptas (valor 0) dentro del ámbito distrital.

Criterio 7: Aeródromo

Figura 80

Conversión de la capa de áreas de aeródromo a formato ráster

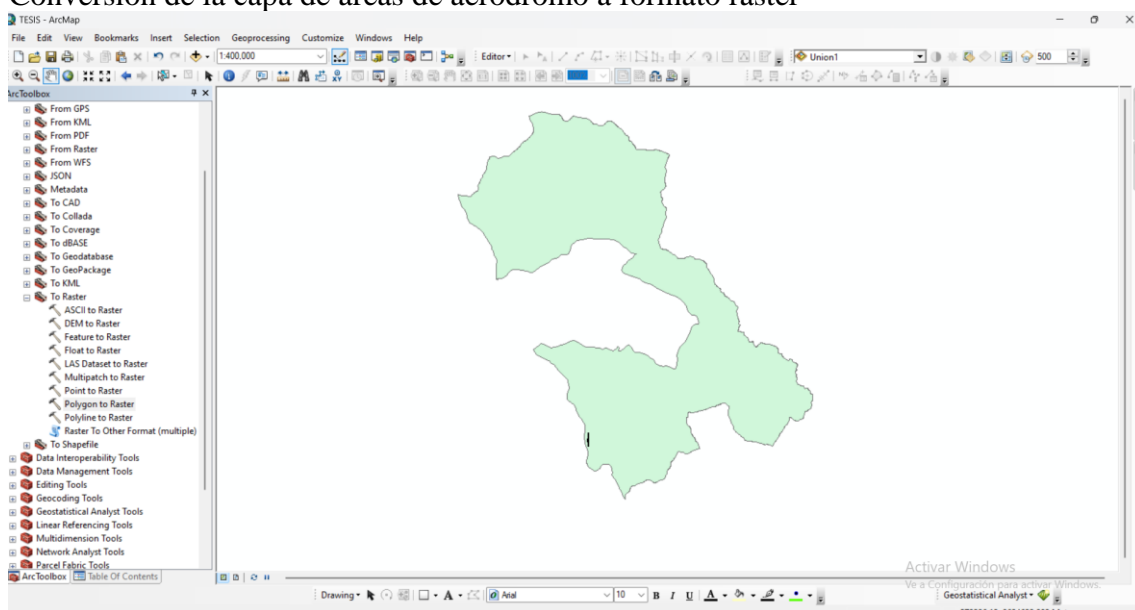
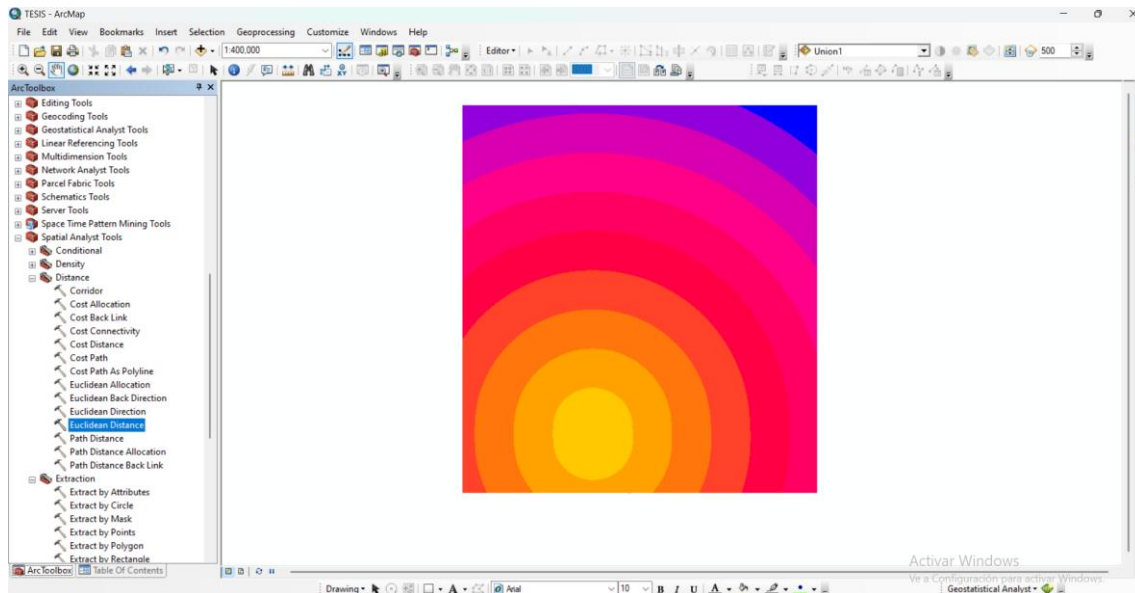


Figura 81

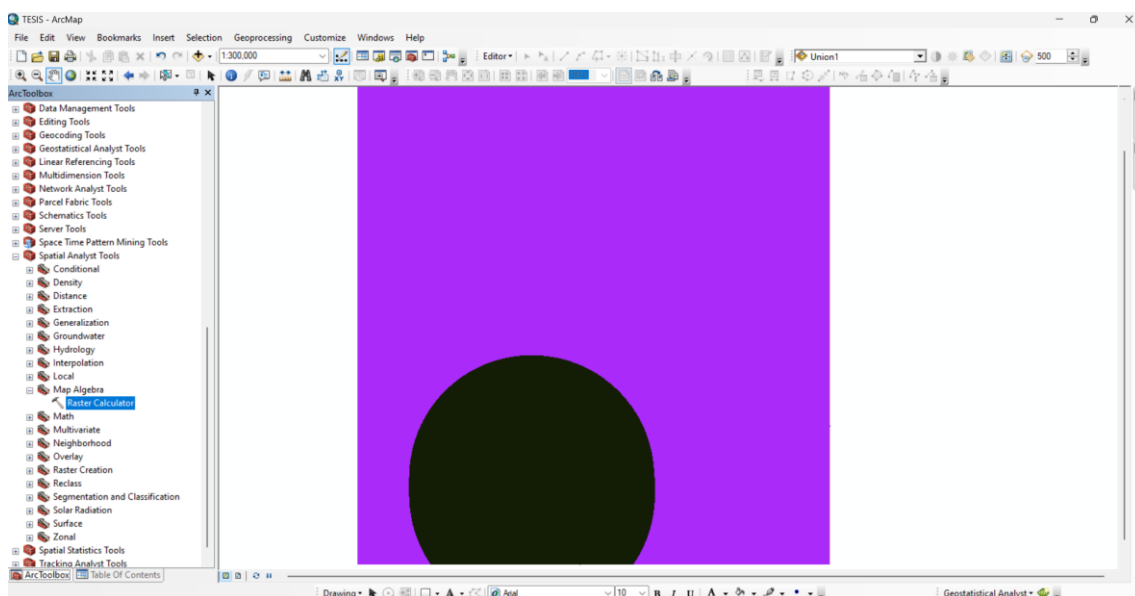
Mapa de distancia euclidiana generado a partir de la capa del Aeródromo de Pichari



Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Distance → Euclidean Distance; se utilizó la capa raster del Aeródromo de Pichari como entrada para calcular la distancia en metros desde cada celda hacia la infraestructura aeroportuaria.

Figura 82

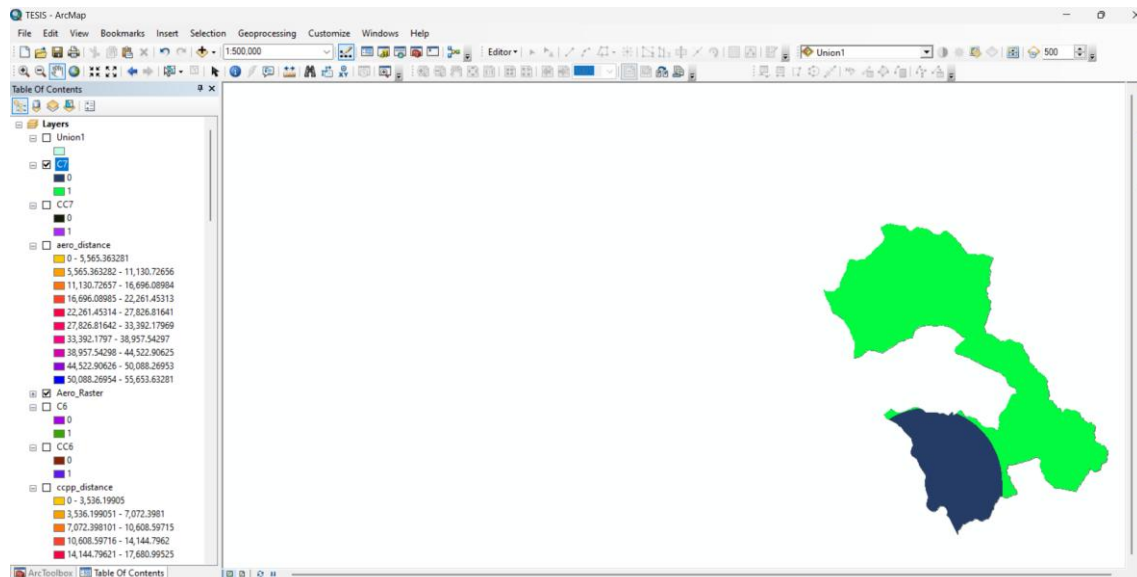
Ponderación binaria (0,1) del criterio según distancia al aeródromo Pichari



Nota. Elaboración propia. Proceso: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Raster Calculator; se aplicó la expresión "aero_distance" >= 13000, asignando valor 1 (apta) a las áreas ubicadas a más de 13 km del aeródromo, y 0 (no apta) a las zonas menores de 13 km.

Figura 83

Recorte del ráster ponderado del criterio de aeródromo.

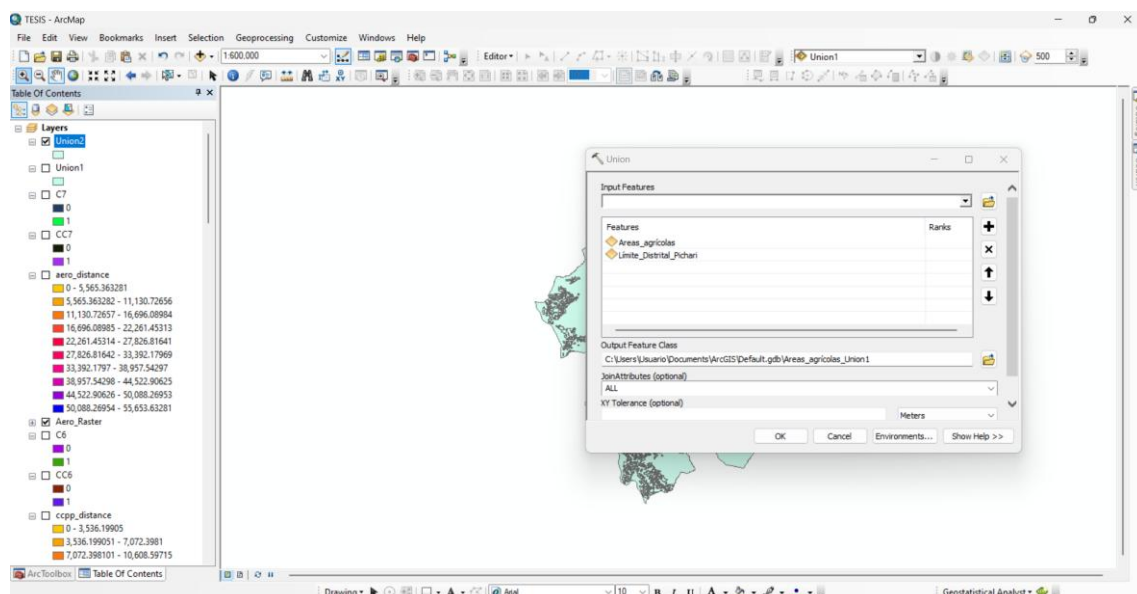


Nota. Elaboración propia. Proceso: ArcToolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask; se utilizó el límite distrital de Pichari como capa de máscara y el raster del criterio de distancia al aeródromo como capa de entrada.

criterio 8: Áreas agrícolas

Figura 84

Proceso de unión entre el límite distrital de Pichari y las áreas agrícolas

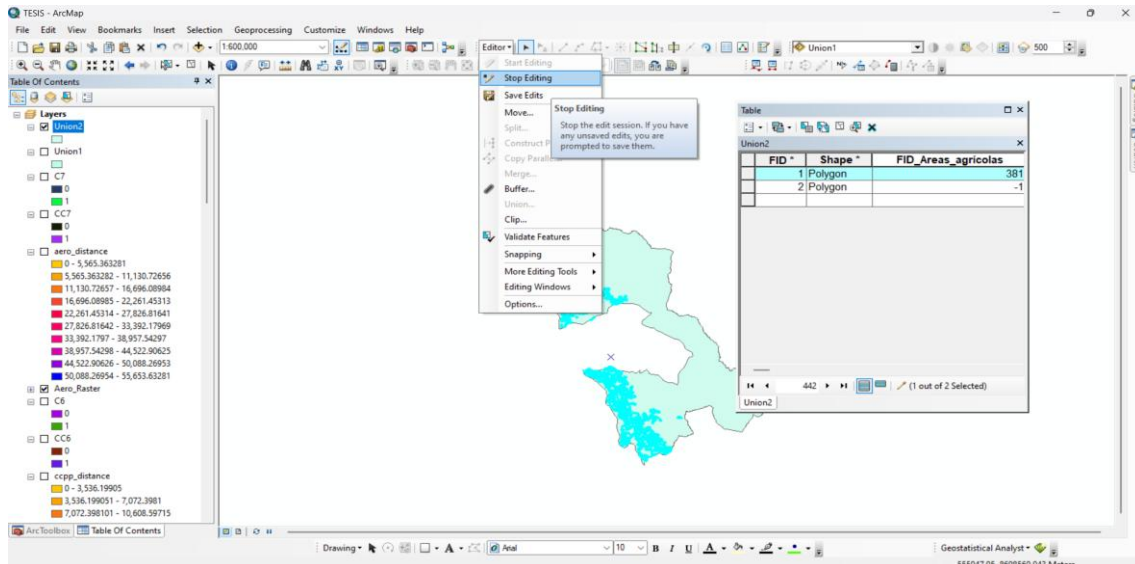


Nota. Elaboración propia. Se accedió al menú Geoprocessing → Union, seleccionando como capas de entrada (Input Features) el Límite Distrital de Pichari y las Áreas Agrícolas. Esta herramienta permitió combinar ambas capas vectoriales en una sola,

conservando todos los atributos espaciales y temáticos.

Figura 85

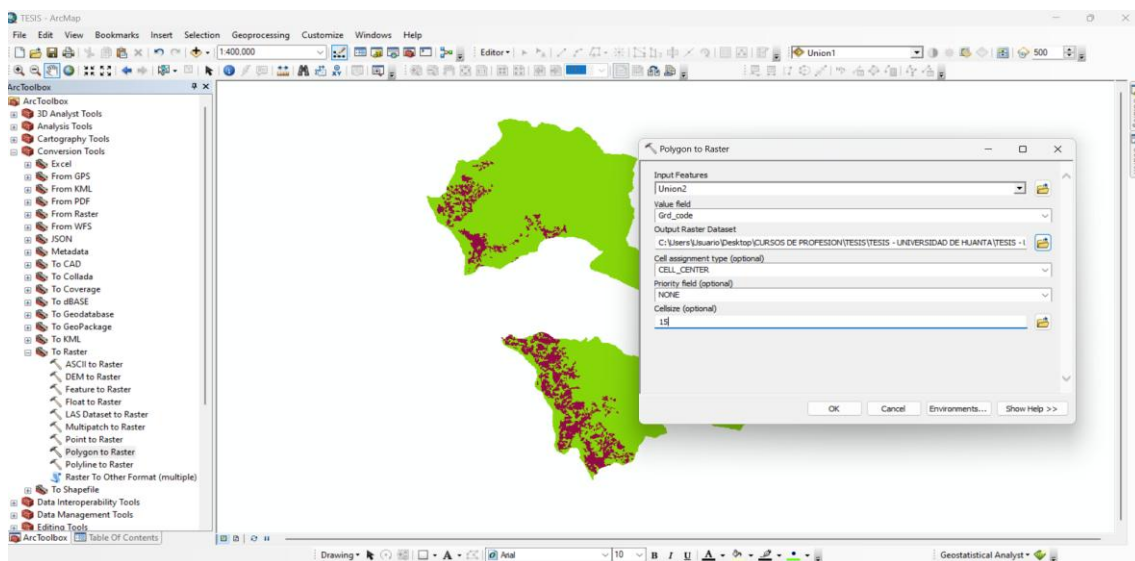
Edición y codificación del criterio de áreas agrícolas tras la unión con el límite distrital



Nota. Luego de realizar la unión (Union) entre las áreas agrícolas y el límite distrital de Pichari, se procedió a la edición de la tabla de atributos utilizando Editor → Start Editing → Merge. Este proceso permitió agrupar los diferentes tipos de cultivos agrícolas (café, cacao y piña) en una sola categoría denominada “Áreas agrícolas”, considerando su función común dentro del territorio.

Figura 86

Edición y codificación del criterio de áreas agrícolas tras la unión con el límite distrital

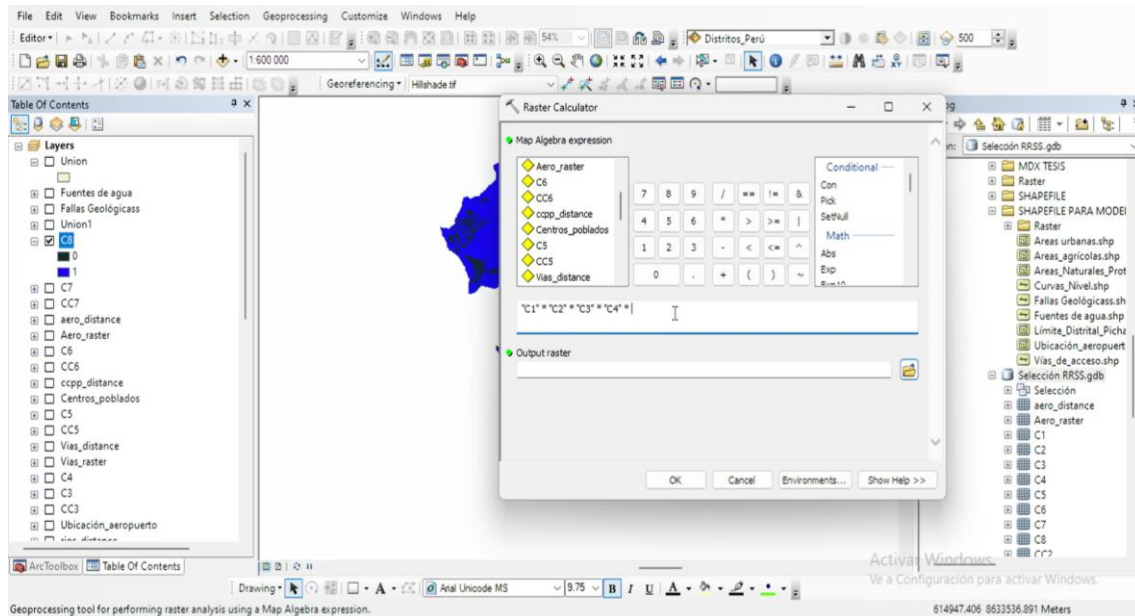


Nota. Procesos realizados: ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Polygon to Raster; se utilizó la capa resultante del proceso Union2 (Áreas agrícolas - Límite Distrital) como entrada, tomando el campo `grd_code` como atributo de conversión. Se generó un

ráster binario donde el valor 0 representa áreas no aptas (dentro de áreas agrícolas) y el valor 1 áreas aptas (fuera de las Áreas agrícolas), dentro del análisis de ponderación binaria (0,1) de la evaluación multicriterio.

Figura 87

Multiplicación de los criterios para el modelo final de sitios óptimos para relleno sanitario.



Nota. La figura muestra la integración final de los criterios temáticos evaluados (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 y C8) mediante la herramienta *Raster Calculator*. Se realizó una superposición lógica booleana, donde los valores 1 (apto) y 0 (no apto) fueron multiplicados para determinar las áreas que cumplen simultáneamente todas las condiciones de aptitud para la localización del relleno sanitario.