

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental

LOCALIZACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN RELLENO SANITARIO MEDIANTE ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LA LOCALIDAD DE CHIGUIRIP, CAJAMARCA.

Tesis para optar el título profesional de:

Ing. Forestal y Ambiental

Autor

Anderson Michel Pérez Segura

Asesora

M.Sc. Yuli Anabel Chávez Juanito

Chota – Perú

2026

Ing. Yuli Anabel Chávez Juanito
Docente
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA



“AÑO DE LA ESPERANZA Y FORTALECIMIENTO DE LA DEMOCRACIA”

CONSTANCIA N° 01-2026-CJYA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD Y USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El que suscribe, en calidad de asesor de tesis, deja constancia que el informe final de tesis titulado:

“Localización de zonas óptimas para el establecimiento de un relleno sanitario mediante análisis multicriterio en la localidad de Chiguirip, Cajamarca”

Elaborado por: **Anderson Michel Pérez Segura** BACHILLER en **Ciencias Forestales y Ambientales** de la Facultad de Ciencias Agrarias, fue sometido a la evaluación mediante el **software de similitud**, considerando el contenido comprendido desde el resumen hasta las referencias bibliográficas.

El resultado obtenido es:

Porcentaje de similitud	Porcentaje de uso de Inteligencia Artificial	Criterio de originalidad
19%	*%	Si cumple
Literal e) del artículo 27 del Reglamento de Grados y Títulos , aprobado mediante Resolución de Comisión Organizadora N.º 770-2025-UNACH .		

Se adjunta el reporte de evaluación de originalidad emitido por el software de similitud.

Chota, 31 de agosto de 2026.

Chávez Juanito Yuli Anabel
Asesora

Anderson Michel Perez Segura

tesis

-  Proyectos y tesis
-  Tesis 2026
-  Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3636122958

Fecha de entrega

29 ago 2026, 11:36 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

30 ago 2026, 10:55 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_-_ANDERSON_P_REZ.docx

Tamaño del archivo

16.9 MB

110 páginas

19.167 palabras

112.304 caracteres



Ing. Yuli Anabel Chávez Juanito
Docente

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 9%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 17% Fuentes de Internet
- 9% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	5%
2	Internet	repositorio.upsc.edu.pe	2%
3	Internet	hdl.handle.net	1%
4	Internet	repositorio.unah.edu.pe	<1%
5	Internet	unach.edu.pe	<1%
6	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
7	Publicación	AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AMBIDES...	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD	<1%
9	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
10	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%
11	Internet	revista.ister.edu.ec	<1%

12	Internet	repositorio.unj.edu.pe	<1%
13	Internet	repositorio.unh.edu.pe	<1%
14	Internet	ridum.umanizales.edu.co	<1%
15	Internet	cdn.www.gob.pe	<1%
16	Publicación	Hualpa Choque, Pedro Tiburcio. "Diagnóstico ambiental del botadero de residuos...	<1%
17	Internet	repositorio.utc.edu.ec	<1%
18	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
19	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
20	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Trujillo	<1%
21	Internet	polodelconocimiento.com	<1%
22	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
23	Internet	vsip.info	<1%
24	Publicación	"Objetivos de desarrollo sostenible: acciones por el clima y la resiliencia", Univers...	<1%
25	Internet	docplayer.es	<1%

26	Internet	openjicareport.jica.go.jp	<1%
27	Internet	www.slideshare.net	<1%
28	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote	<1%
29	Internet	issuu.com	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
31	Internet	dspace.unl.edu.ec	<1%
32	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%
33	Internet	repository.unad.edu.co	<1%
34	Internet	sinia.minam.gob.pe	<1%
35	Internet	1library.co	<1%
36	Publicación	AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AMBIDES...	<1%
37	Publicación	IBAÑEZ NAVARRO ISRAEL ESSAU. "EIA-SD del Proyecto Relleno Sanitario, Planta d...	<1%
38	Internet	docs.coalicionfloresta.org	<1%
39	Internet	www.coursehero.com	<1%

40	Internet	revistas.unitru.edu.pe	<1%
41	Internet	www.zonaminera.com	<1%
42	Publicación	Ortiz, Jorge Jesús Chávez. "La Política Pública de la Cabecera de Cuenca en el Perú...	<1%
43	Internet	hispana.mcu.es	<1%
44	Internet	virtual.urbe.edu	<1%
45	Trabajos del estudiante	Blackboard	<1%
46	Publicación	CLEAN TECHNOLOGY S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto Infraestructura de Tratamiento ...	<1%
47	Trabajos del estudiante	Universidad Estatal Amazonica-	<1%
48	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
49	Internet	repository.lasalle.edu.co	<1%
50	Publicación	EGUIZABAL BRANDAN ROSALIA MARIZOL. "DIA del Proyecto Infraestructura de Tr...	<1%
51	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
52	Internet	repository.usta.edu.co	<1%
53	Internet	www.haciendachiapas.gob.mx	<1%

54	Internet	www.tandfonline.com	<1%
55	Publicación	Alvarez Ramirez, Cesar Cervantes Irigoyen, Anginson Coaquira Mamani, Christia...	<1%
56	Publicación	MONTES DE OCA RIVERA MARIA LUISA. "EIA del Proyecto Relleno Sanitario Semi ...	<1%
57	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
58	Internet	keskustelut.inderes.fi	<1%
59	Publicación	Loayza Flores, Daniel Guido. "Mapas mentales en el aprendizaje del área de comu...	<1%
60	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
61	Internet	kunakair.com	<1%
62	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
63	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%
64	Internet	www.diputados.gob.mx	<1%
65	Internet	www.igp.gob.pe	<1%
66	Publicación	Macedo Cava, Marco Rolan. "La gestión financiera, los mecanismos de control int...	<1%
67	Internet	distancia.udh.edu.pe	<1%

68	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
69	Trabajos del estudiante	unsaac	<1%
70	Internet	www.grafiati.com	<1%
71	Internet	www.igsd.org	<1%
72	Internet	www.questia.com	<1%
73	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
74	Publicación	Harold Cardona-Trujillo, Estefany Peña-Rojas, Eliana Martínez-Herrera, María Cla...	<1%
75	Publicación	Roncal Ocas, Lorena Noemi. "Análisis de los factores que influyen en la ejecución ...	<1%
76	Internet	repositorio.uap.edu.pe	<1%
77	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
78	Internet	www.comunidadandina.org	<1%
79	Internet	www.facilityservices.es	<1%
80	Internet	www.mdpi.com	<1%
81	Publicación	#N/A. "EIA del Proyecto Relleno Sanitario Manual y Planta de Reaprovechamiento...	<1%

82	Internet	87538a9a-4129-4498-961e-1bc765cd62c3.filesusr.com	<1%
83	Publicación	CASTRO MEDINA CHARLES ELYOU. "PMR del Distrito Jesús Nazareno 2017-IGA001...	<1%
84	Publicación	Chavez Galvez, Zandy Murata Shinke, Carmen Rosa Uehara Shiroma, Ana Mirella...	<1%
85	Publicación	Manak, Leah. "The Effects of Narcotrafficking on Forest Conservation Initiatives a...	<1%
86	Publicación	Oteo Morgan, Macarena del Pilar. "Comportamiento On-Task y Off-Task: Un estu...	<1%
87	Publicación	Sandra L. Cobos-Mora, José Guamán-Aucapiña, Jonathan Zúñiga-Ruiz. "Suitable si...	<1%
88	Trabajos del estudiante	Universidad Católica Boliviana "San Pablo"	<1%
89	Internet	difusioncientifica.info	<1%
90	Internet	es.coursera.org	<1%
91	Internet	es.slideshare.net	<1%
92	Internet	idoc.tips	<1%
93	Internet	repositorio.ucsm.edu.pe	<1%
94	Internet	repositorio.unal.edu.co	<1%
95	Internet	repositorio.upagu.edu.pe	<1%

96	Internet	rid.unam.edu.ar	<1%
97	Internet	www.ascentic.org	<1%
98	Internet	www.euskadi.net	<1%
99	Internet	www.mundotutoriales.com	<1%
100	Internet	www.repositorioacademico.usmp.edu.pe	<1%
101	Internet	www.rivers.txstate.edu	<1%
102	Publicación	Arrascue Lino, Anita Azucena. "Evaluacion de la efectividad del manejo de areas d...	<1%
103	Publicación	LQ A - CONSULTORIA Y PROYECTOS AMBIENTALES SOCIEDAD ANONIMA CERRADA...	<1%
104	Publicación	Tuesta, Ady Rosin Chinchay. "Coaliciones Políticas y Trayectorias Institucionales: ...	<1%
105	Publicación	WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "PMA de Perforació...	<1%
106	Internet	documentop.com	<1%
107	Publicación	MUNICIPALIDAD DE BUENOS AIRES. "PMR del Distrito de Buenos Aires 2016-IGA0...	<1%
108	Publicación	R. P. González-Dávila, R. Ventura-Houle, F. R. De-la-Garza-Requena, L. Heyer-Rodrí...	<1%
109	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%

110

Internet

www.ufrgs.br

<1%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA
Reglamento de Grados y Títulos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 051-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.°262-2026-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Dra. Mariela Núñez Figueroa	Presidente
Dr. Persi Vera Zelada	Secretario
M. Sc. José Magno Quiroz Gonzales	Vocal

De la tesis titulada:

"Localización de zonas óptimas para el establecimiento de un relleno sanitario mediante análisis multicriterio en la localidad de Chiguirip, Cajamarca"

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Anderson Michel Pérez Segura	71828546

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forestal y Ambiental

Acuerdan por:

☒	Unanimidad	☐	Mayoría
-------------------------------------	------------	--------------------------	---------

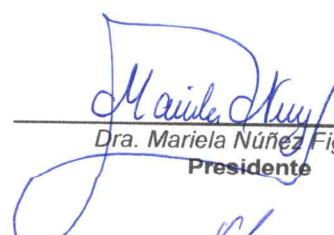
☒	Aprobar	☐	Desaprobar
-------------------------------------	---------	--------------------------	------------

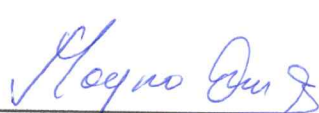
Otorgando la calificación de:

☐	Aprobado
☐	Excelente
☐	Bueno
☒	Regular

☐	Desaprobado
--------------------------	-------------

Colpa Matara 25 de agosto del 2026


Dra. Mariela Núñez Figueroa
Presidente


M. Sc. José Magno Quiroz Gonzales
Vocal


Dr. Persi Vera Zelada
Secretario


Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito
Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo nace de un proceso que no se explica solo en resultados, sino en el esfuerzo constante que lo hizo posible. Por ello, lo dedico a mis padres, quienes con su ejemplo diario me enseñaron que avanzar no siempre es sencillo, pero sí necesario. Su apoyo, más allá de las palabras, ha sido el impulso más firme en este camino.

A mis hermanos, por estar presentes de una manera auténtica, acompañando cada etapa sin condiciones y aportando, desde su propia forma, a que este objetivo se mantenga en pie.

A mis amigos, por formar parte de este recorrido, por la confianza compartida y por demostrar que incluso en los momentos de mayor exigencia siempre hay espacio para el ánimo y la fortaleza.

Este logro no responde únicamente a un esfuerzo individual, sino a un entorno que supo sostenerlo. En esa suma de presencias y aprendizajes, queda reflejado el verdadero valor de este trabajo.

AGRADECIMIENTO

El desarrollo de este trabajo no puede entenderse como un proceso realizado de manera individual, sino como el fruto de diversas contribuciones, visibles e invisibles, que hicieron posible su culminación.

Expreso mi reconocimiento a mis padres, quienes con su respaldo permanente y dedicación me proporcionaron el impulso necesario para continuar con este objetivo, aun durante las etapas donde surgieron dificultades e incertidumbres.

A mis hermanos, por su presencia cercana y su forma genuina de acompañar este proceso, aportando equilibrio y motivación en los momentos que más lo requerían.

A mis amigos, por permanecer presentes durante este recorrido, por los momentos compartidos, las experiencias intercambiadas y el aliento brindado, haciendo que esta etapa académica tuviera un significado especial.

De manera especial, agradezco a mi asesora, por el acompañamiento académico brindado a lo largo de esta investigación, por sus aportes constructivos y por las recomendaciones realizadas, las cuales permitieron orientar y fortalecer el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, este logro recoge el aporte de quienes estuvieron presentes en este camino; a todos ellos, mi gratitud.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	15
AGRADECIMIENTO	16
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	17
ÍNDICE DE TABLAS.....	21
ÍNDICE DE FIGURAS.....	22
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS.....	23
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
Justificación	16
Formulación del problema.....	17
OBJETIVOS.....	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos	17
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	18
2.1. Antecedentes.....	18
2.1.1. A nivel internacional.....	18
2.1.2. A nivel nacional	19
2.1.3. A nivel regional.....	20
2.2. Bases teóricas.....	22
2.2.1. Sistema de datos geográficos (SIG).....	22
2.2.2. Elementos de un SIG	22
2.2.3. Residuos sólidos.....	23
2.2.4. Categorización de desechos sólidos	24

2.2.5. Gestión de desechos sólidos.....	26
2.2.6. Manejo de desechos sólidos.....	26
2.2.7. Residuos sólidos a nivel municipal.....	27
2.2.8. Relleno sanitario	28
2.2.9. Etapas Metodológicas para la detección de zonas potenciales de distribución de Rellenos Sanitarios.....	28
2.2.10. Requisitos de limitación para la elección de zona	30
2.2.11. Requisitos de exclusión para la selección de zonas	31
2.2.12. Limitaciones aceptables para los criterios de restricción y exclusión.....	33
2.2.13. Estudio espacial	34
2.2.14. Evaluación multicriterio en un SIG	35
2.3. Definiciones Conceptuales	35
2.3.1. ArcGIS.....	35
2.3.2. Área.....	36
2.3.3. Análisis de datos	36
2.3.4. Evaluación	36
2.3.5. Restricción	36
2.3.6. Exclusión	37
2.3.7. Criterios	37
2.3.8. Emplazamiento	37
2.3.9. Sistemas de comunicación de datos	37
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	38
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	38
3.1.2 Diseño de la investigación	38
3.2. Ubicación	39
3.2.1. Población y muestra.....	40
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
3.3.1. Criterios del desarrollo investigativo	41

3.4. Hipótesis	42
3.5. Operacionalización de variables	43
3.6. Procesamiento de recolección de datos	45
3.6.1. Recopilación de información	45
3.6.2. Valores permitidos para los requisitos de limitación y exclusión (valor asignado).....	46
3.7. Procesamiento y análisis de datos.....	52
3.8. Equipos, materiales e insumos.....	53
3.9. Aspectos éticos	54
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1 Descripción de resultados	55
4.1.1. Localización de zonas óptimas para el establecimiento de un relleno sanitario	55
4.1.2. Resultado del análisis de criterios de restricción	66
4.1.3. Análisis de criterios de exclusión aplicados en la determinación de zonas con aptitud óptima	68
4.1.4. Mapa base de zonas favorables según criterios de restricción y exclusión.....	74
4.1.5. Estimación del crecimiento poblacional	77
4.1.6. Tasa de generación per cápita (ppc).....	77
4.1.7. Cantidad de residuos sólidos	77
4.1.8. Volumen de desechos sólidos comprimidos.....	78
4.1.9. Volumen de material cubierto	78
4.1.10. Volumen de desechos sólidos anual estabilizado	79
4.1.11. Volumen de relleno sanitario.....	79
4.1.12. Área requerida	80
4.1.13. Zona total necesaria.....	80
4.1.14. Fase de campo	85
4.2. Contratación de hipótesis	91
4.3 Discusión de resultados	92
CAPITULO 5. Conclusiones y recomendaciones.....	95

5.1 Conclusiones.....	95
5.2 Recomendaciones	96
REFERENCIAS.....	98
ANEXOS.....	103
Anexo 1. Registro fotográfico del área 1	103
Anexo 2. Registro fotográfico del área 2	104
Anexo 3. Registro fotográfico del área 3	105
Anexo 4. Registro fotográfico del área 4	106
Anexo 5. Registro fotográfico del área 5	107
Anexo 6. Registro fotográfico del área 6	108
Anexo 7. Registro fotográfico del área 7	109
Anexo 8. Registro fotográfico del área 8	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites permisibles para los criterios de ubicación de zonas para la eliminación final de desechos sólidos.....	34
Tabla 2 Operacionalización de variables	43
Tabla 3 Restricciones para la evaluación en el distrito de Chiguirip	41
Tabla 4 Exclusiones para la evaluación en el distrito de Chiguirip	42
Tabla 5 Análisis y valoración de los criterios de limitación, categorías y valores a tener en cuenta..	47
Tabla 6 Aplicación de los requisitos de exclusión.	48
Tabla 7 Superficie correspondiente a cada categoría.	76
Tabla 8 Cálculo del Área Requerida para el Relleno Sanitario en Función de la Generación de Residuos Sólidos en el distrito de Chiguirip.	82
Tabla 9 Superficie total de las áreas potenciales.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mapa representativo del distrito de Chiguirip	39
Figura 2	Distribución espacial de distancia a la ciudad de Chiguirip	57
Figura 3	Distribución Espacial de las pendientes.	59
Figura 4	Distribución Espacial de proximidad a la red hidrográfica.	60
Figura 5	Distribución Espacial de distancia a centros poblados.	63
Figura 6	Distribución Espacial de textura de suelo.....	65
Figura 7	Zonas resultantes de la evaluación de restricciones.	67
Figura 8	Distribución Espacial de patrimonio cultural.	69
Figura 9	Distribución Espacial de comunidades campesinas	71
Figura 10	Distribución Espacial de las Concesiones Mineras.	73
Figura 11	Mapa preliminar de áreas viables para la ubicación del relleno sanitario	75
Figura 12	Propuestas de zonas óptimas con potencial para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip.	84
Figura 13	Áreas validadas en campo aptas para la instalación del relleno sanitario en el distrito de Chiguirip	90

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

- AHP: Proceso de Jerarquía Analítica (Analytic Hierarchy Process).
- ARS: Área Requerida del Relleno Sanitario.
- DEM: Modelo Digital de Elevación.
- DS: Decreto Supremo.
- GEOCATMIN: Sistema Geológico y Catastral Minero.
- GIS: Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica).
- GWMO: Global Waste Management Outlook.
- INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- MINAM: Ministerio del Ambiente.
- OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- PPC: Producción Per Cápita.
- PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- RS: Residuos Sólidos.
- RSU: Residuos Sólidos Urbanos.
- SAI: Soluciones Ambientales Integrales.
- SIG: Sistema de Información Geográfica.
- SIGERSOL: Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos.
- SINIA: Sistema Nacional de Información Ambiental.
- UTM: Universal Transverse Mercator (Sistema de coordenadas).
- VRS: Volumen de Relleno Sanitario.
- ZEE: Zonificación Ecológica y Económica.

RESUMEN

La disposición inadecuada de los residuos sólidos constituye una problemática ambiental que afecta a diversos distritos, debido a las alteraciones que produce en los ecosistemas y a los riesgos que genera para la salud de la población. El presente estudio tuvo como objetivo identificar zonas óptimas para la localización de un relleno sanitario mediante un análisis multicriterio apoyado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el distrito de Chiguirip, provincia de Chota, región Cajamarca. La investigación correspondió a un estudio aplicado, de nivel descriptivo y con un diseño no experimental. Para el análisis espacial se utilizó el software ARCGIS 10.8, mediante mapas temáticos. Se consideraron criterios de restricción como pendiente del terreno, proximidad a la ciudad de Chiguirip, distancia a centros poblados, distancia a la red hidrográfica y textura del suelo. Asimismo, se establecieron criterios de exclusión como patrimonio cultural, comunidades campesinas y concesiones mineras. Los resultados mostraron que el 52,74 % del área evaluada corresponde a zonas no apropiadas, el 40,65 % a áreas aceptables y el 6,61 % a zonas de máxima aptitud. Dentro de las áreas clasificadas con mayor aptitud territorial se ubicaron ocho zonas con características favorables para la posible implementación del relleno sanitario. Luego de realizar la comprobación mediante visitas de campo, se verificó que seis de estas zonas presentaban condiciones compatibles con los criterios técnicos establecidos, siendo considerados como alternativas viables para el desarrollo del proyecto. Finalmente, se estimó que la superficie necesaria para la construcción del relleno sanitario, proyectado para un periodo operativo de 20 años, corresponde aproximadamente a 1,10 hectáreas, proporcionando información técnica de apoyo para la toma de decisiones relacionadas con la gestión integral de residuos sólidos en el distrito de Chiguirip.

Palabras clave: Relleno sanitario, análisis multicriterio, SIG, residuos sólidos.

ABSTRACT

The inadequate disposal of solid waste constitutes an environmental issue affecting numerous districts due to the adverse impacts it has on ecosystems and public health. The objective of this study was to identify optimal areas for the location of a sanitary landfill through a multicriteria analysis supported by Geographic Information Systems (GIS) in the district of Chiguirip, Chota Province, Cajamarca Region. The research was classified as applied, descriptive in scope, and based on a non-experimental design. Spatial analysis was carried out using ArcGIS 10.8 through the development of thematic maps. The restriction criteria considered included terrain slope, proximity to the town of Chiguirip, distance from populated centers, distance from the hydrographic network, and soil texture. In addition, exclusion criteria comprised cultural heritage sites, peasant communities, and mining concessions. The results showed that 52.74% of the evaluated area was classified as unsuitable, 40.65% as moderately suitable, and 6.61% as highly suitable. Within the areas classified as highly suitable, eight zones with favorable characteristics for the potential implementation of a sanitary landfill were identified. Following field verification, six of these zones were confirmed to meet the established technical criteria and were therefore considered viable alternatives for project development. Finally, the required area for the construction of a sanitary landfill with a projected operational lifespan of 20 years was estimated at approximately 1.10 hectares, providing technical information to support decision-making related to integrated solid waste management in the district of Chiguirip.

Keywords: sanitary landfill, multicriteria analysis, GIS, solid waste management.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cada año a nivel mundial se originan más de dos mil millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU), procedentes de los hogares y de diversas actividades económicas como agrícolas, industriales, comerciales, sanitarios, granjas, obras de construcción, fábricas y hospitales. Sin embargo, los residuos de las ciudades son generados en diferentes zonas de asentamientos humanos, que representan una gran parte de los desechos. Estos residuos incluyen tanto los generados por actividades domésticas como los derivados del comercio y otros servicios urbanos. Cada persona tiene un impacto directo en esta situación a través de sus decisiones cotidianas, ya que la forma en que compramos, usamos y desechemos materiales influye en el consumo de recursos energéticos y materias primas, lo que significa que las elecciones que hacemos sobre las prácticas de manejo de residuos dentro del hogar pueden generar efectos importantes sobre el ambiente a escala mundial (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2024).

“Las ciudades originan un torrente de basura, calentando el planeta, ensuciando el aire y dejando un desierto la flora y fauna” (PNUMA, 2024).

Global Waste Management Outlook (GWMO), publicado en 2015, ofreció un análisis científico a nivel mundial sobre el estado de la gestión de residuos. Además, promovió que la comunidad internacional reconozca la gestión de los residuos y el uso adecuado de los recursos como aspectos importantes para continuar el combate contra el cambio climático y el progreso sostenible, los avances han sido limitados, e incluso se ha observado un retroceso significativo. La humanidad continúa generando mayores cantidades de residuos, incrementando la contaminación y expulsión de gases relacionados con el calentamiento del planeta. El Enfoque Global en la Administración de Residuos 2024 reiteró el llamado a la acción realizado en la

primera edición del GWMO, subrayando la necesidad de aumentar las acciones para reducir la generación de residuos, extender una gestión accesible y asequible a nivel global, y asegurar que los residuos inevitables sean tratados de manera segura y eficiente (PNUMA, 2024).

El aumento de la polución de desechos sólidos en Perú está íntimamente vinculado con la producción excesiva de residuos generados, la ausencia de un manejo eficiente durante su disposición final y la vulnerabilidad en la administración gubernamental. Esto ha sido resultado del derramamiento sin control de residuos, creando áreas deterioradas que impactan la conservación ambiental del suelo, los recursos hídricos y la atmósfera a lo largo de toda la región.

Los residuos depositados directamente en el terreno pueden contaminar las aguas subterráneas, aunque en menor medida que otros elementos del ciclo hídrico, gracias a mecanismos naturales de filtración, mitigación y depuración. No obstante, dicha contaminación tiende a ser más persistente, complicada de detectar y costosa de revertir debido a la demora en el proceso de purificación natural de las aguas subterráneas. Las áreas afectadas por la distribución inadecuada de residuos están expuestas a incendios y explosiones, ocasionados por gases como el metano, altamente inflamable que tiene la habilidad para generar combinaciones explosivas con el aire en concentraciones de entre el 5% y el 25 %. Además, estos gases liberados sin control contribuyen al calentamiento global y a deteriorar la capa de ozono (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2023).

La polución atmosférica en los rellenos sanitarios tiene efectos locales, como olores desagradables, incendios, explosiones, generación de biogás y partículas suspendidas, así como ruido generado por el accionamiento de maquinaria y traslado de desechos. A nivel global, estos lugares contribuyen al cambio climático y agravan los problemas ambientales. En cuanto a la salud, los botaderos favorecen la proliferación de agentes transmisores de enfermedades,

desde insectos como mosquitos hasta animales como cerdos, que encuentran condiciones propicias para reproducirse. Según los registros del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), las zonas afectadas por la acumulación de residuos sólidos han pasado de 1,585 ha en 2018 a 1,833ha en 2023. Muchas de estas zonas se ubican en áreas urbanas, zonas húmedas, zonas naturales resguardadas y áreas de amortiguación, donde la quema de desechos agrava los impactos ambientales y sociales, aumentando los riesgos asociados a estas prácticas inadecuadas (MINAM, 2023).

En el departamento de Cajamarca, la problemática asociada a la producción de desechos sólidos urbanos domésticos ha experimentado un notable incremento, motivado por factores como el crecimiento demográfico y cambios en los patrones de consumo, entre otros. Esta situación ha derivado en serias deficiencias en su manejo, donde gran parte de los desechos producidos de residuos en los hogares termina en depósitos, convirtiéndose en focos de contaminación que amenazan la salud de los pobladores y el entorno ambiental. Las ciudades representan un papel clave en la promoción de un consumo responsable y la disminución de la producción de desechos, siendo fundamental implementar acciones inmediatas para mitigar los riesgos asociados en el plazo inmediato y plazo intermedio.

Sin embargo, la administración de desechos sólidos por parte de las entidades municipales enfrenta notorias limitaciones. La mayoría de los desechos recogidos de hogares, espacios públicos y negocios son dispuestos de manera inadecuada en botaderos, evidenciando la carencia de infraestructura adecuada. Según datos, solo el 0,12 por ciento de los municipios de Cajamarca poseen recursos económicos, equipamiento para la eliminación definitiva de desechos sólidos; solo el 4,7 % cuenta con infraestructura de relleno sanitario. Además, mientras que el 42,06 % de los residuos recibe un manejo adecuado, el 57,94% se maneja de forma inapropiada, lo que ha llevado al 100% de las áreas a un estado de degradación, dificultando su recuperación (Cruz et al., 2023).

En el distrito de Chiguirip, a pesar de contar con un servicio de limpieza, continúan las dificultades vinculadas a la incorrecta administración de desechos sólidos, tales como plásticos, madera, metales y desechos generados por restaurantes y algunos residentes. Esta disposición incorrecta de los residuos representa un peligro para el entorno ecológico y el bienestar de la ciudadanía, puesto que estos residuos poseen la capacidad de contaminar los ríos cercanos, dada la proximidad de la urbe a los ecosistemas acuáticos. Además, el distrito no dispone de una instalación destinada al tratamiento y disposición de residuos sólidos, lo que agrava la situación (Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA], 2022).

Justificación

Este estudio surge ante la necesidad de analizar de forma ordenada la problemática relacionada con la disposición inadecuada de residuos sólidos mediante la identificación de áreas con características favorables para la implementación de un relleno sanitario, aplicando métodos de multicriterio respaldados por herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). esta metodología permite integrar aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos, garantizando que las zonas seleccionadas cumplan con los estándares requeridos y minimicen los impactos negativos. El estudio no solo pretende resolver la incorrecta administración de desechos sólidos en comunidades específicas, en el caso del distrito de Chiguirip, sino también proporcionar herramientas y conocimientos replicables para la planificación territorial sostenible.

Al desarrollar metodologías accesibles basadas en tecnologías como los SIG, se potencia el desempeño de las autoridades locales y regionales para tomar decisiones informadas, promoviendo una gestión de residuos más eficiente y responsable. Este trabajo contribuye directamente a salvaguardar el ámbito ecológico, la protección pública y el progreso sostenible. Asimismo, establece un marco de referencia para futuras iniciativas orientadas a mejorar las condiciones de vida de la población mediante la incorporación de estrategias adecuadas para

la gestión de residuos sólidos, consistentes con las metas de desarrollo sostenible y las políticas medioambientales nacionales e internacionales.

Formulación del problema

¿Qué zonas son óptimas para el establecimiento de un relleno sanitario mediante análisis multicriterio en la localidad de Chiguirip, Cajamarca?

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar zonas óptimas para el establecimiento de un relleno sanitario mediante análisis multicriterio en la localidad de Chiguirip, Cajamarca.

Objetivos específicos

- Evaluar las condiciones geológicas del área de estudio, considerando los parámetros establecidos por el MINAM, como textura de suelo, hidrografía, distancia a zonas urbanas, pendiente, patrimonios culturales, concesiones mineras, con el fin de identificar zonas aptas para la ubicación de un relleno sanitario.
- Emplear el método de evaluación multicriterio mediante la utilización de Sistemas de Información geográfica (SIG) para los criterios de limitación y exclusión, con el propósito de establecer sitios factibles para instalar un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip.
- Validar posibles áreas potenciales en campo según los datos obtenidos en gabinete.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Bello & Vazquez (2023) el trabajo de investigación tuvo como propósito plantear un procedimiento de evaluación multicriterio apoyado en un modelo SIG para la determinación de zonas adecuadas de los refugios de residuos en Cardique, Colombia. La metodología mejora la toma de decisiones mediante un modelo espacial de selección que integra criterios normativos y técnicos esenciales para determinar las zonas más aptas. Los resultados demuestran que la propuesta es un instrumento eficaz para detectar zonas con condiciones favorables para la construcción de rellenos sanitarios, ofreciendo múltiples opciones de solución para los planificadores del territorio.

Jandir et al. (2023) la finalidad de este estudio fue elaborar una metodología económica para la identificación de áreas apropiadas para la instalación de un relleno sanitario intermunicipal en la zona de Araras, SP, Brasil. utilizaron herramientas de tecnologías de datos geográfico. En combinación con un análisis multicriterio para identificar las alternativas más convenientes. En una primera etapa, se preseleccionaron 10 áreas municipales como posibles ubicaciones. Posteriormente, mediante la evaluación de criterios adicionales, se destacan tres áreas (2, 5 y 6) como las más favorables. Finalmente, un análisis más detallado concluyó que el área 5 representa la opción óptima para su implementación.

Makonyo y Msabi (2022) el propósito de este estudio fue detectar áreas potenciales para la ubicación de rellenos sanitarios sanitario en Dodoma, Tanzania, utilizando un estudio de elecciones multicriterio basado en tecnologías de datos geográficos. Se creó un mapa de aptitud utilizando el método de combinación lineal ponderada, clasificando las zonas como altamente adecuadas, adecuadas, moderadamente adecuadas, poco adecuadas e inadecuadas. Los

resultados generales de aptitud revelan que 41,177 hectáreas, equivalentes al 14,7 % de la superficie evaluada, presentan condiciones altamente favorables para la instalación de un relleno sanitario.

Mussa y Suryabhagavan (2021) el análisis desarrollado tuvo como finalidad identificar sitios apropiados para la gestión de residuos sólidos en la localidad de Logia, Etiopía, tomando en cuenta elementos como la viabilidad financiera, la sostenibilidad económica. Se emplearon instrumentos de percepción remota y sistemas de información geográfica (SIG), acompañado con el procedimiento de comparación entre compañeros del Proceso de jerarquía analítica (AHP) para establecer la ponderación de los criterios considerados. Los hallazgos revelaron que el 5,93 por ciento del sector analizado es aceptable, el 6,5%, el 3,23% relativamente aceptable, el 2,5% marginalmente aceptable, el 1,02% poco aceptable y el 83,32% no aceptable para la disposición de residuos sólidos.

2.1.2. A nivel nacional

Según Supo (2024) este estudio tuvo como finalidad detectar zonas específicas posibles para la implementación de un relleno sanitario municipal en la provincia de El Collao durante el año 2023. Para ello, se empleó el Sistema de Información Geográfica (SIG) y se empleó una técnica de geolocalización empleando la información de la ubicación geográfica, Evaluación Multicriterio, basada en 7 criterios normalizados definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) en la guía para el diseño, edificación, funcionamiento, conservación y clausura de rellenos sanitarios manuales. El análisis, realizado con el software ArcGIS, permitió identificar cinco zonas potenciales que, en total, abarcan 360,5 hectáreas de terreno ubicadas en las proximidades de la ciudad.

Según Paucar (2024) el análisis desarrollado permitió determinar áreas con condiciones favorables para la ubicación de un relleno sanitario en Ilave, provincia de El Collao, en Puno,

mediante la aplicación de herramientas (SIG) y el multicriterio como herramientas para seleccionar zonas que cumplieran con los requisitos necesarios. Se utilizaron los estándares fijados en el manual de diseño, construcción y edificación, gestión, conservación y clausura de los rellenos sanitarios manual del Ministerio del Ambiente. Se realizaron estudios de cinco requisitos, asignando calificaciones de cero (0) para sectores no aceptables y uno (1) para sectores aceptables. El análisis permitió identificar dos ubicaciones: el sector 1, con una extensión de 203,16 hectáreas, y el sector 2, con un área de 236,63 hectáreas.

Según Miranda (2022) el presente estudio tuvo como propósito desarrollar un mapa geográfico que facilite la identificación de áreas con características favorables para la implementación de un relleno sanitario en la administración de Huancavelica. Se destaca la definición de requisitos medioambientales y socioeconómicos, y su estructura mediante un estudio multicriterio. Se identificaron dos áreas cercanas a las zonas con mayor generación de residuos sólidos: la zona elegida N°1, con una extensión de 50 hectáreas, proporciona servicios a la ciudad de Huancavelica, y la zona elegida N°2, que tiene una extensión de 217 hectáreas, que abastecería a la zona de Yauli.

2.1.3. A nivel regional

Quiroz (2025) En el distrito de Namora, Cajamarca, se desarrolló una investigación orientada a establecer áreas favorables para la ubicación de un relleno sanitario mediante la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y una evaluación multicriterio. El estudio presentó un enfoque aplicado, con un diseño no experimental, de corte transversal y alcance correlacional. Para el análisis territorial se consideraron 11 variables relacionadas con aspectos físicos, ambientales y sociales, entre ellas hidrografía, vías de acceso, patrimonio arqueológico, instituciones educativas, centros poblados, establecimientos de salud, fallas geológicas, capacidad de uso mayor del suelo, pendiente, características geológicas y cobertura vegetal. Estas variables fueron procesadas mediante técnicas de estandarización y análisis espacial

utilizando álgebra de mapas. Los resultados permitieron reconocer cinco sectores con condiciones adecuadas para la instalación de un relleno sanitario, evidenciando que la aplicación de herramientas SIG constituye un recurso eficiente para apoyar la identificación de áreas destinadas a la disposición final de residuos sólidos.

Idrogo (2024) Se efectuó una investigación en el distrito de Conchán, Chota, aplicando una evaluación multicriterio integrada con Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS 10.5 y Model Builder) con la finalidad de establecer zonas adecuadas para la ubicación de un relleno sanitario. Se consideraron variables como pendiente, hidrología, accesibilidad vial, localidades pobladas, estructuras geológicas con presencia de fallas, zonas de interés arqueológico, aptitud de uso del suelo e infraestructura, asignando valores de 0 (no óptimo), 1 (óptimo) y 2 (aceptable), además de ponderaciones porcentuales donde la hidrología y vías de acceso tuvieron mayor influencia (16%). Como resultado, se identificaron 9 sectores con aptitud óptima y 14 con condición aceptable; posteriormente, mediante la comprobación en campo e imágenes satelitales, se seleccionaron 5 áreas óptimas con superficies de 7,04 ha, 13,62 ha, 9,37 ha, 25,30 ha y 31,26 ha destinadas a la disposición final de residuos sólidos.

Según Becerra (2021) la investigación tuvo como propósito identificar una zona adecuada a fin de construir un relleno sanitario en Catilluc, provincia de San Miguel, Cajamarca. Para ello, se aplicaron herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y un procedimiento de evaluación multicriterio ArcGIS 10.5 para el estudio de los datos. El resultado final determinó que la zona más adecuada está ubicada en el entorno rural El Mirador, con una extensión de 182 hectáreas, cumpliendo con los criterios necesarios para su implementación y minimizando posibles impactos ambientales y sociales.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema de datos geográficos (SIG)

Según Miraglia (2015) es una herramienta diseñada para gestionar información vinculada a una georreferencia, es decir, datos asociados a una ubicación específica representada mediante un sistema de coordenadas estandarizado, como el Universal Transverse Mercator (UTM). Su funcionalidad principal incluye almacenar, consultar y analizar información relacionada con una región específica, facilitando la generación de criterios para la toma de decisiones orientadas a la administración territorial y planificación eficiente de ese territorio. Además, permite integrar datos provenientes de fuentes distintas, así como imágenes desde el espacio, dispositivos desde distancia y almacenamiento de información, lo que enriquece los análisis y contribuye a identificar patrones, tendencias y relaciones espaciales. Esto lo convierte en un recurso clave para múltiples disciplinas, como el manejo de ecosistemas y recursos naturales, la planificación del espacio geográfico, el desarrollo urbano y la supervisión de los recursos naturales.

2.2.2. Elementos de un SIG

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) se componen de cinco elementos fundamentales, según Bill et al. (2022).

Datos

La información es fundamental. Sin ella, los (SIG) no pueden operar. La información son el cimiento para la creación de mapas y representan los elementos esenciales para realizar cualquier análisis. En ausencia de datos, simplemente no habría material sobre el cual trabajar o analizar.

Software

Existen diversas variantes de análisis de datos, cada una respaldada por software especializado que se ajusta al tipo de datos que maneja. Los (SIG) no son una excepción. Entre las estrategias más destacadas en este ámbito se encuentran ArcGIS, QGIS y Gvsig.

Hardware

Ningún software puede operar sin el soporte de un hardware adecuado, y los (SIG) no son la excepción. Para su funcionamiento, se necesita un ordenador cuyo rendimiento y especificaciones variarán en función del sistema utilizado y de las demandas del software en particular.

Equipo humano

Técnicos, analistas y programadores constituyen el núcleo del equipo humano indispensable para garantizar el funcionamiento efectivo de los (SIG) y aprovechar al máximo los datos recopilados por estos sistemas.

Procesos

Los profesionales especializados en SIG son responsables de diseñar procesos óptimos para maximizar el aprovechamiento de los datos. Su labor resulta fundamental para asegurar que la información obtenida no solo se ajuste a las estrategias organizacionales, sino que también contribuyan a potenciarlas y optimizarlas.

2.2.3. Residuos sólidos

son aquellos productos, objetos o materiales en condición sólida o semisólida que son descartados por quienes los generan debido a que ya no tienen un valor de uso directo. Estos desechos pueden derivarse de varias acciones humanas, como la producción de bienes, el consumo o la prestación de servicios. Si no se maneja adecuadamente, los residuos sólidos

pueden causar consecuencias perjudiciales a nivel público y el entorno ambiental (Javier, 2020).

Un desecho es un material que se elimina tras haber cumplido con su función o propósito, por ende, se considera algo inútil que se transforma en desecho para la mayor parte de individuos, carece de valor económico. Sin embargo, los residuos no siempre deben ser desechados definitivamente, ya que pueden ser gestionados de diferentes maneras: eliminarse (al ser enviados a rellenos sanitarios o enterrados) o reciclarse (dándoles un nuevo uso o transformándolos en materia prima para otros procesos). Esta gestión adecuada es clave para minimizar su repercusión en el entorno natural (Pérez, 2022).

2.2.4. Categorización de desechos sólidos

Los desechos sólidos se pueden categorizar en diferentes categorías según su origen y características. Esta categorización es crucial para su correcta gestión, administración y desarrollo, de acuerdo con Carlos (2025) sucesivamente, se describen las categorías más importantes de desechos sólidos:

Residuos familiares

Se refiere a los desechos producidos en las viviendas como consecuencia de las tareas cotidianas, Incluyen:

- ✓ Residuos de alimentos, envases, papel, cartón, plásticos, textiles y objetos domésticos como muebles o colchones.
- ✓ Residuos peligrosos como aceites de cocina usados, pilas y electrodomésticos.
- ✓ Residuos de actividades de limpieza en el hogar y en las vías públicas, como los escombros de obras menores en viviendas.
- ✓ Residuos de animales fallecidos y automóviles abandonados.

Desechos Comerciales

Proviene de las actividades comerciales, tales como:

- ✓ Comercio a granel y a pequeña escala.
- ✓ Restauración, bares, oficinas y mercados.
- ✓ Otros productos como los de lavandería o pequeñas empresas.

Residuos agropecuarios y forestales

Se refiere a los desechos producidos en labores pecuarias y forestales. Incluyen:

- ✓ Restos de cultivos y cosechas, podas de árboles, y residuos de la cría de animales.
- ✓ Materiales derivados de la gestión de recursos naturales y actividades forestales.

Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Se refiere a los desechos producidos por las labores de edificación, renovación y demolición de construcciones e infraestructuras. Estos desechos comprenden:

- ✓ Materiales como cemento, ladrillos, madera, metales, vidrio, y otros elementos resultantes de la obra.

Residuos Industriales

Corresponden a los residuos provenientes de procesos industriales, como:

- ✓ Materiales de desecho derivados de los tratamientos de producción, manufactura o cambio de productos.
- ✓ Residuos generados por el uso de insumos y recursos empleados en los procesos productivos, la limpieza de maquinaria o el mantenimiento de equipos en las fábricas.

Cada tipo de residuo requiere un manejo específico para evitar efectos perjudiciales en el medio ecológico y el bienestar de la población. Esto incluye su recolección, tratamiento y disposición adecuada.

Residuos peligrosos

Es toda clase de desecho que por las características propias de su composición física, química o biológica puede representar un riesgo para la salud humana, los organismos vivos o el entorno natural.

2.2.5. Gestión de desechos sólidos

La administración de desechos se configura como una tarea de múltiples disciplinas que integra conocimientos provenientes de diferentes campos profesionales, como la ingeniería, la economía, el urbanismo, la planificación regional, además de técnicas de gestión y enfoques sociales. Su objetivo fundamental es minimizar los efectos negativos sobre el ambiente ocasionados por los residuos generados, mediante la adopción de soluciones innovadoras y sostenibles. En este sentido, un sistema eficaz de manejo de desechos no solo se transforma en un instrumento crucial para la salvaguarda del ecosistema, sino que también facilita la gestión integral de los desechos en diferentes contextos y escalas. Esta clase de sistemas busca promover un entorno más sostenible, inclusivo y resiliente, contribuyendo al bienestar de la sociedad y fomentando el reaprovechamiento lógico los bienes naturales disponibles. Durante esta fase del proceso, se destacan la importancia de la educación ambiental, la colaboración interinstitucional, y la implicación comunitaria como cimiento para el éxito de cualquiera estrategia de manejo de residuos (Carvajal et al., 2022).

2.2.6. Manejo de desechos sólidos

La correcta administración y aprovechamiento de los residuos sólidos representan aspectos fundamentales para incrementar el bienestar y las condiciones de vida de los ciudadanos. La

gestión inadecuada de los desechos no solo provoca la contaminación de fuentes vitales como los recursos hídricos, el suelo y la atmósfera, sino que también expone a las personas a altos niveles de riesgos para su salud, debido a un entorno insalubre. Además, la lenta regeneración de los recursos naturales, sumada al agotamiento progresivo de estos, agrava aún más la situación ambiental. Este escenario no solo afecta el bienestar general, sino que también genera presión sobre las comunidades y sus sistemas de salud. Como consecuencia, muchas personas se ven obligadas a emigrar, huyendo del deterioro medioambiental y la degradación de las características de convivencia en sus lugares de origen. Este desplazamiento no solo crea nuevos desafíos para las poblaciones receptoras, sino que también acentúa los problemas sociales y económicos. Por ello, resulta necesario desarrollar medidas adecuadas para la gestión de residuos y fortalecer la formación ambiental de la población, para revertir estas tendencias y fomentar un desarrollo sostenible que favorezca tanto al entorno natural como a las comunidades. (Cruz et al., 2023).

2.2.7. Residuos sólidos a nivel municipal

El acopio selectivo de RESIDUOS SÓLIDOS (RS) municipales puede llevarse a cabo de manera directa por las autoridades locales o mediante entidades responsables de la prestación del servicio encargadas de la gestión de residuos sólidos. Estas compañías forman parte del sistema de desinfección pública de la comunidad correspondiente. En este contexto, la recogida selectiva de los desechos reciclables también puede llevarse a cabo por agrupaciones de recicladores formalizados, de acuerdo con lo establecido en la Ley N° 29419, que rige las actividades de reciclaje y su normativa. Respecto a los aspectos de seguridad laboral del equipo encargado de la gestión de desechos sólidos, estos se rigen por el Decreto Supremo número 017-2017-TR, que establezca el Código de Seguridad y Salud Laboral, para los empleados municipales o las normas que lo sustituyan. Además, se toman en cuenta las disposiciones de

la Resolución Ministerial N° 249-2017-TR, que añade directrices complementarias al reglamento mencionado MINAM (2017).

2.2.8. Relleno sanitario

Este enfoque se refiere a la técnica de eliminación definitiva de desechos sólidos, líquidos y gases generados por la degradación de la basura en el suelo. Su objetivo es evitar riesgos y consecuencias perjudiciales para la salud y el cuidado de los organismos vivos, así como minimizar el impacto ambiental tanto durante la operación como después de su cierre. Esta técnica fue desarrollada a través de procesos de ingeniería con el fin de ubicar y confinar los desechos en el área más pequeña posible, lo que se logra mediante la aplicación de procesos de compactación y el recubrimiento periódico de los residuos con material terroso hasta finalizar su operación. Una de las características clave de este método es la disminución de los peligros asociados a la generación de líquidos y gases provenientes de la descomposición de los residuos. Estos subproductos pueden causar efectos negativos en el entorno si no se gestionan adecuadamente. Por lo tanto, el enfoque busca no solo confinar los residuos de manera efectiva, sino también evitar que estos compuestos nocivos se liberen al medio ambiente, garantizando una disposición final segura y controlada Ingrid (2022).

2.2.9. Etapas Metodológicas para la detección de zonas potenciales de distribución de Rellenos Sanitarios.

Este procedimiento técnico-metodológico el propósito principal es guiar la detección de zonas apropiadas para la eliminación final de desechos sólidos municipales, conforme al Reglamento del Decreto Legislativo N° 1278. El artículo 109 define los criterios fundamentales esenciales para la selección de dichas áreas; el artículo 110 establece las condiciones que deben cumplir, como distancias mínimas respecto a comunidades, almacenamientos de aguas superficiales, pantanos y humedales; y el artículo 111 regula la instalación de infraestructuras en

proximidades a aeródromos, considerando criterios adicionales para mitigar riesgos (MINAM, 2021).

2.2.9.1. Fases Metodológicas

Planificación inicial

- ✓ **Definición del alcance:** Determinar los objetivos y criterios principales para la selección de áreas potenciales.
- ✓ **Recopilación de información:** Obtener datos geográficos, ambientales, sociales, económicos y normativos relevantes para el área de estudio.

Determinación de criterios de selección

- ✓ **Criterios de exclusión:** Identificar zonas no aptas según normativas (proximidad a poblaciones, fuentes de agua, humedales, aeródromos).
- ✓ **Criterios de restricción:** Establecer limitaciones específicas que reduzcan la viabilidad de ciertas áreas sin excluirse totalmente.
- ✓ **Criterios de evaluación:** Considerar aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos para evaluar la idoneidad de las zonas.

Análisis de datos mediante SIG

- ✓ **Procesamiento de datos:** Integrar la información recopilada en un sistema de datos geográficos (SIG).
- ✓ **Análisis de múltiples criterios:** Utilizar herramientas SIG para ponderar y superponer criterios, identificando áreas preliminarmente adecuadas.

Verificación en campo

- ✓ **Validación de resultados:** Realizar visitas a las áreas identificadas para verificar su viabilidad según las condiciones reales.

- ✓ **Identificación de restricciones adicionales:** Incorporar observaciones específicas del terreno que no puedan ser captadas por los análisis SIG.

Análisis y selección final

- ✓ **Comparación de alternativas:** Evaluar las áreas seleccionadas según su capacidad técnica, impacto ambiental, y aceptación social.
- ✓ **Propuesta de sitios finales:** Presentar las zonas más apropiadas para el emplazamiento de rellenos sanitarios de aguas residuales, justificando la selección basada en los análisis y la normativa vigente.

Elaboración del informe técnico

- ✓ **Documentación del proceso:** Detallar cada fase del análisis, incluyendo los métodos y resultados obtenidos.
- ✓ **Propuestas y recomendaciones:** Incluir sugerencias para la ejecución y operación adecuada y manejo del relleno sanitario en la zona seleccionada.

Esta metodología garantiza un enfoque integral, técnico y normativo para identificar áreas idóneas, minimizando los impactos negativos y promoviendo un manejo responsable y sostenible de los residuos sólidos.

2.2.10. Requisitos de limitación para la elección de zona

Los requisitos de limitación son factores que deben considerarse al seleccionar zonas para la instalación de rellenos sanitario de aguas residuales, disminuyendo los impactos negativos y asegurando que las áreas seleccionadas sean viables en términos técnicos, ambientales y sociales, según MINAM (2021) por consiguiente, se detallan los criterios de restricción específicos:

✓ **Centros Poblados**

Evitar zonas próximas a núcleos de población para evitar posibles afectaciones a la salud y las condiciones de vida de los habitantes.

✓ **Aeródromos**

Restringir áreas cercanas a aeródromos para cumplir con normas de seguridad aérea.

✓ **Fuentes de Aguas Superficiales**

Evitar zonas cercanas a ríos, lagos o lagunas para proteger los recursos hídricos.

✓ **Granjas Porcinas y Avícolas**

Restringir áreas cercanas a granjas para evitar contaminación de la actividad ganadera.

✓ **Áreas Agrícolas**

Evitar áreas agrícolas para no tener un impacto en los productos de cultivo y en la calidad del suelo.

✓ **Fallas Geológicas**

Restringir áreas cerca de fallas geológicas por los riesgos sísmicos y de deslizamientos.

✓ **Pendientes**

Evitar áreas con pendientes pronunciadas debido a la dificultad de construcción y riesgo de deslizamientos.

✓ **Infraestructura Existente**

Restringir áreas con infraestructura para evitar conflictos con caminos, instalaciones u otros servicios.

2.2.11. Requisitos de exclusión para la selección de zonas

Los requisitos de exclusión son fundamentales para garantizar que los espacios considerados para la implementación de rellenos sanitarios no presenten riesgos ambientales, sociales o

económicos, según MINAM (2021). A continuación, se detallan los parámetros de exclusión establecidos para la evaluación de áreas.:

✓ **Áreas Naturales Protegidas**

Se excluyen las zonas declaradas como áreas protegidas por su alto valor ecológico y su función vital en la conservación de la biodiversidad.

✓ **Peligros por Inundación y Remoción en Masa**

Las áreas con alta susceptibilidad a inundaciones o deslizamientos de tierra son descartadas debido a los riesgos que representan tanto para la infraestructura como para la seguridad humana.

✓ **Áreas de pantanos, humedales o reposición de acuíferos**

Las áreas que incluyen ecosistemas de pantanos, zonas húmedas o reposición de acuíferos son excluidas para evitar la alteración de estos sistemas ecológicos delicados y proteger los recursos hídricos.

✓ **Faja Marginal**

Se excluyen las áreas colindantes a cuerpos de agua, como ríos y lagos, que forman parte de las fajas marginales, debido a los riesgos de contaminación y la importancia de estas áreas para el control de inundaciones.

✓ **Franja Marino-Costera**

Las áreas dentro de la franja marino-costera se excluyen para evitar impactos negativos en los ecosistemas marinos y costeros, que son altamente vulnerables a la contaminación terrestre.

✓ **Patrimonio Cultural**

Las áreas que albergan patrimonio cultural, arqueológico o histórico son descartadas, en cumplimiento con las normativas de conservación y protección del patrimonio.

✓ **Concesiones Mineras, Petroleras (en Explotación)**

Las zonas que se encuentran bajo concesión minera o petrolera en explotación son excluidas para evitar conflictos con las actividades extractivas y los potenciales efectos perjudiciales en la salud y el entorno natural.

✓ **Concesiones Forestales**

Las áreas bajo concesión para actividades forestales están excluidas para evitar el deterioro de los recursos forestales y garantizar la sostenibilidad de los ecosistemas.

✓ **Comunidades Campesinas y Nativas**

Las tierras pertenecientes a comunidades campesinas y nativas son excluidas, conforme a la normativa vigente que protege los derechos territoriales de estas comunidades y evita su desplazamiento o afectación.

Estos criterios de exclusión son esenciales para asegurar que las zonas seleccionadas sean ambientalmente viables, socialmente responsables y conforme a las normativas de protección ambiental y territorial.

2.2.12. Limitaciones aceptables para los criterios de restricción y exclusión

los valores establecidos de referencia se describen en la tabla siguiente correspondiente a las medidas de exclusión y restricción, para garantizar que las zonas designadas cumplan con las regulaciones y criterios ambientales establecidos.

Tabla 1

Límites permisibles para los criterios de ubicación de zonas para la eliminación final de desechos sólidos.

Criterio	Límite permitido
Distancia a áreas urbanas	Mínimo 500 metros
Distancia a infraestructuras	Mínimo 500 metros
Distancia a aeropuertos	Entre 4 km y 13 km
Distancia a cuerpos de agua superficiales	Mínimo 500 metros
Distancia a granjas	Entre 5km y 10km
Distancia a zonas agrícolas	Mínimo 500 metros
Distancia a fallas geológicas	Mínimo 1 km
Pendientes	Menor al 25%
Preservación de áreas naturales protegidas	-
Susceptibilidad por inundación	-
Faja marginal	-
Franja marino costera	-
Preservación de patrimonio cultural	-
Concesiones mineras	-

Fuente: (MINAM, 2021).

2.2.13. Estudio espacial

El estudio geoespacial geográfico es un procedimiento que conlleva la interpretación y la exploración geo-espacial modelado de datos obtenidos mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), comenzando con la adquisición de datos y culminando con la comprensión de los resultados generados. Los datos recolectados son procesados mediante software especializado para análisis espacial, que varía en complejidad según los objetivos planteados.

La tarea más básica podría ser simplemente visualizar los datos, mientras que obtener información significativa requiere un análisis detallado y profundo. En términos generales, un análisis espacial abarca cinco etapas fundamentales: definición del objetivo, preparación de los datos, selección de las herramientas y técnicas más adecuadas, implementación del estudio y valoración de los hallazgos logrados. Ejemplos comunes de análisis espacial incluyen la medición de distancias, la selección de rutas o el establecimiento de relaciones entre distintos objetos o ubicaciones basadas en su posición geográfica, ya sea en el presente o en el contexto histórico (Petro, 2022).

2.2.14. Evaluación multicriterio en un SIG

Es un instrumento eficaz para examinar distintos escenarios potenciales a un problema específico, utilizando múltiples criterios y enfoques metodológicos que simplifiquen el procedimiento para generar decisiones fundamentadas. Dentro de los sistemas de información geográficos (SIG), se emplean variables geo-espaciales que pueden ser de tipo vectorial (variables discretas) o ráster (variables continuas). Estas variables pueden incluir elementos como centros poblados, ríos, pendientes, áreas naturales protegidas, zonas boscosas, así como datos relacionados con el clima, como precipitación y temperatura. Con todas estas variables geo-espaciales, es posible aplicar metodologías de análisis multicriterio que permitan identificar de manera precisa las áreas más idóneas para resolver el problema en cuestión, optimizando así la solución final (Valladares, 2022).

2.3. Definiciones Conceptuales

2.3.1. ArcGIS

Es una plataforma integral diseñada para recolectar, ordenar, administrar, examinar, compartir y difundir datos geográficos. Reconocida como la herramienta número uno a nivel global en el ámbito de los Sistemas de Información Geográficos (SIG), ArcGIS es empleada globalmente en sectores como el sector gubernamental, empresarial, científico, educativo y de espacios de

atención. Su capacidad para divulgar datos geográficos asegura que esta información esté disponible y accesible para cualquier usuario, facilitando la toma de decisiones fundamentadas en el conocimiento espacial (Pachuca, 2023).

2.3.2. Área

Se refiere a una extensión o superficie delimitada dentro de un espacio determinado. Puede ser utilizada en diferentes contextos, como la geografía, las matemáticas, la gestión territorial o el urbanismo, para describir una región específica que puede ser medida, analizada o gestionada (Westreicher, 2024).

2.3.3. Análisis de datos

Es una práctica que utiliza algoritmos y modelos analíticos para capturar, procesar y examinar datos de manera instantánea. Su objetivo principal es identificar patrones, tendencias y anomalías en la información, permitiendo extraer conocimientos valiosos a través de las aplicaciones y las soluciones de los problemas (Hartmann et al., 2023).

2.3.4. Evaluación

Es un proceso esencial tanto en la educación como en diversos aspectos de la vida. Consiste en medir y valorar el conocimiento, las capacidades, las posturas y los principios de una persona, con el propósito de determinar su nivel de desarrollo, identificar áreas de mejora y orientar acciones futuras (Cruzado, 2022).

2.3.5. Restricción

Es una condición, límite o regla impuesta que delimita o regula las opciones disponibles para llevar a cabo una acción, cumplir un objetivo o tomar una decisión. Las restricciones pueden ser físicas, legales, técnicas, económicas o sociales, y suelen estar diseñadas para garantizar la seguridad, la eficiencia o el cumplimiento de normativas específicas (Martins, 2022).

2.3.6. Exclusión

Es el acto o condición de dejar algo o a alguien fuera de un conjunto, grupo o consideración. En un contexto técnico o normativo, la exclusión se refiere a criterios o requisitos que determinan qué elementos, áreas o situaciones no son aptos o no cumplen con las condiciones necesarias para ser incluidos en un análisis, proceso o decisión (Benedetti, 2023).

2.3.7. Criterios

Se refiere a una norma, parámetro o principio que sirve como base para tomar decisiones o emitir juicios sobre algo. También puede aludir a la capacidad de discernir y valorar con razonamiento, permitiendo adoptar decisiones informadas en relación con un asunto, persona o situación (Fernández, 2022).

2.3.8. Emplazamiento

Es el lugar o ubicación específica donde se sitúa o se planea situar algo, como una construcción, infraestructura, edificio, o instalación. También puede referirse al acto de establecer, colocar o disponer algo en un lugar determinado, teniendo en cuenta criterios geográficos, técnicos, sociales o ambientales. En el contexto de planificación, un emplazamiento es seleccionado cuidadosamente para cumplir con ciertos requisitos o condiciones necesarias para su funcionalidad o impacto mínimo en el entorno (Quiroga & Pàez, 2023).

2.3.9. Sistemas de comunicación de datos

Es un grupo de elementos que recolectan, analizan, guardan y reparten datos para respaldar el proceso en la toma de decisiones y la gestión de actividades en una entidad. Incluye hardware, software, datos, procedimientos y personas (Plataforma Digital Única del Estado Peruano [PDUE], 2024).

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y nivel de investigación

la investigación desarrollada corresponde a un estudio tipo aplicada, debido a que está orientado a la solución de un problema práctico relacionado con la determinación de áreas con condiciones favorables para la ubicación de un relleno sanitario. Este tipo de investigación se caracteriza por el uso de conocimientos científicos y técnicos con la finalidad de dar respuesta a necesidades concretas del entorno. Asimismo, el estudio presenta un nivel descriptivo (Guevara et al., 2020), ya que se enfoca en la recolección, análisis y caracterización de las variables del área de estudio, sin intervenir ni modificar las condiciones naturales del fenómeno analizado. De esta manera, se busca representar de forma objetiva la realidad espacial del territorio en estudio.

3.1.2 Diseño de la investigación

La investigación propuesta se fundamenta en un diseño no experimental. En este tipo de estudios, las variables examinadas no se modifican deliberadamente, y los análisis de estas se realizan en contextos ocurridos, según Iveth & Zúñiga (2023). Esto se debe a que el objetivo es identificar y evaluar zonas con características adecuadas para la implementación de un relleno sanitario a través del estudio de información ya existentes, sin manipular las condiciones geográficas o sociales de las zonas estudiadas. Este diseño permite una aproximación observacional, en la que se realiza una recolección, procesamiento y análisis de información disponible a través de herramientas de sistemas de información geográficos (SIG) y metodologías la evaluación multicriterio. El diseño no experimental se caracteriza por observar y describir situaciones o eventos de la manera en que suceden en su ambiente natural, lo que permite identificar patrones y correlaciones sin intervenir directamente en los elementos observados. En este caso, el uso de SIG facilita la integración y visualización de los datos

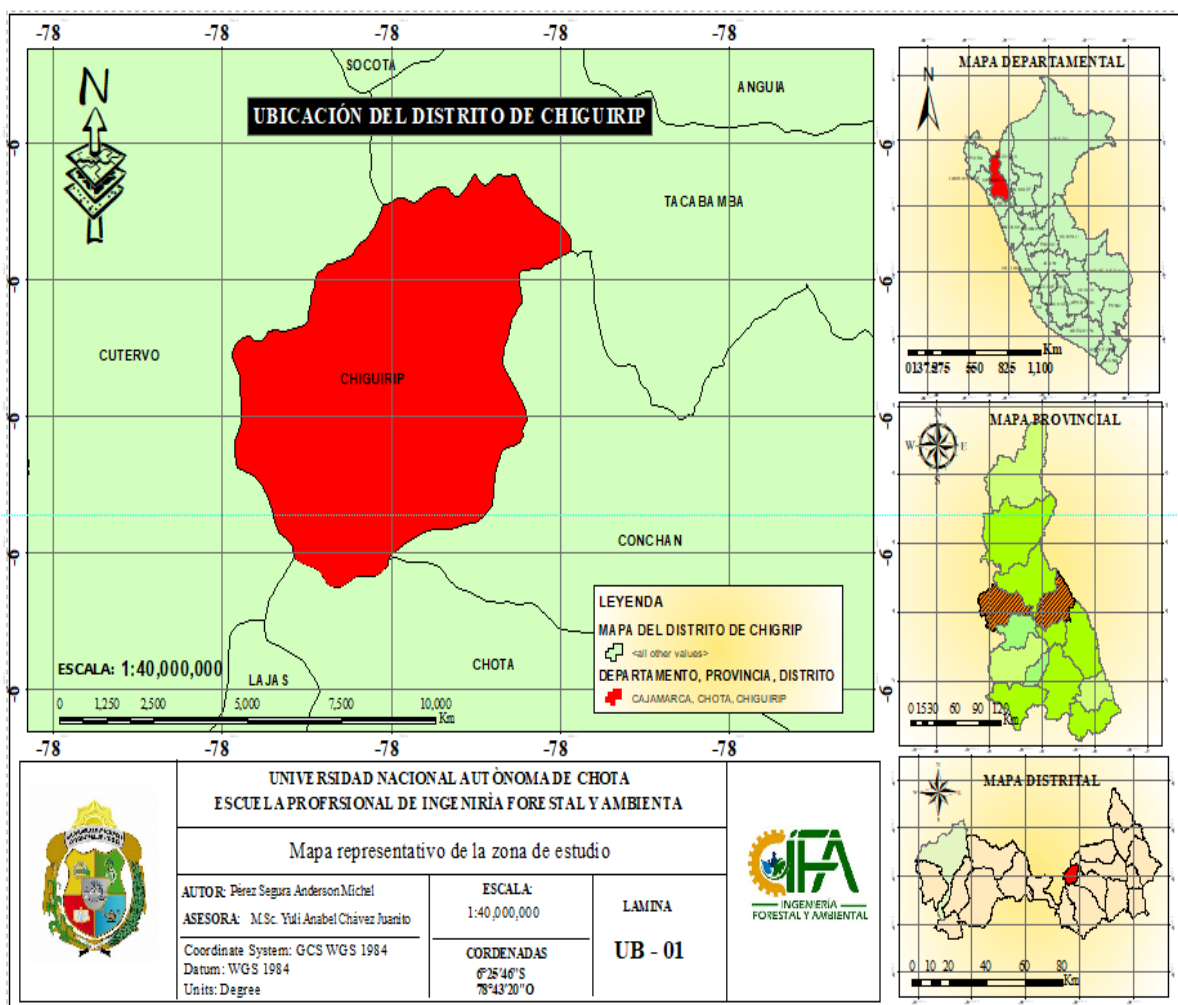
geoespaciales, lo cual es clave para evaluar las zonas desde una perspectiva técnica, ambiental y social.

3.2. Ubicación

El distrito de Chiguirip, ubicado en la provincia de Chota, región Cajamarca, presenta como límites territoriales al norte con la provincia de Cutervo y el distrito de Tacabamba; al este con Conchán y Chota; al sur con Chota y Lajas; y al oeste con Cutervo. Tiene una extensión de 47,95 km² y se encuentra a 2652 metros de altitud, en las coordenadas 6°25'46"S y 78°43'20"O.

Figura 1

Mapa representativo del distrito de Chiguirip



3.2.1. Población y muestra

- **Población**

Se abarcó la totalidad del espacio geográfico correspondiente al distrito de Chiguirip, tanto urbano como rural, para evaluar posibles ubicaciones destinadas a la implementación de un relleno sanitario.

- **Muestra**

La muestra de la investigación abarcó todo el territorio del distrito de Chiguirip y fue analizada según los criterios y metodología definidos en el documento técnico aprobado mediante la Resolución Ministerial N° 165-2021-MINAM.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La obtención de información se efectuó tomando como referencia los lineamientos técnicos establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), la cual establece diversos criterios técnicos para la selección de sitios. En la presente investigación se seleccionaron ocho criterios, conformados por cinco criterios de restricción (distancia a la ciudad de Chiguirip, pendiente, hidrografía, distancia a centros poblados y textura del suelo) y tres criterios de exclusión (patrimonio cultural, comunidades campesinas y concesiones mineras), debido a que son los que se ajustan a las características físicas, ambientales y territoriales del distrito de Chiguirip, además de contar con información geoespacial disponible para su evaluación. Los criterios normativos restantes no fueron considerados por no ser aplicables al área de estudio, ya que las condiciones que regulan no se presentan dentro del ámbito territorial evaluado. Los datos utilizados fueron recopilados de fuentes institucionales, entre ellas el Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN), la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) del departamento de Cajamarca y otras bases de datos cartográficas utilizadas en el análisis mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.3.1. Criterios del desarrollo investigativo

Para poner en práctica la metodología de aplicación multicriterio, se determinaron las variables temáticas, que en este escenario serían los criterios de restricción y exclusión.

3.3.1.1. Criterios de restricción estipulados:

Los cinco criterios que satisfacen los requisitos y son pertinentes para evaluar las áreas potenciales en el distrito de Chiguirip se enumeran a continuación.

Tabla 2

Restricciones para la evaluación en el distrito de Chiguirip

Criterio de ubicación	Variables
Restricción	Distancia a la zona urbana
	Rangos de pendientes
	Hidrografía (ríos, lagunas)
	Distancia a centros poblados
	Tipo de textura de suelo

Fuente: Adaptado del MINAM (2021).

3.3.1.2. Criterios de exclusión a considerar:

Hay tres criterios que satisfacen las condiciones para ser analizados dentro del distrito de Chiguirip, de los cuales se determina únicamente el espacio geográfico que corresponde al área evaluada para establecerlas como áreas o zonas excluyentes. Seguidamente, se presentan.

Tabla 3

Exclusiones para la evaluación en el distrito de Chiguirip

Criterio de ubicación	Variables
Exclusión	Patrimonio cultural
	Concesiones mineras
	Comunidades campesinas

Fuente: adaptado del MINAM (2021).

3.4. Hipótesis

Mediante la aplicación de un análisis multicriterio en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el uso de los criterios técnicos establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), se pueden identificar zonas óptimas para la ubicación de un relleno sanitario en la localidad de Chiguirip, Cajamarca.

3.5. Operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores	Ítem
INDEPENDIENTE Localización de zonas óptimas para el establecimiento de un relleno sanitario	Implica seleccionar zonas idóneas para la eliminación definitiva de desechos sólidos, basándose en criterios técnicos, ambientales, sociales y normativos para minimizar los efectos adversos en la salud pública y entorno ambiental.	La evaluación se lleva a cabo conforme a lo estipulado en artículo 109 al 110 del D.S.014-2017 MINAM, considerando criterios de exclusión y restricción.	Proximidad a la ciudad de Chiguirip (medida en metros o kilómetros)	Euclidean Distance-ArcGIS 10.8
			Rangos de pendientes < 15 %	SIG a partir del DEM
			Hidrografía (ríos, lagunas) > 500 m	
			Distancia a centros poblados > 500 m	
			Textura de suelo	SIG con shapes de la ZEE Cajamarca
			Proximidad comunidades campesinas	
			Proximidad a patrimonios culturales	
			Proximidad a concesiones mineras	SIG con mapas temáticos del GEOCATMIN

DEPENDIENTE Análisis multicriterio	Es una metodología utilizada para evaluar y comparar diferentes opciones o alternativas basados en diversos criterios, cada uno de ellos con un peso o importancia específica. Este enfoque permite tomar decisiones más informadas y equilibradas, considerando aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, especialmente en situaciones complejas donde no existe una única solución óptima.	Mapas de parámetros de restricción y exclusión	Evaluación mediante mapas temáticos generados por SIG	software ArcGIS 10.8
--	--	---	--	-----------------------------

3.6. Procesamiento de recolección de datos

Para manejar la información espacial en formato (shapefile), cada criterio escogido se recortó de acuerdo a los límites del campo de estudio y se convirtió en formato ráster mediante el instrumento "Distancia Euclidiana". Esto simplificara la valoración multicriterio, lo que posibilitó reconocer los espacios con mayor aptitud para la implementación de un relleno sanitario.

3.6.1. Recopilación de información

Para desarrollar el procesamiento de los datos espaciales se tomó como fuente principal la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) elaborada por el Gobierno Regional de Cajamarca Mogollón (2017). Esta información fue utilizada como soporte cartográfico para la aplicación de los parámetros técnicos establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), orientados a la evaluación de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos. De acuerdo con las características del área de estudio y la disponibilidad de información geoespacial, se analizaron ocho variables, agrupadas en cinco criterios de restricción y tres criterios de exclusión, los cuales permitieron determinar las condiciones de aptitud territorial para la posible ubicación del relleno sanitario, seleccionados por ser los que mejor se adaptan a las características físicas, ambientales y territoriales del distrito de Chiguirip, además de contar con información geoespacial disponible para su evaluación. Los criterios restantes no fueron considerados debido a que no son aplicables a las condiciones del área de estudio.

La elaboración del Modelo Digital de Elevación (DEM) se utilizó la plataforma Copernicus. Asimismo, la información poblacional fue obtenida del INEI (2017), mientras que la información sobre residuos sólidos se recopiló del sistema SIGERSOL.

3.6.2. Valores permitidos para los requisitos de limitación y exclusión (valor asignado).

Tras definir las variables conceptuales junto con los requisitos de limitación y exclusión correspondientes al distrito de Chiguirip, se procedió a determinar los límites permisibles.

Las especificaciones se tomarán en cuenta de acuerdo al tipo de criterio. Se aplicó una asignación de 0 a 2 para los criterios de limitación, de acuerdo con la siguiente subescala: el rango 2 representa el nivel de mayor aptitud, debido a que cumple favorablemente con los parámetros establecidos por la normativa vigente para la implementación de un relleno sanitario. El rango intermedio, 1 indica que la zona es aceptable, pero presenta algunas limitaciones en los requisitos para la zonificación, lo cual no impide la instalación de la infraestructura. El rango más bajo, cero (0) indica que el área no presenta condiciones compatibles con los criterios requeridos para la ubicación del relleno sanitario.

En cuanto a requisitos de exclusión, se demostró que el espacio que engloba las variables, clasificándose en dos categorías: las zonas con exclusión, que se asignan un rango de 0 y las zonas sin exclusión, que se asignan un rango de 1.

En última instancia, se realizará una ponderación evaluada, lo que significa que se reunirán todas los factores considerados y los parámetros de evaluación, restricción y exclusión para determinar las zonas donde es posible establecer un relleno sanitario.

Los rangos establecidos para cada variable analizada conceptual se definen en tres niveles de clasificación para los criterios de restricción, cada una representada por una escala con su correspondiente rango de ponderación: no apropiada= 0 es aceptable = 1 máxima= 2. Los cuales se detallan a continuación.

Tabla 5

Análisis y valoración de los criterios de limitación, categorías y valores a tener en cuenta.

CRITERIO	CATEGORÍA	ESCALA	RANGOS
Rangos de pendientes	No apropiada	>50 %	0
	Es aceptable	25-50%	1
	Máxima	0-25%	2
Distancia a la red hidrográfica	No apropiada	<500 m	0
	Es aceptable	500-1000m	1
	Máxima	>1000m	2
Distancia a centros poblados	No apropiada	<500m	0
	Es aceptable	500-1000m	1
	Máxima	>1000m	2
Distancia a la ciudad de Chiguirip	No apropiada	<1 km	0
	Es aceptable	1 km a 2 km	1
	Máxima	2km a 16 km	2
Textura de suelo	No apropiada	Ligeramente gruesa	0
	Es aceptable	Media	1
	Máxima	Moderadamente fina	2

Fuente: Desarrollo fundamentado en el MINAM (2021).

Respecto a los criterios de exclusión, los rangos de evaluación fueron establecidos mediante dos niveles de clasificación, cada una con dos opciones asignadas, cuyo rango será aplicable = 0 y no aplicable = 1, tal como se especifica a continuación.

Tabla 6*Aplicación de los requisitos de exclusión.*

CRITERIO	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	RANGO
Patrimonio cultural	Aplicable	Espacio que abarca	0
	No aplicable	Exterior al área	1
Comunidades campesinas	Aplicable	Espacio que abarca	0
	No aplicable	Exterior al área	1
Concesiones mineras	Aplicable	Espacio que abarca	0
	No aplicable	Exterior al área	1

Fuente: Desarrollo fundamentado en el MINAM (2021).

3.6.3. Incorporación de los criterios al Sistema de Información Geográfica (SIG)

Se aplicó la herramienta Distancia Euclidiana (ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Distancia) para determinar la separación espacial entre cada celda de origen y los elementos correspondientes a los criterios de restricción. Posteriormente, mediante la herramienta Ráster Calculator (ArcToolbox, Herramientas para Analistas Espaciales, Álgebra de Mapas), se realizó la combinación y ponderación de las variables asociadas a dichos criterios. Finalmente, la herramienta Intersect (Geoprocessing) permitió integrar los resultados ponderados, previamente transformados a formato vectorial, con la información correspondiente a los criterios de exclusión, los cuales se encontraban en formato vectorial desde la etapa inicial.

3.6.4. Determinación de las áreas**➤ Estimación del crecimiento poblacional**

Fórmula 1:

$$Pf = Po (1 + r. t)$$

Donde:

Pf : futura población

Po : Población base

r : Índice de crecimiento

t : Periodo en años abarcados entre Pf y Po

n : Cantidad de datos censales

➤ **Cantidad de residuos sólidos**

Fórmula 2:

$$DSd = pob \times ppc$$

Donde:

DSd = Cantidad de desechos sólidos producidos diariamente en kilogramos/día

Pob = Total de habitantes

ppc = Cantidad producida por persona (kg/hab/día)

➤ **Volumen de desechos sólidos comprimidos**

Fórmula 3:

$$Vdiario\ comprimido = \frac{DSp}{Drsm}$$

Fórmula 4:

$$V_{anual\ compactado} = V_{diario\ comprimido} \times 365$$

Donde

DSp = Número de desechos sólidos producidos (kg/día)

Drsm = Gravedad de los residuos sólidos recién comprimidos (400 kg/m³)

➤ **Volumen de material cubierto**

Fórmula 5:

$$m. c. = V_{\text{anual comprimido}} \times 0.20$$

Donde:

m.c. = Material de revestimiento, que equivale al 20% del volumen de los desechos comprimidos.

➤ **Volumen de desechos sólidos anual estabilizado**

Fórmula 6:

$$V_{\text{anual estabilizado}} = \frac{DSp}{Drsm} * 365$$

Donde:

DSp = Generación de desechos sólidos en kilogramos diarios.

Drsm = Cantidad de desechos sólidos estabilizados que equivale a 500 kg/m³.

➤ **Volumen de relleno sanitario**

Fórmula 7:

$$VRS = V_{\text{anual estabilizado}} + m. c$$

Donde:

VRS = Volumen de relleno sanitario metros cúbicos al año.

m.c. = Material de cobertura

➤ **Área requerida**

Fórmula 8:

$$Ars = \frac{VRs}{hRS}$$

Donde:

ARS = Área por llenar (m²)

VRS = Capacidad de un relleno sanitario (m³) anual

hRS = Nivel promedio de un relleno sanitario (4m)

➤ **Zona total necesaria**

Fórmula 9:

$$Ar = (\sum_{i=1}^n ARS) \cdot (1 + f)$$

Donde:

ARS = Área requerida en el año

i-n = Periodo de diseño

f = Factor de seguridad (30 %)

3.6.5. Localización de los espacios destinados al relleno sanitario

Se elaboró el mapa final de aptitud territorial, que incluye las zonas con condiciones favorables para la posible ubicación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip.

3.6.6. Validación en el lugar

Se realizó la validación en el lugar en cada una de las zonas escogidas durante la etapa de oficina, empleando los métodos de evaluación multicriterio. En cada lugar escogido, se efectuó el registro de ubicación mediante el uso de un equipo GPS y una cámara fotográfica.

3.6.7. Herramientas recopilación de información

Se recopiló y analizó la información obtenida de distintas fuentes de información, públicas, privadas y de los geos servidores estatales, en categorías de formatos digitales como vectorial (shape) y ráster. Con el programa ArcGIS 10.8, se desarrollaron diferentes procedimientos de análisis espacial para generar la representación cartográfica de cada variable o criterio evaluado. Para este propósito, se empleó la caja de instrumentos ArcToolbox, en particular la herramienta Conversión Tools, To Ráster, Polygon To Ráster, la cual facilitó que permitió transformar la información vectorial a formato ráster y finalmente se empleó el instrumento Distancia Euclidiana (ArcToolbox, SPATIAL).

A continuación, se reclasificaron los valores obtenidos de acuerdo con la escala y la ponderación de cada criterio, como se describió previamente (2 = Máxima, 1 = Es aceptable, 0 = No apropiada) usando el instrumento RECLASSIFY (ArcToolbox, Spatial Analyst Tools, Reclass, Reclasificar). Luego, el formato ráster pasó a ser vectorial, lo que facilitó la utilización de datos en los programas.

En el mapa de exclusión, se asignaron valores de clasificación a las variables analizadas, considerando una escala binaria donde 0 representa una condición aplicable y 1 corresponde a una condición no aplicable en cada capa cartográfica de los criterios evaluados. Finalmente, se incorporaron ambos criterios a través del uso de la herramienta Intersect para los archivos formales, lo que facilitó determinar las zonas apropiadas para la instalación del relleno sanitario.

3.7. Procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y evaluación de la información se desarrollaron mediante una metodología de análisis multicriterio integrada con Sistemas de Información Geográfica (SIG), empleando el software ArcGIS 10.8. Como etapa inicial, se realizó la recopilación y estructuración de los

datos espaciales asociados a los criterios de restricción y exclusión definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) para la selección de áreas destinadas a infraestructura de residuos sólidos.

Posteriormente, cada criterio fue procesado mediante herramientas de análisis espacial, generando las capas temáticas correspondientes. Estas capas fueron reclasificadas de acuerdo con los niveles de aptitud definidos para la investigación y se les asignó una ponderación según su importancia relativa en la determinación de áreas adecuadas para la ubicación de un relleno sanitario.

Finalmente, las capas temáticas fueron integradas mediante una evaluación multicriterio ponderada, obteniéndose un mapa de aptitud territorial que permitió determinar las zonas con mejores condiciones para la posible implementación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip, Cajamarca. Los resultados fueron complementados con la verificación en campo de las zonas identificadas, con el fin de corroborar que cumplieran las condiciones técnicas establecidas por el MINAM.

3.8. Equipos, materiales e insumos

Se utilizaron diversos equipos, como una computadora, una cámara fotográfica y un sistema GPS (Global Positioning System). Además, se emplearon datos cartográficos extraídos de las bases de información espacial, tales como la información cartográfica utilizada correspondieron a la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) de Cajamarca del año 2016 y al Sistema de Información Geológico y Catastral Minero (GEOCATMIN). Estos datos fueron procesados y evaluados considerando los ocho criterios de restricción y exclusión aplicables al área de estudio, establecidos como referencia técnica por el Ministerio del Ambiente (MINAM) en la guía orientada a la planificación, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios.

3.9. Aspectos éticos

El estudio fue realizado bajo principios de objetividad, veracidad y responsabilidad científica durante la gestión, procesamiento y evaluación de los datos obtenidos. Asimismo, la información cartográfica y documental utilizada proviene de fuentes oficiales, como el ministerio del ambiente (MINAM), el instituto nacional de estadística e informática (INEI), el Gobierno Regional de Cajamarca, GEOCATMIN y SIGERSOL, las cuales fueron empleadas únicamente con fines académicos y debidamente citadas conforme a las normas APA. Los resultados obtenidos corresponden al análisis multicriterio realizado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), sin alterar ni manipular la información empleada, garantizando la transparencia, confiabilidad y reproducibilidad de la investigación.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción de resultados

Para determinar zonas con aptitud adecuada para la implementación de un relleno sanitario en la localidad de Chiguirip, se empleó la metodología de evaluación multicriterio integrada con sistemas de información geográfica (SIG). Este procedimiento facilitó la integración y evaluación espacial de forma espacial diversas variables físicas y ambientales, representadas mediante mapas temáticos, con la finalidad de establecer las zonas del territorio que presentan mejores condiciones para dicho propósito.

Análisis de criterios de restricción aplicados en la determinación de zonas con aptitud óptima de acuerdo con los indicadores definidos, se consideraron como criterios de restricción los siguientes: proximidad a la ciudad de Chiguirip, pendiente, red hidrográfica, textura del suelo y distancia a centros poblados. Cada criterio fue reclasificado según su grado de aptitud para la instalación del relleno sanitario, asignándose valores que representan condiciones no apropiadas, aceptables y máximas.

Los resultados generados mediante el análisis de las capas cartográficas permitieron identificar las zonas con mejores condiciones ambientales y físicas para el emplazamiento del relleno sanitario, constituyendo la base técnica para la etapa de integración final mediante el análisis multicriterio. A partir de esta evaluación preliminar, se procedió a analizar de manera individual cada uno de los criterios considerados, describiendo su comportamiento espacial dentro del área de estudio y su influencia en la determinación de las zonas óptimas.

4.1.1. Localización de zonas óptimas para el establecimiento de un relleno sanitario

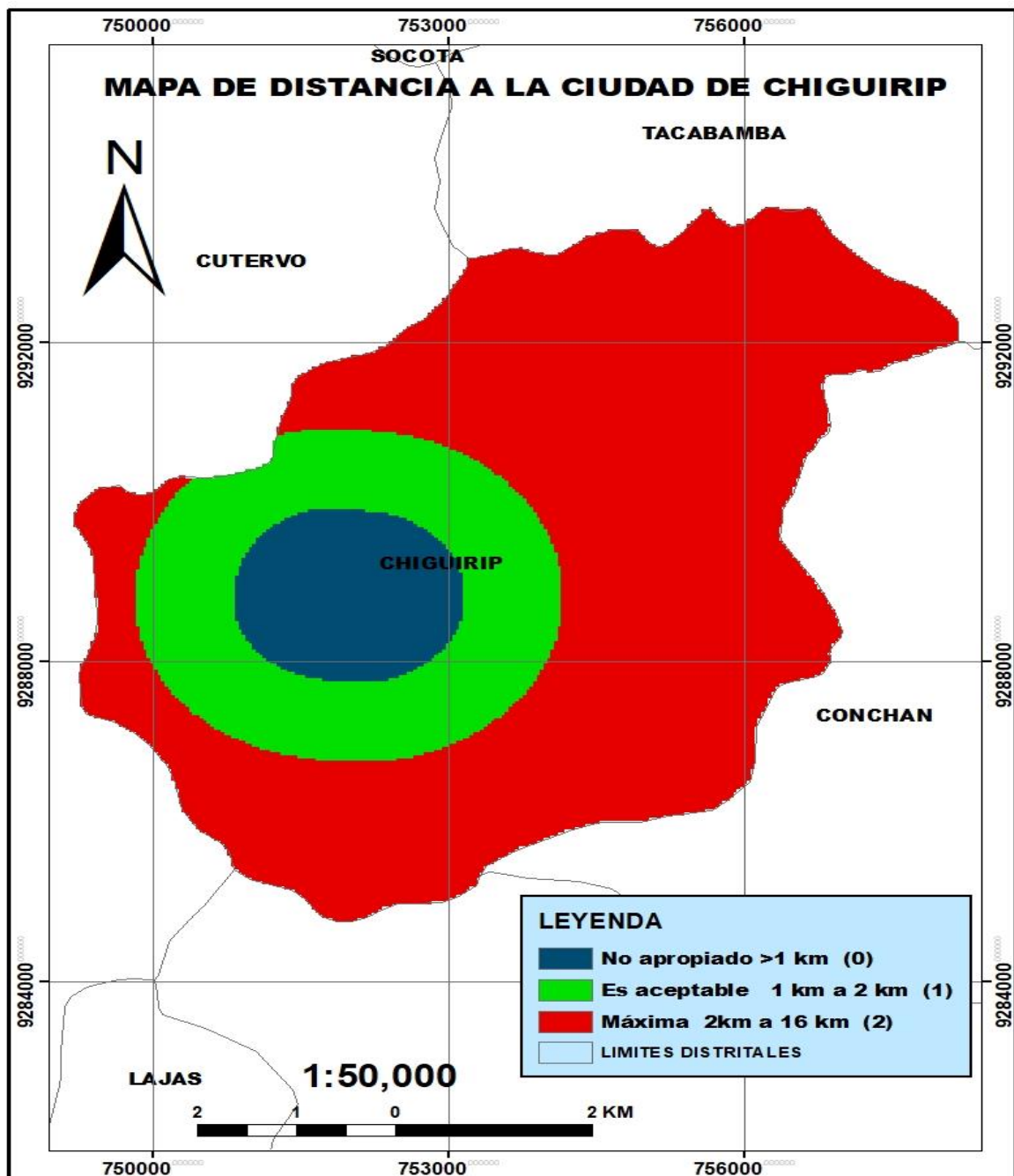
- **Proximidad a la ciudad de Chiguirip**

Para evaluar la proximidad a la ciudad de Chiguirip, se generó un mapa de distancia euclidiana mediante el software ArcGIS 10.8, tomando como referencia el límite urbano de la localidad.

Este criterio se consideró relevante debido a la ubicación de una infraestructura de disposición final requiere establecer una distancia adecuada respecto a las zonas habitadas, con el propósito de reducir posibles afectaciones ambientales y sociales asociadas a la generación de malos olores, ruido o posibles riesgos sanitarios, pero sin alejarse demasiado para no incrementar los costos de transporte.

Figura 2

Distribución espacial de distancia a la ciudad de Chiguirip



En la **Figura 2** se presenta el mapa de proximidad a la ciudad de Chiguirip, donde se visualizan las zonas clasificadas en tres rangos: las zonas ubicadas a menos de 1 km y más de 16 km fueron consideradas no apropiadas (valor 0), las comprendidas entre 1 km y 2 km fueron clasificadas como aceptables (valor 1), y aquellas situadas entre 2 km y 16 km se definieron

como de máxima aptitud (valor 2).El análisis evidenció que la mayor parte del territorio de Chiguirip se encuentra dentro del rango máximo, especialmente en los sectores periféricos a la zona urbana y hacia el noreste del distrito. Estas áreas presentan una distancia adecuada que garantiza accesibilidad sin comprometer las condiciones de salud y seguridad de los habitantes, por lo que fueron consideradas favorables para la posible implementación del relleno sanitario..

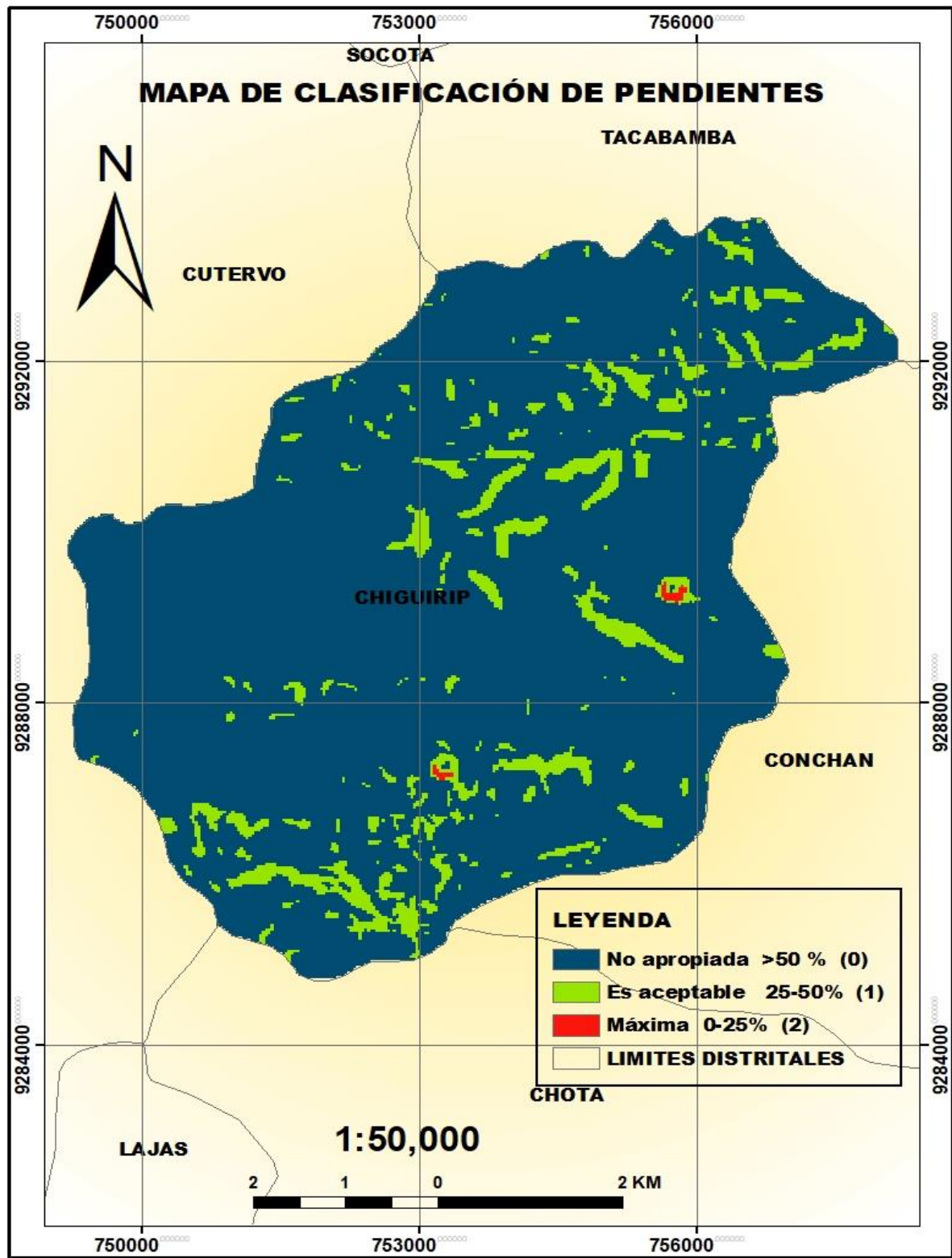
En la investigación desarrollada por Vasquez (2023) en el Distrito de Chota, se evaluó la distancia a la zona urbana para determinar áreas aptas para un relleno sanitario. Las zonas ubicadas a menos de 1 km y a más de 16 km de la ciudad fueron clasificadas como no aptas, debido a los riesgos urbanos y la lejanía operacional. Los sectores entre 1 y 2 km se consideraron aceptables, mientras que las áreas situadas entre 2 y 16 km fueron definidas como óptimas, al ofrecer una distancia adecuada que equilibra accesibilidad y mínima afectación a la población. Esta evaluación permitió identificar los espacios más convenientes para la instalación del relleno sanitario.

- **Rangos de Pendientes**

Para evaluar el criterio de pendiente, se generó un mapa a partir del Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenido del satélite SRTM, procesado mediante el software ArcGIS 10.8 utilizando la herramienta Slope. Este criterio fue considerado importante, ya que la inclinación del terreno influye directamente en la estabilidad estructural el control de los líquidos generados por los residuos y el adecuado funcionamiento del relleno sanitario.

Figura 3

Distribución Espacial de las pendientes.



En la **Figura 3** Se generó el mapa de distribución de pendientes del área de estudio, en el cual se clasificaron las superficies según tres rangos de inclinación; aquellas con valores superiores al 50 % fueron consideradas no apropiadas (valor 0) debido a la alta inclinación y riesgo de deslizamientos; las pendientes entre 25 % y 50 % se calificaron como aceptables (valor 1), por representar condiciones intermedias; y las pendientes de 0 % a 25 % se definieron como de máxima aptitud (valor 2), por ofrecer superficies estables y favorables para la construcción. El análisis evidenció que la mayor parte del territorio de la localidad de Chiguirip presenta pendientes inferiores al 25 %, localizadas principalmente en las zonas centrales y de relieve moderado. Estas áreas fueron consideradas favorables para la ubicación del relleno sanitario.

En la investigación desarrollada por Mussa y Suryabhagavan (2021) en la ciudad de Logia, Etiopía, el criterio de pendiente fue considerado un elemento clave para determinar áreas adecuadas para la ubicación de infraestructura destinada al manejo de residuos sólidos. El estudio evidenció que la mayor parte del territorio presenta inclinaciones entre 0° y 10°, abarcando el 99,1% de la superficie, razón por la cual estas zonas fueron clasificadas como altamente favorables. De igual manera, se identificó que un 0,87% del área posee pendientes entre 10° y 20°, consideradas aceptables, mientras que únicamente el 0,03% supera los 20°, rango que fue definido como no apto para implementación de áreas destinadas a la disposición final de residuos. Gracias a esta clasificación, el autor pudo delimitar las zonas con características topográficas más favorables para el desarrollo del proyecto.

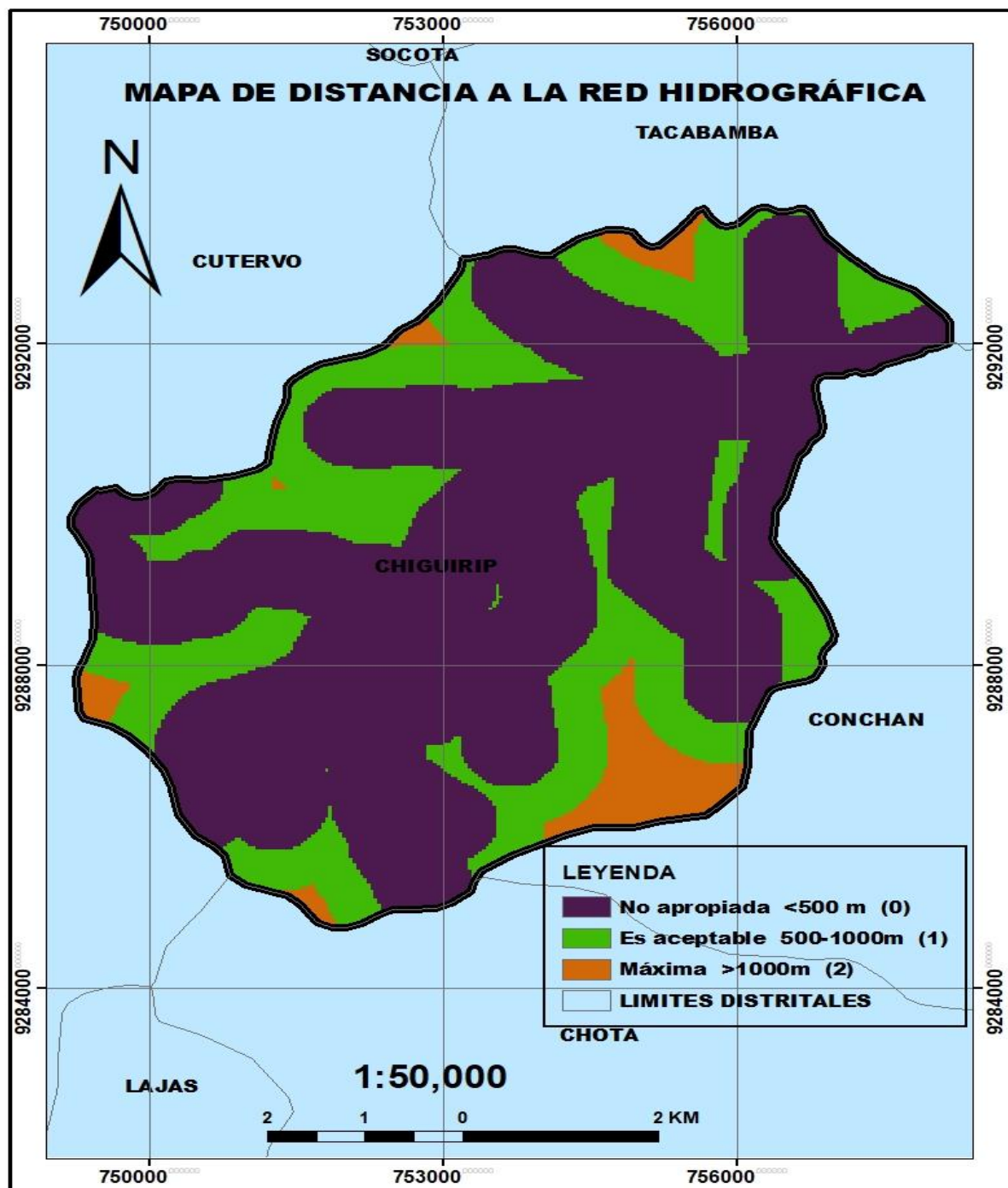
- **Red hidrográfica**

Para evaluar el criterio de distancia a hidrografías, se generó un modelo de distancia euclidiana considerando la red de drenaje principal y secundaria de la localidad de Chiguirip, utilizando el software ArcGIS 10.8. Este criterio se consideró esencial, debido a que la localización de un relleno sanitario requiere conservar una distancia preventiva frente a los cuerpos de agua, con

el fin de reducir posibles procesos de contaminación ocasionados por lixiviados y contribuir a la protección de los recursos hídricos superficiales.

Figura 4

Distribución Espacial de proximidad a la red hidrográfica.



En la **Figura 4** se presenta el mapa de distribución de distancias respecto a la red hidrográfica, donde se visualizan las zonas clasificadas según tres niveles de aptitud: las áreas ubicadas a menos de 500 metros de los cursos de agua fueron consideradas no apropiadas (valor 0), las comprendidas entre 500 y 1000 metros se calificaron como aceptables (valor 1), y aquellas situadas a más de 1000 metros se definieron como de máxima aptitud (valor 2). El análisis mostró que gran parte del territorio de Chiguirip presenta distancias superiores a los 1000 metros respecto a la red hidrográfica, especialmente en las zonas elevadas y alejadas de las quebradas. Estas áreas se consideraron favorables para la implementación del relleno sanitario.

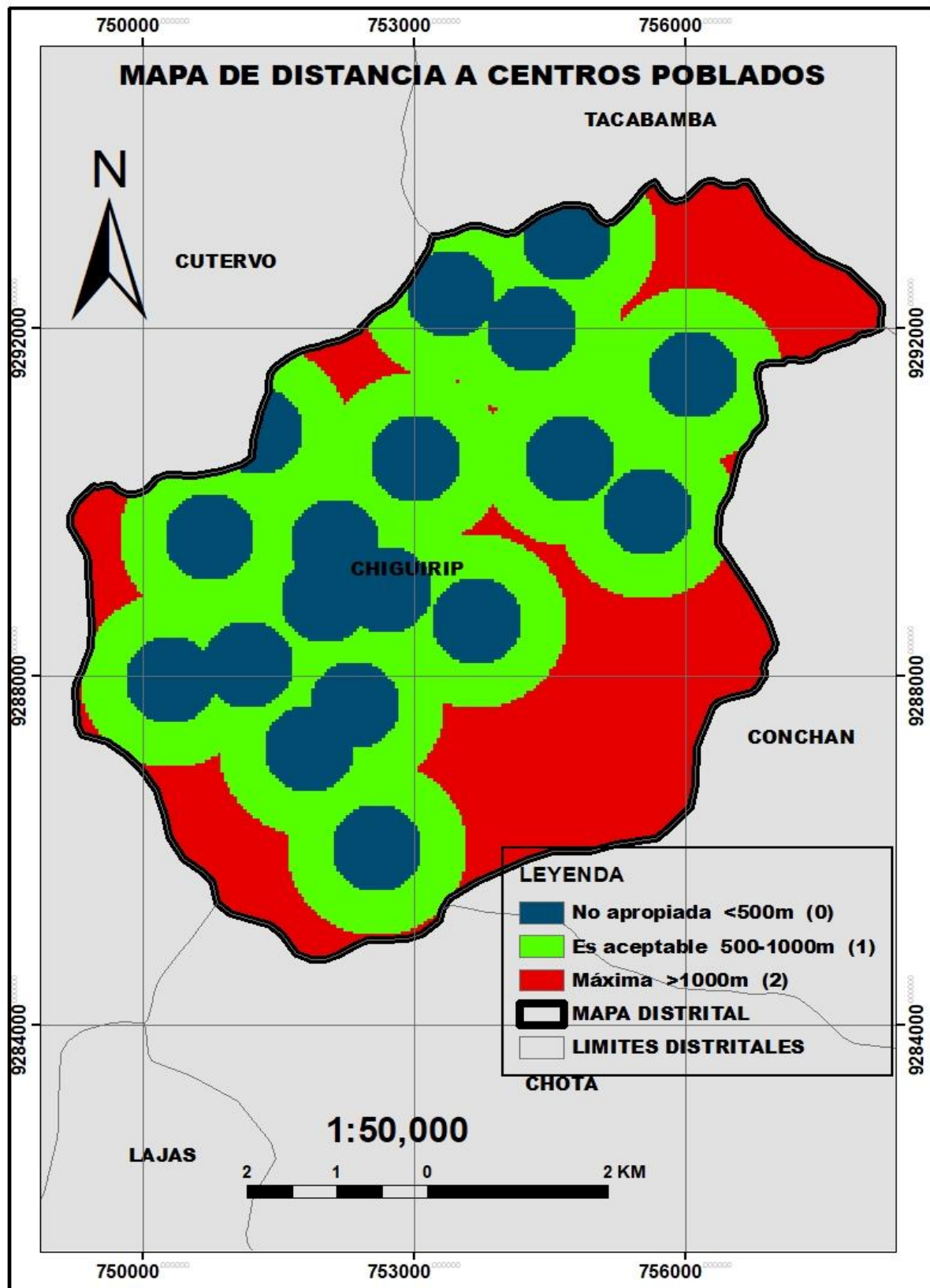
En la investigación realizada por Supo (2024) en la provincia El Collao, se determinó que las áreas localizadas a una distancia menor a 500 metros de los cuerpos hídricos fueron consideradas no adecuadas para la implementación de un relleno sanitario, debido al posible peligro de afectación ambiental ocasionado por el desplazamiento superficial o infiltración de lixiviados. Por el contrario, las áreas que superan dicha distancia se consideraron aptas, ya que ofrecen mejores condiciones de protección ambiental. Esta clasificación permitió al autor identificar con precisión los espacios más seguros para la disposición final de residuos.

- **Distancia a centros poblados**

Para analizar el criterio de separación respecto a los centros poblados, se elaboró un mapa de distancia euclidiana considerando la distribución de las áreas urbanas y rurales de la localidad de Chiguirip, utilizando el software ArcGIS 10.8. Este criterio fue considerado relevante, debido a que la ubicación de un relleno sanitario requiere establecer una distancia preventiva frente a las zonas habitadas, con el propósito de disminuir molestias asociadas a olores, presencia de vectores, ruido y posibles efectos negativos sobre la salud de los habitantes.

Figura 5

Distribución Espacial de distancia a centros poblados.



En la **Figura 5** se presenta el mapa de distribución de distancias respecto a los centros poblados, donde se muestran las zonas clasificadas en tres rangos: las áreas situadas a menos de 500 metros fueron consideradas no apropiadas (valor 0), las comprendidas entre 500 y 1000 metros se calificaron como aceptables (valor 1), y aquellas ubicadas a más de 1000 metros se definieron como de máxima aptitud (valor 2). El análisis evidenció que una parte considerable del territorio de Chiguirip se encuentra a distancias mayores de 1000 metros de los centros poblados, principalmente en sectores periféricos y rurales. Estas zonas fueron determinadas como adecuadas para la posible implementación del relleno sanitario.

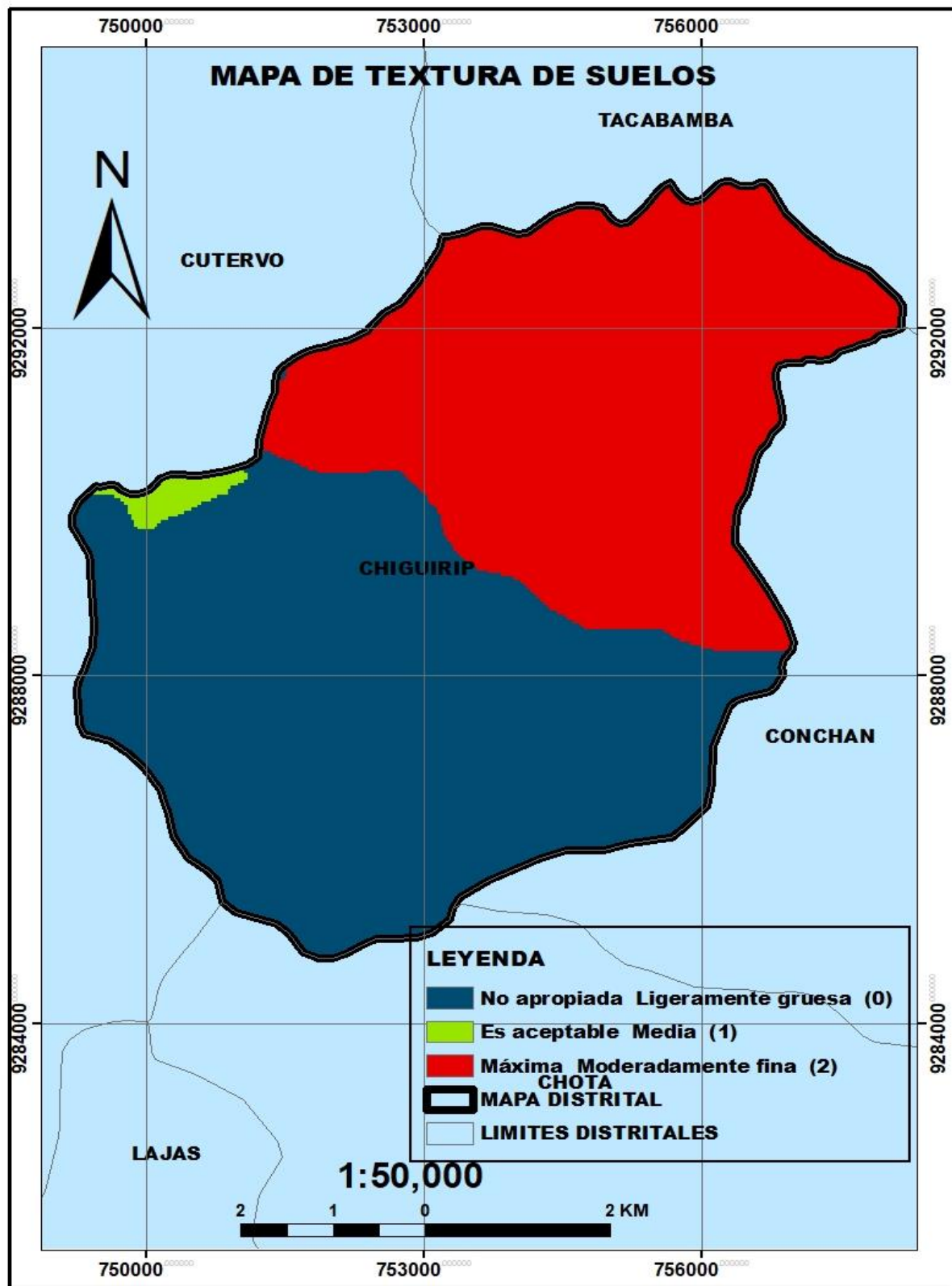
En la investigación realizada por Paucar (2024) en el distrito de Ilave, Puno, la distancia a los centros poblados fue un criterio esencial para definir áreas adecuadas para un relleno sanitario. A partir de la información del SIGRID se identificaron 559 centros poblados, y se determinó que las zonas situadas a menos de 500 metros de estas localidades debían clasificarse como no aptas, debido al riesgo de afectar a la población cercana. Por el contrario, las áreas ubicadas a más de 500 metros fueron consideradas aptas, al cumplir con la distancia mínima recomendada.

- **Textura de suelos**

Para evaluar la textura del suelo, se elaboró un mapa temático a partir de la información edafológica de la localidad de Chiguirip, procesada en el software ArcGIS 10.8. Este criterio fue relevante, ya que la textura del suelo influye directamente en la permeabilidad, compactación y estabilidad del terreno, factores determinantes para la adecuada instalación y funcionamiento de un relleno sanitario.

Figura 6

Distribución Espacial de textura de suelo.



En la **Figura 6** se presenta el mapa de distribución de la textura del suelo, donde las zonas se clasificaron en tres rangos: los suelos de textura ligeramente gruesa fueron considerados no apropiados (valor 0), los de textura media se calificaron como aceptables (valor 1), y los moderadamente finos se definieron como de máxima aptitud (valor 2).

El análisis evidenció que la mayor parte del territorio de Chiguirip presenta suelos de textura media a moderadamente fina, especialmente en las zonas de relieve suave. Estas condiciones se consideran favorables para el establecimiento del relleno sanitario, ya que garantizan una adecuada compactación y reducen la infiltración de lixiviados.

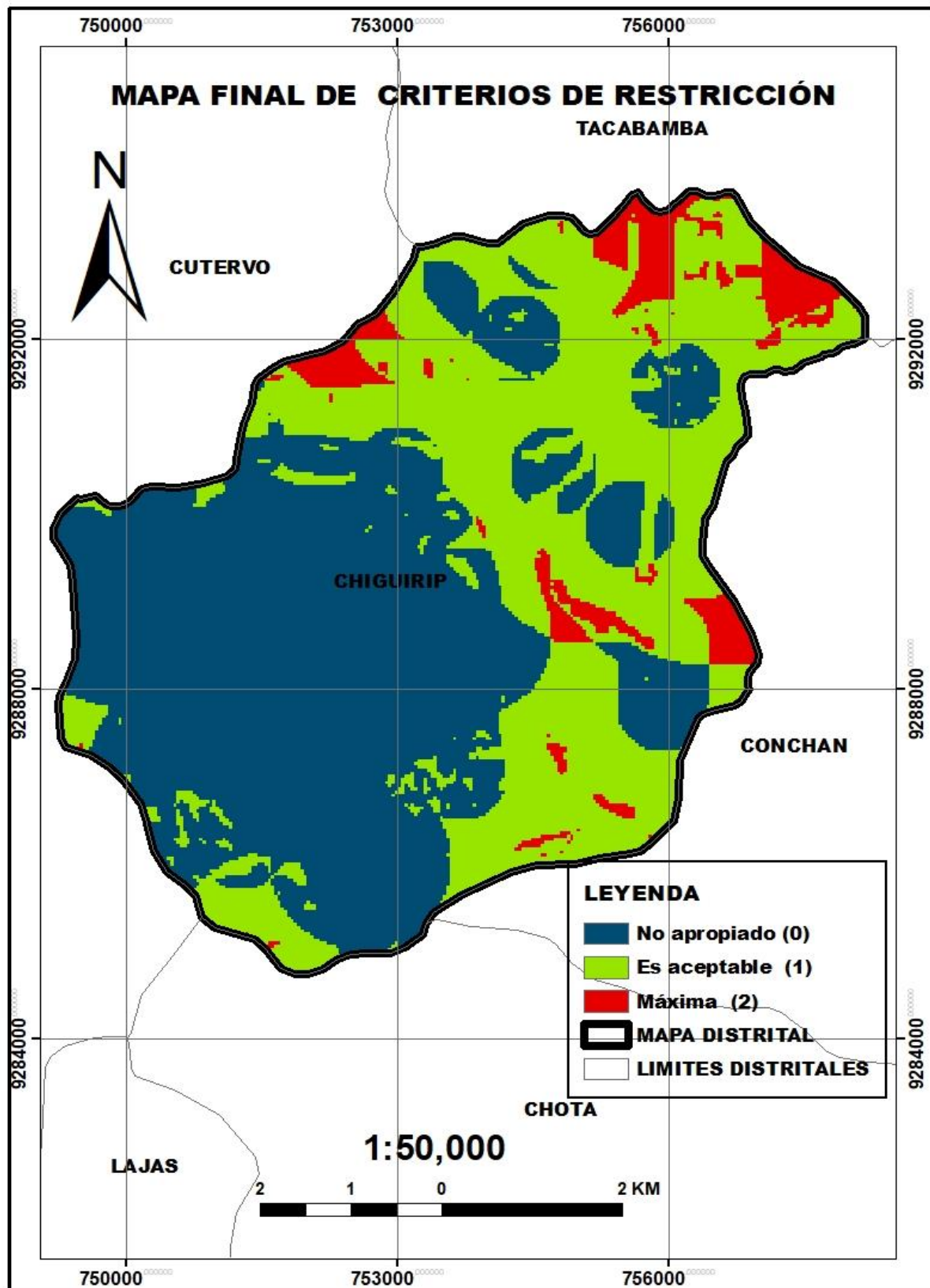
En la investigación realizada por Idrogo (2024) en el distrito de Conchán, Chota, quien aplicó evaluación multicriterio utilizando ArcGIS 10.5 y Model Builder mediante ocho variables evaluó la capacidad de uso de suelo e infraestructura. Como resultado identificó nueve áreas óptimas y catorce aceptables, seleccionándose finalmente cinco zonas con superficies de 7,04 ha, 13,62 ha, 9,37 ha, 25,30 ha y 31,26 ha tras la validación en campo

4.1.2. Resultado del análisis de criterios de restricción

Al integrar los criterios de proximidad a la ciudad de Chiguirip, pendiente, red hidrográfica, textura del suelo y distancia a centros poblados, se generó la cartografía integrada correspondiente a los criterios de restricción, mediante la aplicación del método de evaluación multicriterio utilizando el software ArcGIS 10.8.

Figura 7

Zonas resultantes de la evaluación de restricciones.



En la **Figura 7** se presenta la clasificación espacial del área de estudio según las categorías de aptitud definidas para la implementación del relleno sanitario. Las zonas se clasificaron en No es apropiada, Es aceptable y Máxima, de acuerdo con los rangos establecidos para cada criterio evaluado. El resultado permitió identificar las áreas con mejores condiciones físicas y ambientales, las cuales se concentran en sectores alejados del núcleo urbano, donde las características del terreno y del entorno resultan más favorables para la implementación del relleno sanitario.

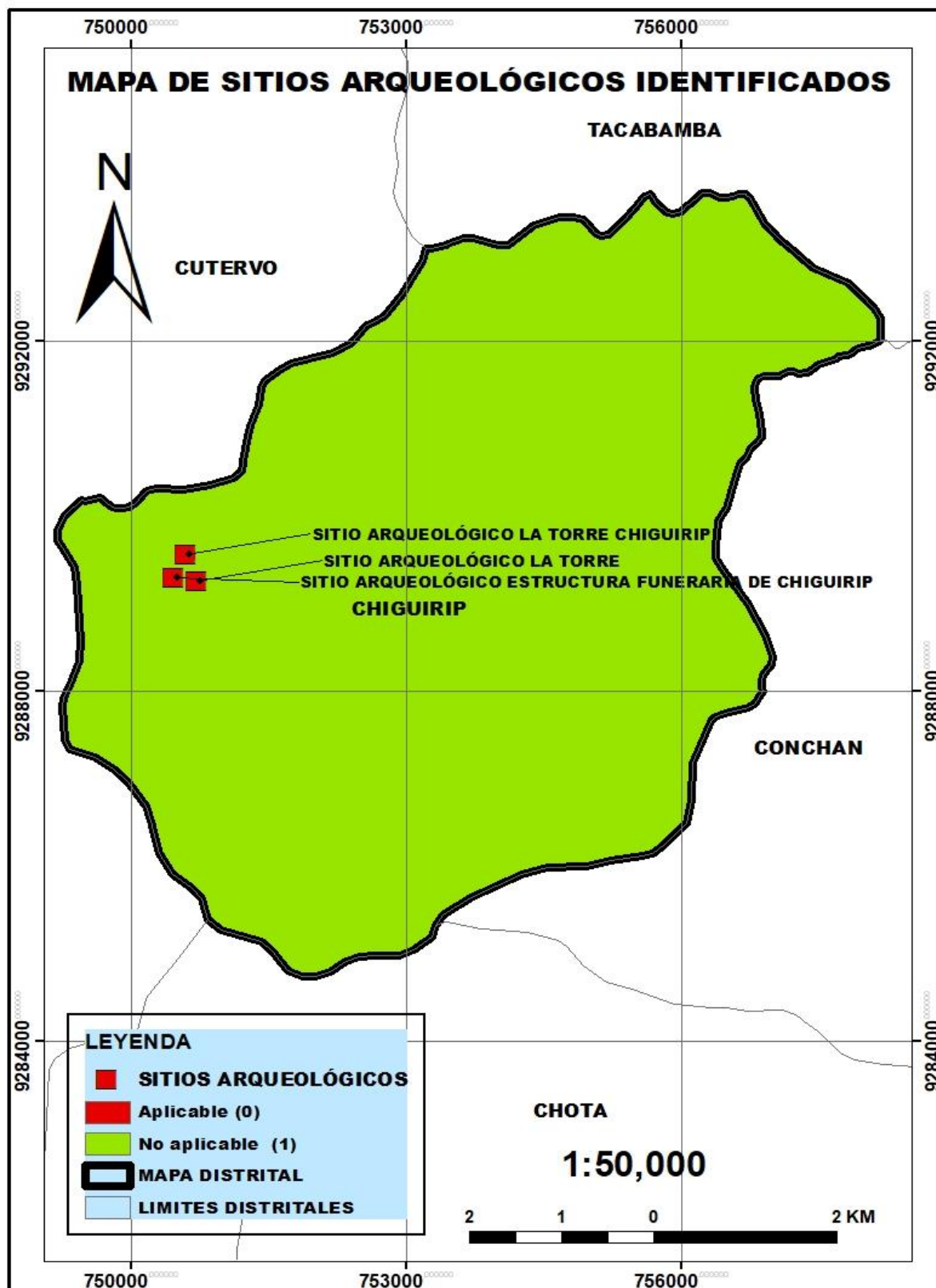
4.1.3. Análisis de criterios de exclusión aplicados en la determinación de zonas con aptitud óptima

En el ámbito territorial del distrito de Chiguirip, se consideraron tres variables de exclusión: sitios de patrimonio cultural, comunidades campesinas y concesiones mineras. Estas áreas fueron excluidas del análisis, ya que no es posible ubicar un relleno sanitario en ellas. Para garantizar la identificación correcta de las zonas potenciales, estas capas de exclusión se combinaron con el mapa resultante de la superposición de los criterios de restricción, asegurando que las áreas prohibidas queden fuera de la selección final.

- Patrimonio cultural

Figura 8

Distribución Espacial de patrimonio cultural.



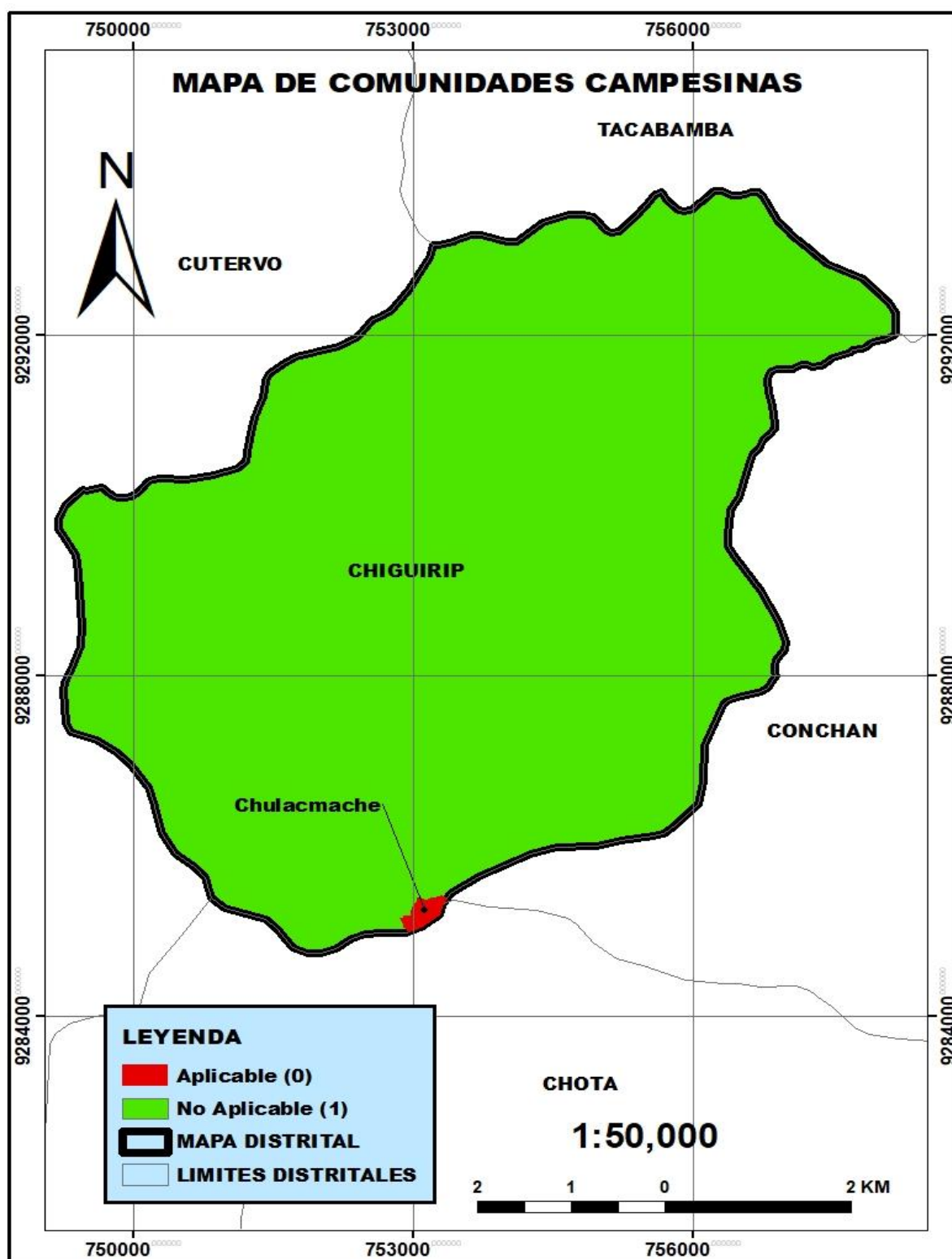
En la **figura 8** se identificaron tres sitios arqueológicos registrados: La Torre Chiguirip, La Torre, y la Estructura Funeraria de Chiguirip. Estos lugares poseen relevancia histórica y cultural, por lo que fueron incorporados al análisis mediante ArcGIS 10.8 como áreas de exclusión. En el mapa correspondiente se observa su ubicación puntual, considerándose zonas donde está estrictamente prohibida la implementación de infraestructura para la disposición final de residuos sólidos. La incorporación cartográfica de estos sitios garantiza su preservación y evita cualquier impacto negativo sobre el patrimonio cultural presente en el distrito.

El patrimonio comprende los bienes materiales e inmateriales heredados de generaciones pasadas, los cuales fortalecen nuestra identidad y nos permiten comprender nuestro origen y evolución como sociedad. Dentro de este patrimonio, los elementos arqueológicos tienen un papel especialmente relevante, ya que conservan evidencias físicas de antiguas culturas y aportan información clave para entender su desarrollo histórico. Por su valor cultural y científico, estos espacios arqueológicos requieren protección y se consideran zonas sensibles dentro de cualquier análisis territorial (Ministerio de Cultura Perú, 2020).

- Comunidades campesinas

Figura 9

Distribución Espacial de comunidades campesinas



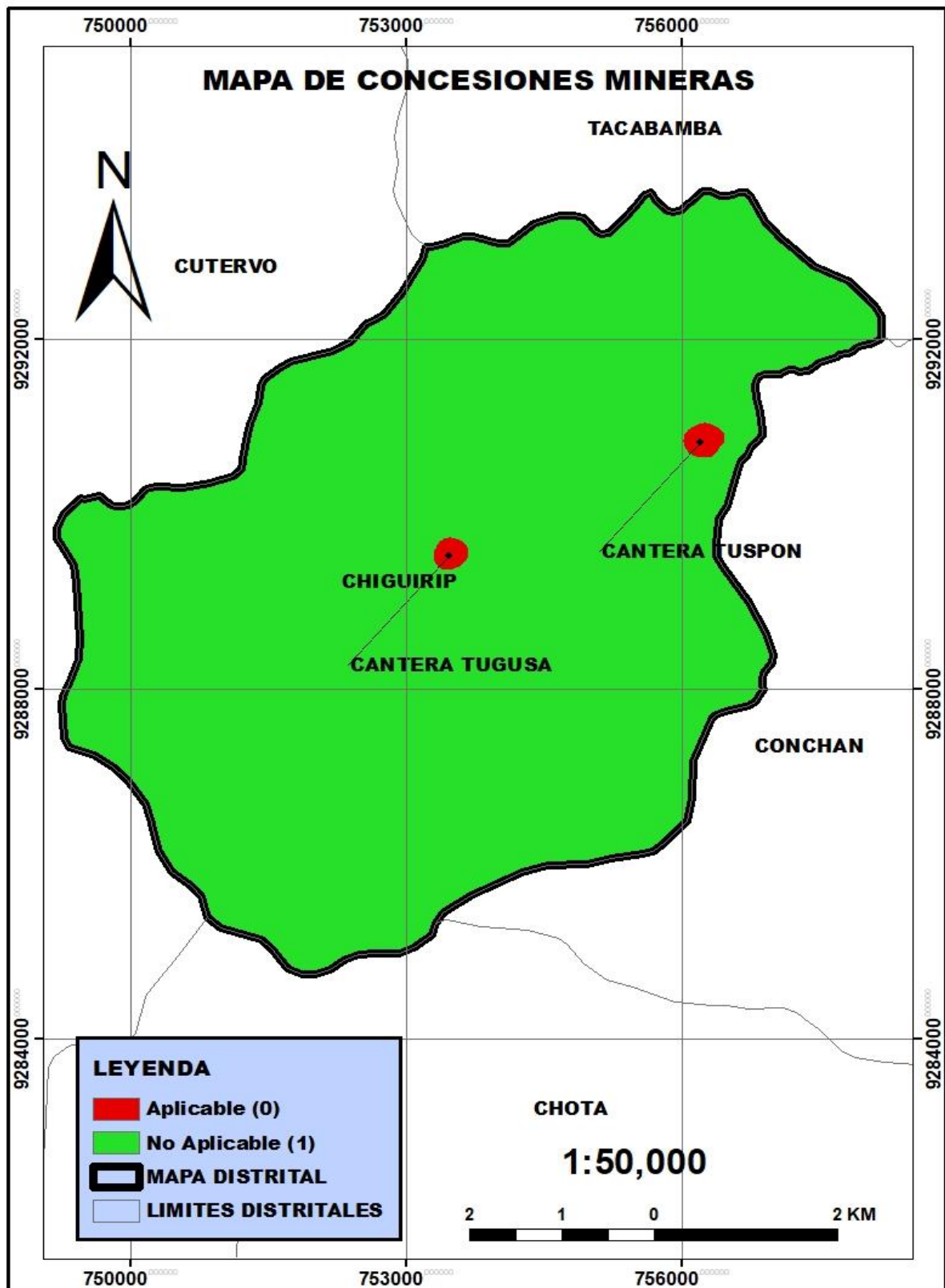
En la **figura 9** se muestra la delimitación de la Comunidad Campesina de Chulucmache, única existente dentro del distrito de Chiguirip. Esta área fue incorporada al análisis mediante ArcGIS 10.8 y clasificada como zona excluida, debido a que los territorios comunales no pueden ser destinados a proyectos de disposición final de residuos. Por este motivo, toda su extensión fue marcada como no apta y quedó fuera del proceso de selección de posibles sitios.

Las comunidades campesinas en el Perú son organizaciones de interés público que tienen su origen en los antiguos pueblos andinos. Poseen personalidad jurídica y representación propia, gestionándose tanto bajo las normas del Estado como bajo sus reglas internas basadas en usos y costumbres. A lo largo de la historia, especialmente durante la Reforma Agraria, se intentó reducir su rol a simples comunidades agrarias. Sin embargo, estas comunidades no surgen ni desaparecen por mandato legal, sino que constituyen estructuras sociales e históricas de origen ancestral (Santa Cruz, 2011).

- Concesiones mineras

Figura 10

Distribución Espacial de las Concesiones Mineras.



En la **figura 10** se aprecia la ubicación de las concesiones mineras Cantera Tugusa y Cantera Tuspon, consideradas áreas de exclusión por estar destinadas a actividades extractivas. Debido a esta condición, estos espacios fueron descartados como posibles zonas para la implementación de un relleno sanitario ya que su uso está sujeto a las restricciones establecidas para este tipo de actividad. La cartografía permite reconocer fácilmente estas zonas restringidas dentro del ámbito de estudio.

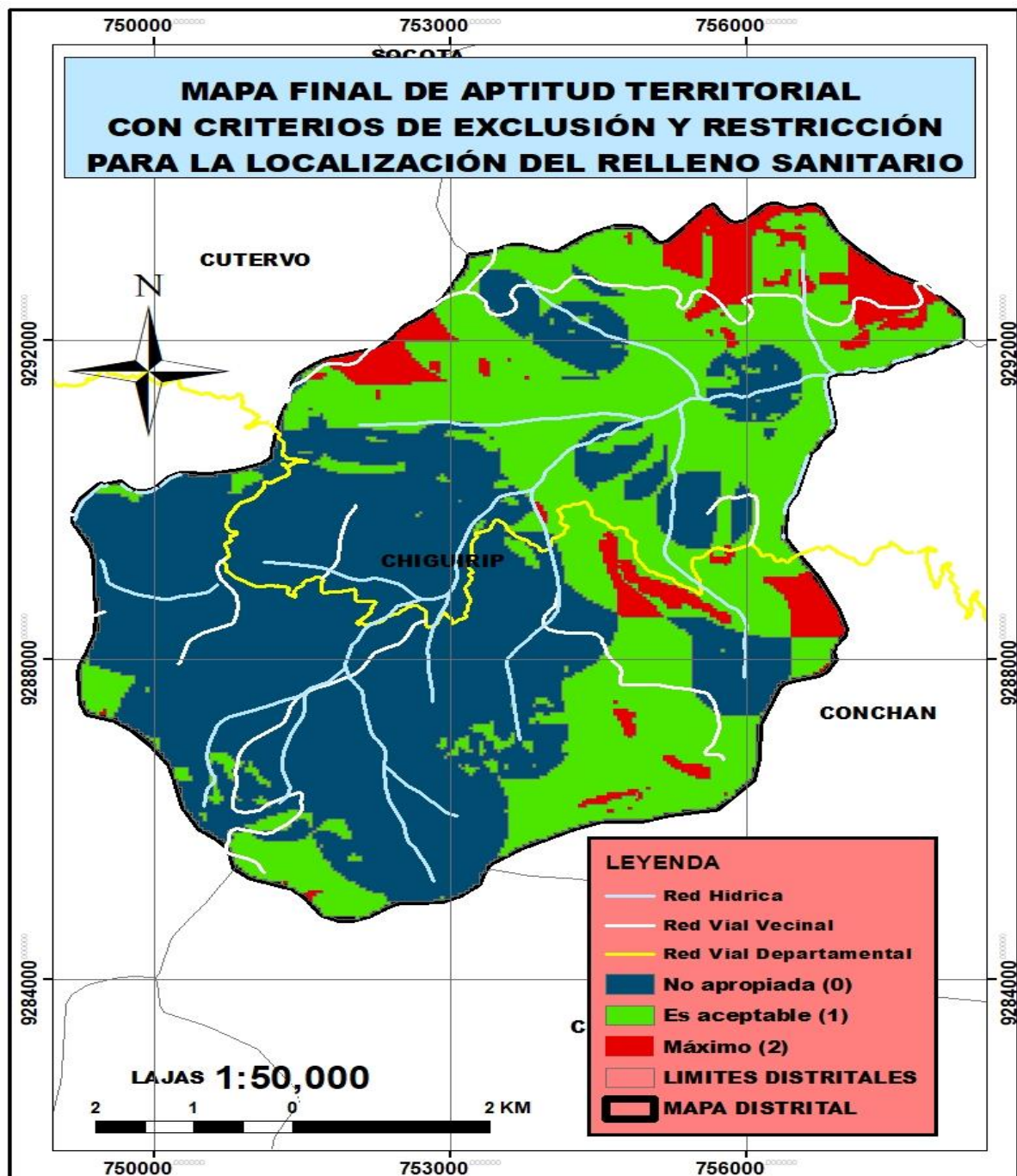
La concesión minera corresponde a una autorización administrativa otorgada por el Estado mediante la cual un titular adquiere el derecho de efectuar labores de exploración y explotación de recursos minerales. Se trata de un régimen administrativo especial que habilita el uso del subsuelo y, en ciertos casos, la solicitud de servidumbres o expropiaciones, siempre con la debida compensación a los propietarios involucrados. Además, la normativa contempla el acceso al agua necesaria para la actividad minera, bajo criterios de sostenibilidad y estricto cumplimiento de las obligaciones legales que garantizan la continuidad del derecho concedido (Córdova, 2021).

4.1.4. Mapa base de zonas favorables según criterios de restricción y exclusión.

El mapa preliminar de zonas con aptitud potencial se obtuvo mediante la integración de las variables de restricción y exclusión utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las variables de exclusión establecen los espacios donde la implementación de un relleno sanitario está restringida por la normativa vigente, por lo que fueron clasificadas como áreas no aptas. Por su parte, los criterios de restricción permitieron evaluar las limitaciones técnicas y ambientales del territorio, diferenciando sectores con aptitud aceptable y máxima.

Figura 11

Mapa base de zonas favorables según criterios de restricción y exclusión



En la **figura 11** se presenta la superposición de todos los criterios permiti6 clasificar el 6rea de estudio en tres categor6as: m6ximas, aceptables y no apropiadas, facilitando la delimitaci6n inicial de las 6reas con mejores condiciones para la posible implementaci6n de un relleno sanitario.

En la Tabla 7 se presentan las áreas resultantes de la clasificación del territorio considerando la integración de las variables de restricción y exclusión aplicados, expresadas en las categorías no apropiada, aceptable y máxima. La tabla muestra la superficie correspondiente a cada categoría, permitiendo cuantificar y comparar la extensión territorial disponible con aptitud para la posible implementación de un relleno sanitario.

Tabla 7

Superficie correspondiente a cada categoría.

Categoría	Valor	Área (m²)	Área (ha)	Área (km²)	% (%)
No apropiada	0	25 286 256,00	2 528,63	25,29	52,74
Aceptable	1	19 490 544,00	1 949,05	19,49	40,65
Máxima	2	3 171 312,00	317,13	3,17	6,61
Total		47 948 112,00	4 794,81	47,95	100

El análisis de la aptitud territorial muestra que, del total del área evaluada (47,95 km²), una proporción mayoritaria del territorio (25,29 km², equivalente al 52,74 %) se encuentra clasificada como no apropiada para la localización de un relleno sanitario, debido a la presencia de restricciones ambientales, técnicas y normativas. Las áreas aceptables, que abarcan 19,49 km² (40,65 %), representan zonas potencialmente viables, siempre que se consideren medidas de manejo y mitigación que garanticen su adecuada implementación. En contraste, las áreas máximas ocupan una superficie reducida (3,17 km², equivalente al 6,61 %), lo que evidencia que los espacios que cumplen plenamente con todos los criterios de selección son limitados. En conjunto, estos resultados resaltan la necesidad de un proceso de selección cuidadoso y técnicamente sustentado para definir el emplazamiento final del relleno sanitario.

4.1.5. Estimación del crecimiento poblacional

Fórmula 1:

$$Pf = Po (1 + r)t$$

Donde:

Pf: futura población

Po: Población base: 3446 habitantes

r: Índice de crecimiento: 1.2%

t: Periodo en años abarcados entre *Pf* y *Po*: vida útil 20 años desde el 2026: más tres años desde el 2023 – 2026.

La proyección indica que para el año 2045 la población habrá incrementado en aproximadamente 981 habitantes. Este crecimiento debe evaluarse de manera anual (tabla 8, columna 2), ya que la generación de residuos sólidos está directamente vinculada a la producción per cápita (PPC) y al número de habitantes en cada periodo.

4.1.6. Tasa de generación per cápita (ppc)

La PPC en Chiguirip para el 2024 es de 0,45 kg/hab/día. Se recomienda aplicar un incremento anual de 0,3 %, proyectando que hacia el 2045 este valor aumentará de manera gradual (tabla 8, columna 3), permitiendo estimar con mayor precisión la generación futura de residuos y dimensionar adecuadamente el relleno sanitario.

4.1.7. Cantidad de residuos sólidos

Fórmula 2:

$$DSd = pob \times ppc$$

Donde:

DSd = Cantidad de desechos sólidos producidos diariamente en kilogramos/día

Pob = Total de habitantes

ppc = Cantidad producida por persona (kg/hab/día)

La cantidad estimada de residuos sólidos generados diariamente hacia el año 2045 (tabla 8).

4.1.8. Volumen de desechos sólidos comprimidos

Fórmula 3:

$$V_{diario\ comprimido} = \frac{DSd}{Drsm}$$

Fórmula 4:

$$V_{anual\ compactado} = V_{diario\ comprimido} \times 365$$

Donde

DSd = Número de desechos sólidos producidos (kg/día)

Drsm = Gravedad de los residuos sólidos recién comprimidos se considera (400 kg/m³)

La estimación del volumen de residuos sólidos compactados se obtuvo dividiendo la cantidad de residuos generados diariamente (kg/día) (tabla 8, columna 4), entre la densidad del material diario compactado, considerada en 400 kg/m³. Este valor permitió obtener el volumen diario en metros cúbicos, el cual posteriormente se multiplicó por 365 días para obtener el volumen anual correspondiente (tabla 8, columna 6).

4.1.9. Volumen de material cubierto

Fórmula 5:

$$m. c = V_{anual\ comprimido} \times 0.20$$

Donde:

m.c. = Material de revestimiento, que equivale al 20% del volumen de los desechos comprimidos.

Con base en el volumen anual de residuos compactados (tabla 8, columna 7), se estimó el volumen de material de cobertura requerido para cada año de operación del relleno sanitario, cuyos resultados se presentan en la tabla 8, columna 8..

4.1.10. Volumen de desechos sólidos anual estabilizado

Fórmula 6:

$$V. \text{ anual estabilizado} = \frac{DSd}{Drsm} \times 365$$

Donde:

DSd = Generación de desechos sólidos en kilogramos diarios.

Drsm = Cantidad de desechos sólidos estabilizados que equivale a 500 kg/m³.

El volumen anual de desechos sólidos estabilizados se determinó dividiendo la generación diaria de residuos, entre la densidad del material estabilizado (500 kg/m³) y multiplicando este resultado por 365 días (tabla 8, columna 9).

4.1.11. Volumen de relleno sanitario

Fórmula 7:

$$VRS = V_{\text{anual estabilizado}} + m. c$$

Donde:

VRS = Volumen de relleno sanitario metros cúbicos al año.

m.c. = Material de cobertura

El volumen total del relleno sanitario se obtuvo sumando el volumen anual de residuos estabilizados (tabla 8, columna 9) y el volumen correspondiente al material de cobertura (tabla 8, columna 8), lo que representa la capacidad necesaria para confinar adecuadamente los residuos junto con su respectiva capa de cobertura (tabla 8, columna 10).

4.1.12. Área requerida

Fórmula 8:

$$Ar_s = \frac{VR_s}{hRS}$$

Donde:

ARS = Área por llenar (m²)

VRS = Capacidad de un relleno sanitario (m³) anual

hRS = Nivel promedio de un relleno sanitario (4m)

El área requerida para el relleno sanitario se determinó dividiendo el volumen anual total del relleno sanitario entre la altura operativa de 4 m. Los resultados obtenidos para cada año se presentan en la tabla 8, columna 11.

4.1.13. Zona total necesaria

Fórmula 9:

$$Ar = (\sum_{i=1}^n ARS) \cdot (1 + f)$$

Donde:

ARS = Área requerida en el año

i-n = Periodo de diseño (desde, 2026–2044)

f = Factor de seguridad (30 %)

El área total necesaria para el funcionamiento del relleno sanitario se obtuvo sumando las áreas requeridas durante el periodo de diseño (2026–2045). Posteriormente, se incorporó un factor de seguridad del 30 % destinado a accesos, áreas operativas y zonas de seguridad. En consecuencia, el área total proyectada para la implementación del relleno sanitario es de 1,10 ha, garantizando una adecuada operatividad y capacidad de la infraestructura (tabla 8, columna 12)

Tabla 8

Cálculo del Área Requerida para el Relleno Sanitario en Función de la Generación de Residuos Sólidos en el distrito de Chiguirip.

AÑO	POBLACIÓN	PPC	RESIDUOS DIARIOS DSd (kg/día)	RESIDUOS ANUALES (ton/año)	Vol. Diario comprimido (m3/día)	Vol. Anual comprimido (m3/año)	Cobertura MC (m3/año)	Vol. desechos estabilizados anuales	Volumen de relleno sanitario VRS (m3/año)	Área requerida ARS (m2)	AT (m2)
2024	3,446	0,45	1555,29	567,68	3,89	1419,20	283,84	1,135.36	1,419.20	354,80	461,24
2025	3,487	0,45	1578,67	576,22	3,95	1440,54	288,11	1,152.43	1,440.54	360,14	468,18
2026	3,529	0,45	1602,41	584,88	4,01	1462,20	292,44	1,169.76	1,462.20	365,55	475,22
2027	3,571	0,46	1626,51	593,67	4,07	1484,19	296,84	1,187.35	1,484.19	371,05	482,36
2028	3,614	0,46	1650,96	602,60	4,13	1506,50	301,30	1,205.20	1,506.50	376,63	489,61
2029	3,658	0,46	1675,79	611,66	4,19	1529,15	305,83	1,223.32	1,529.15	38,29	496,97
2030	3,702	0,46	1700,98	620,86	4,25	1552,15	310,43	1,241.72	1,552.15	388,04	504,45
2031	3,746	0,46	1726,56	630,19	4,32	1575,48	315,10	1,260.39	1,575.48	393,87	512,03
2032	3,791	0,46	1752,52	639,67	4,38	1599,17	319,83	1,279.34	1,599.17	399,79	519,73
2033	3,836	0,46	1778,87	649,29	4,45	1623,22	324,64	1,298.57	1,623.22	405,80	527,55
2034	3,882	0,47	1805,62	659,05	4,51	1647,63	329,53	1,318.10	1,647.63	411,91	535,48
2035	3,929	0,47	1832,77	668,96	4,58	1672,40	334,48	1,337.92	1,672.40	418,10	543,53
2036	3,976	0,47	1860,32	679,02	4,65	1697,54	339,51	1,358.04	1,697.54	424,39	551,70
2037	4,024	0,47	1888,30	689,23	4,72	1723,07	344,61	1,378.46	1,723.07	430,77	560,00
2038	4,072	0,47	1916,69	699,59	4,79	1748,98	349,80	1,399.18	1,748.98	437,24	568,42
2039	4,121	0,47	1945,51	710,11	4,86	1775,27	355,05	1,420.22	1,775.27	443,82	576,96
2040	4,170	0,47	1974,76	720,79	4,94	1801,97	360,39	1,441.57	1,801.97	450,49	585,64
2041	4,221	0,47	2004,45	731,62	5,01	1829,06	365,81	1,463.25	1,829.06	457,27	594,45
2042	4,271	0,48	2034,59	742,63	5,09	1856,56	371,31	1,485.25	1,856.56	464,14	603,38
2043	4,322	0,48	2065,18	753,79	5,16	1884,48	376,90	1,507.58	1,884.48	471,12	612,46
2044	4,374	0,48	2096,24	765,13	5,24	1912,81	382,56	1,530.25	1,912.81	47,20	621,66
2045	4,427	0,48	2127,75	776,63	5,32	1941,58	388,32	1,553.26	1,941.58	485,39	631,01
TOTAL										Sumatoria =	10992,61
										Total (ha) =	1,10 ha

La **Tabla 8** presenta el procedimiento empleado para estimar la superficie requerida para la futura implementación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip, tomando como base la proyección de la generación de residuos sólidos. A partir de los cálculos efectuados, se estableció que la superficie mínima requerida para cubrir un horizonte de operación de 20 años corresponde a 1,10 ha, considerando el periodo de evaluación definido en la investigación (2026–2045).

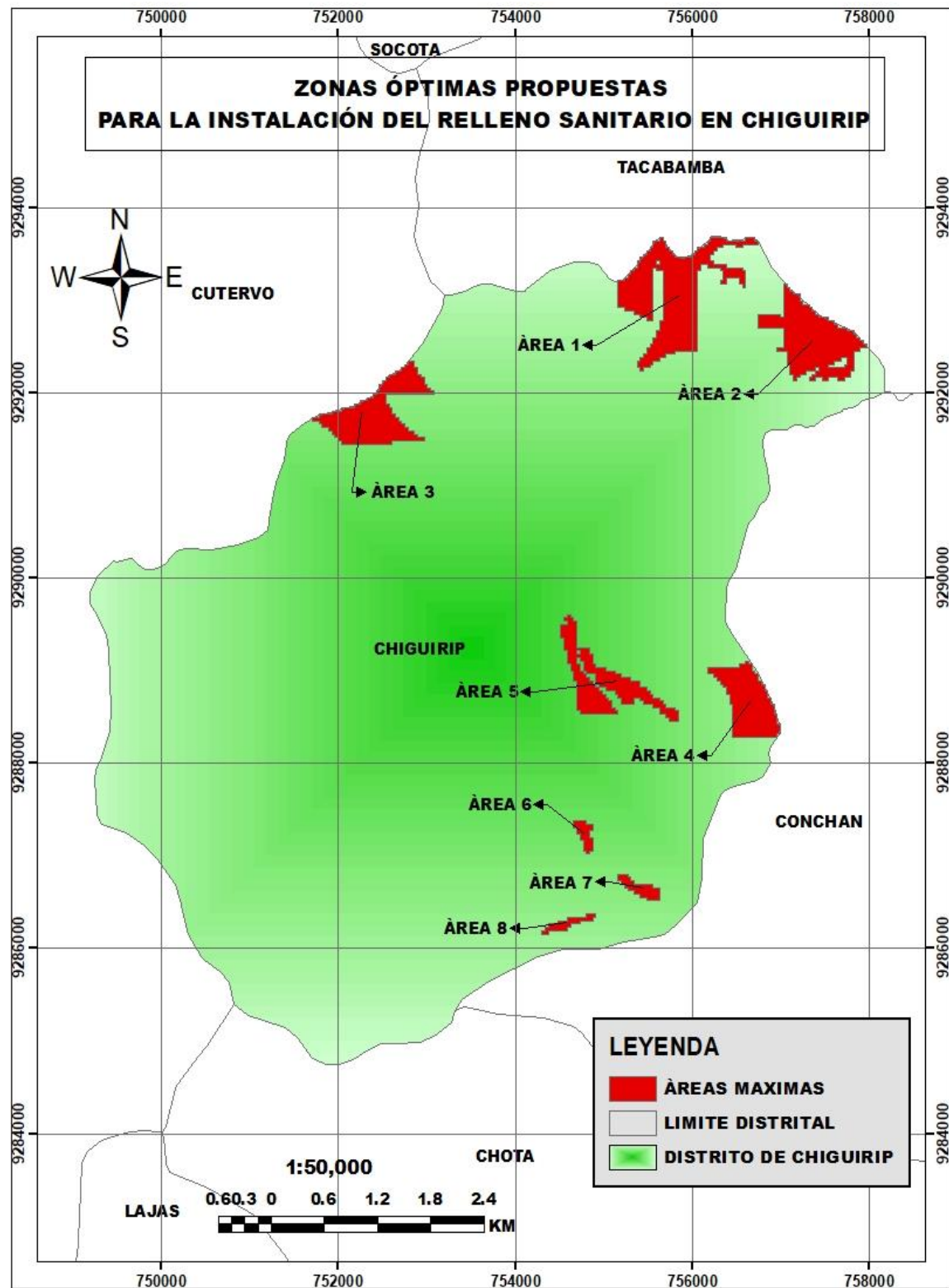
De acuerdo con el estudio realizado por Vasquez, (2023), se estimó la superficie requerida para la futura habilitación de un relleno sanitario con un horizonte de operación de 20 años, correspondiente al periodo de (2025 – 2045), obteniéndose un requerimiento aproximado de 17,21 hectáreas. Al contrastar dichos valores con los alcanzados en este estudio, las diferencias observadas se explican principalmente por la variabilidad en los volúmenes de residuos sólidos generados entre distintas localidades, la cual está relacionada con la cantidad de habitantes y la tasa de generación per cápita considerado en cada investigación.

Propuesta de zonas con aptitud para la implementación de un relleno sanitario mediante evaluación multicriterio en el distrito de Chiguirip.

Luego de la categorización de las áreas según su nivel de aptitud, se aplicó un criterio de selección que permitió considerar únicamente aquellas clasificadas como máximas. Posteriormente, estas zonas fueron evaluadas mediante un análisis complementario destinado a comprobar que contaran con la extensión mínima necesaria, la cual fue establecida en función de la estimación de la producción futura de residuos sólidos durante el horizonte de operación del relleno sanitario.

Figura 12

Propuestas de zonas óptimas con potencial para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip.



La Figura 12 presenta ocho (08) zonas propuestas con alto potencial para la implementación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip. Estas áreas corresponden a la categoría de máxima aptitud, conforme a la clasificación presentada en la Tabla 8.

Tabla 7

Superficie total de las áreas potenciales.

Áreas potenciales	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Áreas totales (ha)	84,7584	58,7088	50,2848	37,584	42,2496	4,6656	6,2208	4,4064

Nota. La tabla presenta la extensión superficial correspondiente a cada área total propuesta, determinada a partir del análisis realizado en gabinete.

Las zonas potenciales presentadas corresponden a terrenos que cumplen las condiciones técnicas definidas para la selección de zonas destinadas a un relleno sanitario. Si bien el área total requerida para la implementación del proyecto se estimó en 1,10 ha, las superficies identificadas mediante la evaluación multicriterio son mayores debido a que representan zonas potenciales dentro de las cuales puede seleccionarse el emplazamiento definitivo del relleno sanitario. En consecuencia, todas las áreas propuestas cuentan con una extensión suficiente para albergar la infraestructura proyectada, cuya delimitación final dependerá de los estudios de detalle y de la validación en campo.

4.1.14. Fase de campo

Se efectuó un reconocimiento en campo con la finalidad de validar las ocho zonas potenciales identificadas a partir del análisis multicriterio apoyado en Sistemas de Información Geográfica (SIG), las cuales se describen en la Tabla 8 y se representan cartográficamente en la Figura 12. Durante la visita se verificaron las condiciones reales de cada zona mediante inspección directa. Como resultado de la validación, se determinó que seis de las ocho zonas evaluadas cumplían

con las condiciones técnicas requeridas para la implementación de un relleno sanitario, conforme se detalla en la evaluación de cada área.

- **Área 1**

El área evaluada se ubica en las coordenadas UTM 755330 m Este y 9292547 m Norte, a una altitud de 2637 m s. n. m., presentando un relieve ligeramente ondulado con pendiente moderada. Predomina la cobertura de pastizales, vegetación arbustiva y árboles dispersos, así como zonas de uso agrícola. Se observa la presencia de viviendas rurales de adobe y una vía de acceso no pavimentada, evidenciando ocupación humana cercana. El suelo presenta cobertura vegetal parcial con afloramientos rocosos, característico de zonas altoandinas. Entre las especies identificadas destacan (*Stipa ichu*) ichu, (*Baccharis latifolia*) chilca, (*Eucalyptus globulus*) eucalipto, (*Agave americana*) maguey y (*Pennisetum clandestinum*) kikuyo.

De acuerdo con la validación en campo, se determinó que el área no es aceptable debido a la presencia de viviendas dentro del entorno evaluado, condición que no se ajusta a la distancia mínima exigida por el Ministerio del Ambiente (MINAM) respecto a los centros poblados, establecida en 500 m. Esta situación podría generar efectos adversos sobre la población y el entorno circundante, por lo que el área fue descartada como alternativa para la implementación de un relleno sanitario.

- **Área 2**

El área evaluada se ubica en las coordenadas UTM 757630 m Este y 9292404 m Norte, a una altitud de 2443 m s. n. m., presentando un relieve ondulado con pendiente moderada y uso predominantemente agrícola. Se observa la presencia de cultivos de (*Zea mays*) maíz, pastizales y vegetación herbácea, así como árboles dispersos como (*Eucalyptus globulus*) eucalipto y especies como (*Agave americana* maguey).

Asimismo, se identifica una vivienda rural cercana y accesos no pavimentados, evidenciando ocupación humana. En función de la validación en campo, esta zona fue descartada como alternativa para la implementación de un relleno sanitario, debido a que la cercanía de viviendas no cumple con la distancia mínima establecida por el Ministerio del Ambiente (MINAM). En consecuencia, el área fue categorizada como no aceptable para este tipo de infraestructura.

- **Área 3**

El área evaluada se ubica en las coordenadas UTM 752925 m Este y 9292450 m Norte, a una altitud aproximada de 2807 m s. n. m., presentando un relieve ligeramente inclinado característico de zonas altoandinas. La cobertura vegetal está compuesta principalmente por pastizales naturales y vegetación herbácea, con predominio de gramíneas. Asimismo, se identifican especies como (*Agave americana*) maguey, distribuidas de forma dispersa, así como árboles aislados de (*Eucalyptus globulus*) eucalipto en la parte superior del terreno.

De acuerdo con la validación en campo, se determinó que el área presenta condiciones favorables para el desarrollo de un relleno sanitario, debido a que satisface los requisitos definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM). garantizando su viabilidad técnica, ambiental y social para la implementación de dicha infraestructura.

- **Área 4**

El área evaluada se ubica en la comunidad de Sacus, en las coordenadas UTM 756655 m Este y 9288427 m Norte, a una altitud de 2876 m s. n. m. Presenta una topografía ondulada con pendiente moderada y predominio de uso agropecuario. La cobertura vegetal está conformada por pastos naturales, chilca (*Baccharis latifolia*) y lucmo (*Pouteria lucuma*), además de cultivos de papa (*Solanum tuberosum*). Asimismo, se identificaron cercos vivos de aliso (*Alnus acuminata*) y lanche (*Viburnum triphyllum*), que contribuyen a la protección del suelo y delimitación de parcelas.

De acuerdo con la validación en campo, se determinó que el área presenta condiciones favorables para el desarrollo de un relleno sanitario, debido a que satisface los requisitos definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), garantizando su viabilidad técnica, ambiental y social para la implementación de dicha infraestructura.

- **Área 5**

El área evaluada se ubica en las coordenadas UTM 754826 m Este y 9289074 m Norte, a una altitud de 2878 m s. n. m., con relieve de pendiente moderada y cobertura vegetal densa. La vegetación es principalmente herbácea, con especies como lengua de vaca (*Rumex crispus*); además árboles dispersos como eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y aliso (*Alnus acuminata*). Estos terrenos son aptos para actividades agropecuarias (cultivo y pastoreo), así como para reforestación y conservación del suelo.

De acuerdo con la validación en campo, se determinó que el área presenta condiciones favorables para el desarrollo de un relleno sanitario, debido a que satisface los requisitos definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), garantizando su viabilidad técnica, ambiental y social para la implementación de dicha infraestructura.

- **Área 6**

El área evaluada se ubica en las coordenadas UTM 754752 m Este y 9287318 m Norte, a una altitud de 2795 m s. n. m. Presenta vegetación herbácea predominante con especies como Diente de león (*Taraxacum officinale*), además de especies nativas como chilca (*Baccharis latifolia*) y aliso (*Alnus acuminata*), los terrenos son aptos para pastoreo y conservación del suelo.

De acuerdo con la validación en campo, se determinó que el área presenta condiciones favorables para el desarrollo de un relleno sanitario, debido a que satisface los requisitos

definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), garantizando su viabilidad técnica, ambiental y social para la implementación de dicha infraestructura.

- **Área 7**

El área evaluada se ubica en las coordenadas UTM 755528m Este y 9286639 m Norte, a una altitud de 2846 m s. n. m., con relieve de ladera y pendiente moderada. Presenta cobertura de pastizales (*Poaceae*), suelo parcialmente expuesto con rocas dispersas y un parche de cultivo de maíz (*Zea mays*). También se observan herbáceas de hoja ancha (*Asteraceae*) y pequeños arbustos dispersos. Estos terrenos son aptos para pastoreo y agricultura.

De acuerdo con la validación en campo, se determinó que el área presenta condiciones favorables para el desarrollo de un relleno sanitario, debido a que satisface los requisitos definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), garantizando su viabilidad técnica, ambiental y social para la implementación de dicha infraestructura.

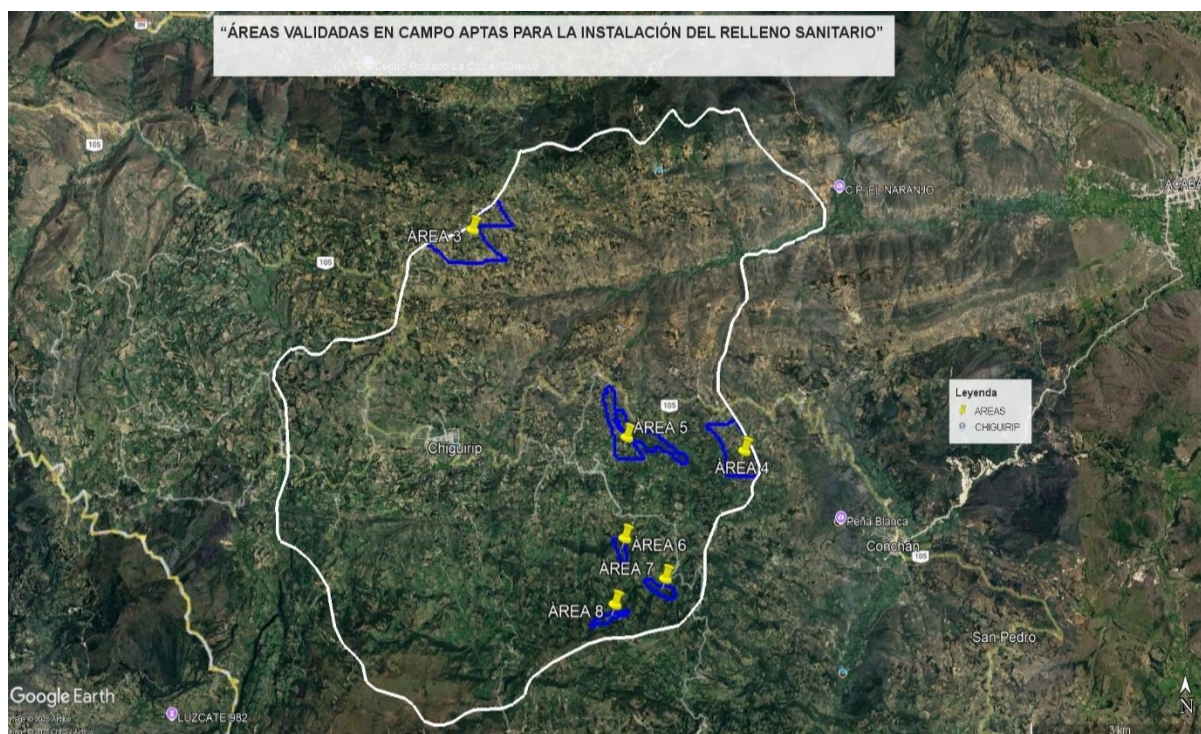
- **Área 8**

El área evaluada se ubica en las coordenadas UTM 754751 m Este y 9286319 m Norte, a una altitud de 2802 m s. n. m., con relieve ligeramente ondulado y pendiente moderada. Presenta cobertura de pastizales naturales (*Poaceae*), con presencia de herbáceas rastreras y helechos dispersos (*Pteridium aquilinum*). También se observan árboles aislados en el perímetro, principalmente sauce (*Salix* spp.) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*), además de pequeños arbustos dispersos. Estos terrenos son aptos para pastoreo y actividades agropecuarias.

De acuerdo con la validación en campo, se determinó que el área es apta presenta condiciones favorables para el desarrollo de un relleno sanitario, debido a que satisface los requisitos definidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), garantizando su viabilidad técnica, ambiental y social para la implementación de dicha infraestructura.

Figura 13

Áreas validadas en campo aptas para la instalación del relleno sanitario en el distrito de Chiguirip



La **figura 13** presenta la representación cartográfica del ámbito territorial correspondiente al distrito de Chiguirip, en la cual se localizan y georreferencian las áreas con mayor aptitud para la implementación de infraestructura de disposición final de residuos sólidos. Las áreas denominadas área 3, área 4, área 5, área 6, área 7 y área 8, delimitadas en color azul, corresponden a sitios previamente seleccionados mediante una evaluación multicriterio y posteriormente corroborados mediante la verificación en campo. En consecuencia, estas áreas se consideran viables para la implementación de un relleno sanitario, debido a que satisfacen los requisitos técnicos establecidos y constituyen alternativas adecuadas para la disposición final de los residuos sólidos.

4.2. Contrastación de hipótesis

La hipótesis planteada fue la siguiente: mediante la aplicación de una evaluación multicriterio apoyada en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la consideración de los criterios técnicos establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), es posible determinar áreas con aptitud para la implementación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip, Cajamarca.

Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis planteada, debido a que la integración de los criterios de restricción y exclusión mediante la evaluación multicriterio desarrollada en ArcGIS permitió establecer la aptitud territorial del distrito de Chiguirip. Para ello, se analizaron cinco criterios de restricción (distancia a la ciudad de Chiguirip, pendiente, hidrografía, distancia a centros poblados y textura del suelo) y tres criterios de exclusión (patrimonio cultural, comunidades campesinas y concesiones mineras), obteniéndose una clasificación espacial del territorio. Como resultado, se identificaron ocho áreas con condiciones favorables para la posible implementación de un relleno sanitario, de las cuales seis fueron corroboradas mediante la validación en campo al cumplir con los requisitos técnicos considerados en la investigación.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten sustentar la hipótesis de investigación, demostrando que la aplicación de una evaluación multicriterio integrada con Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye un enfoque apropiado para determinar áreas con aptitud territorial destinadas a la implementación de un relleno sanitario. Cabe señalar que la validación de la hipótesis se basa en el análisis espacial de los criterios técnicos evaluados y no en la aplicación de pruebas estadísticas inferenciales, debido a que la investigación corresponde a una metodología de evaluación multicriterio y no a un estudio estadístico.

4.3 Discusión de resultados

En la presente investigación se empleó una metodología de evaluación multicriterio integrada con Sistemas de Información Geográfica (SIG), considerando ocho variables definidas a partir de los criterios técnicos establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM). Estas variables permitieron generar mapas temáticos y evaluar la aptitud territorial para la implementación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip. Como resultado del análisis espacial, se identificaron ocho áreas con condiciones favorables, de las cuales seis fueron corroboradas mediante la verificación en campo. Asimismo, se estimó una superficie requerida de 1,10 ha para un horizonte de operación de 20 años correspondiente al periodo 2026–2045. Estos resultados presentan similitud con lo reportado por Quiroz (2025), en el distrito de Namora, Cajamarca, quien aplicó una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica y álgebra de mapas considerando once variables espaciales. En dicho estudio se identificaron cinco áreas potenciales que cumplieran con condiciones técnicas, ambientales y sociales para la disposición final de residuos sólidos. La coincidencia entre ambas investigaciones evidencia que la integración de criterios mediante herramientas SIG facilita la evaluación territorial y permite seleccionar espacios con características adecuadas para la planificación de infraestructura destinada al manejo de residuos sólidos.

Asimismo, los resultados obtenidos presentan concordancia con lo desarrollado por Idrogo (2024) en el distrito de Conchán, Chota, quien aplicó una metodología de evaluación multicriterio mediante ArcGIS 10.5 y Model Builder, considerando ocho variables asociadas a pendiente, hidrología, vías de acceso, centros poblados, fallas geológicas, sitios arqueológicos, capacidad de uso del suelo e infraestructura. Como resultado, el autor identificó nueve áreas con aptitud óptima y catorce clasificadas como aceptables, de las cuales, luego de la verificación en campo, se seleccionaron cinco alternativas con superficies de 7,04 ha, 13,62 ha, 9,37 ha, 25,30 ha y 31,26 ha. En comparación con la presente investigación, ambos estudios

emplearon ocho variables de evaluación y complementaron el análisis espacial con una etapa de validación en campo para corroborar las condiciones de las áreas seleccionadas. No obstante, las superficies obtenidas en Conchán fueron superiores a las determinadas en Chiguirip, lo cual puede estar asociado a las diferencias existentes entre ambos territorios, como la extensión evaluada, las características del área de estudio y la cantidad de residuos sólidos generados en cada localidad.

De manera similar, los resultados obtenidos presentan correspondencia con lo reportado por Supo (2024) en la provincia de El Collao, donde se aplicó una metodología basada en Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio considerando siete criterios técnicos establecidos por el MINAM, permitiendo identificar cinco áreas con condiciones favorables para la implementación de un relleno sanitario, con una superficie acumulada de 360,5 ha. Asimismo, Paucar (2024), en el distrito de Ilave, Puno, determinó dos sectores con aptitud para esta infraestructura, con extensiones de 203,16 ha y 236,63 ha, mediante el uso de herramientas SIG y criterios técnicos normativos. De igual forma, Miranda (2022), en Huancavelica, estableció dos áreas adecuadas de 50 ha y 217 ha destinadas a la disposición final de residuos sólidos. Por otro lado, Becerra (2021), en Catilluc, Cajamarca, identificó un área con condiciones óptimas de 182 ha mediante la aplicación de análisis multicriterio y ArcGIS 10.5. Al comparar estos estudios con la presente investigación, se observa que las superficies propuestas son mayores, lo cual puede atribuirse a las diferencias existentes en las características territoriales de cada zona, como el tamaño poblacional, la extensión evaluada y la cantidad de residuos sólidos generados. Estos factores determinan la magnitud del área necesaria para la planificación e implementación de un relleno sanitario.

A nivel internacional, los resultados también guardan relación con los estudios realizados por Bello y Vázquez (2023) en Cardique, Colombia, quienes propusieron una metodología multicriterio basada en SIG para determinar zonas adecuadas para rellenos sanitarios,

concluyendo que el modelo espacial permitió identificar áreas favorables para la planificación territorial. Asimismo, Jandir et al. (2023), en Brasil, aplicaron tecnologías geográficas y análisis multicriterio para seleccionar sitios adecuados para un relleno sanitario intermunicipal, logrando identificar tres áreas favorables y determinando finalmente el área 5 como la opción óptima. Ambos estudios coinciden con la presente investigación en que la evaluación multicriterio mediante SIG constituye una herramienta eficiente para la planificación y toma de decisiones vinculadas a la selección de áreas destinadas a la disposición final de residuos sólidos.

Del mismo modo, Makonyo y Msabi (2022), en Tanzania, identificaron mediante análisis multicriterio basado en SIG que el 14,7 % del área evaluada correspondía a zonas altamente apropiadas para la ubicación de rellenos sanitarios. Por otro lado, Mussa y Suryabhagavan (2021), en Etiopía, determinaron que únicamente el 5,93 % del territorio evaluado resultó aceptable para la disposición final de residuos sólidos utilizando SIG y el método AHP. Estos resultados presentan similitud con la presente investigación, donde el 6,61 % del territorio evaluado fue clasificado como de máxima aptitud, evidenciando que las áreas que presentan un cumplimiento integral de los criterios técnicos y ambientales suelen representar porcentajes reducidos dentro del territorio total analizado.

En ese sentido, la comparación de los resultados obtenidos con los antecedentes regionales, nacionales e internacionales permite corroborar que la aplicación de Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio representa una metodología adecuada, consistente y técnicamente sustentable para la determinación de zonas óptimas destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.

CAPITULO 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La evaluación multicriterio mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió determinar ocho áreas con potencial para la implementación de un relleno sanitario en la localidad de Chiguirip, de las cuales seis fueron validadas en campo como aptas para la implementación del proyecto.
- La aplicación del análisis multicriterio mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitió integrar criterios de restricción y exclusión para determinar zonas potenciales. El territorio fue clasificado en áreas no aptas (52,74 %), aceptables (40,65 %) y máximas (6,61 %). Dentro de la categoría óptima se identificaron ocho zonas potenciales, de las cuales 6 cumplen con las condiciones técnicas de restricción y exclusión requeridas para la implementación de un relleno sanitario.
- La validación en campo permitió verificar las condiciones reales de las zonas determinados mediante el análisis realizado mediante SIG. Como resultado, se confirmó que 6 de las ocho zonas previamente identificadas cumplen con los requisitos técnicos de restricción y exclusión, mostrando características favorables para la eventual implementación de un relleno sanitario en el distrito de Chiguirip. Esto permitió confirmar la confiabilidad del análisis realizado en gabinete.

5.2 Recomendaciones

- Considerar las 6 zonas identificadas como viables en el presente estudio como referencia inicial para la elección del área destinada a la disposición final de residuos sólidos en el distrito de Chiguirip, priorizando aquellas que presentan menores pendientes, adecuada textura del suelo y suficiente distancia de centros poblados y fuentes hídricas, con el fin de reducir posibles impactos ambientales y sociales en el futuro.
- Se recomienda realizar estudios técnicos complementarios, tales como análisis geotécnicos, hidrogeológicos y estudios de impacto ambiental en las zonas identificadas, con el fin de evaluar con mayor precisión las condiciones del terreno y garantizar la viabilidad del proyecto.
- Se recomienda que las autoridades locales desarrollen programas de educación ambiental y gestión adecuada de residuos sólidos, promoviendo acciones de reducción, segregación y valorización de residuos, lo que permitirá disminuir el volumen de residuos destinados a la disposición final.
- Se recomienda considerar un distanciamiento superior a 500 m respecto de los centros poblados, priorizando áreas ubicadas aproximadamente a 1 km o más, como medida preventiva frente a posibles impactos por olores y otras molestias asociadas a la operación del relleno sanitario.
- Se recomienda ejecutar calicatas y estudios de caracterización edafológica en las zonas identificadas como viables, a fin de verificar la textura, estratigrafía, permeabilidad y demás propiedades del suelo relevantes para la disposición final de residuos sólidos.
- Se recomienda realizar la validación y contrastación de la información cartográfica obtenida mediante SIG con las condiciones verificadas en campo, con énfasis en las

características del suelo, pendiente, hidrología y accesibilidad de las zonas seleccionadas.

- Se recomienda emplear fuentes de información espacial y estadística actualizadas en futuras investigaciones, principalmente para las variables de población, hidrología, geología, uso del suelo y expansión urbana.

REFERENCIAS

- Becerra, 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. *Universidad Nacional de Cajamarca*, 101.
- Bello, J., & Vazquez, E. (2023). Metodología Multicriterio para la Identificación de Áreas Potenciales en la Ubicación de Rellenos Sanitarios en jurisdicción de Cardique Integrando Herramientas SIG. In *AT-TAWASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam: Vol. VIII* (Issue I).
- Benedetti. (2023). Exclusión. *Palabras Clave Para El Estudio de Las Fronteras*.
<https://doi.org/10.55778/TS878678467>
- Bill, R., Blankenbach, J., Breunig, M., Henrik, J., Christian, H., Stefan, H., Gerd, H., Helmut, M., Liqui, M., Franz, M., & Jochen, R. (2022). Geospatial Information Research : State of the Art , Case Studies and Future Perspectives. In *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science* (Issue 0123456789). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s41064-022-00217-9>
- Carlos, J. (2025). *Caracterización de residuos sólidos urbanos de la ciudad de oherá, misiones, argentina*. 70–90. <https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2025.30.01.003.es>
- Carvajal, R., Teijeiro, M., & García, M. (2022). Análisis de la gestión de los residuos sólidos urbanos en Europa. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(1), 402–415.
- Córdova, H. (2021). *El régimen de concesiones como factor de competitividad del sector minero peruano ”*.
- Cruz, M., Yoni, V., & Méndez, X. (2023). *Generación y disposición final de residuos sólidos municipales en la Región Cajamarca, Perú. VIII*, 871–884.

- Cruzado, J. (2022). La evaluación formativa en la educación. *Comuni@cción: Revista de Investigación En Comunicación y Desarrollo*, 13(2), 149–160.
<https://doi.org/10.33595/2226-1478.13.2.672>
- Fernández, A. (2022). *Definición de criterio. Usos y ejemplos*.
- Guevara, P., Verdesoto, E., & Molina, E. (2020). *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*. 3, 163–173.
[https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Hartmann, J., Heitmann, M., Siebert, C., & Schamp, C. (2023). More than a Feeling: Accuracy and Application of Sentiment Analysis. *International Journal of Research in Marketing*, 40(1), 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2022.05.005>
- Idrogo, R. (2024). *Uso de la evaluación multicriterio en sistemas de información geográfica para determinar la localización óptima de un relleno sanitario en el distrito de Conchán, Chota, Perú*.
- Ingrid, A. (2022). *Caracterización de residuos sólidos municipales y diseño de relleno sanitario DOI: <https://doi.org/10.38186/difcie.47.03>*
- Iveth, P., & Zúñiga, V. (2023). *Metodología de la investigación científica : guía práctica*.
- Jandir, B., Marly, A., Ronan, C., Pedro, C., Lucas, F., & Marcelo, L. (2023). *Proposal for a low-cost methodology for selecting areas to locate a sanitary landfill using GIS and multi-criteria analysis: case study in the Araras region, SP – Brazil. January*.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4529173>
- Javier, S. (2020). Qué son los RESIDUOS SÓLIDOS y cómo se clasifican - Con VÍDEO. *Reciclaje y Gestión de Residuos*.
- Makonyo, M., & Msabi, M. (2022). Potential landfill sites selection using GIS-based multi-

- critería decision analysis in Dodoma capital city, central Tanzania. *GeoJournal*, 87(4), 2903–2933. <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10414-5>
- Martins, J. (2022). ¿Qué es la teoría de las restricciones y cuáles son sus principios? *Asana*.
- MINAM. (2017). *Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. 1–35.
- MINAM. (2021). *Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales*.
- MINAM. (2023). *Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos II entregable 22 de diciembre de 2023* (pp. 1–134).
- Ministerio de Cultura Perú. (2020). *¿Qué es patrimonio cultural? PERÚ Ministerio de Cultura*. 0.
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/AF54A42EA8C6068B0525827A00781E61/\\$FILE/1manualqueespatrimonio.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/AF54A42EA8C6068B0525827A00781E61/$FILE/1manualqueespatrimonio.pdf)
- Miraglia, M. (2015). *Sistemas de Información Geográfica en la investigación científica actual*.
- Miranda, S. (2022). Identificación de zonas en la provincia de Huancavelica para la ubicación de rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica y el método de Análisis Multicriterio. In *Braz Dent J.* (Vol. 33, Issue 1).
- Mogollón, A. (2017). *Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en Cajamarca Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en Cajamarca*. <https://propuestaciudadana.org.pe/wp-content/uploads/2017/06/ZEE-y-OT-Cajamarca.pdf>
- Mussa, A., & Suryabagavan, K. (2021). Solid waste dumping site selection using GIS-based

- multi-criteria spatial modeling: a case study in Logia town, Afar region, Ethiopia.
Geology, Ecology, and Landscapes, 5(3), 186–198.
<https://doi.org/10.1080/24749508.2019.1703311>
- Pachuca, F. (2023). Manual de ArcGIS. *Con R.E.R. N°*, 419(November), 25.
- Paucar, J. (2024). *Aplicación del software arcgis para la ubicación y elaboración de mapas para un relleno sanitario en el distrito de Ilave – Puno 2023*. 1–66.
- Pérez, P. (2022). Residuo sólido - Qué es, clasificación, definición y concepto. *Definicion De*.
<https://definicion.de/residuo-solido/>
- Petro, K. (2022). *Análisis Espacial: Tipos Y Prácticas De Aplicación*.
- Plataforma Digital Única del Estado Peruano. (2024). Sistemas de información - Orientación - Ministerio de Educación - Plataforma del Estado Peruano. *Gob.Pe*.
- PNUMA. (2024). *Global Waste Management Outlook 2024 : Beyond An Age Of Waste*.
- Quiroga, E., & Pàez, A. (2023). 2. *Composicion de un Emplazamiento*.
- Quiroz, P. (2025). “*Localización optima de un relleno sanitario empleando sistemas de información geográfica en el Distrito de Namora.*”
- Santa Cruz, A. (2011). Las comunidades campesinas: estructura, funcionamiento e inscripción. *Revista de Investigación de La Facultad de Derecho*, 1(1), 147–159.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8054440>
- SINIA. (2022). *Prpgrama Municipal de Educación Cultura y ciudadanía Ambiental de la Municipalidad Distrital de Chiguirip*.
- Supo, E. (2024). *Identificación de áreas potenciales para un relleno sanitario de residuos sólidos municipales, aplicando el SIG, en la provincia el Collao - 2023*.

- Valladares, J. (2022). Métodos para realizar un Análisis Multicriterio en un SIG. In *MasterGIS* (p. 7).
- Vasquez, J. (2023). Identificación de áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario aplicando evaluación multicriterio en el distrito de Chota-Cajamarca-2023. *Universidad Nacional Autónoma de Chota Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental*.
- Westreicher, G. (2024). *Área (geometría): Qué es, tipos y ejemplos*. Economipedia.

ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico del área 1

Observación directa del área 1 durante la visita de campo.



Anexo 2. Registro fotográfico del área 2

Observación directa del área 2 durante la visita de campo.



Anexo 3. Registro fotográfico del área 3

Observación directa del área 3 durante la visita de campo.



Anexo 4. Registro fotográfico del área 4

Observación directa del área 4 durante la visita de campo.



Anexo 5. Registro fotográfico del área 5

Observación directa del área 5 durante la visita de campo.



Anexo 6. Registro fotográfico del área 6

Observación directa del área 6 durante la visita de campo.



Anexo 7. Registro fotográfico del área 7

Observación directa del área 7 durante la visita de campo.



Anexo 8. Registro fotográfico del área 8

Observación directa del área 8 durante la visita de campo.

