

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**



## **FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Escuela Profesional De Ingeniería Forestal Y Ambiental**

**“ÁREAS VIABLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN  
RELLENO SANITARIO APLICANDO EVALUACIÓN  
MULTICRITERIO EN EL DISTRITO DE BAMBAMARCA,  
CAJAMARCA, 2026”.**

**Tesis Para Optar Al Título Profesional De**

**Ingeniero Forestal Y Ambiental**

**Autor:**

**Bach. Nélver Eli Caruajulca Marrufo**

**ASESOR:**

**Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito**

  
**Ing. Yuli Anabel Chávez Juanito**  
**Docente**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**

**Chota – Perú**

**2026**



“AÑO DE LA ESPERANZA Y FORTALECIMIENTO DE LA DEMOCRACIA”

CONSTANCIA N° 02-2026-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:

“Áreas viables para la construcción de un relleno sanitario aplicando evaluación multicriterio en el distrito de Bambamarca, Cajamarca, 2026”

Elaborado por: **Nelver Eli Caruajulca Marrufo** 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 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| 20%                                                                                                                                                      | *%                                           | Si cumple                |
| Literal e) del artículo 27 del <b>Reglamento de Grados y Títulos</b> , aprobado mediante <b>Resolución de Comisión Organizadora N.º 770-2025-UNACH</b> . |                                              |                          |

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

Chota, 02 de setiembre del 2026.

Dra. Chávez Juanito Yuli Anabel  
Asesora

# Nelver Eli Caruajulca Marrufo

## Tesis

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

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3638284898

Fecha de entrega

1 sep 2026, 2:52 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

1 sep 2026, 5:02 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME\_FINAL\_DE\_TESIS\_-\_Caruajulca\_Marrufo\_Nelver\_Eli.pdf

Tamaño del archivo

4.0 MB

100 páginas

17.280 palabras

103.506 caracteres



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

# 20% Similitud general

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

## Filtrado desde el informe

- Bibliografía

## Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 11%  Publicaciones
- 9%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alerta 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

- 18%  Fuentes de Internet
- 11%  Publicaciones
- 9%  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            | 4%  |
| 2  | Internet                | hdl.handle.net                      | 1%  |
| 3  | Internet                | repositorio.continental.edu.pe      | <1% |
| 4  | Internet                | repositorio.upsc.edu.pe             | <1% |
| 5  | Internet                | dspace.unitru.edu.pe                | <1% |
| 6  | Internet                | repositorio.unc.edu.pe              | <1% |
| 7  | Internet                | repositorio.unah.edu.pe             | <1% |
| 8  | Internet                | dspace.unach.edu.ec                 | <1% |
| 9  | Internet                | repositorio.ucv.edu.pe              | <1% |
| 10 | Trabajos del estudiante | Universidad Católica de Santa María | <1% |
| 11 | Internet                | www.coursehero.com                  | <1% |

|    |                         |                                                                                |     |
|----|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 12 | Internet                | repositorio.ucsm.edu.pe                                                        | <1% |
| 13 | Internet                | repositorio.unap.edu.pe                                                        | <1% |
| 14 | Publicación             | GALVEZ BONIFACIO HILARIO FELIX. "EIA del Proyecto Mejoramiento del Sistema ... | <1% |
| 15 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD                         | <1% |
| 16 | Internet                | repositorio.urp.edu.pe                                                         | <1% |
| 17 | Internet                | www.mades.gov.py                                                               | <1% |
| 18 | Internet                | www.slideshare.net                                                             | <1% |
| 19 | Internet                | unach.edu.pe                                                                   | <1% |
| 20 | Trabajos del estudiante | Universidad San Ignacio de Loyola                                              | <1% |
| 21 | Trabajos del estudiante | Pontificia Universidad Catolica del Peru                                       | <1% |
| 22 | Internet                | apirepositorio.unh.edu.pe                                                      | <1% |
| 23 | Trabajos del estudiante | Universidad Autónoma de Nuevo León                                             | <1% |
| 24 | Trabajos del estudiante | Universidad Rey Juan Carlos                                                    | <1% |
| 25 | Internet                | repositorio.pucese.edu.ec                                                      | <1% |

|    |                         |                                                                                   |     |
|----|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 26 | Internet                | www.researchgate.net                                                              | <1% |
| 27 | Internet                | repositorio.unjfsc.edu.pe                                                         | <1% |
| 28 | Internet                | www.repositorio.usac.edu.gt                                                       | <1% |
| 29 | Internet                | moam.info                                                                         | <1% |
| 30 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional Autonoma de Chota                                            | <1% |
| 31 | Internet                | docslib.org                                                                       | <1% |
| 32 | Internet                | repositorio.utea.edu.pe                                                           | <1% |
| 33 | Internet                | repositorio.saberec5.com.ec                                                       | <1% |
| 34 | Internet                | repositorio.unica.edu.pe                                                          | <1% |
| 35 | Internet                | tesis.pucp.edu.pe                                                                 | <1% |
| 36 | Trabajos del estudiante | FUNIBER                                                                           | <1% |
| 37 | Trabajos del estudiante | Organismo de Evaluación y Fiscalización                                           | <1% |
| 38 | Publicación             | PERU WASTE INNOVATION S.A.C. - PWI S.A.C.. "EIA-SD del Proyecto Relleno Sanita... | <1% |
| 39 | Trabajos del estudiante | UNIBA                                                                             | <1% |

|    |                         |                                                                                    |     |
|----|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 40 | Internet                | alicia.concytec.gob.pe                                                             | <1% |
| 41 | Internet                | ri.unsam.edu.ar                                                                    | <1% |
| 42 | Publicación             | ORGANISMO NO GUBERNAMENTAL ORGANIZACION PARA EL DESARROLLO SOSTE...                | <1% |
| 43 | Internet                | repositorio.utc.edu.ec                                                             | <1% |
| 44 | Internet                | www.arameo.net                                                                     | <1% |
| 45 | Internet                | repositorio.uchile.cl                                                              | <1% |
| 46 | Publicación             | RISCO MENDOZA JOSE CARLOS. "DIA del Proyecto Infraestructura de Disposición ...    | <1% |
| 47 | Internet                | docplayer.com.br                                                                   | <1% |
| 48 | Internet                | modified-argon-95704.appspot.com                                                   | <1% |
| 49 | Trabajos del estudiante | Universidad Privada del Norte                                                      | <1% |
| 50 | Internet                | www.repositorio.unach.edu.pe                                                       | <1% |
| 51 | Publicación             | Castillo Castellanos, Oscar Javier. "Generación e Implementación de una Metodol... | <1% |
| 52 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional de Cajamarca                                                  | <1% |
| 53 | Internet                | contraloriagdeant.gov.co                                                           | <1% |

|    |                         |                                                                                        |     |
|----|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 54 | Internet                | es.unionpedia.org                                                                      | <1% |
| 55 | Internet                | renati.sunedu.gob.pe                                                                   | <1% |
| 56 | Internet                | repositorio.unat.edu.pe                                                                | <1% |
| 57 | Publicación             | Ortiz, Jorge Jesús Chávez. "La Política Pública de la Cabecera de Cuenca en el Perú... | <1% |
| 58 | Trabajos del estudiante | Universidad Cesar Vallejo                                                              | <1% |
| 59 | Trabajos del estudiante | Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo                                        | <1% |
| 60 | Internet                | climatefocus.com                                                                       | <1% |
| 61 | Internet                | revista.comilcue.edu.ec                                                                | <1% |
| 62 | Trabajos del estudiante | ufidelitas                                                                             | <1% |
| 63 | Internet                | api-repositorio.unapiquitos.edu.pe                                                     | <1% |
| 64 | Internet                | de.slideshare.net                                                                      | <1% |
| 65 | Internet                | doaj.org                                                                               | <1% |
| 66 | Internet                | lex.uh.cu                                                                              | <1% |
| 67 | Internet                | repositorio.uncp.edu.pe                                                                | <1% |

|    |             |                                                                                        |     |
|----|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 68 | Internet    | repositorio.unsaac.edu.pe                                                              | <1% |
| 69 | Internet    | ris.utwente.nl                                                                         | <1% |
| 70 | Publicación | Gamarra, Ekaterina Humbertovna   Peñaloza Herrera, Diana Asunción   Cuadros O...       | <1% |
| 71 | Publicación | Rojas Mamani, Jhon Saul. "Disponibilidad a pagar por la mejora en el manejo de l...    | <1% |
| 72 | Internet    | es.scribd.com                                                                          | <1% |
| 73 | Internet    | issuu.com                                                                              | <1% |
| 74 | Internet    | repositorio.ucundinamarca.edu.co                                                       | <1% |
| 75 | Internet    | repositorio.unac.edu.pe                                                                | <1% |
| 76 | Internet    | www.ciget.pinar.cu                                                                     | <1% |
| 77 | Internet    | www.gacetasanitaria.org                                                                | <1% |
| 78 | Internet    | www.redmeso.net                                                                        | <1% |
| 79 | Publicación | AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AMBIDES...                 | <1% |
| 80 | Publicación | C. Steven Sevillano-Ríos, Laura V. Morales. " La temperatura y radiación solar expl... | <1% |
| 81 | Publicación | Condori Onofre, Marco Enrique. "Administración y tratamiento de los residuos só...     | <1% |

|    |             |                                                                                      |     |
|----|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 82 | Internet    | cdn.www.gob.pe                                                                       | <1% |
| 83 | Internet    | iris.cnr.it                                                                          | <1% |
| 84 | Internet    | noesis.uis.edu.co                                                                    | <1% |
| 85 | Internet    | repositorio.undac.edu.pe                                                             | <1% |
| 86 | Internet    | repositorio.unfv.edu.pe                                                              | <1% |
| 87 | Internet    | strathprints.strath.ac.uk                                                            | <1% |
| 88 | Internet    | www.eumed.net                                                                        | <1% |
| 89 | Internet    | www.labormed.hr                                                                      | <1% |
| 90 | Internet    | www.ohchr.org                                                                        | <1% |
| 91 | Internet    | www.tdx.cat                                                                          | <1% |
| 92 | Publicación | "Inter-American Yearbook on Human Rights / Anuario Interamericano de Derech...       | <1% |
| 93 | Publicación | AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA - AMBIDES...               | <1% |
| 94 | Publicación | AZALEA E.I.R.L.. "Plan de Recuperación de Área Degradada por Residuos Sólidos ...    | <1% |
| 95 | Publicación | Cornejo Olarte, Dalmiro Aurelio. "Evaluacion de metales toxicos en la cuenca del ... | <1% |

|     |             |                                                                                           |     |
|-----|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 96  | Publicación | Fabricio Diaz-del Aguila, Hilda Rocío Díaz-del Aguila, Jeison Elí Sánchez Calle, Ibis ... | <1% |
| 97  | Internet    | cdn.nestjs.wipolex.wji.prd.web1.wipo.int                                                  | <1% |
| 98  | Internet    | core.ac.uk                                                                                | <1% |
| 99  | Internet    | doku.pub                                                                                  | <1% |
| 100 | Internet    | repositorio.untumbes.edu.pe                                                               | <1% |
| 101 | Internet    | repositorio.upt.edu.pe                                                                    | <1% |
| 102 | Internet    | repositorio.uwiener.edu.pe                                                                | <1% |
| 103 | Internet    | www.nekudat-hen.org.il                                                                    | <1% |
| 104 | Publicación | GUERRERO TORRES YOEL RICARDO. "EIA-SD del Proyecto Denominado Mejoramie...                | <1% |
| 105 | Publicación | HUAMAN ROJAS DENNIS JOHN. "PIGARS de la Provincia de Tarma 2021-IGA001368...              | <1% |
| 106 | Publicación | INSPECCIONES TECNICAS SOCIEDAD ANONIMA EN LIQUIDACION. "EIA del Proyec...                 | <1% |
| 107 | Publicación | Melendez, Luis. "Subterranean Governance: the Political Work of Artisanal Miners...       | <1% |
| 108 | Publicación | Montilla Luna, Julian Ignacio. "Lineamientos para la gestión integral de residuos ...     | <1% |
| 109 | Publicación | Hualpa Choque, Pedro Tiburcio. "Diagnóstico ambiental del botadero de residuos...         | <1% |

|     |             |                                                                                    |     |
|-----|-------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 110 | Publicación | J & E CONSULTORES GENERALES S.R.L.. "EIA-SD del Proyecto Instalación de la Líne... | <1% |
| 111 | Publicación | KNIGHT PIESOLD CONSULTORES S.A.. "EIA del Proyecto Constancia-IGA0006961", ...     | <1% |
| 112 | Publicación | María del Carmen Carmona Lara. "Gestión ambiental municipal en México", Univ...    | <1% |
| 113 | Publicación | Vargas Maron, Jose Antonio. "Producción de metano por biodigestión de residuos...  | <1% |



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 043-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N°261-2026-FCA/UNACH:

| Nombres y apellidos                 | Cargo      |
|-------------------------------------|------------|
| Dra. Mariela Núñez Figueroa         | Presidente |
| M. Sc. Nixon Villanueva Delgado     | Secretario |
| Dr. Olegario Heiner Cabrera Cabrera | Vocal      |

De la tesis titulada:

Áreas viables para la construcción de un relleno sanitario aplicando evaluación multicriterio en el distrito de Bambamarca, Cajamarca, 2026

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

| Nombres y apellidos           | DNI      |
|-------------------------------|----------|
| Nelver Eli Caruajulca Marrufo | 74557513 |
|                               |          |

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forestal y Ambiental

Acuerdan por:

|                                     |            |                          |         |
|-------------------------------------|------------|--------------------------|---------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Unanimidad | <input type="checkbox"/> | Mayoría |
|-------------------------------------|------------|--------------------------|---------|

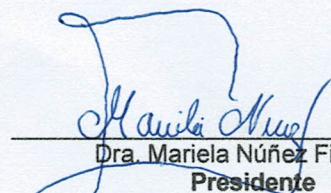
|                                     |         |                          |            |
|-------------------------------------|---------|--------------------------|------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Aprobar | <input type="checkbox"/> | Desaprobar |
|-------------------------------------|---------|--------------------------|------------|

Otorgando la calificación de:

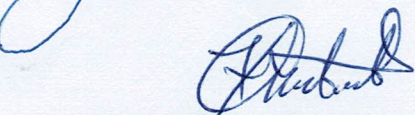
|      |           |
|------|-----------|
| 13.5 | Aprobado  |
|      | Excelente |
|      | Bueno     |
|      | Regular   |

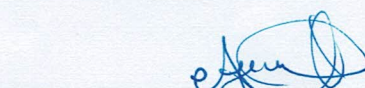
|  |             |
|--|-------------|
|  | Desaprobado |
|--|-------------|

Colpa Matara, 22 de julio del 2026

  
Dra. Mariela Núñez Figueroa  
Presidente

  
M. Sc. Nixon Villanueva Delgado  
Secretario

  
Dr. Olegario Heiner Cabrera Cabrera  
Vocal

  
Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito  
Asesora

### **Dedicatoria**

Dedicado a Jehová, quien me infundió fortaleza y me guío con su luz durante estos cinco años de mi formación universitaria, permitiéndome culminar esta etapa fundamental en mi camino profesional.

A mis padres, Alfonso Caruajulca Linares y Rosa Vilma Marrufo Cubas, por ser mi principal fuente de inspiración, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

A mis hermanos, Yoel y Roxana, por estar siempre conmigo, su comprensión constante, por la confianza inquebrantable y apoyo constante en todo momento.

## **Agradecimientos**

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, quien me ha orientado en cada etapa de mi trayectoria profesional, permitiéndome vivir una fase repleta de lecciones enriquecedoras y momentos memorables junto a mis compañeros y docentes.

Mi más sincero agradecimiento a mis docentes, quienes compartieron generosamente sus saberes, experiencias y consejos, contribuyendo de manera determinante a mi crecimiento profesional y personal.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, por los valores que desde siempre me han transmitido y por brindarme la oportunidad de acceder a una educación que hoy constituye la base fundamental de mi crecimiento personal y profesional.

Finalmente, expreso mi sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, de forma directa o indirecta, han sido pieza clave en la realización en mi investigación, sus aportes tan valiosos a lo largo de todo el proceso.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....                                             | 1  |
| 1.1.    Planteamiento del problema.....                                    | 1  |
| 1.2.    Justificación .....                                                | 2  |
| 1.3.    Formulación del problema .....                                     | 3  |
| 1.4.    Objetivos .....                                                    | 3  |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....                                           | 5  |
| 2.1.    Antecedentes .....                                                 | 5  |
| 2.2.    Bases teóricas.....                                                | 7  |
| 2.3.    Definiciones conceptuales .....                                    | 18 |
| CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....                                            | 22 |
| 3.1.    Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación.....                | 22 |
| 3.2.    Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis ..... | 23 |
| 3.3.    Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....              | 24 |
| 3.4.    Hipótesis .....                                                    | 32 |
| 3.5.    Operacionalización de variables .....                              | 33 |
| 3.6.    Procedimientos de recolección de datos .....                       | 34 |
| 3.7.    Procedimientos de análisis de datos.....                           | 34 |
| 3.8.    Material y equipos.....                                            | 39 |
| 3.9.    Aspectos éticos.....                                               | 39 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....                                              | 41 |
| 4.1.    Descripción de resultados .....                                    | 41 |

|                                                 |                                                                  |    |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.                                            | Contrastación de hipótesis .....                                 | 72 |
| 4.3.                                            | Discusión.....                                                   | 72 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... |                                                                  | 75 |
| 5.1.                                            | Conclusiones .....                                               | 75 |
| 5.2.                                            | Recomendaciones .....                                            | 76 |
| CAPÍTULO VI: REFERENCIAS.....                   |                                                                  | 77 |
| CAPÍTULO VII: ANEXOS.....                       |                                                                  | 85 |
| 7.1.                                            | Anexo 1. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 1” ..... | 85 |
| 7.2.                                            | Anexo 2. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 2” ..... | 86 |
| 7.3.                                            | Anexo 3. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 3” ..... | 87 |
| 7.4.                                            | Anexo 4. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 4” ..... | 88 |
| 7.5.                                            | Anexo 5. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 5” ..... | 89 |
| 7.6.                                            | Anexo 6. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 6” ..... | 90 |
| 7.7.                                            | Anexo 7. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 7” ..... | 91 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> <i>Requisitos temáticos de los criterios de restricción</i> .....                                                         | 12 |
| <b>Tabla 2.</b> <i>Requisitos temáticos de los criterios de exclusión</i> .....                                                           | 13 |
| <b>Tabla 3.</b> <i>Requisitos de restricción evaluados en la ciudad de Bambamarca</i> .....                                               | 25 |
| <b>Tabla 4.</b> <i>Requisitos de exclusión evaluados en la ciudad de Bambamarca</i> .....                                                 | 26 |
| <b>Tabla 5.</b> <i>Evaluación de los requisitos de restricción con sus ponderaciones</i> .....                                            | 27 |
| <b>Tabla 6.</b> <i>Evaluación de los requisitos de exclusión</i> .....                                                                    | 28 |
| <b>Tabla 7.</b> <i>Proceso de operacionalización de las variables</i> .....                                                               | 33 |
| <b>Tabla 8.</b> <i>Herramientas empleadas en el procesamiento de las capas de variables</i> ....                                          | 37 |
| <b>Tabla 9.</b> <i>Categorización para cada criterio de restricción</i> .....                                                             | 41 |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Extensión territorial de las categorías definidas</i> .....                                                           | 59 |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Determinación del área requerida a partir de la generación de residuos sólidos en el distrito de Bambamarca</i> ..... | 64 |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Cobertura territorial de las áreas viables</i> .....                                                                  | 68 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Etapas metodológicas para determinar áreas viables destinadas a rellenos sanitarios.....</i> | 11 |
| <b>Figura 2.</b> <i>Localización geográfica del ámbito de análisis.....</i>                                      | 23 |
| <b>Figura 3.</b> <i>Clasificación detallada de las pendientes .....</i>                                          | 42 |
| <b>Figura 4.</b> <i>Zona de influencia vinculada a la red hídrica .....</i>                                      | 44 |
| <b>Figura 5.</b> <i>Área de influencia a las fallas geológicas.....</i>                                          | 46 |
| <b>Figura 6.</b> <i>Zona de influencia respecto al entorno urbano de Bambamarca .....</i>                        | 48 |
| <b>Figura 7.</b> <i>Representación espacial de la textura del suelo .....</i>                                    | 50 |
| <b>Figura 8.</b> <i>Mapa final del análisis de los criterios de restricción .....</i>                            | 52 |
| <b>Figura 9.</b> <i>Delimitación espacial condicionada por la presencia de sitios arqueológicos .....</i>        | 54 |
| <b>Figura 10.</b> <i>Espacialización por presencia de concesiones mineras .....</i>                              | 56 |
| <b>Figura 11.</b> <i>Categorización de áreas viables para la instalación del relleno sanitario .....</i>         | 58 |
| <b>Figura 12.</b> <i>Áreas viables confirmadas mediante la verificación en campo .....</i>                       | 67 |
| <b>Figura 13.</b> <i>Zonas viables para la instalación de un relleno sanitario, validadas en campo .....</i>     | 71 |
| <b>Figura 14.</b> <i>Inspección en campo del área 1 .....</i>                                                    | 85 |
| <b>Figura 15.</b> <i>Inspección en campo del área 2 .....</i>                                                    | 86 |
| <b>Figura 16.</b> <i>Inspección en campo del área 3 .....</i>                                                    | 87 |
| <b>Figura 17.</b> <i>Inspección en campo del área 4 .....</i>                                                    | 88 |
| <b>Figura 18.</b> <i>Inspección en campo del área 5 .....</i>                                                    | 89 |
| <b>Figura 19.</b> <i>Inspección en campo del área 6 .....</i>                                                    | 90 |
| <b>Figura 20.</b> <i>Inspección en campo del área 7 .....</i>                                                    | 91 |

## **Resumen**

La presente investigación tuvo como propósito identificar áreas viables para la ubicación de un relleno sanitario mediante la aplicación de una Evaluación Multicriterio en el distrito de Bambamarca, Cajamarca. Para ello, se emplearon criterios técnicos de tipo restrictivo (distancia a centros urbanos, cercanía a la red hídrica, presencia de fallas geológicas, tipo de textura de suelo y pendientes del terreno), junto con criterios de exclusión adicionales (zonas arqueológicas y áreas bajo concesión minera), tomando como referencia la normativa establecida en la “Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructuras de disposición final de residuos sólidos municipales”. Dichos criterios fueron previamente estandarizados y jerarquizados, para luego ser procesados mediante un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 10.8), herramienta que permitió el análisis espacial y la clasificación de las áreas según su nivel de aptitud. Como resultado de este proceso, y tras la respectiva verificación en campo, se confirmaron cinco áreas (2, 3, 4, 5 y 6) como viables para la construcción del relleno sanitario, con superficies de 202,16 ha, 375,83 ha, 40,34 ha, 133,98 ha y 49,75 ha respectivamente, todas ellas superiores al área mínima necesaria para garantizar la vida útil proyectada de la infraestructura. En síntesis, la integración de la Evaluación Multicriterio, los Sistemas de Información Geográfica y la comprobación in situ constituye una metodología eficaz para determinar zonas idóneas destinadas a la disposición final de residuos sólidos en el distrito de Bambamarca.

**Palabras claves:** Análisis Multicriterio, Sistemas de Información Geográfica (SIG), jerarquización de criterios, zonas viables, disposición final de residuos sólidos.

## **Abstract**

The purpose of this research was to identify viable areas for the location of a sanitary landfill by applying a Multi-Criteria Evaluation in the district of Bambamarca, Cajamarca. To this end, restrictive technical criteria (distance to urban centers, proximity to the water network, presence of geological faults, soil texture, and terrain slope) were used, along with additional exclusion criteria (archaeological zones and areas under mining concessions), taking as a reference the regulations established in the “Guide for the Identification of Potential Areas for Municipal Solid Waste Disposal Infrastructure.” These criteria were previously standardized and prioritized, and then processed using a Geographic Information System (ArcGIS 10.8), a tool that allowed for spatial analysis and classification of the areas according to their suitability level. As a result of this process, and following the respective field verification, five areas (2, 3, 4, 5, and 6) were confirmed as viable for the construction of the sanitary landfill, with surface areas of 202.16 ha, 375.83 ha, 40.34 ha, 133.98 ha, and 49.75 ha, respectively. All of these areas exceed the minimum area required to guarantee the projected lifespan of the infrastructure. In summary, the integration of Multicriteria Evaluation, Geographic Information Systems, and on-site verification constitutes an effective methodology for determining suitable areas for the final disposal of solid waste in the district of Bambamarca.

**Keywords:** Multicriteria Analysis, Geographic Information Systems (GIS), criteria ranking, viable zones, final disposal of solid waste.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La gestión de los residuos sólidos municipales figura hoy entre los problemas ambientales de mayor magnitud a escala global, bajo esta noción se agrupa todo material, objeto o sustancia desechado, como resultado del consumo y de las actividades humanas; su manejo deficiente deriva contaminación, riesgos para la salud pública y conflictos sociales (Niezwida et al., 2023).

Las cifras respaldan la urgencia del problema, el Banco Mundial (2026) proyecta que la generación de residuos sólidos municipales, que en la actualidad bordean los 2 010 millones de toneladas, podría escalar hasta 3 860 millones de toneladas para el año 2050 si no se implementan estrategias de gestión más eficientes. A nivel nacional, el Ministerio del Ambiente (2024) reportó que en 2024 el Perú generó 8 450 715 toneladas de residuos sólidos municipales, de las cuales apenas 148 500 toneladas, una fracción mínima, fueron valorizadas mediante reciclaje.

Frente a este panorama, los rellenos sanitarios continúan siendo la infraestructura central para la disposición final controlada de desechos, en la medida en que su diseño y operación respondan a criterios técnicos y ambientales definidos (Cañarte & Castillo, 2023).

Actualmente, en varios países, los rellenos sanitarios siguen siendo una opción para gestionar los residuos sólidos generados por la población, estos rellenos son áreas designadas para la disposición final de los desechos en estado sólido provenientes de las actividades humanas de una ciudad, anticipadamente deben recibir ciertos tratamientos. Su propósito es almacenarlos en terrenos amplios, apartados de las zonas urbanas, distribuyéndolos en capas de un grosor específico que luego se cubrirán con insumos adecuados, por ejemplo; hule, polietileno o arcilla, los cuales tienen cualidades particulares para lograr esta finalidad. Esto se

realiza con el objetivo de gestionar correctamente los gases y olores generados una vez que los residuos han sido cubiertos (Barrera, Hernández & Mendoza, 2022).

Para determinar dónde ubicar este tipo de infraestructura, una de las herramientas más utilizadas es el SIG (Sistemas de Información Geográfica), que permite procesar grandes volúmenes de información territorial y verificar de forma sistemática el cumplimiento de los requisitos normativos (AIDIS, 2018). En el marco legal peruano, el MINAM (2017), amparado en el Decreto Legislativo N.º 127 (artículo 109), establece que son las municipalidades provinciales, en coordinación con las distritales, las llamadas a identificar los espacios idóneos dentro de su jurisdicción para instalar infraestructuras de disposición final, atendiendo la compatibilidad con el uso del suelo, la expansión urbana, los factores topográficos, y la protección del patrimonio cultural. En el artículo 110 de la misma norma añade condiciones específicas de emplazamiento; una distancia mínima de 500 metros respecto a centros poblados y de instalaciones pecuarias (salvo autorización expresa de la autoridad ambiental), otros 500 metros respecto de cuerpos de agua superficiales, y la prohibición absoluta de instalarse sobre fallas geológicas, entre otras restricciones normativas.

## **1.2. Justificación**

El manejo de los residuos sólidos constituye, en la actualidad, uno de los retos ambientales que enfrentan con mayor urgencia los gobiernos locales. La Municipalidad Provincial de Hualgayoc – Bambamarca no es la excepción; puesto que no cuenta con un espacio adecuado para la disposición final de sus desechos, y el crecimiento poblacional del distrito solo agrava esa carencia, haciendo cada vez más apremiante contar con un relleno sanitario propio.

En este contexto, la presente investigación busca localizar y evaluar, mediante una Evaluación Multicriterio (EMC) apoyada de los SIG, las zonas del distrito que reúnan las

condiciones técnicas para albergar dicha infraestructura, garantizando que su futura operación sea segura, ambientalmente sostenible y normativamente viable.

El aporte central de este enfoque metodológico radica en que no se limita a criterios técnicos y logísticos, sino que integra también variables ambientales y sociales que inciden en la elección del emplazamiento; de este modo, ofrecen una base más completa e informada para la toma de decisiones que un análisis unidimensional.

Los resultados, además, trascienden el ámbito estrictamente local; al tratarse de una metodología replicable, puede servir de referencia para otras municipalidades de la región o del país que enfrentan condiciones geográficas y socioambientales similares, contribuyendo así a extender el uso de herramientas técnicas avanzadas en la planificación de infraestructuras para residuos sólidos.

En síntesis, se justifica plenamente porque aporta evidencia técnica sólida para orientar la toma de decisiones en la gestión de residuos del distrito, con un impacto positivo en beneficio de la población y de nuestro entorno físico.

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuáles serán las áreas viables para la construcción de un relleno sanitario mediante el uso de la evaluación multicriterio en el distrito de Bambamarca, Cajamarca, 2026?

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

- ✓ Identificar áreas viables para la construcción de un relleno sanitario, empleando evaluación multicriterio, en el distrito de Bambamarca, Cajamarca.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- ✓ Aplicar los criterios establecidos en la “Guía para la identificación de zonas potenciales para estructuras de disposición final de residuos sólidos municipales”,

con el propósito de identificar áreas viables para la construcción de un relleno sanitario en el distrito de Bambamarca, Cajamarca.

- ✓ Emplear la Evaluación Multicriterio a través de los SIG para los requisitos de restricción y exclusión, con el fin de identificar las zonas viables para la construcción de un relleno sanitario en el distrito de Bambamarca, Cajamarca.
- ✓ Contrastar las áreas viables identificadas mediante las técnicas aplicadas con las observaciones a realizarse en campo.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **2.1.1. A nivel internacional**

En la ciudad de Debre Tabor, Etiopía, Mulualem et al. (2025) realizaron una investigación en la que integraron SIG, teledetección y el AHP (Proceso de Jerarquía Analítica) orientado para localizar espacios viables destinados al emplazamiento de un relleno sanitario, integrando siete variables clave: cercanía a carreteras, fuentes de agua, zonas urbanas, uso del suelo, tipo de suelo, litología y pendiente. Estos criterios se clasificaron de 1 (inadecuado) a 5 (muy adecuado). Mediante una combinación ponderada de estos factores, y mediante clasificación espacial, identifican que solo el 6,8 % del área estudiada (294,4 ha) es “altamente adecuado”, mientras que el 15,7 % es moderadamente adecuado, 14,2 % es adecuado, y el 63,3 % se considera no adecuado.

En el cantón Mejía (Pichincha, Ecuador), Mendaño y Socasi (2024) recurrieron también a un análisis espacial multicriterio apoyando en SIG para localizar un nuevo relleno sanitario. A partir de shapefiles de acceso libre procesados en ArcGis 10.8 mediante Múltiple Ring Buffer, Intersect, Polygon to Raster, Reclassify y Weighted Overlay, delimitaron cinco áreas viables, considerando una proyección poblacional de 148 207 habitantes a 15 años. Dos de esas zonas se ubicaron en la parroquia Alosi (sector Aychapicho) y en la parroquia de Machachi, respectivamente.

Amagandi & Rivera (2022) realizaron una investigación orientada a identificar un área viable en donde se pueda dar la construcción de un relleno sanitario en el área comprendida entre los cantones Penipe y Chambo, para ello aplicaron un Análisis Multicriterio apoyado en SIG, empleando el programa ArcGIS 10.3 como herramienta principal del procesamiento espacial. Se definieron 13 criterios relacionados con aspectos ambientales, técnicos, sociales y económicos. Se empleó la codificación sectorial de la malla Fishnet en ArcGis 10.3, logrando

determinar que la celda codificada como C75, presentando un espacio de 1500 m<sup>2</sup>. La zona identificada se encuentra en la ciudad de Llund, ubicada en el cantón Chambo y cumple con un porcentaje de adecuación del 95% de los requisitos ambientales propuestos en la Ley de Saneamiento Ambiental de Ecuador (TULSMA), en la Norma de Calidad Ambiental. Finalmente, como resultado del estudio logró determinar el espacio viable en donde se pueda dar el emplazamiento de dicha infraestructura.

### **2.1.2. A nivel nacional**

En Ascope, Díaz y Zelada (2024) combinaron SIG y Evaluación Multicriterio en ArcGis pro 3.0, empleando la metodología de exclusión, basándose en la ponderación y superposición de mapas, aplicando la normativa vigente (D. S. N.º 014-2017-MINAM) y sus respectivos reglamentos. Como resultados obtuvo tres áreas identificadas, técnicamente viables al cumplir la normativa, resulto la segunda con 110,65 ha, resulto la más viable por ajustarse mejor a los requisitos del Ministerio del Ambiente.

Por su parte, Sandoval (2024), en el distrito de Ascensión, Huancavelica, procesó siete variables de restricción y dos de exclusión aplicando el método AHP. Identificó 13 áreas potenciales, seleccionando 3 próximas al área urbana: Área 3 (10,082 ha, óptima), Área 1 (75,447 ha) y Área 2 (13,081 ha), cumpliendo criterios ambientales y normativos para disposición final de residuos.

Villavicencio, (2022) llevó a cabo un análisis espacial para definir el emplazamiento más adecuado de un relleno sanitario en la provincia de Cerro de Pasco, utilizando el método de superposición ponderada implementando en la plataforma ArcGis, evaluando pendiente, uso y permeabilidad del suelo, fuentes hídricas, vías, fallas geológicas, sitios arqueológicos, zonas urbanas y aeropuertos, según la matriz de valoración del Ministerio del Ambiente se asignó valor a cada criterio. Como resultado, se identificó cinco áreas posibles, destacando que la

segunda propuesta fue la más adecuada ubicada al noroeste y con 107 ha de extensión y con una distancia de 200 metros de la calle vecinal entre las ciudades mencionadas.

### **2.1.3. A nivel regional**

Vásquez (2023) realizó su estudio orientado a localizar posibles zonas viables en donde se pueda dar el emplazamiento de una edificación para la ubicación final de los residuos sólidos de la ciudad de Chota, Cajamarca, empleando un enfoque de Evaluación Multicriterio y SIG. En este proceso se aplicaron criterios de ponderación, tanto de restricción como de exclusión, siguiendo los reglamentos y normativas vigentes. La información se procesó en ArcGis 10.8. Dando como resultado cinco áreas y al ser validadas en las visitas a campo y contrastar con las normativas vigentes establecidas por el MINAM.

De manera similar, Bustamante (2022) orientó su investigación hacia el fin de localizar posibles sitios destinados al emplazamiento de un sistema de confinamiento definitivo de desechos en el distrito de Chota, utilizando los SIG. Para la localización del área se establecieron distintas restricciones: pendiente del terreno, geología, vías de comunicación, fuentes hídricas, proximidad a patrimonio cultural y áreas urbanas, comunidades campesinas, puestos de salud, usos del suelo y cobertura vegetal. Estas restricciones fueron evaluadas por un Análisis Multicriterio, asignándose peso de “0” a los espacios menos adecuados y “1” a los espacios idóneos. Finalmente, como resultado, se lograron identificar cinco zonas óptimas en las que podría construirse la infraestructura mencionada para la ciudad de Chota, Cajamarca.

Loyaga (2021) desarrolló un estudio en la localidad de Las Pirias, Jaén, aplicando una metodología que combina los SIG con la EMC. El procedimiento consistió en establecer una clasificación de idoneidad en tres categorías, los parámetros considerados incluyeron la pendiente del terreno, proximidad a cuerpos de agua, distancia respecto a centros poblados, accesibilidad vial, uso y cobertura del suelo, características geológicas y restricciones

normativas. A partir de este análisis se identificaron dos zonas con condiciones óptimas para la disposición final de desechos sólidos.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Contaminación ambiental**

Palacios y Moreno (2022) la definen como la presencia de sustancias físicas, químicas o biológicas en el ambiente, en cantidades y ubicaciones capaces de generar daño; según los autores, buena parte de los problemas ambientales se originan en el desequilibrio entre la actividad humana y el entorno, lo que termina expresándose en la contaminación del aire, el agua y el suelo.

### **2.2.2. Residuos sólidos**

De acuerdo con el MINAM (2016), los residuos sólidos se entienden como materiales en estado sólidos o semisólido cuya disposición debe ser gestionada por el generador, debido al riesgo que implican para la salud pública y el equilibrio ambiental. Esta definición contempla también aquellos desechos derivados de fenómenos naturales. En cuanto a su procedencia, se distinguen categorías como residuos domésticos, institucionales, agrícolas, biomédicos, municipales e industriales. Asimismo, atendiendo a sus características, pueden clasificarse en orgánicos, inorgánicos, biodegradables, no biodegradables, peligrosos y no peligrosos (Adetunji, Obersholster y Erasmus, 2023).

#### **2.2.2.1. Gestión integral de los residuos sólidos**

Rondón et al. (2016) menciona que existe una conexión de los gobernantes involucrados a nivel institucional, sectorial y regional. En otras palabras, se define como un conjunto de actividades interrelacionadas y complementarias, cuya finalidad es salvaguardar nuestros recursos ambientales y la humanidad pueda gozar de estos mismo, mejorado así los estándares de vida.

Así mismo, Rodríguez et al. (2021) menciona que son grupos organizados de actividades reglamentarias, operativas, económicas, resaltando también la planificación de cada localidad que puede implementar, fundamentándose en aspectos ambientales, socioculturales y económicos, en la recolección, tratamiento, y como también al confinamiento definitivo de residuos generados. Esta actividad requiere emplear mecanismos regulatorios, una adecuada gestión técnica, administrativa y tener capacidad de distribuir las responsabilidades a los actores encargados a nivel gubernamental sobre la gestión de residuos sólidos, así como también a las entidades y las unidades productivas, de servicio y a la ciudadanía. Su principal virtud es la capacidad para relacionar a los sectores, como también combinar distintas formas de brindar servicios, lo que permite desarrollar una gestión compleja, que debería ser planificada a lo inmediato, a mediano plazo y a largo plazo, ya que es un proceso participativo que busca prevenir y abordar los problemas de salubridad y apoyar en la gestión medioambiental de los municipios.

#### **2.2.2.2. Manejo integral de los residuos sólidos**

Brown (2023) describe esta actividad a la utilización de metodologías, tecnologías y programas orientados a alcanzar ideales y resultados idóneos, específicamente a una ciudad. Por lo que es fundamental tener en cuenta los criterios particulares de cada área, garantizando la protección del medio ambiente, además de diseñar y proponer programas para la gestión que se ajuste a dichas características.

OEFA (2019), por su parte, lo define como un conjunto de actividades normativas, financieras y programadas que deben aplicarse desde el momento mismo en que se genera el residuo, con fundamento en criterios ambientales, sanitarios y de viabilidad técnica y económica, buscando reducir la generación de residuos y mejorar su aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

### **2.2.2.3. Tratamiento de residuos sólidos**

Consiste en el conjunto de procesos y métodos dirigidos a modificar química, física o biológicamente las propiedades de los residuos sólidos, con el propósito de reducir y en lo posible eliminar el riesgo que representan para la salud humana y el ambiente, favoreciendo además su reutilización y una disposición final más segura (MINAM, 2016).

### **2.2.2.4. Disposición final de los residuos sólidos**

Se materializa mediante la ubicación de los residuos sólidos municipales en un relleno sanitario (los de carácter no municipal se destinan, en cambio, a rellenos de seguridad). En la normativa peruana se resalta que a los desechos sólidos se tienen que dar su disposición final en una infraestructura equipada y operativa, con la finalidad de dar la eliminación de manera fiable (OEFA, 2016).

### **2.2.2.5. Relleno sanitario**

A principios de la época de XX nació el concepto de relleno sanitario en diversas localidades de Estados Unidos e Inglaterra, su propósito era gestionar los olores desagradables y los agentes transmisores de enfermedades, presentes en la acumulación de basura a cielo abierto. Actualmente se entiende como el lugar final de almacenamiento de la basura que se genera de las actividades humanas, luego de tener su respectiva gestión o tratamiento. Su propósito es garantizar la ubicación definitiva de los desechos sólidos, disponiéndolos en zonas amplias y estas estén apartadas de zonas urbanas, colocándola cubiertas con un grosor específico y cubriéndola con materiales apropiados (como hule, polietileno o arcilla), que poseen propiedades especiales que cumplan con los propósitos requeridos. Esto se hace con el fin de gestionar correctamente los gases y olores generados una vez que los residuos han sido cubiertos, la gestión de un relleno sanitario debe de contar con la documentación adecuada y debe de adherirse a las normativas que regulen tanto al personal responsable de la recolección

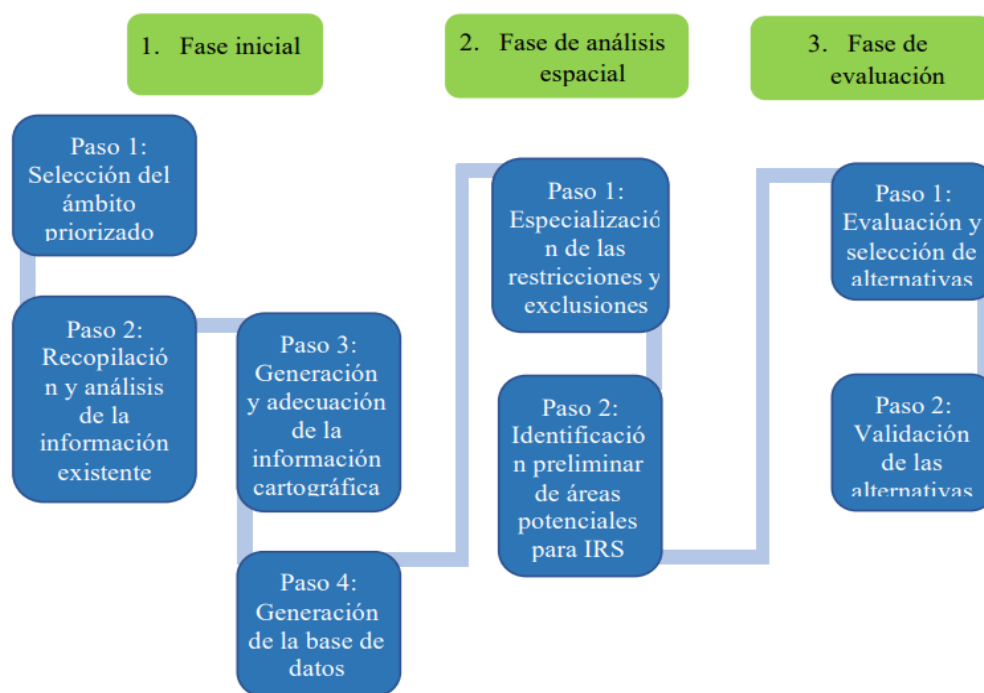
de basura como a los trabajadores del lugar, además de otros factores relacionados con la infraestructura del relleno sanitario (Barrera et. al., 2022).

#### 2.2.2.6. Procedimiento para identificar áreas viables destinadas a rellenos sanitarios

Mediante la Resolución Ministerial N.º 124-2021-MINAM, aprobó la “*Guía para la identificación de áreas potenciales destinadas a infraestructuras de disposición final de residuos sólidos municipales*” (MINAM, 2021). Este documento establece un procedimiento metodológico estructurado en tres etapas, orientado a facilitar la selección de lugares adecuados para la construcción de rellenos sanitarios.

**Figura 1.**

*Etapas metodológicas para determinar áreas viables destinadas a rellenos sanitarios*



Fuente: MINAM (2021).

#### 2.2.2.7. Criterios restrictivos en la selección de áreas viables para rellenos sanitarios

Son variables temáticas derivadas de los datos cartográficos actuales, de los criterios y requisitos estipulados por las normas vigentes, de ellos se conformarán las restricciones (MINAM, 2021), y se detallan de la siguiente manera:

**Tabla 1***Requisitos temáticos de los criterios de restricción*

| <b>Requisitos de localización</b> | <b>Variables</b>                                               |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Restricciones                     | Centros poblados                                               |
|                                   | Aeródromos                                                     |
|                                   | Fuentes de aguas superficiales (cauce de ríos, lagos, lagunas) |
|                                   | Granjas porcinas y avícolas                                    |
|                                   | Áreas agrícolas                                                |
|                                   | Fallas geológicas                                              |
|                                   | Pendientes                                                     |
|                                   |                                                                |

Fuente: Ministerio del Ambiente (2021).

#### **2.2.2.8. Criterios de exclusión en la selección de emplazamiento para rellenos sanitarios**

Para los requisitos de exclusión se consideran parámetros temáticos, correspondientes a dichos criterios serán considerados exclusivamente la extensión territorial cubierta por las capas correspondientes, con la finalidad de poder encontrar áreas que cumplan y que no cumplan con los requisitos de exclusiones.

**Tabla 2***Requisitos temáticos de los criterios de exclusión*

| <b>Requisitos de localización</b> | <b>Variables</b>                                    |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Exclusiones                       | Áreas Naturales Protegidas                          |
|                                   | Peligros por inundación y remoción en masa          |
|                                   | Zonas de pantanos, humedales o recarga de acuíferos |
|                                   | Faja marginal                                       |
|                                   | Franja marino – costera                             |
|                                   | Patrimonio cultural (sitios arqueológicos)          |
|                                   | Concesiones mineras, petroleras                     |
|                                   | Concesiones forestales                              |
|                                   | Comunidades campesinas y nativas                    |

---

Fuente: Ministerio del Ambiente (2021).

### **2.2.3. SIG (Sistemas de Información Geográfica)**

Jonker (2023) define a los SIG como plataformas informáticas que generan representaciones visuales interactivas de datos geospaciales, es decir, datos referenciados espacialmente a la superficie terrestre. Además de la capacidad de crear visualizaciones, los SIG permiten la captura, almacenamiento, análisis y gestión de datos geospaciales. De igual forma Santos (2020), define a los SIG como sistemas informáticos que pueden gestionar y analizar información georreferenciada, con la que se puede dar solución a problemas de base territorial y medioambiental.

#### **2.2.3.1. Componentes SIG**

Según Costantini & Thompson (2023) afirman que los principales componentes son:

- A. Hardware:** Comprende los componentes físicos empleados en la captura, procesamiento y generación de resultados de los datos SIG, incluyendo computadoras, servidores, dispositivos GPS, escáneres e impresoras.
- B. Software:** El software SIG se utiliza para gestionar, analizar y visualizar datos espaciales, los más empleados; ArcgGis, QGis y MapInfo. Estos programas facilitan la cartografía, la consulta y el análisis espacial.
- C. Datos:** El elemento fundamental de cualquier SIG y abarca tanto datos espaciales (ubicaciones geográficas como; mapas, imágenes satelitales y fotografías aéreas) como los datos de atributos (información descriptiva sobre las características espaciales, como; población, uso de tierra o temperatura).
- D. Personas:** Los usuarios de SIG, que van desde los recopiladores de datos hasta los analistas que interactúan con el sistema para gestionar datos, realizar análisis y tomar decisiones basadas en información espacial.
- E. Métodos:** Estos comprenden las técnicas, flujos de trabajo y procedimientos utilizados para recopilar, procesar y analizar datos espaciales de manera consistente y estandarizada.

#### **2.2.3.2. Uso de los SIG en el ámbito ambiental**

Thanh & Hien (2023) mencionan que se ha demostrado que los SIG son una herramienta poderosa para la gestión medioambiental, debido a que permiten a los gestores medioambientales capturar, almacenar, analizar y mostrar datos espaciales de una forma que puedan revelar patrones, tendencias y relaciones que pueden no ser evidentes con otros tipos de análisis espacial de datos. Entre sus principales aplicaciones de los SIG en campo medioambiental se encuentran:

- A. Gestión del hábitat:** Los SIG se pueden utilizar para mapear la ubicación y la extensión de los hábitats de varias especies, como humedales, bosques y pastizales.

- B. Restauración ecológica:** Los SIG se pueden utilizar para identificar áreas que han sido degradadas o destruidas y se pueden priorizar los esfuerzos de restauración.
- C. Mitigación del cambio climático:** Los SIG pueden utilizarse para identificar áreas vulnerables al cambio climático, como las zonas costeras y las zonas propensas a sequías o incendios forestales.
- D. Gestión de recursos naturales:** Puede ser facilitada mediante el uso de SIG, los cuales permiten el manejo de recursos como bosques, cuerpos de agua y yacimientos minerales.
- E. Planificación urbana:** Pueden emplearse para planificar un desarrollo urbano sostenible, a partir del mapeo de la localización, análisis de la expansión y movilidad de las ciudades.

### **2.2.3.3. Análisis espacial**

Rama de los SIG que se ocupa del procesamiento de datos que poseen un componente espacial o geográfico. Implica la aplicación de técnicas tanto matemáticas como estadísticas para analizar y conocer en detalle patrones y relaciones de datos que están vinculados a ubicaciones específicas. También implican el uso de técnicas y herramientas como la cartografía, las estadísticas espaciales y la geografía. Asimismo, se extienden a múltiples disciplinas, como en el ordenamiento territorial, a la ciencia ambiental y la epidemiología para obtener información y tomar decisiones sobre problemas espaciales complejos (Charles et. al., 2024).

De igual manera Buzai, Humacata & Principi (2019) mencionan que el análisis espacial, visto desde un enfoque temático, utiliza técnicas matemáticas y estadísticas para estudiar datos referentes al ámbito geográfico. Así mismo hace referencia al subsistema que contiene las herramientas necesarias para aplicar estos métodos. Estas herramientas provienen de la digitalización de diversas técnicas, lo que facilita su uso en aplicaciones tecnológicas y

científicas. En consecuencia, los procedimientos técnicos aplicados en el ámbito de la geografía pueden ejecutarse con el respaldo de herramientas computacionales. En este contexto, los conceptos de localización, distribución, asociación, interacción y evolución espacial constituyen elementos esenciales para el desarrollo del análisis. A continuación, se presentan las definiciones correspondientes.

- A. Localización:** Hace referencia a todas las entidades que poseen una ubicación específica en la tierra, que se pueden ver de dos maneras: en el “espacio absoluto”, la ubicación es fija y se basa en la topografía local y en el “espacio relativo”, las posiciones cambian según su relación con otros lugares. Esta localización hace referencia a un sistema de coordenadas geográficas (latitud y longitud) que permanecen constante a lo largo del tiempo.
- B. Distribución espacial:** hace referencia a como un grupo de elementos de la misma categoría se distribuye de forma específica en el territorio. Estos elementos serán representados como puntos, líneas o polígonos (áreas) y presentan diversas características en un sistema vectorial, y también como ubicaciones que pueden definir áreas en un sistema ráster.
- C. Asociación espacial:** Se refiere al análisis de las relaciones que surgen al contrastar diferentes distribuciones espaciales, que tienen actividad como áreas definidas por la homogeneidad de una sola variable. Se pueden realizar análisis de asociación espacial mediante comparaciones o vinculaciones cuantitativas, en un SIG vectorial, los valores de las columnas en una tabla de atributos corresponden a diferentes capas temáticas, donde cada capa se representa mediante una columna. El análisis entre capas produce resultados relacionados con asociación espacial.

**D. Interacción espacial:** Se refiere a una organización de diversas capas temáticas donde las localizaciones, distancias y vínculos son clave para definir los diversos vínculos horizontales entre las entidades geográficas ubicadas.

**E. Evolución espacial:** El concepto incluye el factor tiempo, ya que todo está en constante cambio, pasando de un estado a otro.

#### **2.2.3.4. Evaluación Multicriterio**

Según Cardoso & Carñel (2022) la evaluación multicriterio facilita el análisis en los procedimientos cuando se van a definir indicadores o variables para la ubicación y si fuese el caso la limitación de infraestructuras asistenciales a construir. Al clarificar la elección de indicadores y criterios de elección, de esta manera facilita la obtención de diversos resultados a partir de su aplicación. Además, brinda una oportunidad de cambiar las variables previamente antes de implementar el proyecto. Su principal ventaja de este enfoque radica en que, al aplicarse en la planificación con contextos próximos de toma de decisiones, posibilita anticipar los resultados y elegir la alternativa más adecuada.

Así, mismo se define a la evaluación multicriterio como herramienta útil para tomar decisiones en situaciones complejas, considerando aspectos tecnológicos, económicos, ecológicos y sociales. Estos métodos se combinan frecuentemente con los SIG, lo que los hace adecuados para optimizar la planificación del uso del suelo. La evaluación multicriterio espacial ha cobrado relevancia por tres razones principales: facilita una mejor toma de decisiones, apoya el desarrollo y evaluación de planes alternativos, y es particularmente útil para decisiones espaciales, ya que los datos involucrados están principalmente relacionados con el espacio. El enfoque de análisis multicriterio con SIG en la gestión de datos geoespaciales y la flexibilidad para integrar información objetiva como; uso de la tierra, pendiente, entre otros criterios y con información subjetiva como; opiniones de expertos, encuestas (Ogato et. al., 2020).

### **2.2.3.5. Software ArcGis**

ArcGis se compone de una variedad de recursos tecnológicos que brinda funciones requeridas para los SIG, en tal sentido cualquier tarea SIG, desde simple a compleja, se puede realizar mediante la invocación coordinada de la interfaz de la aplicación, incluidos el mapeo, el análisis geográfico, la edición de datos, la gestión de datos, la visualización y el procesamiento espacial. El análisis espacial es una de las funciones más importantes de los SIG puesto que procesa los datos de entrada y genera nueva información a través de estadísticas, cálculos y ordenamiento. A través del análisis espacial, se pueden descubrir patrones y relaciones desconocidos. ArcGis incluye componentes de análisis espacial, análisis de redes, de análisis 3D, entre otros y una variedad de herramientas y métodos de operación que satisfacen los requisitos de varios análisis de datos. Estos módulos de ArcGis se pueden utilizar para realizar operaciones de análisis espacial en el entorno de datos ráster y de integración de datos vectoriales. A través del análisis, se explora la información de correlación y las reglas generales entre datos espaciales, con el fin de resolver varios problemas espaciales (Zhang, 2021).

## **2.3. Definiciones conceptuales**

### **2.3.1. Botadero**

Es un espacio en donde se dispone los residuos sólidos, que no tienen un control adecuado, en donde los desechos no tienen una previa compactación ni se cubren de manera diaria, lo que genera la emisión de un hedor fétido, vapores y lixiviados (MINAM, 2022).

### **2.3.2. Disposición final**

El MINAM (2024), define la gestión de residuos como un proceso integral que comprende acciones de recolección, traslado, tratamiento y disposición final, orientadas a minimizar los efectos negativos sobre la salud pública y el entorno natural. Entre las

alternativas consideradas incluyen la incineración bajo control, el confinamiento en rellenos sanitarios con diseño técnico adecuado, así como el reciclaje y la reutilización de materiales.

### **2.3.3. Lixiviado**

El lixiviado se define como un flujo contaminante generado por la interacción del agua con los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario y por la actividad metabólica de los microorganismos presentes en su interior. Este líquido representa un riesgo potencial para los acuíferos subterráneos, dado que pueden infiltrarse y alterar su calidad. Su gestión se basa principalmente en la caracterización físico química, debido a la elevada toxicidad que presenta (Pozo et al., 2020).

### **2.3.4. Datos espaciales**

Tienen una vinculación con las referencias geográficas ya sea mediante coordenadas geográficas directas o mediante un referente geográfico, por ejemplo, códigos postales nacionales, permitiendo la localización precisa de un espacio geográfico (De la Fuente, 2020).

### **2.3.5. Datum**

El datum es hito o un marco de referencia, este tiene una conexión entre el elipsoide con la tierra, mientras que la proyección es una técnica que se emplea en transformar el aspecto esférico que posee nuestro planeta a un mapa, siendo el “datum” el grupo de criterios necesarios en llevar a cabo esta representación (Pucha, 2017).

### **2.3.6. Sistemas de Referencia de Coordenadas (SRC)**

Son métodos que permiten expresar de forma matemática las ubicaciones geoespaciales y que se desarrollan a través de alguna conceptualización de “Sistema de Coordenadas” y se relacionan con el medio geográfico. Los diversos sistemas de coordenadas y sus interrelaciones requieren de una gestión meticulosa, lo que implica el uso de recursos digitales, estandarización y la implementación documentada en la práctica (IDE, 2018).

### **2.3.7. Proyección cartográfica**

Procedimiento geométrico que permite la proyección de la forma esférica del globo terrestre (tridimensional) sobre un área plana (bidimensional). Este proceso, conocido como proyección cartográfica, convierte las coordenadas geográficas angulares que define la posición de algún material u objeto geográfico sobre la tierra en coordenadas planas, facilitando la digitalización de datos geoespaciales en mapas bidimensionales (López, 2015).

### **2.3.8. Ráster**

El modelo ráster constituye un formato de representación espacial basado en una malla compuesta por celdas organizadas en filas y columnas. Cada celda contiene un valor único que refleja una característica específica del territorio, mostrando generalmente continuidad con las celdas vecinas de la misma categoría, aunque puede diferir respecto a otras celdas. Los datos almacenados en este tipo de estructura pueden corresponder, por ejemplo, a registros de temperatura obtenidos mediante imágenes captadas por drones, fotografías satelitales o cartografía digitalizada (ESRI, 2016).

### **2.3.9. Shapefile**

Hace referencia al formato utilizado para almacenar información geográfica en sistemas de información vectorial. Contiene tanto la geometría espacial (líneas, puntos o polígonos) como los datos atributivos que describen sus características. Estos datos se asocian directamente con la geometría correspondiente, formando así el shapefile (ESRI, 2016).

### **2.3.10. Modelo de Elevación Digital (DEM)**

Conjunto de datos ráster que representa la altitud del terreno. Según la resolución de la imagen, cada píxel simboliza la altitud media del terreno cubierto por ese píxel (Rogers, Foust & Nelson, 2024)

### **2.3.11. Mapa**

Simbolización visual de las características físicas de una sección o toda la superficie terrestre, utilizando símbolos, a una escala determinada y con una proyección particular (Navarro, 2011).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación**

El presente estudio es de tipo aplicado; no busca formular una nueva teoría sobre la degradación de los residuos sólidos, sino resolver un problema socioambiental concreto mediante la identificación, a partir de criterios geoespaciales, de áreas viables para un relleno sanitario; en ese sentido, Ñaupas (2018) señala que este tipo de investigación se orienta a solucionar problemas que afectan directamente a la vida social de una comunidad o país.

El presente trabajo se enmarca en un diseño metodológico de tipo no experimental con enfoque transversal. Esto significa que las variables territoriales se examinan tal como se manifiestan en la realidad, sin alterar las condiciones físicas del entorno. La información proveniente de fuentes cartográficas y satelitales permite representar el espacio en un instante determinado. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación no experimental se distingue por analizar los fenómenos en su contexto natural sin manipulación intencional de las variables, mientras que el diseño transversal se caracteriza por la recopilación de datos en un único momento temporal.

El presente estudio se ubica en el nivel descriptivo, dado que su propósito es representar y caracterizar el área de análisis en función de los lineamientos normativos vigentes. Según lo señalado por Hernández, Fernández y Baptista (2014), este tipo de investigación se centra en la recopilación y organización de información relativa a las propiedades, atributos y dimensiones de un fenómeno u objeto específico, sin modificar sus condiciones naturales.

Finalmente, el presente trabajo se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), este tipo de investigación se caracteriza por seguir una secuencia sistemática sustentada en la recopilación de datos, la medición numérica y el análisis estadístico, con el propósito de contrastar hipótesis. Esta orientación metodológica resulta coherente con la naturaleza del estudio, ya que la EMC exige asignar valores

ponderados a cada variable, los cuales son procesados mediante cálculos matemáticos y operaciones de álgebra cartográfica en el entorno de los SIG, generando así un índice objetivo de aptitud territorial.

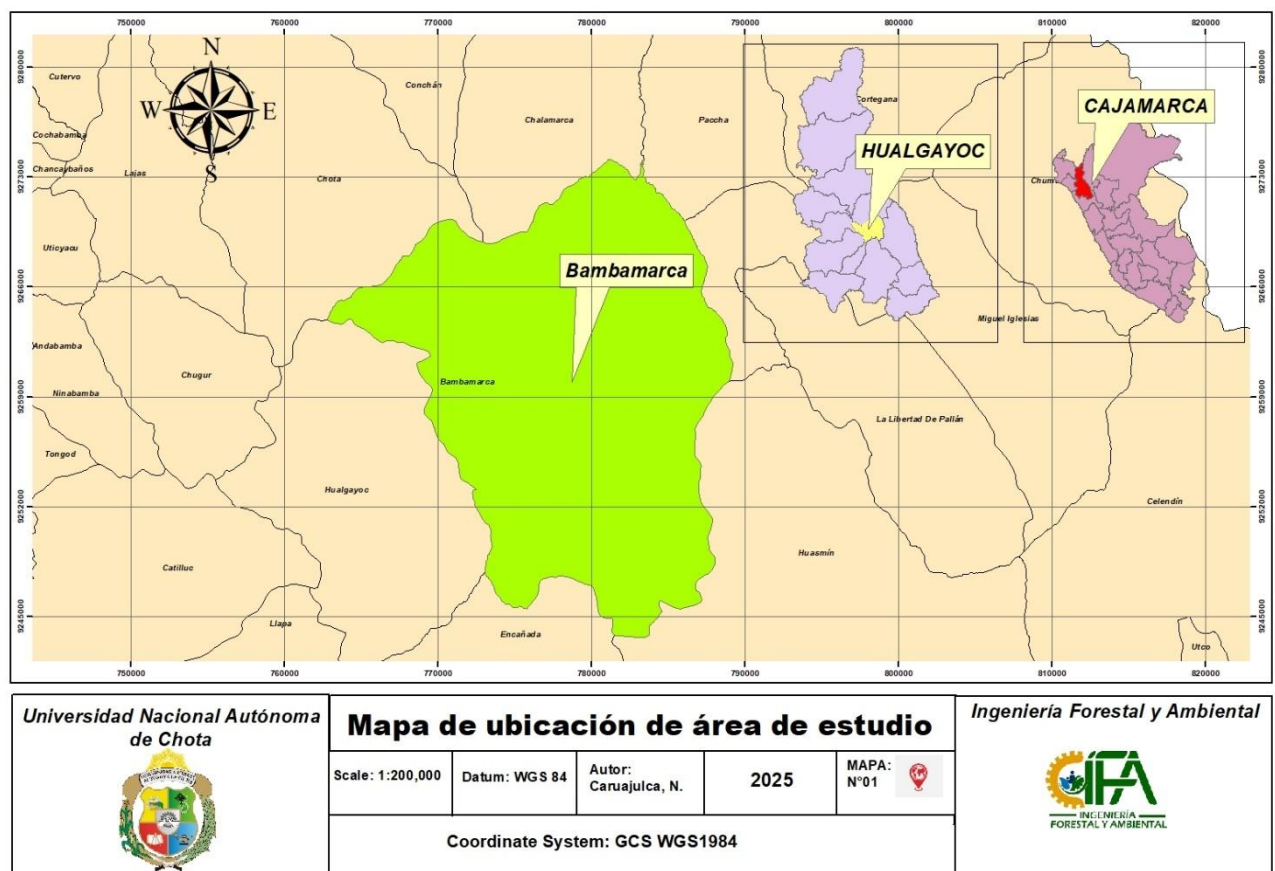
### 3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis

#### 3.2.1. Ubicación

La ejecución de la investigación se realizó en la ciudad de Bambamarca, uno de los tres distritos y la capital de la provincia de Hualgayoc, ubicada en la región de Cajamarca, al norte del Perú, localizada en los puntos geográficos  $6^{\circ}40'52''\text{S}$  y  $78^{\circ}31'19''\text{O}$ , y presenta una elevación de 2526 m.s.n.m.

**Figura 2.**

*Localización geográfica del ámbito de análisis*



### **3.2.2. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis**

#### **3.2.2.1. Población**

En esta investigación, la población de estudio está constituida por la totalidad de la extensión territorial del distrito de Bambamarca.

#### **3.2.2.2. Muestra**

Se basa a partir de las zonas territoriales que cumplan con los requisitos técnico-ambientales requeridos para el emplazamiento del relleno sanitario.

#### **3.2.2.3. Muestreo**

Presenta un diseño de muestreo de tipo no probabilístico, corresponde a un enfoque en el que la elección de las unidades de estudio se realiza de manera intencional, basada en criterios preestablecidos por el investigador. De este modo, se filtra y selecciona las zonas territoriales que son idóneas con los requisitos establecidos, asegurando así la pertinencia y viabilidad para el emplazamiento del relleno sanitario.

#### **3.2.2.4. Unidad de análisis**

Se basa en la unidad mínima de información espacial resultante de la integración de datos en un sistema SIG, utilizando celdas (píxeles) para variables continuas, como la pendiente y polígonos para variables categóricas, como el uso del suelo.

### **3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.3.1. Técnicas de recolección de datos**

Se aplicaron diversas técnicas analíticas orientadas a identificar las zonas territoriales viables para el emplazamiento de la infraestructura, las cuales se detallan a continuación.

## Fase de análisis y procesamiento en oficina

### 3.3.1.1. Técnica de EMC (Evaluación Multicriterio)

#### 3.3.1.1.1. *Establecimiento de los criterios*

En concordancia a las normativas del MINAM de la “Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales”, se seleccionaron siete parámetros, entre restricciones y exclusiones, previamente mencionados, que son aplicables al distrito de Bambamarca.

- ❖ **Requisitos de restricción:** Se tomó en cuenta cinco criterios clave que son fundamentales para ser evaluados, con el fin de cumplir con el objetivo de localizar a las áreas viables en donde se pueda dar la construcción de la infraestructura para Bambamarca.

**Tabla 3**

*Requisitos de restricción evaluados en la ciudad de Bambamarca*

| Requisitos de localización | Variables                     |
|----------------------------|-------------------------------|
| Restricciones              | Pendiente                     |
|                            | Red hídrica                   |
|                            | Fallas geológicas             |
|                            | Distancia a las zonas urbanas |
|                            | Textura del suelo             |

Fuente: elaborado a partir de la adaptación del Ministerio del Ambiente (2021).

- ❖ **Requisitos de exclusión:** Se tomó en cuenta los dos criterios de exclusión, considerando la extensión que ocupa el distrito de Bambamarca.

**Tabla 4***Requisitos de exclusión evaluados en la ciudad de Bambamarca*

| Requisitos de localización | Variables            |
|----------------------------|----------------------|
| Exclusiones                | Sitios arqueológicos |
|                            | Concesiones mineras  |
|                            |                      |

Fuente: elaborado a partir de la adaptación del Ministerio del Ambiente (2021).

### 3.3.1.2. Límites admisibles para los criterios establecidos (ponderaciones)

Determinado los criterios temáticos que rigen las condiciones de restricción y exclusión, dentro de la jurisdicción del distrito de Bambamarca, seguidamente se dio la determinación de los límites admisibles para estos mismos criterios, iniciando por los criterios de restricción, se asignó un valor de “0” a “2” de acuerdo con los intervalos establecidos; así, el valor “2” representó las áreas que cumplieron óptimamente con los requerimientos para la construcción de la infraestructura, constituyendo el puntaje más alto. El valor “1” correspondió a aquellas áreas que, si bien presentaron algunas limitaciones para la instalación del relleno sanitario, no impidieron su construcción, por lo que se mostró un valor intermedio. Finalmente, el valor “0” identificó las áreas más restringidas respecto a los criterios de localización de zonas viables.

En cuanto a los requisitos de exclusión, se consideró las extensiones territoriales que abarcaron las variables analizadas, las cuales se clasificaron en: áreas con exclusión, a las que se asignó el valor “0”, y zonas sin exclusión, representadas por el valor “1”. Posteriormente, se aplicó el procedimiento de superposición ponderada de las capas vinculadas a las variables de restricción y exclusión, con la finalidad de determinar áreas con condiciones favorables para la ubicación de infraestructuras destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales en el ámbito territorial del distrito de Bambamarca.

El análisis de los requisitos de restricción se dio en tres criterios, los cuales están representados en tres valores; “0” no apta, “1” aceptable y “2” viable, considerando la normativa de límites admisibles, se presenta detalladamente en el siguiente cuadro:

**Tabla 5**

*Evaluación de los requisitos de restricción con sus ponderaciones*

| <b>Criterios</b>                     | <b>Tipo</b> | <b>Magnitud</b>      | <b>Valores</b> |
|--------------------------------------|-------------|----------------------|----------------|
| <b>Pendiente</b>                     | No apta     | >50 %                | 0              |
|                                      | Aceptable   | 25-50 %              | 1              |
|                                      | Óptima      | 0 – 25 %             | 2              |
| <b>Red hídrica</b>                   | No apta     | <500 m               | 0              |
|                                      | Aceptable   | 500 – 1000 m         | 1              |
|                                      | Óptima      | >1000 m              | 2              |
| <b>Fallas geológicas</b>             | No apta     | <500 m               | 0              |
|                                      | Aceptable   | 500 – 1000 m         | 1              |
|                                      | Óptima      | >1 km                | 2              |
| <b>Distancia a las zonas urbanas</b> | No apta     | <1 km                | 0              |
|                                      | Aceptable   | 1 km – 2 km          | 1              |
|                                      | Óptima      | >2 km                | 2              |
| <b>Textura del suelo</b>             | No apta     | Moderadamente gruesa | 0              |
|                                      | Aceptable   | Media                | 1              |
|                                      | Óptima      | Moderadamente fina   | 2              |

Fuente: adaptado del Ministerio del Ambiente.

De igual manera para los requisitos de exclusión, sus limitaciones serán representadas en dos valores, dándoles su valor respectivamente; “0” excluyente “1” no excluyente, a continuación, se explica detalladamente:

**Tabla 6***Evaluación de los requisitos de exclusión*

| <b>Criterios</b>            | <b>Tipo</b>   | <b>Magnitud</b>        | <b>Valores</b> |
|-----------------------------|---------------|------------------------|----------------|
| <b>Sitios arqueológicos</b> | Excluyente    | Superficie que ocupa   | 0              |
|                             | No excluyente | Fuera de la superficie | 1              |
| <b>Concesiones mineras</b>  | Excluyente    | Superficie que ocupa   | 0              |
|                             | No excluyente | Fuera de la superficie | 1              |

Fuente: adoptado del Ministerio del Ambiente.

**3.3.1.2.1. Determinación del área requerida**

La estimación del área necesaria para la implementación del relleno sanitario se realizó considerando la duración proyectada de la infraestructura, las tendencias de crecimiento poblacional y los lineamientos técnicos definidos en la “*Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y clausura de rellenos sanitarios*”.

- ❖ **Incremento poblacional:** Se puede calcular mediante métodos matemáticos, su uso se presenta como un aumento de tipo geométrico, de acuerdo a la presente ecuación:

$$P_f = P_o \cdot (1 + r)^n$$

Donde:

Pf: Población futura

Po: Población actual (Distrito de Bambamarca)

r: Tasa de crecimiento de la población

n:  $t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}$  (intervalo en años)

- ❖ **Produccion per cápita de residuos sólidos:** Se determina mediante los datos del análisis de caracterización de desechos sólidos del área. No obstante, lo podríamos calcular ejecutando mediciones de las proporciones de los desechos sólidos recolectados por los entes encargados y fraccionando ese valor entre los habitantes totales.

$$Gpc = \frac{CRR}{Pob}$$

Donde:

Gpc: Generación per cápita (Kg/hab/día)

CRR: Volumen total de residuos recolectados (Kg)

Pob: número de habitantes considerados en el área de estudio

- ❖ **Volumen de residuos sólidos:** El conocimiento de generación total de desechos es crucial para tomar decisiones informadas, lo podemos calcular con la siguiente ecuación.

$$DS_d = Pob \cdot ppc$$

Donde:

DS<sub>d</sub>: Cantidad de residuos sólidos producidos por día (Kg/día).

Pob: Población total (habitantes).

ppc: Producción per cápita (Kg/hab/día).

- ❖ **Volumen de los desechos sólidos compactados:** Mediante las dos ecuaciones podremos calcular la cantidad diaria y anual de los desechos que serán compactados.

$$V_{diario} = \frac{DS_p}{Drsm}$$

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

Donde:

$V_{\text{diario}}$ : Volumen de residuos sólidos por tratar por día ( $\text{m}^3/\text{día}$ ).

$V_{\text{anual}}$ : Volumen de residuos sólidos en un año ( $\text{m}^3/\text{día}$ ).

$DS_p$ : Volumen de residuos sólidos producidos ( $\text{Kg}/\text{día}$ ).

$D_{\text{rsm}}$ : Densidad de residuos sólidos recién compactados ( $400 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ).

❖ **Volumen del material de recubrimiento**

$$m.c. = V_{\text{anual compactado}} \cdot 0.20$$

Donde:

m.c.: Material de cobertura, equivalente al 20% del volumen de los desechos compactados.

❖ **Volumen de desechos estabilizados**

$$V_{\text{anual estaabilizado}} = \frac{DS_p}{D_{\text{rsm}}} \cdot 365$$

Donde:

$DS_p$ : Cantidad de los desechos producidos ( $\text{Kg}/\text{día}$ ).

$D_{\text{rsm}}$ : Densidad de los desechos sólidos estabilizados equivalente ( $500 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ).

❖ **Volumen de la infraestructura**

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

Donde:

$V_{RS}$ : Volumen total del relleno sanitario ( $\text{m}^3/365$ )

m.c: Material de cobertura.

❖ **Espacio necesario para la infraestructura**

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}}$$

Donde:

$A_{RS}$ : Área por llenar (m<sup>2</sup>).

$V_{RS}$ : Volumen a ocupar de la infraestructura (m<sup>3</sup>/año).

$h_{RS}$ : Nivel de profundidad de la infraestructura (4 metros).

#### ❖ Superficie total requerida

$$A_t = \sum_i^n (F \cdot A_{rs})$$

Donde:

$A_t$ : Superficie total requerida (m<sup>2</sup>).

$F$ : Factor de incremento para las zonas adicionales se adopta entre 20 y 40% del área que se debe rellenar ( $A_{RS}$ ).

#### 3.3.1.3. Ubicación de las áreas viables

Se consolidó la representación cartográfica final de los sitios que cumplen con los criterios técnicos definidos y que se ajustan a las disposiciones normativas vigentes para la implementación de la infraestructura de disposición final.

#### 3.3.2. Instrumentos de recolección de datos

Se procedió con la sistematización de datos provenientes de diversas fuentes oficiales, tales como geo servidores estables y repositorios de naturaleza pública y privada, integrando principalmente cartografía en formato vectorial y ráster.

Mediante los SIG, empleando la herramienta ArcGIS 10.8 se facilitó la ejecución de diversos procesos geoespaciales destinados a generar los mapas asociados a los requisitos señalados con anterioridad. En el marco de análisis espacial, se empleó la herramienta ArcToolbox, específicamente la opción *Polygon to Raster* dentro de *Conversion Tools*, que posibilitó la conversión de archivos vectoriales en formato shapefile hacia estructuras ráster. Seguidamente, se aplicó *Euclidean Distance*, disponible en *Spatial Analyst Tools >Distance*, con el propósito de calcular la distancia desde cada celda de origen asociada a los criterios seleccionados, generando así una representación continua de proximidad en el entorno SIG.

Seguidamente, procedió a reclasificar las ponderaciones obtenidas de acuerdo con los valores asignados a cada requisito, precisados previamente en las tablas 1 y 2, empleando el recurso *Reclassify* (*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Reclass > Reclassify*).

Los archivos ráster resultantes se convirtieron a formato vectorial (shape) con el fin de ampliar su aplicabilidad. De manera similar, al mapa de exclusiones se asignaron los valores “0” = excluyente y “1” = no excluyente a las áreas asociadas a cada variable y asimismo, se aplicó el procedimiento a las capas vectoriales en formato *shapefile* correspondientes a los criterios previamente definidos dentro de su análisis.

Finalmente, se realizó la integración de ambos criterios mediante la herramienta *Intersect*, procesando la información en formato *shapefile* para determinar las áreas con aptitud técnica para el emplazamiento del relleno sanitario.

### 3.4. Hipótesis

- ✓ **Hipótesis nula (H0):** No habrá ninguna área viable que cumpla con los criterios necesarios para la construcción de un relleno sanitario.
- ✓ **Hipótesis alternativa (H1):** Existirá al menos un área viable que cumpla con los criterios necesarios para la construcción de un relleno sanitario.

### 3.5. Operacionalización de variables

**Tabla 7**

*Proceso de operacionalización de las variables*

| Tipo de Variables                                                                                            | Definición de variables                                                                                                                                                                                                                                                         | Dimensiones                       | Indicadores                                      | Técnicas e instrumentos                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Variable dependiente</b><br>Identificación de áreas viables para la construcción de un relleno sanitario. | Los rellenos sanitarios deben ubicarse en lugares que cumplen con las normativas para proteger el medio ambiente y la salud pública, minimizando riesgos en caso de fallas durante su funcionamiento.                                                                           | Criterios de restricción          | Pendientes                                       | SIG a partir del DEM                          |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Fuentes de aguas superficiales                   | SIG a partir de shapes de la ZEE Cajamarca    |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Fallas geológicas                                |                                               |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Textura del suelo                                |                                               |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Distancia a las zonas urbanas (km)               | Euclidean distance/ArcGis 10.8                |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Criterios de exclusión            | Sitios arqueológicos                             | SIG a partir de shapes de la ZEE Cajamarca    |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Concesiones mineras                              | SIG a partir de mapas temáticos del GEOCATMIN |
| <b>Variable independiente</b><br>Evaluación Multicriterio (EMC) y SIG                                        | Herramienta que analiza criterios que influyen los impactos de fenómenos, actividades u objetos sobre la superficie terrestre. A través de estos criterios, como factores ambientales, sociales, económicas y se puede medir la magnitud de su influencia; positiva o negativa. | Mapas de criterios de restricción | Cartografía de distancia a las zonas urbanas     | ArcGis 10.8                                   |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Cartografía de distancia a las fuentes de agua   |                                               |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Cartografía de distancia a las fallas geológicas |                                               |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Cartografía de textura del suelo                 |                                               |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Cartografía de distancia a las pendientes        |                                               |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Mapa de criterios de exclusión    | Mapa de sitios arqueológicos                     | ArcGis 10.8                                   |
|                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                   | Mapa de concesiones mineras                      |                                               |

### **3.6. Procedimientos de recolección de datos**

Para el desarrollo del estudio se integraron insumos cartográficos de carácter temático y básico, vinculados a las variables previamente definidas. Dichos datos fueron obtenidos de fuentes oficiales, entre ellas la Zonificación Ecológica Económico y el Sistema de Información Geológico y Catastral Minero. Asimismo, se incorporó el Modelo Digital de Elevación (DEM) proveniente de la base Copernicus, la información demográfica proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y de los registros del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL).

### **3.7. Procedimientos de análisis de datos**

Se analizaron los datos numéricos, siguiendo un enfoque de inferencia estadística, lo que implica llegar a conclusiones con un previo análisis. Este proceso lo analizamos empleando un Análisis Espacial, para lo cual se empleará los SIG conjuntamente con la Evaluación Multicriterio, todos estos procesos se dieron con el fin de localizar áreas viables en donde se pueda dar el emplazamiento de la infraestructura de disposición final de desechos sólidos para la ciudad de Bambamarca. A tal fin, se presenta a continuación la descripción de cada una de las etapas comprendidas en el proceso de tratamiento y análisis de la información geoespacial:

#### **3.7.1. Fase inicial**

##### **3.7.1.1. Recopilación de información:**

Se recopilaron datos asociados a cada criterio: pendiente, red hídrica, fallas geológicas, distancia a las zonas urbanas, textura del suelo, sitios arqueológicos y concesiones mineras. Estos insumos se encuentran disponibles en geo servidores de diversas instituciones del estado tales como: ZEE, MTC, INEI y GEOCATMIN.

##### **3.7.1.2. Requisitos de clasificación:**

Se definieron los criterios de clasificación conforme a la normativa del MINAM, la cual establece el fundamento para la ponderación de variables, categorías y escalas de evaluación,

esta estructura proporciona a los gobiernos locales un instrumento técnico para identificar zonas con aptitud territorial para rellenos sanitarios mediante los SIG, cuyo detalle se presenta a continuación:

- A. Pendiente:** El área “no apta” en la escala de  $>50\%$  dándole un valor de “0”, seguidamente “aceptable” en la escala de  $25-50\%$  dándole un valor de “1”, finalmente “óptima” en la escala de  $0-25\%$  dándole un valor de “2”.
- B. Red hídrica:** El área “no apta” en la escala de  $<500$  m dándole un valor de “0”, seguidamente “aceptable” en la escala de  $500-1000$  m dándole un valor de “1”, finalmente “óptima” en la escala de  $>1000$  m dándole un valor de “2”.
- C. Fallas geológicas:** Se categorizó en área “no apta” en la escala de  $<500$  m dándole un valor de “0”, seguidamente “aceptable” en la escala de  $500-1000$  m dándole un valor de “1”, finalmente “óptima” en la escala de  $>1000$  m dándole un valor de “2”.
- D. Distancia a las zonas urbanas:** Se categorizó en área “no apta” en la escala de  $<1$  km, dándole un valor de “0”, seguidamente “aceptable” en la escala de  $1$  km -  $2$  km dándole un valor de “1”, finalmente “óptima” en la escala de  $<2$  dándole un valor de “2”.
- E. Textura del suelo:** Se categorizó en área “no apta” en la escala de moderadamente gruesa dándole un valor de “0”, seguidamente “aceptable” en la escala de textura media dándole un valor de “1”, finalmente “óptima” en la escala de moderadamente fina dándole el valor de “2”.
- F. Sitios arqueológicos:** Se categorizó en área “excluyente” en la escala de; superficie que ocupa, dándole un valor de “0” y área “no excluyente” en la escala de fuera de la superficie dándole un valor de “1”.

**G. Concesiones mineras:** Se categorizó en área “excluyente” en la escala de superficie que ocupa, dándole un valor de “0” y área “no excluyente” en la escala de fuera de la superficie dándole un valor de “1”.

### **3.7.2. Etapa de análisis espacial**

#### **3.7.2.1. Generación de capas temáticas correspondientes a cada criterio a utilizar**

En la fase inicial del análisis se delimitó el área de estudio correspondiente al distrito de Bambamarca, tomando como referencia el polígono distrital y el Modelo Digital de Elevación (DEM). Dentro de este ámbito se integraron las capas temáticas que constituyen los criterios de evaluación para la selección de áreas viables destinadas a la construcción del relleno sanitario. El procedimiento comenzó con la generación del ráster de pendientes mediante la herramienta *Slope*. Posteriormente, se calcularon las distancias euclidianas a través de la opción *Euclidean Distance*. Finalmente, se efectuó la reclasificación de los rásteres obtenidos, utilizando la herramienta *Reclassify* con el fin de estandarizar los valores y facilitar su integración en el modelo multicriterio.

#### **3.7.2.2. Estandarización de los criterios**

Los archivos shape (criterios de restricción) se convirtieron en formato ráster, por lo tanto, emplearemos los recursos Polygon to Raster “ArctoolBox>ConversionTools>To Raster”, dado que los recursos que emplearemos más adelante son compatibles con los datos solo en formato ráster, tales como: “Reclassify”, “Euclidean Distance”, “Weighted Overlay” y “Raster Calculator”. Posteriormente, se utilizó el recurso *Reclassify* para asignar ponderaciones a cada capa vectorial (shape) correspondiente a los requisitos de restricción, en esta investigación, los valores considerados serán asignados en un intervalo de “0” al “2”, en donde el “0” indica que no es viable “1” aceptable y “2” indica el área viable respectivamente.

### 3.7.2.3. Integración de los criterios SIG

Se empleó el instrumento “Euclidean Distance” con la finalidad de medir el intervalo desde el pixel inicial para los requisitos definidos bajo restricción. Seguidamente se utilizó “Raster Calculator” para dar valores a todos los criterios correspondientes de restricción. Finalmente, cuando se convirtió la ponderación a formato vectorial y con la ayuda de la herramienta “Intersect (Geoprocessing)”, se procedió a realizar la intersección con el criterio de exclusión, el cual se encuentra en formato vectorial desde el inicio.

**Tabla 8**

*Herramientas empleadas en el procesamiento de las variables*

| <b>Variables de entrada</b>           | <b>Variables de salida</b>    | <b>Herramientas de procesamiento</b> | <b>Categoría</b> | <b>Escala</b> | <b>Valor</b> |
|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------|---------------|--------------|
|                                       |                               |                                      | No apta          | >50 %         | 0            |
| DEM                                   | Pendiente                     | Slope, Reclassify                    | Aceptable        | 25 – 50 %     | 1            |
|                                       |                               |                                      | Óptima           | 0 – 25 %      | 2            |
|                                       |                               |                                      | No apta          | <500 m        | 0            |
| Vector de líneas de hidrografía       | Distancia a red hídrica       | Euclidean Distance, Reclassify       | Aceptable        | 500 – 1000 m  | 1            |
|                                       |                               |                                      | Óptima           | >1000 m       | 2            |
|                                       |                               |                                      | No apta          | <500 m        | 0            |
| Vector de líneas de fallas geológicas | Distancia a fallas geológicas | Euclidean Distance, Reclassify       | Aceptable        | 500 – 1000 m  | 1            |

|                              |                                 |                                |               |                        |   |
|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|------------------------|---|
|                              |                                 |                                | Óptima        | >1000 m                | 2 |
|                              |                                 |                                | No aceptable  | < 1 km                 | 0 |
| Puntos de zonas urbanas      | Distancia a las zonas urbanas   | Euclidean Distance, Reclassify | Aceptable     | 1 km – 2 km            | 1 |
|                              |                                 |                                | Óptima        | >2 km                  | 2 |
|                              |                                 |                                | No apta       | Moderadamente gruesa   | 0 |
| Ráster o vector de suelos    | Textura del suelo               | Polygon to raster, Reclassify  | Aceptable     | Media                  | 1 |
|                              |                                 |                                | Óptima        | Moderadamente fina     | 2 |
| Sitios arqueológicos         | Área de influencia directa      | Euclidean Distance, Reclassify | Excluyente    | Superficie que ocupa   | 0 |
|                              |                                 |                                | No excluyente | Fuera de la superficie | 1 |
| Concesiones mineras (vector) | Distancia a concesiones mineras | Euclidean Distance, Reclassify | Excluyente    | Superficie que ocupa   | 0 |
|                              |                                 |                                | No excluyente | Fuera de la superficie | 1 |

Fuente: Elaboración basada en el MINAM.

### **3.7.3. Fase de campo**

#### **3.7.3.1. Inspección en campo**

Se realizó a cada ubicación que tenga un potencial viable para la construcción de la infraestructura, utilizando procedimientos como la “Evaluación Multicriterio”. Para esto a cada área elegida, llevaremos a cabo su localización con el apoyo del GPS, para su posterior verificación del cumplimiento de las normativas recomendadas por el Ministerio del Ambiente.

### **3.8. Material y equipos**

#### **3.8.1. Materiales**

Se empleó información geoespacial proveniente de la Zonificación Ecológica y Económica de Cajamarca (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011) y la información correspondiente a las concesiones mineras fue obtenida del Sistema de Información Geológico y Catastral Minero, administrado por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2025) para la ejecución del estudio. El procesamiento de estos datos integró los siete parámetros de restricción y exclusión establecidos, garantizando la convergencia con la normativa vigente del MINAM en la “Guía para la identificación de zonas potenciales para estructuras de disposición final de residuos sólidos municipales”.

#### **3.8.2. Equipos**

Se utilizó una laptop con procesador Intel Core i7 para el procesamiento de capas ráster y el álgebra de mapas, un equipo GPS con la finalidad de registrar las coordenadas en campo y corroborar la delimitación de las áreas previamente identificadas como viables y una cámara fotográfica para el registro de evidencias sobre las condiciones de dichas áreas.

### **3.9. Aspectos éticos**

El presente estudio se llevó a cabo con el objetivo de ofrecer información rigurosa y adecuadamente sustentada, respetando los principios éticos y apoyándose en investigaciones previas relacionadas, sin modificar ni alterar los resultados obtenidos. En ese sentido, se

garantizará la integridad de la información, evitando cualquier tipo de plagio y asegurando que todos los datos sean presentados de manera transparente. A lo largo de todo el proceso investigativo se garantizó la confidencialidad de la información, así como el respeto pleno a los derechos de las personas y comunidades participantes, asegurando que se obtuvieran los consentimientos correspondientes en caso de ser requeridos. Asimismo, se atribuyó debidamente el crédito a todas las fuentes utilizadas, fomentando una cultura de responsabilidad y honestidad intelectual. En coherencia con los reglamentos establecidos por el MINAM, se obtuvieron resultados fiables y creíbles. Esta aproximación ética permite que los hallazgos sean más útiles y aplicables, sin alterar la realidad, contribuyendo así de manera positiva al diseño de políticas públicas y al fortalecimiento de prácticas ambientales.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Descripción de resultados

#### 4.1.1. Parámetros de restricción aplicados en la delimitación de áreas viables

Posterior a la rasterización de las capas vectoriales, se procedió con la categorización de las distancias euclidianas en tres rangos de evaluación, este proceso se aplicó de manera sistemática a las variables de pendiente, red hídrica, fallas geológicas, textura del suelo y proximidad a las zonas urbanas de la jurisdicción del distrito de Bambamarca.

Dicha reclasificación asignó valores entre 0 y 2, siendo el valor 0 correspondiente a las áreas que no cumplen con los parámetros establecidos para cada criterio; el valor 1 a aquellas zonas que se encuentran dentro del rango permitido, aunque presentan ciertas limitaciones; y el valor 2 a las áreas que satisfacen plenamente los requisitos definidos.

**Tabla 9**

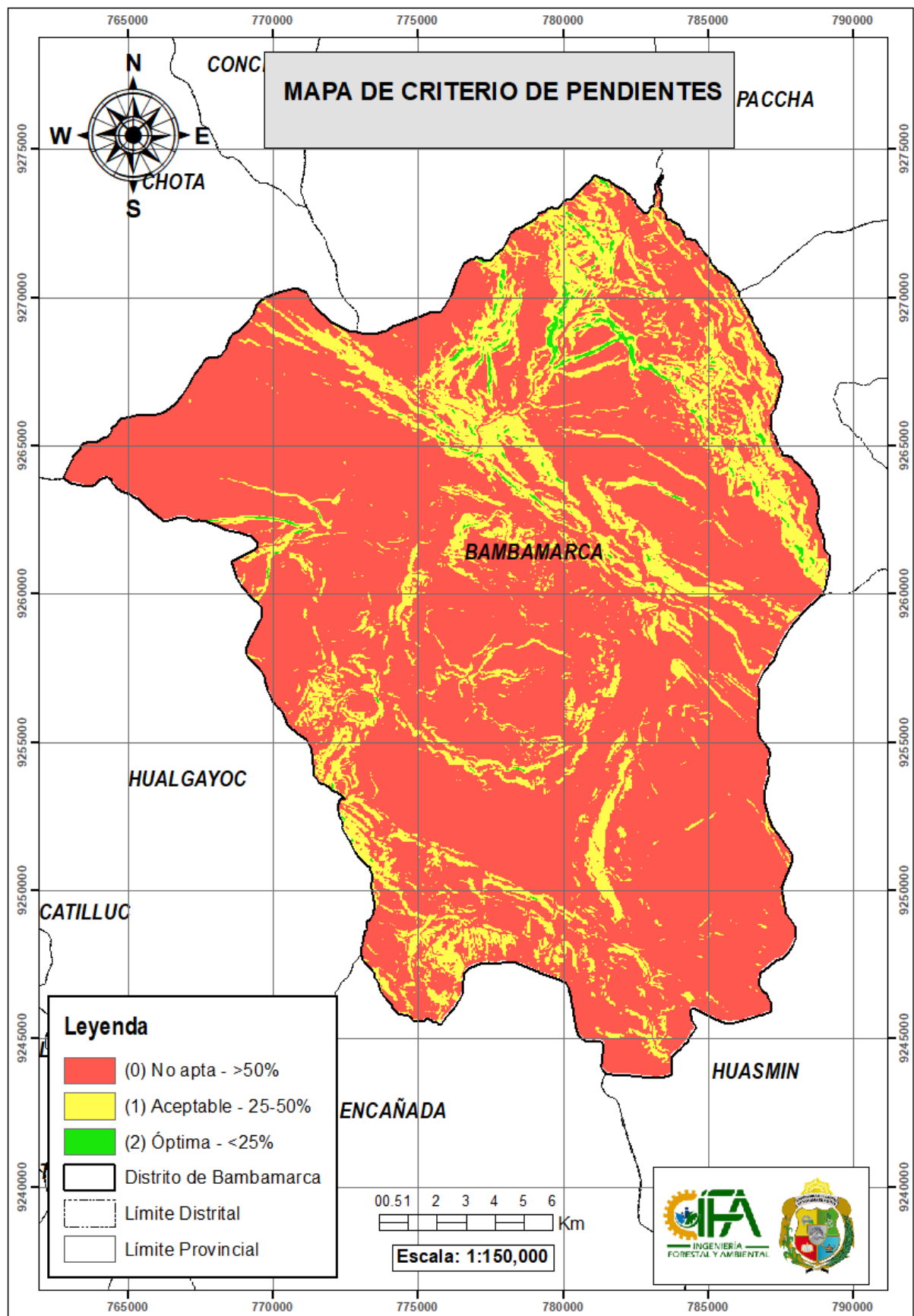
*Categorización para los criterios de restricción*

| Valores (Ponderación) | Calificación de los resultados<br>(Categorías) |
|-----------------------|------------------------------------------------|
| 0                     | No apta                                        |
| 1                     | Aceptable                                      |
| 2                     | Óptima                                         |

Los criterios de restricción fueron definidos en alineación con la normativa establecida por el MINAM, la cual regula los parámetros de restricción y de exclusión, además de precisar las variables correspondientes a cada uno de ellos (MINAM, 2021).

**Figura 3.**

*Clasificación detallada de las pendientes*



La figura 3 muestra la representación cartográfica generada en función del criterio de localización vinculado a la pendiente ponderada, la cual fue organizada en tres categorías. La categoría “No apta” corresponde a pendientes superiores al 50%; la categoría “Aceptable” abarca el rango comprendido entre el 25% y el 50%; y la categoría “Óptima” incluye las áreas con pendientes entre 0% y 25%.

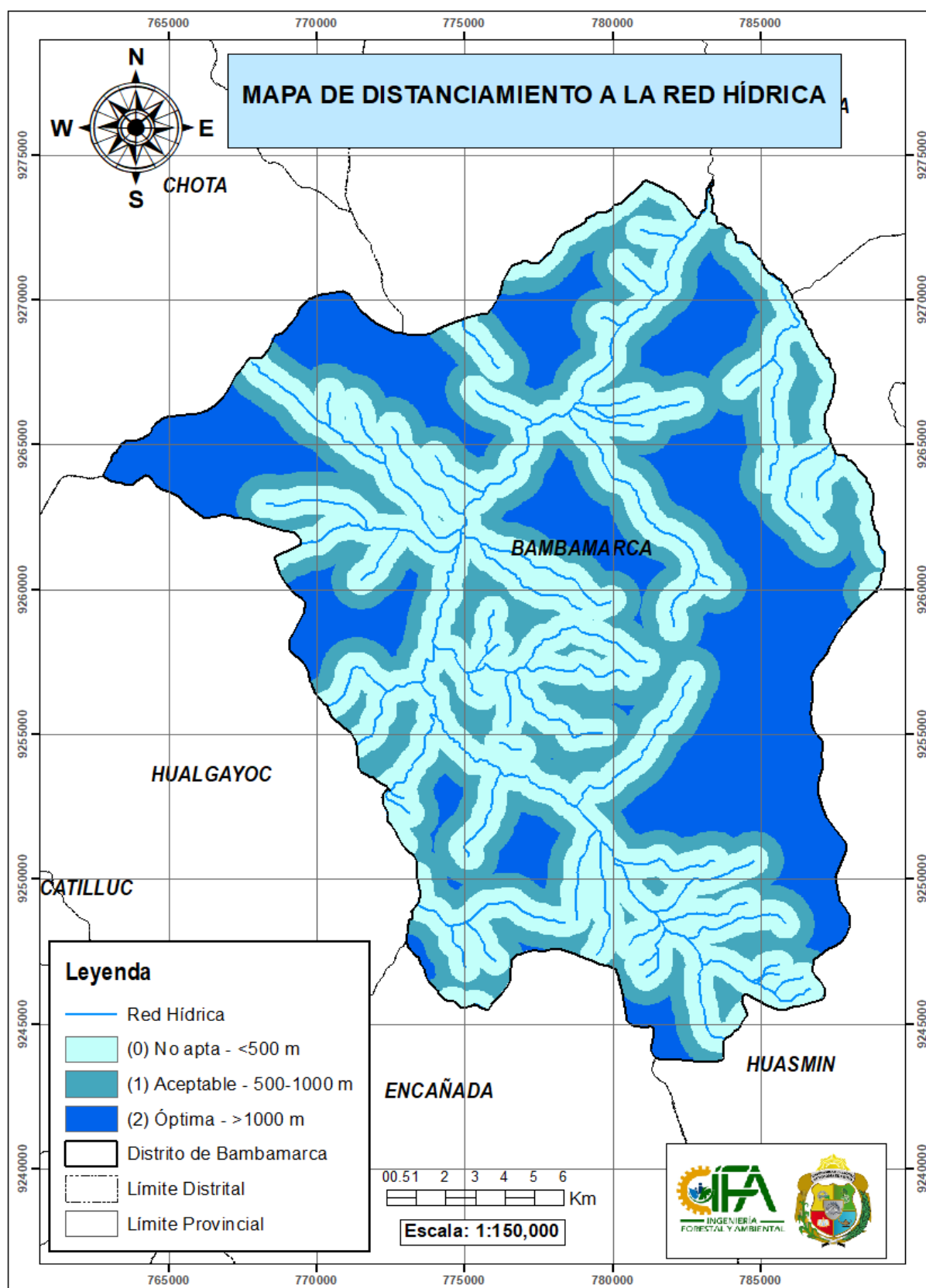
Mendaño y Socasi (2024), en su investigación desarrollada en el Cantón Mejía, Ecuador, evaluaron el criterio de pendiente y determinaron como zonas más favorables aquellas que se encuentran en un rango de 2% a 12%. Por su parte Loyaga (2021) en su investigación desarrollada en el distrito de Pirias, Jaén, calificó como “óptimas” aquellas áreas que registran pendientes que van en un intervalo de 4 a 20%.

Al comparar estos resultados se evidencia una notable variación en los rangos de pendiente adoptados para la selección de áreas, lo cual podría explicarse por las diferencias técnicas y normativas existentes entre países. En Perú, la guía técnica emitida por el MINAM señala que, identificar estas áreas dispuestas a este tipo de infraestructuras, admite un límite máximo de hasta 50 % de pendiente, por encima de este valor, pasa a categorizarse como “muy empinado” o “extremadamente empinado”, condición que lo inhabilita para la implementación de rellenos sanitarios.

No obstante, se reconoce que podría aplicarse cierta flexibilidad al considerar un umbral de 25% de pendiente, siempre y cuando las características del relieve lo permitan.

**Figura 4.**

*Zona de influencia vinculada a la red hídrica*



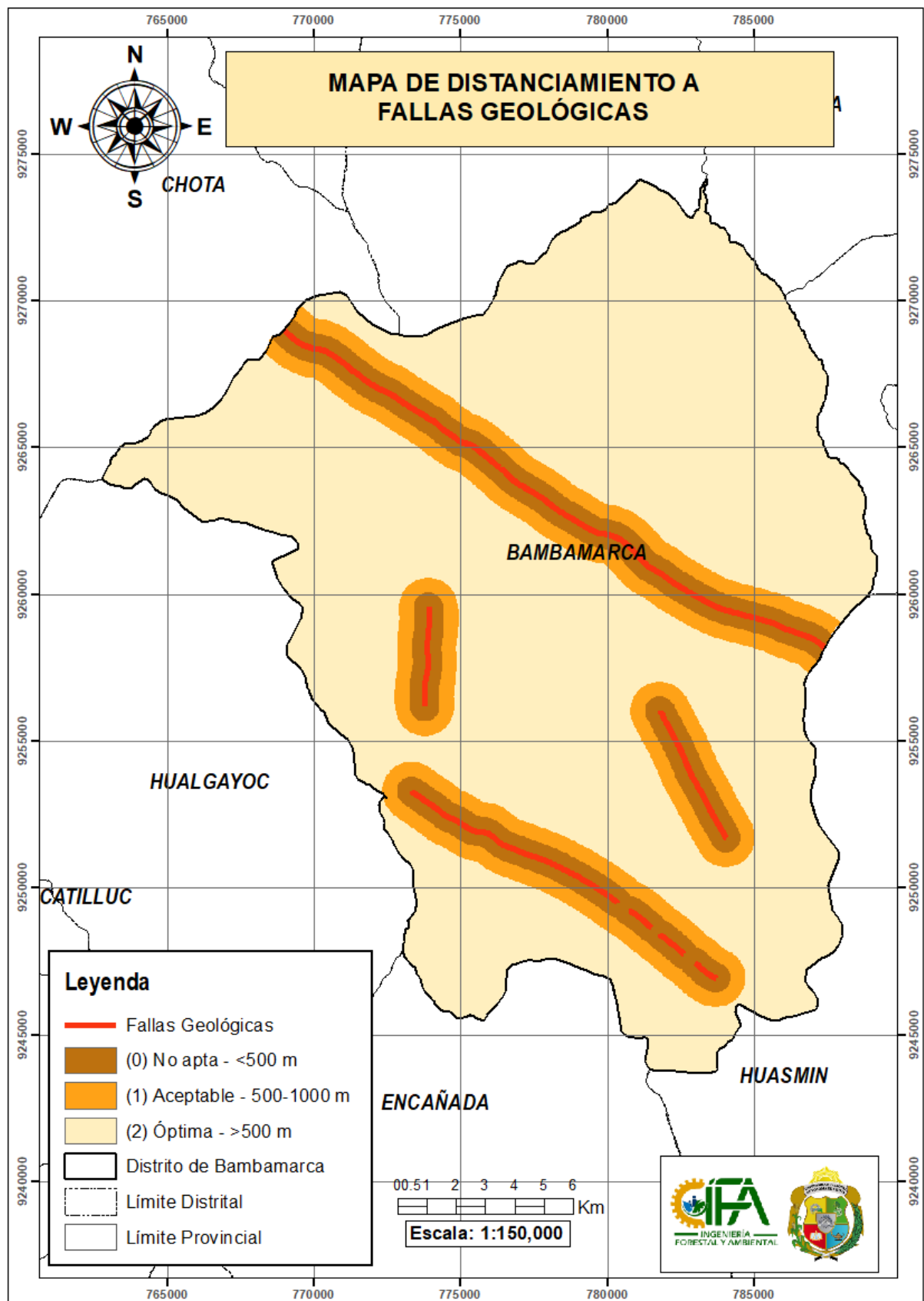
La Figura 4 muestra el mapa generado a partir del criterio de localización vinculado a la proximidad a la red hídrica, el cual fue organizado en tres niveles de aptitud. En primer término, la categoría “No apta” incluye los espacios emplazados a menos de 500 metros de los cuerpos de agua, donde la instalación de esta infraestructura está restringida. La categoría “Aceptable” abarca las áreas comprendidas entre 500 y 1000 metros de distancia. Por último, se califican como “Óptimas” aquellas superficies que se sitúan a más de 1000 metros de la red hídrica.

Según Bustamante (2022), en la investigación realizada en el distrito de Chota, se empleó el criterio normativo definido por el MINAM, el cual establece como requisito una separación mínima de 500 metros respecto a cuerpos de agua para la localización de rellenos sanitarios. A partir de este parámetro, las áreas fueron clasificadas en dos categorías: intangibles, cuando la distancia es inferior a 500 m, y potenciales, cuando superan dicho umbral.

En el presente estudio, se consideran “Óptimas” aquellas áreas que se encuentran a más de 1000 metros de la red hídrica. Cabe precisar que la delimitación de categorías y la definición de intervalos utilizados en los estudios pueden diferir según el enfoque técnico adoptado por cada investigador, siempre que se mantenga la observancia del marco regulatorio establecido.

**Figura 5.**

*Área de influencia a las fallas geológicas*



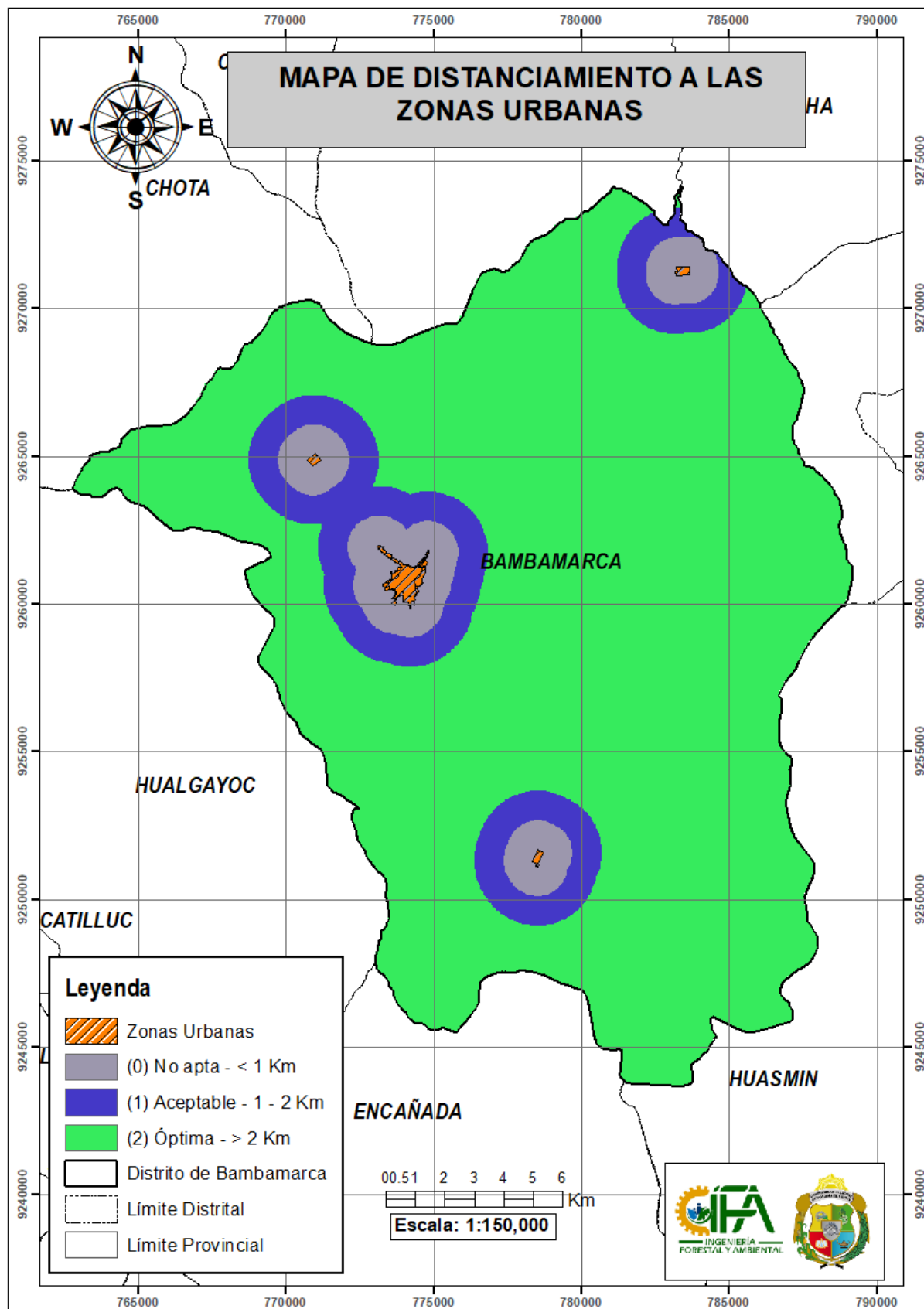
La figura 5 presenta la representación cartográfica elaborada en función del criterio de localización vinculado a la proximidad respecto a las fallas geológicas, organizado en tres niveles de clasificación. La categoría “No apta” comprende las áreas ubicadas a menos de 500 metros de dichas fallas, donde la instalación de esta infraestructura se encuentra restringida. La categoría “Aceptable” abarca las zonas situadas entre 500 y 1000 metros. Finalmente, se consideran “Óptimas” aquellas áreas que se encuentran a más de 1000 metros de distancia.

De acuerdo con Villavicencio (2022), en el estudio realizado en la ciudad de Cerro de Pasco se definió como criterio de restricción geológica una separación mínima de 500 metros respecto a las fallas, en concordancia con los parámetros técnicos consultados. Con base en este umbral, se estableció una clasificación binaria; las áreas situadas a menos de 500 m fueron consideradas no aptas (valor 0), mientras que aquellas localizadas a distancias iguales o superiores a dicho límite fueron catalogadas como aptas (valor 1).

En esta investigación, si bien se mantiene el mismo criterio mínimo de localización, se evidencia una diferencia en la forma de categorizar y en los intervalos considerados, lo cual responde al enfoque metodológico adoptado.

**Figura 6.**

*Zona de influencia respecto al entorno urbano de Bambamarca*

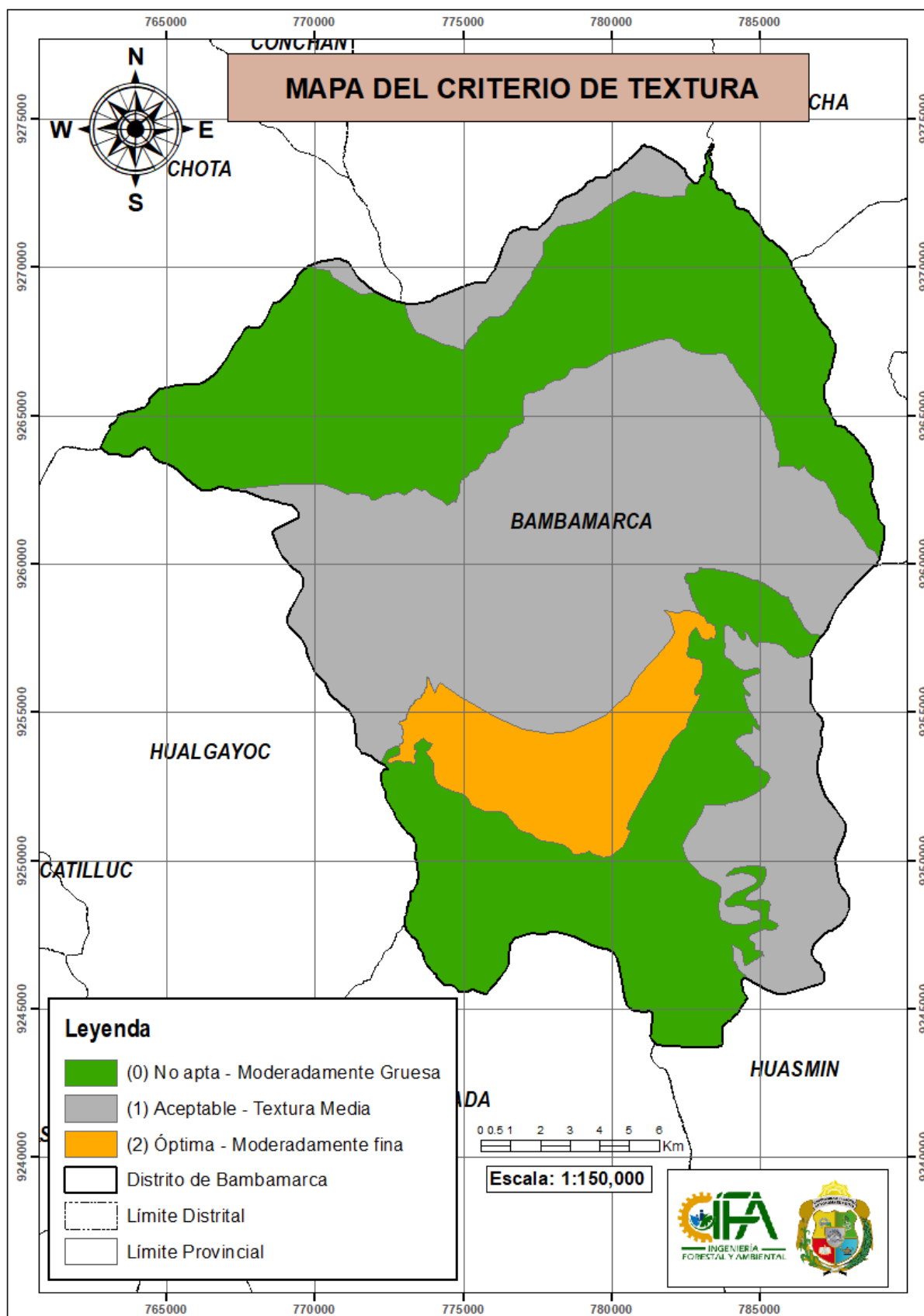


La figura 6 muestra la representación cartográfica elaborada en función al criterio de influencia asociado al área urbana. Las áreas ubicadas a menos de 1 km y aquellas que superan los 16 km de la ciudad de Bambamarca se clasifican como “No aptas” y las áreas localizadas a una distancia de entre 1 y 2 km se clasifican como “Aceptables”; en cambio, aquellas que se extienden desde 2 hasta 16 km se consideran “Óptimas”, al presentar condiciones más favorables según el criterio evaluado.

En el ámbito internacional, Parastatidou, Voudouris y Kazakis (2024), en la investigación realizada en la unidad regional de Chalkidiki, al norte de Grecia, determinaron que la edificación para la disposición final de residuos debe ubicarse, como mínimo, a 2000 metros de las zonas urbanas, con el fin de minimizar los posibles impactos sobre la población. En su clasificación, las áreas situadas a menos de dicha distancia se consideran “no aptas” para la construcción de un vertedero, mientras que aquellas ubicadas a más de 2000 metros se clasifican como “aptas” y se les asigna un valor de uno (1). En relación con el presente estudio, se verifica que los rangos de distancia empleados coinciden con los establecidos por estos autores; sin embargo, las categorías de clasificación difieren en su denominación, aunque conservan una equivalencia funcional en términos de evaluación.

**Figura 7.**

*Representación espacial de la textura del suelo*



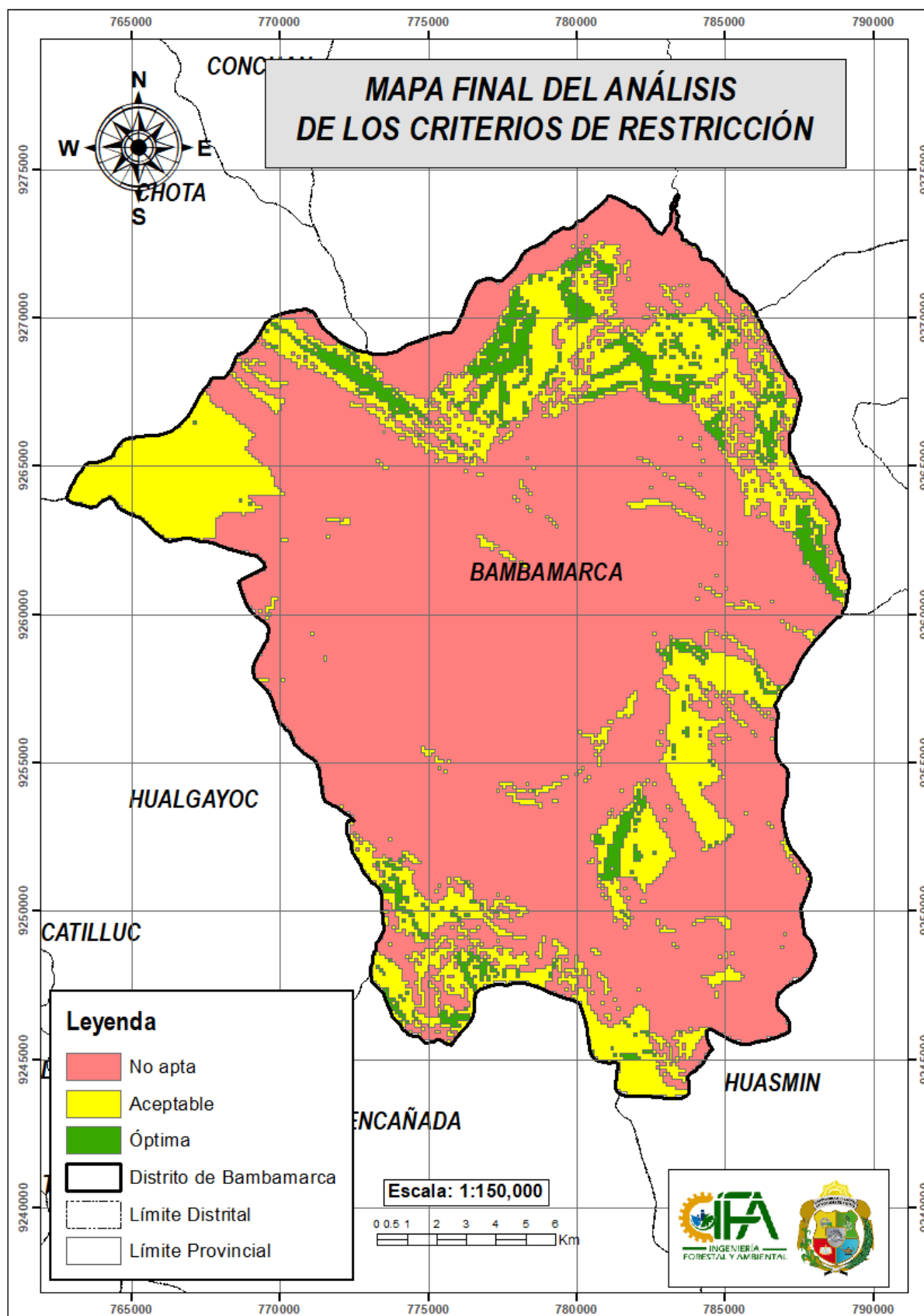
La Figura 7 muestra la cartografía generada en función del criterio de ubicación relacionado con la textura del suelo. De acuerdo con esta clasificación, los suelos de textura moderadamente gruesa se catalogan como “No aptos”; los de textura media se consideran “Aceptables” y los de textura moderadamente fina se califican como “Óptimos”, conforme a los parámetros técnicos establecidos.

El MINAM (2021) advierte que los contaminantes pueden percolar a través del suelo y llegar hasta los acuíferos, afectando su calidad. Por ello, es indispensable evaluar la litología del terreno propuesto, en este sentido, los suelos de origen sedimentario con textura areno-arcillosa resultan más favorables, ya que presentan baja permeabilidad, lo que reduce considerablemente la migración de lixiviados y a su vez, los hace apropiados para ser utilizados como material de cobertura.

En relación con el presente estudio, esta consideración es pertinente, dado que la textura del suelo influye directamente en la capacidad de drenaje y en el comportamiento hidráulico del perfil edáfico. Asimismo, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2017) clasifica los suelos areno-arcillosos dentro de la categoría de texturas moderadamente finas, lo cual coincide con los criterios adoptados en esta investigación.

**Figura 8.**

*Mapa final del análisis de los criterios de restricción*



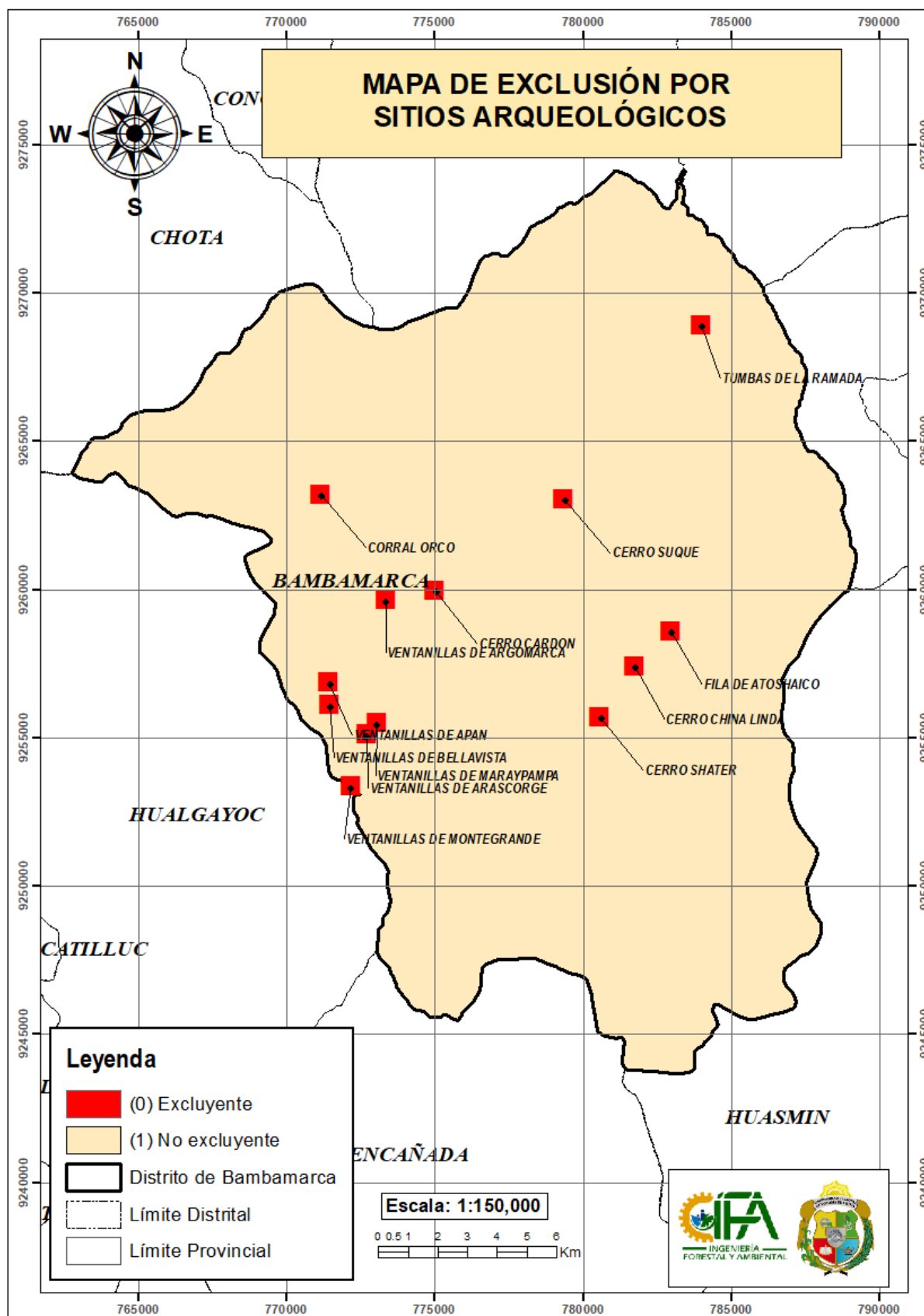
En la Ilustración 8 se exhibe la síntesis cartográfica resultante de la superposición de los cinco ejes temáticos asociados a las variables de restricción. El análisis espacial permitió categorizar el territorio en tres niveles de aptitud: las zonas no aptas se visualizan en tonalidad rosa, las áreas con aptitud aceptable en amarillo y las superficies con condiciones óptimas se distinguen en color verde.

#### **4.1.2. Parámetros de exclusión aplicados en la determinación de áreas viables**

En el distrito de Bambamarca se incorporaron dos capas vinculadas a los criterios de exclusión: concesiones mineras y sitios arqueológicos. Estas zonas fueron descartadas de forma inmediata, ya que en ellas no es viable emplazar infraestructura para un relleno sanitario. Por ello, ambas capas se superpusieron al mapa obtenido del análisis de los criterios de restricción, procediéndose posteriormente a su exclusión del resultado final.

**Figura 9.**

*Delimitación espacial condicionada por la presencia de sitios arqueológicos*



La Figura 9 presenta el mapa correspondiente a las exclusiones asociadas si hay presencia de sitios arqueológicos, es por eso que en la ciudad de Bambamarca se identificaron trece espacios con valor patrimonial incorporados en el análisis: Tumbas de la Ramada, Corral Orco, Cerro Suque, Cerro Cardón, Ventanillas de Argomarca, Ventanillas de Apán, Ventanillas de Bellavista, Ventanillas de Arascorgue, Ventanillas de Montegrande, Ventanillas de Maraypampa, Fila de Atoshaico, Cerro China Linda y Cerro Sháter, los cuales fueron considerados como áreas restringidas para cualquier intervención de este tipo.

Un sitio arqueológico constituye un bien inmueble de origen prehispánico que alberga evidencias materiales de actividades humanas del pasado, incluyendo estructuras, depósitos estratigráficos, artefactos, restos óseos y otros contextos culturales asociados, cuya investigación, conservación y salvaguarda son imperativas debido a su relevancia histórica, científica y cultural. Conforme al D.S. N.º 011-2022-MC, estos bienes integran el Patrimonio Cultural de la Nación y están sujetos a regulación estatal para garantizar su adecuada protección, documentación y uso responsable.

En este marco, el emplazamiento de dicha infraestructura en zonas con presencia arqueológica es estrictamente inviable, pues podría ocasionar daños irreparables o la pérdida absoluta de estos recursos, comprometiendo información fundamental para la reconstrucción del pasado.

### *Espacialización por presencia de concesiones mineras*



En la Figura 10 se expone el mapa correspondiente a las exclusiones derivadas de la presencia de concesiones mineras. En el distrito de Bambamarca existen 96, de las cuales 32 son de sustancia metálicas y 64 de sustancia no metálicas.

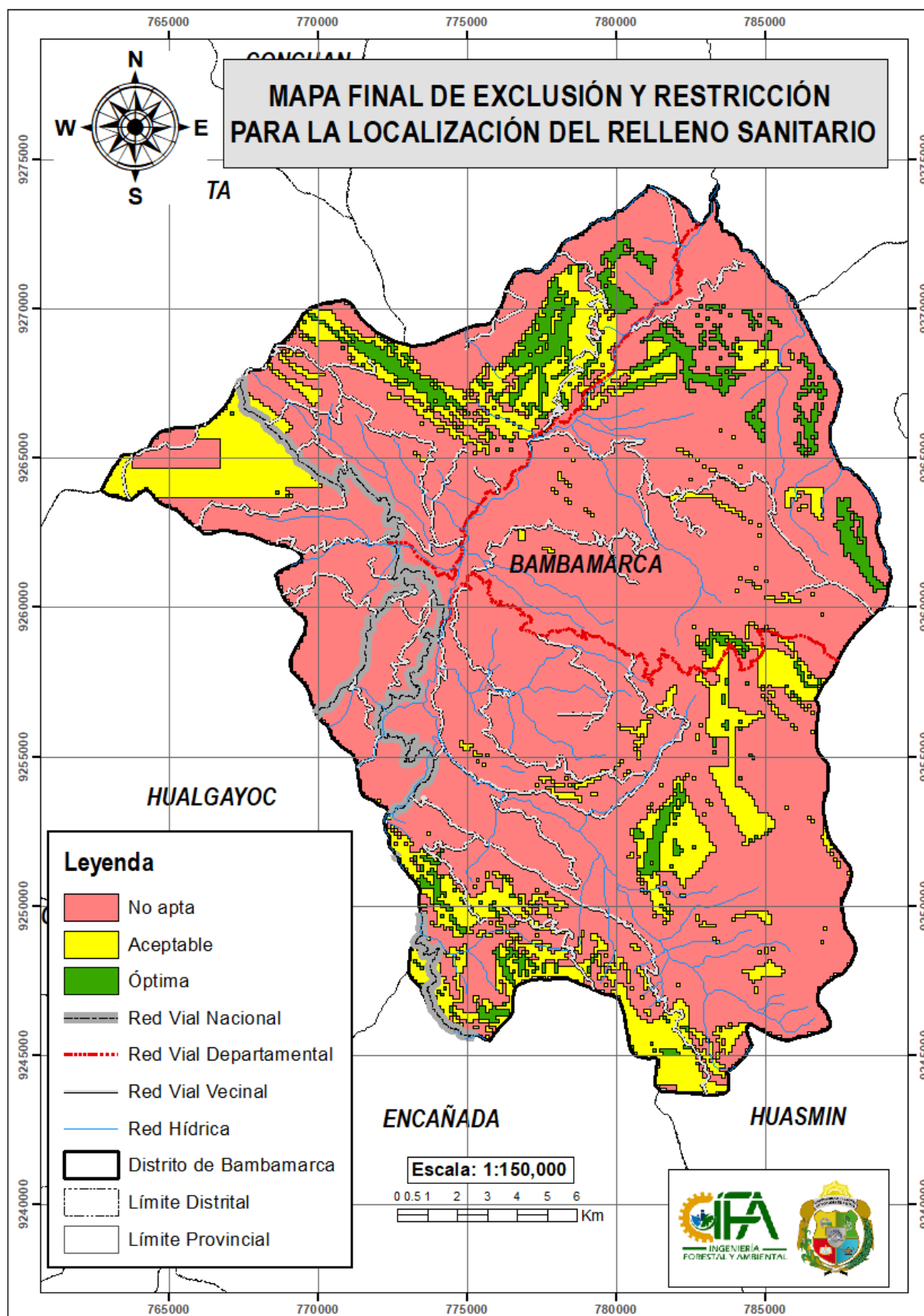
Las concesiones mineras están sujetas a un marco jurídico específico que regula el aprovechamiento de los recursos minerales en áreas previamente delimitadas. En el proceso de selección de zonas para la instalación de rellenos sanitarios, dichas concesiones se consideran criterios de exclusión, dado que el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería las reconoce como derechos reales que habilitan a sus titulares a realizar actividades de exploración y explotación. La superposición de esta infraestructura sobre terrenos concesionados generaría conflictos de uso y posibles incompatibilidades con los derechos mineros vigentes, razón por la cual fueron descartadas en el análisis de aptitud territorial (MINEM, 2024). En consecuencia, este régimen normativo puede restringir o impedir la implementación de proyectos no mineros, como los rellenos sanitarios, debido a la incompatibilidad técnica, operativa y territorial entre la actividad extractiva y la gestión de residuos sólidos.

#### **4.1.3. Categorización de zonas con aptitud para el emplazamiento del relleno sanitario**

El análisis de las áreas, se desarrolló mediante álgebra de mapas en ambiente ráster, utilizando el método de multiplicación booleana para integrar criterios de restricción territorial. Inicialmente, se elaboró una capa ráster que integra los cinco criterios de restricción, seguidamente se elaboró la capa con los dos criterios excluyentes: sitios arqueológicos y concesiones mineras. Posteriormente, estas capas resultantes fueron multiplicadas. La multiplicación ráster se ejecutó mediante la herramienta Raster Calculator de ArcGIS, como resultado de este proceso se obtuvo una capa final organizada en tres niveles de aptitud: “No aptas”, “Aceptables” y “Óptimas”.

**Figura 11.**

*Categorización de áreas viables para la instalación del relleno sanitario*



La Figura 11 presenta la zonificación de aptitud territorial correspondiente a la ciudad de Bambamarca, elaborada para la posible instalación de un relleno sanitario. El análisis espacial realizado permitió delimitar las áreas que cumplen con condiciones técnicas de viabilidad, cuyas dimensiones superficiales y atributos físicos se especifican en la Tabla 10. Esta representación cartográfica constituye un insumo clave para la toma de decisiones en la selección de sitios adecuados, al integrar criterios ambientales, geológicos y de accesibilidad.

**Tabla 10**

*Extensión territorial de las categorías definidas*

| <b>Categorías</b> | <b>Valores</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área (ha)</b> | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>%</b>   |
|-------------------|----------------|-----------------------------|------------------|------------------------------|------------|
| No apta           | 0              | 362,189,300                 | 36,218.93        | 362.19                       | 80.4       |
| Aceptable         | 1              | 67,227,600                  | 6,722.76         | 67.23                        | 14.9       |
| Óptima            | 2              | 20,945,100                  | 2,094.51         | 20.95                        | 4.7        |
| <b>Total</b>      |                | <b>450,362</b>              | <b>45,036.20</b> | <b>450.37</b>                | <b>100</b> |

En la Tabla 10 se detalla la superficie asignada a cada nivel de aptitud, la categoría “No apta” concentra la mayor proporción del territorio, con un 80,4 %, seguida de la categoría “Aceptable”, que abarca el 14,9 % y, por último, la categoría “Óptima” representa el 4,7 %, siendo la de menor extensión. En función de estos resultados, para la delimitación preliminar de áreas viables solo se tomaron en cuenta las categorías “Aceptable” y “Óptima”.

Bustamante (2022) aplicó un sistema de ponderación por criterio, en el que atribuyó 0 a los espacios no óptimos y 1 a aquellos considerados óptimos.

#### **4.1.4. Determinación de la superficie necesaria a partir del cálculo del volumen de residuos sólidos producidos**

La determinación de la superficie destinada a la disposición final de residuos sólidos se efectuó considerando el volumen total de desechos producidos en el distrito de Bambamarca.

Para este cálculo se integró información clave, como la población proyectada, la tasa de crecimiento demográfico y la generación per cápita de residuos, además de otros parámetros técnicos que permiten estimar con mayor precisión la capacidad requerida del relleno sanitario. Este procedimiento asegura que la infraestructura propuesta se adecúe a las necesidades actuales y futuras de la gestión de residuos.

#### ❖ **Crecimiento poblacional:**

##### **Fórmula 1:**

$$P_f = P_o \cdot (1 + r)^n$$

Donde:

Pf: Población futura.

Po: Población actual del distrito de Bambamarca: 63 780 hab.

r: Tasa de crecimiento de la población: 1.12% anual.

n: t<sub>final</sub> – t<sub>inicial</sub> (intervalo en años): Vida útil veinte años desde 2028.

La población base del distrito de Bambamarca corresponde al año 2024, con un valor de 63 780 habitantes (INEI, 2024). Dicha población fue proyectada al año inicial del horizonte de diseño (2028) aplicando una tasa de crecimiento anual de 1.12%, a partir del año 2028 se realizó la proyección poblacional para una vida útil de 20 años, hasta el año 2048.

#### ❖ **Producción per cápita (ppc)**

En el distrito de Bambamarca, la producción per cápita de residuos sólidos se estimó en 0,64 kg por habitante por día para el año 2024. Considerando la evolución temporal de este indicador, se proyectó un aumento progresivo mediante la aplicación de una tasa de crecimiento anual del 0,5% hasta el año 2048.

#### ❖ **Cantidad de desechos sólidos**

##### **Fórmula 2:**

$$DS_d = P_{ob} \cdot ppc$$

Donde:

DS<sub>d</sub>: Cantidad de residuos sólidos producidos por día (Kg/día).

P<sub>ob</sub>: Población total (habitantes).

ppc: Producción per cápita (Kg/hab/día).

#### ❖ **Volumen de residuos sólidos compactados:**

**Fórmula 3:**

$$V_{diario} = \frac{DS_p}{Drsm}$$

**Fórmula 4:**

$$V_{anual\ compactado} = V_{diario\ compactado} \cdot 365$$

Donde:

V<sub>diario</sub>: Volumen de residuos sólidos por tratar por día (m<sup>3</sup>/día).

V<sub>anual</sub>: Volumen de residuos sólidos en un año (m<sup>3</sup>/día).

DS<sub>p</sub>: Cantidad de residuos sólidos producidos (Kg/día).

Drsm: Densidad de residuos sólidos recién compactados (400 Kg/ m<sup>3</sup>).

La estimación del volumen diario de residuos sólidos compactados se realizó a partir de la relación entre la masa total generada por jornada (kg/día) y la densidad técnica de referencia para materiales compactados, establecida en 400 kg/m<sup>3</sup> conforme a los parámetros de diseño empleados en rellenos sanitarios. Posteriormente, el valor resultante se proyectó a escala anual multiplicándolo por 365 días.

#### ❖ **Volumen de material de recubrimiento**

**Fórmula 5:**

$$m. c. = V_{anual\ compactado} \cdot 0.20$$

Donde:

m.c.: Material de Cobertura, se consideró equivalente al 20% del volumen total de los residuos sólidos compactados.

De igual modo, se adicionó un 20% al volumen previamente calculado de residuos compactados, correspondiente al material de cobertura requerido para el adecuado funcionamiento del relleno sanitario.

#### ❖ **Volumen de desechos sólidos estabilizados**

##### **Fórmula 6:**

$$V_{\text{anual estabilizado}} = \frac{DS_p}{D_{rsm}} \cdot 365$$

Donde:

DS<sub>p</sub>: Cantidad de residuos sólidos producidos (Kg/día).

D<sub>rsm</sub>: Densidad de residuos sólidos estabilizados equivalente a (500 Kg /m<sup>3</sup>).

La estimación del volumen de residuos sólidos estabilizados se efectuó considerando la producción diaria (kg/día) y aplicando una densidad de referencia de 500 kg/m<sup>3</sup>, parámetro comúnmente empleado en el diseño técnico de rellenos sanitarios, valor habitualmente utilizado en el diseño técnico de rellenos sanitarios para residuos estabilizados. El resultado obtenido se extrapola a un periodo anual multiplicándolo por 365 días y, posteriormente, se proyectó de manera acumulativa hasta el año 2048.

#### ❖ **Volumen de la infraestructura**

##### **Fórmula 7:**

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

Donde:

V<sub>RS</sub>: Volumen del relleno sanitario (m<sup>3</sup> /año).

m.c: Material de cobertura.

La capacidad volumétrica necesaria para el relleno sanitario se calculó en función de estimaciones anuales, considerando todo el horizonte de operación hasta el año 2048.

Los resultados se expresaron en unidades de metros cúbicos por año ( $m^3/año$ ).

#### ❖ **Espacio requerido para la infraestructura**

##### **Fórmula 8:**

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}}$$

Donde:

ARS: Área por llenar ( $m^2$ ).

VRS: Volumen a ocupar del relleno sanitario ( $m^3/año$ ).

hRS: Profundidad promedio de un relleno sanitario (4 metros).

El área necesaria se determinó al dividir el volumen total del relleno sanitario entre la profundidad de diseño adoptada, establecida en 4 metros.

#### ❖ **Superficie global requerida**

##### **Fórmula 9**

$$A_t = \sum_i^n (F \cdot Ars)$$

Donde:

At: Área total requerida ( $m^2$ ).

F: Factor de incremento aplicado a las áreas complementarias se considera en un rango de 20% a 40% respecto al área destinada al relleno sanitario (ARS).

Se incorporó un incremento del 30% sobre el área previamente calculada, con el propósito de incluir espacios complementarios destinados a vías internas, zonas operativas, taludes y sistemas de drenaje. Al proyectar la demanda acumulada durante los 20 años de vida útil del relleno sanitario, se estimó una extensión aproximada de 32 hectáreas.

**Tabla 11**

*Determinación del área requerida a partir de la generación de residuos sólidos en el distrito de Bambamarca*

| Año  | Condición        | Población (hab) | ppc (kg/hab·día) | Cantidad de residuos generados |                      | RS compactados  |                | Volumen en m3                      |                                     | Volumen total relleno VRS (m3/año) | Área Requerida (m2) |                                     |
|------|------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
|      |                  |                 |                  | RS diarios (kg/día)            | RS anuales (ton/año) | Diario (m3/día) | Anual (m3/año) | Material de cobertura 20% (m3/año) | Volumen anual estabilizado (m3/año) |                                    | Relleno AR          | Área total con factor 1.30 (m2/año) |
| 2024 | Referencial      | 63,780          | 0.64             | 40,819.20                      | 14,899.01            | 102.05          | 37,247.52      | 7,449.50                           | 29,798.02                           | 37,247.52                          | 9,311.88            | 12,105.44                           |
| 2025 | Referencial      | 64,494          | 0.64             | 41,482.76                      | 15,141.21            | 103.71          | 37,853.02      | 7,570.60                           | 30,282.41                           | 37,853.02                          | 9,463.25            | 12,302.23                           |
| 2026 | Referencial      | 65,217          | 0.65             | 42,157.10                      | 15,387.34            | 105.39          | 38,468.35      | 7,693.67                           | 30,774.68                           | 38,468.35                          | 9,617.09            | 12,502.22                           |
| 2027 | Referencial      | 65,947          | 0.65             | 42,842.41                      | 15,637.48            | 107.11          | 39,093.70      | 7,818.74                           | 31,274.96                           | 39,093.70                          | 9,773.42            | 12,705.45                           |
| 2028 | Inicio vida útil | 66,686          | 0.65             | 43,538.85                      | 15,891.68            | 108.85          | 39,729.20      | 7,945.84                           | 31,783.36                           | 39,729.20                          | 9,932.30            | 12,911.99                           |
| 2029 | Vida útil        | 67,433          | 0.66             | 44,246.62                      | 16,150.02            | 110.62          | 40,375.04      | 8,075.01                           | 32,300.03                           | 40,375.04                          | 10,093.76           | 13,121.89                           |
| 2030 | Vida útil        | 68,188          | 0.66             | 44,965.89                      | 16,412.55            | 112.41          | 41,031.38      | 8,206.28                           | 32,825.10                           | 41,031.38                          | 10,257.84           | 13,335.19                           |
| 2031 | Vida útil        | 68,952          | 0.66             | 45,696.86                      | 16,679.35            | 114.24          | 41,698.38      | 8,339.68                           | 33,358.71                           | 41,698.38                          | 10,424.60           | 13,551.98                           |
| 2032 | Vida útil        | 69,724          | 0.67             | 46,439.71                      | 16,950.49            | 116.1           | 42,376.23      | 8,475.25                           | 33,900.99                           | 42,376.23                          | 10,594.06           | 13,772.28                           |
| 2033 | Vida útil        | 70,505          | 0.67             | 47,194.63                      | 17,226.04            | 117.99          | 43,065.10      | 8,613.02                           | 34,452.08                           | 43,065.10                          | 10,766.28           | 13,996.16                           |
| 2034 | Vida útil        | 71,294          | 0.67             | 47,961.83                      | 17,506.07            | 119.9           | 43,765.17      | 8,753.03                           | 35,012.13                           | 43,765.17                          | 10,941.29           | 14,223.68                           |
| 2035 | Vida útil        | 72,093          | 0.68             | 48,741.49                      | 17,790.65            | 121.85          | 44,476.61      | 8,895.32                           | 35,581.29                           | 44,476.61                          | 11,119.15           | 14,454.90                           |
| 2036 | Vida útil        | 72,900          | 0.68             | 49,533.84                      | 18,079.85            | 123.83          | 45,199.63      | 9,039.93                           | 36,159.70                           | 45,199.63                          | 11,299.91           | 14,689.88                           |
| 2037 | Vida útil        | 73,717          | 0.68             | 50,339.06                      | 18,373.76            | 125.85          | 45,934.39      | 9,186.88                           | 36,747.51                           | 45,934.39                          | 11,483.60           | 14,928.68                           |
| 2038 | Vida útil        | 74,542          | 0.69             | 51,157.37                      | 18,672.44            | 127.89          | 46,681.10      | 9,336.22                           | 37,344.88                           | 46,681.10                          | 11,670.27           | 15,171.35                           |
| 2039 | Vida útil        | 75,377          | 0.69             | 51,988.98                      | 18,975.98            | 129.97          | 47,439.95      | 9,487.99                           | 37,951.96                           | 47,439.95                          | 11,859.99           | 15,417.99                           |
| 2040 | Vida útil        | 76,221          | 0.69             | 52,834.12                      | 19,284.45            | 132.09          | 48,211.13      | 9,642.23                           | 38,568.91                           | 48,211.13                          | 12,052.78           | 15,668.61                           |
| 2041 | Vida útil        | 77,075          | 0.70             | 53,692.99                      | 19,597.94            | 134.23          | 48,994.85      | 9,798.97                           | 39,195.88                           | 48,994.85                          | 12,248.71           | 15,923.32                           |
| 2042 | Vida útil        | 77,938          | 0.70             | 54,565.82                      | 19,916.52            | 136.41          | 49,791.31      | 9,958.26                           | 39,833.05                           | 49,791.31                          | 12,447.83           | 16,182.18                           |
| 2043 | Vida útil        | 78,811          | 0.70             | 55,452.84                      | 20,240.29            | 138.63          | 50,600.72      | 10,120.14                          | 40,480.58                           | 50,600.72                          | 12,650.18           | 16,445.23                           |
| 2044 | Vida útil        | 79,694          | 0.71             | 56,354.28                      | 20,569.31            | 140.89          | 51,423.28      | 10,284.66                          | 41,138.63                           | 51,423.28                          | 12,855.82           | 16,712.57                           |
| 2045 | Vida útil        | 80,587          | 0.71             | 57,270.38                      | 20,903.69            | 143.18          | 52,259.22      | 10,451.84                          | 41,807.38                           | 52,259.22                          | 13,064.81           | 16,984.25                           |
| 2046 | Vida útil        | 81,489          | 0.71             | 58,201.37                      | 21,243.50            | 145.5           | 53,108.75      | 10,621.75                          | 42,487.00                           | 53,108.75                          | 13,277.19           | 17,260.35                           |
| 2047 | Vida útil        | 82,402          | 0.72             | 59,147.49                      | 21,588.83            | 147.87          | 53,972.08      | 10,794.42                          | 43,177.67                           | 53,972.08                          | 13,493.02           | 17,540.93                           |
| 2048 | Fin vida útil    | 83,325          | 0.72             | 60,108.99                      | 21,939.78            | 150.27          | 54,849.45      | 10,969.89                          | 43,879.56                           | 54,849.45                          | 13,712.36           | 17,826.07                           |
|      |                  |                 |                  |                                |                      |                 |                |                                    |                                     |                                    | Sumatoria           | 320,119.48                          |
|      |                  |                 |                  |                                |                      |                 |                |                                    |                                     |                                    | Total (ha)          | 32.00                               |

La Tabla 11 expone el procedimiento utilizado para determinar la superficie necesaria destinada a la construcción de un relleno sanitario, tomando como referencia la cantidad de residuos sólidos proyectados dentro del horizonte de diseño. En el cálculo se integraron variables como la población estimada, la generación per cápita de desechos, los volúmenes compactados, una fracción de cobertura equivalente al 20% y un factor de ampliación del área. Los resultados evidencian un incremento progresivo en la producción de residuos, que se elevan de 43 538,85 kg/día en 2028 hasta 60 180,99 kg/día en 2048, lo que refleja la necesidad de disponer de mayores volúmenes en la infraestructura proyectada.

Como resultado del análisis, se determinó que la superficie requerida para la operación del relleno sanitario presenta un incremento progresivo a lo largo del horizonte de planificación. Considerando una vida útil de 20 años (2028-2048), se estimó que el distrito de Bambamarca demanda una extensión acumulada cercana a 320 119,48 m<sup>2</sup> (equivalente a 32 ha). Esta área constituye la dimensión mínima indispensable para garantizar una disposición final eficiente y ambientalmente sostenible de los residuos sólidos municipales durante todo el periodo proyectado.

De manera comparativa, Vásquez (2023) calculó que el distrito de Chota demanda una superficie aproximada de 17,12 ha para un horizonte de 20 años (2025-2045). La diferencia respecto al resultado obtenido para Bambamarca se atribuye principalmente a la variación en las tasas de generación de residuos entre ambos territorios. Dichas diferencias están condicionadas por factores como el tamaño poblacional, la producción per cápita y otros elementos socioeconómicos y demográficos que inciden en la generación de desechos.

#### **4.1.5. Propuesta de áreas viables para la localización de un relleno sanitario en el distrito de Bambamarca**

Tras completar la clasificación inicial de las áreas potenciales, se efectuó un análisis condicional destinado a identificar exclusivamente las zonas clasificadas como “óptimas”

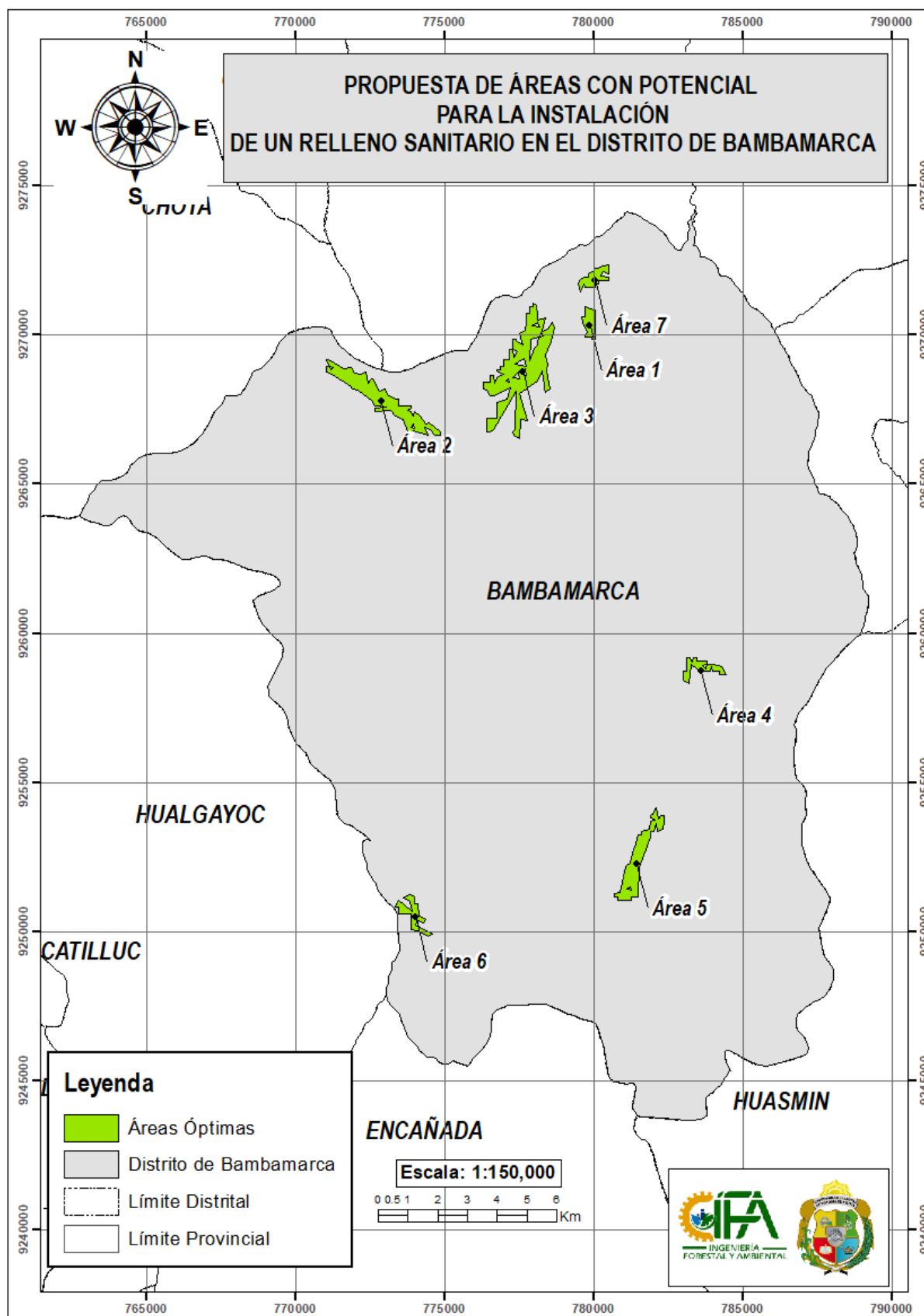
conforme a los criterios normativos. Esta fase permitió acotar notablemente las alternativas iniciales y focalizar el estudio en los sectores que reúnen las mejores condiciones para la implementación dicha infraestructura.

A continuación, se aplicó un filtrado adicional basado en la superficie mínima exigida por el proyecto; se conservaron únicamente las parcelas con extensión superior a 32 hectáreas, umbral definido a partir de la estimación mostrada en la Tabla 11, la cual considera la generación proyectada de residuos y la capacidad necesaria para asegurar una vida útil de 20 años (2028-2048) del relleno sanitario. Este requisito garantiza que las áreas seleccionadas dispongan del espacio suficiente para las operaciones anuales de disposición durante el horizonte de diseño. Asimismo, se eliminaron las zonas situadas en áreas de alta densidad poblacional, por los potenciales impactos ambientales, sanitarios y sociales sobre las comunidades próximas. Del mismo modo, fueron descartadas las áreas con localización excesivamente distante respecto a las vías principales, dado que ello incrementaría los costos de transporte, dificultaría las labores operativas y de mantenimiento y restringiría la accesibilidad al sitio.

El proceso de depuración espacial permitió identificar únicamente aquellas superficies que cumplen de manera simultánea con los criterios de idoneidad territorial, disponibilidad de espacio y condiciones de accesibilidad ambiental. Estas áreas representan las alternativas más factibles para la ubicación del relleno sanitario proyectado en el distrito de Bambamarca, al reunir los requisitos técnicos y ambientales necesarios.

**Figura 12.**

*Áreas viables confirmadas mediante la verificación en campo*



La Figura 12 presenta siete posibles localizaciones técnicas para la implementación del relleno sanitario en el distrito de Bambamarca. Cada una de las alternativas fue clasificada dentro de la categoría de aptitud “óptima”, al haber cumplido de manera satisfactoria los criterios y umbrales definidos en el modelo de evaluación geoespacial. Este resultado evidencia que las áreas propuestas reúnen condiciones favorables para garantizar la viabilidad técnica y ambiental del proyecto.

**Tabla 12**

*Cobertura territorial de las áreas viables*

| Áreas óptimas | Área (ha)  |
|---------------|------------|
| Área 1        | 32.526693  |
| Área 2        | 202.161972 |
| Área 3        | 375.839949 |
| Área 4        | 40.342874  |
| Área 5        | 133.981784 |
| Área 6        | 49.754759  |
| Área 7        | 40.165984  |

Nota: La tabla 12 muestra la extensión superficial de cada área potencial, con criterio “Óptimas” propuestas en oficina.

#### **4.1.6. Fase de campo**

Se realizó una inspección in situ orientada a constatar las siete (07) áreas viables previamente identificadas, con concordancia a lo mostrado en la Figura 12 y la Tabla 12. Estas áreas fueron delimitadas mediante una evaluación multicriterio elaborada con SIG, en la cual se integraron los criterios de restricción y exclusión analizados con anterioridad.

#### **4.1.6.1. Área 1**

El área evaluada se localiza en los puntos geográficos 779915 Este y 9270616 Norte, a una elevación aproximada de 2 862 m s. n. m., perteneciente al centro poblado El Romero. En el lugar se observan fracciones de bosque natural, con presencia de especies: quishuar (*Buddleja incana*), molle (*Schinus molle*), luñe (*Baccharis brachylaenoides*) y plantaciones introducidas de pino (*Pinus patula*). Considerando la existencia de cobertura boscosa y su valor ecológico, el área fue descartada como alternativa para la implementación de un relleno sanitario.

#### **4.1.6.2. Área 2**

Ubicada en en la comunidad de El Paraíso, en las coordenadas 771700 Este y 9268555 Norte, a aproximadamente 3 471 m s. n. m., esta área presenta ejemplares de pino (*Pinus patula*) y quinal (*Polylepis*), con un predominio de vegetación arbustiva en casi toda su extensión. La evaluación en campo confirmó la ausencia de cuerpos hídricos próximos, condición favorable ambientalmente, por lo que el área se considera adecuada para la instalación del relleno sanitario.

#### **4.1.6.3. Área 3**

Situada entre las comunidades de Llocpa y Tallamac, en las coordenadas 777590 Este y 9267192 Norte, con una altitud de aproximadamente 2 689 m s. n. m., esta zona se caracteriza por la presencia dominante de pastizales, junto con especies forestales como pino (*Pinus patula*) y eucalipto (*Eucalyptus*). No se detectaron cuerpos de agua superficiales en las cercanías durante la visita de campo, por lo cual el área cumple con las condiciones necesarias para ser considerada apta para un relleno sanitario.

#### **4.1.6.4. Área 4**

Localizada en la comunidad de Atoshaico, en las coordenadas 784157 Este y 9258850 Norte, a una elevación aproximada de 3 452 m s. n. m., esta área muestra una cobertura vegetal

dominada por pajonales, principalmente paja ichu (*Stipa ichu*) y otras gramíneas, con arbustos dispersos y escasa presencia de árboles. No se hallaron fuentes hídricas superficiales cercanas durante la inspección. En consecuencia, y de acuerdo con los criterios establecidos previamente en gabinete, esta zona se clasifica como apta para un relleno sanitario.

#### **4.1.6.5. Área 5**

Esta zona se encuentra entre los caseríos de Alto Perú y Batancucho, en las coordenadas 781238 Este y 9252256 Norte, con una altitud aproximada de 3 196 m s. n. m. Durante el trabajo de campo se observaron especies introducidas, especialmente pino (*Pinus patula*), junto con pastizales y arbustos dispersos como cobertura predominante. La inspección confirmó la ausencia de fuentes hídricas, condición que valida la aptitud del terreno para la instalación del relleno sanitario.

#### **4.1.6.6. Área 6**

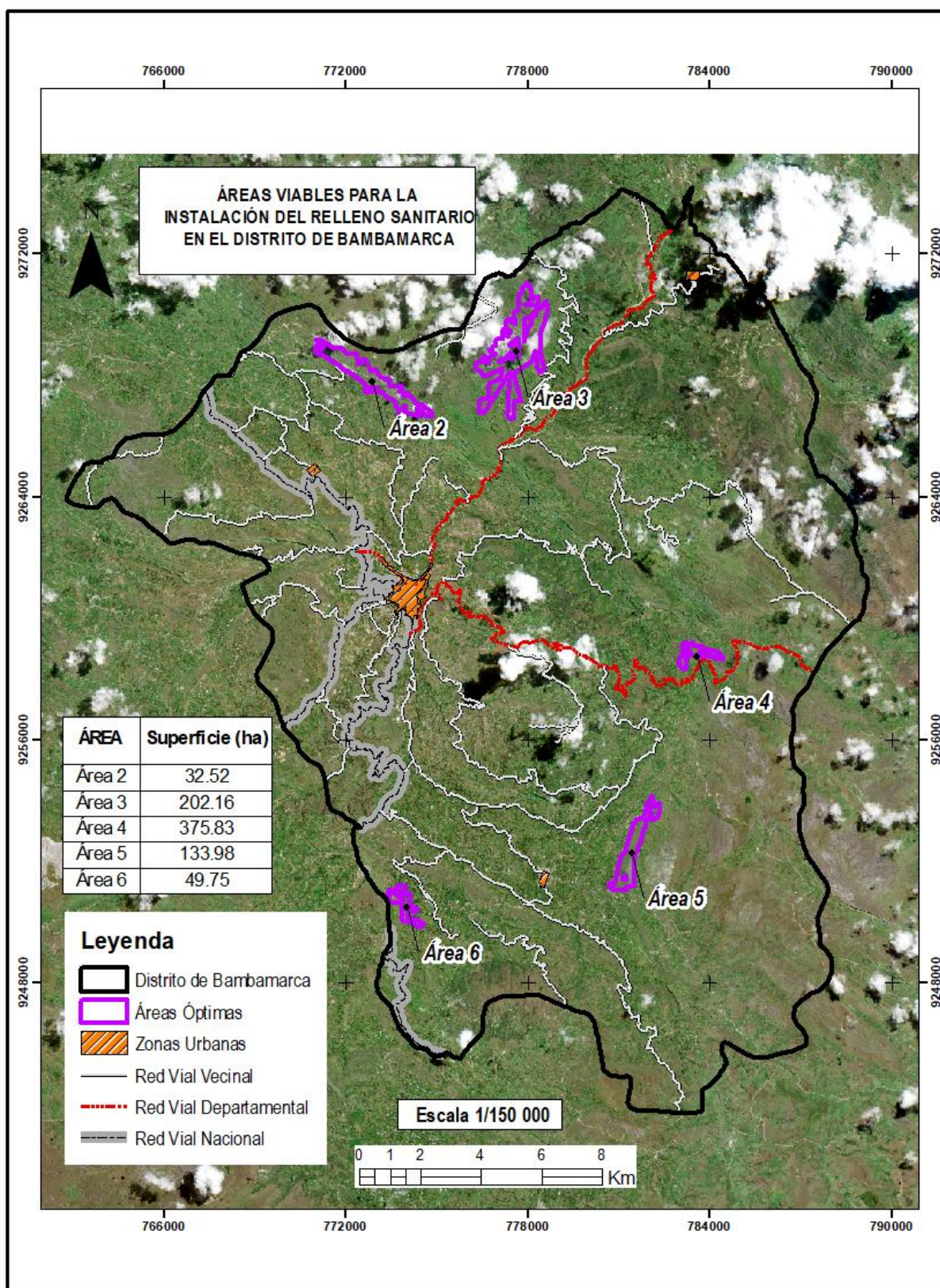
El área evaluada se localiza en el centro poblado La Hualanga Baja, con coordenadas 773463 Este y 9150715 Norte, a una altitud cercana a los 2 662 m s. n. m. El terreno se caracteriza por la presencia de suelo desnudo, vegetación arbustiva dispersa y sectores de cultivo. Durante la inspección no se registraron cuerpos de agua superficiales en el entorno inmediato, condición que respalda su idoneidad para la instalación de un relleno sanitario.

#### **4.1.6.7. Área 7**

Situada dentro del centro poblado de Pusoc, en las coordenadas 779837 Este y 9271778 Norte, a una altitud de 2 859 m s. n. m., esta zona presenta fragmentos de bosque con especies como aliso (*Alnus acuminata*), quishuar (*Buddleja incana*) y molle (*Schinus molle*). Debido a la presencia de esta cobertura boscosa, el área fue excluida como opción viable para el proyecto.

**Figura 13.**

*Zonas viables para la instalación de un relleno sanitario, validadas en campo*



La Figura 13 presenta el resultado final de las alternativas tras su verificación en campo y en concordancia con lo indicado en la Tabla 12 y la Figura 12. Las áreas validadas corresponden a las áreas 2, 3, 4, 5 y 6. Estas zonas se consolidan como alternativas factibles para la instalación de la infraestructura destinada a la disposición final de residuos sólidos en la ciudad de Bambamarca. Por su parte las áreas descartadas (1 y 7) se descartaron puesto que en la validación en campo se incorporó como indicador ambiental la presencia de cobertura boscosa, evaluándose el grado de conservación de la vegetación y la continuidad del bosque, logrando identificar fragmentos de bosque con vegetación natural, cuya intervención implicaría la remoción de cobertura forestal y la alteración del ecosistema, con fundamento en la Ley General del Ambiente (N.º 28611) y en concordancia con el principio de prevención, establecido y priorizando aquellas con menor sensibilidad ambiental y menor potencial de impacto sobre ecosistemas naturales.

#### **4.2. Contrastación de hipótesis**

La hipótesis inicial planteaba la existencia de al menos un espacio que reuniera las condiciones necesarias para la instalación de un relleno sanitario. Los hallazgos de la investigación corroboran dicha premisa, ya que mediante el análisis espacial con herramientas SIG, complementado con la EMC y la inspección en campo, se identificaron cinco áreas con aptitud para albergar esta infraestructura en el distrito de Bambamarca. Todas ellas cumplen con los criterios de restricción y exclusión establecidos por la normativa vigente. Además, las superficies delimitadas superan la extensión mínima requerida, considerando la proyección de generación de residuos sólidos durante los 20 años de vida útil del proyecto (equivalente a 32 ha), lo que ratifica su viabilidad técnica y operativa.

#### **4.3. Discusión**

Los hallazgos del estudio ratifican que la aplicación de la EMC, en conjunto con herramientas de SIG, representan un procedimiento eficiente para delimitar zonas con

condiciones óptimas para la instalación de un relleno sanitario en el distrito de Bambamarca. Integrar variables ambientales, físicas y sociales dentro de un mismo análisis, procesando capas provenientes de la ZEE, DEM, entre otras fuentes, permite superponer y reclasificar la información para evaluar simultáneamente los criterios de restricción y exclusión exigidos por el Ministerio del Ambiente. Este enfoque espacial reduce la subjetividad propia de otros métodos de selección de sitios y facilita una toma de decisiones más objetiva en la planificación territorial.

Los resultados obtenidos guardan coherencia con investigaciones previas desarrolladas en escenarios semejantes. Bustamante (2022) aplicó un conjunto de criterios semejantes (pendiente, vías de acceso, red hídrica, entre otros) para delimitar cinco áreas óptimas mediante el empleo de SIG y EMC. De forma análoga, Villavicencio (2022) aplicó la técnica de superposición ponderada en Cerro de Pasco, considerando pendiente, permeabilidad del suelo, fuentes hídricas, vías, fallas geológicas, sitios arqueológicos y cercanía urbana, e identificó también cinco zonas viables, entre ellas una de aproximadamente 107 ha al noroeste de la ciudad. Por su parte Mendaño y Sacasi (2024), con ocho variables aplicadas en el cantón Mejía, Pichincha, llegaron igualmente a cinco zonas aptas según criterios técnicos, ecológicos y sociales.

En comparación, la presente investigación, trabajó con siete variables, cinco de restricción y dos de exclusión, definidas por el MINAM e integradas mediante la Evaluación Multicriterio, SIG y validación en campo, lo que permitió identificar siete áreas potencialmente viables, una cifra superior reportada por los antecedentes citados. Esta diferencia se explica, principalmente, por el número y tipo de variables incorporadas; mientras otros estudios trabajaron con conjuntos más reducidos de criterios, en este caso se sumaron restricciones adicionales, como las concesiones mineras y sitios arqueológicos, que inciden de forma directa en la disponibilidad real del territorio. Su inclusión permitió una evaluación más exhaustiva

del área de estudio y, en consecuencia, una selección más rigurosa de las áreas viables, lo que explica la variación observada respecto de investigaciones similares.

A escala regional, los resultados guardan similitud con los de Vásquez (2023) y el propio Bustamante (2022), realizados también en el distrito de Chota; ambos estudios, apoyados en los SIG y la Evaluación Multicriterio, delimitaron cinco áreas idóneas conforme a la normativa ambiental, posteriormente confirmadas en campo. La concordancia de resultados respalda la premisa de que la integración de los SIG con la EMC se ha establecido como un enfoque de infraestructuras de gestión de residuos sólidos en territorios con características comparables al distrito de Bambamarca.

En el caso particular de este estudio, los criterios de exclusión, en especial las concesiones mineras, fue determinante para reducir el número de áreas viables, en la medida en que la normativa vigente prohíbe expresamente instalar este tipo de infraestructura sobre dichos terrenos.

En conjunto, estos resultados confirman que la Evaluación Multicriterio mediante los SIG permite un análisis territorial integral al considerar simultáneamente variables ambientales, sociales y técnicas, agilizando la identificación de emplazamientos viables y consolidándose como una herramienta valiosa para sustentar decisiones de gestión de residuos a escala municipal. La investigación aporta, así, una base técnica concreta para la planificación territorial del distrito de Bambamarca, y evidencia que integrar SIG con los criterios normativos vigentes, posibilita diagnósticos más exactos y contribuye al diseño de estrategias sostenibles para la gestión de residuos sólidos en el ámbito municipal.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- ✓ Se delimitaron cinco áreas con idoneidad técnica para la construcción de un relleno sanitario en el distrito de Bambamarca, la identificación se realizó mediante la aplicación de la Evaluación Multicriterio en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG), verificándose que las zonas cumplen con los parámetros establecidos y superan la superficie mínima requerida para garantizar su operación durante los 20 años de vida útil proyectada.
- ✓ La aplicación de los siete criterios técnicos (distancia a zonas urbanas, proximidad a fuentes de agua, presencia de fallas geológicas, textura del suelo, pendiente, sitios arqueológicos y concesiones mineras), lineamientos de la *“Guía para la identificación de zonas potenciales para estructuras de disposición final de residuos sólidos municipales”* posibilitó la clasificación del territorio de Bambamarca en tres niveles de idoneidad: No apto, Aceptable y Óptimo. Esta categorización permitió delimitar áreas que cumplen con los criterios técnicos y regulatorios exigidos para la disposición final de residuos sólidos, consolidando la validez del proceso metodológico implementado.
- ✓ El uso de la Evaluación Multicriterio en conjunto con los Sistemas de Información Geográfica posibilitó la integración y análisis espacial de los criterios de restricción y exclusión. Como resultado, se identificaron siete áreas con viabilidad preliminar, lo que demuestra la eficacia de esta metodología en los procesos de planificación territorial y en la toma de decisiones vinculadas a la gestión de residuos sólidos.
- ✓ La validación en campo confirmó los resultados del análisis espacial: las áreas 1 y 7 fueron descartadas por presentar fragmentos de bosque natural y las áreas 2, 5, 3, 6, 4 se validaron como alternativas viables, en ese orden de prioridad, y al aplicar criterios técnicos, ambientales y económicos, se determinó que las áreas 2 y 5 constituye la

alternativa con mayor factibilidad preliminar orientadas a la instalación de un relleno sanitario.

## **5.2. Recomendaciones**

- ✓ Se sugiere que la Municipalidad Distrital de Bambamarca lleve a cabo estudios técnicos adicionales (geotécnicos, hidrogeológicos y topográficos) en las cinco zonas identificadas como viables, con el propósito de determinar la alternativa más adecuada para la implementación definitiva del relleno sanitario.
- ✓ Se sugiere que la Municipalidad Distrital de Bambamarca elabore y apruebe un Estudio de Impacto Ambiental, con el fin de asegurar una evaluación integral de los efectos ambientales y sociales del proyecto. Este instrumento debe cumplir con las disposiciones del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) e incorporar, como componentes esenciales, la línea base ambiental, la identificación y valoración de impactos, el plan de manejo ambiental, el programa de participación ciudadana y el plan de cierre o abandono.
- ✓ Se sugiere realizar un análisis técnico económico comparativo de las cinco áreas identificadas, considerando accesibilidad vial, costos de transporte, movimiento de tierras y disponibilidad de servicios como agua, energía y telecomunicaciones, con el objetivo de optimizar la inversión pública y elegir la alternativa que reduzca el costo global a lo largo de todo el ciclo de vida operativo del relleno sanitario.
- ✓ Se recomienda al Gobierno Regional de Cajamarca y a la Municipalidad Distrital, actualizar periódicamente la cartografía y los criterios empleados en el análisis multicriterio, dada la dinámica territorial (expansión urbana, nuevas concesiones mineras, cambios en el uso del suelo), con el propósito de garantizar una planificación eficiente y sostenible en la gestión futura de los residuos sólidos.

## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS

- Adetunji, A. I., Oberholster, P. J., & Erasmus, M. (2023). From garbage to treasure: A review on biorefinery of organic solid wastes into valuable biobased products. *Bioresource Technology Reports*, 24, 101610. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101610>
- Amagandi, M. Y., & Rivera, A. P. (2022). *Propuesta de ubicación de un relleno sanitario bajo mancomunidad para los cantones Penipe y Chambo* [Trabajo de titulación, Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional de Chimborazo].  
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9693>
- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). (2018). *Gestión integral de residuos sólidos urbanos* (P. Tello Espinoza, D. Campani & D. R. Zafarían, Eds.). <https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/08/GESTION-INTEGRAL-DE-RESIDUOS%20SOLIDOS-URBANOS-LIBRO-AIDIS.pdf>
- Banco Mundial. (2025). *What a waste 3.0: Global snapshot of solid waste management to 2050*. <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/8f74a308-a490-4743-8cd4-9539fd8c3f52>
- Barrera Valdivia, I., Hernández García, G., & Mendoza Méndez, C. E. (2022). Los rellenos sanitarios, una solución paliativa a la problemática de residuos sólidos en Zamora, Michoacán, México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2), 1111–1126. <https://doi.org/10.56712/latam.v3i2.170>
- Brown, D. (2003). *Guía para la gestión del manejo de residuos sólidos municipales*. Enfoque Centroamérica; AIDIS; CARE El Salvador; PROARCA/SIGMA.
- Bustamante, D. (2022). *Identificación de las áreas óptimas para la planta de tratamiento y disposición final de residuos sólidos del distrito de Chota, utilizando sistemas de información geográfica – SIG* [Tesis profesional, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Cajamarca].

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/5400/TESIS%20DUBERL%C3%8D%20BUSTAMANTE%20DELGADO%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Buzai, G. D., Humacata, L., & Principi, N. (2019). *Análisis espacial con sistemas de información geográfica*. Universidad Nacional de Quilmes.
- Cañarte-Sarango, R. B., & Castillo-Ortega, Y. (2023). Factores correlacionales de un sistema de relleno sanitario sostenible y sustentable en Arenillas – Ecuador. *MQRInvestigar*, 7(1), 3033–3047. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.1.2023.3033-3047>
- Cardoso, M. M., & Carñel, G. E. (2022). Planificación urbana: evaluación multicriterio para nuevas localizaciones de centros de salud en Santa Fe. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 15, 37. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu15.puem>
- Charles, A. C., Armstrong, A., Nnamdi, O. C., Innocent, M. T., Obiageri, N. J., et al. (2024). Revisión del análisis espacial como herramienta de gestión de información geográfica. *American Journal of Engineering and Technology Management*, 9(1), 8–20. <https://doi.org/10.11648/j.ajetm.20240901.12>
- Congreso de la República del Perú. (2005). *Ley N.º 28611, Ley General del Ambiente*. Diario Oficial *El Peruano*. [https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente-peru?utm\\_source=chatgpt.com](https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente-peru?utm_source=chatgpt.com)
- Costantini, R., & Thompson, C. (2023). Aprovechamiento de la información geográfica en los estudios organizacionales: cómo empezar la conversación. *M@n@gement*, 26(1), 35–51. <https://doi.org/10.37725/mgmt.2023.7664>
- De la Fuente, C. (2020). *Guía práctica para la publicación de datos espaciales*. [https://datos.gob.es/sites/default/files/doc/file/guia\\_publicacion\\_datos\\_espaciales.pdf](https://datos.gob.es/sites/default/files/doc/file/guia_publicacion_datos_espaciales.pdf)
- Díaz, R. R., & Zelada, P. C. (2024). *Análisis multicriterio con ArcGIS para la ubicación adecuada de un relleno sanitario en la provincia de Ascope 2024* [Tesis profesional,

- Ingeniero Ambiental, Universidad César Vallejo].
- <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/151879?show=full>
- ESRI. (2016). *¿Qué son los datos ráster?* —Ayuda | ArcGIS for Desktop.
- <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-rasterdata.htm>
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2011). *Mapoteca virtual del proceso de Zonificación Ecológica y Económica–Ordenamiento Territorial (ZEE-OT): Base de datos geoespaciales (Shapefile)* [Conjunto de datos].
- <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/node/588>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Infraestructura de Datos Geoespaciales. (2018). *Geodesia en Chile, teoría y aplicación del sistema de referencia geocéntrico para las américas*. Chile.
- [https://www.ide.cl/images/documentos-tecnicos/LIBRO\\_SIRGAS-DE-Chile.pdf](https://www.ide.cl/images/documentos-tecnicos/LIBRO_SIRGAS-DE-Chile.pdf)
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (2025). *GEOCATMIN: Sistema de Información Geológico y Catastral Minero*. Recuperado el 30 de octubre de 2025, de
- <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Jonker, A. (2023). *What is a geographic information system (GIS)?* IBM.
- <https://www.ibm.com/think/topics/geographic-information-system>
- López, L. (2015). *Diccionario de Geografía aplicada y profesional. Terminología de análisis, planificación y gestión del territorio*. Universidad de León.
- Loyaga Rivera, F. (2019). *Identificación de áreas óptimas para instalar un relleno sanitario utilizando Sistemas de Información Geográfica, distrito Las Pirias – provincia de Jaén* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/items/e11327d2-6b02-442c-a346-9bd2a386f83b>

- Mendaño, M. D., & Socasi, D. L. (2024). *Análisis espacial multicriterio para la localización del relleno sanitario en el cantón Mejía, provincia Pichincha, año 2024* [Tesis doctoral, Universidad Técnica de Cotopaxi].  
<https://repositorio.utc.edu.ec/items/4a00324b-fb8e-44f5-8383-569ac815b45e>
- MINAM. (2021). *Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales*.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2020314/ANEXO>
- Ministerio de Cultura del Perú. (2022). *Decreto Supremo N.º 011-2022-MC: Reglamento de Intervenciones Arqueológicas*. Diario Oficial El Peruano.
- Ministerio de Energía y Minas. (2024). *Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería (D.S. N.º 014-92-EM)*. Gobierno del Perú.  
<https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/6377726-tuo-de-ley-general-de-mineria-ed-2025>
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2024). *Más de 148 500 toneladas de residuos sólidos municipales son valorizados en el país*.  
<https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/955458-mas-de-148-500-toneladas-de-residuos-solidos-municipales-son-valorizados-en-el-pais>
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-diseno-construccion-operacion-mantenimiento-cierre-relleno>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Plan nacional de gestión integral de residuos sólidos 2016–2024*. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/IMPRIMIR-PLANRES-2016-2024-25-07-16.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N.º 014-2017-MINAM, que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N.º 1278, Decreto Legislativo que aprueba la*

- Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds\\_014-2017-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf)
- Ministerio del Ambiente. (2022). *Diferencia entre relleno y botadero*. <https://www.gob.pe/institucion/gica/campa%C3%B1as/7836-diferencia-entre-relleno-y-botadero>
- Ministerio del Ambiente. (2024). *Disposición final adecuada de residuos sólidos*. <https://www.datosabiertos.gob.pe/dataset/disposici%C3%B3n-final-adecuada-de-residuos-s%C3%B3lidos-ministerio-del-ambiente-minam>
- Mulualem, B., Ayenew, T., Tesfaw, G., et al. (2025). Análisis de decisiones geoespaciales y multicriterio para la selección sostenible de un sitio de eliminación de residuos sólidos en Debre Tabor, Etiopía. *Discover Sustainability*, 6, 475. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01365-9>
- Navarro, A. P. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática* (Vol. 173). Editorial UOC.
- Niezwidz, S. R., Michalus, J. C., & Gavazzo, G. B. (2023). Revisión de la literatura sobre residuos sólidos urbanos. *Revista InGenio*, 6(2), 30–39. <https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i2.678>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Método de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Editorial de la U. [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/MetodologiaInvestigacionNaupas.pdf)
- Ogato, G. S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). Geographic information system (GIS)-based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West Shoa zone, Oromia Regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100659. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2016). *Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial: informe 2014–2015. Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional*.  
<https://repositorio.oefa.gob.pe/handle/20.500.12788/57>
- Palacios Anzules, Í. del C., & Moreno Castro, D. W. (2022). Contaminación ambiental. *RECIMUNDO*, 6(2), 93–103.
- Parastatidou, E., Voudouris, K., & Kazakis, N. (2024). Determinación de la idoneidad de un emplazamiento para un vertedero sanitario mediante SIG y lógica booleana: El caso de la unidad regional de Chalkidiki, norte de Grecia. *Environments*, 11(8), 175.  
<https://doi.org/10.3390/environments11080175>
- Pozo Bejerano, J., García Gutiérrez, J. A., & Vázquez Pérez, Y. (2020). Estimación del caudal medio de lixiviados generados en el vertedero de Viñales, Pinar del Río. *Avances*, 22(3), 325–341.
- Pucha, F. (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*.  
[https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/libro\\_sig.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/libro_sig.pdf)
- Quiroz Pinedo, P. E. (2025). *Localización óptima de un relleno sanitario empleando sistemas de información geográfica en el distrito de Namora* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio UNC.  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/8599>
- Rodríguez, N., Brito De la Torre, J., & Berritez, R. (2021). *Guía para la gestión integral de residuos sólidos municipales*. PADIT, Naciones Unidas.  
[https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-09/PADIT\\_Gu%C3%ADa%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales.pdf](https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-09/PADIT_Gu%C3%ADa%20para%20la%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales.pdf)

- Rogers, S. R., Foust, B. G., & Nelson, J. R. (2024). Standard use of geographic information system (GIS) techniques in honey bee research 2.0. *Journal of Apicultural Research*, 1–90. <https://doi.org/10.1080/00218839.2024.2357977>
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., & Pacheco, J. F. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. CEPAL, Naciones Unidas.
- Sandoval Condori, E. K. (2024). *Identificación de áreas óptimas para rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica en el distrito de Ascensión, 2023* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional UNH. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/9d4847f0-156b-48c5-beaf-dce997bd7811>
- Santos Preciado, J. M. (2020). *Sistemas de información geográfica*. UNED.
- Thanh, T., & Hien, Y. (2023). Aplicaciones de los sistemas de información geográfica (SIG) en la gestión medioambiental. *Colección Científica InterConf*, 154, 397–402. <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/3361>
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. (2017). *The Soil Survey Manual* (Agriculture Handbook No. 18). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>
- Vásquez, J. D. (2023). *Identificación de áreas potenciales para la instalación de un relleno sanitario aplicando evaluación multicriterio en el distrito de Chota - Cajamarca - 2023* [Tesis profesional, Ingeniero Forestal y Ambiental, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unach.edu.pe/items/2b7c016c-a131-4689-93a6-fc4d85cb8445>
- Villavicencio, Z. E. (2022). *Análisis espacial multicriterio para la ubicación de un relleno sanitario, en la ciudad de Cerro de Pasco, Pasco* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería]. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/22792>

Zhang, J. H. (2021). Estrategia de planificación y diseño urbano basada en ArcGIS y método de aplicación. *E3S Web of Conferences*, 236. <https://hacer.o/1/e3/20212360303>

## CAPÍTULO VII: ANEXOS

### 7.1. Anexo 1. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 1”

**Figura 14.**

*Inspección en campo del área 1*



## 7.2. Anexo 2. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 2”

**Figura 15.**

*Inspección en campo del área 2*



### 7.3. Anexo 3. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 3”

**Figura 16.**

*Inspección en campo del área 3*



#### 7.4. Anexo 4. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 4”

**Figura 17.**

*Inspección en campo del área 4*



## 7.5. Anexo 5. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 5”

**Figura 18.**

*Inspección en campo del área 5*



## 7.6. Anexo 6. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 6”

**Figura 19.**

*Inspección en campo del área 6*



### 7.7. Anexo 7. Evidencia fotográfica correspondiente al “Área 7”

**Figura 20.**

*Inspección en campo del área 7*

