

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS ÓPTIMAS  
PARA RELLENO SANITARIO EN EL DISTRITO  
DE SANTA ANA - CUSCO, UTILIZANDO  
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA,  
2023”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Ambiental**

**Autora:**

Greasy Yukhyo Naomi Paz Atauchí

**Asesor:**

Mg. Wilson Vásquez Cerdan

<https://orcid.org/0000-0001-7064-028X>

Lima - Perú

2023

### JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	DENISSE MILAGROS ALVA MENDOZA
	Nombres y Apellidos

Jurado 2	LIANA YSABEL CARDENAS GUTIERREZ
	Nombres y Apellidos

Jurado 3	WILSON VASQUEZ CERDAN
	Nombres y Apellidos

## INFORME DE SIMILITUD

### DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS ÓPTIMAS PARA RELLENO SANITARIO EN EL DISTRITO DE SANTA ANA - CUSCO, UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 2023

#### ORIGINALITY REPORT

<b>3</b> %	<b>2</b> %	<b>1</b> %	<b>2</b> %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

#### PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	Submitted to Universidad Privada del Norte Student Paper	<b>1</b> %
<b>2</b>	<a href="https://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Internet Source	<b>1</b> %
<b>3</b>	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	<b>1</b> %

Exclude quotes  Off      Exclude matches  < 1%  
Exclude bibliography  On

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
TABLA DE CONTENIDO	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema .....	13
1.2.1. General .....	13
1.2.2. Especifico .....	13
1.3. Objetivos .....	14
1.3.1. General .....	14
1.3.2. Específicos .....	14
1.4. Hipótesis .....	14
1.5. Justificación .....	14
1.5.1. Teórica.....	14
1.5.2. Práctica.....	15
1.5.3. Metodológica .....	15
1.6. Antecedentes.....	15
1.6.1. Internacionales .....	15
1.6.2. Nacionales.....	17

1.6.3. Regional .....	19
1.7. Marco teórico.....	20
1.7.1. Relleno sanitario (RS).....	20
1.7.1.1. Clasificación de los RS .....	21
1.7.1.2. Método de disposición final .....	21
1.7.1.3. Extensión del terreno y vida útil .....	23
1.7.1.4. Selección de área para construcción de RS .....	24
1.7.1.4.1. Zonas potenciales .....	24
1.7.1.4.2. Zonas óptimas .....	24
1.7.2. Sistemas de información geográfica (SIG) .....	24
1.7.2.1. Subsistemas del SIG.....	25
1.7.2.2. Los datos de un SIG .....	25
1.7.2.2.1. Datos geográficos.....	25
1.7.2.2.2. Información geográfica .....	25
1.7.2.3. Componentes de la información geográfica.....	26
1.7.2.3.1. Espacial .....	26
1.7.2.3.2. Temática .....	26
1.7.2.4. Dimensiones de la información geográfica.....	26
1.7.2.5. Unidades de la información geográfica.....	27
1.7.2.6. Modelos de representación de información geográfica.....	27
1.7.2.6.1. Modelo raster .....	28
1.7.2.6.2. Modelo vectorial .....	28
1.7.2.7. Fuentes de datos espaciales .....	29
1.7.2.8. Fuentes primarias .....	29

1.7.2.9. Fuentes secundarias .....	30
1.7.3. Análisis multicriterio .....	30
1.7.3.1. Ventajas de un análisis multicriterio.....	30
1.7.3.2. Técnicas para realizar el análisis multicriterio .....	30
1.7.3.3. Boolean Overlay (Superposición booleana).....	30
1.7.3.3.1. Combinación lineal directa .....	31
1.7.3.3.2. Fuzzy Overlay (Superposición difusa).....	31
1.7.3.4. Análisis multicriterio en un SIG .....	31
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b> .....	<b>32</b>
2.1. Tipo de investigación .....	32
2.1.1. Enfoque .....	32
2.1.2. Alcance.....	32
2.1.3. Diseño.....	32
2.2. Población y muestra .....	33
2.2.1. Población.....	33
2.1.2. Muestra.....	33
2.3. Método, técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	33
2.3.1. Método .....	33
2.3.2. Técnica .....	33
2.3.3. Instrumento.....	34
2.4. Validez del instrumento.....	34
2.5. Procedimiento de recolección de datos .....	34
2.5.1. Preparación de los datos espaciales.....	36
2.5.1.1. Proyectar una capa a otro sistema de referencia .....	36

2.5.1.2. Recortes de capas vectoriales y raster .....	36
2.5.1.3. Conversión de capa vectorial a raster .....	36
2.5.1.4. Unión de capas raster .....	40
2.5.1.5. Generación de la distancia euclidiana .....	40
2.5.2. Análisis multicriterio con superposición booleana .....	42
2.5.3. Análisis multicriterio con combinación lineal directa.....	46
2.5.4. Zonas óptimas para relleno sanitario.....	48
2.6. Procedimiento de tratamiento y análisis de datos .....	50
2.7. Aspectos éticos de la investigación.....	51
CAPÍTULO III: RESULTADOS	52
3.1. Objetivo específico 1: .....	52
3.2. Objetivo específico 2: .....	56
3.3. Objetivo específico 3: .....	57
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	64
4.1. Discusión.....	64
CONCLUSIONES	68
CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS	71
ANEXOS	76
ANEXO 1. MATRIZ DE INVESTIGACIÓN	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación de los RS</i> .....	21
<b>Tabla 2</b> <i>Superficies de terreno referenciales para relleno sanitario</i> .....	23
<b>Tabla 3</b> <i>Capas espaciales relacionadas a la selección de área para RS</i> .....	35
<b>Tabla 4</b> <i>Estandarización de criterios en estructura booleana</i> .....	43
<b>Tabla 5</b> <i>Estandarización de factores en diversos grados de idoneidad</i> .....	47
<b>Tabla 6</b> <i>Identificación de zonas potenciales para relleno sanitario</i> .....	52
<b>Tabla 7</b> <i>Superficie porcentual de zonas potenciales para relleno sanitario</i> .....	54
<b>Tabla 8</b> <i>Orden de prioridad de zonas potenciales para relleno sanitario</i> .....	56
<b>Tabla 9</b> <i>Matriz de consistencia</i> .....	77
<b>Tabla 10</b> <i>Matriz de operacionalización de variable</i> .....	78



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Método de disposición final: a) trinchera y b) área</i> .....	22
<b>Figura 2</b> <i>Método de disposición final: combinado</i> .....	23
<b>Figura 3</b> <i>Dimensiones de los datos geográficos</i> .....	26
<b>Figura 4</b> <i>Unidad de medida en un SIG: capa</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Esquemas del modelo de representación vectorial (a) y ráster (b) y (c)</i> .....	29
<b>Figura 6</b> <i>Proyección de capas con sistemas de coordenadas geográficas a UTM</i> .....	37
<b>Figura 7</b> <i>Recortes de capas vectoriales según perímetro del distrito de Santa Ana.</i> ....	37
<b>Figura 8</b> <i>Recortes de capas raster según perímetro del distrito de Santa Ana.</i> .....	38
<b>Figura 9</b> <i>Conversión de puntos vectoriales a raster.</i> .....	38
<b>Figura 10</b> <i>Conversión de polilíneas vectoriales a raster.</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Conversión de polígonos a raster.</i> .....	39
<b>Figura 12</b> <i>Unión de capas raster.</i> .....	40
<b>Figura 13</b> <i>Generación de distancia euclidiana.</i> .....	41
<b>Figura 14</b> <i>Creación de capas de pendiente del distrito de Santa Ana.</i> .....	41
<b>Figura 15</b> <i>Metodología de un análisis multicriterio</i> .....	42
<b>Figura 16</b> <i>Operación Booleana AND en capas rásteres</i> .....	44
<b>Figura 17</b> <i>Automatización del modelo de superposición booleana con intersección lógica en SIG</i> .....	45
<b>Figura 18</b> <i>Automatización del modelo de combinación lineal directa con intersección lógica en SIG</i> .....	49
<b>Figura 19</b> <i>Área mínima requerida versus área potencial</i> .....	53

<b>Figura 20</b> <i>Mapa de zonas potenciales para relleno sanitario</i> .....	55
<b>Figura 21</b> <i>Mapa de prelación según grado de idoneidad de zonas potenciales para relleno sanitario</i> .....	58
<b>Figura 22</b> <i>Mapa de zonas óptimas para relleno sanitario – Noreste del dist. Santa Ana</i> .....	60
<b>Figura 23</b> <i>Mapa de zonas óptimas para relleno sanitario – Suroeste del dist. de Santa Ana</i> .....	62

## RESUMEN

Las zonas óptimas para un relleno sanitario son muy escasas debido al cumplimiento de los parámetros establecidos por las normativas vigentes, es por ello, que se planteó como objetivo determinar zonas óptimas para un relleno sanitario en el distrito de Santa Ana – Cusco utilizando sistemas de información geográfica. La presente investigación mostró un enfoque cuantitativo, de diseño descriptivo no experimental y de corte transversal, una técnica de observación indirecta, cuyos instrumentos fueron los geoportales de organismos públicos nacionales e internacionales, empleándose para el procesamiento de la información el software Arcmap 10.3. Los resultados obtenidos encontrados fueron que la zona potencial tuvo una extensión de 79 ha.

**PALABRAS CLAVES:** zonas óptimas, relleno sanitario y orientación geográfica

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En el año 2016, la producción mundial de desechos sólidos se estimó en 2 017 millones de toneladas anuales, con un 33 % de residuos vertidos de manera abierta. En el mismo período, en Latinoamérica y el Caribe, se calculó una producción de 231 millones de toneladas anuales de desechos sólidos, de los cuales el 17 % fue vertido abiertamente (Kaza et al., 2018). Hace 13 años, en nuestro país, se generaron casi 8 millones de toneladas de desechos sólidos, con un 44.35 % de residuos vertidos de forma abierta (MINAM, 2021).

La disposición final adecuada de estos desechos depende principalmente del tipo de residuo producido. Sin embargo, la tecnología de relleno sanitario (RS) está más extendida en América Latina (Cobos et al., 2021). Los RS son la opción más ventajosa y menos costosa para el tratamiento de desechos sólidos en zonas urbanas (Villafuerte et al., 2004, citado por Altamirano, 2019). Además, son ideales tanto para ciudades con poca como mucha población, así como para áreas rurales (Vallero y Blight, 2019, citado por Altamirano, 2019). Su correcto funcionamiento dependerá de la ubicación y los estándares de construcción (Caballero-Saldívar et al., 2011; Vallero y Blight, 2019, citado por Altamirano, 2019).

La ubicación de los RS se considera un tema crucial en los sistemas de gestión urbana, ya que debe tener en cuenta aspectos económicos, políticos y medioambientales (De Waele et al., 2004 y Şener et al., 2011, citados por Altamirano, 2019).

En este contexto, algunas provincias y distritos a nivel nacional se ven afectados por la selección inadecuada de áreas para rellenos sanitarios, especialmente en términos ambientales. Incluso, en casos como el distrito de Santa Ana, la falta de ubicación de

zonas óptimas para relleno sanitario puede deberse a la complejidad de aplicar metodologías y herramientas geoespaciales. Esto puede resultar en sanciones administrativas de hasta 1 400 UIT por incumplimiento de la gestión adecuada de desechos sólidos, que afectan la salud de la población, la contaminación de acuíferos, la proliferación de bacterias y plagas, y los contaminantes responsables del aumento de la temperatura del planeta.

Por lo tanto, este estudio es significativo, ya que ayudará a identificar las mejores ubicaciones para RS en el distrito de Santa Ana.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. General**

¿Cuál serán las zonas óptimas para RS en el distrito de Santa Ana - Cusco, utilizando sistemas de información geográfica, 2023?

### **1.2.2. Especifico**

1. ¿Qué zonas del espacio geográfico del distrito de Santa Ana son potenciales para RS?
2. ¿Cuál será la prelación según grado de idoneidad de las zonas potenciales para RS en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana?
3. ¿Cuál será la información geográfica en campo de las zonas óptimas para relleno en campo?

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. *General*

Determinar zonas óptimas para RS en el distrito de Santa Ana – Cusco utilizando sistemas de información geográfica, 2023.

#### 1.3.2. *Específicos*

2. Determinar las zonas del espacio geográfico del distrito de Santa Ana que son potenciales para RS.
3. Evaluar la prelación según grado de idoneidad de las zonas potenciales para RS en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana.
4. Identificar la información geográfica en campo de las zonas óptimas para relleno en campo.

### 1.4. Hipótesis

Por ser investigación de alcance descriptivo, carece de hipótesis.

Las investigaciones descriptivas que formulan hipótesis son solamente las que buscan realizar pronósticos de cifras, hechos o datos (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

### 1.5. Justificación

#### 1.5.1. *Teórica*

La finalidad de este estudio es la ubicación de zonas óptimas ambientalmente y con mayor rentabilidad para una propuesta de obra y funcionamiento de un RS en el distrito de Santa Ana, de acuerdo al contexto del desarrollo sostenible, bajo sus tres dimensiones, Tyler (1992) citado por Javier (2015):

**Sostenibilidad ambiental:** Reducción de las emisiones deletéreas para conservar el medio ambiente y su biodiversidad.

**Eficiencia económica:** Aquella que ofrece equilibrio entre la productividad, la generación de trabajo e inversiones.

**Equidad social:** Aquella que genera equidad demográfica entre los seres humanos y sus respectivos estándares laborales.

### ***1.5.2. Práctica***

Este estudio puede servir como punto de partida para futuras investigaciones relacionadas con este campo de trabajo. Es importante destacar que en el distrito de Santa Ana no existen datos ni informes disponibles sobre el tema de estudio, a pesar de la creciente necesidad de la población de mejorar sus condiciones de vida actuales (Tyler, 1992 citado por Javier, 2015).

### ***1.5.3. Metodológica***

El análisis multicriterio con superposición booleana en SIG entre otros algoritmos de decisión, son metodologías potenciales que tienen múltiples aplicaciones, como es la ubicación de zonas óptimas para relleno sanitario; proporcionando resultados que cumplen con los estándares científicos necesarios (Tyler, 1992 citado por Javier, 2015).

## **1.6. Antecedentes**

### ***1.6.1. Internacionales***

Sierra (2021) llevó a cabo un estudio titulado "Localización de áreas probables para la construcción de un relleno sanitario para Bucaramanga". El objetivo del estudio fue identificar áreas adecuadas para la ubicación de un relleno sanitario destinado al tratamiento de los desechos producidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga. La muestra consistió en el ámbito geográfico de varias municipalidades en Colombia. El diseño utilizado fue no experimental y transversal. La metodología empleada involucró el análisis multicriterio utilizando una combinación lineal ponderada de variables

espaciales estandarizadas en una escala del 1 al 5, donde 1 representaba inadecuado y 5 representaba altamente adecuado. Se utilizó el software ArcGIS. Los resultados del estudio indicaron que el 98.388% del área de estudio no era apto, el 0.015% era muy poco apto, el 1.076% era moderadamente apto y el 0.521% era apto. El estudio también señaló que no se identificaron áreas con una puntuación de 5. Esta falta de áreas con esa clasificación posiblemente se deba a condiciones particulares o características específicas del área de estudio. Como resultado, se identificaron seis zonas aptas (ZA): ZA\_1 (38.4574 ha), ZA\_2 (39.4426 ha), ZA\_3 (41.8991 ha), ZA\_4 (51.0266 ha), ZA\_5 (52.1537 ha) y ZA\_6 (52.8589 ha).

Gordillo (2019) llevó a cabo un estudio titulado "Localización de un Relleno Sanitario en el cantón Naranjal", mediante un proceso analítico basado en sistemas geográficos. El propósito de esta investigación fue identificar las posibles ubicaciones para la construcción de un Relleno Sanitario en la mencionada área, utilizando un enfoque de análisis geográfico. La muestra comprendió el ámbito geográfico del cantón Naranjal en Ecuador, utilizando un diseño no experimental transversal descriptivo. La metodología aplicada consistió en un análisis multicriterio con una combinación lineal ponderada de variables espaciales, donde se asignaron valores de 1 a 5 según la idoneidad de las zonas: 1 para zonas no idóneas, 2 para zonas con baja idoneidad, 3 para zonas con moderada idoneidad, 4 para zonas con razonable idoneidad y 5 para zonas con óptima idoneidad. Este análisis se realizó mediante el software ArcGIS y fue posteriormente verificado en el terreno. Los resultados obtenidos revelaron la existencia de ocho zonas óptimas (ZO) para la construcción del Relleno Sanitario, con sus respectivas extensiones de tierra: ZO\_1 (56.48 ha), ZO\_2 (464.26 ha), ZO\_3 (172.28 ha), ZO\_4 (108.97 ha), ZO\_5 (241.65 ha), ZO\_6 (491.56 ha), ZO\_7 (774.35 ha) y ZO\_8 (1,030.65 ha).



### 1.6.2. Nacionales

Bustamante (2022) llevó a cabo un estudio titulado "Identificación de Áreas Óptimas para la Planta de Tratamiento y Manejo Final de Residuos Sólidos en el Distrito de Chota, Utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG)". El objetivo principal de esta investigación fue identificar, a través del empleo de SIG, zonas potenciales adecuadas para la construcción de una estación de procesamiento de residuos sólidos en el mencionado distrito. El ámbito de estudio abarcó la jurisdicción de Chota, empleando un diseño no experimental y transversal. La metodología aplicada consistió en un análisis multicriterio con superposición booleana de variables espaciales codificadas en binario: 0 para no óptimo y 1 para óptimo. Este análisis se llevó a cabo mediante el software ArcGIS y fue validado en el terreno. Los resultados obtenidos indican la existencia de áreas potenciales que suman 536.86 ha, representando el 2.01% en relación con el área total de 26,645.28 ha. Estas áreas se distribuyen en ocho zonas potenciales (AP): AP\_1 (9.79 ha), AP\_2 (80.64 ha), AP\_3 (51.21 ha), AP\_4 (161.95 ha), AP\_5 (6.04 ha), AP\_6 (34.22 ha), AP\_7 (172.32 ha) y AP\_8 (20.69 ha), todas ellas ubicadas con coordenadas proyectadas *WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S*.

Loyaga (2019) llevó a cabo un estudio titulado "Identificación de Áreas Óptimas para la Construcción de un Relleno Sanitario Utilizando Sistemas de Información Geográfica en Jaén". El objetivo general de la investigación fue identificar zonas apropiadas para la construcción de un Relleno Sanitario mediante el uso de SIG. La muestra se centró en el ámbito geográfico del distrito Las Pirias, y el diseño utilizado fue de carácter no experimental, transversal y descriptivo. La metodología empleada consistió en un análisis multicriterio con combinación lineal directa de variables espaciales estandarizadas en una escala que iba desde cero (no apto) hasta 2 (apto), utilizando el

software ArcGIS. Estas variables fueron posteriormente verificadas en el terreno. Los resultados obtenidos identificaron dos zonas óptimas (ZO): ZO\_A (2.63 ha) y ZO\_B (3.17 ha), así como trece zonas aceptables para Rellenos Sanitarios (ZA): ZA\_C (3.86 ha), ZA\_D (4.67 ha), ZA\_E (8.69 ha), ZA\_F (11.87 ha), ZA\_G (14.64 ha), ZA\_H (17.37 ha), ZA\_I (18.28 ha), ZA\_J (20.96 ha), ZA\_K (27.74 ha), ZA\_L (32.46 ha), ZA\_M (35.89 ha), ZA\_N (51.2 ha) y ZA\_Ñ (59.82 ha).

Pérez (2019) llevó a cabo un estudio titulado "Identificación de Zonas Óptimas para la Construcción de un Relleno Sanitario Utilizando Sistemas de Información Geográfica en el Distrito de Santa Rosa". El propósito principal fue identificar, a través del uso de SIG, las áreas potenciales adecuadas para establecer un Relleno Sanitario en el mencionado distrito. La muestra se conformó por el ámbito geográfico del distrito de Santa Rosa, utilizando un diseño no experimental. La metodología empleada consistió en un análisis multicriterio con superposición booleana de variables espaciales codificadas en binario, donde 0 representaba la imposibilidad de construcción y 1 indicaba que sí era posible construir. Este análisis se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS y fue validado en el terreno. Los resultados obtenidos mostraron áreas potenciales que suman 191.62 ha, lo que equivale al 0.71% respecto al área total de 26,840 ha. Estas áreas se distribuyen en siete zonas potenciales (AP): AP\_1 (19.77 ha), AP\_2 (30.90 ha), AP\_3 (12.59 ha), AP\_4 (17.13 ha), AP\_5 (81.50 ha), AP\_6 (7.17 ha) y AP\_7 (22.56 ha), todas ubicadas con coordenadas proyectadas *WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S*.

Altamirano (2019) llevó a cabo el estudio "Identificación de Áreas para el Tratamiento de Residuos Sólidos mediante Análisis Espacial en el Distrito Chirinos-San Ignacio". La meta de la investigación fue establecer zonas potenciales y un lugar adecuado para la disposición de residuos sólidos en San Ignacio, a través de la aplicación

del análisis espacial. La muestra abarcó el ámbito geográfico del distrito en cuestión, utilizando un diseño no experimental y transversal. La metodología aplicada consistió en un análisis multicriterio que incorporó superposición booleana y combinación lineal directa de variables espaciales codificadas en binario (donde 0 representaba no óptimo y 1 óptimo) y estandarizadas en escalas de 1 para óptimo, 2 para aceptable y 3 para regular. Este análisis se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS. Los resultados obtenidos identificaron áreas potenciales que suman 34.71 ha, equivalente al 0.1% del área total de 35,291 ha. Estas áreas se distribuyen en seis zonas potenciales (AP): AP\_1 (0.81 ha), AP\_2 (2.92 ha), AP\_3 (0.84 ha), AP\_4 (1.75 ha), AP\_5 (18.93 ha) y AP\_6 (9.46 ha), todas localizadas con coordenadas proyectadas *WGS\_1984\_UTM\_Zone\_17S*.

### ***1.6.3. Regional***

Uscamayta (2021) llevó a cabo un estudio titulado "Determinación de Áreas Óptimas para la Instalación de Rellenos Sanitarios mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), Apoyado en la Técnica de Evaluación Multicriterio en la Provincia del Cusco". El propósito principal de la investigación fue identificar las áreas idóneas para la construcción de Rellenos Sanitarios en Cusco, empleando SIG respaldados por la técnica de evaluación multicriterio. La muestra se conformó por el ámbito geográfico de la provincia del Cusco, utilizando un diseño no experimental y transversal. La metodología empleada consistió en un análisis multicriterio con combinación lineal directa de variables espaciales estandarizadas en escalas de 1 para bajo, 2 para medio y 3 para alto, utilizando el software ArcGIS. Estas variables fueron luego verificadas en el campo. Los resultados obtenidos revelaron la existencia de tres áreas con potencial medio para la provincia de Cusco. Estas zonas con potencial medio (ZPM) se distribuyen de la siguiente manera: ZPM\_1 (72 ha), ZPM\_2 (215 ha) y ZPM\_3 (65 ha).

## 1.7. Marco teórico

Para entender el contenido de este trabajo se definió algunos términos relevantes, para ellos se acopio conceptos de varios autores e instituciones. A continuación, se detalla:

### 1.7.1. *Relleno sanitario (RS)*

Se trata de un método de ingeniería utilizada con la finalidad de aislar los RS en municipalidades. Involucran la capacidad de esparcir, disponer y compactar los RS en un lugar no permeable, con la consecuente cubierta diaria con material inorgánico. Este proceso tiene como objetivo controlar la proliferación de vectores, gestionar adecuadamente los gases y lixiviados, y prevenir la contaminación ambiental, todo esto en beneficio de la salud pública. Un relleno sanitario se caracteriza por contar con un plan de ingeniería, un control de acceso en la entrada, pesado y la ausencia de segregadores en el lugar (MINAM, 2019). Los RS son una pieza fundamental en la gestión de desechos sólidos urbanos, ya que proporcionan un método seguro y efectivo para la disposición final de desechos. Su utilidad radica en que ofrecen un medio controlado y ambientalmente seguro para la eliminación de residuos, minimizando el impacto negativo en el entorno. Estos sitios están diseñados con sistemas de impermeabilización, control de lixiviados y biogás, lo que contribuye a prevenir la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, así como a reducir la emisión de contaminantes generadores de efecto invernadero. Además, los rellenos sanitarios permiten la recuperación de terrenos previamente degradados, lo que promueve la restauración ambiental y, a largo plazo, la reutilización de áreas para fines más sostenibles. Asimismo, es importante lo siguiente:

### 1.7.1.1. Clasificación de los RS

La forma de construcción que se diseñará se evalúa tomando en cuenta la cantidad de RS que se producen diariamente, como se detalla a continuación:

**Tabla 1**

*Clasificación de los RS*

Criterio	Manual	Semimecanizado	Mecanizado
Capacidad de disposición de residuos sólidos municipales	Hasta 6 t/día	Superior a 6 hasta 50 t/día	Más de 50 t/día
Características de la operación	Las actividades de disposición final de residuos se realizan en forma manual y con empleo de herramientas manuales.	Las actividades de disposición final de residuos se realizan necesariamente con equipo multiusos (Por ejemplo: Minicargador o Retroexcavadora) asignado para utilización exclusiva del relleno sanitario.	Las actividades de disposición final de residuos se realizan necesariamente con maquinaria pesada, la que debe estar asignada para uso exclusivo del relleno sanitario.
Periodicidad del uso de maquinaria	Esporádica, cuando se necesita por ejemplo para acopio de tierra para cobertura	Frecuente, según la cantidad de residuos que se disponga diariamente, disponibilidad de tierra para cobertura y condiciones climáticas	Permanente.

*Nota.* Adaptado de la Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales (MINAM, 2019).

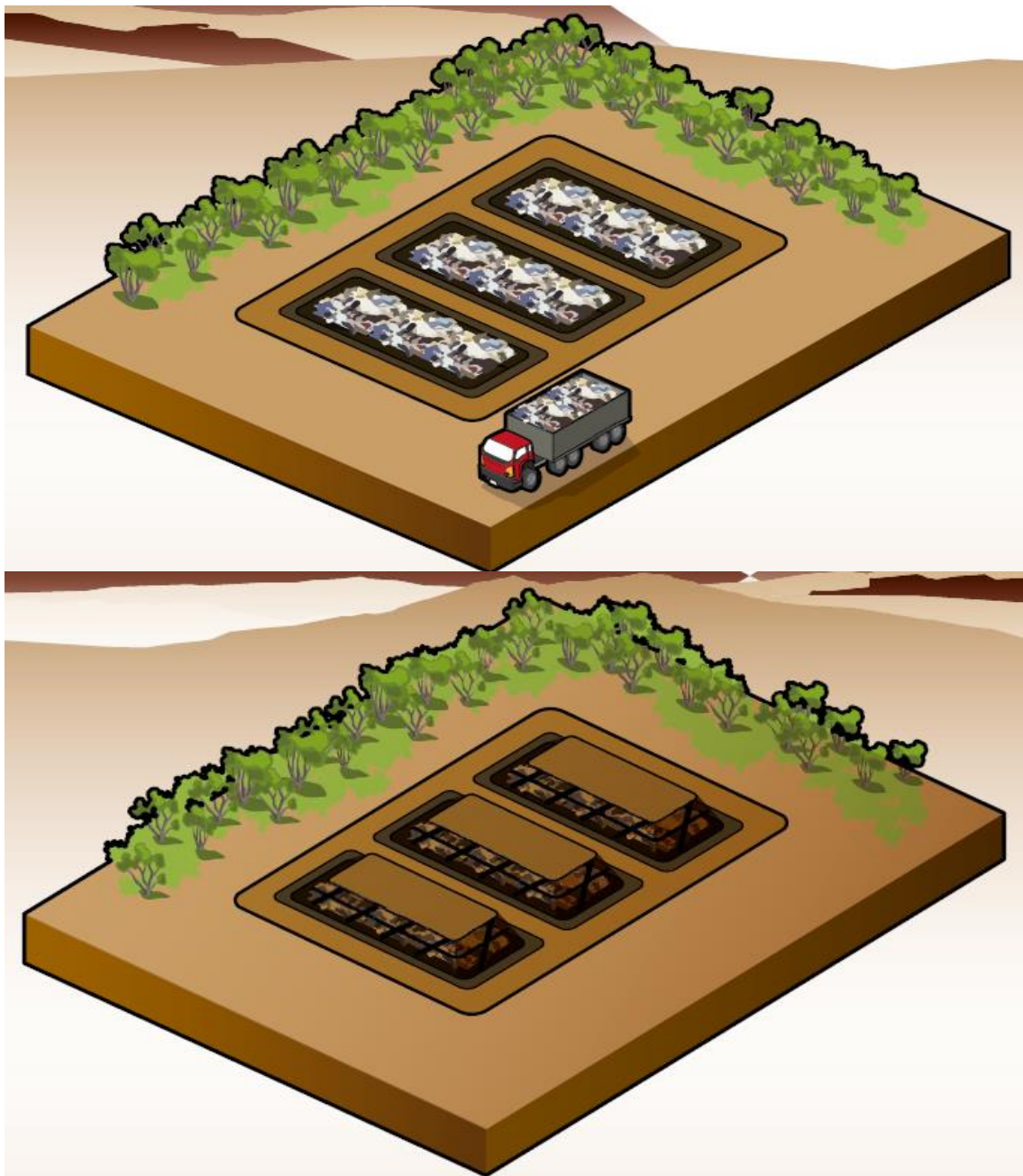
### 1.7.1.2. Método de disposición final

MINAM (2019) estableció tres métodos de disposición final: trinchera, área y combinado; determinadas principalmente por el relieve del terreno y las características geográficas del suelo, para lo que se debe considerar los estudios de topografía del lugar

y características geotécnicas. A continuación, se ilustran los métodos de disposición final a fin de entender mejor:

### Figura 1

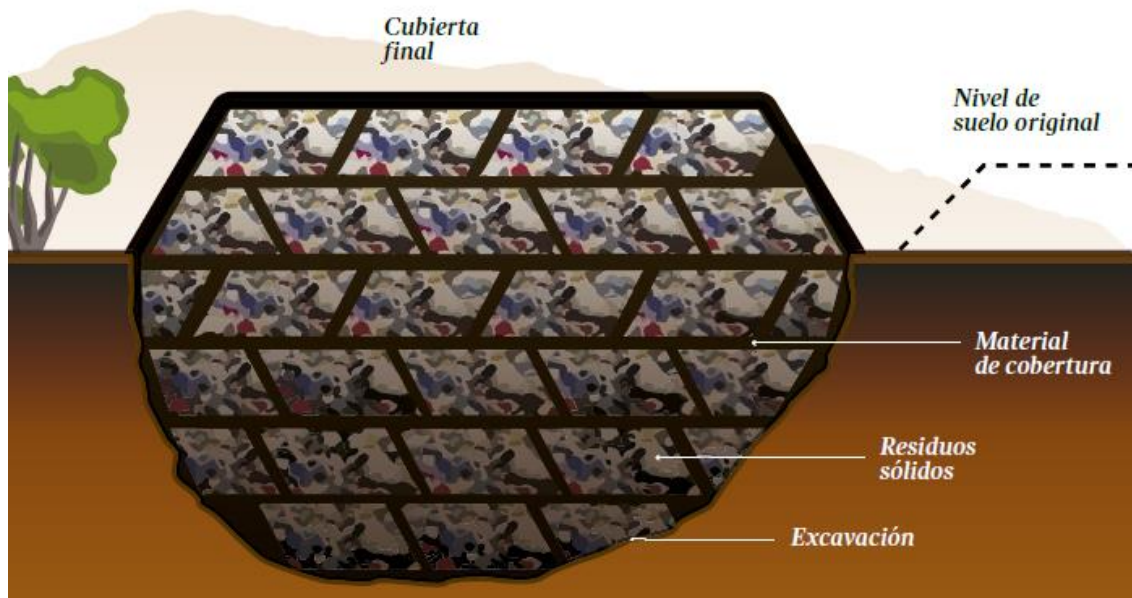
*Método de disposición final: a) trinchera y b) área*



**Nota.** Adaptado de la guía destinada a construir edificaciones para disponer desechos sólidos (MINAM, 2019).

**Figura 2**

*Método de disposición final: combinado*



**Nota.** Adaptado de la guía destinada a construir edificaciones para disponer desechos sólidos (MINAM, 2019).

### 1.7.1.3. Extensión del terreno y vida útil

MINAM (2019) establece que la superficie requerida para una vida útil mayor a una década se estima con la cantidad máxima diaria de residuos para casos de relleno sanitario manual y semimecanizado, como se detalla a continuación:

**Tabla 2**

*Superficies de terreno referenciales para relleno sanitario*

	Relleno sanitario manual	Relleno sanitario semimecanizado	Relleno sanitario mecanizado
	Hasta 6 t/día	De 6 hasta 50 t/día	Mas de 50 t/día
Superficie de terreno para vida útil de 10 años	0,75 ha	3,30 ha	10,00ha
Vías, campamento, áreas libres, infraestructura diversa	4,00 ha	5,25 ha	10,00 ha
Superficie mínima recomendable:	5,00 ha	10,00 ha	23,00 ha

**Nota.** Adaptado de la guía destinada a construir edificaciones para disponer desechos sólidos (MINAM, 2019).

#### **1.7.1.4. Selección de área para construcción de RS**

Es el proceso que identifica superficies acotadas para relleno sanitario en espacios geográficos jurisdiccionales, teniendo en cuenta condiciones de carácter restrictivo y limitante. Sin embargo, para entender esta investigación, se precisa las siguientes definiciones:

##### ***1.7.1.4.1. Zonas potenciales***

Superficie acotada que tiene la posibilidad de ser lugares considerados idóneos para relleno sanitario, tomando en consideración características físicas, biológicas, sociales, económicas y culturales; clasificado en criterios de restricciones y exclusiones (MINAM, 2021).

##### ***1.7.1.4.2. Zonas óptimas***

Superficie acotada considerados propicios y más conveniente ambientalmente y con mayor rentabilidad para una propuesta de obra de RS, tomando en consideración algunas estipulaciones establecidas (Javier, 2015 y Arias, 2021).

#### ***1.7.2. Sistemas de información geográfica (SIG)***

La definición precisa hace referencia a una forma de integrar formas informáticas, poblacionales y geográficas para ejecutar la captura, análisis, almacenamiento, edición y representación de información de referencia geográfica. Los SIG ayudan a identificar patrones espaciales, evaluar el impacto ambiental, planificar el uso del suelo, gestionar recursos naturales y responder a problemas ambientales de manera más eficiente, contribuyendo así a un enfoque más sostenible en la ingeniería ambiental (Korte, 2001 citado por Olaya, 2020).



### 1.7.2.1. Subsistemas del SIG

Para Olaya (2020) se requiere la mención de los siguientes subsistemas:

**De gestión de datos.** El cual es encargado de ejecutar actividades relacionadas al flujo de datos, desempeña un papel fundamental en la infraestructura del sistema. Su función principal es permitir que los demás subsistemas puedan acceder a la información y funcionen en base a la información disponible.

**De visualización.** Genera una representación basada en información similar a un mapa, leyenda u otras visualizaciones, además permite a los usuarios no solo visualizar los datos, sino también modificarlos o crear nuevas representaciones.

**De análisis.** Que alberga los procedimientos necesarios para analizar la información geográfica que se va generando a partir del uso y aplicación de los demás subsistemas.

### 1.7.2.2. Los datos de un SIG

En el marco de los SIG nos aparece con frecuencia dos términos datos e información geográfica, que usualmente lo confundimos. Para Olaya (2020) se tiene una gran diferenciación entre las definiciones:

#### 1.7.2.2.1. Datos geográficos

Los datos son un componente fundamental en un SIG. Se pueden conceptualizar como un gran conjunto de valores o elementos que representan información específica acerca de la geografía de un lugar.

#### 1.7.2.2.2. Información geográfica

Resulta del procesamiento de datos e interpretaciones como el producto del tratamiento de los mismos y con el principal enfoque de hacer de esta información lo más útil en términos de lo accesible.

### 1.7.2.3. Componentes de la información geográfica

Para Olaya (2020) estos componentes son dos:

#### 1.7.2.3.1. Espacial

Hace referencia a la ubicación en el marco de un sistema referenciado de establecimiento previo, de carácter fundamentalmente numérica.

#### 1.7.2.3.2. Temática

Corresponde a la naturaleza y los componentes de la categoría espacial, que son de carácter fundamentalmente numérica y alfanumérica.

Alternativamente a los componentes previamente mencionados, Sinton (1978) citado por Olaya (2020) amplía la definición al incluir un tercer componente que determina como temporal, así mismo, propuso un sistema cuya finalidad es permitir la clasificación en conjuntos de diferentes tipos de datos geográficos. De acuerdo a dicho sistema, cada componente puede encontrarse enmarcado dentro de 3 posibles estados: fijos, controlados o medidos.

### 1.7.2.4. Dimensiones de la información geográfica

Cada elemento registrado puede encontrarse en un plano sencillo (0D) o llegar hasta un volumen tridimensional (3D), como se muestra a continuación:

#### Figura 3

*Dimensiones de los datos geográficos*



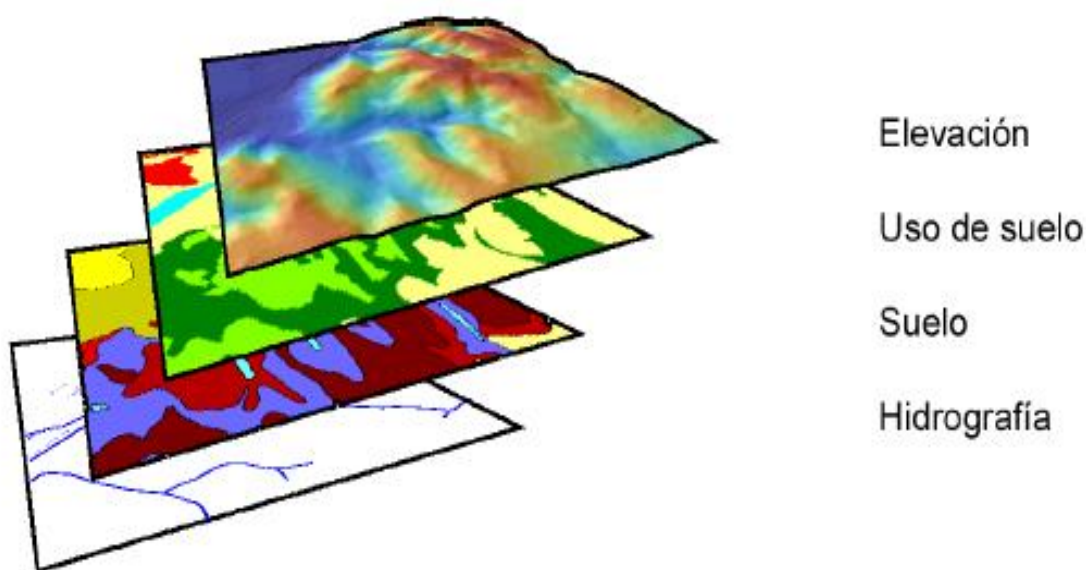
**Nota.** Sistemas de Información Geográfica de Olaya (2020).

### 1.7.2.5. Unidades de la información geográfica

Cada unidad incorporada a un SIG es denominada como “capa”, tal como se muestra en la **Figura 4**. La operación mediante capas ejerce una administración de datos geográficos de forma transparente en un SIG, lo cual significa la mejora en cuanto a integrar la diferente información proporcionada, así mismo se considera como el mecanismo primordial de diferentes tratados en la división transversal y de orientación vertical de datos geográficos.

#### Figura 4

*Unidad de medida en un SIG: capa*



*Nota.* Sistemas de Información Geográfica de Olaya (2020).

### 1.7.2.6. Modelos de representación de información geográfica

Para definir los modelos más importantes utilizados en unidades de datos geográficos se emplean los términos de unidad o capa de vector y capa ráster, que a continuación se detalla:

#### ***1.7.2.6.1. Modelo raster***

En este modelo, el área de investigación se centra sistemáticamente en un conjunto de unidades más pequeñas (a menudo llamadas celdas), y para cada unidad se recopila información relevante que la describe. La resolución y la precisión son directamente proporcionales: cuanto menor sea la resolución, mayor será la precisión de la información. Una de las propiedades más destacadas de la información en ráster es la capacidad de realizar análisis gráficos y estadísticos.

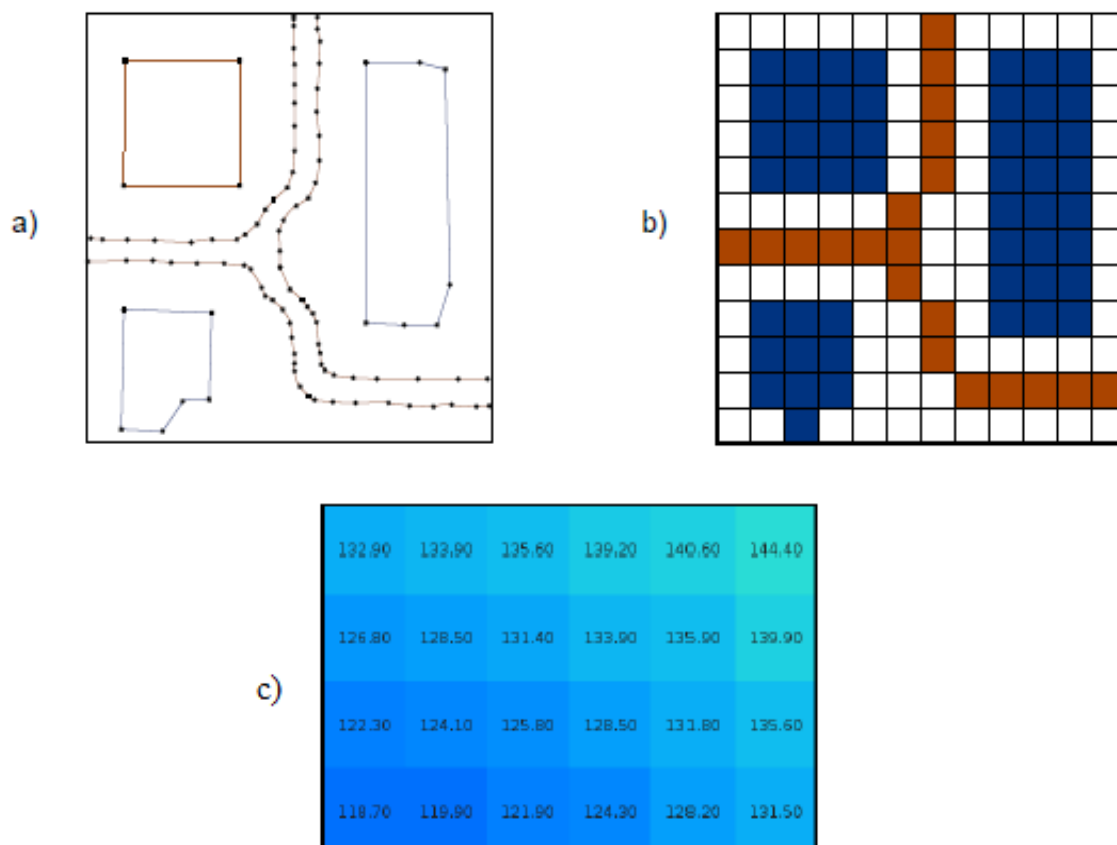
#### ***1.7.2.6.2. Modelo vectorial***

En este modelo, no se dividen las áreas capturadas en unidades fundamentales. En cambio, se captura la variabilidad y las características de estas áreas a través de entidades geométricas. Este enfoque modela la geografía utilizando primitivas geométricas, las mismas que representan las unidades notables del mencionado lugar.

Este modelo, en el contexto de la representación de información geográfica, es una metodología que se basa en la utilización de objetos geométricos precisos, como puntos, líneas y polígonos, para describir y representar de manera detallada características geográficas en la Tierra. Cada entidad vectorial, como un punto que denota una estación meteorológica o un polígono que delimita una zona de protección ambiental, está definida por coordenadas geoespaciales que permiten su localización exacta en el mundo real. Este modelo es invaluable en la ingeniería ambiental, ya que posibilita el análisis espacial, la planificación del uso del suelo, la gestión de recursos naturales y la toma de decisiones ambientales informadas, al permitir la representación precisa y la manipulación de datos geográficos complejos en sistemas de información geográfica (SIG).

**Figura 5**

*Esquemas del modelo de representación vectorial (a) y ráster (b) y (c)*



*Nota.* Sistemas de Información Geográfica de Olaya (2020).

### 1.7.2.7. Fuentes de datos espaciales

La información con la que se trabaja en el SIG puede tener diferentes sitios de procedencia; pero básicamente trabajamos con fuentes de datos primarias y secundarias.

### 1.7.2.8. Fuentes primarias

Son aquellos que se obtienen directamente a través de algún tipo de medición o el uso de instrumentación específica, como la teledetección, GPS, entre otros. Estos datos pueden ser utilizados en un SIG en la manera primaria y se consideran aptos para someterse a actividades de gestión que cada SIG proporciona.

### **1.7.2.9. Fuentes secundarias**

Son aquellos que se derivan del procesamiento de datos existentes para adaptarlos a su uso en un SIG. Estos datos provienen de la base que contiene información de algún otro tipo que no se considera como apto para ser usado directamente en un SIG. Un ejemplo se constituye en la versión digital de un mapa tradicional o analógico.

### **1.7.3. Análisis multicriterio**

Es una herramienta que facilita la evaluación de múltiples soluciones posibles para un problema específico. Utiliza una variedad de herramientas y criterios de modo que logre hacer un proceso simple que sirva para tomar decisiones y alcanzar una solución óptima. En esencia, este análisis se emplea para examinar y analizar diferentes maneras de solución haciendo uso de varios criterios, con la finalidad de determinar la mejor decisión y por ende, la más apropiada (Valladares, 2022).

#### **1.7.3.1. Ventajas de un análisis multicriterio**

De acuerdo con Valladares (2022) presenta las siguientes ventajas:

- ✓ Hace simple lo complejo
- ✓ Emplea una metodología en concreto
- ✓ Se basa en el empleo de ponderaciones
- ✓ Ejecuta valoraciones intra elementales.

#### **1.7.3.2. Técnicas para realizar el análisis multicriterio**

Para Valladares (2022) principalmente existen tres (3) diferentes metodologías para realizar un análisis multicriterio, lo cual se describe a continuación:

#### **1.7.3.3. Boolean Overlay (Superposición booleana)**

Se trata de una operación de convolución aplicada a mapas raster binarios, donde las capas se encuentran representadas mediante valores booleanos: 1 para identificar el

área de interés y 0 para señalar el área que no es de interés. El producto resulta es un nuevo mapa raster en el que el área de interés se refleja mediante el valor 1, cumpliendo con los criterios previamente establecidos.

#### ***1.7.3.3.1. Combinación lineal directa***

Este método evalúa de forma cuantitativa y numérica un criterio en vez de aplicar alguna restricción booleana. Para esta combinación cada criterio se denomina “factor” y emite diferentes niveles de capacidad para tomar una decisión. Para implementar esta técnica, es necesario estandarizar los factores, ya que a veces los criterios pueden estar en diferentes escalas.

#### ***1.7.3.3.2. Fuzzy Overlay (Superposición difusa)***

Esta herramienta hace posible el análisis de la probabilidad basándose en que un hecho puede pertenecer a un grupo en específico; así como la asociación de pertenencia de cada hecho en distintos grupos. Emplea varias técnicas para hacer la determinación del sentido de pertenencia hacia diferentes propiedades.

#### **1.7.3.4. Análisis multicriterio en un SIG**

Como hemos mencionado previamente, el análisis multicriterio nos brinda la capacidad de analizar diversas alternativas en la resolución de un aspecto en específico, haciendo uso de diversos criterios y técnicas que facilitan el proceso de tomar decisiones. En el ámbito de los SIG, se utilizan componentes geográficos y espaciales, las cuales pueden ser de naturaleza discreta o datos continuos. Estas variables geoespaciales abarcan elementos tales como núcleos urbanos, cursos de agua, topografía, áreas de conservación natural, superficies forestales, condiciones climáticas, entre otros aspectos relevantes para el análisis ambiental y espacial (Valladares, 2022).

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### 2.1.1. *Enfoque*

Este análisis es cuantitativo en el sentido que utiliza datos numéricos y da como resultado la cantidad, ubicación y extensión de zonas óptimas para rellenos sanitarios en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana. Son estudios cuantitativos cuando proporciona datos numéricos y ofrece una alta posibilidad de replicación y se centra en puntos específicos de un fenómeno además de facilitar comparaciones entre estudios similares (Hernández y Mendoza, 2018).

#### 2.1.2. *Alcance*

El alcance de este estudio es descriptivo, ya que los datos fueron recolectados y analizados geoespacialmente en el distrito de Santa Ana, tomando en cuenta los aspectos desarrollados con el objetivo de seleccionar áreas de RS. Cuando el objetivo se centra en medir o recolectar información y reportarla enmarcada en diferentes definiciones u operacionalización relacionada a la fenomenología que se trata de explicar, se considera de alcance descriptivo (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

#### 2.1.3. *Diseño*

Consideró un diseño no experimental, de corte transversal y por ende, descriptivo, debido a que los datos fueron recolectados una sola vez y no se manipularon ni controlaron variables en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana. En este sentido, cuando los datos se recolectan una vez para cada categoría, concepto, variable, contexto, comunidad o fenómeno, y se reporta lo que estos datos revelan, son descriptivos y transversales (Hernández y Mendoza, 2018).



## **2.2. Población y muestra**

### **2.2.1. Población**

Se consideró como población al espacio geográfico del distrito de Santa Ana, provincia de La Convención, departamento de Cusco. Con ubicación geográfica: Longitud: 72°41'36", Latitud: 12°51'46" y Altitud: 1 086 msnm. (INEI, 2022).

### **2.2.2. Muestra**

Este estudio tuvo lugar en la jurisdicción correspondiente a la geografía del distrito de Santa Ana.

## **2.3. Método, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **2.3.1. Método**

La metodología utilizada fue la recolección, análisis e interpretación de datos geoespaciales del distrito de Santa Ana, teniendo en cuenta los estándares desarrollados con el objetivo de seleccionar zonas aptas para relleno sanitario. Un método es descriptivo cuando implica describir, analizar y explicar sistemáticamente un conjunto de variables (Sánchez y Reyes, 2015).

### **2.3.2. Técnica**

La técnica utilizada en este estudio es la observación indirecta, ya que utilizamos datos disponibles en geoportales, obtenidos a través de mediciones en un marco SIG. La observación es la técnica de observar o captar sistemáticamente los fenómenos que ocurren en planos reales. Puede ser información directa e indirecta, esta última requiere el uso de métodos muy sofisticados. Instrumentos como microscopios, telescopios, monitores, etc. (Arias, 2016).

### **2.3.3. Instrumento**

Como herramientas de recolección de datos se utilizaron geoportales de organismos públicos nacionales e internacionales que contienen capas de información geográfica de variables físicas, biológicas, socioeconómicas y culturales, y la aplicación ArcMap del ArcGIS Desktop, que permitió la visualización de información geográfica de las componentes espaciales y temáticas de capas vectoriales y ráster del distrito de Santa Ana.

### **2.4. Validez del instrumento**

La herramienta para este estudio fueron los lineamientos para la Identificación de Áreas Potenciales (MINAM, 2021). Entonces no, requiere validación. También es importante mencionar que han sido utilizados sobre el mismo tema por diferentes investigadores descritos en los antecedentes. Para Arias (2016), es obvio que, si el instrumento fue desarrollado por otro investigador y si fue probado en un estudio previo, entonces no se debe volver a validar.

### **2.5. Procedimiento de recolección de datos**

Por internet se ubicó la Plataforma digital única del Estado Peruano, donde se encuentran los geoportales de los diferentes Sectores, seguidamente, se ubicó las capas espaciales teniendo en cuenta las variables para seleccionar el área adecuada. Posteriormente, se descargó en formato shp y tif las siguientes capas espaciales:

**Tabla 3**
*Capas espaciales relacionadas a la selección de área para RS*

Capas espaciales	Formato	Datum	SC	Fuente
<b>Capa vectorial</b>				
<b>Punto</b>				
Centros poblados	shp	WGS84	Geográfico	MINEDU
Infraestructura hídrica	shp	WGS84	Geográfico	ANA
Granjas avícolas y porcinas	shp	WGS84	Proyectado	SENASA
<b>Línea</b>				
Red vial nacional	shp	WGS84	Geográfico	MTC
Red vial departamental	shp	WGS84	Geográfico	MTC
Red vial vecinal	shp	WGS84	Geográfico	MTC
Red hidrográfica	shp	WGS84	Proyectado	ANA
Curvas de nivel	shp	WGS84	Proyectado	IGN
<b>Polígono</b>				
Limite departamentales	shp	WGS84	Geográfico	IGN
Limite provincial	shp	WGS84	Geográfico	IGN
Limite distrital	shp	WGS84	Geográfico	IGN
Falla geológica	shp	WGS84	Geográfico	INGEMMET
Geología	shp	WGS84	Proyectado	INGEMMET
Catastro minero	shp	WGS84	Proyectado	INGEMMET
Patrimonio arqueológico	shp	WGS84	Geográfico	MINCUL
Zonificación ecológica económica	shp	WGS84	Proyectado	MINAM
Área de conservación regional	shp	WGS84	Geográfico	SERNANP
Ecosistemas	shp	WGS84	Proyectado	MINAM
Clima	shp	WGS84	Geográfico	SENAMHI
Lagunas	shp	WGS84	Geográfico	ANA
<b>Capa raster</b>				
Susceptibilidad por movimiento en masa	tif	WGS84	Proyectado	INGEMMET
Imagen satelital	tif	WGS84	Proyectado	GOOGLE EARTH
Modelo digital de elevación	tif	WGS84	Proyectado	ASF

**Nota.** SC = Sistema de coordenadas, shp = Shapefile y tif = Tagged Image File Format.

### 2.5.1. Preparación de los datos espaciales

#### 2.5.1.1. Proyectar una capa a otro sistema de referencia

Se proyectó la capa distrito Santa Ana con coordenadas geográficas a coordenadas universales transversales de Mercator UTM (WGS\_1984\_UTM\_Zone\_18S). Para ello, se utilizó la herramienta **Project** del ArcGIS a través de la aplicación ArcMap y con la siguiente ruta:

*ArcToolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Project* y configuración según la **Figura 6**.

#### 2.5.1.2. Recortes de capas vectoriales y raster

Se realizó recortes de las capas vectoriales en base al perímetro del polígono de la capa distrito de Santa Ana. Para ello, se utilizó la herramienta **Clip** del ArcGIS a través de la aplicación ArcMap y bajo la ruta: y *ArcToolbox > Analysis Tools > Extract > Clip* configuración según la **Figura 7**.

También se realizó recortes de las capas raster en base al perímetro del polígono de la capa distrito de Santa Ana. Para ello, se utilizó la herramienta **Extract by Mask** del ArcGIS a través de la aplicación ArcMap mediante la siguiente ruta:

*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Extraction > Extract by Mask* y configuración según la **Figura 8**.

#### 2.5.1.3. Conversión de capa vectorial a raster

Se creó capas raster a partir de puntos de capas vectoriales. Para ello, se utilizó la herramienta **Point To Raster** del ArcGIS a través de la aplicación ArcMap y con la siguiente ruta: *ArcToolbox > Conversion Tools > To Raster > Point To Raster* y configuración según la **Figura 9**.

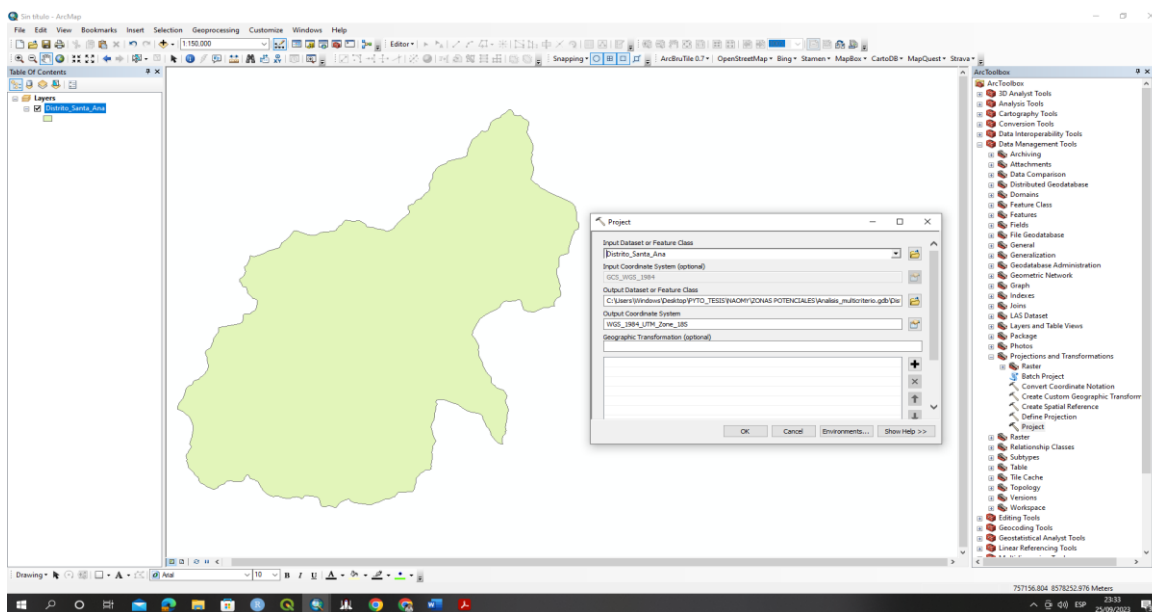
Para el caso de polilíneas y polígonos con la ruta:

> *Polyline To Raster y Polygon To Raster*, y configuraciones según la **Figura 10** y

**Figura 11.**

**Figura 6**

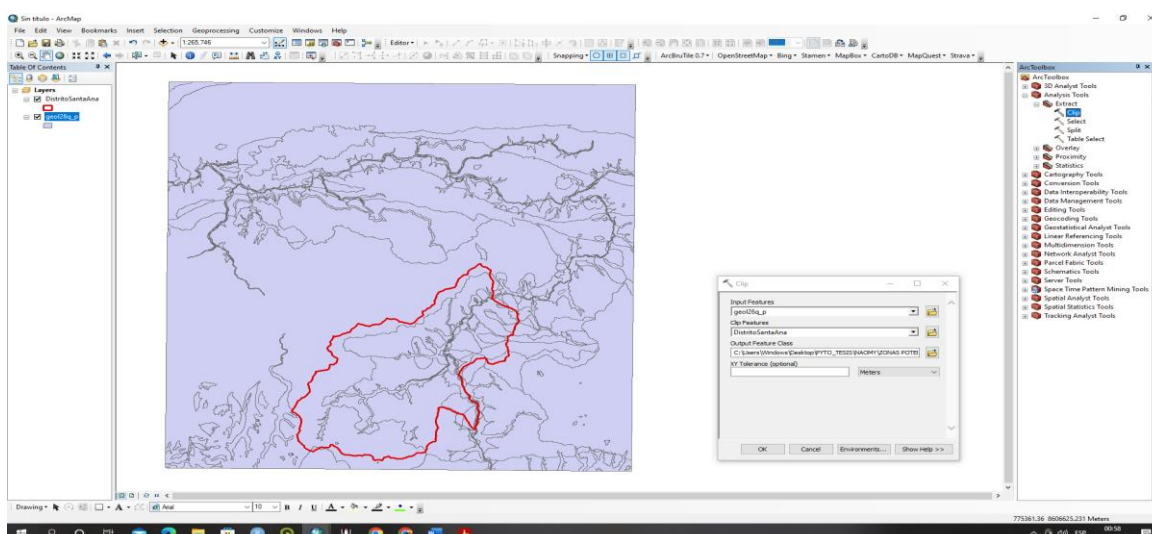
*Proyección de capas con sistemas de coordenadas geográficas a UTM*



**Nota.** El recurso **Project** otorga el permiso de emitir un sistema de coordenadas hacia otro distinto.

**Figura 7**

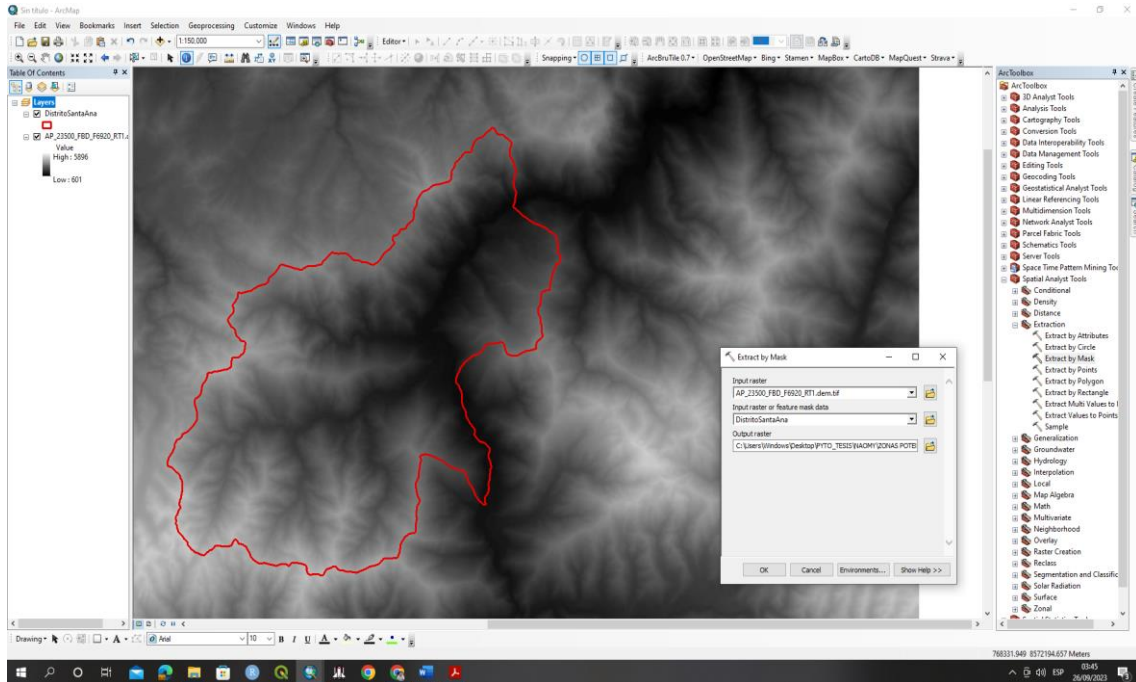
*Recortes de capas vectoriales según perímetro del distrito de Santa Ana.*



**Nota.** El recurso **Clip** otorga el permiso para hacer el recorte de una capa vectorial basándose en el perímetro de una capa poligonal.

**Figura 8**

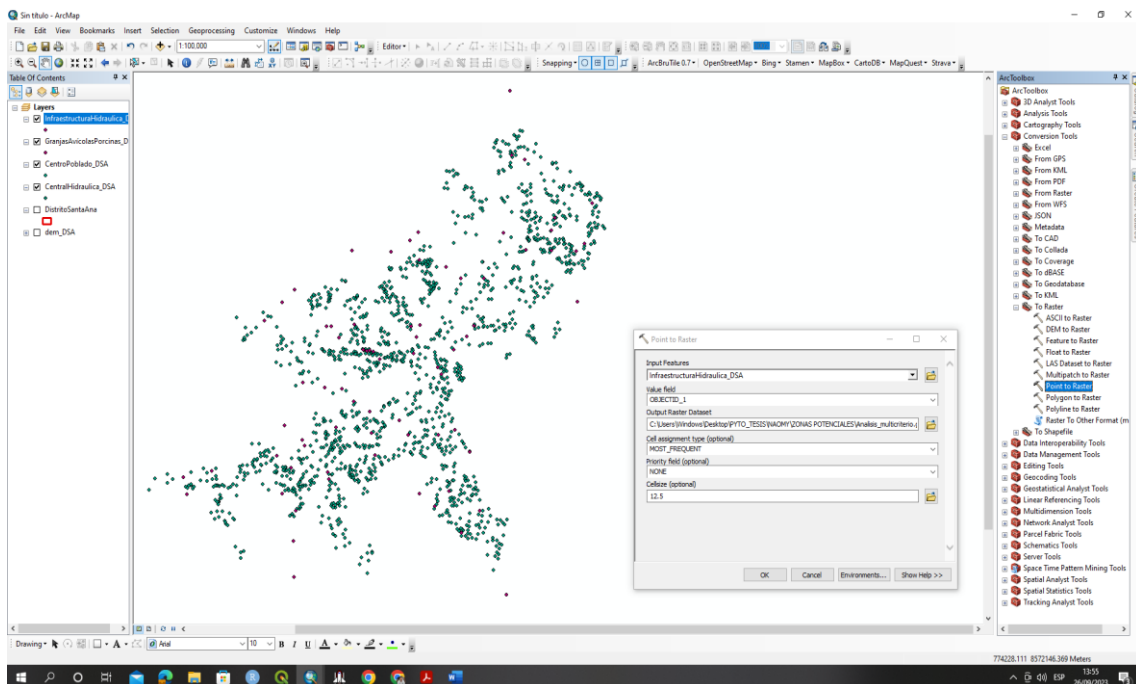
*Recortes de capas raster según perímetro del distrito de Santa Ana.*



**Nota.** La herramienta **Extract by Mask** otorga el permiso para hacer un recorte de parte de una entidad raster basándose en el perímetro de una capa vectorial.

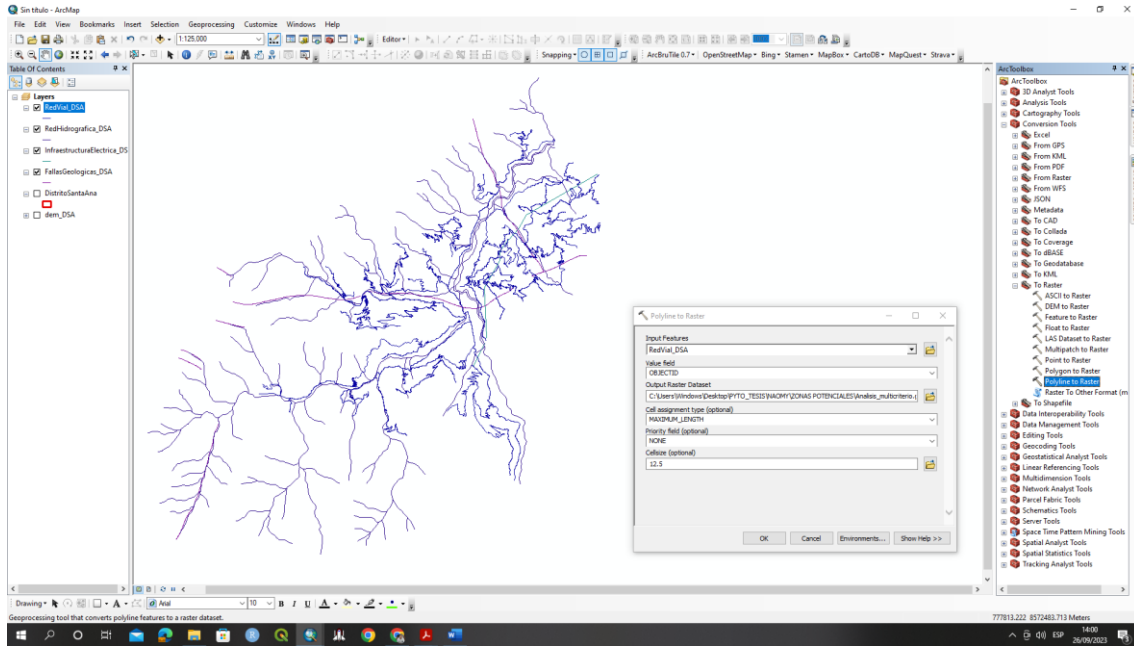
**Figura 9**

*Conversión de puntos vectoriales a raster.*



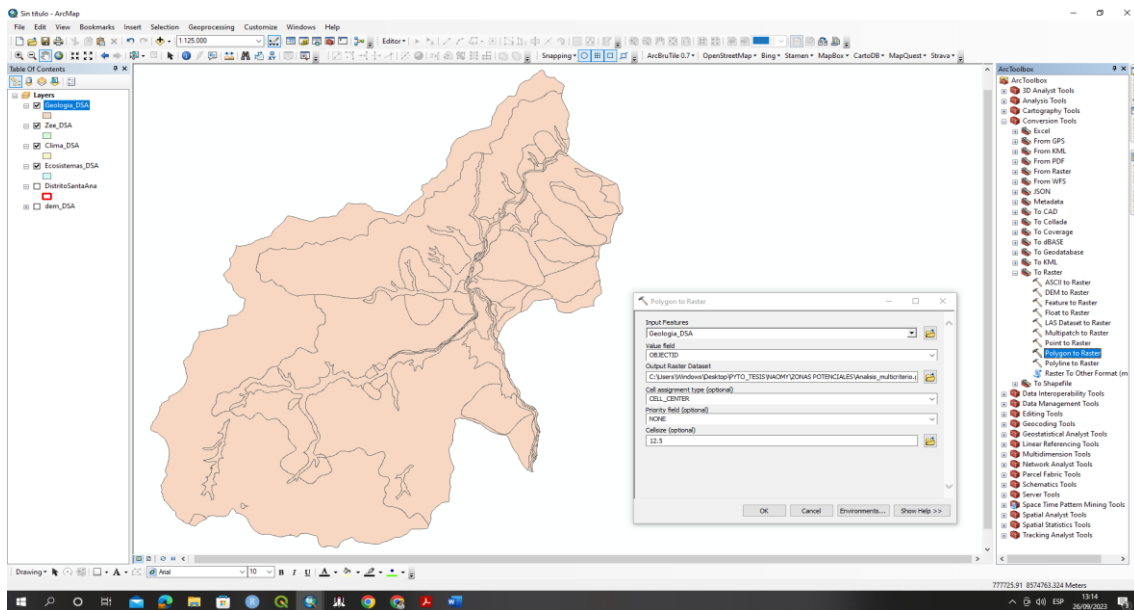
**Nota.** La herramienta **Point To Raster** permite crear una capa ráster a partir de un punto.

**Figura 10**  
*Conversión de polilíneas vectoriales a raster.*



**Nota.** La herramienta **Polyline To Raster** permite crear una capa ráster a partir de una polilínea.

**Figura 11**  
*Conversión de polígonos a raster.*



**Nota.** La opción de **Polygon To Raster** permite generar una capa ráster a partir de un polígono.

#### 2.5.1.4. Unión de capas raster

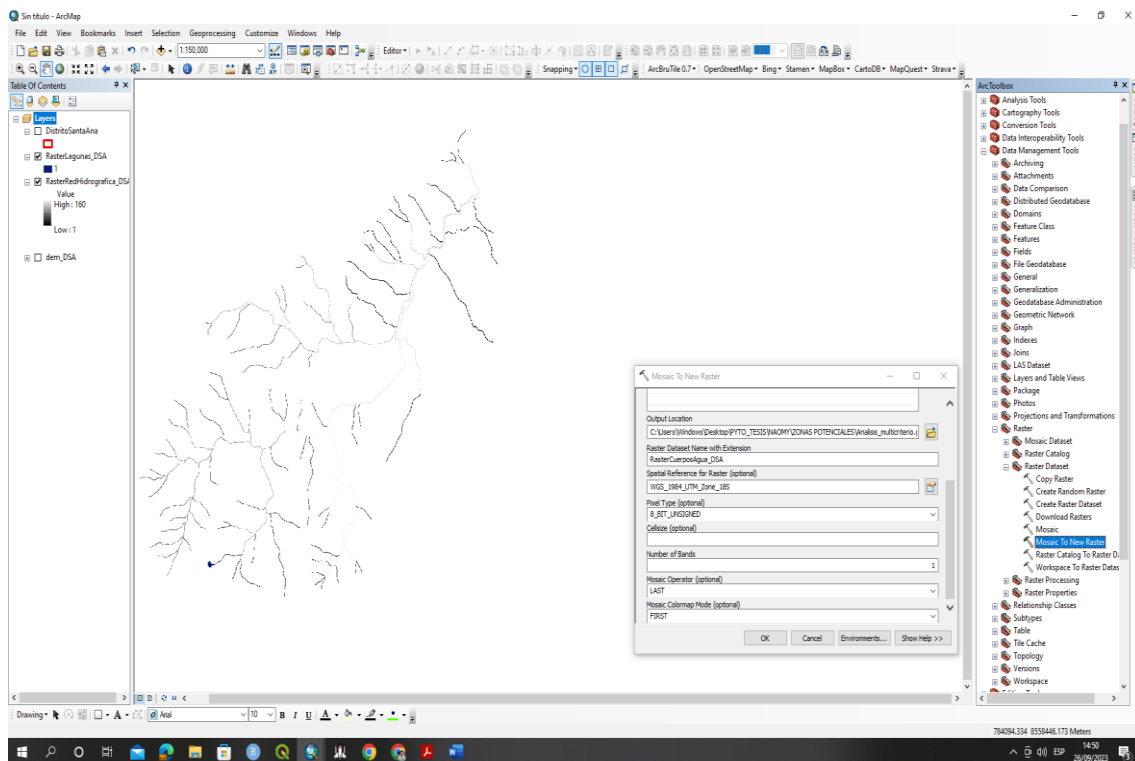
Se unió las capas raster de contenidos similares. Con ese objetivo se empleó la opción de **Mosaic To New Raster** del ArcGIS a través de la aplicación ArcMap y con la ruta: *ArcToolbox > Data Management Tools > Raster > Raster Dataset > Mosaic To New Raster* y configuración según la **Figura 12**.

#### 2.5.1.5. Generación de la distancia euclidiana

Se genero distancias euclidianas de las *capas raster*. Para ello, se utilizó la herramienta **Euclidean Distance** del ArcGIS a través de la aplicación ArcMap y bajo la ruta: *ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance > Euclidean Distance* y configuración según la **Figura 13**.

**Figura 12**

*Unión de capas raster.*

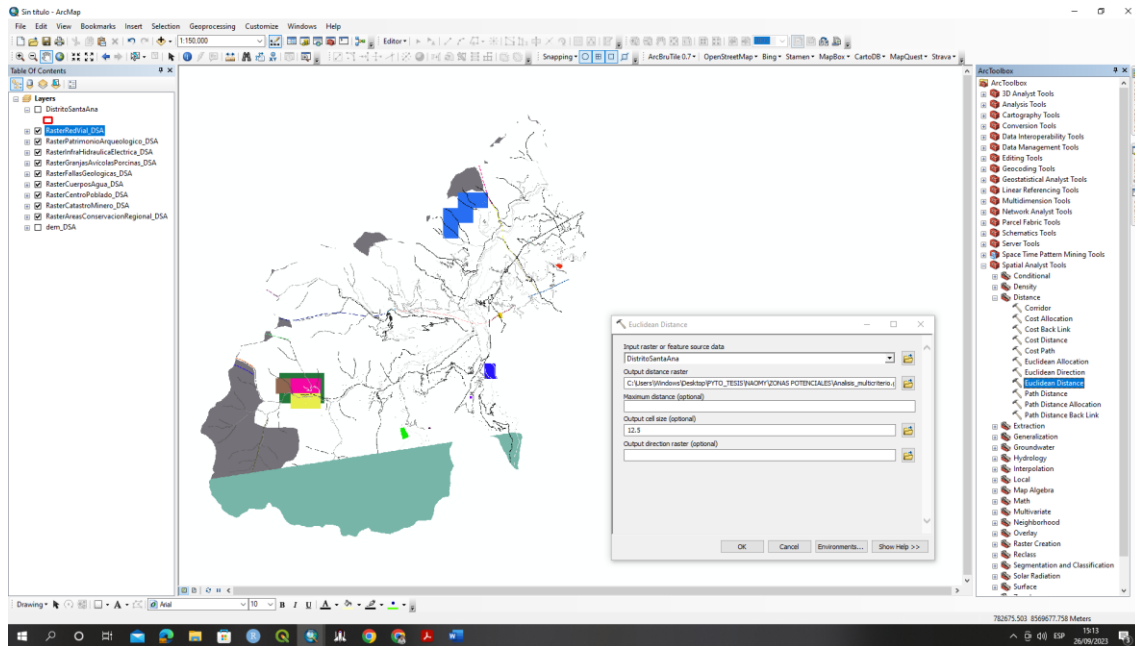


**Nota.** La herramienta **Euclidean Distance** emite la distancia partiendo de la celda en el ráster hacia el origen más pronto.



**Figura 13**

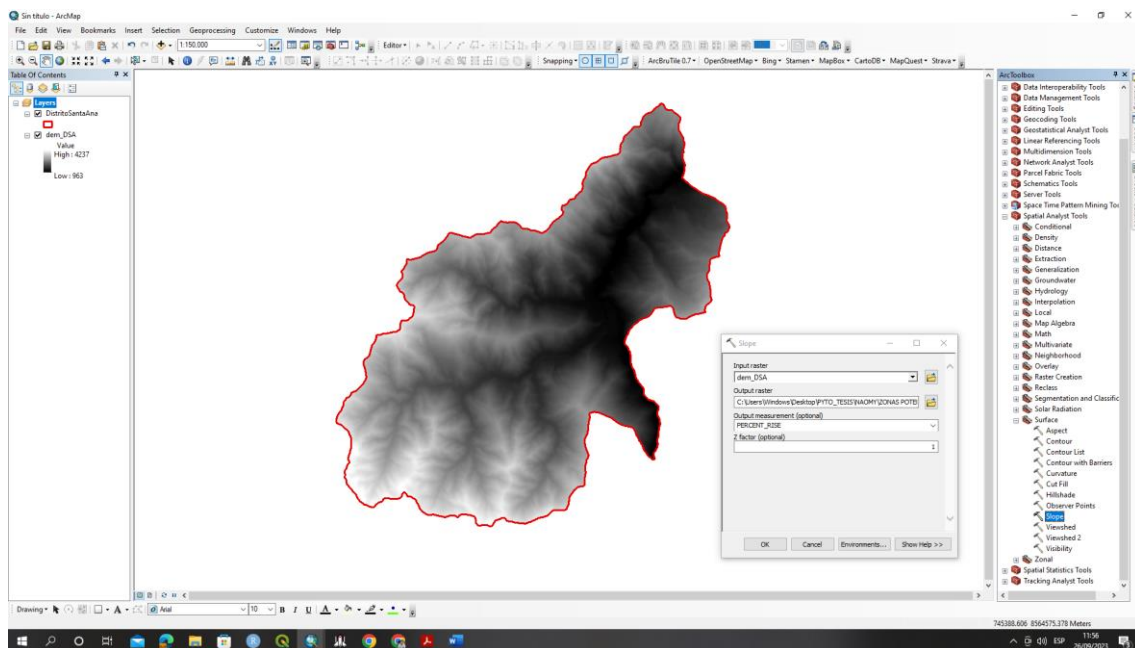
*Generación de distancia euclidiana.*



**Nota.** La herramienta **Euclidean Distance** emite la distancia partiendo de la celda en el ráster hacia el origen más pronto.

**Figura 14**

*Creación de capas de pendiente del distrito de Santa Ana.*



**Nota.** La herramienta **Slope** requiere de un DEM como información de entrada.

### 2.5.2. *Análisis multicriterio con superposición booleana*

Consistió en una operación de multiplicación de capas en un sistema de información geográfica (SIG). A continuación, se presenta la metodología de un análisis multicriterio:

**Figura 15**

*Metodología de un análisis multicriterio*



**Nota.** Adaptado de Reyes (2021) citado por Valladares (2022).

En esa línea, se describió los pasos:

Primer paso: determinar objetivo:

En este caso corresponde al objetivo específico 1:

- Identificar zonas potenciales para el RS en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana.

Segundo paso: identificar marco de decisión:

Corresponde al problema específico 1:

- ¿Qué zonas del espacio geográfico del distrito de Santa Ana son potenciales para relleno sanitario?

Tercer paso: determinar criterio:

Se definió los criterios para la identificación de las zonas óptimas para RS. Y las capas se codificaron con los números 1 y 0, donde 1 representa las zonas potenciales y 0 las zonas no potenciales. Así se muestra:

**Tabla 4**

*Estandarización de criterios en estructura booleana*

Criterios	0 = Zona no potencial	1 = Zona potencial
<b>Restricciones</b>		
Distancia a pliegues y fallas geológica	< 500 m	≥ 500 m
Distancia a cuerpos de aguas	< 500 m	≥ 500 m
Distancia a centros poblados	< 500 m	≥ 500 m
Distancia a red vial	< 500 m	≥ 500 m
Distancia a áreas arqueológicas	< 500 m	≥ 500 m
Distancia a áreas de conservación regional	< 500 m	≥ 500 m
<b>Limitantes</b>		
Geología (litología)	Bloques, arena; Bloques, limo; Grava, arena; Grava, limo; Monzogranito, sienogranito.	Limolita, pizarra; Pizarra, metarenisca, limolita; Metarenisca, pizarra; Metarenisca, pizarra, arenisca.
Pendiente de terreno	Muy empinada a Extremadamente empinada (> 50 %)	Plana a Empinada (< 50 %)
Ecosistemas	Rio, Laguna, Zonas urbanas, Pajonal de puna húmeda y Bosque altimontano (Pluvial) de Yunga	Vegetación Secundaria, Bosque montano de Yunga, Bosque estacionalmente seco oriental, Bosque basimontano de Yunga
Clima	Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. B (r) B', Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. C (r) B'	Lluvioso con invierno seco. Templado. B (i) B'
Susceptibilidad por movimiento en masa	Muy alto	Alto, Medio, Bajo y Muy Bajo
Zonificación ecológica económica	Zonas de expansión urbana y Zonas para uso agropecuario	Zonas de recuperación, Zonas de protección de bosque y Zonas de protección de ladera

**Nota.** Adaptado de la guía para identificar zonas óptimas para construcción de RS municipales (MINAM, 2021).

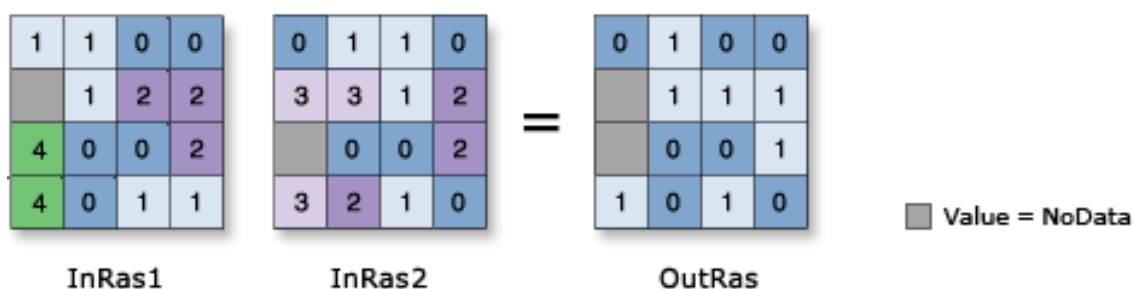
Cuarto paso: algoritmo o regla de decisión:

Se aplico el algoritmo de *superposición booleana con intersección lógica*. Para esto, se automatizo el modelo con la herramienta Model Builder de la aplicación ArcMap del ArcGIS Desktop, como se observa en la **Figura 17**; donde se ejecutó la operación de multiplicación entre capas rásteres reclasificados en binarios, con la ayuda de las herramientas **Raster Calculator** y **Reclassify**. Entendiéndose, cuando los valores de entrada son diferentes a cero, se tomará como valor de salida al número uno. En caso de que los valores de entrada sean cero, la cifra de salida será cero; como se muestra a continuación:

$$OutRas = \text{Boolean AND (InRas1, InRas2)} \quad (1)$$

**Figura 16**

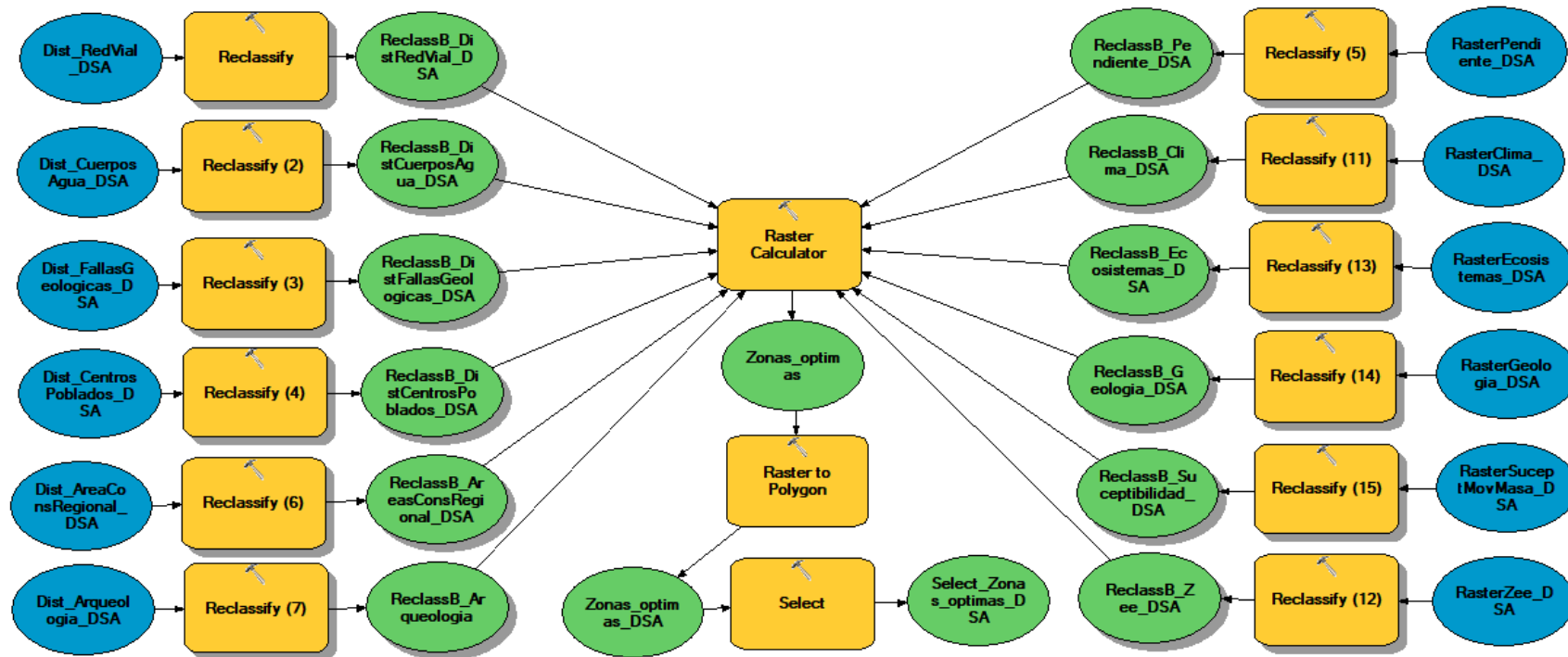
*Operación Booleana AND en capas rásteres*



*Nota.* Adaptado de ESRI.

Figura 17

Automatización del modelo de superposición booleana con intersección lógica en SIG



### 2.5.3. *Análisis multicriterio con combinación lineal directa*

Consistió en una operación de suma de factores estandarizados en diferentes niveles de aptitud para tomar de decisiones en un SIG. Para ello, se empleó la misma metodología de análisis multicriterio establecida en la **Figura 15**:

A continuación, se describió los pasos:

Primer paso: determinar objetivo:

En este caso corresponde al objetivo específico 2:

- Determinar la prelación según grado de idoneidad de las áreas potenciales para RS del distrito de Santa Ana.

Segundo paso: identificar marco de decisión:

Corresponde al problema específico 2:

- *¿Cuál será la prelación según grado de idoneidad de las zonas potenciales para RS del distrito de Santa Ana?*

Tercer paso: determinar criterio:

Las capas fueron evaluadas como valores continuos en vez de restricciones booleanas. Para ello, las capas fueron reclasificadas con los valores 1 a 4, donde 1=Malo o no aptas, 2=Regular, 3=Aceptable y 4=optimo. Tal como se muestra a continuación:

**Tabla 5**

*Estandarización de factores en diversos grados de idoneidad*

Factores	1 = Malo	2 = Regular	3 = Aceptable	4 = Optima
<b>Restricciones</b>				
Distancia a cuerpos de aguas	< 500 m	500-750 m	750-1 000 m	> 1 000 m
Distancia a pliegues y fallas geológica	< 500 m	500-750 m	750-1 000 m	> 1 000 m
Distancia a centros poblados	< 500 m	500-750 m	750-1 000 m	> 1 000 m
Distancia a vías de acceso	< 500 m, > 2 000 m	1 500-2 000 m	1 000-1 500 m	500-1 000 m
Distancia a áreas de conservación regional	< 500 m	500-2 500 m	2 500-5 000 m	> 5 000 m
Distancia a áreas arqueológicas	< 500 m	500-2 500 m	2 500-5 000 m	> 5 000 m
<b>Limitantes</b>				
Pendiente de terreno	Extremadamente a Muy empinada (> 50 %)	Empinada (25-50 %)	Moderadamente Empinada (15-25 %)	Plana a Fuertemente inclinada (< 15 %)
Clima	Lluvioso con otoño e invierno secos. Frío. B (o, i) C'. Lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. B (r) B'. Semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año. Templado. C (r) B'	Lluvioso con invierno seco. Templado. B (i) B'	Lluvioso con invierno seco. Templado. B (i) B'	Lluvioso con invierno seco. Templado. B (i) B'
Ecosistemas	Rio, Laguna, Zonas urbanas, Bosque altimontano (Pluvial) de Yunga y Pajonal de puna húmeda Bloques, arena;	Bosque estacionalmente seco oriental, Bosque basimontano de Yunga	Bosque montano de Yunga	Vegetación Secundaria
Geología (litología)	Bloques, limo; Grava, arena; Grava, limo; Monzogranito, sienogranito.	Metarenisca, pizarra; Metarenisca, pizarra, arenisca.	Pizarra, metarenisca, limolita	Limolita, pizarra
Susceptibilidad por movimiento en masa	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Zonificación ecológica económica	Zonas de expansión urbana y Zonas para uso agropecuario	Zonas de protección de bosque	Zonas de protección de laderas montañosas	Zonas de recuperación

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

Cuarto paso: algoritmo o regla de decisión:

Se aplicó el algoritmo de *combinación lineal directa con intersecciones lógicas*. Para esto, se automatizó el modelo con la herramienta Model Builder de la aplicación ArcMap del ArcGIS Desktop, como se encuentra en la **Figura 18**; donde se ejecutó la operación de suma entre valores rásteres reclasificados en variables continuas, con la ayuda de las herramientas **Raster Calculator** y **Reclassify**. A continuación, se detalla:

$$S = \sum X_i \quad (2)$$

Donde; S es idoneidad, X es el valor del factor i.

#### **2.5.4. Zonas óptimas para relleno sanitario**

Se realizó la selección por atributos (zonas óptimas), de la capa resultado del modelo de combinación lineal directa. Para ello, se utilizó la herramienta **Select Layer By Attribute** del ArcGIS a través de la aplicación ArcMap y con la siguiente ruta: *ArcToolbox > Data Management Tools > Layer and Table Views > Select Layer By Attribute*.

Seguidamente se creó una capa de zonas óptimas para relleno sanitario con la herramienta **Feature Class to Feature Class** del ArcGIS a través de la aplicación ArcMap y con la siguiente ruta: *ArcToolbox > Conversion Tools > To Geodatabase > Feature Class to Feature Class*.



Figura 18

Automatización del modelo de combinación lineal directa con intersección lógica en SIG



## 2.6. Procedimiento de tratamiento y análisis de datos

El procedimiento de tratamiento y análisis de datos para este estudio se inicia con la recopilación meticulosa de datos topográficos, cartográficos y demográficos de la zona de estudio. La creación de una base de datos SIG implica la digitalización y georreferenciación de mapas, integrando información demográfica y geofísica clave. Posteriormente, se realiza un preprocesamiento de datos para limpiar y validar la base, normalizando variables para garantizar la coherencia en el análisis.

El análisis multicriterio se lleva a cabo, identificando criterios relevantes y asignándoles pesos según su importancia. Se aplican técnicas de superposición espacial y combinación lineal para generar un índice de idoneidad. La verificación en campo valida los resultados mediante visitas directas, corrigiendo posibles desviaciones entre los datos teóricos y la realidad. La generación de mapas temáticos proporciona visualizaciones claras de las zonas óptimas para el relleno sanitario, incluyendo detalles sobre variables significativas. A través de análisis estadístico descriptivo, se examinan medidas de tendencia central y dispersión para obtener una comprensión más profunda de los datos.

La presentación de resultados se realiza mediante informes detallados y visualizaciones efectivas, preparando material gráfico para presentaciones y divulgación. Este procedimiento exhaustivo asegura una investigación sólida y confiable, proporcionando una visión integral sobre las áreas más adecuadas para la construcción de un relleno sanitario en el Distrito de Santa Ana - Cusco, utilizando sistemas de información geográfica

## 2.7. Aspectos éticos de la investigación

La metodología empleada en la investigación no atenta con el bienestar público ni con ningún componente ambiental debido a que todas las bases de datos son extraídas a través de plataformas online. Este estudio busca enfatizar la importancia de algunos aspectos concretos del desarrollo socioambiental. Dado que está estrechamente relacionado con la ética en la investigación, porque su propósito es beneficiar a la sociedad y dar a conocer el potencial de este. Para comprender el significado de este tipo de investigación, se agregan puntos de vista adicionales. La consulta, por otro lado, se realizó utilizando diversas fuentes bibliográficas, todas correctamente citadas y referenciadas utilizando el formato APA como se describe en su séptima edición.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Objetivo específico 1:

“Determinar las zonas en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana que son potenciales para la ubicación de un RS”, a partir del cual se exponen los resultados a continuación:

La aplicación del modelo de superposición booleana con intersección lógica en análisis multicriterio con SIG permitió conocer la cantidad, ubicación y extensión de las áreas potenciales para RS en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana. A continuación, se detalla:

**Tabla 6**

*Identificación de zonas potenciales para relleno sanitario*

Zona potencial (ZP)	Este (m)	Norte (m)	Extensión (ha)
ZP_1	753073.33	8587725.58	11.49
ZP_2	757826.92	8584110.73	6.78
ZP_3	756634.23	8580626.43	14.07
ZP_4	748242.20	8571701.45	9.18
ZP_5	742124.22	8570602.34	15.81
ZP_6	738814.60	8571132.77	6.96
ZP_7	736154.97	8572863.32	5.12
ZP_8	740224.39	8573979.51	9.60
Mínimo			5.12
Máximo			15.81
<b>Total</b>			<b>79.00</b>

**Nota.** La ubicación en coordenadas UTM corresponde al centroide de cada polígono.

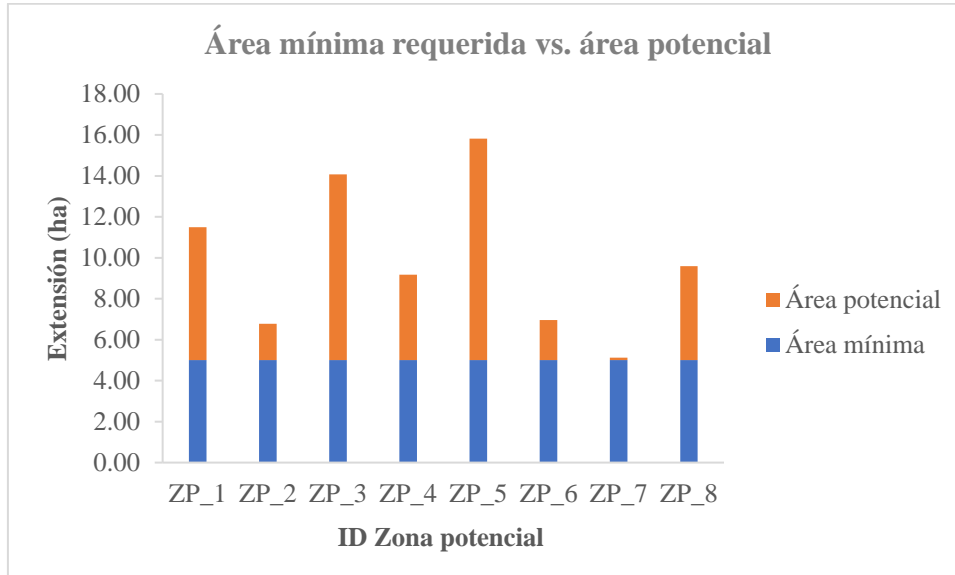
En cuanto al área de las zonas potenciales, es importante precisar que son mayores al área mínima requerida para construir un RS de tipo manual. Tal como se aprecia en la

**Figura 19.** En total, suman 79.00 ha, la misma que representa el 0.20% con respecto al territorio del distrito, como se observa en la

Tabla 7.

Figura 19

*Área mínima requerida versus área potencial*



**Nota.** Área mínima de 5 ha tomada de la Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de desechos sólidos (MINAM, 2019).

En la Figura 19 La expresión "Área mínima requerida versus área potencial" sugiere una comparación entre la cantidad mínima de terreno necesaria y la superficie que se considera como posiblemente apta o disponible para una determinada finalidad, en este caso, la disposición final de desechos sólidos. En consecuencia, esta comparación podría implicar evaluar si las áreas potenciales identificadas para la disposición de desechos sólidos cumplen o exceden el requisito mínimo establecido por la guía mencionada

**Tabla 7**

*Superficie porcentual de zonas potenciales para relleno sanitario*

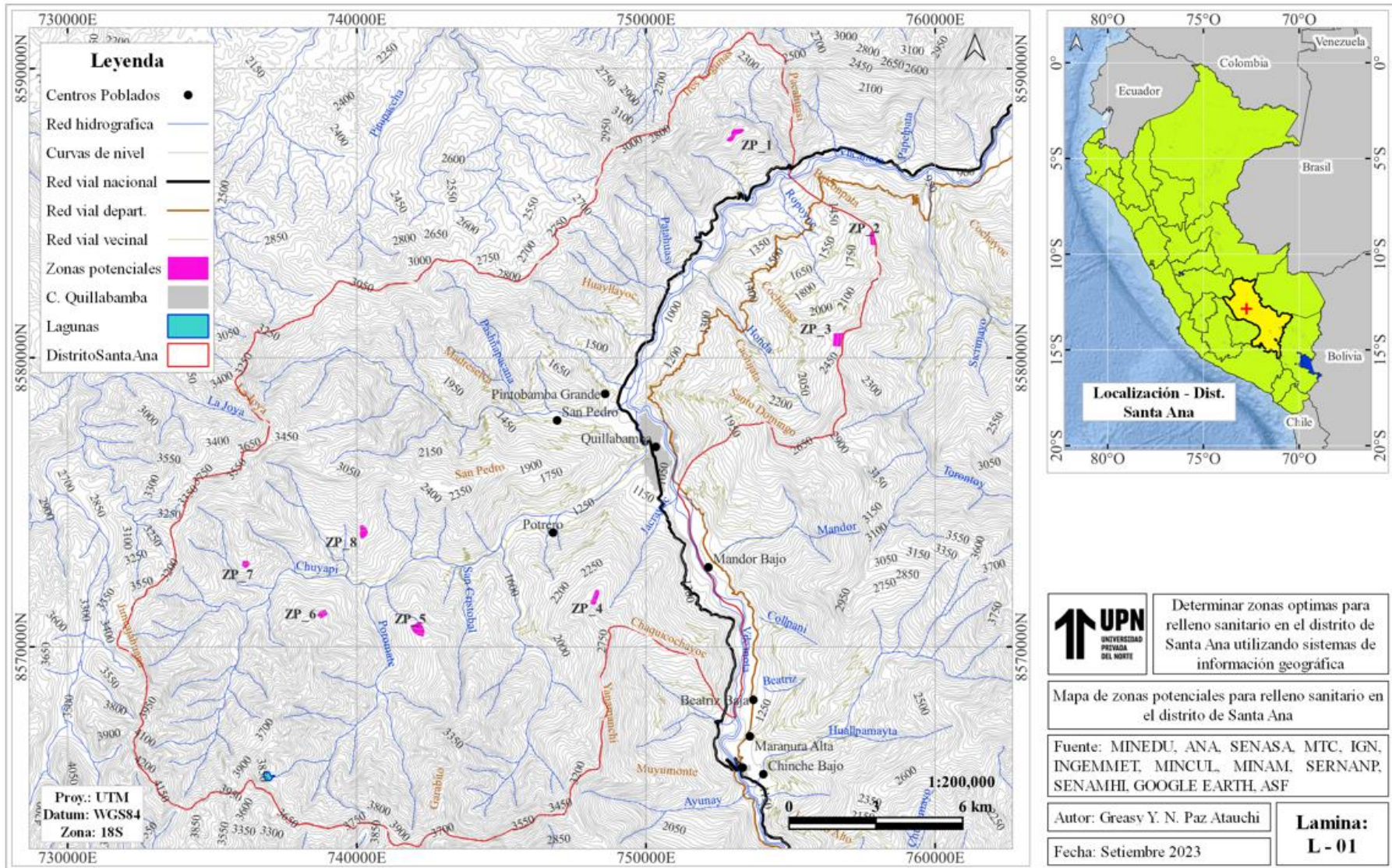
Regla de decisión	Extensión (ha)	Porcentaje (%)
Zona potencial	79.00	0.20
Zona no potencial	39 101.00	99.80
<b>Total</b>	<b>39 180.00</b>	<b>100.00</b>

La tabla 7 proporciona información sobre la distribución porcentual de las áreas consideradas para un relleno sanitario, dividiéndolas en "Zona Potencial" y "Zona No Potencial". La "Superficie porcentual de zonas potenciales para relleno sanitario" muestra que la Zona Potencial abarca 79 hectáreas, representando un 0.20% del total, mientras que la Zona No Potencial tiene una extensión de 39,101 hectáreas, constituyendo el 99.80%. La "Regla de decisión" establece que, en conjunto, estas dos zonas conforman la totalidad del área evaluada, que es de 39,180 hectáreas, siendo el 100%. En resumen, la gran mayoría del área examinada se considera no apta para un relleno sanitario, con solo una pequeña proporción identificada como potencialmente adecuada.

Con los resultados se elaboró un mapa que ilustra mejor la cantidad, ubicación y extensión de las zonas potenciales, tal como se observa en la **Figura 20**.

**Figura 20**

Mapa de zonas potenciales para relleno sanitario





La Figura 20 representa un mapa que visualiza las áreas identificadas como potencialmente aptas para la ubicación de un relleno sanitario. Este mapa destaca, de manera gráfica, las zonas geográficas que han sido evaluadas y clasificadas como adecuadas para la disposición de residuos sólidos. La figura proporciona información detallada sobre la distribución espacial de estas zonas potenciales, ofreciendo una representación visual que facilita la comprensión de la ubicación y extensión de las áreas consideradas para esta finalidad específica.

### 3.2. Objetivo específico 2:

“Evaluar la prelación según grado de idoneidad de las zonas potenciales para RS en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana”, a partir del cual se expone:

La aplicación del modelo de combinación lineal directa con intersección lógica en análisis multicriterio con SIG permitió determinar la prelación de las zonas potenciales (ZP) según grado de idoneidad, tal como se muestra en la **Tabla 8**. Cuya distribución geográfica se observa en la **Figura 21**.

**Tabla 8**

*Orden de prioridad de zonas potenciales para relleno sanitario*

Zona potencial (ZP)	Grado de idoneidad	Prelación	Extensión (ha)
ZP_1	Optima	ZO_2	11.49
ZP_2	Optima	ZO_1	6.78
ZP_3	Aceptable	ZA_3	14.07
ZP_4	Regular	ZR_1	9.18
ZP_5	Regular	ZR_2	15.81
ZP_6	Aceptable	ZA_1	6.96
ZP_7	Aceptable	ZA_2	5.12
ZP_8	Optima	ZO_3	9.60
<b>Total</b>			<b>79.00</b>

**Nota.** Para esto se estandarizo los criterios en diversos grados de idoneidad con valores de 1 a 4, donde 1=Malo o no aptas, 2=Regular, 3=Aceptable y 4=optima, para mayor detalle al respecto revisar la

**Tabla 5.**

La Tabla 8 presenta una clasificación de las zonas potenciales según su grado de idoneidad, su posición en la prelación y la extensión de cada zona. Las zonas están etiquetadas como ZP\_1, ZP\_2, etc. Cada zona tiene asignado un "Grado de idoneidad" que varía desde "Óptima" hasta "Regular". La "Prelación" indica su posición de prioridad, y la "Extensión" muestra el tamaño de cada zona en hectáreas. En este contexto, se estandarizaron los criterios de idoneidad en diferentes grados, utilizando valores de 1 a 4, donde 1 representa "Malo o no aptas", 2 indica "Regular", 3 significa "Aceptable" y 4 denota "Óptima". La estandarización de los criterios se detalla en la Tabla 5 para proporcionar mayor claridad sobre la asignación de los grados de idoneidad. En resumen, la Tabla 8 ofrece una jerarquía de zonas potenciales para relleno sanitario, considerando su idoneidad, prelación y extensión.

**3.3.Objetivo específico 3:**

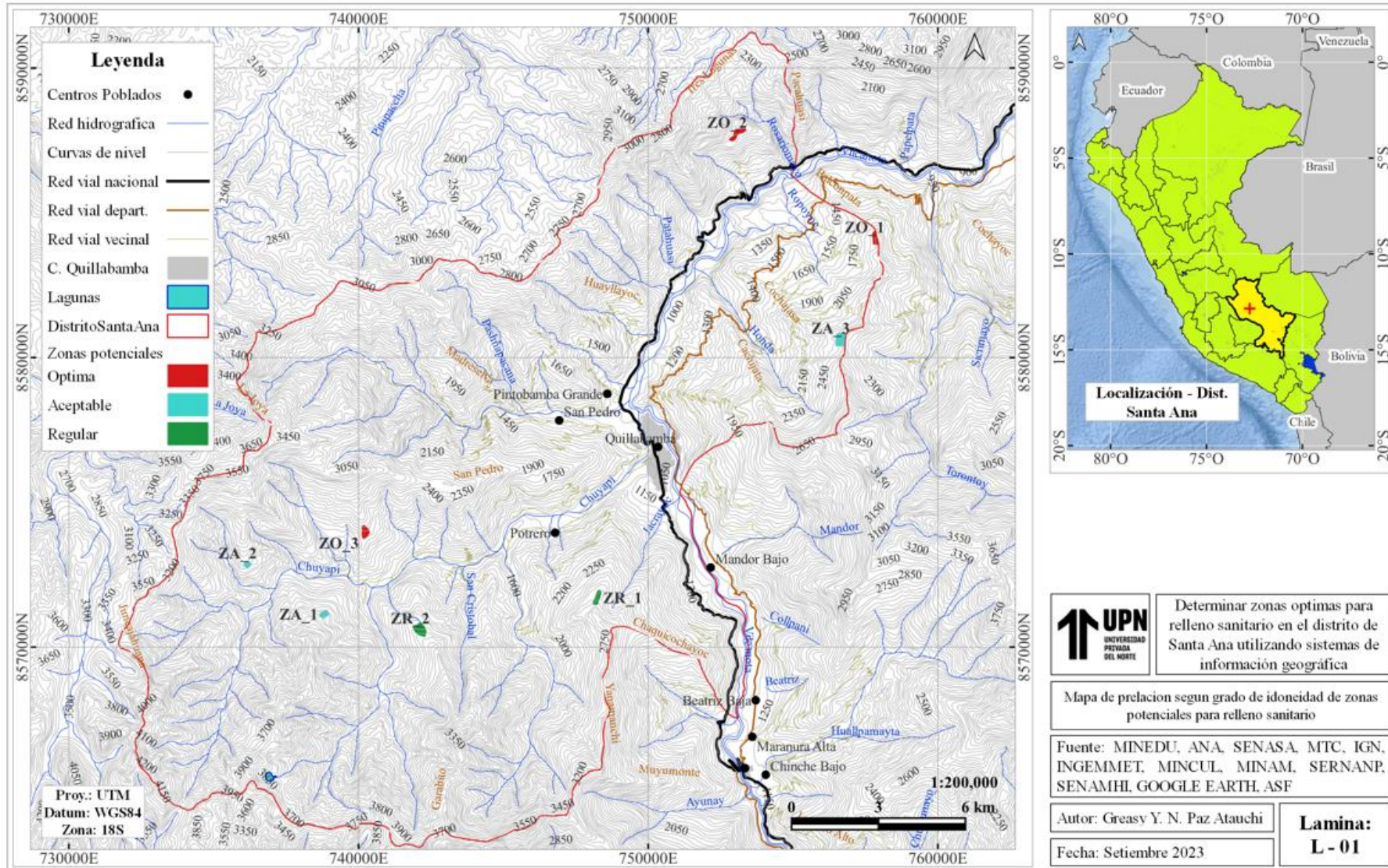
“Identificar la información geográfica en campo de las zonas óptimas para relleno en campo”, a partir del cual se expone:

Contamos con tres (3) de ocho (8) zonas potenciales, las que fueron clasificadas como zonas optimas (ZO), tal como se muestra en la **Tabla 8**. La distribución geográfica se presenta en un mapa con dos laminas para mejorar la visualización diferenciándose según orientación al Noreste (**Figura 22**) y Suroeste (

Figura 23).

**Figura 21**

Mapa de prelación según grado de idoneidad de zonas potenciales para relleno sanitario

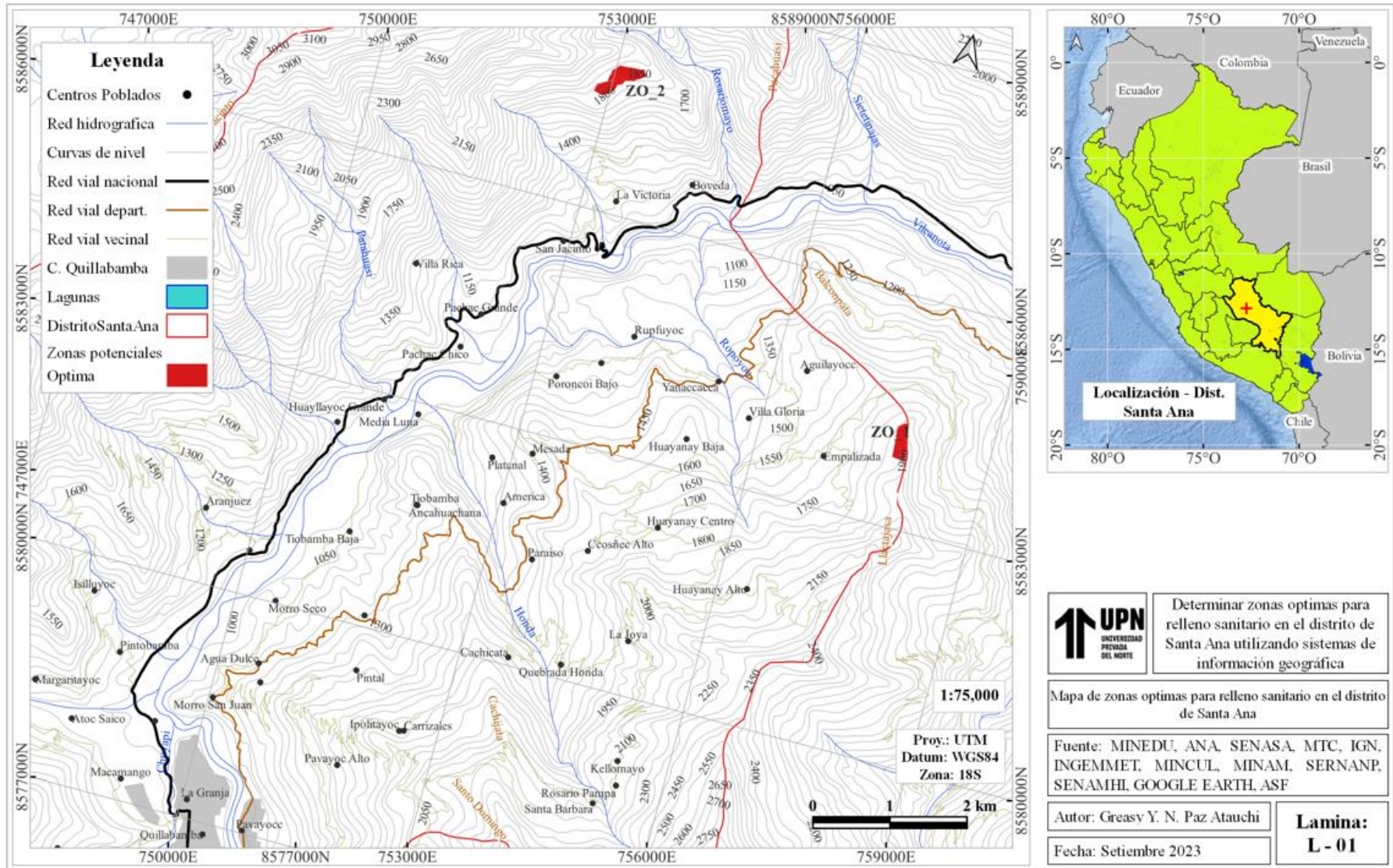


Se utilizó el modelo de combinación lineal directa con intersección lógica en el análisis multicriterio con SIG para establecer la prelación de las ZP en función de su grado de idoneidad. El resultado de este análisis se presenta en la Tabla 8, donde se clasifican las zonas potenciales según su grado de idoneidad, prelación y extensión.

La **Figura 21** complementa la tabla proporcionando una representación gráfica de la distribución geográfica de las zonas potenciales. Este mapa permite visualizar de manera intuitiva la ubicación y la prioridad relativa de cada zona en términos de idoneidad para la construcción de un relleno sanitario. En resumen, la combinación de la tabla y el mapa proporciona una visión completa y detallada de la evaluación de zonas potenciales para el relleno sanitario en función de su grado de idoneidad y prelación geográfica.

**Figura 22**

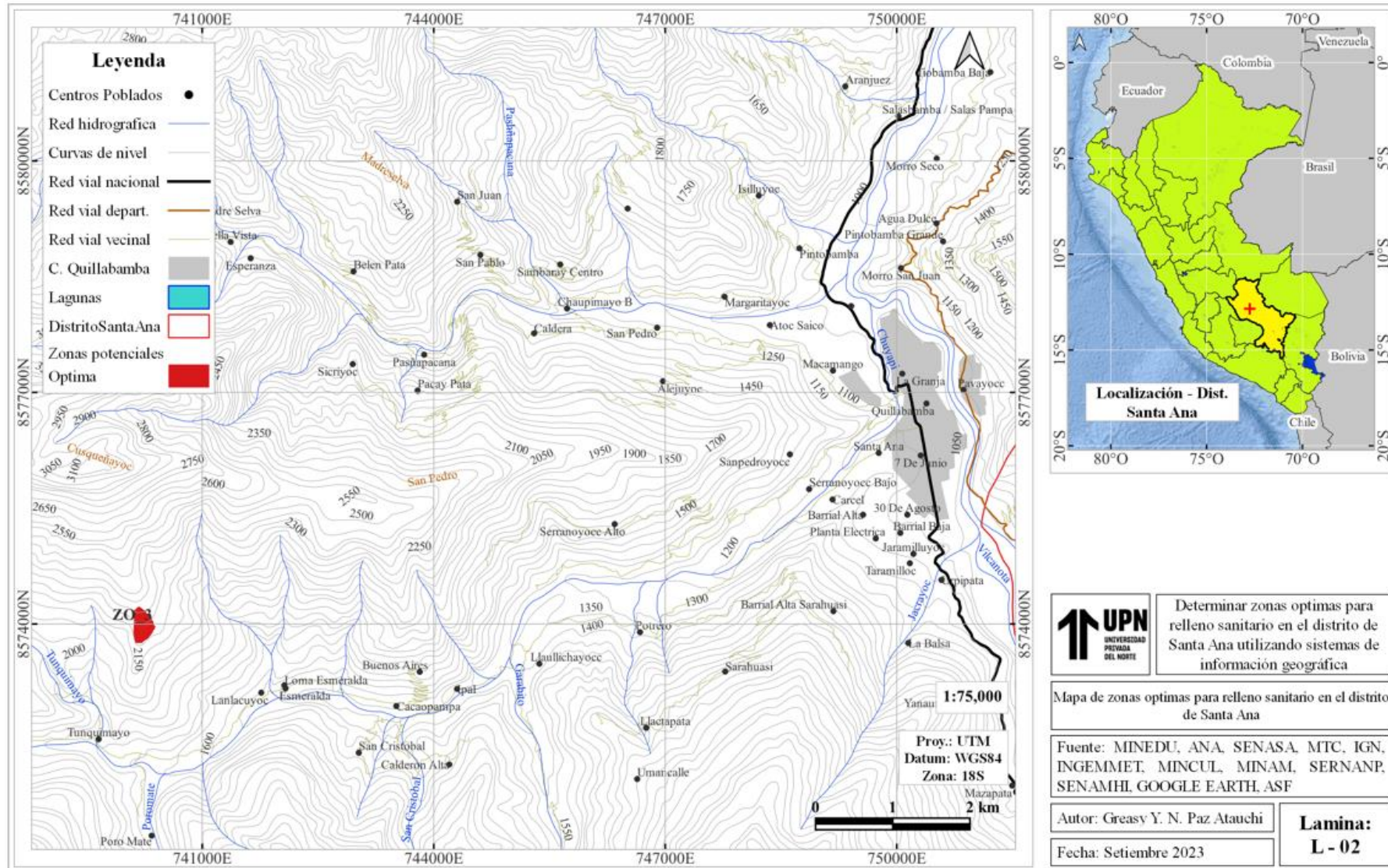
Mapa de zonas óptimas para relleno sanitario – Noreste del dist. Santa Ana



La distribución geográfica de las zonas óptimas para el relleno sanitario en el Distrito de Santa Ana se presenta de manera detallada en dos mapas separados para mejorar la visualización. La primera lámina, representada por la **Figura 22**, se centra en la orientación al Noreste de la zona en cuestión. Este mapa ofrece una representación visual específica de las áreas identificadas como óptimas para la ubicación del relleno sanitario en la porción Noreste del distrito. La segmentación del mapa por orientación proporciona una visión más clara y detallada de las zonas consideradas ideales para la disposición de desechos sólidos en esa dirección geográfica

**Figura 23**

Mapa de zonas óptimas para relleno sanitario – Suroeste del dist. de Santa Ana





La distribución geográfica de las zonas óptimas para el relleno sanitario en el Distrito de Santa Ana se presenta de manera detallada en dos mapas separados para mejorar la visualización. La primera lámina, representada por la **Figura 23**, se centra en la orientación al Noreste de la zona en cuestión. Este mapa ofrece una representación visual específica de las áreas identificadas como óptimas para la ubicación del relleno sanitario en la porción Noreste del distrito. La segmentación del mapa por orientación proporciona una visión más clara y detallada de las zonas consideradas ideales para la disposición de desechos sólidos en esa dirección geográfica

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

En la presente investigación cuyo objetivo fue determinar las zonas del espacio geográfico del distrito de Santa Ana que son potenciales para relleno sanitario. Se identificaron áreas adecuadas que superan el área mínima requerida para un relleno sanitario manual, abarcando 0.20% del territorio del distrito. Además, se evidencia que la gran mayoría del área evaluada (99.80%) se considera no apta para RS. Estos hallazgos resaltan la importancia de una cuidadosa selección y planificación de las áreas destinadas a rellenos sanitarios, subrayando la necesidad de enfoques sostenibles y estratégicos en la gestión de residuos en el distrito de Santa Ana. Frente a ello se puede deducir que se cumple con el objetivo propuesto y ello se demuestra con los resultados expuestos. Además, se menciona a Bustamante (2022) en su trabajo logró obtener ocho (8) zonas potenciales para relleno sanitario (ZP) en el distrito de Chota, las cuales sumaron 537 hectáreas, lo que representa el 2% del área total de 26 645 hectáreas. En este estudio también se obtuvieron ocho (8) áreas potenciales para el distrito de Santa Ana. Sin embargo, estas áreas suman 79 hectáreas de 39 180 hectáreas, o el 0,2%. Esta diferencia respecto a la superficie se debe principalmente a la naturaleza de las variables analizadas en cada localización, en particular las siguientes: red hidrológica (mayores masas de agua), geología (más fallas y pliegues) y pendiente (muy alto).

Por otro lado, siguiendo con el análisis del primer objetivo, el autor Sierra (2021), afirmó que sus resultados, consistentes con los nuestros, atañen a condiciones específicas en el área de investigación que imponen limitaciones al lugar donde se ubicarán los RS, como grandes cuerpos de agua y terrenos muy empinados. Así lo demuestra el trabajo de

Pérez (2019) y Altamirano (2019), quienes lograron obtener el 0,71% y 0,1% de áreas potenciales para relleno sanitario, respectivamente.

A continuación, se presenta el siguiente objetivo que buscamos en esta investigación: evaluar la prelación según grado de idoneidad de las zonas potenciales para RS en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana. A partir de ello, se encontró que la aplicación del modelo de combinación lineal directa en análisis multicriterio con SIG permitió establecer una clasificación detallada de las zonas potenciales, destacando las áreas con mayor prioridad y grado de idoneidad. Notablemente, las zonas identificadas como "Aceptables" y "Regulares" ocupan extensiones significativas y poseen posiciones destacadas en la prelación, evidenciando una evaluación meticulosa y estratégica. Este logro proporciona información clave para la toma de decisiones en la gestión de residuos sólidos en el distrito de Santa Ana, destacando las áreas prioritarias y su nivel de aptitud para la disposición de residuos. Debido a lo expuesto en líneas anteriores, se deduce que se cumplió con el objetivo propuesto en esta investigación. Para optimizar el escenario de toma de decisiones, Altamirano (2019) aplicó el segundo modelo de combinación lineal directa en análisis multicriterio SIG y logró obtener el área potencial N° 5 (AP\_5) como área óptima N° 1 (ZO\_1). En esta línea, se pudo determinar las prioridades (1, 2 y 3) según el grado de idoneidad (regular, aceptable y óptima) de las áreas potenciales para RS en el distrito de Santa Ana. Otros autores, como Uscamayta (2021), logró obtener como resultado tres (3) áreas con potencial medio en la provincia del Cusco. Loyaga (2019) obtuvo exitosamente dos (2) áreas óptimas y trece (13) áreas aceptables para RS en el distrito Las Pirias. A partir de lo expuesto se deduce que existe concordancia entre los resultados obtenidos en esta investigación y los de otros autores. Al evaluar la prelación según el grado de idoneidad de las zonas potenciales para relleno sanitario en

el distrito de Santa Ana, los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo de combinación lineal directa en análisis multicriterio con SIG resaltan áreas clasificadas como "Aceptables" y "Regulares" que ocupan extensiones significativas y tienen posiciones destacadas en la prelación.

Finalmente, de acuerdo al último objetivo específico: Identificar la información geográfica en campo de las zonas óptimas para relleno en campo, se halla que la Figura 21 proporciona una representación gráfica detallada de la distribución geográfica de estas zonas, mostrando de manera intuitiva su ubicación y prioridad relativa para la construcción de un relleno sanitario. Además, la distribución geográfica se presenta en dos mapas separados según la orientación al Noreste (Figura 22) y Suroeste (Figura 23), mejorando la visualización y ofreciendo detalles específicos de las áreas consideradas ideales para la disposición de desechos sólidos en cada dirección geográfica. La combinación de la tabla y los mapas proporciona una visión completa y detallada de la evaluación de zonas óptimas para el relleno sanitario, cumpliendo así con el objetivo establecido. Este enfoque metodológico robusto y la presentación visual clara contribuyen significativamente al éxito del estudio y aportan valiosa información para futuras planificaciones ambientales. Nuestros resultados son respaldados por Sierra (2021) quien logró obtener áreas potenciales del área Bucaramanga con el siguiente grado de idoneidad: áreas no aptas, áreas muy inadecuadas, áreas medianamente aptas y áreas aptas, y de acuerdo con su objetivo presento el resultado de seis (6) zonas adecuadas. En esta línea, Gordillo (2019) logró obtener ocho (8) áreas óptimas para el estado Naranjal. En este estudio, al igual que Sierra y Godillo, las zonas óptimas (ZO) se extrajeron de las zonas potenciales, las cuales se definieron como: ZO\_1 (ZP\_2), ZO\_2 (ZP\_1) y ZO\_3 (ZP\_8).

El número de áreas óptimas obtenido en este estudio es más que suficiente para la formulación de proyectos de inversión, ya que sólo se requieren tres alternativas a la hora de desarrollar la correspondiente evaluación económica. La extensión de estas áreas potenciales representa importantes oportunidades en cuanto a la vida útil y al planteamiento de diseño del plan de obra para disponer los desechos, que puede incluir plantas de reciclaje y transferencia. Asimismo, se deja claro que los resultados cumplen con los Lineamientos para el Diseño y Construcción de Infraestructura para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales (MINAM, 2019). La priorización basada en la idoneidad de áreas potenciales representa la optimización de recursos para futuros estudios como selección de áreas, geofísicos, impactos ambientales y otros estudios necesarios para la construcción de un RS. Una posible limitación de estos resultados es la precisión de los datos espaciales, ya que se trabajó con capas vectoriales y ráster que corresponden a las escalas 1/50 000, 1/100 000 y 1/250 000.

A pesar de la posible limitación en la precisión de los datos espaciales, la metodología robusta y la cantidad adecuada de áreas óptimas identificadas respaldan la utilidad de estos hallazgos para la toma de decisiones y el desarrollo de proyectos en gestión de residuos sólidos en el distrito.

## CONCLUSIONES

- Respecto al objetivo específico 1, se identificaron ocho áreas potenciales para relleno sanitario en Santa Ana, con extensiones que van desde 5.12 ha hasta 15.81 ha. A pesar de las limitaciones topográficas, la baja cantidad de áreas potenciales cumple con el requisito mínimo de 5 hectáreas establecido en los Lineamientos para el Diseño y Construcción de Infraestructura para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales (MINAM, 2019).
- Objetivo específico 2. Se determinó la prelación de las ocho zonas potenciales para relleno sanitario en Santa Ana, clasificándolas en zonas óptimas (ZO), aceptables (ZA) y regulares (ZR). Las zonas óptimas fueron ZO\_1 (ZP\_2), ZO\_2 (ZP\_1) y ZO\_3 (ZP\_8); las aceptables fueron ZA\_1 (ZP\_6), ZA\_2 (ZP\_2) y ZA\_3 (ZP\_3); y las regulares fueron ZR\_1 (ZP\_4) y ZR\_2 (ZP\_5).
- Objetivo específico 3. Los resultados se presentan en dos mapas separados según la orientación geográfica al Noreste (Figura 22) y Suroeste (Figura 23), mejorando la visualización y ofreciendo detalles específicos. La combinación de la tabla y los mapas brinda una visión completa y detallada de la evaluación de zonas óptimas, cumpliendo con el objetivo establecido. Este enfoque metodológico robusto y la presentación visual clara contribuyen al éxito del estudio y proporcionan valiosa información para futuras planificaciones ambientales.
- Objetivo principal. se identificaron tres zonas óptimas (ZO) para relleno sanitario en Santa Ana, siendo ZO\_1 (ZP\_2), ZO\_2 (ZP\_1) y ZO\_3 (ZP\_8). Estas áreas son suficientes para la formulación de proyectos de inversión en limpieza pública, al proporcionar tres alternativas viables. Además, la

extensión de estas zonas potenciales ofrece oportunidades significativas en términos de vida útil y diseño de la infraestructura para la disposición final, incluyendo posiblemente plantas de reciclaje y transferencia.

## CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES

- Objetivo específico 1. La extensión de estas áreas potenciales es ventajosa con relación al diseño del proyecto respecto a la vida útil y a los componentes estructurales de disposición final, que puede incluir plantas de reciclaje y transferencia.
- Objetivo específico 2. Orientar los recursos para la construcción de un RS en el distrito de Santa Ana, según orden prioridad o grado de idoneidad de las zonas potenciales.
- Objetivo específico 3. Utilizar este enfoque metodológico robusto de presentación visual clara en futuros estudios y planificaciones ambientales similares.
- Objetivo principal. El planteamiento o diseño del proyecto respecto al método de disposición final, debe elaborarse teniendo en cuenta las restricciones de las pendientes, hidrología y geología de la zona. En este sentido, se reduce a los métodos de área o combinado.



## REFERENCIAS

- Altamirano, J. (2019). Identificación de Áreas Potenciales para la Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales Utilizando Análisis Espacial, Distrito Chirinos-San Ignacio. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]: Repositorio institucional. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/148>
- Alvarez, A. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. Universidad de Lima. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/10818>
- Añasco, R., & Sánchez, M. (2022). Automatización de un modelo mediante análisis multicriterio como alternativa para identificar áreas óptimas de un relleno sanitario caso Provincia Azángaro, 2022. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]: Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/111937>
- Arias, F. (2021). Localización de zonas ambientalmente óptimas para construcción de rellenos sanitarios usando Sistemas de Información Geográfica en la región Ucayali, 2021. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]: Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/71713>
- Arias, F. (2016). *EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN. Introducción a la metodología científica*. EDICIONES EL PASILLO, C.A. <https://es.slideshare.net/SheilaGalindez1/el-proyectodeinvestigacionfidiasarias7maedic2016pdf-compress>
- Benayas, R. (2018). *Superposición Ponderada con ArcGIS*. Retrieved 01 de Setiembre de 2023, from GEASIG: <https://www.geasig.com/superposicion-ponderada-con-arcgis/>

- 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 de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]: Repositorio institucional.  
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/5400>
- Cifuentes, D. (2022). Publicación: Propuesta de ubicación para la disposición de residuos sólidos en el Valle de San Nicolás mediante un análisis basado en SIG. [Tesis de grado, Universidad EIA]: Repositorio institucional.  
<https://repository.eia.edu.co/handle/11190/5798>
- Cobos, S., Solano, J., & Gárate, P. (2021). Criterios de selección para un sitio de disposición final de residuos sólidos no peligrosos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 39-53.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.20937/RICA/53660>
- Escobar, M. (2022). *Tipos de datos SIG*. Retrieved 26 de Agosto de 2023, from MasterGIS: <https://mastergis.com/blog/tipos-de-datos-sig>
- Gómez, A. (2022). Zonas aptas para la ubicación del relleno sanitario en el municipio de Ortega Tolima. *Universidad Militar Nueva Granada*, 29.  
<https://doi.org/http://hdl.handle.net/10654/43773>
- Gordillo, C. (2019). Localización de un relleno sanitario en el cantón Naranjal, mediante proceso de análisis jerárquico basado en sistemas de información geográfica. [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]: Repositorio institucional.  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39601>
- Hanco, J. (2023). *Aplicación del software QGIS para la ubicación óptima de un relleno sanitario en el distrito de Ayaviri - Puno 2023*. [Tesis de grado, Universidad

Privada San Carlos]: Repositorio institucional.  
<http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/556>

Ichpas, Y., & Sanchez, J. (2021). *Sitios óptimos para rellenos sanitarios mediante sistemas de información geográfica para la ciudad de Huancavelica*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]: Repositorio institucional.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/64413>

INEI. (2022). *Directorio Nacional de Municipalidades Provinciales, Distritales y de Centros Poblados 2022*. Repositorio institucional.  
[https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1856/libro.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1856/libro.pdf)

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

Kaza, S., Yao, L., Bhada, P., & Van, F. (2018). *Qué desperdicio 2.0: una instantánea global de la gestión de residuos sólidos hasta 2050*. Banco Mundial.  
<https://doi.org/http://hdl.handle.net/10986/30317>

Loyaga, 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. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/134>

MINAM. (2019). *Guía para el diseño y construcción de infraestructuras para disposición final de residuos sólidos municipales*. Ministerio del Ambiente.

<https://sites.google.com/minam.gob.pe/dggrs/coordinaciones/residuos-s%C3%B3lidos-municipales?authuser=3>

MINAM. (2021). Guía para la identificación de zonas potenciales para infraestructura de disposición final de residuos sólidos municipales. Ministerio del Ambiente.

<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2143417-165-2021-minam>

Olaya, V. (2020). *Sistema de Información Geográfica*. <https://volaya.github.io/libro-sig/index.html>.

Pérez, N. (2019). Identificación de áreas óptimas para la instalación de un relleno sanitario, utilizando sistemas de información geográfica en el distrito de Santa Rosa, provincia de Jaén. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]: Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/4087>

Plaza, P., Bermeo, C., & Moreira, M. (2019). *Metodología de la investigación*. Ecuador: Qolloquium. <https://colloquiumbiblioteca.com/index.php/web/article/view/26>

Sánchez, H., & Reyes, C. (2015). *Metodología y diseños de la investigación científica* (Quinta edición ed.). Lima-Perú: Business Support Anneth SRL. [https://www.academia.edu/78002369/METODOLOG%CC%8DA\\_Y\\_DISE%CC%91OS\\_EN\\_LA\\_INVESTIGACI%CC%93N\\_CIENT%CC%8DFICA](https://www.academia.edu/78002369/METODOLOG%CC%8DA_Y_DISE%CC%91OS_EN_LA_INVESTIGACI%CC%93N_CIENT%CC%8DFICA)

Sierra, J. (2021). Localización de áreas potencialmente adecuadas para el desarrollo de un relleno sanitario para el Área Metropolitana de Bucaramanga. *Universidad Militar Nueva Granada*, 30. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/10654/38947>

Solano, J. (2021). *Identificación de sitios óptimos para la implementación de un relleno sanitario para los cantones de la provincia del Cañar*. (U. C. [Tesis de grado,

Ed.) Repositorio institucional.

<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10961>

Sutton, T., Athan, T., Koy, K., Raga, F., Nagase, K., & Clos, M. (2020). *Guía del usuario de QGIS.*

[https://docs.qgis.org/en/docs/user\\_manual/preamble/contributors.html#authors](https://docs.qgis.org/en/docs/user_manual/preamble/contributors.html#authors).

Torres, J. (2021). Delimitación de áreas adecuadas para rellenos sanitarios utilizando SIG y selección por AHP en la provincia de Yungay, Áncash, 2021. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]: Repositorio institucional.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/75885>

Uscamayta, G. (2021). Determinación de áreas aptas para la instalación de rellenos sanitarios mediante los sistemas de información geográfica, apoyado en la técnica de evaluación multicriterio en la provincia del Cusco. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]: Repositorio institucional.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/61053>

Valladares, J. (2022). *Métodos para realizar un Análisis Multicriterio en un SIG.*

Retrieved 26 de Agosto de 2023, from MasterGIS:

<https://mastergis.com/blog/metodos-analisis-multicriterio-sig>

Villavicencio, Z. (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]: Repositorio institucional.

<http://hdl.handle.net/20.500.14076/22792>

## ANEXOS

## Anexo 1. Matriz de investigación

**Tabla 9**

*Matriz de consistencia*

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Indicadores	Metodología
<p><b>Problema general:</b> ¿Cuál serán las zonas óptimas para RS en el distrito de Santa Ana – Cusco, utilizando sistemas de información geográfica, 2023?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>¿Qué zonas del espacio geográfico del distrito de Santa Ana son potenciales para relleno sanitario?</li> <li>¿Cuál será la prelación según grado de idoneidad de las zonas potenciales para relleno sanitario en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana?</li> </ol>	<p><b>Objetivo general:</b> Determinar zonas óptimas para RS en el distrito de Santa Ana - Cusco, utilizando sistemas de información geográfica, 2023.</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Identificar zonas potenciales para relleno sanitario en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana.</li> <li>Determinar la prelación según grado de idoneidad de las zonas potenciales para relleno sanitario en el espacio geográfico del distrito de Santa Ana.</li> </ol>	<p>Por ser investigación de alcance descriptivo, carece de hipótesis.</p>	<p>Zonas óptimas para relleno sanitario</p>	<p>Distancia <math>\geq</math> a 500 m de falla geológica  Distancia <math>\geq</math> a 500 m de cuerpos de agua  Distancia <math>\geq</math> a 500 m de centros poblados  Distancia <math>\geq</math> a 500 m de la red vial  Distancia <math>\geq</math> a 500 m de áreas arqueológicas  Distancia <math>\geq</math> a 500 m de áreas de conservación regional  Zonas con sustrato impermeable  Zonas con pendiente <math>&lt;</math> 50 %  Zonas con ecosistemas de vegetación secundaria  Zona con clima templado y húmedo  Zona con bajo, medio y alto a susceptibilidad por movimiento en masa  Zonas productivas de recuperación y protección  Zona con área mínima <math>\geq</math> a 5 ha</p>	<p><b>Tipo investigación:</b> Investigación cuantitativa</p> <p><b>Alcance la investigación:</b> Investigación descriptiva</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Diseño no experimental transversal descriptivo</p> <p><b>Población y muestra:</b> Espacio geográfico del dist. Santa Ana</p> <p><b>Método, Técnica e instrumento de recolección de dato:</b> Método: descriptivo Técnica: observación indirecta Instrumento: Geoportales y SIG</p> <p><b>Procedimiento de recolección de datos:</b> Geoportales disponibles en línea Visita a campo</p> <p><b>Análisis de datos:</b> Análisis multicriterio espacial</p>

**Tabla 10**

*Matriz de operacionalización de variable*

Variable única	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Zonas óptimas para relleno sanitario	<p>Son lugares considerados propicios para la construcción de un relleno sanitario, teniendo en cuenta <b> criterios establecidos </b> (Arias, 2021). Determina la ubicación más conveniente <b> ambientalmente </b> y con mayor rentabilidad para una propuesta de obra de relleno sanitario (Javier, 2015).</p> <p>Condiciones óptimas del terreno considerando aspectos de tipo <b> físico, biológico, socioeconómico y cultural </b>; clasificado en criterios de restricciones y exclusiones (MINAM, 2021).</p>	Esta variable se va a medir con un <b> SIG </b>	Criterios con restricciones	Distancia $\geq$ a 500 m de falla geológica	Razón
				Distancia $\geq$ a 500 m de cuerpos de agua	Razón
				Distancia $\geq$ a 500 m de centros poblados	Razón
				Distancia $\geq$ a 500 m de la red vial	Razón
				Distancia $\geq$ a 500 m de áreas arqueológicas	Razón
				Distancia $\geq$ a 500 m de áreas de conservación regional	Razón
			Criterios con limitaciones	Zonas con sustrato impermeable	Nominal
				Zonas con pendiente $<$ 50 %	Razón
				Zonas con ecosistemas de vegetación secundaria	Nominal
				Zona con clima templado y húmedo	Nominal
				Zona con bajo, medio y alto a susceptibilidad por movimiento en masa	Ordinal
				Zonas productivas de recuperación y protección	Nominal
				Zona con área mínima $\geq$ a 5 ha	Razón